

一般社団法人  
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2024

# 建設機械施工

2

Vol.76 No.2 February 2024 (通巻888号)

## 特集 防災, 災害対応 災害復旧・復興



土石流災害復旧現場における遠隔操作バックホウを用いた作業者の安全確保

### 巻頭言 建設機械と防災

特集技術報文

- 燃え止まり型耐火集成材「燃エンウッド」
- 「水災害トータルエンジニアリングサービス」による水害対策
- 伝統的建造物の火災リスクを低減
- 地理情報システムのプラットフォーム「Cube Earth」を活用した「スマートな防災システム」の自治体への提供
- 鉄道災害調査隊の発足及び被災調査支援活動
- 令和3年度達初川水系応急対策工事
- 地震により被災したRCラーメン橋台のジャッキアップと軌道復旧 他

行政情報

- 関東大震災100年 関東地方整備局の取り組み
- 「防災推進国民大会2023」の開催報告

交流のひろば

- 「移動式廃棄物処理設備」の活用に向けた検討

すいそう

- 海外での日本代表戦観戦のすゝめ
- 料理とお酒を楽しむ人生

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

Performance  Design

# 新型 ミニ

SK45SR SK55SR

ミニショベルがモデルチェンジ

2023年4月順次登場

特設サイトは  
こちら

iNDr+E



コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15  
☎03-5789-2111

[www.kobelco-kenki.co.jp](http://www.kobelco-kenki.co.jp)

## ◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同し、建設機械・建設施工にご関心のある方であればどなたでもご入会いただけます。

### ★個人会員の特典

- 「建設機械施工」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格 1冊800円＋消費税/送料別途)  
「建設機械施工」では、建設機械や建設施工に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。
- 協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入することができます。
- シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)でご参加いただけます。

この機会に是非ご入会下さい!!

## ◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された団体です。建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。

今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

- 建設機械及び建設施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
- 建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127, TC195, TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
- 建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
- 災害発生時には会員企業とともに災害対処にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
- 北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。
- 外国人技能実習制度における建設機械施工職種の技能実習評価試験実施機関として承認されています。

#### ■会員構成

会員は日本建設機械施工協会の目的に賛同された、個人会員(建設機械や建設施工の関係者等や関心のある方)、団体会員(法人・団体等)ならびに支部団体会員で構成されており、協会の事業活動は主に会員の会費によって運営されています。

#### ■主な事業活動

- ・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
- ・建設機械施工技術検定試験・外国人技能評価試験の実施。
- ・各種技術図書・専門図書の発行。
- ・除雪機械展示会の開催。
- ・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。

#### ■主な出版図書

- ・建設機械施工(月刊誌)
- ・日本建設機械要覧
- ・建設機械等損料表
- ・橋梁架設工事の積算
- ・大口径岩盤削孔工法の積算
- ・よくわかる建設機械と損料
- ・ICTを活用した建設技術(情報化施工)
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説
- ・道路除雪オペレータの手引き

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<https://jcmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

### 【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係  
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F  
TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書	
ふりがな	生年月日
氏名	昭和 平成 年 月 日
勤務先名	
所属部課名	
勤務先住所	〒 TEL _____ E-mail _____
自宅住所	〒 TEL _____ E-mail _____
機関誌の送付先	勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。)
その他 連絡事項	令和 年 月より入会

**【会費について】年間 9,000円(不課税)**

- 会費は当該年度前納となります。年度は毎年4月から翌年3月です。
- 年度途中で入会される場合であっても、当該年度の会費として全額をお支払い頂きます。
- 会費には機関誌「建設機械施工」の費用(年間12冊)が含まれています。
- 退会のご連絡がない限り、毎年度継続となります。退会の際は必ず書面にてご連絡下さい。  
また、住所変更の際はご一報下さるようお願い致します。

**【その他ご入会に際しての留意事項】**

- 個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。
- 会費額は総会の決定により変更されることがあります。○次の場合、会員の資格を喪失します:1.退会届が提出されたとき。2.後見開始又は保佐開始の審判をうけたとき。3.死亡し、又は失踪宣言をうけたとき。4.1年以上会費を滞納したとき。5.除名されたとき。○資格喪失時の権利及び義務:資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。○拠出金の不返還:既納の会費及びその他の拠出金品は原則として返還いたしません。

**【個人情報の取扱について】**

ご記入頂きました個人情報は、日本建設機械施工協会のプライバシーポリシー(個人情報保護方針)に基づき適正に管理いたします。本協会のプライバシーポリシーは <https://jcmanet.or.jp/privacy/> をご覧下さい。

# 令和6年度 日本建設機械施工大賞の公募について

本協会では、平成元年度に一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞を創設し、建設事業の高度化に関し顕著な功績をあげた業績について表彰して参りました。また、平成27年度の募集から新たに地域への貢献が顕著な業績も表彰することとし、さらに表彰内容を拡充したことに伴い、表彰名称を『会長賞』から『日本建設機械施工大賞』に変更いたしました。

令和6年度の表彰につきましても、下記により受賞候補者を公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

## 1. 表彰の目的

建設機械及び建設施工に関して、有意な技術の向上又は地域の建設事業の課題の解消に、顕著な功績をあげた業績を表彰し、もって国土の開発と経済の発展に寄与することを目的とします。

## 2. 表彰対象

本協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は関係者のうち表彰目的に該当する業績のあった団体、団体に属する個人及びその他の個人を対象とします。

## 3. 表彰の種類

表彰は、大賞部門と地域賞部門の各部門とも**最優秀賞、優秀賞**とします。

- ・大賞部門は、建設機械及び建設施工に関する技術等の「調査・研究、技術開発、実用化等」の業績が対象となります。
- ・地域賞部門は、当該地域の建設機械及び建設施工に関する「創意工夫あるいは従来技術の改良や普及促進等の取り組み等」の業績が対象となります。
- ・最優秀賞は総合的な評価の最も高かったもの、優秀賞はそれに準ずるものです。
- ・ユニークなアイデア、あるいは特に秀でた特徴を有する提案があれば**選考委員会賞**として表彰することもあります。

受賞者には、賞状及び副賞として、1件につき次の賞金を授与します。

副賞賞金	大賞部門	最優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	30万円	地域賞部門	最優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	20万円
		優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	15万円		優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	10万円
		選考委員会賞	・ ・ ・	5万円		選考委員会賞	・ ・ ・	5万円

## 4. 表彰式

本協会第13回通常総会（令和6年6月予定）終了後に行います。

## 5. 応募

「**日本建設機械施工大賞応募要領**」に基づく**応募用紙**の提出により行われますので、**本協会HP（ホームページ）からダウンロード**してください。（自薦・他薦は問いません。）

また、大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。応募の締切は、**令和6年2月29日（木）（必着）**です。

## 6. 選考

本協会が設置した「**日本建設機械施工大賞選考委員会**」で選考いたします。なお、該当する業績が無い場合は表彰いたしません。

## 7. その他

受賞業績は、概要を本協会機関誌「**建設機械施工**」及び本協会の**HP（ホームページ）**に掲載いたします。

以上

# 欧州建設機械施工視察団 団員募集のお知らせ

## INTERMAT 2024 (フランス・パリ)

一般社団法人日本建設機械施工協会では、海外の建設機械及び施工技術を見聞し、我が国の建設施工の機械化に寄与することを目的として、海外視察団を企画・派遣しています。今回は、フランス・パリで開催される国際的な建設機械及び建設資材等の展示会“INTERMAT 2024”の視察です。3年ごとに開催されるこの展示会は世界3大建機展の一つで、2018年には1,400社／団体が出展しており、建設機械、部品、サービス等の技術を一望することができます。

また本視察では、業界関連視察、見学も致します。多数の方々にご参加賜りたく、ご案内を申し上げます。

皆様のご参加をお待ちしております。

一般社団法人日本建設機械施工協会

### 【展示会概要】

【開催地】フランス・パリ

【周期】3年毎

【会場】パリ・ノール見本市会場

【入場者】173,300人（2018年実績）

【期間】2024年4月23日(火)～27日(土)

【主催】S.E. INTERMAT

【出展社】1,400社（2018年実績）

### 【主要出展品目】

土木・建設機械関連：建築資材準備、処理用機械・装置、工具、土木工事現場用機械・設備・部品等

### 旅行スケジュール

■INTERMAT2024 2日間 入場

■パリ市内の業界関連視察訪問

日程：2024年4月23日(火)～4月29日(月) 5泊7日(添乗員同行)

視察地：パリ(1都市)

最少催行人員：15名

旅行代金：お一人様690,000円(1名1室)

(燃油サーチャージ・INTERMAT2024入場料・登録代行手数料・視察関係の手土産等、関係諸費用は含まれておりません)

### ●資料請求先●

近畿日本ツーリスト株式会社 トラベルサービスセンター東日本

担当：中西／浅木

TEL：03-6730-3220 FAX：03-6730-3229

E-mail：tourdesk30@or.knt.co.jp

資料請求締切日：2024年2月28日(水)

### ●旅行企画・実施●

近畿日本ツーリスト株式会社 法人第2支店

### ●視察に関するお問い合わせ●

一般社団法人日本建設機械施工協会 企画部

担当：二瓶 / 佐々木

TEL：03-5776-7858 FAX:03-3433-1501

E-mail：kikakubu@jcmnet.or.jp

※当コースは当広告からのお申込みは承っておりません。詳しくは資料ご請求いただいたうえでお申し込みください。

管理番号：60442311C014

## 予定日程表

	日付	曜日	内容		時間	交通機関	摘要	食事
1	2024/4/23	火	東京（羽田）	発	10:45	JL045	到着後、市内にて夕食  【パリ泊】	朝：× 昼：機 夕：○
			シャルルドゴール空港（パリ）	着	16:15			
2	2024/4/24	水	フランス	滞在	終日	専用車	■INTERMAT PARIS 2024 取扱品目：土木・建設用機器、技術、建設用資材、等  【パリ泊】	朝：○ 昼：× 夕：×
3	2024/4/25	木	フランス	滞在	終日	専用車	■INTERMAT PARIS 2024 取扱品目：土木・建設用機器、技術、建設用資材、等  【パリ泊】	朝：○ 昼：× 夕：×
4	2024/4/26	金	フランス	滞在	終日	専用車	パリ市内視察  【パリ泊】	朝：○ 昼：× 夕：×
5	2024/4/27	土	フランス	滞在	終日	専用車	パリ市内視察  【パリ泊】	朝：○ 昼：× 夕：○
6	2024/4/28	日	シャルルドゴール空港（パリ）	発	19:00	専用車 JL046	出発まで自由行動 ホテル発、シャルルドゴール空港へ 空路、羽田空港へ移動  【機内泊】	朝：○ 昼：× 夕：機
7	2024/4/29	月	羽田空港	着	13:55		入国審査、通関後、解散 ～お疲れ様でした～	朝：機 昼：× 夕：×

※ 発着日時、および交通機関、宿泊先は変更になることがあります。

【食事の表示】 朝：朝食、昼：昼食、夕：夕食、○：あり、×：なし、機：機内食

【時間帯の目安】 朝／9:00～10:00 午前／10:00～12:00 午後／12:00～17:00

# 論文投稿のご案内

日本建設機械施工協会では、学術論文の投稿を歓迎します。論文投稿の概要は、以下のとおりです。なお、詳しいことは、当協会ホームページ、論文投稿のご案内をご覧ください。

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

## ★投稿対象

建設機械、機械設備または建設施工の分野及びその他の関連分野並びにこれらの分野と連携する学際的、横断的な諸課題に関する分野を対象とする学術論文(原著論文)の原稿でありかつ下記の条件を満足するものとします。なお、施工報告や建設機械の開発報告も対象とします。

- (1) 理論的又は実証的な研究・技術成果、あるいはそれらを統合した知見を示すものであって、独創性があり、論文として完結した体裁を整えていること。
- (2) この分野にとって高い有用性を持ち、新しい知見をもたらす研究であること。
- (3) この分野の発展に大きく寄与する研究であること。
- (4) 将来のこの分野の発展に寄与する可能性のある萌芽的な研究であること。

## ★部門

- (1) 建設機械と機械設備並びにその高度化に資する技術部門
- (2) 建設施工と維持管理並びにその高度化に資する技術部門

## ★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

## ★原稿の受付

随時受け付けます。

## ★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

## ★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289



## (一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和6年2月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R5年10月	道路除雪施工の手引 (第17版)	4,950	3,960	770
2	R5年5月	橋梁架設工事の積算 令和5年度版	12,100	10,285	990
3	R5年5月	令和5年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
4	R4年5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和4年度版	6,600	5,610	770
5	R4年5月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	770
6	R4年3月	日本建設機械要覧 2022年版	53,900	45,100	990
7	R3年1月	情報化施工の基礎 ~i-Constructionの普及に向けて~	2,200	1,870	770
8	H30年8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
9	H29年4月	ICTを活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
10	H26年3月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD版】	2,200	1,980	770
11	H25年6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
12	H23年4月	建設機械施工ハンドブック (改訂4版)	6,600	5,610	770
13	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
14	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300	2,970	770
15	H22年7月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
16	H21年11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
17	H20年6月	写真でたどる建設機械 200年	3,080	2,618	770
18	H19年12月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
19	H18年2月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
20	H17年9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
21	H16年12月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編)【CD-R】	5,500	4,950	770
22	H15年7月	道路管理施設等設計指針 (案) 道路管理施設等設計要領 (案)【CD-R】	3,520	3,168	770
23	H15年7月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
24	H15年6月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980	1,782	770
25	H15年6月	機械設備点検整備共通仕様書 (案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領 (案)	1,980	1,782	770
26	H15年6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
27	H13年2月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第3版)	6,600	5,940	770
28	H12年3月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第2版)	2,750	2,475	770
29	H11年10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360	8,360	770
30	H11年5月	建設機械化の50年	4,400	3,960	770
31	H11年4月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
32	H10年3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル【CD-R】	3,960	3,564	770
33	H9年5月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
34	H6年8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
35	H6年4月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
36	H3年4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
37	S60年1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック【CD-R】	6,600	5,940	770
38		建設機械履歴簿	440	396	770
39	毎月25日	建設機械施工	880	792	770
			定期購読料 年12冊 10,032円 (税・送料込)		

購入を希望される場合、当協会 HP <https://jcmnet.or.jp/> の出版図書欄の「出版図書のご購入について」から本部、または支部の購入方法に基づきお申込みください。

特集	防災, 災害対応, 災害復旧・復興	
巻頭言	4	建設機械と防災 寶 馨 (国研) 防災科学技術研究所 理事長
行政情報	5	関東大震災 100 年 関東地方整備局の取り組み 小池 聖彦 国土交通省 関東地方整備局 総括防災調整官
	11	「防災推進国民大会 2023」の開催報告 次の 100 年への備え ~過去に学び, 次世代へつなぐ~ 内閣府 (防災担当) 普及啓発・連携担当
特集技術報文	14	BILMUS (ビルマス) がもたらす制振革命 芝浦プロジェクト S 棟 今井 克彦 清水建設(株) 設計本部 構造設計部 2 部
	21	燃え止まり型耐火集成材「燃エンウッド」 中高層木造建物の実現に向けた技術開発とその適用 花井 厚周 ㈱竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副本部長
	28	既存 RC 造建築物における有孔梁の鋼板補強工法 せん断性能に関する技術性能証明を取得 赤星 博仁 ㈱奥村組 技術本部 技術研究所
	34	浮遊ケーソンの動揺低減技術の実海域実験 倉原義之介 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 水圏技術グループ 主任研究員 武田 将英 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 水圏技術グループ リーダー
	39	「水災害トータルエンジニアリングサービス」による水害対策 高井 剛 鹿島建設(株) 技術研究所 上席研究員 岩前 伸幸 鹿島建設(株) 技術研究所 主任研究員 近藤 宏二 鹿島建設(株) 技術研究所 プリンシパルリサーチャー
	44	伝統的建造物の火災リスクを低減 自動火災検知放水システム「慈雨」を文化財へ導入 重盛 洸 清水建設(株) 建築総本部 設計本部 プロジェクト設計部 3 部 兼 設備設計部 2 部 設備設計担当
	49	AI を用いた栈橋の残存耐力評価技術 構造物の寿命を予測し合理的で計画的な維持管理に貢献 宇野 州彦 五洋建設(株) 技術研究所 土木技術開発部 担当部長
	54	建物地震被災度即時推定システムの開発 譚訪 仁 ㈱大林組 技術研究所 構造技術研究部 副本部長 江村 勝 ㈱大林組 設計本部 統括部長 中塚 光一 ㈱大林組 設計本部 統括部長
	59	免震建物の総合的なモニタリングシステムの開発 浜辺千佐子 ㈱竹中工務店 空間・構造エンジニアリング本部 シニアチーフエンジニア 吉澤 睦博 ㈱竹中工務店 技術研究所 環境・社会研究部 主席研究員 曾根 孝行 ㈱竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 グループ長
	65	地理情報システムのプラットフォーム「Cube Earth」を 活用した「スマートな防災システム」の自治体への提供 空間 ID 技術の活用と今後の可能性 武田 全史 ㈱ Cube Earth 代表取締役社長 榎原 翼 ㈱安藤・間 本社経営戦略本部 イノベーション部 担当課長
	70	鉄道災害調査隊の発足及び被災調査支援活動 伊藤 翔太 ㈱鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道企画調査部 鉄道総合支援課 課長補佐

	76	省力化に貢献し、機動性に優れた新たな防災ソリューション 災害停電時マンホールポンプ起動支援システム 平木 勲 荏原実業(株) 技術開発本部 事業化推進部
	82	令和3年度逢初川水系応急対策工事 ICT・DX技術導入による熱海土石流災害の早期復旧 大丸雄一郎 大成建設(株) 横浜支店土木部 課長
	88	スリップフォーム工法によるトンネルインバートの機械化施工 平成30-32年度日下川新規放水路(吐口側)工事 川原 仁志 (株)熊谷組 中四国支店 土木部 係長
	93	東海道新幹線16駅と在来線20駅のプラットホーム上家を 耐震補強、ダンパーによる新工法を開発 家倉 優人 東海旅客鉄道(株) 静岡支社 施設部施設課 担当課長 塚脇 喜章 東海旅客鉄道(株) 建設工事部 建築工事課 係長
	98	地震により被災したRCラーメン橋台のジャッキアップと 軌道復旧 草野 英明 東鉄工業(株) 土木本部 土木エンジニアリング部 担当部長
交流のひろば	104	「移動式廃棄物処理設備」の活用に向けた検討 迅速な災害復興に向けた取り組み 永島 篤志 (株)リョーキ 環境機器事業部 部長
ずいそう	107	海外での日本代表戦観戦のすゝめ 島村 涼太 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設備部 機械課 担当係長
	109	料理とお酒を楽しむ人生 池端 光晴 西尾レントオール(株) 東北ICT施工推進課
JCMA 報告	111	一般社団法人日本建設機械施工協会 令和6年新年会報告
	112	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	113	建設業の業況 機関誌編集委員会
	120	建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会
	121	行事一覧 (2023年12月)
	124	編集後記 (副島・木村)

◇表紙写真説明◇

土石流災害復旧現場における遠隔操作バックホウを用いた作業者の安全確保

写真提供：大成建設(株)

不安定な盛土が残り、二次災害の危険性が非常に高いエリアでは、遠隔操作タイプのバックホウを導入し、土石流が到達しなかった高い場所に設けたステージから遠隔操作を行うことで作業者の安全を確保した。

## 巻頭言

# 建設機械と防災

寶 馨



自然災害事象に対応するいくつかのフェーズがある。それは、災害発生前の「予測・予防」、発災直後の「応急対応」、さらに「復旧・復興」である。1959年に伊勢湾台風により数千人の犠牲者があったことから、1963年に災害対策基本法が制定された。それまで東京大学に地震研究所、京都大学に防災研究所が設置されていたが、これらの組織が拡充されていった。国全体の防災研究組織としては、基本法に並行して同年1963年に国立防災科学技術センター（後に防災科学技術研究所と改称）が設立された。これらの組織はいずれも、上記のフェーズのうち、「予測・予防」に焦点を当てて、災害発生機構の解明と予測、予防策としての防災施設の計画・設計・施工法などを研究してきたと言える。1995年の阪神・淡路大震災では、6,000人以上の犠牲者が出て、こうした大地震後の対応の不備が指摘され、「応急対応」、「復旧・復興」にも焦点を当てることとなった。

建設機械は、「予測・予防」のフェーズでは、防災施設の施工において活躍する。設計通りに施工するために、様々な建設機械が投入され、来るべき災害に備える。大規模工事、難工事に対しても、建設機械の高度化・大型化が進んだ。危険場所における作業には、無人で遠隔操作で稼動する建設機械もある。「応急対応」では、まず、被災者救助が重要であるから、被災建物の撤去、緊急車両通行のための道路の応急整備などに建設機械が大きな役割を果たす。また、第二波（余震、津波、後続豪雨）に備えるため、防災施設の応急整備も必要となる。さらに時間が経過すると「復旧・復興」のフェーズになる。応急整備したもの、被災した建物などを本格的に元に戻す復旧作業、地域全体の防災を再興するための復興の段階に入る。従前は、復旧は、原状復帰を原則とされた。国民の税金を投入する際に、いわゆる「焼け太り」を許容しない、という原則があった。しかしながら、現状復帰では、次に同

じ規模の災害が発生したときにまた被災することが考えられる。このような不合理を避けるため、2015年の国連防災世界会議では、より良い復興（Build Back Better）の重要性が認識され、仙台防災枠組2015-2030の4つの優先行動の中にも明示された。

ここで問題としたいのは、巨大災害発生時の建設機械の不足である。2011年の東日本大震災の時、被害が広域にわたったこと、被害の程度が甚だしかったこと、放射能汚染のおそれが生じたこと、などから応急対応のための建設機械が不足した。また、復旧・復興のフェーズにおいても同様であり、建設機械のみならず復旧・復興のための建設資材が不足し、全国の建設事業や住宅建設にも大きな影響を及ぼした。東日本大震災以後も、2018年西日本豪雨、2019年東日本台風のような広域の豪雨洪水災害が発生している。こうした場合にそれぞれの県で建設機械は足りたのであろうか。今世紀前半には発生すると見込まれている南海トラフ地震、首都直下地震の場合も広域に被災することが考えられる。建設機械が不足することは必定であるし、各種の建設機械を増産したとしても操作する人員が不足する事態も起こりうるのである。

災害時、負傷者の収容のために病院の空き状況の把握が必要であるのと同様、災害時の建設機械の存在、利用可能性の把握が必要であるし、災害前の段階から、どこに何がどれだけあるのか、予め把握しておく仕組みが重要である。建設機械は、建設会社が保有しているので、各会社の状況を予め取りまとめておくことができるであろうか。広域災害の場合、遠方から機材を海路で運ばねばならないような事態も想定される。広域災害、巨大災害に備えて、こうした観点からの議論や検討、具体的なアクションを然るべき組織に是非ともお願いしたいところである。

行政情報

# 関東大震災 100 年 関東地方整備局の取り組み

小池 聖彦

2023 年は関東大震災から 100 年を迎える節目の年となり、各地で様々な地震防災に関するシンポジウムやイベントが行われた。首都直下地震に切迫性が指摘されるなか、首都直下地震で大きな被害が想定される地域を所管し、自らもインフラを管理する関東地方整備局においても、災害に備え、地域全体での対応力を強化するため、『連携・実践・わがこと化』をキーワードとして、関係機関と連携し、各地域でリレーシンポジウム等の取り組みを実施したので紹介する。

キーワード：関東大震災 100 年、地震防災、首都直下地震対策、シンポジウム

## 1. はじめに

災害の発生時においては、あらゆる主体の総力戦で臨む必要があり、特に人口が多く、関係機関も多い、首都直下地震に対して的確に対応するには、関係する行政機関が連携して対応する必要がある。

緊急応急対策等が定められ、様々な訓練も実施されているが、新しい技術の適用や充実を図られた制度の運用を含めたより実践的な訓練も必要。

これらの取り組みに加えて、住民に発信するあるいは参加を促す取り組みを実施し、冷静に的確な行動が求められる住民に地震及びその対応をわがことと捉えて、あらためて自身に必要な行動の確認を求め、防災力の向上を図る必要がある。

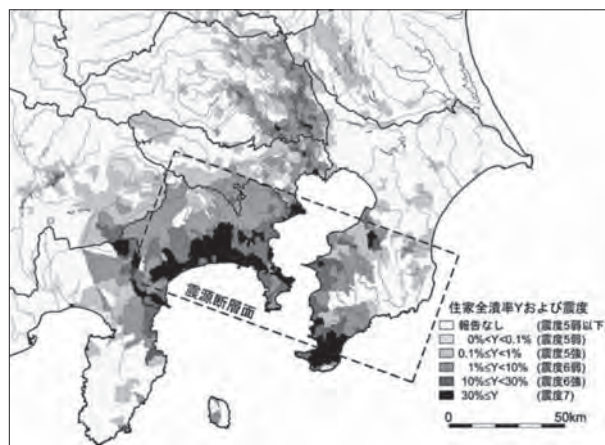
こういったことから、関係機関との連携を強化し、より実践的な応急対策を目指して訓練を行うとともに、それぞれが主体的な対応をすることの必要性・重要性を広く住民、関係者に訴えることを目的に、一連の取り組みを実施した。

## 2. 関東大震災とは

### (1) 被害の概要

1923（大正 12）年 9 月 1 日 11 時 58 分に、相模湾北西部を震源とするマグニチュード 7.9 と推定される関東大地震が発生。神奈川県南部を中心に震度 7 や 6 強の揺れとなり、10 万棟を超える家屋を倒壊させ（図—1）、更に台所が火元となって多くの火災が発生し、台風の余波による強風にも煽られ、大規模な延焼火災に拡大。

この地震によって全半潰・消失・流出・埋没の被害を受けた住家は総計 37 万棟にのぼり、死者・行方不明者は約 10 万 5,000 人に及ぶなど、甚大な被害をもたらした（表—1）。



図—1 住家全潰率と震度の分布<sup>\*1</sup>

表—1 関東地震による住家被害棟数及び死者数の集計<sup>\*2</sup>

府 県	住家被害棟数							死者数(行方不明者含む)				
	全潰	(%) 非被災	半潰	(%) 非被災	被災	被災 割合	合計	住家 全潰	被災	流出 埋没	土壌等 の被害	合計
神奈川県	63577	46621	54035	43047	35412	497	125577	5795	25201	836	1006	32838
東京都	24469	11842	29525	17231	176505	2	205580	3546	66521	6	314	70387
千葉県	13767	13444	6093	6030	431	71	19976	1255	59	0	32	1346
埼玉県	4789	4789	4086	4086	0	0	8845	315	0	0	28	343
山梨県	577	577	2225	2225	0	0	2802	20	0	0	2	22
静岡県	2383	2309	6370	6214	5	731	9259	150	0	171	123	444
茨城県	141	141	342	342	0	0	483	5	0	0	0	5
長野県	13	13	75	75	0	0	88	0	0	0	0	0
栃木県	3	3	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0
群馬県	24	24	21	21	0	0	45	0	0	0	0	0
合 計	109713	79733	102773	79272	212353	1301	372659	11086	91781	1013	1505	105385
(うち)												
東京都	12192	1458	11122	1253	166191	0	168902	2758	65902	0	0	68660
横浜市	18537	5332	12542	4380	25324	0	35036	1977	24646	0	0	26623
横浜市中区	7227	3740	2514	1301	4700	0	9741	495	170	0	0	665

\*1, 2 : 出典 内閣府 HP (1923-kantoDAISHINSAI-1\_04\_chap1.pdf (bousai.go.jp))

表一2のとおり、被害総額は地震による直接的な損失だけで約55億円、当時の国家予算の約4倍、当時のGDP比約37%と推定されており、近年の大震災と比べても、その被害規模と社会経済的なインパクトは極めて大きかったことが分かる。

平成18年7月公表された「1923 関東大震災報告書－第1編－中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会」で当時の被害についてまとめられている。地震の揺れ、火災による被害以外にも発生しており、その一部を紹介する。

## (2) 火災以外の被害の要因

### (a) 土砂災害

関東南部の山地や丘陵地・台地の縁辺部では、関東地震(1923)発生直後や2週間後の大雨により、崩壊や地すべり、土石流などによる土砂災害が多数発生している。地震直後に発生した土砂移動により、小田原市米神では埋没家屋20戸、死者62人、根府川では埋没家屋64戸、死者406人の被害が発生。熱海軽便鉄道が全線被災、現在のJR東海道線根府川鉄橋が流出。大規模な地すべりにより根府川駅と停車中の列車(死者200名)を海中へ押し出すなどの被害が発生した。また伊勢原市大山では、地震の揺れによる人的被害はほとんどなかったものの、2週間後の9月12～15日の豪雨による大規模な土石流により下流の人家の大部分である140戸を押し流す被害となった(写真一1)。このほか神奈川県東部の横浜や横須賀・鎌倉地域、千葉県房総地域において、崖崩れや崩壊等の土砂災害により多数の死者が発生している。

### (b) 液状化被害

関東地震による地盤の液状化の発生地域は、図一2に示すように、関東平野の5都県(東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県)と山梨県の甲府盆地のきわめて広範囲にわたっている。液状化が生じた地域の地形条件は、旧河道、自然堤防、扇状地、砂州背後の低地、埋立地、盆地(扇状地)における河川合流部、台地上の凹地など様々だが、緩い砂質土が堆積し、地下水位が高いところ。この液状化により、特に神奈川県では横浜市内の埋立地、横浜港岸壁、川崎市臨港地区の工場地帯の被害が顕著であった(写真一2)。

### (c) 津波被害

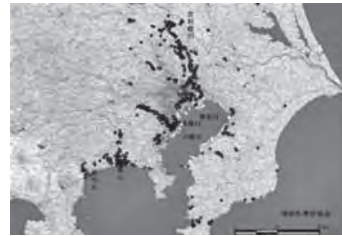
関東地震は、規模がマグニチュード7.9と大きく、震源域が相模湾内にあったため、三浦半島から伊豆半島東岸に高さ数m以上の津波により、被害が発生した。なかでも鎌倉では地震動による倒壊や火災、津波により甚大な被害が発生(写真一3)。当時の鎌倉町

表一2 関東大震災と近年の大震災との比較<sup>※3</sup>

	関東大震災	阪神・淡路大震災	東日本大震災
発生年月日	1923年(大正12年)9月1日 土曜日 午前11時58分	1995年(平成7年)1月17日 火曜日 午前5時46分	2011年(平成23年)3月11日 金曜日 午後2時46分
地震規模	マグニチュード M7.9	マグニチュード M7.3	モーメントマグニチュード Mw9.0
直接死・行方不明	約10万5千人 (58焼死 約9割)	約5,500人 (35窒息・圧死 約7割)	約1万8千人 (35溺死 約9割)
関西同様に 全壊・全壊住居	—	約900人	約3,800人
全壊・全壊住居	約29万棟	約11万棟	約12万棟
被害総額	約55億円	約9兆6千億円	約16兆9千億円
当時のGDP	約149億円	約522兆円	約497兆円
GDP比	約37%	約2%	約3%
当時の国家予算	約14億円	約73兆円	約92兆円



写真一1 伊勢原市大山町開山町の土石流被害<sup>※4</sup>



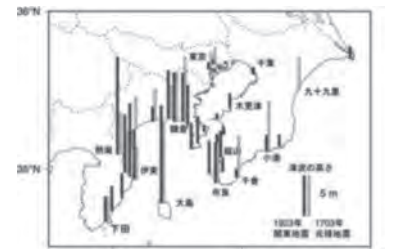
図一2 関東地震による液状化発生地点<sup>※5</sup>



写真一2 横浜港第六岸壁の被害<sup>※6</sup>



写真一3 鎌倉における被害(由比ヶ浜方面を望む)<sup>※7</sup>



図一3 元禄地震(1703)と関東地震(1923)による津波の高さ<sup>※5</sup>

約4,200戸のうち被害が軽微だったのはわずか600戸程度。材木座光明寺付近では津波が5～6m、海岸通

※3：出典 内閣府 HP (<https://www.bousai.go.jp/kantou100>)

※4～7：出典 内閣府 HP (1923--kantoDAISHINSAI-1\_06\_chap3..pdf (bousai.go.jp))

りの家屋や海水浴旅館は全滅。流出家屋30戸、死者59名が発生するなど、町全体で死者412名の被害となった。津波は熱海と伊豆大島（岡田）で最大12m、館山付近で最大9mと異常に大きく、内房・三浦半島・伊豆半島東岸では元禄地震の津波の高さと同程度であった（図-3）。

### 3. 関東地方整備局の取り組み

中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ「首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）」（平成25年12月）によれば、現在、人口・資産が集積する関東地域で、首都直下地震（マグニチュード7.3・都心南部地震）が発生した場合、揺れによる全壊家屋：約175千棟、建物倒壊による死者：約11千人、焼失家屋：建物倒壊とあわせて最大約610千棟、死者：建物倒壊とあわせて約23千人（図-4、5）。

インフラ・ライフライン等の被害も、電力は発災直後は約5割の地域で停電。1週間以上不安定な状況が続き、通信も9割の通話規制が1日以上継続。都区部で約5割が断水、約1割で下水道の使用不可。地下鉄は1週間、私鉄・在来線は1か月程度、開通までに時間を要する可能性など、経済的被害は約95兆円に及ぶ。このように、首都直下地震で大きな被害が想定される地域を所管する関東地方整備局として、災害に備え、地域全体での対応力を強化するため、関係機関と連携し、一連の取り組みを行った。

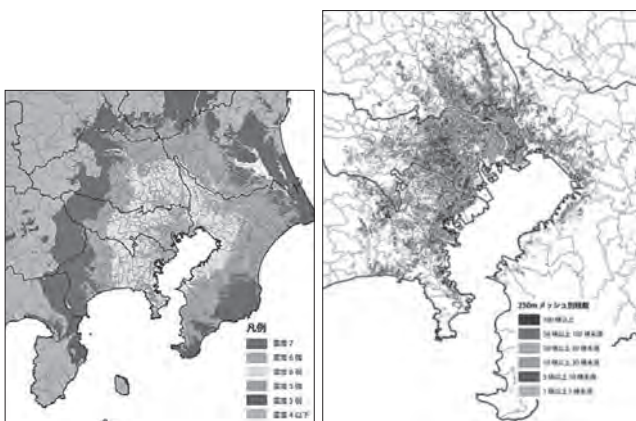


図-4 震度分布(都心南部地震)<sup>※8</sup> 図-5 全壊・焼失棟数(冬夕、風速8m/s)<sup>※9</sup>

#### (1) チラシの作成、ホームページ専用ページの設置

令和5年5月に関東地方整備局ホームページに、「関東大震災100年の取り組み」として専用ページを設置。あわせて、内閣府ロゴを活用し、1都8県の地図



図-6 関東大震災100年関東地整統一ロゴ  
専用ページ URL：関東大震災100年の取り組み | 防災 | 国土交通省 関東地方整備局 (mlit.go.jp) <https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/index00000005.html>



図-7 関東大震災100年チラシ(表・裏)

とキーワードを組み合わせ、関東地方整備局の統一ロゴ（図-6）として広報展開を図った。

また一連の取り組みに関する内容について記載したチラシを作成（図-7）し、各会議、イベント等で配布。

#### (2) リレーシンポジウム、パネル展の開催

今年6月から8月にかけて、各地で、リレー形式にシンポジウムやパネル展を開催。地元県や自治体、関係団体の皆様のご協力により、合計約3千人の方々にご参加頂いた。

それぞれが主体的に対応するという観点で、それぞれの地域で抱える課題、地域の特性を踏まえ、大規模災害時に対応すべきこと、地域の役割、事前の備えなど、学識者、行政、公共機関、医療・防災関係者、関係する企業の方々にご参加頂き、基調講演、パネルディスカッションでご意見を頂いた（図-8）。

※8、9：出典 内閣府 HP（特集 首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）-内閣府 (bousai.go.jp)）



リレーシンポジウム（千葉～群馬）、パネル展（長野）	
【千葉】	6月26日(月)：大災害から学ぶ千葉のインフラのあり方
【埼玉】	7月10日(月)：いま首都直下地震への備えについて考える
【山梨】	7月21日(金)：関東大震災100年に学ぶ 山梨県における地震防災
【神奈川】	7月27日(木)：大震災から学ぶ これからの防災
【栃木】	7月27日(木)：首都直下地震時の広域支援と栃木県の役割
【茨城】	7月28日(金)：リレーシンポジウム茨城 来るべき大規模地震に備えて
【群馬】	8月17日(木)：首都圏の大規模災害時における群馬県の役割
【長野】	7月26日(水)～9月1日(金)：来るべき巨大地震に備えて

図一八 リレーシンポジウム、パネル展 開催状況

(3) “関東大震災100年シンポジウム” “特別企画展” “関東大震災ゆかりの地を巡るツアー” の開催

(a) 関東大震災100年シンポジウム

関東大震災から学ぶ今後の都市・インフラ整備として題して、8月28日（月）14:00～17:30に東京ビックサイトで開催。

- ・挨拶：齊藤国土交通大臣（写真一四）
- ・基調講演1：名古屋大学 武村特任教授（写真一五）「関東大震災がつくった東京：100年後の変貌と首都直下地震」
- ・基調講演2：関西大学 河田特別任命教授（写真一六）「失敗しない首都直下地震対策に向かって」
- ・パネルディスカッション『関東大震災から学ぶ、今後の都市・インフラ整備』（写真一七）

コーディネーター：国土舘大学 山崎教授



写真一四 齊藤国土交通大臣



写真一五 名古屋大学武村特任教授



写真一六 関西大学河田特別任命教授



写真一七 パネルディスカッションの状況

パネラー：

- 東京大学 加藤教授
- 工学院大学 久田教授 東京国際大学 小室教授
- (株)野村総合研究所 リチャード・クー氏
- 東京都都市整備局 谷崎局長
- 国土交通省 吉岡技監

防災対策は重層的に進める必要があり、行政、学校、企業、住民のどこかに抜けがあると災害は拡大する。それぞれの主体がハードとソフトのベストマッチを考えいくなることが必要。

(b) 特別企画展

8月26日（土）～28日（月）に国営東京臨海広域防災公園（そなエリア）にて特別企画展を開催（写真一八）



写真一八 国営東京臨海広域防災公園施設（そなエリア）



写真一九 屋外（災害対策車両展示）園施設（そなエリア）



写真一〇 1階フロア―出典状況①



写真一一 1階フロア―出典状況②





写真-12 2階フロア出典状況① 写真-13 2階フロア出典状況②

—8～13)。関東大震災から最新の防災技術まで、子供から大人まで楽しめる“見て・触れて・感じる”コンテンツの展示を実施し、期間中、約3,700名の方々に来館頂いた。国土交通省（防災課，国総研，国営東京臨海広域防災公園，関東地方整備局），国立国会図書館，東京消防庁，都市再生機構，（一社）全国建設業協会，（一社）日本建設業連合会，（一社）群馬県建設業協会，（一社）東京建設業協会，（一社）日本橋梁建設協会，NHK，ヤフー（株），LINE（株），大日本土木（株），日本工営（株），青木あすなろ建設（株）の15者が参加。

(c) 関東大震災ゆかりの地を巡るツアー

関東大震災ゆかりの地をめぐり、切迫する首都直下地震等の巨大地震へのさらなる備えについて、考えるためのツアーを7月22日～23日に実施（写真-14～17）。

名古屋大学武村特任教授により、関東大震災で多くの命が失われた原因と理由、震災後の帝都復興計画により造られた東京のインフラの整備状況（広い道路や、橋梁）、現在の東京が首都直下地震に対して脆弱となっている課題について参加者に説明頂き、切迫する首都直下地震に対し、参加者自らがどう備えるか、考えて欲しいことを強く訴えた（図-9，10）。



図-9 ツアーコース

【参加者の声】  
・発生が想定される首都直下地震はどのような地震なのか、被害の想定はどういったものなのかなど、首都直下地震に関する質問が寄せられ、首都直下地震への関心が伺えた。



図-10 アンケート結果

(4) 首都直下地震対応訓練の実施

(a) 道路啓開訓練

首都直下地震に備え、道路啓開計画の八方向作戦の実効性を高めるため、8月3日（木）13:30～16:00に東京臨海広域防災公園へレポートにおいて、新技術・多様な手段により被災状況や交通状況を迅速かつ確実に把握・共有するとともに、関係機関と連携し、道路啓開作業の実動訓練を実施（写真-18～23）。訓練参加者は国土交通省関東地方整備局，東京都東日本高速道路（株），中日本高速道路（株），首都高速道路（株），警視庁，陸上自衛隊，東京消防庁，東京電力パワーグリッド（株），KDDI（株），（株）NTTドコモ，ソフトバンク（株），楽天モバイル（株），（特非）全日本レッカー協会，（一社）日本建設業連合会関東支部，災害協定会社，17機関約350名が参加。



写真-14 都立横町公園



写真-15 浅草寺



写真-16 神田明神



写真-17 東京大学地震研究所



写真-18 自転車隊



写真-19 三輪トライク隊



写真-20 遠隔操作によるガレキ移動



写真-21 遠隔操作状況



写真-22 移動基地局車訓練



写真-23 倒壊電柱・電線の除去

(b) 緊急支援物資海上輸送訓練等

首都直下地震に備え円滑な災害対応を目的に、8月3日(木)13:00~15:00に東扇島公園において、被災状況調査、緊急確保、航路啓開、緊急支援物資海上輸送などの実動訓練を実施(写真—24~29)。

訓練参加者は関東地方整備局、関東運輸局、第三管区海上保安本部(川崎海上保安署)、川崎市(危機管理本部、健康福祉局、港湾局、上下水道局、病院局、消防局)、神奈川県警(川崎臨港警察署)、海上自衛隊(横須賀地方総監部)、東京電力パワーグリッド(株)川崎支社、KDDI(株)、日立機日本(株)関東支社、(一社)日本埋立浚渫協会関東支部、川崎港運協会、神奈川倉庫協会、(一社)日本自動車連盟神奈川支部、(一社)海洋調査協会、(一社)日本マリーナ・ビーチ協会、防災エキスパート、16機関約270名が参加。



写真—24 人命救助訓練



写真—25 緊急輸送路啓開訓練



写真—26 緊急確保航路啓開訓練①



写真—27 緊急確保航路啓開訓練②



写真—28 支援物資海上輸送訓練①

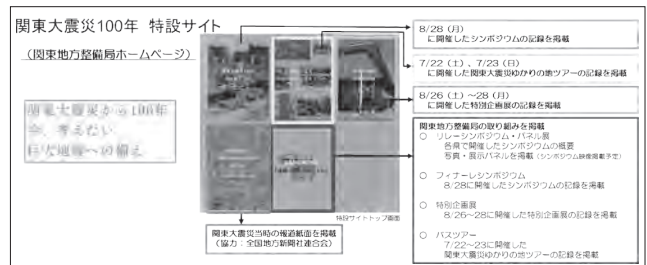


写真—29 支援物資海上輸送訓練②

4. 今後に向けた取り組み

今回、関東大震災100年という節目に地震防災に関する一連の取り組みに携わることができ、改めて、発災時にひとりひとりが取るべき行動を常に意識しておくことが重要であり、災害対応には多くの方が関係してくるため、日頃から関係機関との連携が不可欠であると再認識したところ。

一連の取り組みを今回限りで終わらせることなく、後世に残すためにも、関東大震災100年の取り組みについて、関東地方整備局HPに「特設サイト」を設置し(図—11)、引き続き、広報啓発を行い、発災時に求められる必要な行動の確認を促し、防災力の向上を図っていく。



図—11 関東大震災100年アーカイブ(関東地方整備局ホームページ特設サイト)

わたし自身が防災に従事する者として、藤巻関東地方整備局長が常に発している言葉を心がけながら、引き続き、関係機関と連携し、1都8県の人々とくらしを守るために努力して参りたい。

防災・危機管理に「火事場の馬鹿力」はなく、実践・経験を通じて手に入れたことしか実際にはできないし役に立たない。実際の災害経験や訓練をよくよく振り返り、いざというときに備える

JICMA

[筆者紹介]

小池 聖彦(こいけ まさひこ)  
国土交通省 関東地方整備局  
総括防災調整官



## 行政情報

## 「防災推進国民大会 2023」の開催報告

## 次の100年への備え ～過去に学び、次世代へつなぐ～

内閣府（防災担当）普及啓発・連携担当

今回は、関東大震災発生から100年の節目の年であることから、防災推進国民大会（ぼうさいこくたい）は、関東大震災の震源地である神奈川県で、9月17日、18日に開催されました。大震災の記憶の継承、災害への「備え」と「助け合い」の大切さを次世代につなぐ機会にするため「次の100年への備え～過去に学び、次世代へつなぐ～」を大会のテーマとしました。

## 1. 「ぼうさいこくたい」とは

平成27年3月に開催された「第3回国連防災世界会議」で採択された国連の「仙台防災枠組2015-2030」では、自助・共助の重要性が国際的な共通認識とされました。これを踏まえ、平成27年9月、中央防災会議会長である内閣総理大臣の呼びかけにより、各界各層の有識者からなる「防災推進国民会議」が発足し、この防災推進国民会議と、主に業界団体からなる「防災推進協議会」、そして内閣府の三者が主催者となり平成28年から「ぼうさいこくたい」を実施しています。今回のぼうさいこくたいは、参学官、NPO、市民団体や国民が日頃から行っている防災活動を、全国的な規模で発表、交流する日本最大級の防災イベントとして、8回目の開催となりました。

## 2. オープニングセッション・ハイレベルセッション

オープニングセッションでは、松村祥史防災担当大臣からの主催者挨拶で、関東大震災は、その発生日である9月1日が「防災の日」と定められたように、近代日本における災害対策の出発点となった未曾有の災害であること、災害の多い我が国で、その被害を最小限に抑えるためには、行政による「公助」に加え、国民一人ひとりが、自らの命は自らが守る「自助」と地域で助け合う「共助」を組み合わせることが重要であることを伝えるとともに、災害の経験と教訓を次世代に語り継いでいくことで、防災意識の向上や、防災の担い手の育成につなげて欲しいとのメッセージがありました（写真-1）。同じく主催者である清家篤防災

推進国民会議議長及び防災推進協議会会長（日本赤十字社社長）、開催地の黒岩祐治神奈川県知事及び山中竹春横浜市長からも挨拶がありました（写真-2）。

今回のぼうさいこくたいは、関東大震災から100年の記念すべき大会であったことを踏まえ、「震源地・神奈川の傷跡と教訓」をテーマとする映像が流されたほか、立命館大学歴史都市防災研究所の北原糸子客員研究員による「関東大震災—救護・救済を中心に」をテーマとする基調講演が行われ、関東大震災がどんな災害であったかを振り返りました（写真-3）。



写真-1 松村防災担当大臣による開会挨拶



写真-2 黒岩神奈川県知事による挨拶



写真—3 オープニングセッション  
北原客員研究員による基調講演



写真—5 プレゼンテーション



写真—4 ハイレベルセッション



写真—6 ポスターセッション

それを受け、続くハイレベルセッションでは、「次の100年に向けて、来るべき巨大地震にどう備えるか」をテーマに、黒岩祐治神奈川県知事、大久保智子横浜副市長、上村昇内閣府大臣官房審議官、入江さやか松本大学教授、大木聖子慶應大学准教授及び阪本真由美兵庫県立大学教授が登壇して、それぞれの立場に基づきディスカッションを行い、モデレータの福和伸夫名古屋大学名誉教授が全体を取りまとめ、災害の備えの大切さを見つめ直しました（写真—4）。



写真—7 ワークショップ

### 3. セッション・ワークショップ・展示等

今大会では、防災の活動を実践する多様な団体が出展し、様々な取組や知見を発信・共有しました。講義やパネルディスカッションを通して参加者と一緒に考えるセッション、参加者を楽しく学ばせるための体験型ワークショップ、ブースでの説明やポスター展示により各団体の取組をアピールするためのプレゼンテーションやポスターセッション、ステージでの発表により各団体の取組をアピールするイグナイトステージ、こどもに特に人気のある車両等の屋外展示といった従来型のタイプに加え、出展者が自由に企画する「オリジナルセッション」が初めて加わりました。そして、出展団体数は約400、来場者は2日間で約16,000人、オンライン視聴数は約11,000回になりました。いず



写真—8 オリジナルセッション

れも過去最多の歴史的な大会になりました（写真—5～8）。

多くの出展団体に恵まれ、過去最多の来場者数と

なったのは、大会の準備から開催まで、地元神奈川県  
の防災活動に取り組む企業、団体や行政関係者が「現  
地情報共有・連携会議」を開催し、出展者が互いに知  
り合う機会を提供したり、その様子を県庁ホームペー  
ジ内の特設ページで紹介したりすることで、出展者同  
士の結びつきを深めたことが影響しました。

#### 4. クロージングセッション

クロージングセッションでは、大会全体をダイジェ  
スト動画で振り返った後、ぼうさいこくたい 2023 の  
テーマ「次の 100 年への備え ～過去に学び、次世代へ  
つなぐ～」の「次世代へつなぐ」にフォーカスし、大  
学の研究室やサークルに所属する学生が、ぼうさいこ  
くたいに出展しての感想、今後の防災への想い等未来  
に向けた力強いメッセージを発信しました(写真—9)。

それを受け、秋本敏文防災推進国民会議副議長(日  
本消防協会会長)、荏本孝久神奈川大学名誉教授(ぼ  
うさいこくたい 2023 現地情報共有・連携会議)、佐々  
木修防災推進協議会運営委員会委員長(日本損害保険  
協会業務企画部長)、蒲島郁夫熊本県知事、堀井学内  
閣府副大臣が挨拶を行い、関東大震災から 100 年の記  
念すべき大会の幕を閉じました(写真—10, 11)。

#### 5. 次回大会について

次の「ぼうさいこくたい」は、令和 6 年 10 月 19 日  
及び 20 日に熊本県で開催する予定です。ぼうさいこ  
くたいが、九州地区で開催されるのは、初めてになり  
ます。熊本県は、平成 28 年の熊本地震、令和 2 年 7  
月の九州豪雨と過去 10 年で大きな災害を 2 度も経験  
しましたが、「新しいくまもと」の実現に向け、力強い復  
旧・復興を遂げています。熊本県から、災害を教訓と  
した防災の取組、創造的復興への取組を発信すること  
で、九州そして国民全体の防災意識の向上を図る機  
会にしたいと考えています。



写真—9 クロージングセッション



写真—10 堀井副大臣による閉会挨拶



写真—11 クロージングセッション後のくまモンとの集合写真  
©2010 熊本県くまモン

#### 6. おわりに

近年、災害が頻発化、激甚化していますが、災害が  
発生したときに、その災害を自分事として捉え、「自  
分の命は自分で守る」という意識を一人ひとりに持っ  
てもらうことが大変重要です。そのためには、国民一  
人ひとりが防災に主体的に参加できるようなきっかけ  
づくりが非常に大切です。内閣府防災担当では、そうし  
たきっかけづくりを主体的に担うとともに、きっかけ  
づくりへの支援を引き続き行っていきたいと考えてい  
ます。

ぼうさいこくたい 2023 が、多くの方にとって、関  
東大震災をはじめとする過去の大災害の教訓を改めて  
学ぶきっかけとなり、防災意識や防災力の向上に寄与  
できたならば幸いです。

JCMA



ぼうさいこくたい 2023 ホームページ  
<https://bosai-kokutai.jp/2023/>

[筆者紹介]  
内閣府(防災担当)  
普及啓発・連携担当

# BILMUS (ビルマス) がもたらす制振革命

## 芝浦プロジェクト S 棟

今井克彦

近年、社会が急速に変化する中、人々が暮らす都市も機能の高度化などが進み、変化が求められている。国際競争力の強化、賑わいや回遊性などの創出、甚大化する災害への防災性、インフラや街区整備など課題は多い。都市再生特別措置法の施行や国家戦略特区制度の創設などもあり、現在各地で大型再開発が計画され、新たな「街づくり」が進められている。

多様化・複雑化する都市において、様々な用途と機能を有する超高層複合建物は大きな役割を担い再開発には欠かせない。一方、安全・安心な街づくりでは、超高層建物の地震や風に対する揺れの制御が不可欠である。建物が大型化・複雑化し、求められる性能も多様化・高度化している今、より効率的に揺れを制御するシステムが求められている。

建物自体を制振装置化する「BILMUS」は、従来とは異なる概念により揺れを半減させるシステムである。本報では BILMUS を、採用した「芝浦プロジェクト S 棟」と共に紹介する。

キーワード：超高層建物、制振システム、同調質量ダンパー、建物重量活用、長周期地震動

### 1. プロジェクト概要

芝浦プロジェクトは、区域面積約 4.7 ha、高さ約 230 m、延床面積約 550,000 m<sup>2</sup> のオフィス・ホテル・商業施設・住宅を含む、約 10 年間に及ぶ大規模複合開発である。浜松町駅を中心とした周辺地域との回遊性の強化、防災対応力の強化、舟運活性化、水辺の賑わい空間の創出、周辺環境資源との連続性を意識した質の高い都市空間の創出など、本地区のみならず東京全体のさらなる賑わいの創出と、国際競争力の向上に資する国家戦略特別区域計画の特定事業として、未来につながる街づくりを目指すものである。

建物の構成としては、S 棟・N 棟のツインタワーと 2 棟をつなぐ低層棟、外構に配された独立店舗などからなる計画である（図—1、写真—1）。

表—1 建築概要

事業主体	野村不動産(株)、東日本旅客鉄道(株)
主要用途	オフィス、商業、ホテル、共同住宅、駐車場他
建築設計	(株)横総合計画事務所、清水建設(株)一級建築士事務所
構造設計	清水建設(株)一級建築士事務所、Arup
施工	S 棟：清水建設(株)、N 棟：未定
構造	S 造 + SRC 造 + RC 造
延床面積	約 550,000 m <sup>2</sup>
階数	S 棟：地下 3 階地上 43 階建 N 棟：地下 3 階地上 45 階建
工期	S 棟：着工 2021 年 10 月、竣工 2025 年 2 月 N 棟：着工 2027 年度、竣工 2030 年度



図—1 パース左の超高層ビルが S 棟



写真—1 外観施工中写真（撮影：2023 年 9 月）

超高層タワー棟は、3層構成のツインタワーとし、ELVのバンク分けに合わせ、上層階をセットバックさせる建物形態とする。壁面が分節化されることで、周辺ビルのスケール感と調和するとともに、空が広く見える開放的な海辺景観の形成を目指している。

2024年現在施工中のS棟は、1階～34階が商業施設・オフィス、35階以上がラグジュアリークラスのホテルである（図-2）。超高層の概念を覆す視界に柱のない空間は、街とつながる境界のない低層空間（写真-2）を生み出すとともに、「空と海から得られる開放感」と「都心で働くこと」を融合させ新たな働き方「TOKYO WORKation」を提案する。開放的な眺望や快適な居住空間を実現する上層階のホテルは、最上級のパーソナルなサービスとラグジュアリーな体験を提供する。街づくりにおける多様化・複雑化する空間の創出は、超高層建物に対する要求を多岐にわたらせる。異なる用途が積層する複合施設となり、要求される空間や性能が異なり全体を統一するのが難しい中、より効率的に制振効果を発揮するシステムが求められる。S棟は制振システム「BILMUS（ビルマス）」（以下、本システムという）により、街に新たな空間や機能を創出し、未来につながる街づくりに相応しい超高

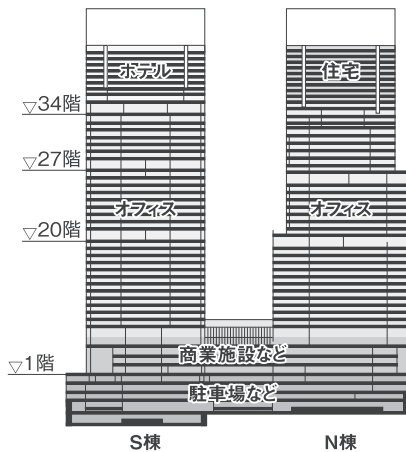


図-2 ツインタワーの用途構成



写真-2 低層施工中写真（撮影：2023年7月）

層複合建物となっている。

## 2. 本システム概要

本システムはTMD（同調質量ダンパー）の原理を応用し、建物自身の重量をマスダンパー化する制振システムである。積層ゴムやオイルダンパーなどで構成される連結部を介し、上層階をマスダンパーとして下層階に同調させることで、建物全体の応答を低減する。連結部より上部の建物の応答を低減するとともに、その動きを利用して連結部下部の応答も低減する仕組みであり、免震層より上部の建物の応答を低減する免震建物とは応答低減の概念が異なる（図-3）。連結部の設計は、TMDと同様に定点理論に基づく定点の高さを揃える剛性、定点が最大となる減衰とすることで、減衰性能を最大化することができる。この状態を最適同調と呼び、上層階と下層階の応答時の位相が最もずれた状態となる。揺れを打ち消し合うような振動性状とすることで、通常の制振と比較して減衰性能を大きく向上できる（図-4、5）。

本システムは、比較的高い位置に連結部を設置するため、上層部の揺れ、いわゆるむち振りを抑えることもできる。さらに上層・下層を独立させ、かつ上層階をマスダンパー化したシステムであることから、建物全体の耐震性能を向上させつつ上層階をRC造に切替えることができる。揺れだけでなく音や振動に対して

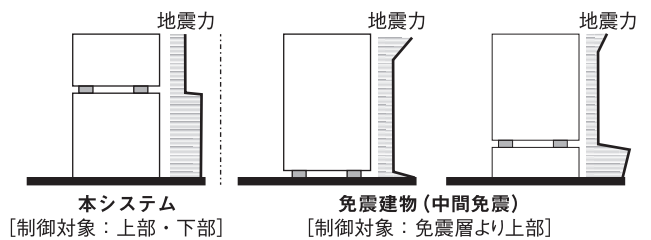


図-3 本システムと免震建物の違い

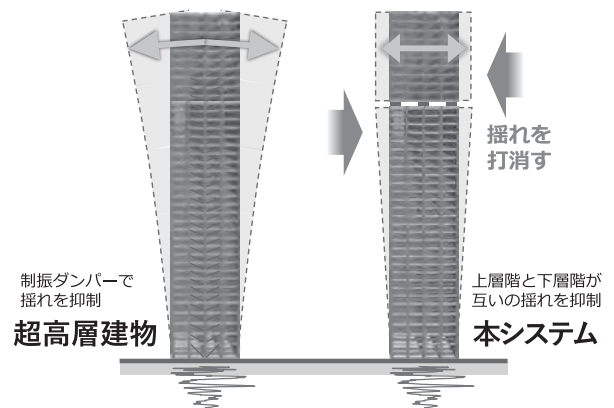
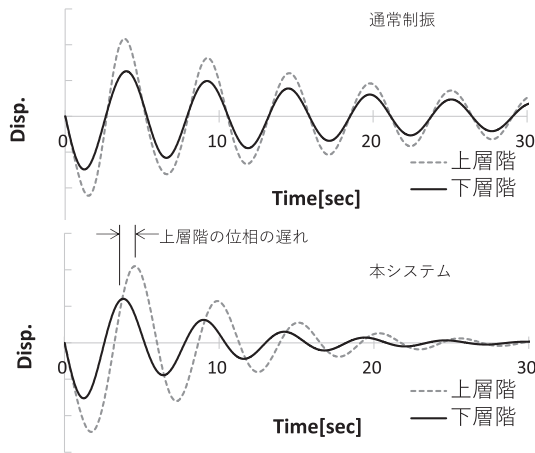


図-4 通常制振と本システムの揺れ方のイメージ



図一5 通常制振と本システムの揺れの納まり方のイメージ

も、通常の免震・制振の超高層建物では実現できない性能が可能となる。

### 3. 本システムの開発とS棟に取り入れた経緯

本建物の防災対策・災害対応能力には、被害の最小化、防災拠点化、入居テナント業務継続支援、宿泊客の支援を目的として、十分な耐震性の確保が求められた。通常、耐震性を高めるためには、各所に制振ダンパーなどを設置し、揺れを吸収させる必要がある。しかし、200 m 超クラスの超高層の場合、この制振ダンパーの必要台数が過大となり、建築計画にも影響を及ぼす。上層部の揺れ（むち振り）を抑えることが難しく、ラグジュアリーホテルが上層階に計画される複合建物では要求される空間と性能がうまく整合しない場合もある。

耐震性の向上やむち振りの対策として、建物頭頂部にマスダンパーなどの重りを載せ、揺れを打ち消す方法もあるが、スペースの確保や重り分の負担が建物にかかるなど、載せられる重りの重量＝制振効果に限界がある。

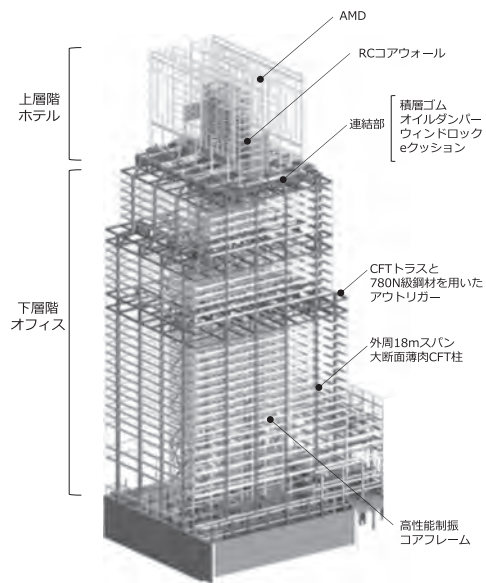
そこで、本システムを開発しS棟に採用した。下層階では高い制振効果を発揮しつつ、鉄骨数量や制振装置台数を大幅に削減することができ、開放的な眺望と有効面積の拡大を実現している。上層階では、従来の制振に対し揺れを半減させ、ホテルの家具・什器の転倒や内外装の損傷を大幅に低減するとともに、地震や強風が発生しても、ラグジュアリーホテルに相応しい居住性を確保することが可能となる。従来の超高層に比べ柱を極端に少なくしたオフィス空間の実現などにおいても、絶大な制振効果を発揮する制振システムが必要であり、本システムの採用が不可欠であった。上層階が3段階にセットバックした建物形態と空間構

成を利用し、最上部のセットバック位置に連結部を挿入することで、外観や空間を崩さず採用することができている（図一6）。

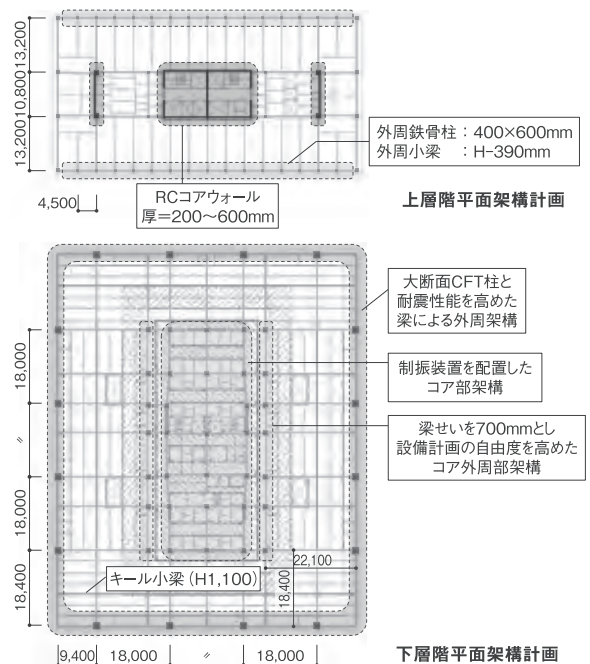
## 4. 構造架構概要

### (1) 平面架構計画（図一7）

下層階は、整形な形のセンターコアのオフィスである。外周のスパンを18 mとし、低層部で最大1,400 mm角となる大断面CFT柱で、軸力を集中して支持する。外周の柱を大断面化し、外周大梁には大地震時にも塑



図一6 S棟全体架構パース



図一7 平面架構計画（上：上層階，下：下層階） S = 1 : 2,000



性ヒンジを計画しないなど、外周架構の性能を高めることで、外周をロングスパン化したことによる建物全体のねじれ剛性の低下に配慮した。

オフィスの奥行は22.1 mであり、角部は18.4 × 9.4 mの跳ね出し架構となる。基準階の大梁せいは1,100 mmとし、外周部とコアの間に大梁と同じ梁せいのキール小梁を配置することで、床の剛性を確保し、歩行時の床振動にも対応した。

また、コア最外部空調機械室に配した大梁はせいを700 mmとし、フロア内へのダクトを梁下展開可能な自由度の高い計画とした。

上層階は、南北方向に長辺をもつ長方形平面の外周部に客室を配置したホテルである。鉄骨造のコアをホテル階はRCコアウォールに切り替えることで、コア内の振動や音を客室と遮断している。さらに、コアウォールに地震力を負担させることで、長辺方向の外周鉄骨柱を小型化し、外周梁を梁せいの小さな小梁とすることで、客室の開放性を高めた計画とした。

(2) 立面架構計画 (図-8)

3層構成で20、27、34階でセットバックする建物形態において、それぞれのセットバック階のトランスファ部材をアウトリガーとして活用することで、コアの曲げ変形を抑える架構とする。大きな軸力が作用する20階と、27階のトラス斜材はCFTとし、さらに20階ではトラスが取り付く柱のパネル部に780 N級鋼材を採用することで、剛性と耐力を確保し、上部架構を確実に支持する冗長性にも配慮した架構としている。

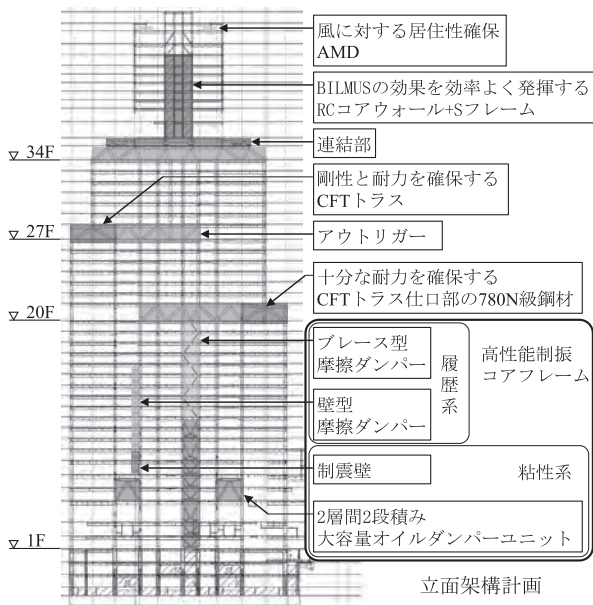


図-8 立面架構計画

最上部のセットバック階である34階の直上(地上約170 m)に連結部を設け、本システムとした。

下層階は、制振装置付ラーメン架構とし、低層部に制振装置を集中させることで、本システムと合わせて建物全体の制振効果を高めている。

上層階は、RCコアウォール付ラーメン架構とし、十分な剛性と重量を確保することで、本システムの効果を効率よく発揮させている。

(3) 制振システム

ホテル階の重量を活用した本建物の本システムは、下層階に対する上層階の質量比を約20%確保することで、大きな減衰性能を建物全体に実現している。一般に同調系の制振システムは、実際の剛性や重量のばらつきへの配慮が必要となる。本建物では定点理論に基づく最適同調に対し、剛性・減衰ともに約3倍となるように連結部を設計し、敢えて連結部のパラメータを最適同調から外すことで、ばらついた場合にも、減衰性能の急激な変動が起きないようにし、ロバスト性を確保している(図-9)。

低層階の制振システムは、粘性系ダンパーとしてシアリンク型のオイルダンパーと制振壁を採用し、履歴系ダンパーとしてブレース型と壁型の摩擦ダンパーを採用した。シアリンク型のオイルダンパーは2層間に二段積み設置することで大容量かつ効率よくエネルギーを吸収する配置とした。連結部ロック時や小さな揺れに対しては、主に低層集中制振が効果を発揮する計画としている。

本システムと低層集中制振を掛け合わせることで、小さな揺れから大きな揺れ、長周期地震などの特性の異なる地震や風に対応したシステムとなっている。

5. 構造設計クライテリア

未来につながる街づくりを担う超高層複合建物に相

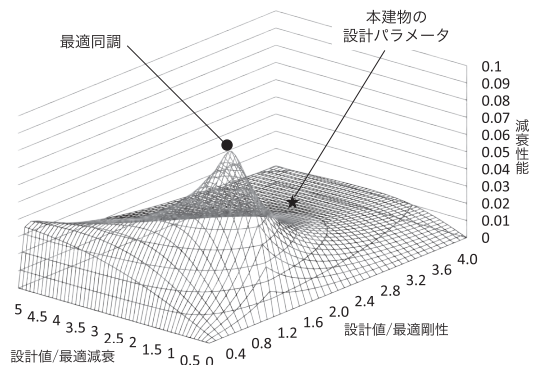
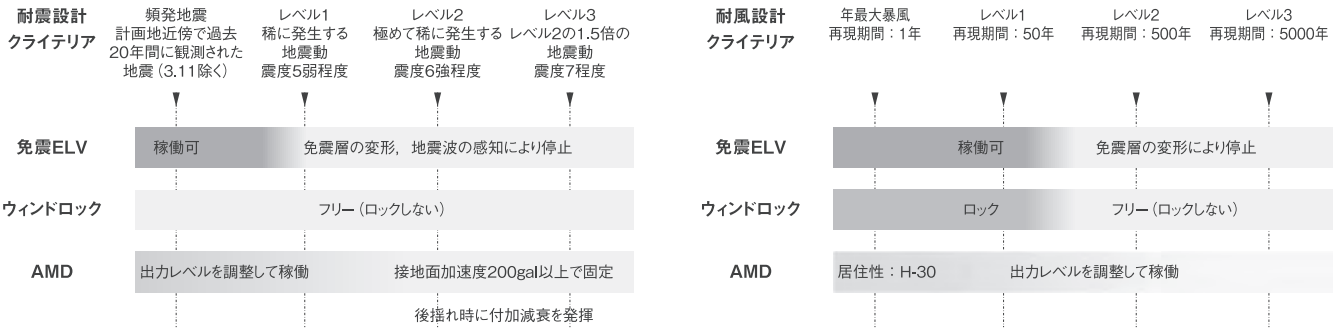


図-9 TMDの最適同調と設計パラメータ



図—10 設計クライテリア

応しい性能を確保するため、本建物では耐震・耐風性能に加え、居住性や機能性についてもクライテリアを策定した（図—10）。

地上約170mに位置する連結部を貫通するELVは、連結部の変形にレールが追従できる免震ELVを採用する。免震ELVは、連結部の水平変形に応じて稼働条件が定められている。具体的には、水平変位が20mmに達すると低速運転となり、40mmを超えると最寄り階に停止する。ラグジュアリーホテルにアクセスするこの免震ELVの稼働条件が、建物の機能性に直結するため、地震時・強風時ともに免震ELVの稼働条件を設計クライテリアに盛り込んでいる。

耐震性能としては、通常設計に用いられるレベル1、レベル2の地震動に加え、計画地近傍で過去20年間に観測された地震（東日本大震災を除く）を頻発地震と定義し、小さい地震でも建物の機能性を損なうことがないようにクライテリアを設けた。また、計画地で発生することが想定される最大級の地震をレベル3と定義し、連結部の健全性と、建物の安全性を確保するクライテリアとした。

耐風性能としては、再現期間の期待値が1年の風から、5000年の風に対してクライテリアを定め、安全性はもちろん、機能性、居住性を確保した。

### 6. 連結部の設計

上記クライテリアは、大地震などの大きな外乱に対しては連結部を変形させることで建物全体の減衰性能を向上させ、小さな外乱に対しては免震ELVを稼働させるために連結部の変形を制限するという二律背反な条件となっている。

この課題を解決しつつ、本システムの減衰付加性能も満足させる連結部は、天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、オイルダンパーに加え、強風時に連結部の変形を抑止する「ウィンドロック」、巨大地震の際に連結部の過大変形を防止する安全装置「eクッ

ション」で構成される。

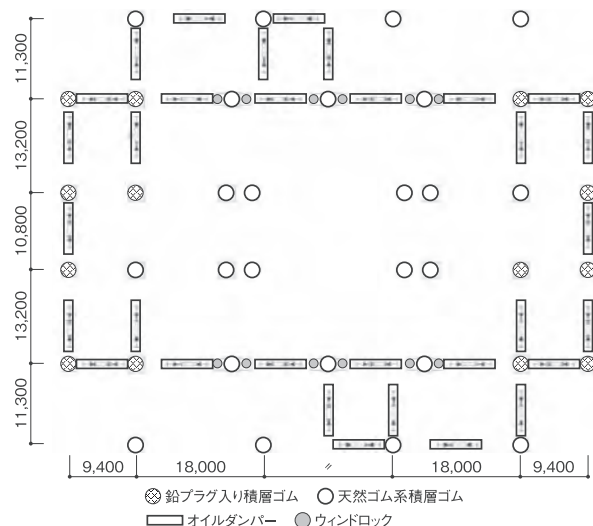
鉛プラグ入り積層ゴムは、初期剛性が高いため、策定したクライテリアに合致するが、鉛降伏後には連結部に残留変形が生じてしまう。そこで、ゴムの復元力と、鉛の残留変形のバランスからゴムと鉛の量を設計し、残りの減衰をオイルダンパーで補う計画とした（図—11）。

### 7. 本システムを実現する開発と実証実験

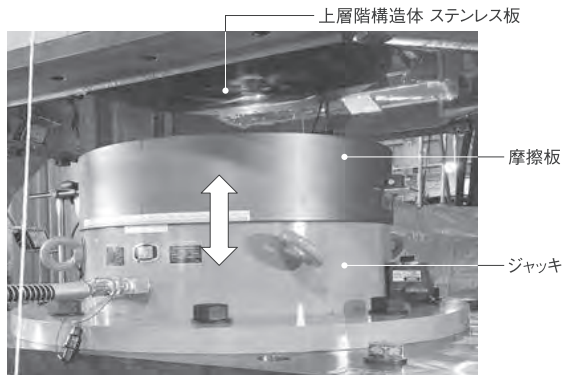
#### (1) ウィンドロック

本システムを実現するうえでの最大の課題は、強風に対する連結部の変形制御であった。強風時の連結部の変形を抑止するために新たに開発したのがウィンドロックである。ウィンドロックは油圧ジャッキで直径700mmの摩擦板を押し上げ、上層部に設けたステンレス板に押し付けることで生じる摩擦力によって、ブレーキの効果を発揮する（図—12）。

強風時のみ作動させるため、最上階に設置する風速計と、連結部の変形、低層部の地震計によって油圧ジャッキを制御する。



図—11 連結部の構成 S = 1 : 1,200



図一12 ウィンドロック

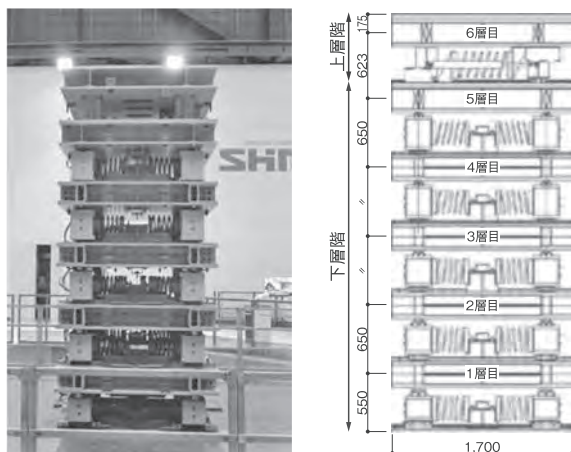
具体的には、4,000 kNの押し付け力を発揮する油圧ジャッキと、摩擦係数0.3の摩擦板で構成される。ウィンドロックを連結部に12台配置することで、再現期間50年までの強風（レベル1）に対し、免震ELVが稼働できる変形（40 mm以下）に連結部をロックする。ロック時に地震が発生した場合は、即座にジャッキの圧を抜くことで、ロックを解除する制御としている。

(2) 振動台実験

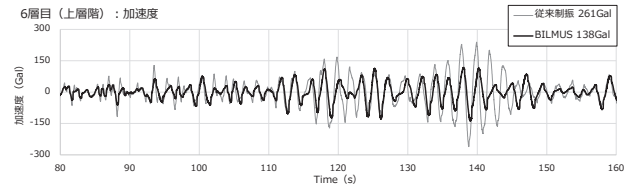
本システムを開発するにあたり、効果を検証するために、6層せん断模型による振動台実験を清水建設技術研究所の大型振動台「E-Beetle」にて行った。各層は鋼材による質量とリニアガイド・コイルばね・オイルダンパーによって構成される。最上層の6層目を上層階とし、下部の5層に対する質量比は約0.22である。

6層目に設置したコイルばねとオイルダンパーで連結部を模擬しており、比較対象とした通常制振では6層目のコイルばねの剛性を変えることにより特性の違いを表している（図一13）。

本システムでは、上層階と下層階の変形に位相差が生じ、揺れを打ち消し合うことで建物全体の応答を低減



図一13 振動台実験の6層せん断模型



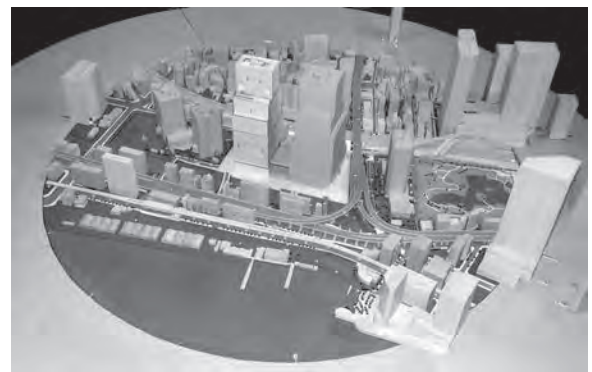
図一14 実験結果

する効果が得られた。南海トラフを想定した模擬地震動KA1に対して、通常制振に比べ上層階と下層階の応答加速度が4割以上低減することを確認した（図一14）。

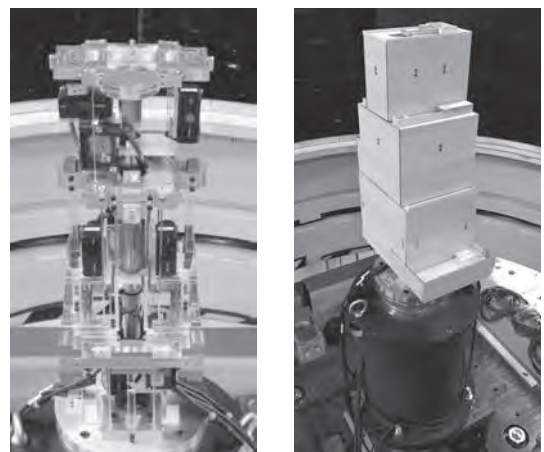
(3) 風洞実験（弾性模型による空力振動実験）

本建物は、高さ170 mに連結部を設けているため、通常の制振建物よりも周期が長く、上層で不連続に変形が大きくなる。空力振動については、免震建物においても理論式や既往の研究がないため、弾性模型による風洞実験を清水建設技術研究所の大型風洞実験棟にて行い安全性を確認した。

連結部上部の変形が不連続に大きくなる振動モードを有するため、線形の振動モードを対象とするロッキング振動模型では振動モードの再現が困難であるため、3質点系の弾性模型を用いて風洞実験を行った（図



図一15 風洞実験の様子



図一16 3質点系の弾性模型（左：内部、右：外装取付後）

— 15)。

弾性模型は、質点系の中心に剛なダイアフラムを設置し、ダイアフラム間を剛性に関する相似則を満足する板ばねで接続することにより、全体の剛性を相似する。ダイアフラムに付加質量を設置することにより質量を相似し、ダイアフラムに付加された木製の外形材により形状を再現する。減衰は支柱頂部のシリコンオイル、各層をつなぐ粘弾性シートを用いて調整した(図— 16)。

風洞実験から、設計風速 100 m/ 秒 (レベル 3 : 82 m/ 秒) を超えるあたりからやや応答が増大する傾向がみられたが、実験を行った設計風速 120 m/ 秒までは空力不安定振動時に見られる応答の急激な増加は確認されなかった。

## 8. おわりに

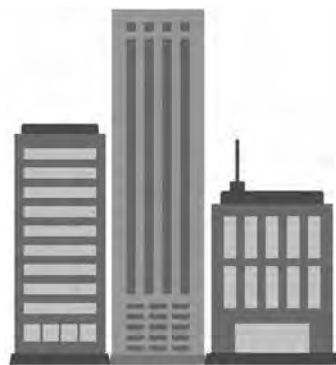
BILMUS は、地震国日本の超高層複合建物に新たな可能性を開く。東京湾岸に従来の超高層の概念を覆す本プロジェクト (S 棟) の空間が現れたとき、建物と街はつながり一人一人が居心地よく過ごせる新たな暮らしが実現する。

未来の社会に向けて、地域のレジリエンスを実現し、サステナブルな都市開発の実践に BILMUS が大きく貢献している。

JICMA

[筆者紹介]

今井 克彦 (いまい かつひこ)  
清水建設㈱  
設計本部 構造設計部 2 部



# 燃え止まり型耐火集成材「燃エンウッド」

## 中高層木造建物の実現に向けた技術開発とその適用

花井厚周

気候変動対策, 脱炭素社会の実現のため, 循環型資源である木材を用いた中高層木造建物が, いま世界の潮流である。第二次世界大戦後, 日本では, 過去の大規模な火災の教訓から燃えないまちづくりが進められ, 住宅以外の木造建物が建てられない時期が続いた。しかし, 2000年の建築基準法の改正により, 耐火木造建築が建設可能となり, 今後, 日本においても, 中高層木造建築の増加が見込まれる。本稿では中高層木造建物の実現のために必要となる耐火集成材の開発の経緯と最新の耐火集成材技術および技術を適用した事例を紹介する。

キーワード: カーボンニュートラル, 気候変動対策, 脱炭素社会, SDGs, 耐火建築物, 耐火集成材, 3時間耐火, 木現し

### 1. はじめに

#### (1) 木造建築が世界の潮流

世界各地で中高層木造建築が建設され, 大きな潮流を生みだしている。循環型資源である木材はCO<sub>2</sub>固定能力を有し, 気候変動対策・脱炭素社会・SDGs達成には欠かせない資源・材料である。この流れを受け, 日本でも中高層木造建築が注目を集めている。それは2050年カーボンニュートラルの実現へ向けた取組みのひとつであり, 日本の社会課題である森林荒廃・林業衰退に対するソリューションにもなる。日本の国土の2/3が森林であり, 戦後の拡大造林政策による植林が伐期を迎え, 国産木材需要の拡大が国の重要施策でもある。

#### (2) 日本の木造建築の変遷

かつて日本の建築物はほとんどが木造建物だった。

日本は数多くの大きな地震の発生する地域であり, また, 台風が多く発生する位置にあることから, 日本の都市部の木造建物は台風や, 関東大震災のような大地震, そして大地震後の大規模な火災などの天災により大きな被害を受けてきた(写真—1)。さらに, 第二次世界大戦の戦火により日本の都市部の木造建物の多くが消失した。

このような背景から, 火事にならないまちづくりを目指した建築基準法が1950年に作られた。これにより日本の都市部の多くは防火地域に指定され, 小規模

な建物以外は, 世界で他に類を見ない日本特有な耐火建築物が求められることとなった。その結果, 後述するが, 2000年に建築基準法が改正され, 木造でも耐火建築物として認められるようになるまでの50年間, 日本では小規模な住宅以外の木造建築を作ることができなくなった。

建築基準法の改正により, 柱・梁・壁・床・屋根・階段といった主要構造部は建物の最上階から数えた階数により表—1に示す耐火性能が必要となった。耐火性能の具体的な検証方法は, これらの主要構造部が要求される火災終了時間以降も部分的な焼失を生じず, 建物を支え続けられることを確認する手法となる。

すなわち, 日本の耐火建築物は通常の火災が終了するまでの間, 建物の倒壊や崩壊を許容しないことを求められる。



写真—1 関東大震災後の火災被害(上野山から見た浅草方面)

表一 主要構造部の耐火要求性能

主要構造部	最上階から数えた階				
	～4階以内	5～9階	10～14階	15～19階以上	20階以上
耐力壁	120分				
柱	60分	90分	120分	150分	180分
梁				120分	
床				120分	
屋根	30分				
階段					



写真一 日本最古の木造建築 法隆寺

## 2. 耐火集成材の開発

### (1) 既往の耐火集成材の技術

写真一は日本最古の木造建築物である法隆寺を示す。

日本では古くから木造建物の構造部材を仕上材で覆うことなく、露出して使うことが多いため、私たち日本人は木質材料の本来持っている香り、温もりを感じられる空間を求めることが多い。このことから、日本では木質部材を使う場合は、できる限り、木を現して使うニーズが根強くある。

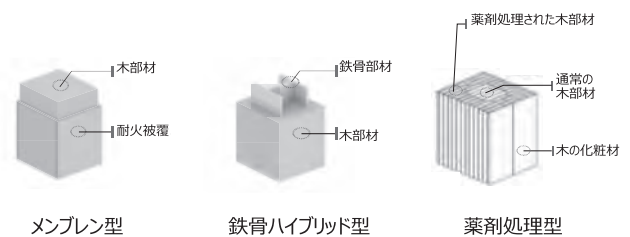
前述したが、日本では建物規模、用途により耐火建築物であることが建築基準法で求められるため、中高層木造建物の実現には耐火集成材の採用が必須となる。

耐火集成材の開発は2000年の建築基準法の改正を機に始まり、現在では多くの団体および企業が耐火集成材の技術を保有している<sup>1)</sup>。それらの耐火集成材の技術を分類すると図一に示すように大きく3種類に分けられる。

一つはメンブレン型と呼ばれ、建物の重量を支える荷重支持部をせっこうなどの耐火被覆で覆う形式である。しかしこの技術では、木造部分が耐火被覆で見えなくなるので、木材を現すためには耐火被覆の外に木質の仕上材を取り付けなければならない。

その他の耐火技術としては鉄骨ハイブリッド型がある。この技術は建物を支える鉄骨部材の外側に鉄骨部材の耐火被覆の代わりに木材を配置するものである。建物の重量を支える部材が鉄骨部材となるため、木造ではなく通常の鉄骨造として設計することとなる。

最後は薬剤処理型である。この技術は荷重支持部の外側に薬剤処理した集成材やLVL (Lamited Veneer Lumberの略 単板集成材を指す) 等の木質材料を取り付け、耐火層とするものである。



図一 耐火集成材の技術

### (2) 耐火性能検証について

前述の2000年の建築基準法の改正では、木造建物を耐火建築物とするための要求性能が明文化され、その要求性能に適合するか否かの確認方法が規定された。この要求性能は、以下の3つの項目となる。

- ①非損傷性 (火災終了後においても、建築物が倒壊してはならない)
- ②遮熱性 (非加熱面において可燃物が燃焼してはならない)
- ③遮炎性 (非加熱面へ亀裂等により火炎が生じてはならない)

これらの要求性能への適合を確認するにはルートA、ルートBおよびルートCと呼ばれる3つの方法がある。

ルートAは主要構造部に求められる要求性能を定められた試験方法で公的な試験場において耐火試験にて確認する方法である。

ルートBは建築基準法施行令108条の3および建設省告示第1433号に規定されている方法にて耐火性能を検証する方法である。

さらにルートCは前述の告示に示される方法以外の高度な専門知識により検証を行う方法である。

ここでは、ルートAにより耐火性能を確認する方法を説明する。耐火試験は図二に示すISO-834標準加熱温度曲線に従い、所定の载荷加熱を行う。加熱終了後、非加熱側温度が下降するまで炉内放置し、最

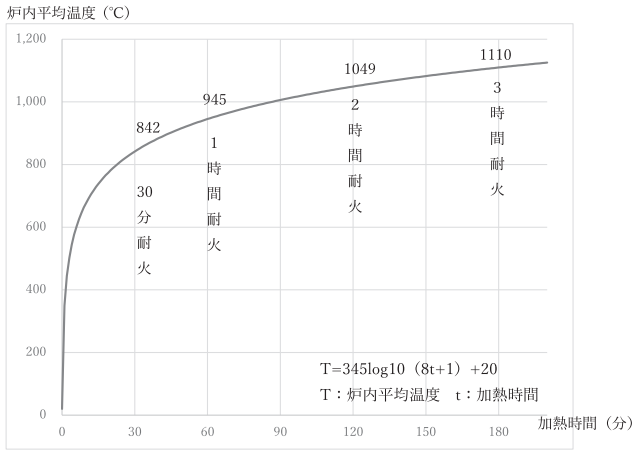


図-2 ISO-834 加熱温度曲線

最終的に要求性能を満足したかの判定を行う。

### (3) 燃え止まり型耐火集成材の開発

弊社では、木造部材であることに拘り、かつ、木を現しで使える耐火集成材を目指し、2003年から前述の耐火集成材技術とは異なる「燃え止まり型」の耐火集成材の開発を始めた。

開発する「燃え止まり型」耐火集成材は、木を現しで使いながら、火災を燃え止まらせ、荷重支持部を健全に保つために3つの層の断面構成とした(図-3)。

最外層の「燃え代層」は、火災中に炭化することで、部材内部への入熱を抑制する。「燃え止まり層」は高い熱容量を持つ材料などで、燃え代層の熱を吸収し消火する。「荷重支持部」は火災中、及び火災終了後も木材の着火温度である260°C以下を保ち、建物荷重を安全に支持する。

図-4に耐火集成材「燃エンウッド」の断面構成を示す。

なお、「燃エンウッド」の命名は日本語の「燃えない」という言葉と、英語の「エンジニアリングウッド」を合わせた造語である。

「燃え代層」は現しの木材の適用範囲に幅を持たせるため、木材の樹種は問わず、製材、集成材、LVL、CLT (Closs Laminated Timber の略 直交集成材)を採用できるようにした。

「燃え止まり層」にはモルタルまたはせっこう系セルフレベリング材(以下SL材と呼ぶ)とし、燃え代層と荷重支持部を結ぶ木材には比重の大きい木材であるカラマツに限定した。

「荷重支持部」には国産材に限定せず、外国の木材も採用できるように幅を持たせた仕様とした。

図-5に耐火集成材「燃エンウッド柱」の耐火試験の状況を示す。黒く燃え残っているのは燃え代層で

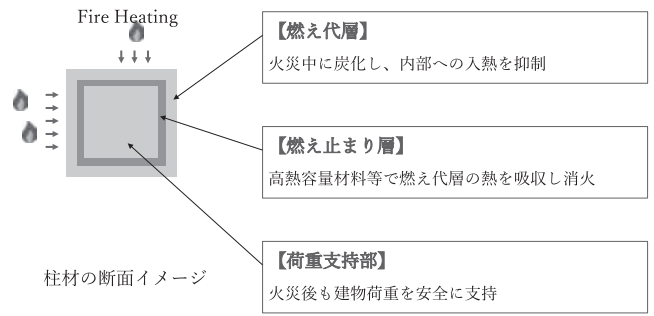


図-3 燃え止まり型耐火集成材の概念図

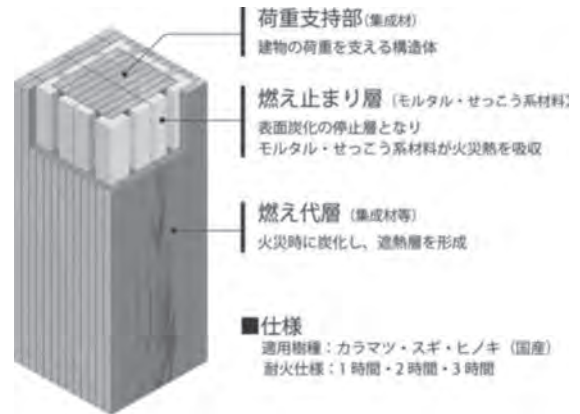


図-4 耐火集成材「燃エンウッド」の断面構成図

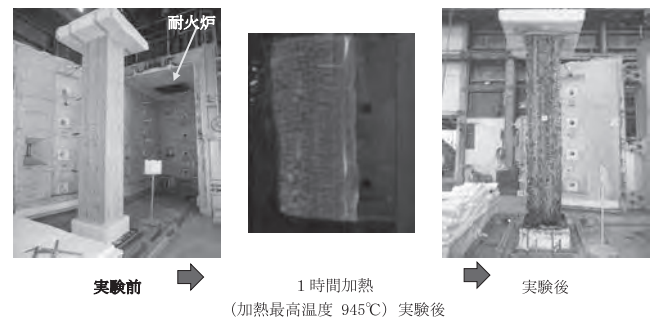


図-5 耐火集成材「燃エンウッド柱」耐火試験状況

あり、荷重支持部の温度は木材の燃焼・炭化温度260°Cに達していない。また、過度な変形も生じずに長期許容荷重を支持できたことから、耐火部材としての要求性能を満足したことが確認できた。

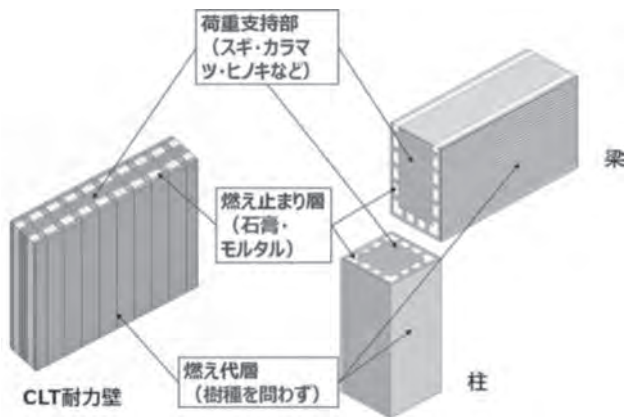
### (4) 燃え止まり型耐火集成材「燃エンウッド」シリーズ

前述の開発により、燃え止まり型耐火集成材「燃エンウッド」は2013年の竣工プロジェクトからこれまでに21件の建物に適用してきた。(そのうち1件は施工中 2023年12月末時点)。2時間耐火の「燃エンウッド」では、建物の最上階から14層までを木造とする建物の建設に限られてきたが、さらに開発を進めることにより、図-6に示す主要構造部である柱、梁及び建物自重を支える耐力壁のラインナップを揃えるこ

とができた。表—2にこれらのラインナップの国土交通大臣の認定を取得している耐火時間と建築基準法に定める建物の最上階から数えた階数により求められる耐火性能の関係を示す。

燃エンウッドの柱と梁の3時間耐火認定の取得および燃エンウッド CLT 耐力壁の2時間耐火認定を取得したことで、建物の階数に制約なく木造建物を建設することが可能となった。

次章以降にて3時間耐火集成材「燃エンウッド」および「燃エンウッド CLT 耐力壁」の技術の概要とその適用事例を紹介する。



図—6 耐火集成材「燃エンウッド」ラインナップ

表—2 耐火集成材「燃エンウッド」と建築基準法の対応表

主要構造部	最上階から数えた階				
	～4階以内	5～9階	10～14階	15～19階以上	20階以上
耐力壁	耐火時間(上段:必要耐火時間 下段:耐火認定取得時間)				
	60分	90分	120分		
	120分				
柱・梁	60分	90分	120分	150分	180分
	60分	120分		180分	

### 3. 3時間耐火集成材の開発

#### (1) 技術概要

これまでの1時間および2時間耐火の「燃エンウッド」と同様、集成材による「荷重支持部」、せっこう系SL材とカラマツ集成材で構成された「燃え止まり層」、木材の「燃え代層」の3層で構成される耐火構造の木造部材(集成材)は変わらず、「燃え止まり層」と「燃え代層」の厚さを変えることで、3時間の耐火性能を保有させることとした。

さらに、近年、耐火集成材を建物外部に露出して配置したいというニーズがあるため、「燃え代層」の外側に下地を含めて取り外し可能な「外装材」を装着可能な仕様とした。

「荷重支持部」の集成材は国産の代表的な樹種だけでなく、海外の代表的な樹種も適用可能とした。

「燃え代層」は木材の樹種は問わず、製材、集成材、LVL、CLTのいずれも適用できる仕様とした。

「外装材」は建物外部に露出させることを想定し、耐候処理した木材でも適用可能とし、かつ、将来的、既存の「外装材」を取り外し、新規の「外装材」を取り付けられる仕様とした。図—7に3時間耐火集成材「燃エンウッド」の柱断面の構成を示す。

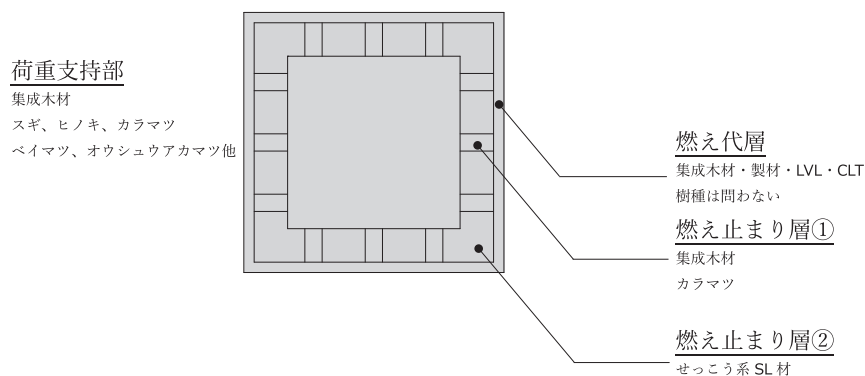
上記の仕様による耐火試験体を製作し、3時間耐火認定試験を受験することとした。

#### (2) 耐火試験結果

耐火認定試験は前述の耐火性能検証で述べた試験方法に従って行った。図—2に示すISO-834加熱温度曲線に従った3時間の載荷加熱試験の炉内最高温度は1,110℃に達し、これまでにない過酷な温度条件の試験となった。

図—8に柱の3時間耐火認定試験における荷重支持部の温度-時間関係を示す。

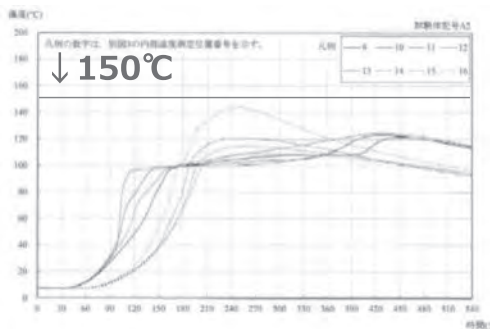
加熱開始から40分程度は「燃え代層」の燃焼によ



図—7 3時間耐火集成材「燃エンウッド」の柱断面構成図



り荷重支持部の温度上昇は生じず、その後、「燃え代層」の消失により、「燃え止まり層」が直接、火に焙られることとなり、せっこう系SL材からの結晶水の脱水が始まる。荷重支持部の温度は加熱開始から100分程度で100℃に達し、その後、100分程度の100℃停滞期間を経て、荷重支持部の温度上昇が再開する。最高温度は加熱開始から約4時間後に150℃程度となり、荷重支持部の温度測定箇所すべての温度低下を確認し、試験を終了した。荷重支持部が燃焼・炭化温度の260℃を超えず、非損傷性が確認できたので、3時間



図一八 柱の3時間耐火認定試験における荷重支持部の温度-時間関係



写真一三 3時間耐火認定試験終了後の柱試験体

の耐火性能を有していると判断できた。写真一三に3時間耐火認定試験終了後の柱試験体を示す。

#### 4. 耐火集成材「燃エンウッド CLT 耐力壁」の開発

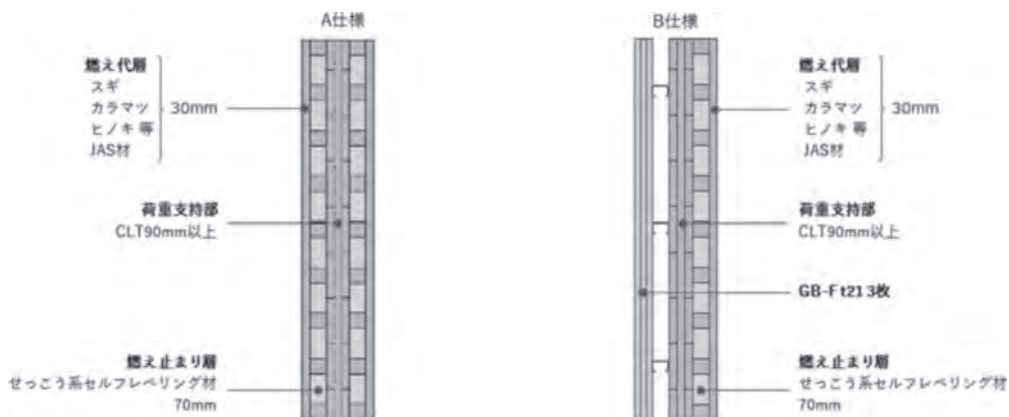
##### (1) 技術概要

柱、梁がなくCLTの壁と床で建物を構成するCLTパネル工法は2016年に建築基準法において告示化され、耐火建築物とならない低層建物を中心に普及が進んできた。しかし、近年の中高層木造市場の拡大に伴い、耐火建築物となる規模の建物においても、CLTパネル工法適用のニーズが生じてきた。このニーズに応えるため、建物の自重を支える耐力壁にも耐火性能を有した技術の確立が必要となった。なお、必要とする耐火性能は前述の表一に示す階数の制限のない2時間耐火性能に絞ることとした。

耐火集成材柱「燃エンウッド CLT 耐力壁」の「荷重支持部」はCLT壁とし、柱・梁の「燃エンウッド」と同様、「燃え止まり層」はせっこう系SL材とカラマツ集成材で構成し、「燃え代層」は木材とした3層の構成とした。

荷重支持部のCLTは厚さ90mm以上とし、「燃え代層」はスギ、ヒノキ、カラマツから樹種を選べるようにした。なお、柱と梁の耐火性能は2面加熱される荷重支持部の隅角部の温度で決定するが、壁の加熱面は1面となることから、「燃え止まり層」と「燃え代層」の厚さは柱及び梁の厚さよりも薄くすることとした。

CLTパネル工法を採用する建物の用途は、住宅、ホテル、寄宿舎などが多いため、耐火性能だけでなく住戸境壁として必要な遮音性能を有する必要がある。また、外壁としての止水性能と断熱性能も必要である。このため、2時間の耐火認定取得のほかに、遮音性能に関する大臣認定の取得も行うこととした。



図一九 「燃エンウッド CLT 耐力壁」遮音間仕切壁仕様

耐火認定試験は、遮音性能を確保できる間仕切壁の仕様および下地ごと取り換え可能な外壁仕様の2種類について実施し、それぞれ個別の耐火認定を取得することとした。図-9に燃エンウッドCLT耐力壁の遮音間仕切壁仕様を示す。

(2) 耐火試験結果<sup>2), 3)</sup>

外壁仕様の「燃エンウッドCLT耐力壁」の2時間耐火試験結果を紹介する。

図-10に外壁仕様の2時間耐火試験体図を示す。試験体は2枚のCLT壁の接合部を有したものとし、耐火性能上、不利な状況を再現した。「荷重支持部」は厚さ90mmのCLT壁とし、その外側にカラマツ集成材およびせっこう系SL材を千鳥に配した厚さ70mmの「燃え止まり層」そして厚さ30mmのスギの「燃え代層」を設けた。さらにその外側に透湿防水シートを貼り、縦横の胴縁に木製外装材を取り付けた。なお、木製外装材は密度の小さな熱処理木材とした。CLT壁の接合部の耐火層は強化せっこうボードを4枚重ね張りとし、また、非加熱側(裏面)は揚重時の重量軽減、不利側の境界条件とするためAESウールで覆った。

加熱初期の20分から75分頃までは外装材のスギ熱処理木材や「燃え代層」のスギ集成材の燃焼の影響で、炉内温度が急激に上昇したが、それ以降は、図-2に示したISO-834加熱温度曲線にほぼ合致した。図-11に「荷重支持部」CLT壁の加熱側表面の温度を示す。CLT壁の表面温度は加熱開始から100分程度で100℃に達した。その後、60分程度の100℃停滞期間を経て、荷重支持部の温度上昇が再開する。最高温度

が130℃程度まで上昇したものの、木材の燃焼・炭化温度の260℃に比べ、十分低く推移しており、CLT壁の非損傷性を確認できた。試験終了後の試験体の状況を写真-4に示す。

(3) 適用事例

建築地の福岡は豊かな自然と穏やかな風土に恵まれ、魅力ある景観と快適な生活基盤、充実した都市機能がコンパクトに整った街であり、比較的密度な計画地は細かな路地や隙間をもったヒューマンスケールの街区である。将来にわたって福岡の都市環境を持続していくために、温暖化していく地球環境に向き合った環境負荷の小さい低炭素・循環型まちづくりの新たなモデルケースとして多世代が暮らす20室の社員寮を計画した。

1階は、サテライトオフィス・ギャラリー・寮生ラウンジを半屋外の土間を介して配置し、地域に接地する新たなワークスペースとギャラリーを計画した。

インテリアは燃エンウッドCLT耐力壁を仕上げとして見せる意匠とし、力強い木質空間を提供した。

表-3に建築概要、写真-5に建物外観、写真-6に居室内観を示す。

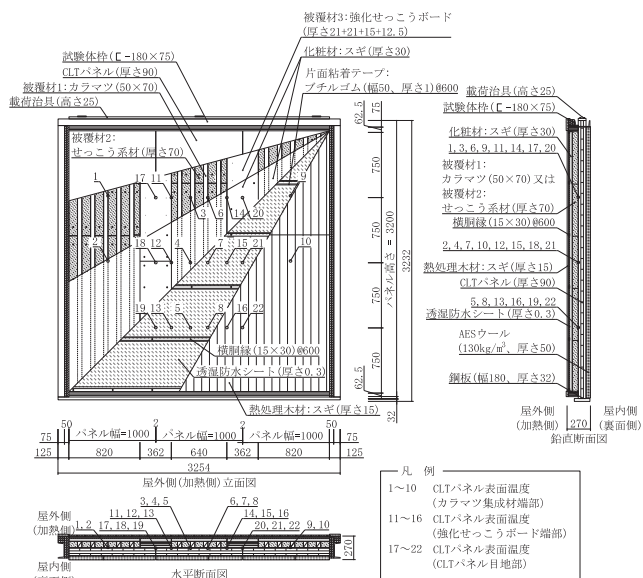


図-10 外壁仕様の2時間耐火試験体図

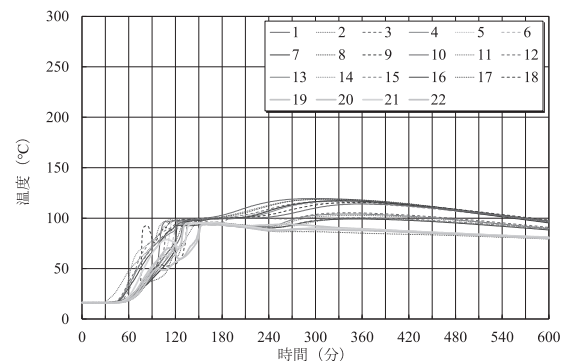


図-11 「荷重支持部」CLT壁の加熱側表面の温度

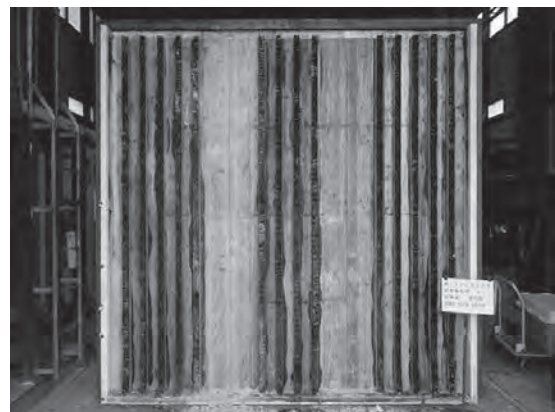


写真-4 耐火試験終了後の試験体状況

表-3 建築概要

建設地	福岡県中央区警固
設計・施工	(株)竹中工務店
用途	単身者用社宅 (20室)
階数	地上5階
	建築面積 186.1 m <sup>2</sup>
	延床面積 919.7 m <sup>2</sup>
	建物高さ 18.2 m
構造種別	CLT パネル工法 RC 造



写真-5 建物外観



写真-6 居室内観

## 5. おわりに

気候変動対策, サステナブル社会の実現そして2050年のカーボンニュートラルの実現に向け, また, 日本の社会課題である森林荒廃・林業衰退に対する解決策として木材需要の拡大を背景に, 今後, 日本でも中高層木造市場の拡大が予想される。中高層木造建築の実現には耐火集成材技術は必要不可欠であり, 今後の市場拡大に向け, 供給体制の充実を図るとともに原価低減活動が非常に重要となると考えている。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 住友林業(株): 建材マンスリー 2020年7月号, No657, [https://sfc.jp/treecycle/mokuzai\\_distro/pdf/202007.pdf](https://sfc.jp/treecycle/mokuzai_distro/pdf/202007.pdf) (参照日 2023年12月21日)
- 2) 大橋宏和, 他3名: 「耐火木造部材の耐火性能に関する研究 その18 CLT 間仕切壁(耐力壁)の2時間耐火性能」日本建築学会大会学術講演梗概集 日本建築学会 2022年9月
- 3) 花井厚周, 他3名: 「耐火木造部材の耐火性能に関する研究 その19 CLT 外壁(耐力壁)の2時間耐火性能」日本建築学会大会学術講演梗概集 日本建築学会 2022年9月

### 【筆者紹介】

花井 厚周 (はない あつなり)  
 (株)竹中工務店  
 木造・木質建築推進本部  
 副本部長



# 既存 RC 造建築物における有孔梁の鋼板補強工法 せん断性能に関する技術性能証明を取得

赤星博仁

わが国の建設分野においては大量に存在する建築ストックの活用が課題となっており、既存建築物の用途変更など、顧客の様々な要求に柔軟に対応できる構工法が求められている。それに対応する技術として鋼板補強工法を開発した。既存鉄筋コンクリート造建築物の用途変更に伴う改修工事の際に梁部材に新たに設けた開孔の周囲を補強することで、せん断性能を向上できる。本工法は、新設開孔の周囲に鋼板を固定する工法であることから、簡便な施工で効率よくせん断性能の向上が可能である。

キーワード：耐震改修工事、耐震補強、鉄筋コンクリート造、有孔梁、貫通孔、せん断

## 1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向けた取り組みが進む中、わが国の建設分野においては大量に存在する建築ストックの活用が課題となっている。建物を継続利用するための機能更新や用途変更による活用において、新設設備の配管が必要となった場合、天井高を狭めないため、既存梁部材に貫通孔を計画することが多い。その場合、梁部材においては開孔を設ける前と同等以上のせん断性能を確保する必要があり、補強が必須となる。このための補強手法として当社は有孔梁鋼板補強工法を開発した。

本報では、開発した工法の概要を紹介すると共に、鋼板補強工法のせん断性能を確認するために実施した構造実験と、その設計式の妥当性を確認した結果について報告する。

## 2. 補強部材の抵抗機構と設計式の提案

### (1) 基本事項

鋼板補強工法の概要を図-1に示す。本工法に用いる補強部材は、鋼板、それを固定するアンカーボルトおよびエポキシ樹脂で構成される。

本工法により補強された有孔梁の孔周囲せん断耐力 ( $Q_{suR}$ ) の設計式として、(1) 式を提案する。開孔の周囲において、既存 RC 部が負担するせん断力を RC 規準における修正広沢式 ( $Q_{su0}$ )<sup>1),2)</sup> である (2) 式で評価し、それに補強によるせん断耐力の増分 (以下、補強効果と称する) を加えた累加強度で孔周囲せん断

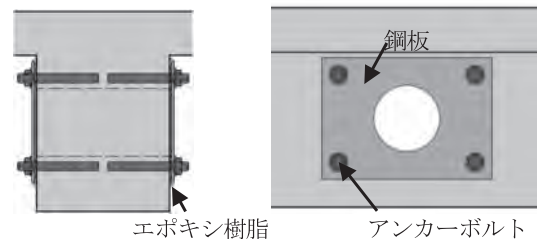


図-1 鋼板補強工法の概要

耐力を評価することとした。

$$Q_{suR} = Q_{su0} + Q_R \quad (1)$$

$Q_{su0}$  : 無補強有孔梁の孔周囲のせん断耐力 (N)

$Q_R$  : 補強によるせん断耐力の増分 (N)

$$Q_{su0} = \left\{ \frac{0.092k_u k_b (\sigma_B + 18)}{M/(Q_d) + 0.12} \left( 1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_s \cdot \sigma_{sy}} \right\} b j \quad (2)$$

$$p_s = \Sigma a_s / (b \cdot c) \quad (3)$$

$k_u$  : 有効せいによる係数

$k_b$  : 引張鉄筋比による係数

$\sigma_B$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M/(Q_d)$  : せん断スパン比

$H/D$  : 梁せいに対する開孔直径の比で、開孔比と称する

$p_s$  : 孔周囲補強筋比

$\sigma_{sy}$  : 孔周囲補強筋の規格降伏点 (N/mm<sup>2</sup>)

$b$  : 梁幅 (mm)

- $j$  : 梁の応力中心間距離 (mm)
- $\Sigma a_s$  : 有効な範囲内に配置されるあばら筋の全断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $c$  : 孔周囲補強筋の有効な範囲 (mm)

(2) 補強部材のせん断抵抗機構

梁部材にせん断力が作用した場合に、鋼板はアンカーボルトおよびエポキシ樹脂で梁部材に接合されることから、コンクリートと鋼板は一体となって抵抗する。ここで、アンカーボルト周囲の鋼板接合面における応力伝達が支配的であると仮定すると、鋼板に作用する応力は鋼板の対角線方向に引張応力が、もう一方の対角線方向に圧縮応力が生じ、開孔付近はその際を湾曲するように流れる。この鋼板に作用する応力方向を考慮して評価式を提案する。

鋼板補強におけるせん断抵抗の概念図を図-2に示す。ここでは片面の鋼板およびその接合面のせん断抵抗を示しており、補強によるせん断耐力の増分 ( $Q_R$ ) は両面の鋼板が負担する孔周囲せん断力として (4) 式により評価する。次に、鋼板が接合面せん断耐力に対して十分強固な場合、開孔上下各部の鋼板に伝達されるせん断力 ( $Q_p$ ) と1接合面あたりの接合面せん断耐力 ( $q_j$ ) の関係式は (5) 式による。なお、1接合面の範囲は、前述の鋼板に作用する応力方向を考慮して設定した。

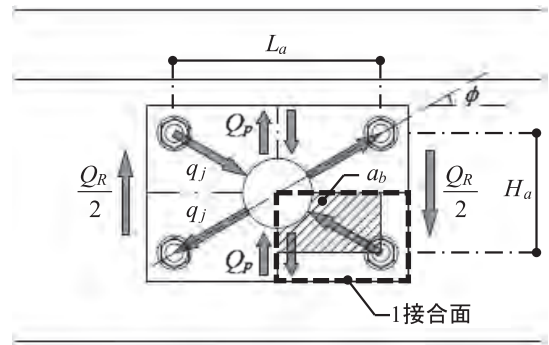


図-2 鋼板補強におけるせん断抵抗の概念

$$Q_R = 4Q_p \tag{4}$$

$$Q_p = q_j \cdot \sin \phi \tag{5}$$

$\phi$  : 梁材軸方向と接合面のせん断方向のなす角度 (図-2)

3. 構造実験による性能確認

(1) 実験概要

本工法により補強された RC 梁の孔周囲のせん断強度の確認および前章に示した抵抗機構 (図-2) の妥当性確認を目的として構造実験を行った。

試験体の諸元を表-1に示す。試験体の部材寸法は全て同一で、有孔梁の無補強試験体1体と、開孔直

表-1 試験体諸元

試験体	コンクリート強度	補強鋼板 (SS400)		アンカーボルト (SS400)		一般部あばら筋 (SD295A)		孔周囲補強筋 (SD295A)	
	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	寸法 (mm)	板厚 (mm)	本数-呼び径	$\sigma_{ay}$ (N/mm <sup>2</sup> )	配筋	$p_w$ (%)	$p_s$ (%)	
#21/3N	25.3								
#21/3a	26.7	274 × 420	4.5	4-M6	342	2-D6@100	0.21	0.12	
#21/3	23.0	274 × 386		4-M20					[ $L_a = 7d_a$ ]
#21/3A	22.5			4-M22					[貫通ボルト]
#15/3	17.1		3.2	4-M16	[ $L_a = 7d_a$ ]	307	4-D6@50	0.85	
#21/4	23.0	220 × 310							
#21/4B	22.9	274 × 386							
#21/4P	23.2		4.5	4-M20	[ $L_a = 7d_a$ ]	4-D6@45	0.94	0.6	

【試験体の呼び名の説明】 # “ $F_c$ ”/“ $D/H$ ” “因子記号” [例：#21/4B  $F_c=21\text{N/mm}^2$ ,  $H/D=1/4$ , B：接着面積大] (因子記号) N：無補強, a：アンカー径小, A：貫通アンカー, B：接着面積大, P：筋筋比大

\*因子記号がないものを、基準試験体として扱う。

【一般部配筋】 主筋：5-D19 (SD490,  $p_t=1.19\%$ )、端部あばら筋 (#21/4P 以外)：4-D6@50 (SD295A,  $p_w=0.85\%$ )、端部あばら筋 (#21/4P)：4-D6@35 (SD295A,  $p_w=1.21\%$ )

【部材寸法】  $L=1,350$  mm,  $b \times D=300 \times 450$  mm

【記号】  $L$ ：内法スパン長さ,  $b$ ：梁幅,  $D$ ：梁せい,  $H$ ：開孔直径,  $F_c$ ：コンクリートの目標圧縮強度,

$\sigma_B$ ：材料試験によるコンクリートの圧縮強度,

$\sigma_{ay}$ ：材料試験によるアンカーボルトの引張降伏強度 (0.2%オフセット法により算出),

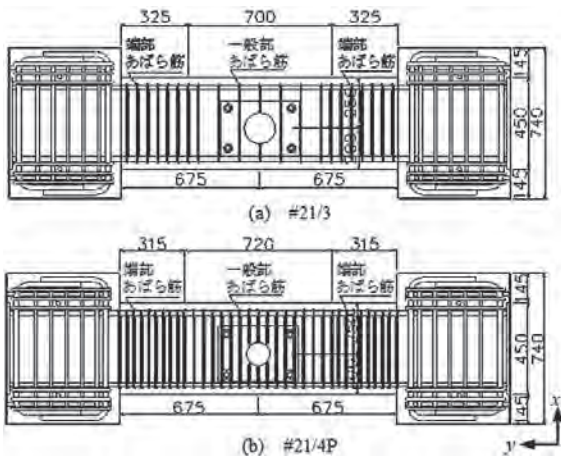
$L_a$ ：アンカーボルトの有効埋め込み長,  $d_a$ ：アンカーボルトの呼び径,  $p_w$ ：あばら筋比,  $p_s$ ：孔周囲補強筋比

【試験体スケール】  $S=1/2.5$

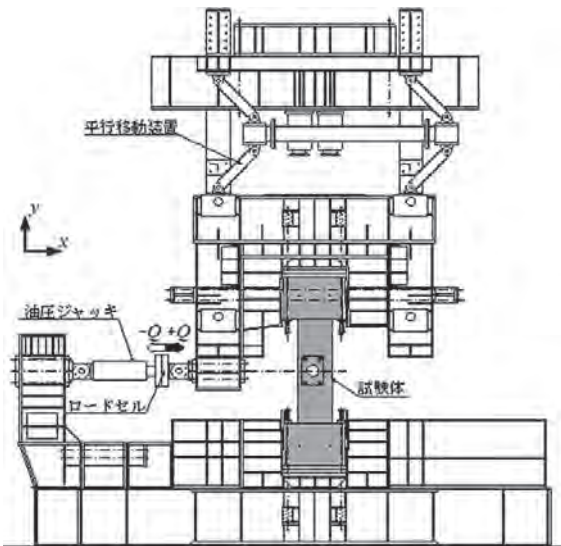
径 ( $H$ ) および孔周囲補強筋比 ( $\rho_s$ ) の異なる補強試験体7体とした。補強部材の因子としては、類似工法の実験結果<sup>3)~6)</sup> からせん断性能に寄与すると想定されるアンカーボルト径 ( $a_a$ ) および鋼板接着接合面積 ( $a_b$ ) とした。なお、エポキシ樹脂の圧縮強度および引張強度はコンクリートに比べ十分大きい材料を選定した。試験体形状と配筋の一例は図—3に示す通りである。

加力装置の概要を図—4に示す。試験体の上下支持部を建研式加力装置に固定し、押し引き型油圧ジャッキを用い試験体に逆対称変形が生ずるよう水平方向に加力した。

載荷履歴は、部材変形角  $R = \pm 1.25 \times 10^{-3} \text{rad}$  で1サイクル、 $R = \pm (2.5, 5, 7.5, 10) \times 10^{-3} \text{rad}$  でそれぞれ2サイクル後、 $R = +30 \times 10^{-3} \text{rad}$  までの一方向載荷を原則とした。なお、試験体の損傷状況を考慮し、試験体 #21/4P のみ  $R = \pm 15 \times 10^{-3} \text{rad}$  を2サイクル追加した。



図—3 試験体形状と配筋の一例



図—4 加力装置の概要

計測項目は、上記加力装置の載荷重であるせん断力と部材変形角に加え、主要部の鉄筋ひずみ、鋼板ひずみおよび各部せん断変形角とした(図—5)。せん断変形角については孔周囲と梁端の範囲に区分し、その範囲内にある対角に設置した変位計により算出した。

(2) 実験結果

(a) 梁部材としての破壊性状

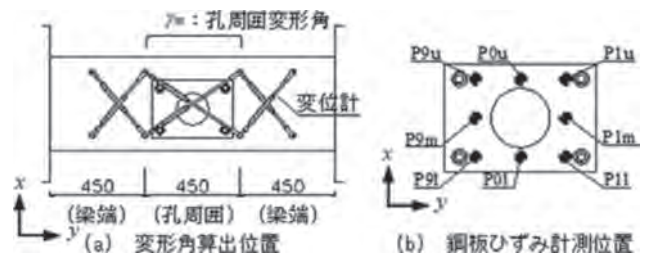
各種ひび割れ等の主な発現現象を併記した全試験体のせん断力と部材変形角の関係を図—6に示す。破壊性状の概況としては #21/4P のみが梁端の曲げ破壊であり、その他は孔周囲のせん断破壊であった。なお、#21/4P は①最大耐力時にあばら筋は降伏ひずみに達しておらず梁端主筋が降伏ひずみに達していたこと、②最大耐力以降の耐力低下が小さかったこと等の理由から曲げ破壊と判定した。ただし、最大耐力直後の負載荷及び同変形角の2サイクル目の正載荷では孔周囲補強筋が降伏ひずみに達していたことから、最大耐力をせん断破壊時の耐力として評価できると判断した。

試験体の耐力一覧を表—2に示す。構造実験による最大耐力(実験値)の他、各試験体の材料試験等に基づくデータから算出した計算値、設計値および推測値を示している。なお、無孔梁せん断耐力は開孔を設ける前の状態を想定して大野・荒川 min 式 ( $Q_{su}$ ) により算出した。

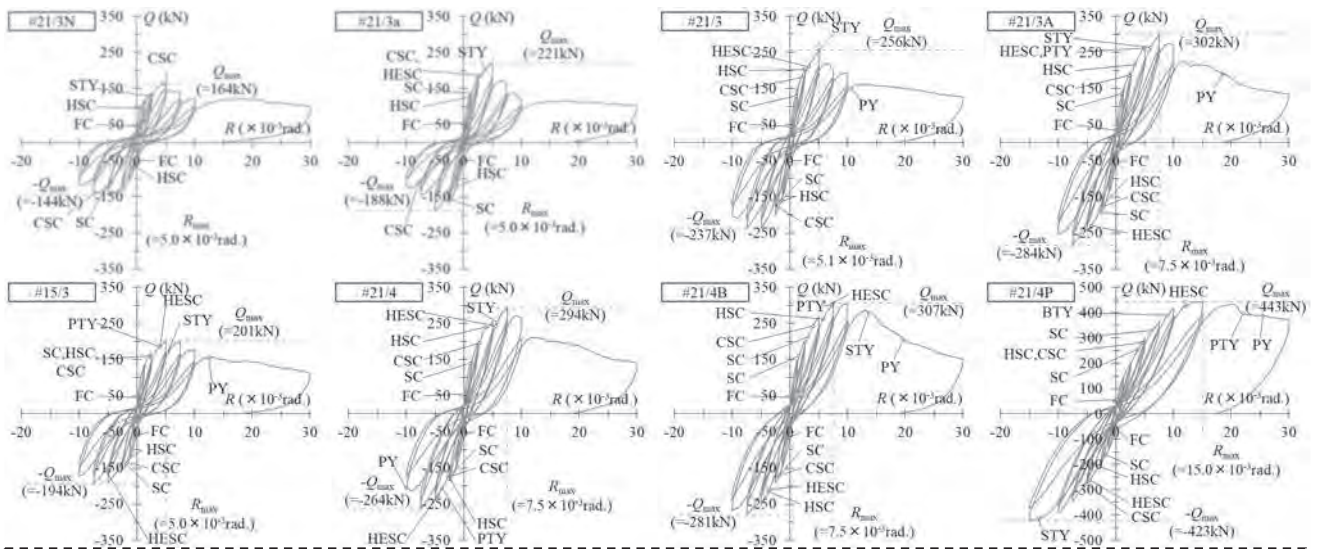
#21/3N および #21/3a 以外の試験体は無孔梁せん断耐力 ( $Q_{su}$ ) を上回るように計画した試験体である。その内、#15/3を除く試験体の最大耐力 ( $Q_{max}$ ) は  $Q_{su}$  を上回り、梁せいに対する開孔直径の比(以下、開孔比 ( $H/D$ ) と称する)が1/4の試験体はその傾向が顕著であった。

(b) 補強部材としての破壊性状

試験体の損傷状況の一例を写真—1に示す。ひび割れの発生状況および鋼板に生じる応力の変動状況に着目したところ、HESCの発生とはほぼ同タイミングに、その近傍における鋼板の主ひずみが顕著に増大する傾向を確認したことから、このHESCは鋼板直下にも連続する「アンカー近傍のせん断ひび割れ」(写



図—5 変形角および鋼板ひずみ計測の概要



【記号】

$Q_{max}$  : 最大耐力,  $R_{max}$  : 最大耐力時の部材変形角

【主な発生現象】

FC : 一般部の曲げひび割れ, SC : 一般部のせん断ひび割れ, HSC : 開孔部のひび割れ, CSC : 開孔上下部のせん断ひび割れ,

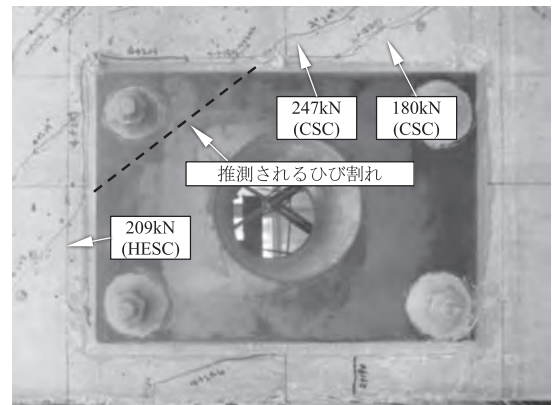
HESC : アンカー近傍のせん断ひび割れ, BTY : 主筋の降伏, STY : あばら筋の降伏, PTY : 補強鋼板開孔際の降伏, PY : 補強鋼板の降伏

図—6 せん断力と部材変形角の関係

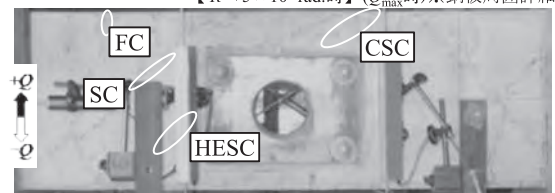
表—2 試験体の耐力一覧

試験体	無孔梁 (計算値) $Q_{su}$	有孔梁 (計算値) $Q_{su0}$	最大耐力		補強による 耐力増分	
			(実験値) $Q_{max}$	(設計値) $Q_{suR}$	(推測値) $Q_{ex,R}$	(設計値) $Q_R$
#21/3N	231.7	133.6	163.5	-	-	-
#21/3a	236.3	135.7	220.7	140.9	54.7	5.2
#21/3	223.3	129.5	255.6	195.8	97.2	66.3
#21/3A	221.7	128.7	301.6	210.3	144.1	81.5
#15/3	204.0	120.5	201.5	163.0	54.0	42.5
#21/4	223.3	147.5	294.4	218.1	113.9	70.6
#21/4B	223.0	147.3	307.5	218.2	127.2	70.9
#21/4P	322.4	230.9	443.3	341.5	160.7	110.6

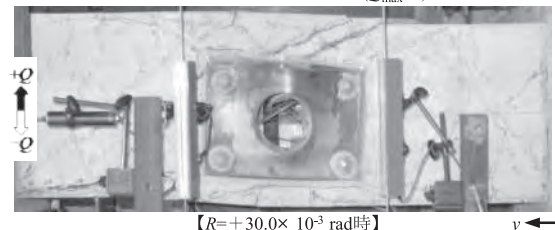
\*  $Q_{su}$ : 大野・荒川 min 式,  $Q_{su0}$ : 修正広沢式 [(2) 式による],  
 $Q_{max}$ : 加力実験による最大耐力,  $Q_{suR}$ : 補強された有孔梁の孔周囲せん断耐力 (設計式) [(1) 式による],  $Q_{ex,R}$ : 補強によるせん断耐力の増分の実験に基づく推測値 [(6) 式による],  $Q_R$ : 補強によるせん断耐力の増分 (設計式) [(4) 式による]



【 $R=+5 \times 10^{-3}$ rad.時】( $Q_{max}$ 時)鋼板周囲詳細



【 $R=+5 \times 10^{-3}$ rad.時】( $Q_{max}$ 時)



写真—1 損傷状況 (#21/3)

真—1 中の破線) であると推測した。

さらに, 4 (3) 節で後述するように HESC は  $Q_{max}$  時の 80% 以上に達した時点で発生していることから, HESC の発生およびアンカーボルト近傍接合面における応力伝達の増大が  $Q_{max}$  に大きく関与していると推測される。

したがって, 補強効果を高めるためには接合面の損傷を防止するアンカーボルトの定着力が重要と考えられる。

#### 4. 構造性能の評価

##### (1) 補強効果

本工法の補強効果を評価するにあたり, 実験結果に

基づく最大耐力時における補強効果の推測値 ( $Q_{ex,R}$ ) を (6) 式として設定した。

$$Q_{ex,R} = Q_{max} - a_{st0} \cdot Q_{st0} \quad (6)$$

$a_{st0}$  : 修正広沢式の計算値に対する実験値の比で、ここでは 1.22 とする。

ここで、鋼板のせん断抵抗の概念 (図-2) の妥当性を確認するために、最大耐力時における鋼板に伝達される相当せん断力に対する補強効果の推測値 ( $Q_{ex,R}$ ) の関係を図-7 に示す。ここで、せん断力に相当する力を (7), (8) 式に示す 45° 応力および鋼板断面積で換算した。本図によれば、各試験体ではばらつきはあるものの、 $Q_{ex,R}$  と  $\sigma \cdot \Sigma a_p$  は比較的高い相関性を示している。#15/3 については、貧調合コンクリートを使用して製作した試験体の特性上、他試験体に比べ、鉛直方向の強度のばらつきが大きく、かつ上端筋の付着割裂破壊が進行していた。このことから、無補強時孔梁のせん断耐力 ((6) 式による第 2 項) を実際より大きく評価してしまった結果、 $Q_{ex,R}$  を小さく評価したと推測される。

$$\sigma = \frac{\sigma_{(P0u)} + \sigma_{(P0l)}}{2} \quad (7)$$

$$\Sigma a_p = n_p \cdot t_p (H_p - H) \quad (8)$$

- $\sigma$  : 鋼板の梁材軸に対する 45° 方向応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\Sigma a_p$  : 開孔芯にある梁材軸直交方向の鋼板断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $n_p$  : 鋼板の枚数で、2 とする。
- $t_p$  : 鋼板の厚さ (mm)
- $H_p$  : 鋼板の高さ (mm)
- $H$  : 開孔直径 (mm)

(2) 接合面せん断耐力

1 接合面あたりの接合面せん断耐力 ( $q_j$ ) を (9) ~ (11)

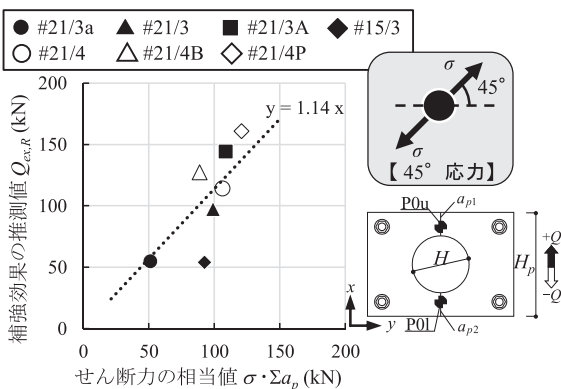


図-7 補強効果と鋼板伝達せん断力の関係

式に示す。

$$q_j = \beta_H \cdot \min(q_{j1}, q_{j2}) \quad (9)$$

$$q_{j1} = 0.7 \sigma_{ay} \cdot a_a \quad (10)$$

$$q_{j2} = 0.08 \sigma_B \cdot a_b + 0.5 \sigma_{ay} \cdot a_a \quad (11)$$

- $\beta_H$  : 開孔比に応じた低減係数で、 $H/D=1/3$  では 0.6,  $H/D=1/4$  では 1 とする。
- $\sigma_{ay}$  : アンカーの降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_B$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $a_a$  : アンカー 1 本あたりの公称断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $a_b$  : 1 接合面あたりの鋼板の有効接着面積 (mm<sup>2</sup>) (図-2)

3(2) 節 b 項で述べたように最大耐力時にはアンカー周囲の接合面が主として抵抗すること、さらには #21/4 と #21/4B の最大耐力に大きな差異がないことを踏まえると、補強効果の設計式に寄与する鋼板接着面積の項に対して上限規定を設けることが妥当と考える。そこで、接着面積が十分に確保できる場合を (10) 式で、接着面積が十分でない場合を (11) 式で評価した。なお、 $q_j$  は既往式<sup>7)~9)</sup>を参考にした。

(3) 開孔比に応じた設計式の補正

開孔比が 1/3 の試験体の最大耐力が実験当初に想定していた耐力を下回る傾向を確認したことから、開孔比による影響を検討した。

開孔比 ( $H/D$ ) による影響を検討するにあたり、梁端のせん断変形および曲げ変形成分を除外した孔周囲せん断変形成分のみを考慮し、孔周囲変形角 ( $\gamma_m$ ) を横軸とし、最大耐力に対する所定時せん断力の比 ( $Q/Q_{max}$ ) を縦軸とした各ひび割れ発生事象の推移を図-8 に示す。既報<sup>10)</sup>と同様な事象を本構造実験で

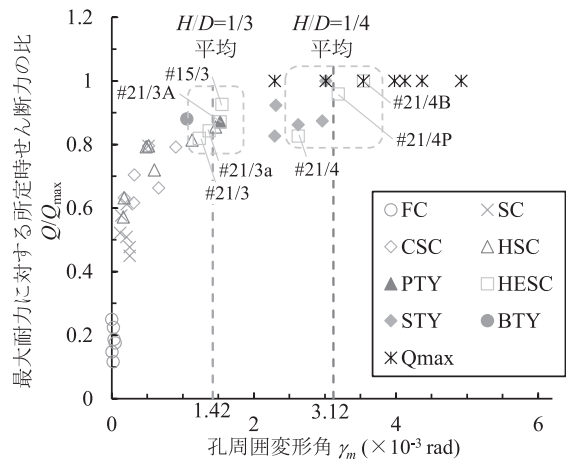


図-8 孔周囲変形角におけるひび割れの推移



も確認しており、 $H/D=1/3$ の試験体の方が $H/D=1/4$ よりも小さい $\gamma_m$ 下で各所のひび割れが発生することを確認している。特にHESCは各試験体に共通して $Q_{max}$ 時の80%以上に達した時点で発生しており、接合面の最大耐力に影響すると推測される。このことはHESCを $H/D$ 毎に区分して比較すれば明らかであり、こうしたアンカーボルト定着部の損傷度合を考慮して開孔比に応じた低減係数( $\beta_H$ )を設けることとした。

(4) 設計式の安全性

せん断耐力の設計値に対する実験値の関係を図-9に、せん断耐力の比較を表-3に示す。 $Q_{max}/Q_{suR}$ は、試験体 #21/3N (有孔梁無補強) が1.22であるのに対し、補強を施した全試験体の平均値では1.37、中央値で1.35、最小値で1.24となり、全補強試験体において修正広沢式の余裕度の平均値を上回る安全性の高い設計式であることを確認した。なお、 $Q_{max}/Q_{su}$ では中央値で1.32となり、構造実験は概ね想定通りの結

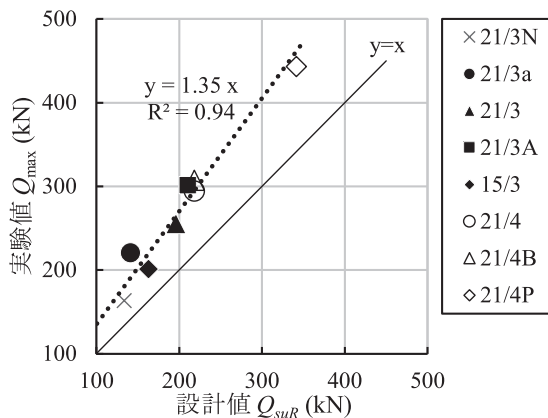


図-9 セン断耐力の設計値に対する実験値の関係

表-3 セン断耐力の比較

	補強試験体 (全7体)	
	$Q_{max}/Q_{suR}$	$Q_{max}/Q_{su}$
最大値	1.57	1.38
最小値	1.24	0.93
平均値	1.37	1.21
中央値	1.35	1.32
変動係数	7.4%	14.6%

果であった。最小値が1を下回っているが、設計上では $\beta_H$ を設けることで十分安全側の評価となる。

5. おわりに

既存 RC 造の建築物に適用する有孔梁の鋼板補強工法を考案し、構造実験によりせん断耐力の評価式の妥当性を確認した。これにより、開孔を設ける前の梁部材と同等以上のせん断性能を付与できる技術を確認した。本工法は、新たに設けられた開孔の周囲に鋼板を固定する工法であることから、簡便な施工で効率よく、せん断性能の向上が可能である。

本技術については、(一財)日本建築総合試験所より建築技術性能証明を取得している。



《参考文献》

- 1) (一社)日本建築学会, 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」, 2018
- 2) 広沢雅也, 清水 泰, 「鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度と靱性」, 建築雑誌, 3月号, 1979
- 3) 洪市克彦, 増田安彦, 「既存鉄筋コンクリート造躯体の新設貫通孔に対する補強技術」, 大林組技術研究所報, No. 81, 2017
- 4) 白井和喜, 勝俣英雄他, 「既存鉄筋コンクリート梁の新設貫通孔補強に関する実験的研究」, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No. 2, 2005
- 5) 津司優子, 東端泰夫他, 「既存鉄筋コンクリート梁の鉄板貼付による開口補強法の実験的研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.478-481, 1995
- 6) 中澤敏樹, 「既存鉄筋コンクリート梁の開孔補強法に関する実験研究」, 浅沼組技術研究所報, No.19, 2007
- 7) (一財)日本建築防災協会, 「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説」, 2017
- 8) (社)プレハブ建築協会, 「プレキャスト建築技術集成 第1編 プレキャスト建築総論」, 2003
- 9) 小宮敏明, 益尾 潔, 「鉄骨増設プレース補強用の接着接合部および間接接合部の終局耐力」, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 3, 2000
- 10) 松下清夫, 上村克郎, 「鉄筋コンクリート有孔ばりに関する研究: その6-円孔をもつ鉄筋軽量コンクリート有孔ばりの小形試験体実験」, 日本建築学会論文報告集, 第66号, 1960

【筆者紹介】

赤星 博仁 (あかほし ひろと)  
 (株)奥村組  
 技術本部 技術研究所



# 浮遊ケーソンの動揺低減技術の実海域実験

倉原 義之介・武田 将 英

防波堤等に用いられるケーソンの曳航・据付作業は、波浪の影響を受けやすい工種のひとつである。特に、波の静穏な日が少ない外洋では、波の周期と同調して浮遊ケーソンが大きく動揺する問題がある。著者らは、浮遊ケーソンの波浪による動揺の低減技術として、簡単な直方体型の薄い Flume 式減揺タンクをケーソン天端に直交する形で上下2段に設置し、タンク内の水の移動によってケーソンの回転軸方向の動揺低減を図ることを提案している。本報では、茨城港常陸那珂港区で実物の巨大ケーソン（8,000 t級）に減揺タンクを搭載し、実海域における不規則波中での浮遊ケーソンの動揺低減効果を確認したので、ここに報告する。

キーワード：ケーソン, 浮遊曳航, 動揺低減, 減揺タンク, 実海域実験

## 1. はじめに

我が国では、港の中に大きな波が侵入してくることを防ぐための防波堤や、船を係留し荷揚げするための岸壁などの大型港湾構造物は、「ケーソン」と呼ばれる大きな箱（函体）で構築されることが多い。一般的なケーソンは、鉄筋コンクリート、鉄鋼、これらのハイブリッドのいずれかで構成され、主に陸上のケーソンヤードで製作される。製作後のケーソンは、起重機船で吊られた状態、もしくは海に浮かべられた状態で設置場所まで運搬される。このうち、海に浮かべられた状態のケーソンは、「浮遊ケーソン」と呼ばれ、設置場所までタグボート（曳船）で曳航される。その後、ケーソン内部に注水を行ってケーソンの喫水を下げていき、海底に予め築造された捨石基礎の上へ設置される（設置のことを「据付」と呼ぶ）。

この浮遊ケーソンの曳航・据付作業は、波浪の影響を受けやすい工種のひとつである。特に、波の静穏な日が少ない外洋では、波の周期と同調して浮遊ケーソンが大きく動揺する問題がある。図-1に、鹿島港（茨城県）における浮遊ケーソン（2,000 t級）の動揺の状況を示す。この日は、有義波周期約 8 s、有義波高 0.5 ~ 0.6 m と、据付日の中でも非常に波の静穏な日であった。ところが、浮遊ケーソンは、波と同調（共振）を起こして Roll と Pitch の回転運動（図-2）が大きくなり、ケーソンの端では、人の身長ほどの上下方向の動揺が不規則に発生していた。この浮遊ケーソンの動



図-1 浮遊ケーソン（2,000 t級）の動揺

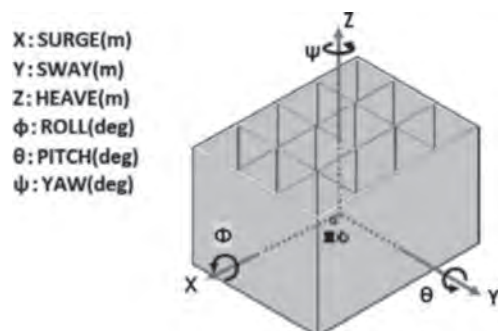


図-2 ケーソンの6自由度の運動

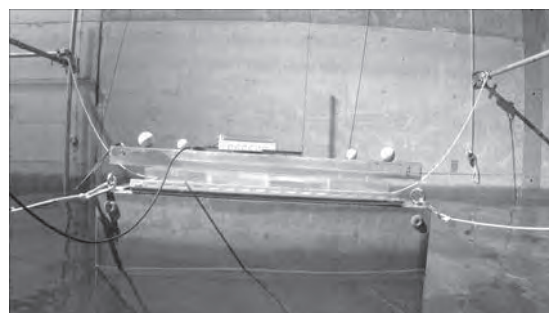
揺がより大きくなると、作業員の海中転落、ワイヤー破断によるはねられ、ケーソン下端との接触による捨石基礎やケーソンそのものの破損などの災害の発生率が高まる。波高が大きくなると、それに比例してケーソンの動揺も大きくなるため、最悪の場合にはケーソンの沈没にもつながる。さらに、ケーソンの動揺は、ケーソンの据付精度や施工の可否（稼働率）にも大きな影響を及ぼす。そのため、浮遊ケーソンの効果的な動揺低減対策が望まれている。

そこで、著者らは、浮遊ケーソンの動揺のうち、回転運動である Roll と Pitch を抑えるために、薄い Flume 式（直方体）の減揺タンクをケーソン天端に直交する形で上下2段に設置する方法を提案し、これまでに室内水理実験（小規模、大規模）と数値解析により、その効果を確認してきている<sup>1)~8)</sup>。本報では、茨城港常陸那珂港区で実物の巨大ケーソン(8,000 t 級)に減揺タンクを搭載し、実海域における不規則波中での浮遊ケーソンの動揺低減効果を確認したので、ここに報告する。

## 2. 減揺タンクの原理

本研究における減揺タンクは、ケーソンの幅と長さ方向に渡る矩形タンクであり、それぞれの内部の水の動きで Roll（幅方向の回転）や Pitch（長さ方向の回転）を減少させようとするものである。Roll を例に挙げると、その原理は次の通りである。減揺タンク内の流体の動きとケーソンの Roll は位相差を持つ。減揺タンク内の流体が動くとき、その重量に起因する回転モーメントが発生し、この回転モーメントとケーソン動揺の位相差が $-90^\circ$  となるとき、ケーソンの Roll を減少させる方向に作用する。Pitch も同様である。

図-3 に、大規模実験（縮尺 1/15）における波浪中のケーソンの Roll と減揺タンク内の水の動きを示す。図のケーソンは、位相角が $+90^\circ \sim 0^\circ \sim -90^\circ$  の順に反時計回りの Roll 回転をしている状況である。この Roll に対しては、上段にある減揺タンク内の水（色の濃い部分）の動きが動揺を減少させる効果をもつ。ケーソンの Roll の位相角が $0^\circ$  のとき（図-3 (b)）に、減揺タンク内の水が右側に移動していると、 $-90^\circ$  の位相となる（図-3 (b) の位相差は $-90^\circ$  より若干大きい）。この水の重量によって時計回りの回転モーメントが生じ、反時計回りに回転しようとするケーソンを抑え込む形になり、浮遊ケーソンの Roll が小さくなる。



(a) ケーソンの Roll 位相角 $+90^\circ$



(b) ケーソンの Roll 位相角 $0^\circ$



(c) ケーソンの Roll 位相角 $-90^\circ$

図-3 ケーソンの Roll と減揺タンク内の水の動き

## 3. 実海域実験

### (1) 実験概要

茨城港常陸那珂港区で東防波堤の延伸に用いられる実物の巨大ケーソン（8,000 t 級）を用いて、2022 年 7 月 31 日、8 月 3 日の 2 日間に、実海域における不規則波中での減揺タンクによる浮遊ケーソンの動揺低減効果を確認する実験を行った。実海域実験は、国土交通省関東地方整備局の実海域実験場提供システムの適用を受け、茨城港常陸那珂港区を管理する茨城県への水域占用許可申請、茨城海上保安部への作業許可申請を行い、港湾利用者との調整しながら実施した。

本実験で用いたケーソンは、2021 年度に製作され、据付まで港内に仮置中のものである。長さ 28.7 m、幅 24.3 m、高さ 24.5 m の質量 7,927 t の RC 製の矩形ケーソンであり、国内でも最大級の大きさである。本実験では、ケーソン内にバラスト水を注水してケーソンの喫水を 15.0 m とした。これは、最もケーソンの動揺が問題となるであろう、捨石基礎への進入時の喫

水を想定している。この喫水での、ケーソン函体の計算上の固有周期は、Rollが13.7s、Pitchが12.7sである。ケーソンの天端に設置した減揺タンクは、図-4に示すように上段にRoll用が6本、下段にPitch用が5本である。図-5に示すように仮設鋼材を主要部材として、陸上ヤードで組立てた。長さはRoll用が18.4m、Pitch用が27.4mで、どちらも幅が1.7m、高さが0.6mである。減揺タンクを、300t吊の起重機船に積み込み、ケーソン仮置場所(図-6)まで海上運搬後、ケーソン上に設置・固定した。実験ではタンク内の水の動きが分かるように上部を開放した。

実験海域実験の方法を図-7に示す。最初に、減揺タンク内の水がない状態(減揺タンクなしに相当)

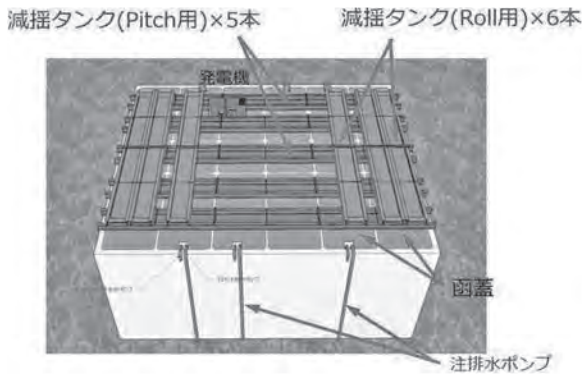


図-4 ケーソンおよび減揺タンク概要



図-5 減揺タンク

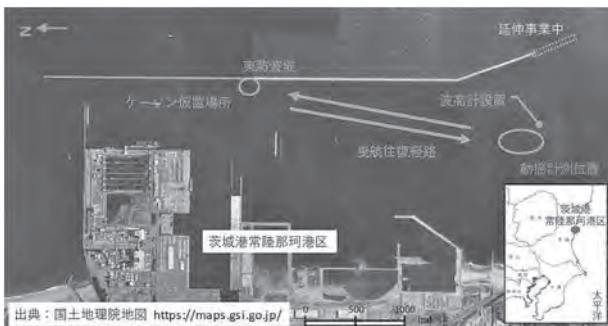


図-6 実海域実験場所

での実験を行った。図-6のケーソン仮置場所(波がなく静穏な場所)から動揺計測位置(防波堤の外から波が侵入してくる場所)まで浮遊ケーソンを曳航した(図-7(a))。動揺計測位置では、ケーソンの動揺に影響しないよう、曳船とケーソンを結ぶ曳航索を弛ませた状態(図-8)で、ケーソン正面から波を受けてPitchが大きくなるように、ケーソンを浮遊させた(図-7(b))。次に、減揺タンク内に注水を行った状態(減揺タンクあり)で、同様に浮遊させた(図-7(c))。最後に、動揺計測位置からケーソン仮置場所まで浮遊ケーソンを曳航した。減揺タンクへの注水量は、タンク内の水深で調整を行った。1日目が0.1,

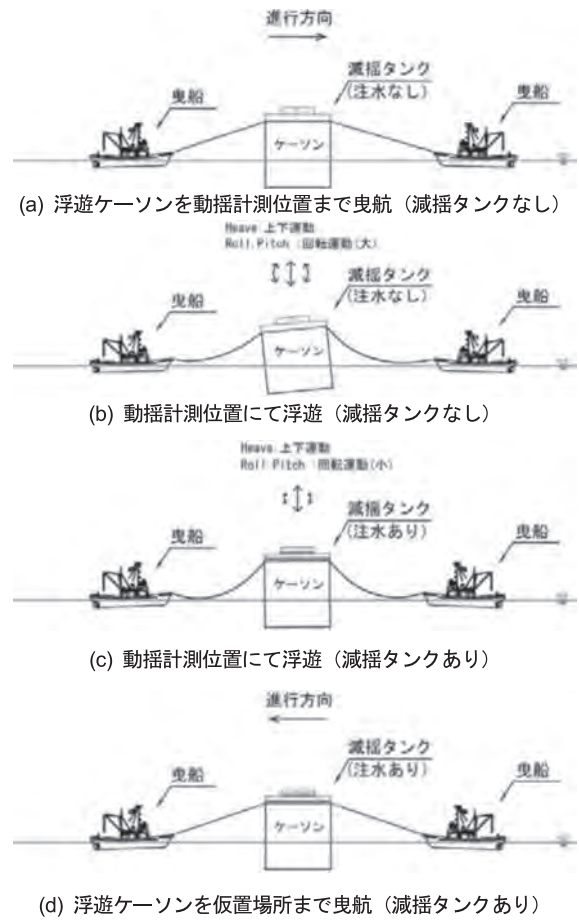


図-7 実海域実験の方法

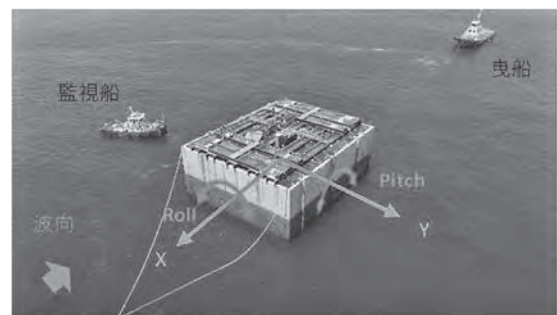


図-8 動揺計測位置における実験状況

0.2, 0.25 m と段階的にタンク水深を大きくしたのに対し、2日目はタンク水深 0.25 m のみとした。それぞれのタンク水深において、30 分間の動揺計測ができるようケーソンを浮遊させた。

実験中における浮遊ケーソンの動揺は、2種類の方法で計測を行った。1つ目はシリコンセンシングシステムズジャパン社製の姿勢角検出器 AMU-lite を用いて、Roll, Pitch, Yaw を 10 Hz で計測した。2つ目は、RTK-GPS を用いて、ケーソン 4 隅の 3ヶ所の座標を 2 Hz で取得した。計測した 3 点の座標から、ケーソンの重心位置と Roll, Pitch, Yaw を計算した。AMU-lite と RTK-GPS の動揺は、ほぼ一致したことから、本論では AMU-lite による動揺量を採用した。

また、動揺計測地点近くの海底に超音波式波高計を設置して、5 Hz で水面変動を取得した。得られた水面変動データを 20 分間毎に分割し、有義波高、有義波周期を求めた。実験中の動揺計測位置における波浪の代表値を表 1 に示す。1日目、2日目ともに、茨城港常陸那珂港区としては波高が低く穏やかな日であったが、若干の周期の長い波（うねり）が存在している状況であった。

(2) 実験結果

波浪中におけるケーソンの動揺を図 9、曳航中におけるケーソンの動揺を図 10 に示す。これらは、減揺タンクなしと減揺タンクあり（タンク水深 0.25 m）における 1 日目の計測結果である。

最初に、波浪中における減揺タンクによる浮遊ケーソンの動揺低減について述べる。前述の通り、波浪中では Pitch による動揺が卓越するようにケーソンを配置したため、図 9 (a) の Roll は、Pitch に比べるとかなり小さく、減揺タンクの有無による違いはほとんどみられなかった。図 9 (b) の Pitch は、減揺タンクなしでは、波浪と共振して Pitch の振幅が 2 ~ 3 倍程度大きくなる時間が見られた。その一方で、減揺タンクありでは、減揺タンクなしのような共振による Pitch の振幅増大は見られず、全体的に Pitch が小さく抑えられることを確認できた。表 1 に示すように、波浪中の実験では、同一の実験日であっても計測時間帯が異なるため、波浪条件に若干の差異が生じる。そこで、減揺タンクの設置に伴う動揺低減率を適切に評価するため、計測時間中の Pitch の有義値をそのときの有義波高で除した Pitch\* を算出した。同一の実験日における Pitch\* から減揺タンクによる動揺低減率を求め、これらを表 2 に示した。減揺タンクによる Pitch の動揺低減率は、1 日目が 37%、2 日目が 29% となった。

表 1 実験中の動揺計測位置における波浪

実験日	ケース	減揺タンク	有義波高	有義波周期
1 日目	2	なし	0.40 m	7.4 s
	5	あり	0.42 m	7.0 s
2 日目	8	あり	0.25 m	6.1 s
	9	なし	0.24 m	6.0 s

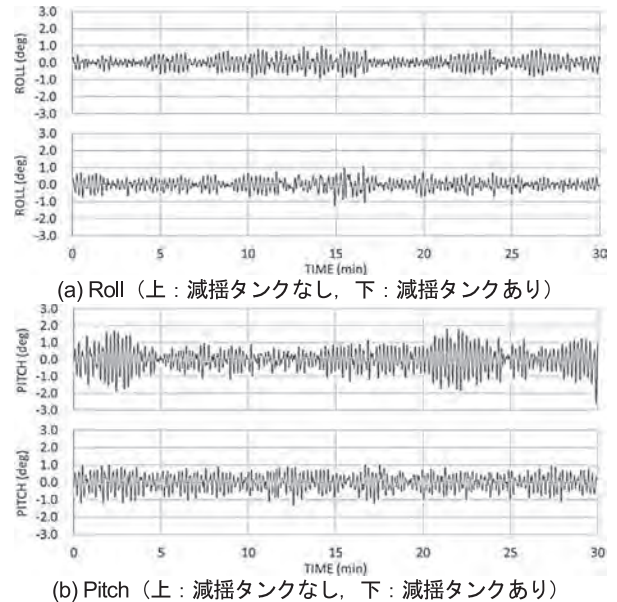


図 9 波浪中におけるケーソン動揺の時系列

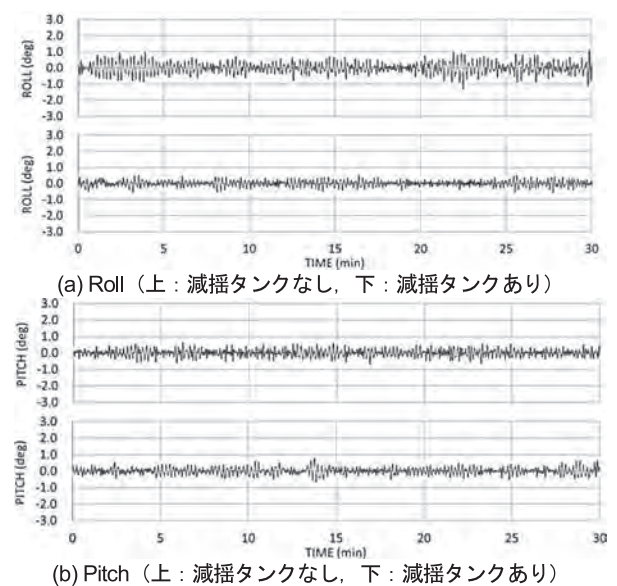


図 10 曳航中におけるケーソン動揺の時系列

次に、曳航中における減揺タンクによる浮遊ケーソンの動揺低減について述べる。曳航中のケーソンは防波堤背後に位置しており、波の作用は小さかった。そのため、ここでは波による評価は行わない。図 10 から、曳航中のケーソンは、減揺タンクなしの状態では、曳航方向と直角の向きの Roll が卓越していることが分かる。この時の Roll の周期は約 13 s で、浮遊ケーソンの Roll の固有周期 13.7 s とほぼ一致した。図 10 (a) の減揺タンクな

表一 2 波浪中における Pitch\*と動揺低減率

実験日	ケース	減揺タンク	Pitch*	動揺低減率
1日目	2	なし	6.08°/m	37%
	5	あり	3.81°/m	
2日目	9	なし	5.85°/m	29%
	8	あり	4.16°/m	

表一 3 曳航中における Rollと動揺低減率

実験日	ケース	減揺タンク	Roll	動揺低減率
1日目	1	なし	1.22°	31%
	6	あり	0.85°	
2日目	10	なし	0.95°	29%
	7	あり	0.67°	

しの Roll は、図一 9 (b) の Pitch と同様に、波浪と共振して Roll の振幅が 2～3 倍程度大きくなる時間が見られた。その一方で、減揺タンクありでは、減揺タンクなしのような共振による Roll の振幅増大は見られず、全体的に Roll が小さく抑えられることを確認できた。図一 10 (b) の Pitch は、Roll に比べるとかなり小さく、減揺タンクの有無による違いはほとんどみられなかった。同一の実験日における Roll から減揺タンクによる動揺低減率を求め、これらを表一 3 に示した。減揺タンクによる Roll の動揺低減率は、1 日目が 31%、2 日目が 29% となった。

以上より、波浪中と曳航中のいずれにおいても、著者らの提案する減揺タンクによる浮遊ケーソンの Roll と Pitch に対する動揺低減効果を実海域実験によって確認できた。

#### 4. おわりに

防波堤等に用いられるケーソンの曳航・据付作業は、波浪の影響を受けやすい工種のひとつである。特に、波の静穏な日が少ない外洋では、波の周期と同調して浮遊ケーソンが大きく動揺する問題がある。著者らは、浮遊ケーソンの波浪による動揺の低減技術として、簡単な直方体型の Flume 式減揺タンクをケーソン天端に直交する形で設置し、タンク内の水の移動によってケーソンの回転運動である Roll と Pitch の低減を図ることを提案している。本報では、茨城港常陸那珂港で実物の巨大ケーソン (8,000 t 級) に減揺タンクを搭載し、実海域における不規則波中での浮遊ケーソンの動揺低減効果を確認した。

本技術によって、浮遊ケーソンの曳航・据付作業の安全性が向上するため、波の静穏な日が少ない外洋に面した港湾や長距離曳航が必要となる離島港湾で特に効果を発揮すると考える。また、実績を積んでいくことによって、将来的にはケーソン据付作業の稼働率の

改善 (荒天による待機日減少)、ケーソンの自動据付技術への応用などが期待される。

#### 謝 辞

本研究は、(国研) 海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所の委託研究として実施した革新的社会資本整備研究開発推進事業「浮遊ケーソンの動揺低減技術の研究開発」の実験結果を使用した。また、実海域実験に当たっては、国土交通省港湾局、国土交通省関東地方整備局、鹿島港湾・空港整備事務所、茨城港出張所、茨城県土木部港湾課、茨城港湾事務所、茨城海上保安部、鹿島海上保安署の皆様にはお世話になった。ここに記して関係各位に謝意を示す。

JICMA

#### 【参考文献】

- 1) 江口三希子, 武田将英, 岩本浩明, 松田信彦: 減揺タンクを用いた浮遊ケーソンの動揺特性に関する自由動揺実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No. 2, pp.I\_979-I\_984, 2017.
- 2) 江口三希子, 武田将英, 倉原義之介, 松田信彦, 西山大和: 減揺タンクを搭載した浮遊ケーソンの波浪中動揺低減に関する水理実験, 土木学会第 73 回年次学術講演会, No.II-175, pp.349-350, 2018.
- 3) 中村友昭, 大沼史都, 趙容桓, 水谷法美, 江口三希子, 倉原義之介, 武田将英: 浮遊ケーソンの動揺に与える減揺タンクの効果とその簡易的な評価手法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 75, No.2, pp.I\_403-I\_408, 2019.
- 4) 中村友昭, 竹山俊介, 白井開斗, 趙容桓, 水谷法美, 倉原義之介, 武田将英: 減揺タンク付浮遊ケーソンの動揺に与える波浪諸元の影響に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.78, No.2, pp.I\_253-I\_258, 2022.
- 5) 倉原義之介, 武田将英, 原知聡, 中村友昭, 水谷法美: 減揺タンクを用いた浮遊ケーソンの動揺低減に関する数値解析手法の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.78, No.2, pp.I\_259-I\_264, 2022.
- 6) 倉原義之介, 武田将英, 原知聡, 中村友昭, 水谷法美: 不規則波中における浮遊ケーソンの動揺および減揺タンクを用いた動揺低減効果の検討, 土木学会論文集, Vol.79, No.17, 23-17121, 2023.
- 7) 倉原義之介, 平林隆, 八木久貴, 武田将英, 原知聡, 中村友昭, 水谷法美: 実海域における減揺タンクを搭載した浮遊ケーソンの動揺低減効果, 土木学会論文集, Vol.79, No.18, 23-18064, 2023.
- 8) Shirai, K., Nakamura, T., Cho, Y. H., Mizutani, N., Kurahara, Y., Takeda, M.: Development of Coupled Numerical Model between Floating Caisson and Anti-Oscillation Tanks, *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.11, No.9, 1669, 2023.

#### 【筆者紹介】

倉原 義之介 (くらはら よしのすけ)  
東亜建設工業(株)  
技術研究開発センター 水圏技術グループ  
主任研究員



武田 将英 (たけだ まさひで)  
東亜建設工業(株)  
技術研究開発センター 水圏技術グループ  
リーダー



# 「水災害トータルエンジニアリングサービス」による水害対策

高井 剛・岩前 伸幸・近藤 宏二

近年の気候変動に伴い大規模な水害に見舞われている。日本の建築物には水害に対する規定が定められておらず、建物の所有者が公的な浸水想定や周辺状況、建物用途を考慮した上で、自主的に水害対策を検討しなければならない。本報告ではこのような水害対策に関し、一つのサービス事例を紹介する。

キーワード：気候変動、水害、洪水、外水氾濫、内水氾濫、トータルエンジニアリングサービス

## 1. はじめに

近年、世界的な気候変動に伴い、日本国内でも毎年のように大規模な水害が発生している。図—1は1976年に気象庁が統計を取り始めてから2022年までの間に、1時間に50mm以上の雨が1年間に何回降ったかを示したグラフである。データ取得開始10年間の平均値は1年間に226回であるが、最近10年の平均値は1年間に328回と1.5倍近くとなっており、明らかに豪雨の回数が増えていることが分かる。

それでは水害に対して建物はどうな規定が定められているか見ていく。表—1は建築基準法による建築物の単体規定を纏めたものである。

日本の建築物には、地震や風、火災に対しては安全基準が定められているが、水害に対しては基準が定められていない。このため、企業においては、公的な浸水想定や周辺状況、建物用途を考慮した上で、自主的に水害対策を検討する必要がある。検討の際に参照できる浸水想定としては、自治体が定めるハザードマッ

表—1 建築物の建築基準法単体規定

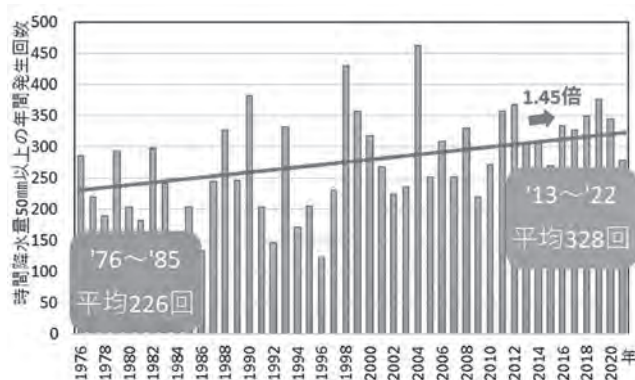
災害	建築基準法 単体規定
地震	地震荷重
風	風荷重
雪	積雪荷重
火災	耐火性能
水害	無し

プがあり、これまで河川堤防を整備するために設定された計画規模降雨（再現期間100～200年）によるものが規定されている。また近年、人命を守るために設定された想定最大規模降雨（再現期間1,000年以上）によるハザードマップも整備された。

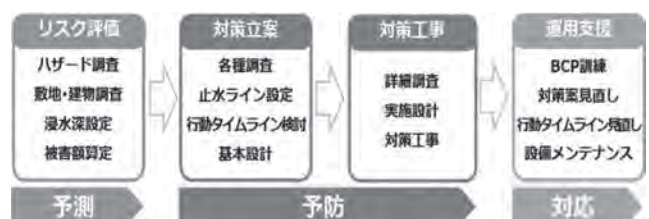
このような背景から、顧客の水害対策を支援するために、水災害に関するトータルエンジニアリングサービスを構築した。以下にその概要を示す。

## 2. 水災害トータルエンジニアリングサービス

水災害トータルエンジニアリングサービスは「リスク評価」、「対策立案」、「対策工事」および「運用支援」の4つのフェーズから構成されている（図—2）。



図—1 降水量50mm/h以上の発生回数 気象庁より



図—2 水災害トータルエンジニアリングサービスフロー

以下、フローの順に、実適用と併せて説明する。対象敷地は河川から400mに位置しており、2019年東日本台風の際には、氾濫による浸水も懸念された。

## (1) リスク評価

### (a) 立地特性調査

計画地における浸水深をハザードマップで確認し、加えて、地形特性や対象となる建物の止水性、保有資産の状況などを調査・評価する。図-3は計画敷地付近のハザードマップである。計画規模降雨時の最大浸水深は～0.5m、想定最大規模降雨時は3～5mと想定されており、浸水リスクの高いエリアであることが分かる。国交省の浸水ナビを使用するとさらに詳細な浸水深を確認することができ、それぞれの場合での最大浸水深は0.49mと3.85mとなっている。

### (b) 浸水深の設定

浸水の要因には、河川の水が堤防から溢れたり、堤防の決壊箇所から流出することで生じる外水氾濫と河川水位の上昇や急激な降雨により河川外に降った雨を排水できないことで生じる内水氾濫がある。浸水深の設定には、自治体が公表しているハザードマップを用いる他、氾濫解析により浸水深を評価して、施設の重要度に応じたリスクを自ら設定することもできる。評

価に際しては近年の降雨量の増大や、気候変動による今後の降雨量の増大を考慮することもできる。氾濫解析では、流域の地形や河道をモデル化し、過去の降雨パターンから適切な降雨波形を選択する。本検討では気候変動による将来的な降雨量の増大も勘案し、計画地の流域について200mおきに破堤させて最大の浸水深を求めた。破堤後30分おきの状況を図-4に示す。この例では、破堤後6時間で最大浸水深に至っている。

## (2) 対策立案

### (a) 止水ラインの検討

重要度に応じて、洪水による浸水を防ぐ止水ラインを設定する。図-5にその概念を示す。重要機器だけを「移設」(①)するのか、建物1棟(②)を守るのか、敷地全体(③)を守るのか、顧客の要望に応じて止水ラインを設定する。止水ラインに応じた止水板・防水扉・下水管からの逆流を防止するためのバルブなどの設備を適切に選定する。

計画敷地の場合は敷地内に複数棟が存在し、何れの棟にも大型で高額な実験機器があるため、図-6のように敷地外周を止水ラインとした。

### (b) 行動タイムラインの検討

台風襲来時など、浸水を防ぐために行うべき土のう作製や止水板設置、バルブの閉鎖などや災害後の設置設備の撤去までを時系列上にプロットする(図-7)。配置できる人員を勘案の上、実行可能かを検討し、災害時に有効な行動タイムラインを考案する。

### (c) 顧客に応じた最適な計画選定の支援

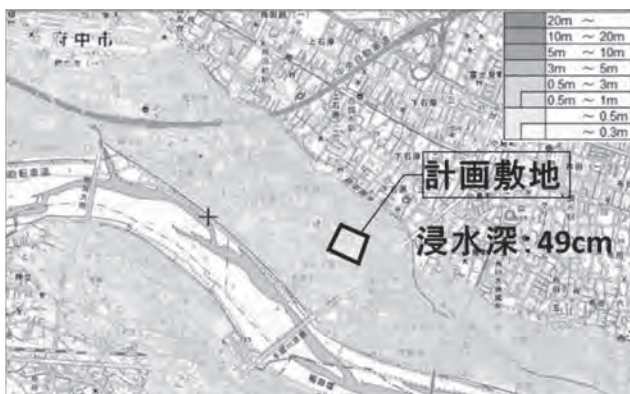
策定した対策案について、保護できる範囲、選定した止水方法の信頼性や操作性、意匠性、工事期間、工事費に加えて、運用時の保守性などを評価し、顧客の計画選定の支援を行う(図-8)。

### (d) 近隣配慮など

止水ラインを敷地外周とした場合、止水壁が近隣へ圧迫感を与えないよう、ガラススクリーン止水壁(図-9)等を採用することにより圧迫感を軽減する。平時は施錠されているが、浸水時には自動開錠され水の流入を防ぎながら敷地の内外を行き来できる、避難口システム(図-10、特許出願中)や排水管からの逆流を防ぐ二重逆流防止弁(図-11、特許出願中)も提案できる。これらのハード的な配慮のほか、住民感情等のソフト面の配慮も欠かせない。

## (3) 対策工事

止水対策の実施設計は、敷地の測量、排水設備など



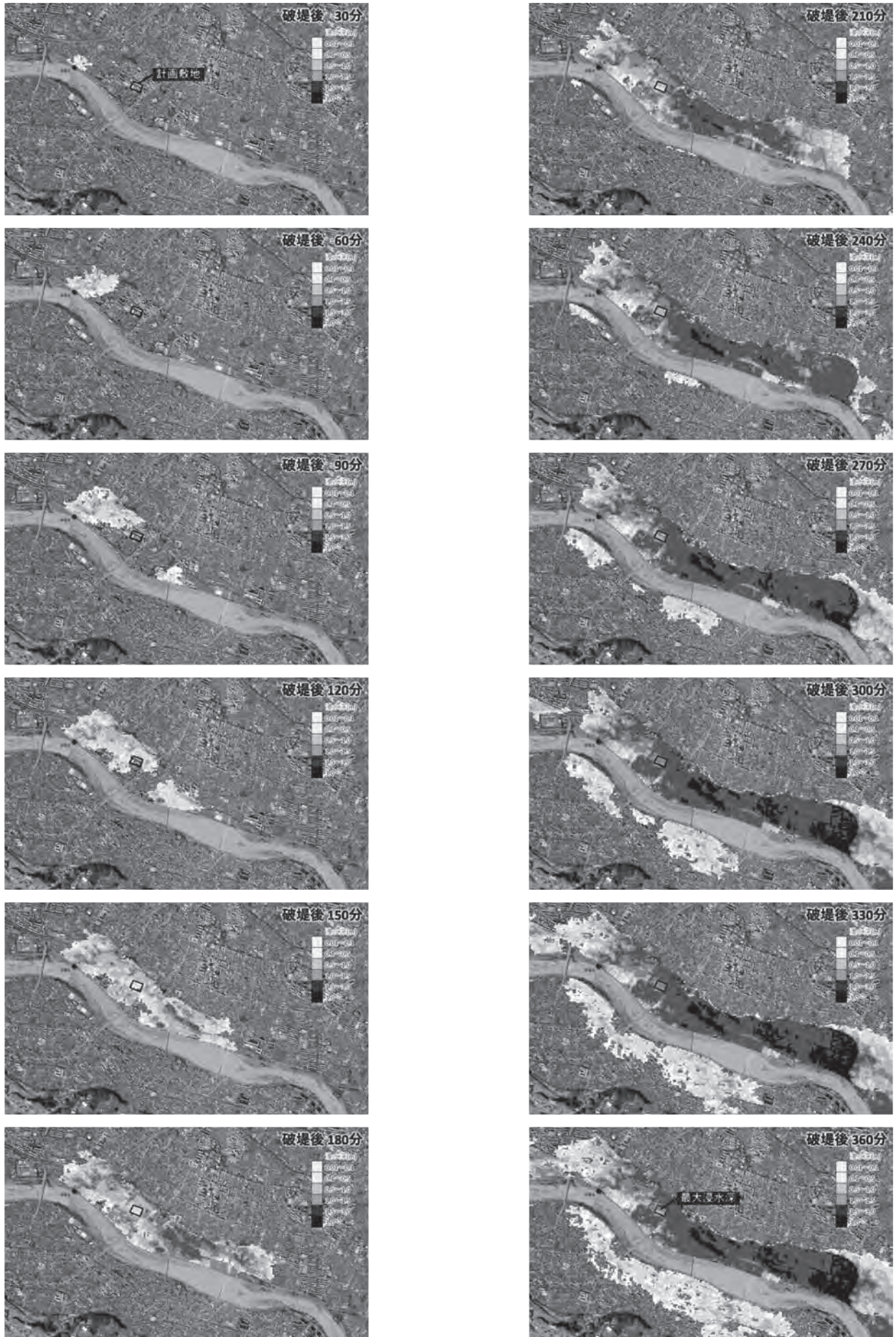
(a) 計画規模降雨による浸水深 再現期間200年



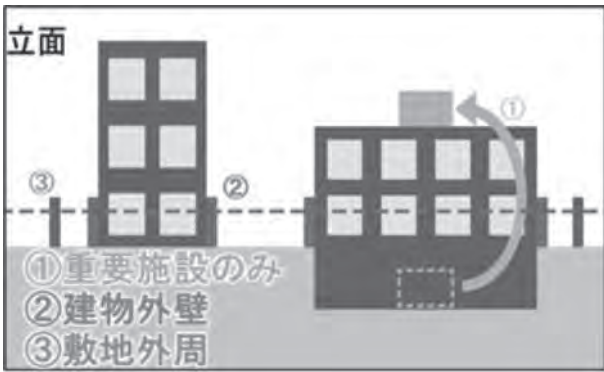
(b) 想定最大規模降雨による浸水深 再現期間1,000年以上

図-3 水害ハザードマップ





図一4 洪水による浸水深の解析例



図一五 止水ラインの考え方

の詳細な調査を行った上で、最大限の止水効果を発揮するように、工期とコストを勘案の上、実施する。工事は安全に、騒音を低減させて行うなど近隣へ配慮して進める。

(4) 運用支援

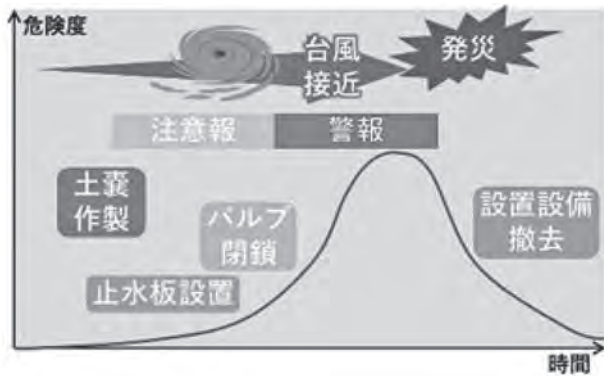
対策工事完了後は、計画立案の際に検討した行動タイムラインを、BCP 訓練で定期的に見直すことでスパイラルアップさせる。また、台風接近時にも実施・検証・見直しを行い、より実効性の高いものにするるとともに、得られた知見を本サービスのレベル向上に活かしていく。



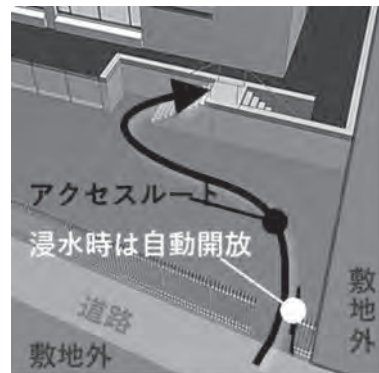
図一六 計画敷地の止水ライン



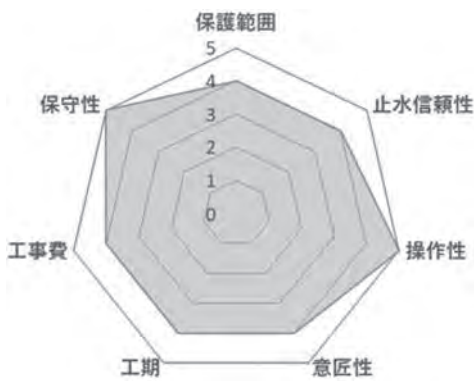
図一九 ガラススクリーン止水壁



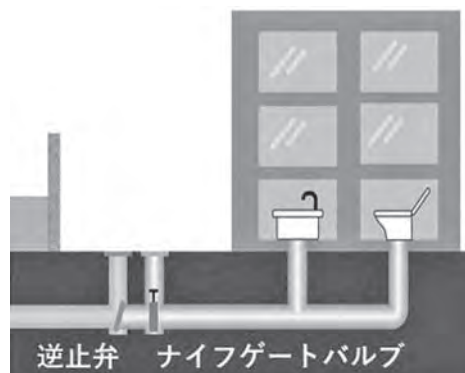
図一七 行動タイムラインの検討



図一〇 浸水時避難口システム



図一八 対策案の評価



図一一 二重逆流防止弁

### 3. おわりに

本サービスは、既設・新設の個別施設に加え、広域なスマートシティの計画にも適用可能である。また、本サービスとともに従来から定評のある地震対策をはじめ、様々な災害対策を適用することで、マルチハザードに対応できる。鹿島グループは今後も、顧客のBCPに最適なサービスをワンストップで提供することで、レジリエントな社会の実現に貢献していく。



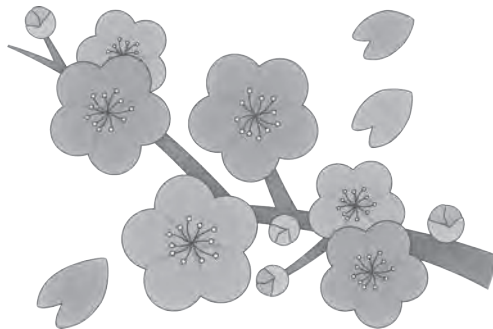
[筆者紹介]  
高井 剛 (たかい つよし)  
鹿島建設㈱  
技術研究所  
首席研究員



岩前 伸幸 (いわまえ のぶひろ)  
鹿島建設㈱  
技術研究所  
主任研究員



近藤 宏二 (こんどう こうじ)  
鹿島建設㈱  
技術研究所  
プリンシパルリサーチャー



# 伝統的建造物の火災リスクを低減 自動火災検知放水システム「慈雨」を文化財へ導入

重 盛 洸

近年、木材を使用した伝統的な重要建築物の火災事例が散見されている。また重要文化財指定建造物の火災原因のうち多くが建物外周部での放火であると報告されている。清水建設(株)では、屋外の火災要因を早期に検知し、外壁面に対して自動的に放水を行う自動火災検知放水システム「慈雨」を開発した。本報では、そのシステムを構成する画像型火災検知システムと壁面自動放水システムの概要および性能検証結果について説明する。さらに、本システムをAR(拡張現実)化した「温故創新の森 NOVARE」における取組み事例について紹介する。

キーワード：建設業, 総合工事業, 伝統的建造物, 重要文化財, 防火, 火災検知, 自動放水, 延焼拡大抑制

## 1. はじめに

近年、海外ではノートルダム大聖堂、国内では首里城など、木材を使用した伝統的な重要建築物の火災事例が散見されている。これらを契機に、文化庁が中心になり、国宝・重要文化財(建造物)の防火対策ガイドラインや世界遺産・国宝等における防火対策5か年計画が2019年に策定された。この計画に基づき、2024年までの5年間で関連建造物の防火対策を強化している。

これまでの防災システムの多くは、物体の燃焼時に発生する炎からの放射エネルギーと光のちらつきを炎センサで検知し、放水銃などの消火装置を作動させていた。しかし、こうしたシステムでは、炎の大きさが一定程度大きくなるとセンサが反応しないため、火災発生を早期に発見できないことが課題になっていた。また、消火時には、敷地内の消火装置を一斉に稼働させる仕組みになっているため、一度に大量の水を消費してしまい鎮火しないうちに消火用水が不足するリスク、さらには一点に集中して着水する放水銃の水圧による建物の損壊リスクの低減が課題となっていた。

そこで当社は、監視カメラ画像をAI処理して検知精度を向上させ、建物の屋外火災を早期に発見し自動的に放水する新たなシステム「慈雨」を開発した。このシステムはカメラ画像から得られる炎や煙の視覚的情報をAIによる自動判別機能により分析することで、わずかな炎であっても検知可能であり、放水によ

る火災進展抑制により火災被害を最小限に留めることができる。また、出火部位に限定して消火装置を稼働させることで、限られた消火用水で効果的に消火することができる。さらには、扇形の形状をした放水ノズルから、屋根部や軒下壁面に向けて扇状かつ水平に放水することで、一点集中ではなく広い範囲に着水するため出火部位への確実な着水ならびに、水圧による建物の損壊防止が可能となる。

本システムを江東区潮見に建設した自社施設「温故創新の森 NOVARE」内に再築した旧渋沢邸を対象に導入した(写真-1)。

旧渋沢邸では、死角ができないよう、邸宅を囲むように監視カメラを12台、扇形の放水ノズルを60台設置した。庭内に設ける観賞用の池の直下に150m<sup>3</sup>ほどの消火水槽を埋設して水源を確保する計画としている。



写真-1 江東区潮見へ再構築後の旧渋沢邸外観

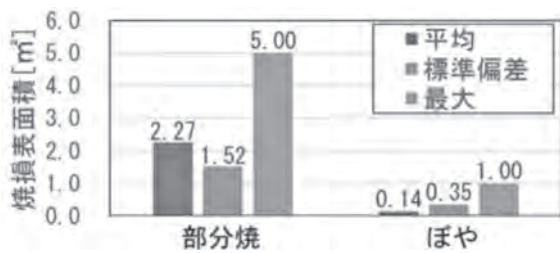
## 2. 想定される火災

本システムは木質材料などの燃えやすい外壁面を対象としており、出火要因は放火など、着火から比較的短時間で有炎燃焼する状況を想定している。火災状況をより具体的に想定するため、総務省消防庁の火災統計データ（1995～2015年）を用いて分析を行った。その結果、木造の神殿等の外周部の放火火災における焼損表面積で最大となるものは約5m<sup>2</sup>程度となり（図一1）、本システムにおいて想定する火源モデルはこの結果を元に設定をするものとした。

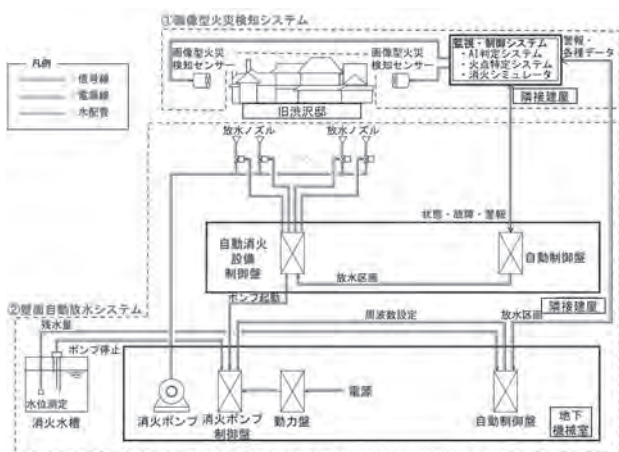
## 3. 本システムの構成

本システムのシステム全体概要を図一2に、システムフローを図一3に示す。システムは、火災検知機能を有する画像型火災検知システムの部分と、初期拡大抑制機能を有する壁面自動放水システムの部分に大別される。

画像型火災検知システムは画像型火災検知センサ（ネットワークカメラ）と、監視・制御システムから構成される。さらに監視・制御システムはAI判定システム、火点特定システム、消火シミュレータの3つのシステムから構成される。画像型火災検知システムでは取得された画像データを基に火災の判定および火



図一1 外周部の放火火災における焼損表面積集計



図一2 システム全体概要



図一3 システムフロー

点の位置の特定を行い、最適な放水パターンを算出するとともに、壁面自動放水システムを起動する。

壁面自動放水システムでは入力された放水パターンに応じた放水を実施するため、各放水ノズルに設置された制御弁の開放、消火ポンプの起動および放水圧力の調整を行うことで、火点位置へ自動的に放水を実施し、火災の拡大を抑制することができる。

## 4. 画像型火災検知システム

### (1) システム概要

画像型火災検知センサとして用いるネットワークカメラ（写真一2）は一般的に監視カメラとしても用いられている汎用品であり、遠隔操作でカメラの首振りや拡大・縮小を制御する機能を有している。本計画においては、建物の3Dモデルを用いて画像型火災検知センサの配置検証（図一4）を行っており、各警戒範囲をあらかじめ確認をした上で各センサの設置位置を決定している。

監視・制御システムのうちAI判定システムでは、画像型火災検知センサからの画像データより火災判定を行う。火災検出処理には深層学習（ディープラーニング）を用いた画像内での物体検出の手法を用いている。図一5に示すように、AIの深層学習においては、教師データとして約2,000枚の画像データ内から炎、



写真一2 ネットワークカメラの設置状況

煙および背景の3つの画像的特徴を学習させており、画像型火災検知センサにおいてリアルタイムで撮影された画像データから、即時に3つ（炎、煙およびそれらを除く背景）の画像部分を検出し、火災確度（火災の可能性）を評価することが可能である。画像データにおいて炎か煙の可能性が検出（火災確度30%程度）された場合、画像型火災検知センサが特定部を自動で段階的に拡大撮影し、改めて火災確度を評価（火災確度80%以上で火災判定）することにより、約30mの遠方からの火災検出を実現している。

火点特定システムでは、火災検出した画像型火災検



図-4 3Dモデルによる画像型火災検知センサの配置検証

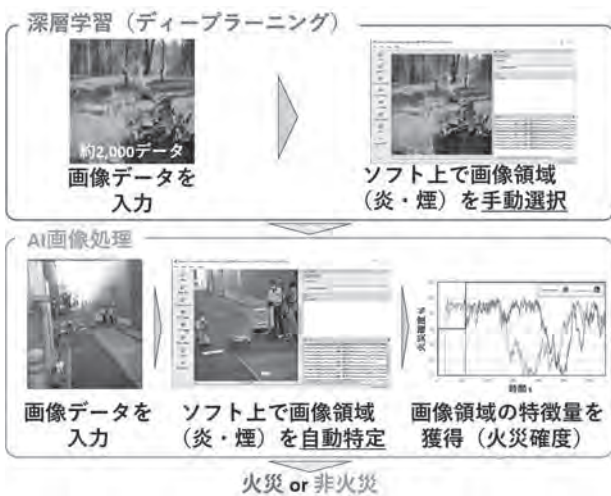


図-5 深層学習とAI画像処理

知センサの位置、検知範囲およびAI判定システムからの情報より、火災検出された火点の位置を特定する。次に、座標化された建物周囲のマップデータ上において、火災確度（火災の可能性）をマップ化する。

消火シミュレータでは、あらかじめ登録されたどの放水パターンで起動するかをシミュレーションする。その後、特定した火点範囲へと放水するため、壁面自動放水システムを起動する。

(2) 火災検出処理試験

屋外環境における画像型火災検知センサによるAI判定システムの性能把握を目的として、火災検出処理試験を実施した。

火源には同じ条件下による再現性を考慮し、ホワイトガソリンを使用した。火災検出処理試験の火源の状況を写真-3に示す。火源からの水平距離15m、画像型火災検知センサの設置高さは2mとした。火源へ点火した時点を0秒とし、火災確度の時間による変化を検証した。

夜間（照度0.1lx程度）の環境における火災確度の推移グラフを図-6に、実験時の様子を写真-4に示す。点火直後に76%を示し、その後20秒後までの間に80%を超える値を示していることがわかる。また、点火後20秒後までの間の最大値は87%、最小値は59%であることが確認された。日中の実験結果においても同様の傾向となり、火災確度の値に大きな違いはない。また画像型火災検知センサとしては上記に



(a) 実験火源の状況



(b) 実験火源の熱画像

写真-3 火災検出処理試験の火源状況

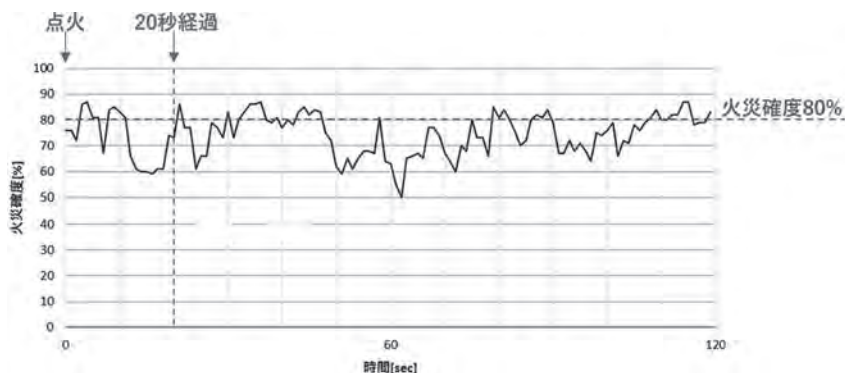


図-6 火災検出処理試験における火災確度の推移



(a) 検出結果画像全景 (b) 火源位置拡大  
写真—4 火災検出処理試験における検出画像

加え、現地での最大設置距離である 30 m 遠方からの拡大撮影画像による火災検出や、火源発生からの検出時間について評価を行い、検出性能の妥当性について確認をしている。

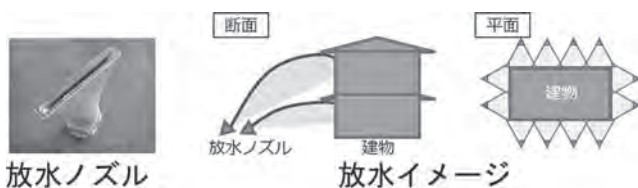
## 5. 壁面自動放水システム

### (1) システム概要

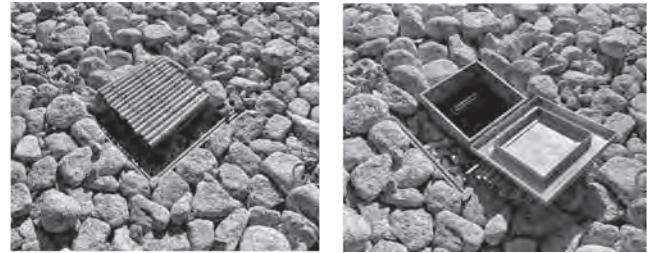
本システムは画像型火災検知システムからの信号を元に消火ポンプ等の自動放水システムを起動し、特定された火点近傍の放水ノズルから放水を行う。

放水銃等の高い放水圧力が必要な消火設備を使用する場合、遠方への放水が可能ではあるが、着水時に被放水側へ与える圧力（以降、着水側圧力）が大きくなるため、文化財等の壊れやすい外壁材量を持つ建築物の場合、外壁面を損傷してしまう恐れがある。本システムではあらかじめ放水試験を実施することにより、放水特性を詳細に把握することで、建物形状に適した放水圧力・ノズル配置を計画することを可能としている。図—7 に示す通り、本システムに使用する放水ノズルは扇状の形状をしており、高所の壁面に対して幅広く放水することが可能である。消火ポンプにはインバータを設置し、起動した放水ノズルの数に合わせて放水圧力を制御することにより、複数の放水ノズルから放水した場合においても、着水側圧力の抑制を可能としている。現地での放水ノズルの設置状況を写真—5 に示す。通常時にはフタが閉じている状況であるが、放水ノズルからの放水圧によりフタが自動的に開放され、壁面への放水が行われる。

壁面自動放水システムに対し、木質の外壁を対象に、構成要素の扇形ノズルの放水特性を把握する放水



図—7 放水ノズルと放水イメージ



(a) 通常時 (b) 放水時（フタ開放時）  
写真—5 放水ノズルの設置状況

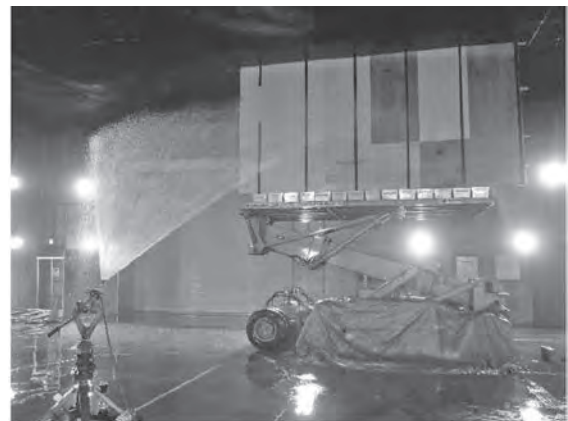
実験、ノズルを用いた燃焼拡大抑制を確認する火災実験を行っている。

放水性能の検証実験においては、高所壁面に対しても有効な放水性能を確保できることを確認した（写真—6）。また、放水実験は屋内の無風環境下で実施をしたが、実際に放水をする外部環境下においては風による放水形状の乱れが想定される。そこで、風環境下における放水シミュレーションを実施し、敷地周辺の風速値が設定値よりも大きい場合には、隣接する放水ノズルも同時放水する制御を導入している（図—8）。

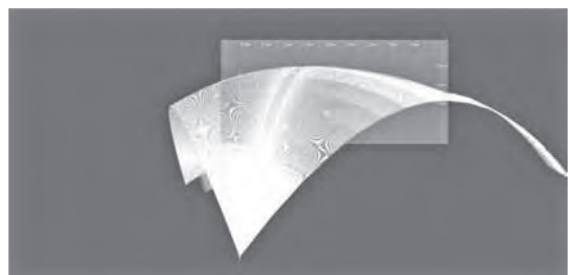
### (2) 火災進展抑制性能試験

火災に対する扇形ノズルによる放水の有効性の把握を目的として、火災進展抑制性能試験を実施した。

試験体はシステムの設置対象である旧渋沢邸の代表的な軒部分をモックアップとして再現し、はめ板は木



写真—6 高所壁面への放水性能の検証実験



図—8 風環境下における放水シミュレーション  
（左から右方向へ 風速 2 m/s 環境下）

製雨戸が閉じた状態を想定した。外壁材は含水率9～12%の檜材とし、板厚12mmのもので構築した。

火源には外周部の放火火災に伴う部分焼での最大焼損表面積を考慮し、壁体下部から壁伝いに上方に火炎拡大して軒裏沿いに展炎する状態を想定した。燃焼は鋼製容器の底部に水を敷き、同じ深さで燃料のヘプタンを加え、点火して行った。燃焼時間は放水無しで10分間継続可能な設定とした。

代表的な実験ケースにおける放水前後の様子を写真一七に、熱画像を写真一八に示す。燃焼および炭化範囲をみると、放水後の壁面燃焼は抑制されており、熱画像も低温を示していることが確認できる。またモックアップに設置した熱電対により計測した加熱面温度の結果や、試験後の試験体において評価した厚さ方向の炭化深さの計測結果からも、放水による温度低下や非加熱側への燃焼拡大の抑制を確認している。

以上の結果から、扇形ノズルの放水による火災進展抑制性能を確認した。



(a) 放水前 (b) 放水後  
写真一七 火災進展抑制性能試験の様子



(a) 放水前 (b) 放水後  
写真一八 火災進展抑制性能試験の熱画像



写真一九 壁面放水のAR化

## 6. 壁面放水のAR化

文化財建造物への実際の放水は、建物自体の水損リスク回避の観点から、頻繁に行うことはできない。一方で、文化財保護に対する取組みや放水の有効性を理解し、今後の更なる防火性能の向上に貢献するためには、放水の様子を現地で見ても、体感することが有効であると考えられる。

そこで「温故創新の森 NOVARE」ではAR(拡張現実)技術を活用し、実際の建物を背景として、タブレット上で放水の様子と重ね合わせることで、現地で建物への放水を見ることができるよう仕組みを導入している。専用アプリをインストールしたタブレットを用いて現地で位置合わせをすることで、建物への放水を映像と音で体感することができる(写真一九)。

## 7. おわりに

画像型火災検知システムと壁面自動放水システムを連携した自動火災検知放水システム「慈雨」を構築した。当社は今後、本システムを積極的に活用していくことで、文化的価値の高い伝統建築をはじめとした木造建築物の維持・保全に寄与していく考えである。

またデジタルゼネコンとして、AIやIoTを活用した技術革新に挑戦し、様々なパートナー企業と協業しながら、豊かな社会の実現に向けた取組みを続ける所存である。

## 謝辞

本システムの構築および実験にご協力頂きました能美防災(株)に、ここに記して感謝の意を表します。

JCMMA

## 《参考文献》

防災行政研究会編:火災報告取扱要領ハンドブック 11訂版,東京法令出版,2007年5月

## 【筆者紹介】

重盛 洸(しげもり こう)

清水建設(株)

建築総本部 設計本部 プロジェクト設計部3部

兼 設備設計部2部

設備設計担当





# AI を用いた栈橋の残存耐力評価技術

## 構造物の寿命を予測し合理的で計画的な維持管理に貢献

宇野 州彦

高度経済成長期に数多くの港湾施設が建設され、適切な維持管理がより一層重要となってきた。一方で、維持管理の調査結果である劣化度や性能低下度では、栈橋の供用継続の可否や補修補強のタイミングが把握できず、施設管理者が維持管理を計画的に実施しづらい現状にある。そこで、AI を用いて栈橋の残存耐力や寿命を推定し、供用可否等を判断できる技術を開発した。本稿では、開発技術の概要と、技術の精度検証、技術適用による効果や実栈橋への適用事例について紹介する。

キーワード：栈橋, 残存耐力, AI, 将来予測, 予防保全

### 1. はじめに

高度経済成長期に数多くの社会基盤施設を整備したわが国では、現在その供用期間が50年を超える構造物も多く、適切な維持管理はより一層重要となってきた。建設後50年以上経過する公共の港湾施設の割合は、2020年3月現在約21%であるが、2030年3月に約43%、2040年3月には約66%に達すると予測されている<sup>1)</sup>。また、公共の港湾58,839施設のうち10,178施設が要緊急対策施設であることが判明している(2019年3月31日時点)<sup>2)</sup>。他、鉄鋼、セメント、非鉄金属などの民間企業が保有する港湾施設も数多く存在する。

港湾法の改正に伴い港湾施設の点検が義務化されたものの、特に民間では施設に不具合が生じてから対策を講じる「事後保全」とする場合が多い。国土交通省が所管する社会基盤施設を対象に推計した維持管理・更新費用は、「事後保全」を「予防保全」に転換することで、1年当たりの費用は2048年度には約5割減少し、2019～2048年度の30年間の累計でも約3割減少する見込みと言われており<sup>3)</sup>、民間の港湾施設に

においても同様の傾向にあると推測される。「予防保全」によりコストを抑えることで、民間の港湾施設の維持管理や補修補強が積極的に進むものと考えられる。しかし、維持管理の調査で得られる劣化度や性能低下度は、調査時点における施設の状態を表すものであり、供用継続の可否や補修補強を行うタイミングの合理的な判断指標を示し管理者自らが判断することが可能な技術はこれまで存在しなかった。

そこで、港湾の栈橋を対象に、調査結果に基づき評価した残存耐力から構造物の寿命を推定し、施設管理者が意思決定しやすい情報を提供する技術を開発した。

### 2. 技術の概要

栈橋の残存耐力を評価するための手順を図-1に示す。残存耐力を評価するためには梁の鉄筋の腐食程度を把握する必要があることから、まず梁下面のコンクリートを研り、鉄筋を表面に露出した上でノギス等により鉄筋径を測定し鉄筋の腐食量を算定する。梁ごとに鉄筋腐食量を算定することができれば、次に個々

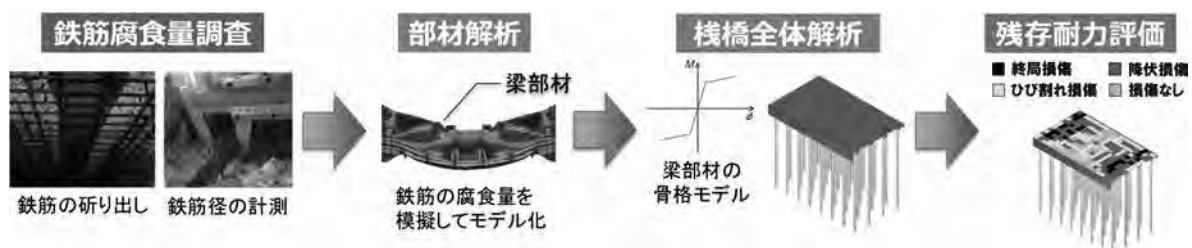


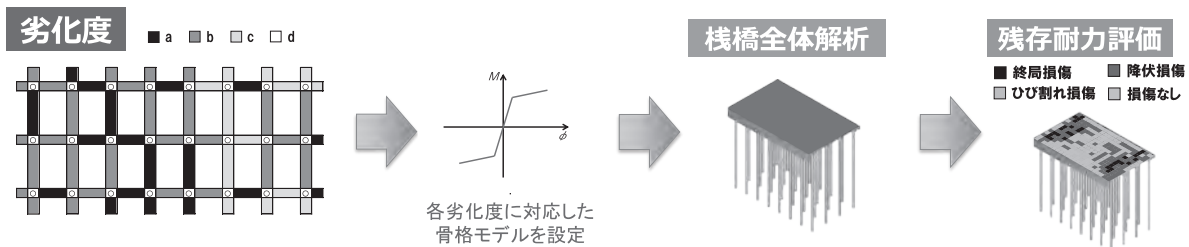
図-1 栈橋の残存耐力を評価するための手順

の梁のFEM解析を行い、梁部材の骨格モデルを算定する。梁部材の骨格モデルは、残存耐力評価を行うための栈橋全体系の構造解析を行う際に必要となる。FEM解析で梁部材の骨格モデルが求めれば、栈橋全体系の解析モデルでモデル化を行い、地震応答解析を実施することで地震により生じる梁の損傷といった残存耐力を求めることができる。しかし、鉄筋腐食が想定される梁が多くなると、斫り出すコンクリートの箇所や量が膨大となり現実的ではなくなる。また、FEM解析を行う際には、鉄筋の腐食量を模擬してモデル化する必要があり、単に鉄筋径を減少させるだけでなく、鉄筋が腐食する際の膨張圧等も考慮できる解析コードを用いることが望ましく、考慮可能な解析コードが限られ、且つ高度な解析技術を要することとなる。これらのことから残存耐力評価を行うことは非常に困難であった。

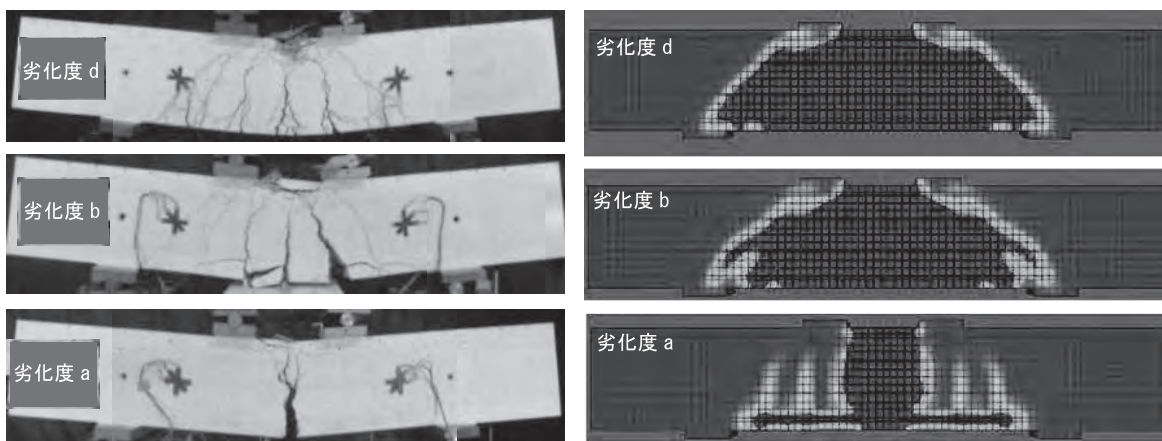
そこで、まず一般定期点検から得られる劣化度 a ~ d を用いて残存耐力を評価できる技術を開発した (図一2)<sup>4)</sup>。劣化度から残存耐力を評価できるようにするには、それぞれの劣化度から梁部材の骨格モデルを算定する必要がある。各劣化度と梁部材の耐力との関係を明らかにするために、構造実験を行った。梁の最下段鉄筋を電食により強制的に腐食させ、各劣化度に相

当する試験体を製作した。鉄筋の腐食状況は、試験体が想定通りに腐食しているかどうかをテストピースにより適宜確認を行った。構造実験により劣化度によって破壊形態が異なることや、耐力に違いがあることを明らかにした。またFEM解析も実施し、実験を再現できることも確認した (図一3)。一方、この構造実験では、電食により強制的に鉄筋を腐食させたことから、自然暴露環境により腐食した鉄筋と異なり、腐食生成物の相違により、腐食時の膨張量にも違いがあること、また構造実験に用いた試験体寸法が実物梁に比べ小さかったことから、寸法効果の影響が排除できないことの課題が残されていた。そこで、栈橋更新工事に伴い、実際に老朽化した栈橋梁の一部を撤去する機会を活用して載荷実験を行い、自然環境で腐食した梁と耐力との関係性を明らかにした。また試験体と実物梁、実物寸法による試験体の構造性能を比較することで寸法効果の影響も考察し、課題であった腐食方法と寸法の影響を考慮した骨格モデルを構築した<sup>5)</sup>。

以上により、梁の劣化度が分かれば残存耐力評価が可能となったものの、栈橋全体系の構造解析は都度行う必要があることから、コストや時間の面で課題が残っていた。また、構造物の寿命を推定するために、点検診断時の残存耐力評価だけでなく、点検から年数



図一2 劣化度判定結果から構造解析により残存耐力を評価する技術



図一3 実験・解析による劣化度と部材耐力の関係性の把握

が経過したときの残存耐力評価を複数年予測することが必要になることから、都度構造解析を実施するのは現実的ではなかった。

そこで、人工知能（AI）を用いて、構造解析を行うことなく残存耐力を評価できる技術を開発した（図—4）<sup>6), 7)</sup>。AIモデルの構築には、約2,000ケースの構造解析条件と構造解析結果の組み合わせを教師データとしてAIに学習させた（図—5）。教師データの構造解析条件（説明変数）として、栈橋の種類や劣化度、外力をランダムに組み合わせた上で構造解析を実施し、その組み合わせにおける目的変数となる構造解析結果を取得する。これら説明変数と目的変数をセットにした教師データを作成した。

### 3. 開発技術の精度と技術適用による効果

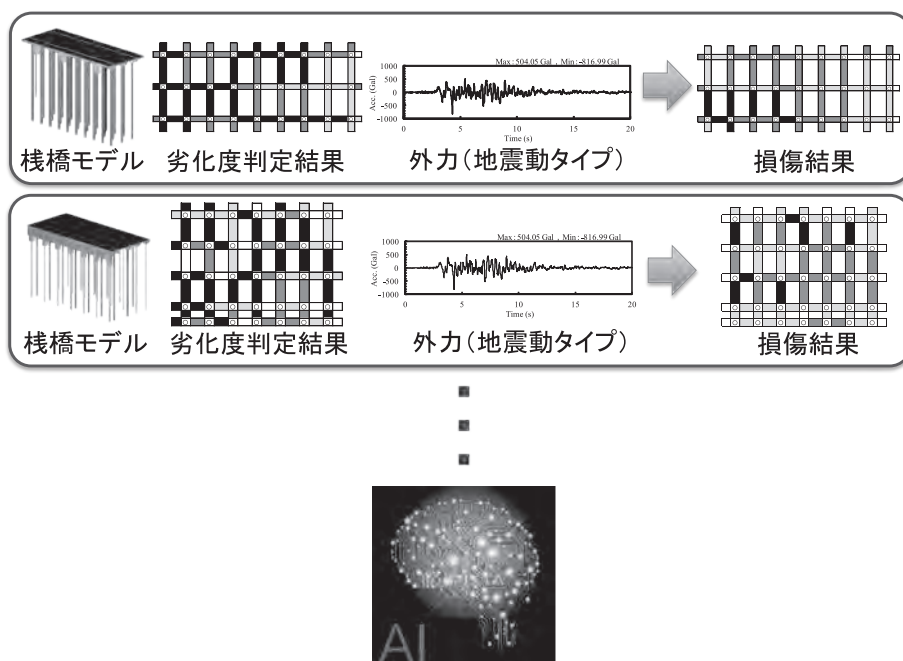
構築したAIモデルで残存耐力を評価した事例について、劣化した栈橋Aおよび栈橋Bの残存耐力の予測結果を図—6に示す。AIモデルによる予測結果と

あわせて、正解となる構造解析を実施した結果および正解率も示している。この結果から、本開発技術は高い精度で損傷を予測できることが分かる。また、今回対象とした栈橋においては、終局損傷に至る梁の箇所を適切に予測できている。さらに、この2件を含む計400件の残存耐力評価を行い、予測精度の検証を行った結果を図—7に示す。概ね80%以上の正解率で予測可能であり、検証結果の中央値は88%と高い値となっている。以上のことから、精度の高いAIモデルを構築することができた。

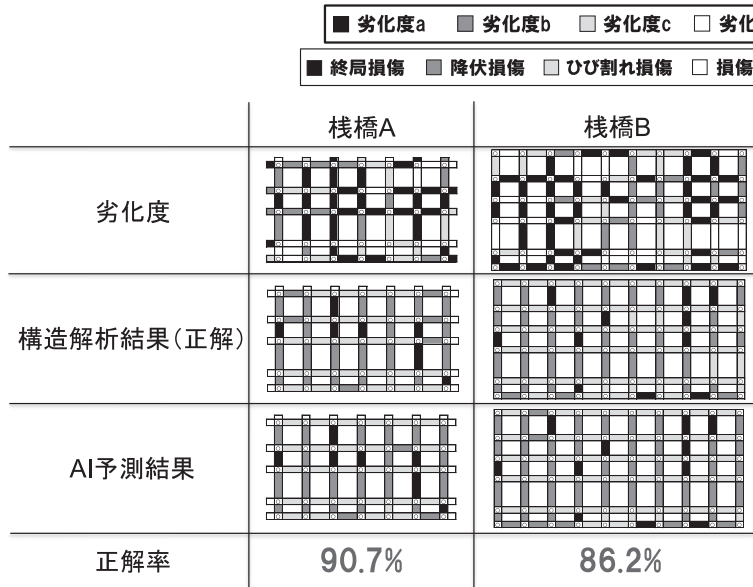
AIを用いた評価技術であることから、地震力により損傷する具体的な梁部材とその損傷程度を即時に把握することが可能である。本技術の経済的効果として、先に述べたように鉄筋のやり出し作業やFEM解析、栈橋全体系の構造解析を不要にした点が挙げられる。一例として3,000m<sup>2</sup>の栈橋を対象とした場合、鉄筋のやり出し作業として約2～3ヶ月、その後のFEM解析で約2ヶ月、栈橋全体系の構造解析（残存耐力評価）で約1.5ヶ月要するため、合計5.5～6.5ヶ



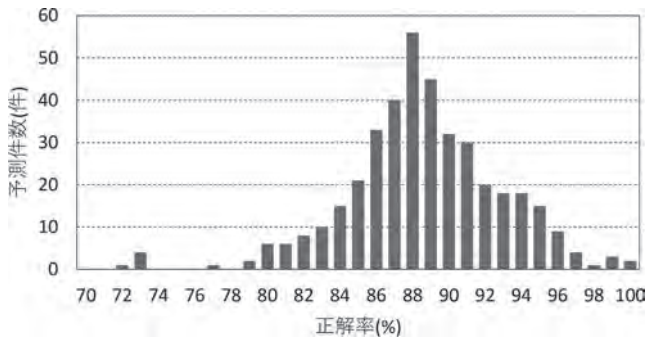
図—4 AIを用いた栈橋の残存耐力評価



図—5 AIモデルの学習方法イメージ



図一六 劣化した栈橋の残存耐力評価と正解率



図一七 AIモデルの精度検証結果

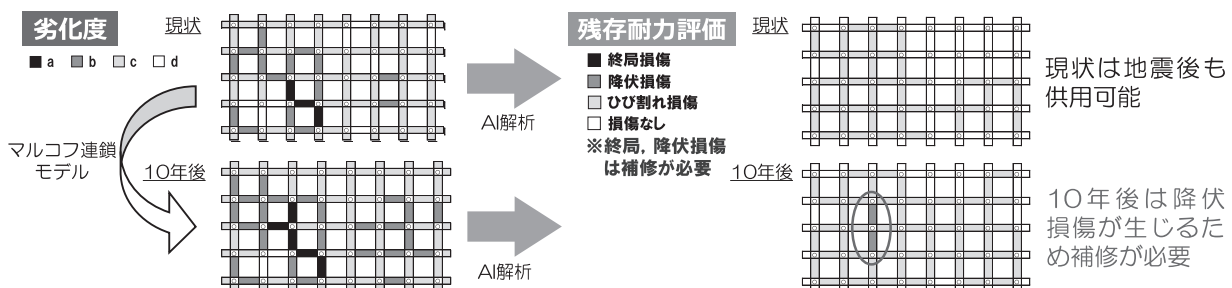
月が必要とされていた。本技術を活用することで、一般定期点検と劣化度判定までを約0.5～1ヶ月、AIによる残存耐力評価を約0.1ヶ月で行うことができ、合計0.6～1.1ヶ月で残存耐力評価が可能となる。残存耐力を算定するまでの期間を最大で約91%削減できる。

また、マルコフ連鎖モデル等の劣化進行の確率モデルを本技術と併用することで、年数の経過による残存耐力の変化を把握することができるため、栈橋の供用継続が可能な期間を具体的に設定することができる。

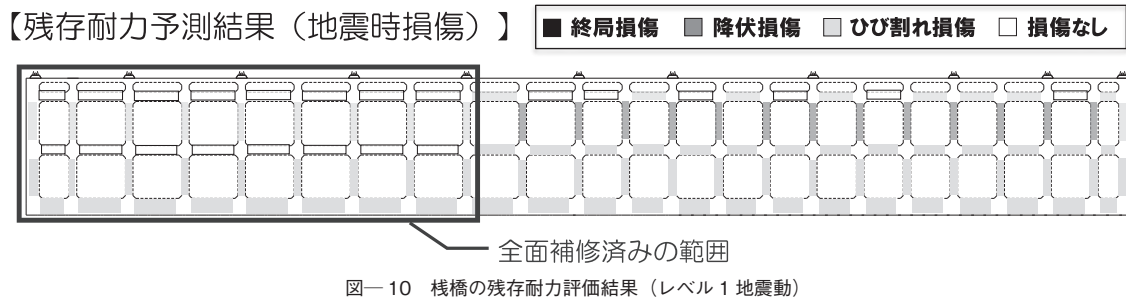
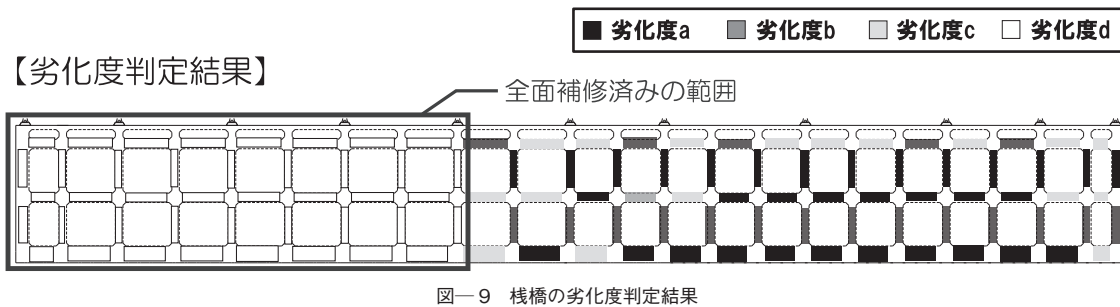
現状と将来の残存耐力評価の事例を図一八に示す。図に示すように、現状の劣化度においては残存耐力評価を行うと、損傷なしあるいはひび割れ損傷のみとなっているため、直ちに補修が必要な状況ではない。しかし、マルコフ連鎖モデルにより10年後の劣化度を予測して、その劣化度に対する残存耐力評価を行ったところ、降伏損傷が生じる梁が出現した。この結果を活用することで、例えば10年以内に補修工事の計画を立案し早期に対応をとることが可能となる。直ちに補修が必要となるような損傷がいつ現れるのか、またどの梁に出現するのかを把握することができるため、部分補修を行う等の対応も可能となる。

#### 4. 実栈橋への適用

ここでは、1970年代に建設された栈橋について、本技術を適用して残存耐力を評価した事例について述べる。対象となる栈橋の平面図を調査から得られた劣化度判定結果とあわせて図一九に示す。当該栈橋は、南側の一部について補修工事をすでに実施しており、



図一八 残存耐力評価の将来予測事例



補修済みの範囲については、劣化度dと判定されている。このような一部補修済みの栈橋に対して、本技術により残存耐力を評価した結果を図-10に示す。結果から、未補修範囲においては、地震時に降伏を超える損傷が発生すると評価された。さらに、未補修部分の劣化した梁の影響を受け、すでに補修を行った梁についても損傷が拡大することが示された。このように、部分的な補修を行う際には、補修による効果と未補修部分の相互影響をあらかじめ把握しておくことが重要であり、それらを把握して補修を実施しなければその効果は限定的なものとなる可能性がある。本技術を活用することで、部分補修による効果や未補修部分の影響を考慮した予測を事前に把握することができるため、単に現状の残存耐力を把握するだけでなく、より合理的な補修方法を検討することができる。

## 5. おわりに

本技術は、施設管理者の方々から従前より問合せいただいていた「点検調査結果については理解したが、結局この栈橋はいつまで使えるのか？地震がきたら壊れるのか？」という懸念に対し、施設管理者が補修補強等の判断ができる指標が必要と考え、開発を始めたものである。劣化した栈橋の危険性を具体的に把握することで、施設管理者が積極的に維持管理に関わることとなり、予防保全型の維持管理へ転換が図られるも

のと考えている。本技術の活用により、合理的で計画的な維持管理が促進されることを祈念する次第である。

最後に本技術の開発や実栈橋への開発技術の適用にあたり、ご指導、ご支援をいただいた皆様に、謝意を表します。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 国土交通省：国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）令和3年度～令和7年度，pp.6-7，2021.
- 2) 国土交通省：令和2年版国土交通白書，pp.142-143，2020.
- 3) 国土交通省：令和2年版国土交通白書，p.146，2020.
- 4) 宇野州彦，岩波光保：劣化度判定結果を活用した残存耐力評価手法の実栈橋への適用，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.74，No.2，pp.I-55-I-60，2018.
- 5) 宇野州彦，岩波光保：鉄筋腐食を有する栈橋上部工を模擬した試験体の残存耐力に与える腐食方法及び縮尺の影響評価，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.75，No.2，pp.I-827-I-832，2019.
- 6) 宇野州彦，白可，岩波光保：人工知能技術を活用した栈橋の残存耐力評価手法に関する研究，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.76，No.2，pp.I-600-I-605，2020.
- 7) 宇野州彦，白可，岩波光保：画像情報を用いた機械学習手法による栈橋の残存耐力評価に関する研究，AI・データサイエンス論文集，Vol.1，No.1，pp.132-141，2020.

### 【筆者紹介】

宇野 州彦（うの くにしこ）  
五洋建設株式会社  
技術研究所 土木技術開発部  
担当部長



# 建物地震被災度即時推定システムの開発

諏訪 仁・江村 勝・中塚 光一

地震による建物の応急危険度判定を迅速に実施するため、日本建築防災協会は2021年に応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステムの技術評価を開始した。本報告では、建物内にセンサを設置し地震直後に応急危険度判定を行うシステム（以下、建物地震被災度即時推定システム）がその技術評価を取得したので、システムによる構造躯体の被災程度は小さいと考えられ使用可能（以下、Aランク）の判定方法について紹介する。今後、建物地震被災度即時推定システムを設置した建物を日本建築防災協会に登録することにより、構造躯体のAランク判定が技術評価を受けたものとして地震直後に実施できる。  
キーワード：応急危険度判定、構造モニタリング、センサ

## 1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震において首都圏で発生した帰宅困難者を踏まえ、地震後に企業等が施設に留まれるかの判断を迅速に行うことが求められている。地震後において、建物の応急危険度判定<sup>1)</sup>が余震等による建物倒壊に伴う二次的災害の防止を目的に実施される。従来の応急危険度判定は判定士による建物の目視調査で実施されており、判定結果を得るまでに4~5日程度<sup>2)</sup>かかっていた。このため、日本建築防災協会は応急危険度判定の迅速化を目的に、応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステムの技術評価を2021年に開始した。

このような背景を踏まえ、建物地震被災度即時推定システムを開発し、2022年3月に構造モニタリングシステムの技術評価を取得した。本システムを用いることにより、構造躯体の被災程度を地震後に数分程度で判定可能となり、従来の判定士による目視調査と比較して判定結果を得るまでの時間を大幅に短縮できる。

## 2. 建物地震被災度即時推定システムの概要

### (1) システムの概要

建物地震被災度即時推定システムでは、建物基部（1階）に1台と建物最上部（最上階または最上階より1階下）などに1台以上の計2台以上のセンサを設置する。地震発生時、建物基部で観測した加速度記録を設

計モデルに入力して地震応答解析を行い、設計モデルと実建物の違いを考慮して層間変形角を推測する。地震後に数分程度で、被災建築物応急危険度判定マニュアル<sup>1)</sup>における構造躯体の被災程度は小さいと考えられ使用可能（以下、Aランク）か否かを示す。

センサが設置されていない部分の層間変形角は、3章の求め方で推測されるため、センサの設置数の低減が可能となる。また、設計モデルを用いた弾塑性地震応答解析を行うため、層間変形角の推定において弾性時のみならず建物の塑性化による影響も考慮できる。

### (2) システムの適用範囲

対象は、1981年6月以降の新耐震基準において、ルート3（建築基準法施行令第82条 保有水平耐力計算）で設計された高さ60m以下の耐震構造の建物とする。ここで、対象建物を表1に示す。耐震構造以外の免震構造や制振構造などの建物は対象外となる。

構造躯体の被災程度がAランクでなかった場合、ならびに構造躯体以外（隣接建築物、周辺地盤、落下

表1 対象建物

構造種別	構造形式
RC造 SRC造	ラーメン構造
	耐震壁付きラーメン構造
	壁式構造
S造	ラーメン構造
	ブレース付きラーメン構造
	ブレース構造

ならびに転倒危険物など)の被災程度は対象外となり、建物の応急危険度を判定するには別途調査が必要となる。

(3) センサ及び収録装置

建物地震被災度即時推定システムで使用するセンサ及び収録装置の必要性能は、表一2となる。

3. 構造躯体の被災程度の判定方法<sup>3)</sup>

構造躯体のAランク判定に用いる指標値は層間変形角とし、閾値は(1)節により設定する。つぎに、(2)節により層間変形角を求め、各方向の全ての層における層間変形角が閾値以下であることを確認することで建物全体をAランクと判定する。判定は、地上部分を対象とする。

建物地震被災度即時推定システムの構成を、図一1に示す。Aランクの判定は建物内に設置したPCで演算し、センサと建物内PC間の通信は有線LAN、判定結果の建物内PCから建物外部への発信はLTE通信を用いる。

(1) Aランクの指標と閾値の設定方法

Aランクの評価フローを、図一2に示す。

立体解析モデルを対象に非線形荷重増分解析を行い、

- ・各層の層間変形角と層せん断力の関係
- ・構造特性係数Dsを計算するときの部材群としての種別

などに基づいて、Aランク閾値となる層間変形角を設定する。Aランク閾値は、非線形荷重増分解析を行った正方向と負方向それぞれ算出し、両方向のうち小さい方を建物地震被災度即時推定システムの閾値として用いる。

(a) RC造とSRC造のAランク閾値

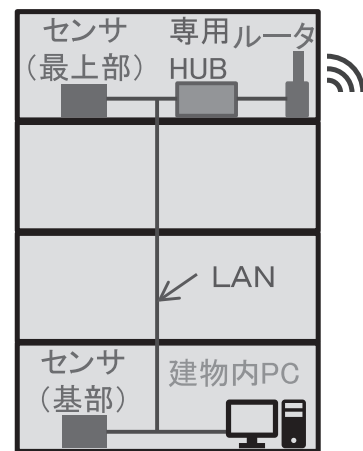
部材(柱、梁および耐震壁)種別がA~Cにおいてせん断余裕度(曲げ終局強度時せん断力に対するせん断終局強度の比率)が小さい場合、実建物の部材耐力が設計モデルから変動すると、破壊モードが曲げ破壊からせん断破壊に移行する可能性がある。このため、Aランク閾値となるk層の層間変形角 $\delta_{ck}$ は、部材のせん断余裕度に応じて区分した後に、表一1の構造形式ごとにAランク閾値を設定する。

(b) S造のAランク閾値

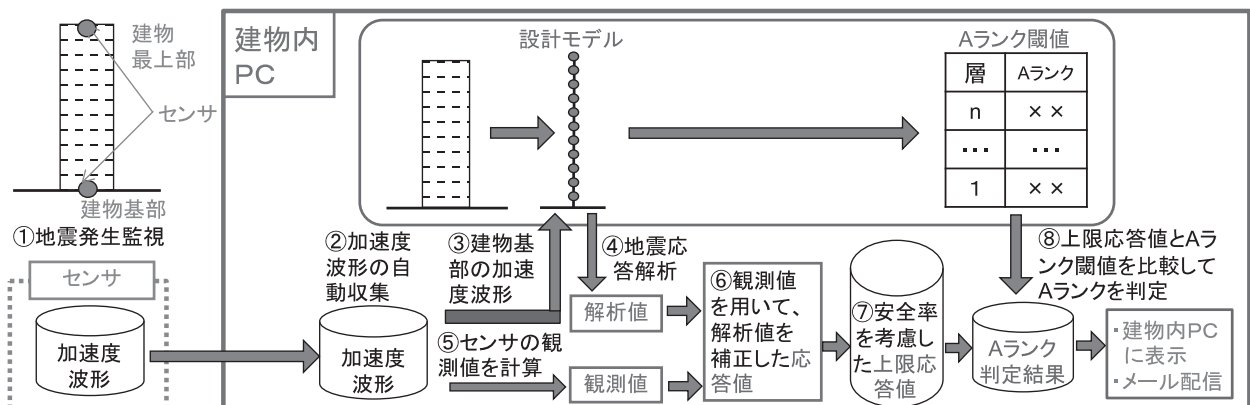
S造のAランク閾値となるk層の層間変形角 $\delta_{ck}$ は、表一1の構造形式ごとに設定する。

表一2 センサ及び収録装置の必要性能

項目	必要性能
サンプリング周波数	100 Hz~200 Hz の範囲で設定
分解能	0.01 gal
測定範囲	±2,000 gal~±3,000 gal の範囲で設定
周波数特性	DC~(50 Hz~100 Hz)の範囲で設定
センサ間の時刻同期精度	0.001 sec 以内



図一1 建物地震被災度即時推定システムの構成



図二 Aランクの評価フロー

(2) 層間変形角の求め方

(a) センサ変位の求め方

センサで観測した加速度波形をフーリエ変換して、複素フーリエ係数を計算する。加速度波形の長周期成分を除去するためハイパスフィルタを適用した後の複素フーリエ係数を計算し、フーリエ逆変換してフィルタ処理後の加速度波形を求める。加速度波形を時間積分して速度波形を計算し、基線補正をした後に速度波形を時間積分して変位波形を求める。

(b) 各層の層間変形角の求め方

各層の層間変形角と層せん断力の関係は、立体解析モデルを対象とした非線形荷重増分解析により求める。質点系の設計モデルは、層間変形角と層せん断力の関係をトリリニア型に置換して作成する。応答値の求め方を、図-3に示す。建物階数がnで、センサ設置階がi階とj階（ただし、 $i < j$ ）とする。建物基部（1階）のセンサで観測された加速度波形を設計モデル（質点系モデル）に入力して地震応答解析を行い、センサ間の最大相対変位（解析値） $d_{aji}$ とk層の最大層間変形角（解析値） $\delta_{ak}$ を計算する。 $1 \leq k \leq n$ として（n+1）階はR階とする。

$$d_{aji} = \max | P_j(t) - P_i(t) | \quad (0 \leq t \leq T) \quad (1)$$

$$\delta_{ak} = \frac{\max | P_{k+1}(t) - P_k(t) |}{h_k} \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2)$$

ここに、 $P_j(t)$ 、 $P_i(t)$  : j階、i階の相対変位波形（解析値）

$P_{k+1}(t)$ 、 $P_k(t)$  : k+1階、k階の相対変位波形（解析値）

$h_k$  : k層の階高

$T$  : 波形の継続時間

つぎに、i階とj階のセンサで観測された加速度波形を時間積分して絶対変位波形を計算し、i階とj階のセンサ間の最大相対変位（観測値） $d_{Oji}$ を計算する。

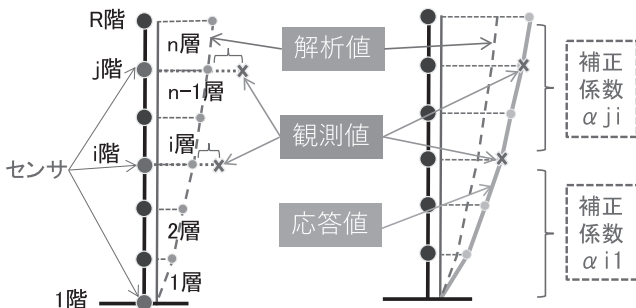


図-3 応答値の求め方

$$d_{Oji} = \max | D_j(t) - D_i(t) | \quad (0 \leq t \leq T) \quad (3)$$

ここに、 $D_j(t)$ 、 $D_i(t)$  : j階、i階の絶対変位波形（観測値）

このとき、解析値と観測値の乖離を補正するため、センサ間の最大相対変位（解析値） $d_{aji}$ とセンサ間の最大相対変位（観測値） $d_{Oji}$ を用いて補正係数 $\alpha_{ji}$ を計算する。

$$\alpha_{ji} = d_{Oji} / d_{aji} \quad (4)$$

最大層間変形角（応答値） $\delta_k$ は、センサ（建物上部）の設置階jに応じた補正係数 $\alpha_{ji}$ を最大層間変形角（解析値）に乗じて評価する。

1) 建物上部のセンサ設置階jが（n+1）のとき

$$\delta_k = \alpha_{n+1, i} \times \delta_{ak} \quad (i \leq k \leq n) \quad (5)$$

2) 建物上部のセンサ設置階jが  $j \leq n$  のとき

$$\delta_k = \alpha_{ji} \times \delta_{ak} \quad (i \leq k \leq n) \quad (6)$$

建物地震被災度即時推定システムでは、最大層間変形角（観測値） $\delta_{Ok}$ と最大層間変形角（応答値） $\delta_k$ から求められる応答誤差を考慮するため、最大層間変形角（応答値） $\delta_k$ に安全率Sを乗じた最大層間変形角（上限応答値） $\delta_{Sk}$ を用いる。

$$\delta_{Sk} = S \times \delta_k \quad (7)$$

センサが建物基部（1階）と建物最上部（最上階より1階下）に2台設置されたとき、(7)式の安全率Sは文献4)の検討結果に基づき1.5に設定する。

(3) 判定結果の示し方

判定結果の内容は建物内PCに表示し、かつ、建物所有者、建物管理者等へメールにより判定結果を報告する。建物内PCならびにメールに表示されるAランク判定は、表-3とする。

表-3 Aランク判定の表示

Aランク判定の場合	応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価を受けたKA判定結果：『KA』
Aランク判定でなかった場合	応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価を受けたKA判定結果：『判断するには別途調査が必要』



#### 4. 建物地震被災度即時推定システムの設置例

##### (1) システムの設置条件

対象は、都内に建つS造4階のブレース付きラーメン構造の建物<sup>5)</sup>となる。被災度判定に用いるセンサは、1階と4階の2箇所に設置する。3章の層間変形角の求め方を検証するため、検証用センサを2階と3階の2箇所に設置する。4階のセンサ配置図を図-4に、センサ設置写真を写真-1に示す。また、建物内PCの設置写真を写真-2に示す。

構造特性係数Dsを決定するときの部材群としての種別を用いて、3章の手法に従い建物各層のAランク閾値を求める。ブレース付きラーメン構造の層間変形角 $\delta_{ck}$ は、(1)柱および梁部材の曲げ降伏に基づく

値 $\delta_{hk}$ と、(2)ブレースの降伏に基づく値 $\delta_{bk}$ の中で小さい方の値として(8)式より求める。

$$\delta_{ck} = \min \{ \delta_{hk}, \delta_{bk} \} \quad (8)$$

##### (2) 観測値と上限応答値の比較

2018年11月～2022年3月に観測した合計93地震を対象に、(7)式により安全率を考慮した最大層間変形角(上限応答値)を計算する。最大層間変形角(観測値)と最大層間変形角(上限応答値)を比較すると、図-5となる。最大層間変形角(観測値)が大きくなるに従い、最大層間変形角(上限応答値)は最大層間変形角(観測値)と比較して大きくなる。最大層間変形角(観測値)が約0.00015以上の範囲では、最大層間変形角(観測値)が最大層間変形角(上限応答値)を超過する割合は0となる。従って、最大層間変形角(上限応答値)を用いることにより、センサが設置されていない部分の最大層間変形角は、構造躯体のAランク判定が必要となる最大層間変形角の範囲において安全側に評価できることが検証された。

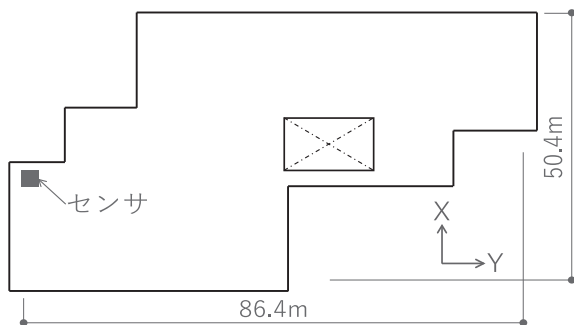


図-4 4階のセンサ設置図

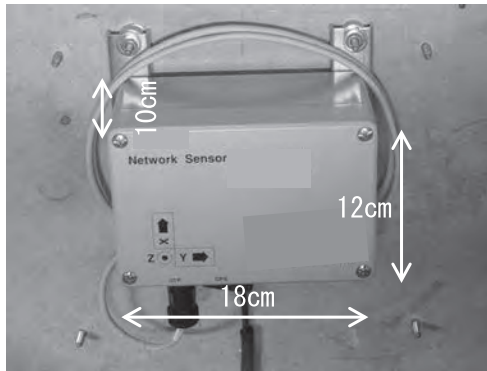


写真-1 センサの構造躯体(床)への設置



写真-2 建物内PCの設置

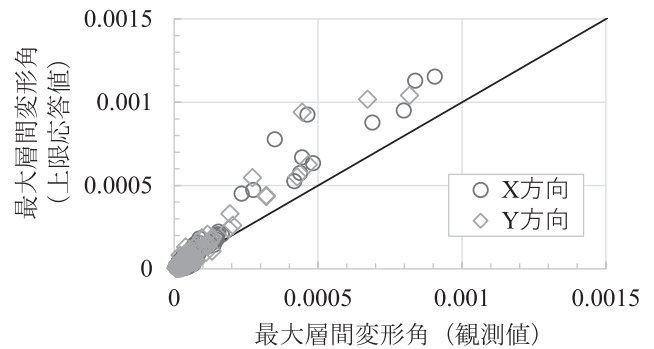


図-5 観測値と上限応答値の比較

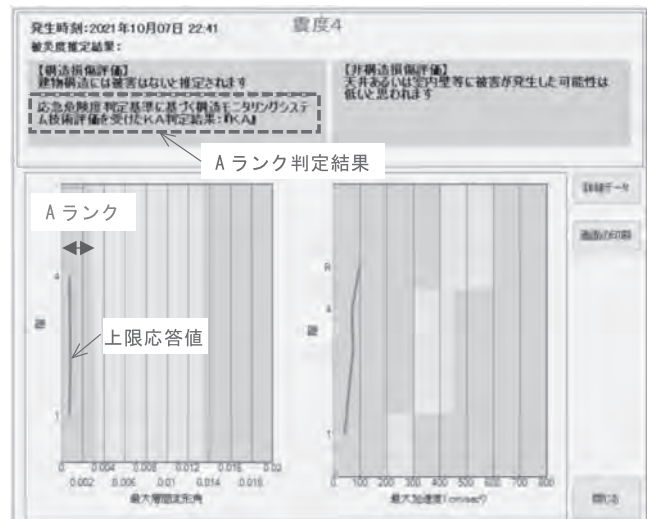


図-6 判定結果の例

### (3) 判定結果の表示例<sup>6)</sup>

2021年10月7日に発生した千葉県北西部の地震(M5.9)を対象に、建物内PCに表示された判定結果を図-6に示す。図中に点線枠で示すように、この地震における判定結果はAランク(応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価を受けたKA判定結果:『KA』)となった。

## 5. おわりに

建物地震被災度即時推定システムを対象に、構造躯体の被災程度がAランクの判定方法を紹介した。本システムを都内に建つS造4階の建物に設置し、これまでに観測した地震を対象にセンサを用いた建物応答値などについて検証した。本システムを建物に設置し日本建築防災協会に建物登録することにより、構造躯体のAランク判定が技術評価を受けたものとして地震直後に実施可能となる。今後、本システムを用いて応急危険度判定の迅速化を行い、在館者の残留可否の早期判断などの震災時BCPの実現を予定している。

JCMA

#### 《参考文献》

- 1) (一財)日本建築防災協会, 全国被災建築物応急危険度判定協議会: 被災建築物応急危険度判定マニュアル, 1998.6
- 2) 国土交通省, (社)国際建設技術協会: 平成14年度 建設技術移転指針策

定調査(応急危険度判定)報告書, 平成15年3月

- 3) 諏訪仁, 江村勝, 中塚光一, 三好夏恵, 三浦耕太: 建物地震被災度即時推定システムの設置・判定・管理指針, 建築防災, 通巻535号, 2022.8
- 4) 諏訪仁, 三浦耕太, 江村勝, 三好夏恵: 建物の地震被災度判定における応答値の評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2022
- 5) 諏訪仁, 三浦耕太, 江村勝, 三好夏恵: 地震直後における建物被災度判定法-2021年2月13日福島県沖の地震への適用-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021
- 6) 諏訪仁, 三浦耕太, 江村勝, 中塚光一, 三好夏恵: 建物地震被災度即時推定システムの開発, 大林組技術研究所報, No.86, 2022

#### 【筆者紹介】



諏訪 仁(すわ ひとし)  
 (株)大林組  
 技術研究所 構造技術研究部  
 副部長



江村 勝(えむら まさる)  
 (株)大林組  
 設計本部  
 統括部長



中塚 光一(なかつか こういち)  
 (株)大林組  
 設計本部  
 統括部長

# 免震建物の総合的なモニタリングシステムの開発

浜 辺 千佐子・吉 澤 睦 博・曾 根 孝 行

現在、国内では高い耐震性能を有する「免震建物」の普及が進んでいる。免震建物において、免震装置が設置されている免震層は、高い耐震性能を実現するための重要な層である。このため、日常的な免震装置・層内環境の維持管理が必須であり、さらに地震直後の免震層の健全性の把握が重要となる。一方、社会動向として防災に関するIT化が推進されており、その例として地震後に建物の構造体の健全性を推定支援するモニタリングシステムの導入事例の増加等がある。そこで筆者らは、これらのニーズや社会動向を受けIT・センシングの技術を駆使し、免震層内の日常の維持管理、および地震後の免震層内や上部建物の健全性を推定支援する、免震建物の総合的なモニタリングシステムを開発した。システム導入事例の検証により有効性を確認している。

キーワード：免震構造、免震装置、変位計測、加速度計測、ヘルスマニタリング、被災度判定

## 1. はじめに

現在、国内では地震後の事業継続のための方策（BCP:Business Continuity Plan）が進められている。庁舎や医療施設など防災拠点として機能する施設（以下、重要施設）では、大地震後も建物機能を維持したいというニーズが強いため、BCPが重要な位置付けとされている。そのため、重要施設を中心に高い耐震性能を有する「免震建物」の普及が進んでいる。免震建物は、免震装置が設置されている免震層を有しており（図-1）、高い耐震性能を実現するための重要な層であることから、日常からの免震装置や免震層内環境の維持管理、および地震直後の免震層の健全性の把握が重要となる。

一方、社会背景として地震災害の激甚化や防災に関する労力不足の課題の解決策の一つに、防災対策のDX化の推進が挙げられる。その一例には、地震後に建物の健全性（被災度）を推定支援するモニタリングシステムの開発、展開がある。建物管理者らによる地震後の迅速な建物継続利用判断をサポートし、企業のBCPや帰宅困難者対策へと活用されている。

このような社会ニーズ・社会動向に応じ、筆者らはセンシング・IT技術を活用し、免震建物を対象として、日常の維持管理から地震後の健全度推定支援まで総合的に活用できる「免震建物の総合的なモニタリングシステム」を開発した。なお、本システムには、免震構造以外の構造形式の建物にも幅広く活用できるメニューも含んでいる。

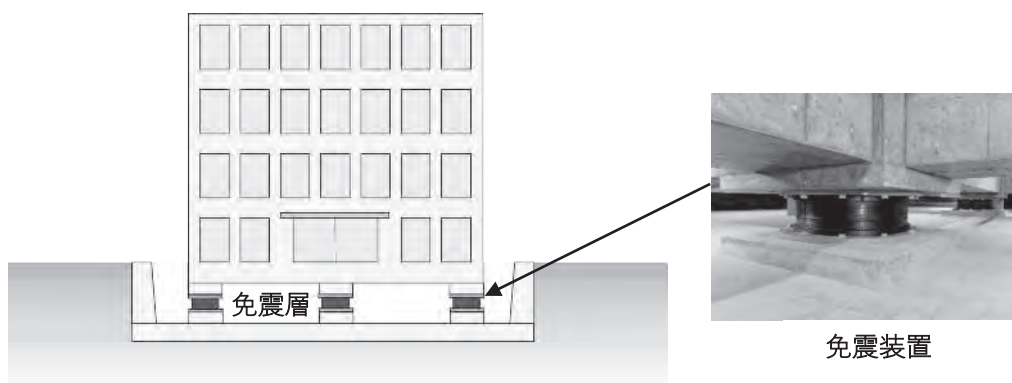


図-1 免震建物イメージ図

## 2. 「免震建物の総合モニタリングシステム」の概要

本システムが提供する4つのメニューを表一に示す。日常の維持管理用と地震後の健全度推定用のメニューにより構成されている。メニューのうち「免震装置変形遠隔監視」と「免震層モニタリング」は免震構造専用であるが、「画像監視」と「建物健全度推定支援」は免震建物のみならず耐震建物・制振建物にも適用可能である。これらのメニューは、建物管理者などシステムユーザーのニーズに応じて適宜選択する運用となっている。なお、システム実装後にメニューを追加することも可能である。

図一2にシステム構成を示す。メニューに応じた各種センサーを建物内に設置する。いずれのセンサーも設置やメンテナンスが容易なものとなっている。これらのセンサーによる計測データは、管理用パソコン画面で一括監視を行う。また、Webサーバを利用しインターネット経由で遠隔の複数拠点からの確認や、スマートフォンやタブレットでの確認も可能である。図一3に各メニューの画面イメージを示す。

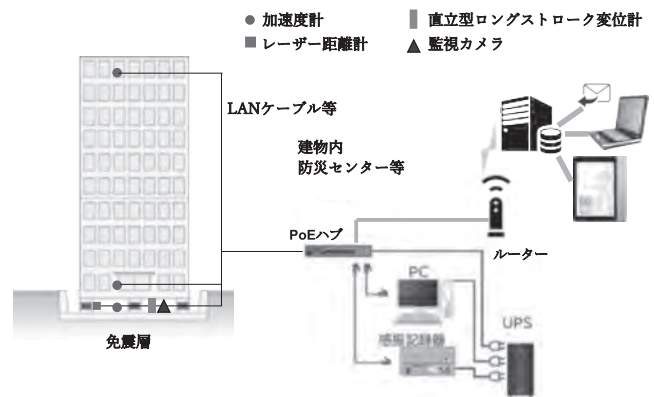
## 3. システムメニューの概要

以下に、各メニューのシステム概要を示す。

### (1) 免震装置変形遠隔監視

本メニューは日常的な免震装置の維持管理のためのものである。施工中から導入し、免震装置の計測管理に活用し、竣工後に維持管理用として継続利用することも可能である。

免震装置の鉛直方向または水平方向の変位量、周辺



図一2 システム構成イメージ

表一 本システムが提供する4つのメニュー

メニュー	日常の維持管理		地震後の健全度推定	
	免震装置変形遠隔監視	画像監視	免震層モニタリング	建物健全度推定支援
機能	日常の免震装置維持管理の一部に活用	日常、地震時の免震層や建物内状況を目視確認	免震層の変位履歴および点検要否推定結果を表示	加速度記録等および建物各階の健全度推定結果を表示
センシング内容	免震装置の変形変動をレーザー距離計で自動計測	監視カメラで免震層や建物内を監視	「直立型ロングストローク変位計」により免震層地震時変位を計測	建物内の加速度計で地震時加速度を計測
適用建物	免震建物用	免震建物以外も適用可	免震建物用	免震建物以外も適用可



免震装置変形遠隔監視



画像監視



免震層モニタリング



建物健全度推定支援

図一3 システム画面イメージ

温度を自動計測し、免震装置の計測点検に必要な数値を算出、表示する。免震装置は、温度や経年変化の影響で日常的に微小な変形が生じるため、定期的な計測点検が必要とされる。センサーはレーザー距離計を用いており、選定理由として、免震装置は地震時に最大数 10 cm 水平変形するため、その変形を阻害しないように非接触型を選択した。図-4 に示すように鉛直、水平計測とも 2 台ずつセンサーを設置し、計測頻度は 1 時間に 1 回を標準とする。表-2 に計測管理

項目を示す。この項目は（一社）日本免震構造協会の基準に準拠したものである<sup>1), 2)</sup>。表中の鉛直変位計測項目のうち、温度補正高さ（20℃換算値）とは、免震装置の長期的なクリープ変形量を把握するため、ゴム部分の熱ひずみの影響を差し引いた数値であり、本システムでは変位と温度の計測値より自動計算する（以降、基準温度補正高さと呼ぶ）。

施工期間中に計測した事例を紹介する<sup>3)</sup>。対象とした建物は、平面規模が 330 m×170 m という長大な平面の、地上 10 階建の基礎免震構造である。長大な平面のため床躯体の乾燥収縮・温度ひずみ等の影響により免震装置の変位量が想定より大きくなるリスクを考慮して、本メニューにより、リアルタイム管理を行った。計測対象装置の平面位置を図-5 に示す。計測対象装置は建物外周を主として合計 15 か所とした。図-6 は、対象装置 A 近傍の免震層内温度と外気温度（気象庁 HP より）、図-7 は装置の水平変形を示す。この 2 つのデータ照合により、施工中の装置変形は温

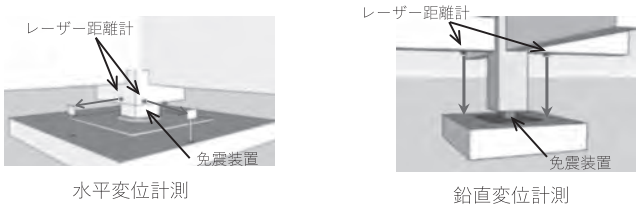
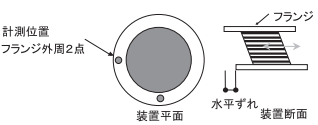
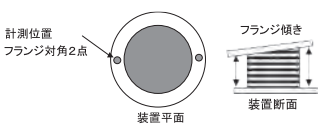


図-4 レーザー距離計の設置イメージ

表-2 計測管理項目

	管理項目	しきい値
水平変位計測	上下フランジ水平ずれ (X, Y 方向) 計測位置 フランジ外周2点 	最大水平 ずれ量
	上下フランジ間距離 (対角 2 点) 計測位置 フランジ対角2点 	出荷検査時高さ からの 最大鉛直変位量
	温度補正高さ (20℃換算値)	同上
	フランジ傾き	最大傾き角度

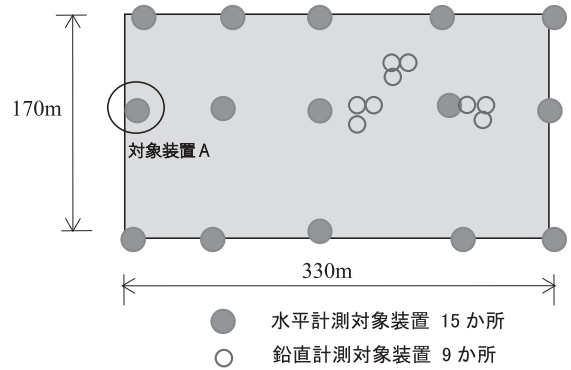


図-5 計測対象装置の平面位置図

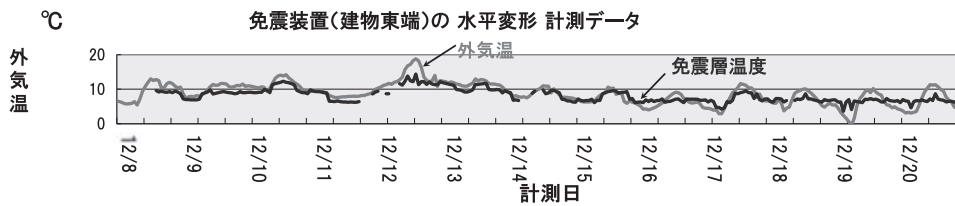


図-6 免震層内温度（対象装置 A 近傍）と外気温

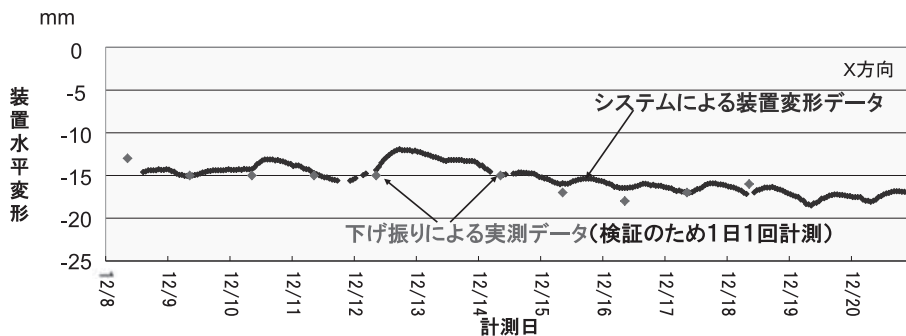


図-7 免震装置水平変形（建物端部の対象装置 A）

度との相関が強く、免震層直上の床スラブ躯体の温度ひずみに追従していることが想定されたため、その情報を次工程の施工にフィードバックした。また、システムの精度検証として、定期的な下げ振りによる実測値と整合し信頼性を確認した。

本建物では、竣工後も長期モニタリングを行っている。図-8に6年半にわたり鉛直変位を計測したグラフを示す<sup>4)</sup>。図中の上のグラフは外気温と免震層内温度、下のグラフは鉛直高さや自動温度補正高さの変動量である。季節変化による気温変動に応じて一定周期で変位変動していることから、免震装置(積層ゴム支承)のゴム部分の温度ひずみによる影響が大きいと考えられる。免震装置の鉛直方向の長期クリープ変形については、関連する調査研究事例は多くあるものの<sup>5)</sup>など、免震装置のゴム部分の温度ひずみ成分とクリープ変形成分の正確な案分が難しい。本システムによる鉛直変位と周辺温度の同期データの長期蓄積により、温度ひずみ成分を精度高く把握することができ、長期クリープ変形量の高精度な検証が可能となる。

## (2) 画像監視

免震装置の外観や免震層内または地震後の建物内の被害状況を監視カメラにより目視確認するメニューである。図-3で示した画像監視の画面は、現地では免震層内は消灯しており前も見えないほど暗い環境であるにも関わらず、投光器の設置により鮮明に免震装置や免震層内の状況が確認できている。これは遠隔地からの維持管理に対しても大変有効な機能である。免震層用の他に、建物室内用にセンサーライト内蔵の監視カメラも選択可能である。これら監視カメラ・投光器の電源は、非常用電源付のパソコンからLANケーブルを通じて給電しており、災害後にカメラの設置箇所が停電で暗転した場合も、監視カメラが稼働し状況確認が可能となり、災害時にも役立つメニューである。

## (3) 免震層モニタリング

本メニューは、地震時の免震層の変位履歴をデジタル値で記録する「直立型ロングストローク変位計」を用いて、リアルタイムに免震層変位の軌跡図や最大変位量等をパソコン画面に出力する。背景として、大地震後の免震建物の健全性の判断は免震層の最大変形量や変形履歴を把握する必要性があげられる。従来は、免震層内に物理的に変位軌跡を記録する「変位ケガキ計」(写真-1)を設置し、地震後に建物管理者や免震点検技術者が免震層に立ち入り目視確認する運用となっていた。しかし免震層は余震で水平に変形する危険性もあり、また軌跡からの健全性判断が技術的に難しいという課題があった。そこで我々は「直立型ロングストローク変位計」(写真-2)を開発した。免震



写真-1 変位ケガキ計 (従来)

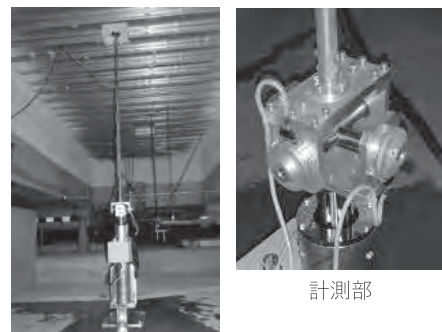


写真-2 直立型ロングストローク変位計

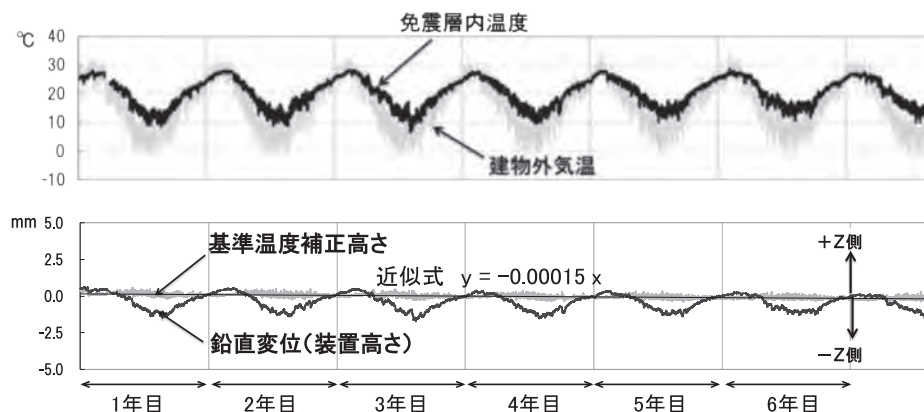


図-8 モニタリング事例 鉛直変位計計測データ

層の変位時刻歴 (X, Y 方向) をデジタル計測し、遠隔したパソコンで確認できる。図-9 に直立型ロングストローク変位計の概要を示す。免震層が地震時に水平変位した場合、図中 (b) に示すように主軸材が X, Y 方向に傾き、その回転量を計測部に設けた回転計を使って計測し、その結果を用いて水平二方向の変位量を算出する仕組みである。

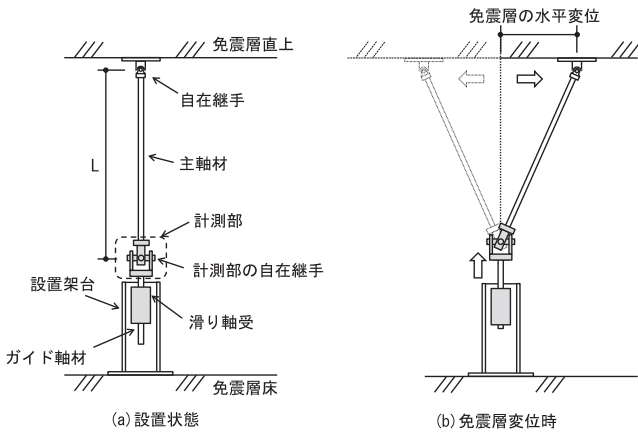


図-9 直立型ロングストローク変位計の概要

(4) 建物健全度推定支援

本メニューは建物内の複数の階に加速度計を設置し、加速度計測値を用いて、直ちに建物各階の健全度 (安全, 要注意, 危険) を推定、その結果を画面表示するものである。図-10 に出力画面イメージを示す。

現在、同様な機能をもつシステムが多数、開発・販売されている。普及の背景に、行政の帰宅困難者対策がある。地震後に極力建物内にとどまるよう、施設管理者に対して早急に建物の安全性に関する判断を行うことを求めている。しかし、現状では建物全体の点検の実施は困難である場合も多く、危険を伴うリスクもある。加えて、施設管理者が構造的な安全性を推定することは難しい。本メニューは、このような課題の解決策の一つとして、導入が進んでいる。

4. おわりに

免震建物を対象に、日常の免震層の維持管理や地震後の建物の健全性を推定支援する機能を備えた「免震

健全度推定結果

地震情報

ステーション	大阪Aビル	地震検知時刻	2018年06月18日 07時58分39秒
--------	-------	--------	-----------------------

診断結果

診断項目	南北成分	東西成分	判定
建物最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	159.1	358.0	要注意
入力最大速度 (cm/s)	11.2	24.4	安全
最大層間変形角 (rad)	1/563	1/541	安全

観測日時		2018年06月18日 07時58分39秒		
階	震度階	最大加速度 (gal)		
		南北成分	東西成分	上下成分
31F	震度5強相当	159.1	209.5	284.3
15F	震度5強相当	148.6	358.0	478.5
B2F	震度5弱相当	98.3	252.8	175.4
長周期地震動階級		大阪Aビル	階級1	
		大阪市北区	階級2	

凡例	
安全	無被害～軽微
要注意	小破
要注意	中破
危険	大破以上

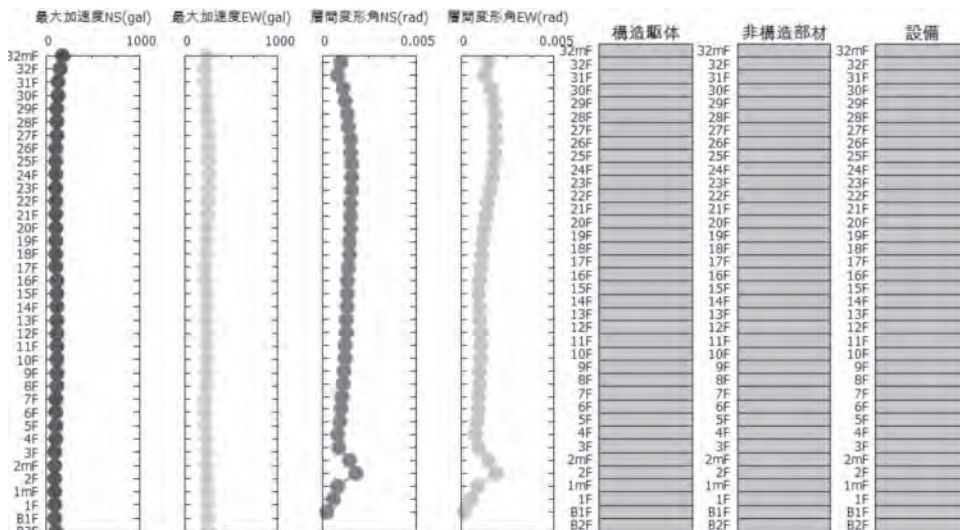


図-10 健全度推定支援出力画面イメージ

の総合的なモニタリングシステム」を開発した。本論では、システムの4つのメニューの概要や導入事例を紹介した。

本システムは、大規模地震に備えた有効なBCP対策の一つと考えている。今後も、建物へのシステム導入を推進し建物や地域の防災力強化に貢献するとともに、地震観測結果のフィードバックによる技術的検証を積極的に推進していく。



《参考文献》

- 1) 日本免震構造協会：免震構造施工標準 2021（発行：経済調査会），2021.
- 2) 日本免震構造協会：免震建物の維持管理基準 2022,2022.
- 3) 浜辺，大畑：免震装置変位のリアルタイム遠隔監視システムの開発その1 開発システムの概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp. 617-618，2014年9月
- 4) 大畑，浜辺：免震装置変位のリアルタイム遠隔監視システムの開発その5 システムによる長期計測結果概要と積層ゴム支承の経年変化に関する分析（続報），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp. 917-918，2018年7月
- 5) 森田他：天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究（その2）クリープ特性について，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp. 399-400，2010年9月

【筆者紹介】



浜辺 千佐子（はまべ ちさこ）  
㈱竹中工務店  
空間・構造エンジニアリング本部  
シニアチーフエンジニア



吉澤 睦博（よしざわ むつひろ）  
㈱竹中工務店  
技術研究所 環境・社会研究部  
主席研究員



曾根 孝行（そね たかゆき）  
㈱竹中工務店  
技術研究所 建設基盤技術研究部  
グループ長





# 地理情報システムのプラットフォーム「Cube Earth」を活用した「スマートな防災システム」の自治体への提供

## 空間 ID 技術の活用と今後の可能性

武田 全史・榊原 翼

デジタル田園都市国家構想やデジタル庁創設に象徴されるように、官民を挙げての DX 推進が叫ばれるようになって久しいが、災害発生時の地方自治体における危機管理の現場は DX 化が遅れている領域である。依然としてホワイトボード、無線、携帯電話、FAX が多く利用され、アナログな手法による情報収集が行われており、迅速な情報の共有や管理が困難な状況で現場運営が行われている地方自治体も多い。本稿ではそのような状況を改善すべく構築した、空間 ID と GIS をベースにしたスマートな防災システムの自治体への展開と、本システムの都市 OS 及びスマートシティへの発展可能性について述べる。

キーワード：スマートな防災システム、空間 ID、都市 OS、スマートシティ、GIS、国土強靱化、自治体

### 1. はじめに

総合建設会社の(株)安藤・間は、オープンイノベーション推進の一環として、2022年にクラウド型オープンイノベーション支援プログラムを活用し、スタートアップ企業から新たな価値の創造に資する技術・アイデアを幅広く募集した。オープンイノベーションは、グローバルな競争が激化するなか、従来の自前主義に代わり、組織外の知識や技術を積極的に取り込むことを重要視することで、技術革新に留まるものではなく、新たな社会的価値を創造するものであると定義されているが、ハードとソフトの連携により新たな価値創造を生み出すことを目指す取り組みと言える。

本オープンイノベーション支援プログラムにおいては、「地域の防災・減災対策」など、建設領域に留まらず複数のテーマで協業アイデアを募った。

近年、気候変動による気象・環境の変化から自然災害が激甚化・頻発化する傾向にあり、半ば日常的と言えるほどに多くの地域での甚大な被害もたらされているが、従前から建設会社が事業領域としてきた堤防などのハード面による防災効果には限界がある。

他方、「地域の防災・減災対策」におけるソフト面での活躍が期待される防災システムとして、近年多くの IT サービスが世に送り出されている。

そこで(株)安藤・間は、オープンイノベーション支援プログラムの「地域の防災・減災対策」のテーマにおいて、空間 ID 特許技術を保有する(株)Cube Earth を採択し、現在協業を進めている。

様々な機能が期待される防災システムであるが、一般的には災害時の被災状況、避難所の運営状況、避難者の安否情報などをタイムリーに伝達するシステムと言える。また、防災システムが地理情報システム(GIS: Geographic Information System)<sup>※1</sup>と連携することで、様々な情報を総合的に管理・加工して視覚的に把握するシステムとしても活用されている。更に、防災システムと GIS に対して空間 ID 技術を活用してデータ連携基盤(Data Integration Platform)とすることで、より高度な情報の管理及び活用と、それによる迅速な判断と行動を可能にすると考えられる。

### 2. スマートな防災システム

(株)Cube Earth は、依然としてアナログな対応が行われている危機管理の現場において DX 化を促進し、収集した災害情報を住民へシームレスに公開することにより、住民の命と財産を守るスマートな防災システムを展開している。空間 ID 発行技術「Cube Earth」を利用して各種データ連携を行うことによって、災害状況の把握、避難所の管理、避難者名簿の作成の簡略化、要避難支援者の対応補助を容易に実行することができる。

本章では、スマートな防災システムの基盤となっている同社の特許技術である空間 ID 発行技術の特徴を

※1 GIS とは、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析やそれによる迅速な判断を可能にすることが期待される技術。

説明するとともに、危機管理の現場を地方自治体と想定し、地方自治体をユーザーとしたケースにおけるシステムのフローやネットワーク図を紹介し、スマートな防災システムのシステム概要を説明する。

### (1) 一般的な空間 ID

まず、空間 ID とは、特定の場所や地物情報を一意に識別する（ユニークな）識別子である。3次元空間を直視格子状に仮想的に分割した「空間ボクセル<sup>※2</sup>」に空間 ID を割り当て、特定の空間を識別することで位置を特定することが可能になる。これにより、モビリティや衛星、街中のセンサー等で取得される現実空間に関する異なるデータの組み合わせを容易にし、また、時間変化の情報を正確に反映し、個別のサービスに必要な実空間情報だけを提供する仕組みとして、様々な事業領域でユースケースやコンセプトが検討されている最中である。目下、デジタル庁や経済産業省などが規格化すべく策定を進めている。なお、経済産業省の空間 ID 規格である ZFXY 方式は、デジタル地図で使われている地図をタイル状に分割して使用する XYZ 方式に鉛直方向のインデックス番号付けて拡張を行っている。

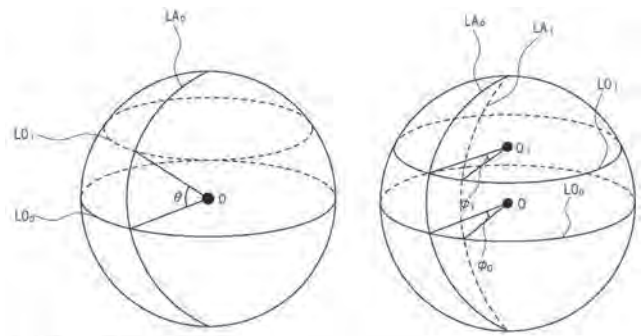
### (2) Cube Earth の空間 ID 発行方法

地球表面を正方形で分割（メッシュ化）し、各領域に識別子として ID（空間のアドレス）を付加する技術を用いて、空間 ID の発行を行う。地球は楕円体であるので、同じ大きさの正方形を置いていくと重複部分が発生してしまい隙間なく敷き詰めることができないが、図-1、2のように数学的な補正を行うことで隙間なく正方形で埋めることができるようになる。同社は、この空間 ID の付与方法について特許を取得している。

当空間 ID 発行技術の主な特徴は下記の通りである。

- ・正方形に分割して、ID（空間 ID）を付与する。
- ・正方形の1辺の大きさは1m～500mで可変にできる。
- ・1mの正方形の場合、約600兆（10の9乗）個のアドレスが発行され地球表面のすべてをアドレスで管理することができる。

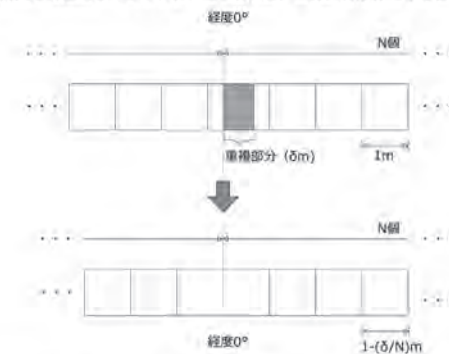
同社のスマートな防災システムにおいては、同社が特許を取得した空間 ID 技術が基盤技術として用いられている。情報化が進んだ現代社会において、位置を



- 1.地球を楕円球体として考える
- 2.各経度と緯度の単位長さを計算する
- 3.同緯度方向の周回の余りの長さを計算
- 4.余りを各位緯度の構成要素数で割り、分割数分ずらす
- 5.同緯度周回上で切れ目のないグリッドを作成
- 6.すべての緯度で同様の処理を行う
- 7.各グリッドの緯度経度の値をビット処理して空間IDとする

図-1 空間 ID 発行処理の概要 (1)

地球を経度方向で等間隔でグリッドを作成する場合、重複部分が発生することに対する対応



各緯度方向で同様の処理を行うとすべての緯度で等間隔でグリッドが作成できる。  
※ $\delta/N$  [m] はGPSなどの位置推定の誤差よりも非常に小さいので無視することができる。

図-2 空間 ID 発行処理の概要 (2)

用い、連携あるいは管理できる情報は多種多様であり、また膨大である。「地域の防災・減災対策」における分野では、「洪水」「内水」「高潮」「津波」「土砂災害」「火山」といったハザードマップや、あるいは地域住民の住所等が位置情報に関連する情報の事例として挙げることができる。地方自治体が既に保有、管理する様々な既存情報について空間 ID を用いることで連携させ、統合管理することを目指して構築されたのが本スマートな防災システムである。

### (3) スマートな防災システム

続いて、図-3に本スマートな防災システムを利用した防災対策を行う地方自治体での災害情報を地域住民へ公開するフローを示す。

地方自治体の災害対策本部から報告者への指示、報告を受け災害情報を共有し、対策本部で確認された災害情報を住民向けの防災アプリと連携し、住民へ災害情報を共有する。

図-4に災害対策本部から住民へ災害情報の公開

※2 ボクセルとは、「ボリューム (volume)」と「ピクセル (pixel)」を掛け合わせた造語であり、三次元グラフィックスなどで、立体物の表現に用いられる小さな立方体の最小単位を意味する。

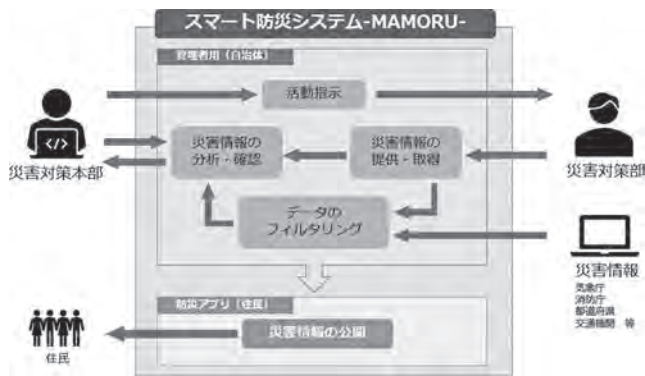


図-3 スマートな防災システムを利用した災害情報の公開フロー

例を示す。地方自治体が収集した災害情報は防災アプリを通じてシームレスに公開できる。

このことにより、住民は常に新しい災害状態、避難所の開設状態、混雑具合をリアルタイムで把握することが可能となる。

図-5に住民向け防災アプリの利用手順を示す。災害状況の確認、避難所開設状況、混雑具合、災害地を避けた避難所への経路検索等が行える。

図-6に本スマートな防災システムのネットワーク図を示す。

クラウド上 (AWS/GCP) には住民基本台帳情報の一部、福祉関係情報などが登録されるため、VPN (Virtual Private Network)<sup>※3</sup>で隔離した非公開データベース (DB) を設置し、住民用防災アプリが使う公開DBとは別々に設置した。

また、本スマートな防災システムは、危機管理対策本部と各キーステーション、避難所間での情報共有が必要なため、防災システムから公衆ネットワークへのアクセスにLTE/5Gを利用することで汎用性を高め、通信にはVPN接続とサーバー側にIP制限を行うことでセキュリティを確保した。また、同時に個人情報等を扱う上で、危機管理室でのガイドラインなどの運用上の配慮も行い、本システムのネットワークを実現した。

導入先の自治体においては、導入後から台風接近により3回の実働を行い、導入6カ月後に地震を想定した防災訓練を行った。

ユーザーからは、情報の一元管理ができることで、災害対策に携わっている危機管理担当者間の情報共有が楽になったこと、直感的に使えるUIで少ないトレーニングで運用ができ、概ね実働的なDX化が行えて、

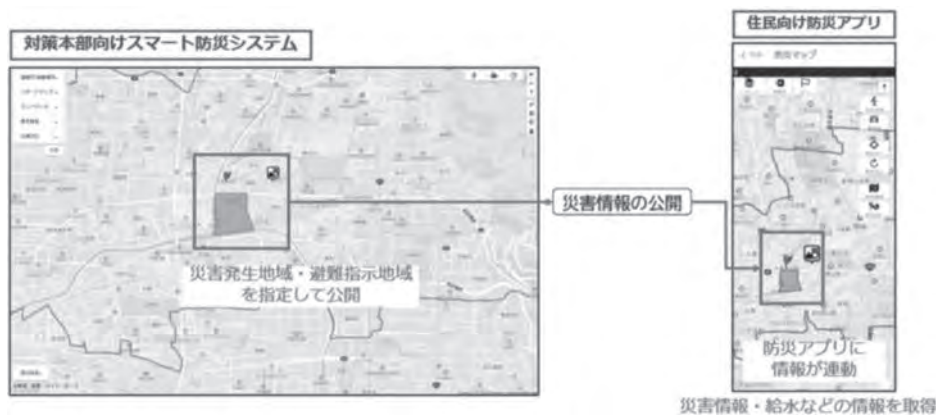


図-4 災害情報の公開例

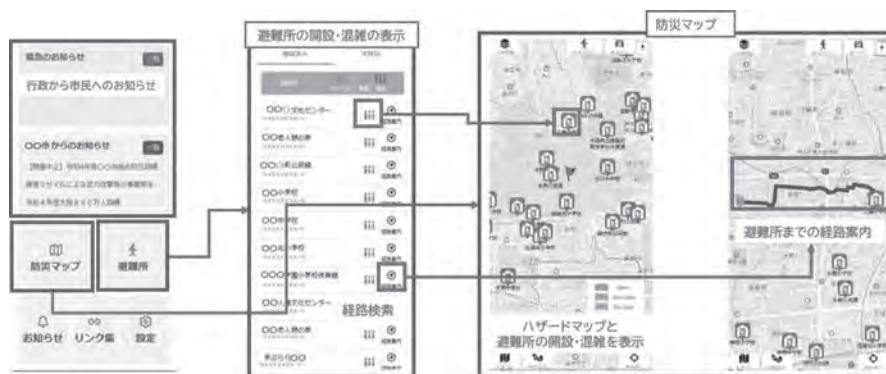
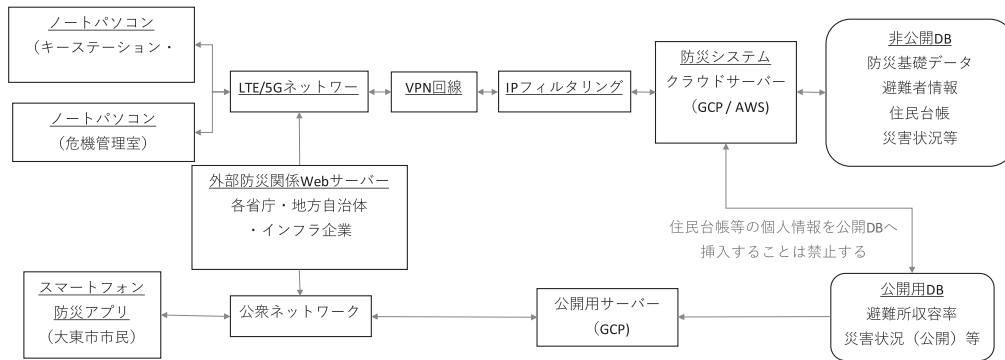


図-5 防災アプリの利用手順

※3 VPNとは、仮想プライベートネットワークあるいは仮想専用線とも呼ばれ、専用のルーターやスイッチを使い、物理的に離れた場所にある拠点間を仮想的なネットワークでつないで安全なデータ通信を実現する仕組み。



図一六 ネットワーク図

当初の課題が解決できているとの評価を得た。

### 3. 今後の展望

前章において紹介したスマートな防災システムは、空間 ID 技術を GIS と連携させ、「地域の防災・減災対策」の領域に特化して構成したサービスと言える。一方で、空間 ID 技術は、それに留まらない可能性を有している。

本章では、空間 ID のデータ連携基盤としての活用と、それによるスマートシティ領域への展開及び都市 OS への展開可能性について述べる。

#### ※用語説明

##### ・データ連携基盤

データ連携基盤（Data Integration Platform）は、異なるシステムやデータソースから取得した情報を効率的に統合し、一元的に管理・活用できるプラットフォームのことを指す。データ連携基盤は、多様なデータ形式やプロトコルに対応し、データの収集、変換、統合、保存、分析、提供などの機能を提供する。企業や組織が保有するデータは、通常、異なる部門やシステムで生成されるため、それらを一元的に統合することが重要となる。また、外部からのデータソースとの連携も求められることがある。

データ連携基盤を利用することで、以下のようなメリットがある。

- ①データの一元管理：複数のデータソースから得られる情報を集約して一元的に管理できる。
- ②データの統合：異なるデータ形式やプロトコルを統一的に処理して統合できる。
- ③リアルタイム性：データをリアルタイムで収集・処理し、迅速な情報提供が可能となる。
- ④データ品質の向上：データの正確性や信頼性を向上させるための処理や検証が行える。

⑤システムの効率化：データの自動化処理により、作業の効率化が図れる。

⑥データ連携基盤は、ビッグデータの活用や IoT（Internet of Things）の拡大など、多様なデータを効果的に活用するために重要な役割を果たしている。

##### ・スマートシティ

スマートシティとは、ICT 技術を用いて収集したビッグデータを活用し、都市のマネジメントが高度化することで地域住民の生活の質を高め、都市の抱える様々な課題の解決と、また新たな価値を創出し続ける、持続可能な都市や地域である。サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会 Society 5.0 の先行的な実現の場と定義されており、ロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化、貧富の格差などの課題を克服することが期待されている。

空間 ID 発行技術「Cube Earth」を活用したスマートな防災システムにより、ハザードマップ、防災情報、福祉情報、住民基本台帳等のビッグデータを活用してスマートシティ型の防災システムの構築をしたとすることができ、今後更なる都市マネジメントに必要な情報を連携、統合させることにより、「地域の防災・減災対策」の領域に留まらない、より複合的かつ包括的なスマートシティの基盤システムを目指すことが可能であると考えられる。

##### ・都市 OS

複合的かつ包括的なスマートシティの基盤システムを構築するうえで必要なのが、「都市 OS」の概念である。都市 OS は、スマートシティ実現のために必要不可欠とされている都市の基盤を整えるソフトウェアである。都市 OS では、主に①リアルタイムデータ（位

置情報が付加された IoT, ソーシャルメディアデータ等), ②履歴データ (リアルタイムデータに位置と時間の情報が付加されたデータ等), ③予測データ (人流, 交通流, 風・光・音環境, 防災等のシミュレーション結果データ) が扱われることが想定されているが, これらはいずれも位置情報に関連するデータである。

都市 OS 上で取り扱うデータには特性の異なる様々なデータ種別が存在するが, 空間 ID を活用したデータ連携基盤によってこれらの情報を取得し, その特性に従い適切に統合管理し, 有効に機能させることが「Cube Earth」の技術を用いることにより実現できると考えられる。

#### 4. おわりに

前章で, 「Cube Earth」の一般論的な発展可能性として, 都市 OS への展開可能性について述べたが, スマートな防災システム以外の具体的に想定するユースケースを紹介する。

「Cube Earth」の空間 ID は 3 次元拡張が可能であり, 実証検証を行う段階に入った。今後, その拡張性を活かし, ドローンの航行管理制御システムの構築, 山岳遭難者の捜索情報管理システムなどへの開発に取

り組む予定である。

空間 ID は活用領域が広く, また可能性と期待の大きい分野である。建設事業領域に置いても, インフラ点検の情報管理の他, 埋設物の管理システム, 建物におけるロボット運行管理システム, MaaS との連携等, ソリューションが求められるテーマも多い。

個別のテーマに応じたユースケース作りとともに, データ連携基盤を汎用化させて様々な都市課題の解決やアプリケーションが開発できる環境の構築を目指す。

JCMA

##### 【筆者紹介】

武田 全史 (たけだ まさふみ)  
㈱ Cube Earth  
代表取締役社長



榊原 翼 (さかきばら つばさ)  
㈱安藤・間  
本社経営戦略本部 イノベーション部  
担当課長



# 鉄道災害調査隊の発足及び被災調査支援活動

伊藤 翔太

鉄道・運輸機構（JRTT）は、新幹線等の鉄道建設で培った技術力を活用し、「鉄道ホームドクター制度」や「災害復旧工事の受託」を通じて鉄道の災害復旧の支援を行ってきた。

近年、激甚化・頻発化している自然災害により、地方鉄道で多くの鉄道施設が被災しており、被災時の支援活動の強化や復旧の早期化が急務となっていることを踏まえ、職員で構成する「鉄道災害調査隊（英語略称：RAIL-FORCE）」を令和5年4月に発足させた。

本稿では、鉄道災害調査隊を発足させた経緯及び概要を説明するとともに、被災調査支援活動（鉄道・運輸機構が国土交通省その他関係者と連携して、被災鉄道施設の復旧等に向けて被災鉄道事業者を支援するため実施する被災状況に係る調査その他必要な協力）の事例の活動結果を紹介する。

キーワード：鉄道、災害復旧、土工、排水設備、技術支援、被災調査支援活動

## 1. 鉄道災害調査隊発足の背景

近年自然災害が多発しており、毎年多くの鉄道施設が被災している。復旧に際しては災害復旧に関する知見を有した技術者の存在が不可欠であるが、特に中小の鉄道事業者は要員不足・技術者不足が顕著であり、自然災害に対して万全の対応を行うことが困難な状況である。それゆえ被災後の復旧までに日数を要すこととなり、地域住民等の生活を支える重要な交通インフラとしての機能を長期間に渡り果たせないケースが見受けられる。

被災した鉄道施設を早期復旧させるためには鉄道施設全般について専門的知見を有する者の関与が必要となる。鉄道・運輸機構は、新幹線整備を始めとした鉄道建設に関する豊富な知見やノウハウを有しており、鉄道ホームドクター制度や災害工事受託を通じて災害復旧支援を行ってきた。これに加えて、国と連携しながら被災した鉄道施設の調査などを行うことにより復旧活動の強化や復旧の早期化が図られる。さらに、鉄道・運輸機構の活動指針である第5期中期目標<sup>1)</sup>（令和5年2月27日付け）では「機構の技術力を活用した支援の充実」として、自然災害の発生時において鉄道建設に係る総合的な技術力やノウハウを有する公的主体として職員を現地に派遣し、鉄道施設の被害状況調査を実施するなど国土交通省等と連携して被災した鉄道の復旧支援に新たに取り組むことが明記され、機

構業務として正式に位置づけられることとなった。以上のことから、鉄道災害調査隊を発足したものである。

## 2. 過去の災害復旧支援事例

### (1) 過去の災害復旧支援実績

鉄道・運輸機構はこれまでも表—1のとおり主に地域鉄道に対して技術等支援を行う鉄道ホームドクター制度や災害復旧工事の受託を通じて災害復旧支援を行ってきた。

### (2) 国土交通省からの要請による調査事例：中小民鉄等の被災状況調査

東日本大震災被災後、国土交通省からの要請により「中小民鉄等鉄道施設の津波被災状況調査及び復旧方策検討業務」を実施し、東日本大震災により被災した中小民鉄等の鉄道施設について調査を実施し、復旧方法等について提案を報告書としてとりまとめた。

### (3) 復旧設計及び工事受託事例：三陸鉄道の復旧設計及び工事受託

三陸鉄道より要請を受け、2011年11月～2014年9月まで三陸鉄道の復旧にかかる設計及び工事を受託した（図—1）。本受託では、三陸鉄道からの要請に基づいて、被災した構造物等の復旧にかかる設計・施工を実施した。

表一 1 鉄道・運輸機構の過去の主な被災調査支援活動実績（日本鉄道建設公団の実績も含んでいる）

災害名称	主な支援内容
1995年阪神・淡路大震災	職員を派遣し、被災調査の実施及び出向
2004年新潟県中越地震	職員を派遣し被災調査の実施
2011年東日本大震災	鉄道施設の被災状況調査 職員の派遣及び出向、復旧工事の受託
2016年熊本地震	橋梁の復旧支援（設計・施工指導）
2018年7月豪雨	職員を派遣し、斜面の調査の実施（京都府内）
2019年東日本台風（台風19号）	職員を派遣し、高架橋・路盤等の調査の実施
2021年8月豪雨	職員を派遣し、河川橋梁橋脚の調査の実施（長野県内）
2022年台風14号	職員を派遣し、土留め壁の調査実施（山口県内）

(4) 技術指導事例：南阿蘇鉄道の復旧にかかる技術指導

南阿蘇鉄道より要請を受け、2019年2月～2023年3月まで南阿蘇鉄道第一白川橋りょう復旧にかかる設計・工場製作・架設に関する照査・指導を実施した（図一2）。



図一1 三陸鉄道復旧工事受託区間位置図



図一2 南阿蘇鉄道復旧工事受託箇所位置図

3. 鉄道災害調査隊の概要

鉄道・運輸機構は2. に記載の通りこれまでも災害復旧支援を実施してきた。これまでの鉄道ホームドクター制度では老朽化対策に関する助言、需要予測等のソフト面での支援、各種助成制度の紹介などを主に実施していたのに対し、鉄道災害調査隊は基本的に被災した鉄道施設の復旧支援等を行うところに違いがある。

鉄道災害調査隊の活動は事業者等に費用を求めず、無償で実施する。なお、鉄道事業者等からさらに調査の深度化や復旧工事等の要望があった場合、有償での対応も可能である。

(1) 鉄道災害調査隊隊員

鉄道災害調査隊として被災調査支援活動に派遣する職員は、主に本社の共通部門・管理部門に従事している技術系職員（土木・軌道・建築・機械・電気）および事務系職員（ロジ、記録、広報対応等）から選定することを基本としている。

技術系職員はこれまで機構が携わってきた鉄道建設プロジェクト（整備新幹線・都市鉄道等）において計画・調査・設計・施工管理等の実務経験を有しているため、要員不足・技術者不足で困難な状況に置かれている鉄道事業者に的確な技術的助言を行うことが可能である。

派遣の規模（派遣人数及び体制、期間等）は実際の被災状況等を踏まえて決定することとなるが、1回の調査あたり3～10名程度の体制で、1日から1週間程度の期間での派遣を想定している。

(2) 鉄道災害調査隊の派遣の流れ

鉄道災害調査隊は、地震・津波・風水害など自然災害により被災した鉄道事業者等が鉄道・運輸機構の支援を必要とする場合に国土交通省（地方運輸局等）に派遣を要望し、国土交通省から鉄道・運輸機構に要請

を行い派遣する。

要請があった場合は、鉄道災害調査隊隊員はいち早く被災現場に向き、被災現場の全体像の把握、個別施設ごとの被害状況の調査、本格復旧に向けた技術的助言等の支援を行う。

鉄道災害調査隊派遣の流れを図—3に示す。

①国土交通省への派遣要望

自然災害により被災した鉄道事業者等が、地域を管轄する国土交通省（地方運輸局等）に鉄道災害調査隊の派遣を要望する。

②鉄道・運輸機構への派遣要請

要請を受けた国土交通省は、必要であると認められる場合、鉄道・運輸機構に鉄道災害調査隊の派遣を要請する。

③鉄道災害調査隊の派遣

要請を受けた鉄道・運輸機構は、要請内容に応じた職員を選定して鉄道災害調査隊を編成し、速やかに現地に派遣する。

### 4. 鉄道災害調査隊の活動

鉄道災害調査隊の活動は大きく分けて初動の支援、応急復旧の支援、本格復旧の支援に分類される。各活動の内容を次に示す。

(1) 初動の支援（被災概況把握）

被災した路線について、現地踏査等により、被災現場の全体像を迅速に把握し、二次災害発生防止のための技術的助言を行う（写真—1）。

(2) 応急復旧の支援（個別施設被害状況調査）

被災した鉄道施設について、施設ごとに被害の状況を調査し、鉄道事業者等が実施する応急復旧に対する技術的助言を行う（写真—2）。

(3) 本格復旧の支援（復旧早期化支援）

早期復旧に向けて、必要な追加調査項目や恒久復旧



写真—1 目視による被災現場の全体像の把握



写真—2 路盤の流出状況の測定

対策について鉄道事業者等へ技術的助言を行うとともに、助言や被害状況の調査結果を調査報告書（図—4）として取りまとめて鉄道事業者等へ手交する。

### 5. 大井川鐵道への鉄道災害調査隊の派遣

(1) 調査の経緯

大井川鐵道は静岡県中部の一級河川大井川に平行して走る路線であり、大井川本線（金谷～千頭間 39.5 km）と井川線（千頭～井川間 25.5 km）の2路線で運行している（図—5）。2022年9月の台風15号によってほぼ全線が被災した。井川線は同10月に復



図—3 鉄道災害調査隊派遣の流れ



図—4 調査報告書の例





図一五 大井川鐵道路線図（地理院地図を加工）

旧しているが、大井川本線川根温泉笹間渡・千頭間は現在も運休している。2023年5月に同社から国土交通省に対して支援要望があったことから、国土交通省から鉄道・運輸機構に対して被災状況調査等の実施要請があり、鉄道災害調査隊による調査を実施したものである。

(2) 調査の概要

調査は以下の通り実施した。

- ・ 期間：2023年6月19日～6月20日
- ・ 範囲：家山・千頭間（約22.4km）
- ・ 箇所：土木26箇所，軌道13箇所
- ・ 内容：鉄道施設の被災状況調査（写真一3）

(3) 調査の結果

鉄道事業者が提案した復旧方法へのコメントやより良い対策等の助言，復旧工事計画の留意点や復旧事業費の所見について，恒久的復旧という観点から報告書を取りまとめた。主な助言内容は以下の通りである。

(a) 沢筋対策（重力式擁壁及び暗渠等の設置）

図一六は沢上流部からの流水増加により，路盤及



写真一三 調査の状況（路盤流出箇所）

び路床が流出したと想定される箇所である。沢の上流部からの土砂流入が確認されたため，土砂等の施工基面内への流入を防ぐための重力式擁壁の導入，また沢水の流路確保のために，暗渠もしくは開渠による復旧を助言した。加えて自治体管理水路からの土砂流入が確認されたため，水路管理者との連携の必要性について助言した。

(b) 導流堤の設置

図一七は，斜面上部から施工基面内へ土砂が流入してきた箇所である。当初の復旧工事計画ではモルタル吹付による斜面補強を計画していたが，斜面が広範囲のため補強範囲が広大になることが懸念される。そのため斜面の崩落が発生した場合でも土砂が施工基面外の平場に堆積するよう土砂流向を制御するため，重力式擁壁による導流堤の構築を助言した。

(c) 今後について

本調査を踏まえて鉄道事業者は復旧計画の精査を行っている。同路線の復旧に関連して沿線自治体を含めた関係者による「大井川鐵道本線沿線における公共交通のあり方検討会」が開催されており<sup>2)</sup>，同路線のあり方について本調査結果も踏まえて議論されている。鉄道・運輸機構は大井川鐵道と復旧に関する技術支援協定を2023年11月に締結しており，鉄道が地域にとってより価値のあるものとなるよう引き続き支援



図一六 沢筋対策



図一七 導流堤の設置

を行っていききたい。

### 6. いすみ鉄道・小湊鉄道への鉄道災害調査隊の派遣

#### (1) 調査の経緯

いすみ鉄道・小湊鉄道は共に千葉県中央部を走る路線であり、両路線の終点である上総中野駅で接続することで内房・外房を繋ぐ地域鉄道として重要な役割を担っている。2023年9月の台風13号によりいずれも大きく被災した(図-8)。2023年9月に両社から国土交通省に対して支援要望があったことから、国土交通省から鉄道・運輸機構に対して被災状況調査等の実施要請があり、鉄道災害調査隊による調査を実施した。

#### (2) 調査の概要

調査は以下の通り実施した。

- ・ 期間：2023年9月14日(いすみ鉄道)、  
同9月22日(小湊鉄道)
- ・ 範囲：総元・上総中野間(いすみ鉄道)、  
里見・上総中野間(小湊鉄道)
- ・ 内容：鉄道施設の被災状況調査(写真-4)



図-8 台風13号による被災状況<sup>3)</sup>

(国土交通省ウェブサイト <https://www.mlit.go.jp/common/001630885.pdf> より)



写真-4 路盤部の被災状況調査(いすみ鉄道)

#### (3) 調査の結果

大井川鉄道と同様の観点で報告書を取りまとめた。主な助言内容は以下の通りである。

##### (a) いすみ鉄道への技術的助言

写真-4は、元々の路盤及び路床が流出した箇所である。原因については、図-9の通り路盤上部の道路排水が溢れ鉄道用地内に流入した結果、鉄道側での排水が追いつかず路盤が流出したものと推定した。以上の原因推定をもとに、鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>4)</sup>に準拠した路盤復旧を行うとともに、恒久的な対策としては道路側の排水設備が適切に機能することが前提であるため、道路管理者との排水協議を実施することについて助言した。

##### (b) 小湊鉄道への技術的助言

図-10は、線路左側の斜面から倒木を伴う土砂流入により被災したと考えられる箇所である。土砂流入および倒木の発生源は斜面の上部であり、雨水等の供給源はその先にあると考えられる。

対策としては、倒木等を撤去の上、脆弱部の除去等や雨水の供給源である上部の管理者に土砂流入対策の実施を要請することを助言した。また、線路左のり面は泥岩が風化している傾向がみられるため、モルタル吹付等のり面保護の実施や、待ち受け対策として線路左側に土砂流入防止柵(親杭横矢板式)及び線路側溝の設置の提案を行った。

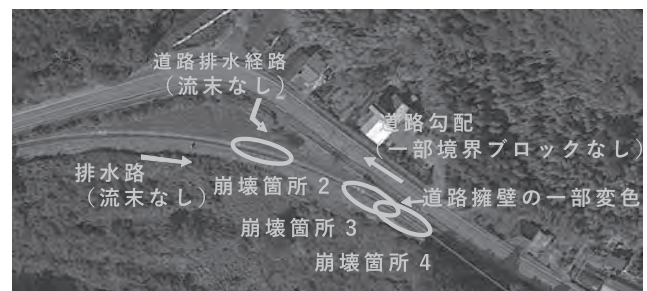


図-9 被災状況(航空写真に追記)



図-10 路盤部の被災状況(小湊鉄道)

## (c) 今後について

本調査を踏まえて各鉄道事業者は復旧計画の精査を行っており、それぞれの鉄道事業者と恒久復旧や予防保全等の継続的な支援を進めている。

## 7. おわりに

鉄道災害調査隊による被災調査支援活動は、今年度に機構の新たな業務として規定された。各鉄道事業者より被災した鉄道施設の復旧計画助言を求められ、複数案件の活動を行うことができた。近年自然災害の発生頻度の増大化・激甚化が進み、多くの鉄道施設が被災していることから、今後も被災調査支援活動に関するニーズは大きいと考えている。

今後は、各鉄道事業者への派遣経験を踏まえつつ、調査の訓練の実施や被災箇所の確認等で使用するドローン等調査備品の調達拡充を図る。鉄道・運輸機構では過去に被災調査を複数実施しているとはいえ、主たる業務としての被災調査支援活動はまだ手探り段階であるため、今後の調査に備えて、研修等の充実・マ

ニユアル等の整備により職員の被災調査に関する知見の充実を図ることとしたい。また、2023年10月には熊本県のくま川鉄道でも調査を実施した。

最後に、本調査の実施に当たり大井川鐵道株・いすみ鉄道をはじめ関係者各位に、厚く御礼申し上げる。

JICMA

## 《参考文献》

- 1) 国土交通省：独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 第5期中期目標  
<https://www.jrnt.go.jp/corporate/asset/5th-tyuukimokuhyou.pdf>
- 2) 静岡県：大井川鐵道本線沿線における公共交通のあり方検討会  
<https://www.pref.shizuoka.jp/machizukuri/kotsunetwork/1053580.html>
- 3) 国土交通省：<https://www.mlit.go.jp/common/001630885.pdf>
- 4) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物

## 【筆者紹介】

伊藤 翔太 (いとう しょうた)  
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
鉄道企画調査部 鉄道総合支援課  
課長補佐



# 省力化に貢献し、機動性に優れる 新たな防災ソリューション

## 災害停電時マンホールポンプ起動支援システム

平 木 勲

国内で数多く設置されているマンホールポンプ施設は、近年多発する台風や落雷等の自然災害によって電源を喪失し、機能停止に至るケースが増えている。このような電源喪失時においては、バキューム車や発動発電機により対応するケースが多いが、人員・資機材等の確保が困難であることや応急復旧までに多くの時間を要するという課題がある。このような課題に対して、可搬型蓄電池または電動車両を電源供給源とすることで、少ない人員で迅速な応急復旧対応を可能としたのが「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」である。本稿では災害停電時マンホールポンプ起動支援システムの開発に関する研究成果について報告する。

キーワード：マンホールポンプ施設, 自然災害, 停電, 可搬型蓄電池, 電動車両

### 1. はじめに

近年、大規模地震や地球温暖化に伴い多発する風水害等が各地で停電を引き起こし、マンホールポンプの稼働停止が増加している。現行の対策では、自治体と災害協定を結んだ地元支援企業等が可搬式の発動発電機を用意し、被災箇所に対応するのが一般的である。しかし、用意できる発動発電機には限りがあり、復旧できるポンプ数はその制約を受けるといった問題がある。また、発動発電機は重量があり、運搬の際はトラッククレーン等への積載が必要である。このような発動発電機の運搬性の悪さも問題となっている。

前述した問題の解決を目指し、「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」（以下、本システム）の開発を、（公財）日本下水道新技術機構等との共同研究にて行った。

図-1に本システムの概要を示す。本システムは、災害停電により停止したマンホールポンプを「可搬型蓄電池」や「電動車両」を電源供給源として、本システム用制御盤を介して迅速に起動させるシステムである。本システムは、可搬型蓄電池の運搬性に加え、電動車両自体も電源供給源となることのできるため、複数のマンホールポンプ施設の同時復旧が可能となる。

今回、本システムの開発において、自治体アンケートやフィールド実証実験等を通して研究成果が得られたため、報告する。

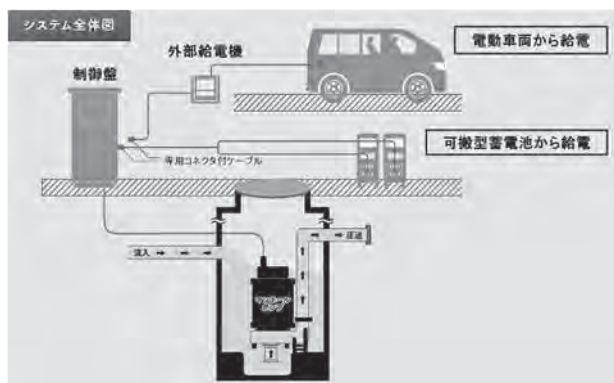


図-1 本システムの概要

### 2. 調査・研究方法

本研究は、図-2のフローの手順で研究を行った。以下に各調査・研究方法について記載する。

#### (1) 自治体アンケート・ヒアリング

本アンケートは、本システムを構成する製品の開発や運用方法の参考とするため、マンホールポンプに関する災害停電時の課題や、本システムに必要な機能要件等を整理することを目的に実施した。本アンケートは、マンホールポンプ施設の設置数が20台以上の実績がある約600自治体を対象に実施し、有効回答を得た274自治体の回答の分析整理を行った。さらに、停電発生の実績やマンホールポンプ所有数等を参考に6自治体を選定し、ヒアリングによるさらなる分析整理を行った。

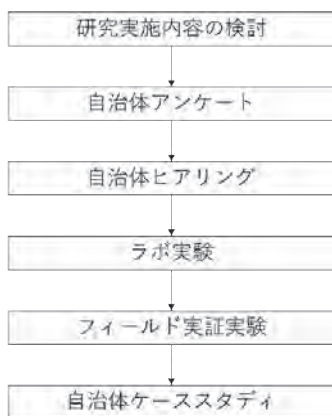


図-2 実験フロー

(2) ラボ実験

本ラボ実験は、可搬型蓄電池および電動車両を電源とした本システムによるマンホールポンプの稼動性能を確認することを目的に実施した。実施にあたってはポンプの起動および運転データを取得し、商用電源使用時のデータと本システム使用時のデータとの比較から本システムの稼動性能を確認した。図-3に本ラボ実験にて利用した実験用マンホールポンプ施設を、

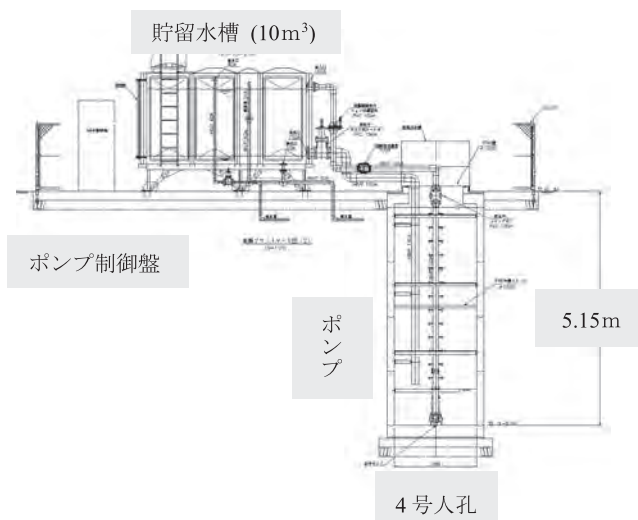


図-3 実験用マンホールポンプ施設概要図

表-1, 2に電源バッテリー仕様およびポンプ運転条件を記載する。

(3) フィールド実証実験

本フィールド実証実験は、実際に国内で稼動しているマンホールポンプ施設において、本システム用制御盤・可搬型蓄電池および電動車両によるマンホールポンプ稼動実証を行うとともに、災害停電時を想定した運用検証を行うことを目的に実施した。本フィールド実証実験は、50 Hz (A市) および 60 Hz (B市) 地域のマンホールポンプ施設にて行った。以下にそれぞれの具体的な実験条件と実験方法を記載する。

(a) マンホールポンプ稼動実証

本稼動実証では、各マンホールポンプ施設に設置されているポンプおよび水位計の配線を既設制御盤から本システム用制御盤に繋ぎ変え、可搬型蓄電池もしくは電動車両を電源供給源としてマンホールポンプを稼動させ、電流・電圧、運転時間等の運転データを取得した。さらに、取得した運転データから、本システムによるポンプ施設の運転継続が可能な時間（以下、運

表-1 電源バッテリー仕様

種類	出力	容量
可搬型蓄電池 (2台1セット)	4.0 kW	10 kWh
電気自動車 (EV)	6.0 kW	16 kWh
プラグインハイブリッド車 (PHEV)	6.0 kW	20 kWh

表-2 ポンプ運転条件

項目	条件
運転水位の揚程	2.65 m
停止水位の揚程	6.65 m
運転1回当たりの揚水量	10 m <sup>3</sup>
ポンプ出力	0.75 ~ 5.5 kW

表-3 A市およびB市の各マンホールポンプ施設の運転状況および実験条件

		ポンプ出力	運転1回の揚水量	1日の運転回数	使用電源	設定周波数
		[kW]	[m <sup>3</sup> ]	[回]	[-]	[%]
A市 (50 Hz)	C マンホールポンプ場	1.5	0.53	17	可搬型蓄電池	100
	D マンホールポンプ場	2.2	1.29	18	可搬型蓄電池	100
	E マンホールポンプ場	5.5	1.59	38	PHEV	80
B市 (60 Hz)	F マンホールポンプ場	2.2	1.85	96	可搬型蓄電池	100
	G マンホールポンプ場	3.7	2.12	29	EV	90
	H マンホールポンプ場	1.5	0.71	134	可搬型蓄電池	100
	I マンホールポンプ場	3.7	1.01	264	PHEV	90

転継続時間)を試算した。

表一3に本実証実験を行った各マンホールポンプ施設の運転状況および実験条件を示す。

(b) 災害停電時の運用方法を想定した運用検証

本運用検証では、災害停電時を想定して、復旧作業の起点となる管理事務所から2つのマンホールポンプ施設への電源バッテリーの運搬・設置および回収等を模倣的に行い、各作業に要する時間等を確認した。本運用検証は、A市およびB市にて行い、例として図一4にA市の運用検証ルートを示す。

3. 研究結果

(1) 自治体アンケート・ヒアリング

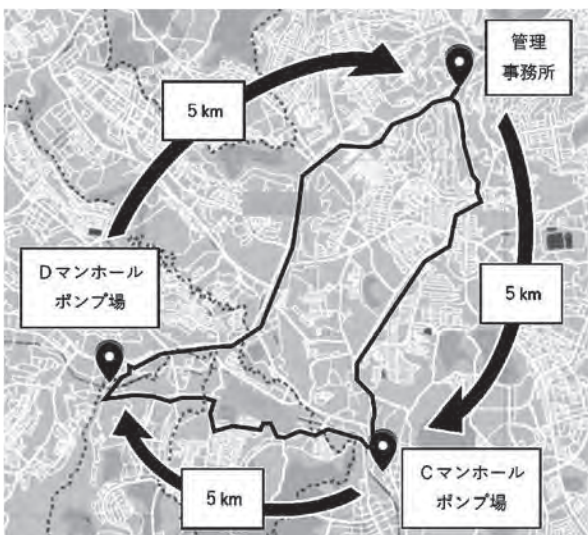
本アンケート・ヒアリングの結果を分析し、マンホールポンプに関する災害停電時の復旧に際する課題や本システムに必要な機能要件等を整理することができた。本アンケート・ヒアリングの結果は、続く種々の実験やケーススタディを行う際の参考にした。以下に、本アンケート・ヒアリングによる分析整理の結果の一部を記載する。

(a) 停電によるマンホールポンプ施設への影響

マンホールポンプが機能停止した場合、マンホールから汚水の流出等が生じる恐れがあり、地域住民の生活に深刻な影響を及ぼしかねない。実際に75%の自治体がマンホールポンプ停止の影響を受けており、全国的な困りごととなっている。

(b) 大規模停電時のマンホールポンプ施設起動に関する現状の課題

停電時のマンホールポンプの復旧には、発動発電機等の代替電源が最も多く利用される。復旧に際しての



図一4 A市の運用検証ルート

課題について、大多数の自治体が発動発電機およびマンパワー不足をあげている。

(c) 災害発生時の停電時間

図一5に災害発生時の停電時間を示す。1回の停電時間は6時間未満が60%以上である。緊急起動後の対応等を含めると、運転継続時間は半日程度が要件となってくる。

(d) 各自治体の出力別マンホールポンプ保有台数

図一6に、各出力のマンホールポンプを10台以上保有する自治体数を示す。最も多い出力は1.5kWで、次に多い出力が0.75kW以下と、小規模なポンプが多い傾向であった。一方で、5.5kWおよび7.5kW以上の大規模なポンプは、小規模なポンプと比べて台数が少ない傾向であった。よって、本システムにおけるポンプ出力の適用範囲は、5.5kW以下を標準型、7.5kWを特注型とした。

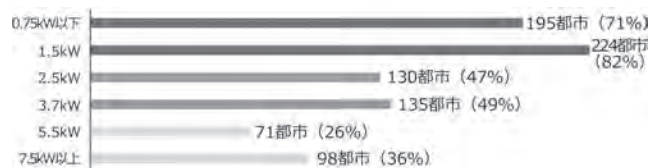
(2) ラボ実験

(a) 蓄電池の電動車への積載試験

可搬型蓄電池は作業員2人で運搬・設置が可能であり、EVには4台、PHEVには2台積載可能であることを確認した。写真一1に可搬型蓄電池の積載作業



図一5 災害時の停電時間



図一6 各出力のマンホールポンプ10台以上保有自治体数



写真一1 PHEVへの可搬型蓄電池の積載作業の様子

の様子を示す。

(b) 電源バッテリーによるマンホールポンプ起動実験

本ラボ実験で対象としたすべてのポンプ出力に対して、本システムによる起動を確認し、概ね商用電源使用時と同様のポンプ性能を示すことを確認した。

(c) 各揚程における消費電力量

図一7に、ポンプ出力 1.5 kW の各揚程における消費電力量を示す。図一7は可搬型蓄電池を電源供給源として周波数 100%により運転したデータである。揚程が低いほど、すなわちマンホール内の水位が高いほど、消費電力が少ないことが示された。他のポンプ出力、電動車両を電源供給源とした場合でも同様の結果が得られた。

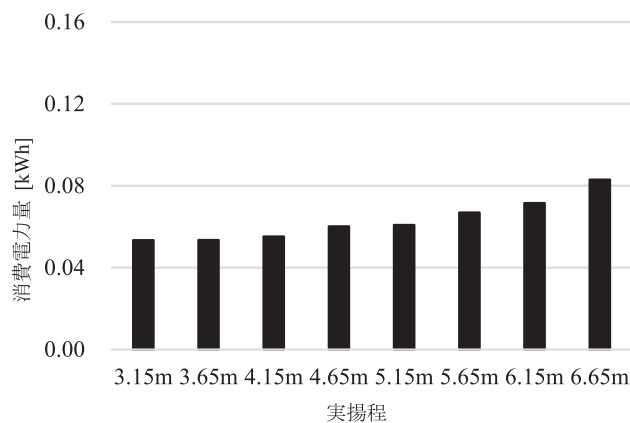
(d) 最適な周波数設定による消費電力量の低減

各周波数の運転 1 回当たりのポンプ消費電力量を、取得した電流値・電圧値・運転時間より算出した。表一4にPHEVを電源供給源とした際の各周波数運転における消費電力を示す。最小の消費電力とするために設定すべき周波数は、ポンプ出力の大きさと相反する傾向が見られた。また、使用電源の違いは、消費電力に顕著な差を生じさせなかった。

(e) ラボ実験まとめ

ラボ実験の結果より、可搬型蓄電池は電動車両により運搬が可能であることが確認できた。

また、災害停電時における電源供給源として、可搬



図一7 各揚程における消費電力量 (ポンプ出力 1.5 kW)

型蓄電池および電動車両の電源バッテリーを用いて、5.5 kW 以下のマンホールポンプの緊急起動が可能であることを実証した。

さらに、揚程が低いほど消費電力量が少なくなることや、ポンプの出力毎に消費電力量が最も少なくなる周波数設定が異なることを確認した。つまり、運転水位を可能な限り高く設定し、最適な周波数設定をすることで、ポンプ運転時間をより持続させることが可能である。

この結果を受け、続くフィールド実証実験では、各機場のポンプ出力に応じて周波数を設定した。

(3) フィールド実証実験

(a) マンホールポンプ稼働実証

表一5に本稼働実証で取得したポンプ運転データを示す。本稼働実証を行ったすべてのマンホールポンプ施設において、本システムによるポンプ吐出量が、計画汚水量以上の値であることを確認した。

本稼働実証で取得したポンプ運転データを基に、運転継続時間を式一1より算出した。ポンプの消費電力の他に、制御盤の計装類や電源供給源自体の制御等で消費する待機電力が生じるため、運転継続時間を算出する際はこれらを考慮する必要がある。

表一5に、算出した各マンホールポンプ施設の運転継続時間を示す。ポンプ出力が大きく、1日のポンプ運転回数が多い施設では運転継続時間が短くなるが、概ね半日以上運転継続が可能であった。

(b) 運用検証結果

本運用検証では、1 巡目として 2 機場への可搬型蓄電池の設置およびポンプ復旧作業を行い、2 巡目として設置した可搬型蓄電池の交換・回収および電動車両によるポンプ復旧作業を行った。可搬型蓄電池の運搬および電動車両によるポンプの復旧には、EVを使用した。

表一6にA市およびB市の本運用検証結果より算出した、運用時の各作業の所要時間を示す。

(c) フィールド実証実験まとめ

本フィールド実証実験では、実施において本シス

表一4 PHEV を電源供給源とした際の各周波数運転における消費電力

使用電源	周波数設定	運転 1 回当たりの消費電力量 [kWh]			
		1.5 kW	2.2 kW	3.7 kW	5.5 kW
PHEV	100%	<b>0.52</b>	0.53	0.78	-
	90%	0.55	<b>0.52</b>	0.66	0.68
	80%	0.78	0.55	<b>0.65</b>	0.60
	70%	-	-	-	<b>0.56</b>

表一5 各マンホールポンプ施設のポンプ運転データおよび運転継続時間

		消費電力	使用電源	設定周波数	ポンプ吐出量		運転継続時間
					実測値	計画汚水量	
					[kW]	[-]	
A市	Cマンホールポンプ場	2.2	可搬型蓄電池	100	<b>27.0</b>	3.1	<b>38:10</b>
	Dマンホールポンプ場	3.5	可搬型蓄電池	100	<b>38.7</b>	21.6	<b>30:10</b>
	Eマンホールポンプ場	3.8	PHEV	80	<b>32.9</b>	27.4	<b>21:01</b>
B市	Fマンホールポンプ場	3.0	可搬型蓄電池	100	<b>37.5</b>	36.0	<b>10:30</b>
	Gマンホールポンプ場	4.3	EV	90	<b>55.0</b>	47.4	<b>18:38</b>
	Hマンホールポンプ場	2.3	可搬型蓄電池	100	<b>27.6</b>	27.6	<b>17:57</b>
	Iマンホールポンプ場	3.7	PHEV	90	<b>53.6</b>	51.1	<b>13:49</b>

$$\text{運転継続時間} = \frac{\text{電源バッテリーの容量}}{\{(\text{消費電力} \times 1 \text{ 回の運転時間} \times 1 \text{ 日当たりの運転回数}) + (\text{電源等の待機電力} \times 1 \text{ 日の待機時間})\}} \times 24 \text{ h}$$

式一1 ポンプの運転継続時間

テムを利用したマンホールポンプの運転データを取得し、運転継続時間を算出した。その結果、本システムにより概ね半日以上の運転継続が可能であることが示された。

また、表一6に示す、運用時の各作業の所要時間は10分前後であり、本システムでは機動的な運用および迅速な復旧作業が可能であると言える。

#### 4. ケーススタディ

本システムを既存マンホールポンプ施設へ適用することを想定した導入計画および運用計画等のケーススタディを行った。本ケーススタディではフィールド実証実験を行ったA市にある37機場のマンホールポンプ施設を対象とした。

##### (1) 導入計画

本ケーススタディでは、第一に本システムの適用箇所として、早急に復旧すべき施設の選定を行った。

図一8に、本システムの適用箇所の選定フローお

表一6 運用時の各作業の所要時間

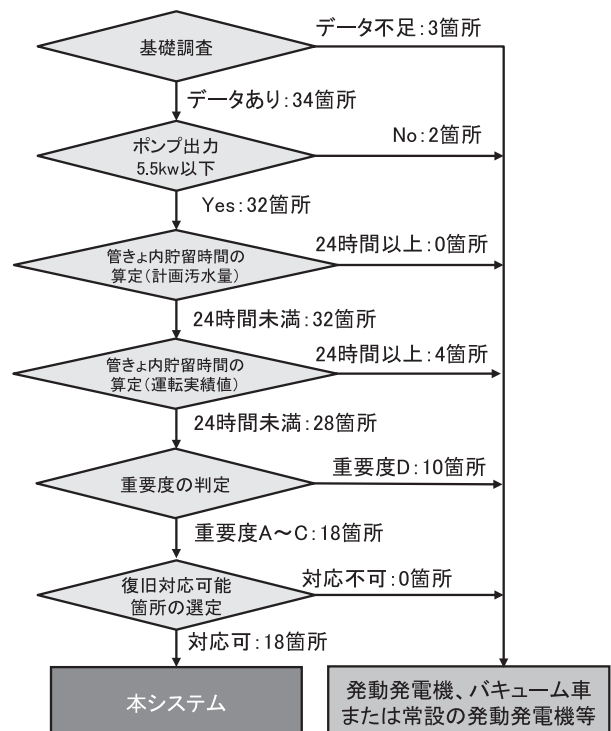
作業項目	所要時間
① 電動車両への積載作業	
・ 可搬型蓄電池 4 台	<b>11分</b>
・ 可搬型蓄電池 2 台 + 外部給電機	<b>9分</b>
② 機場での作業	
・ 可搬型蓄電池の設置およびポンプ起動	<b>12分</b>
・ 電動車両 + 外部給電機の設置およびポンプ起動	<b>10分</b>
・ 可搬型蓄電池の交換	<b>18分</b>
・ 可搬型蓄電池の回収	<b>10分</b>
・ 電動車両から可搬型蓄電池への充電準備	<b>5分</b>

び選定結果を示す。A市の所管である37箇所のマンホールポンプ施設から18箇所を本システムの適用箇所として選定した。

次に、本システムによる復旧対応の起点となる施設および復旧対応可能箇所の選定を行った。

復旧対応の起点となる施設として、可搬型蓄電池および電動車両等の保管場所および、災害停電時に対応可能な人員の確保が可能であるA下水道事務所、B下水道事務所、C下水道事務所を設定した。

復旧対応可能箇所は、復旧対応の起点となる施設から各マンホールポンプ施設間の移動距離に基づいて選



図一8 選定フローおよび選定結果



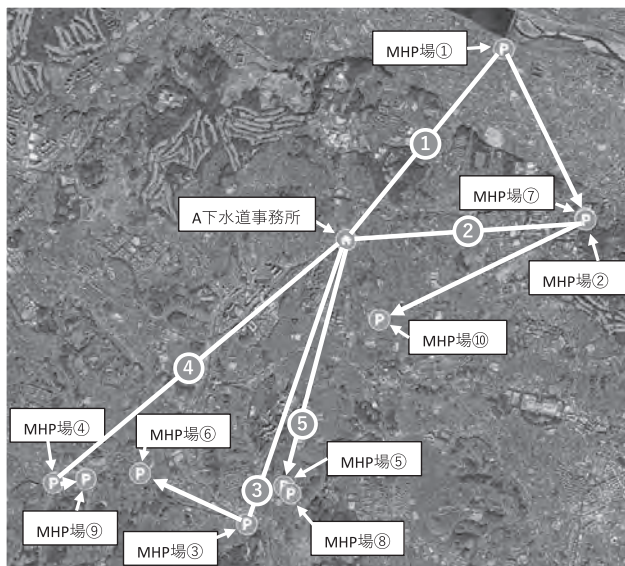
定した。下水道事務所ごとの復旧対応可能箇所は、A 下水道事務所が 10 箇所、B 下水道事務所が 6 箇所、C 下水道事務所が 2 箇所となった。

(2) 運用計画

本システムの運用計画として、本システムの適用箇所を下水道事務所の管轄ごとに分類し、災害停電時における各下水道事務所からの復旧ルートおよび、必要な電源バッテリーを設定した。

復旧ルートは管轄内の全てのマンホールポンプ施設が同時に停電したと想定し、緊急度が高い（管きょ内貯留時間が短い）箇所から順に復旧ルートを設定した。ポンプの復旧には、原則として可搬型蓄電池を積載し、各下水道事務所から出発することを想定し、ポンプ出力 5.5 kW の箇所のみ EV と外部給電機による復旧対応とした。

例として、図一 9 に A 下水道事務所管轄における本システム適用箇所および、災害停電時における復旧ルートを示す。A 下水道事務所管轄における本システムの適用箇所は 10 箇所あり、災害停電時における復旧ルートを 5 つ設定した。B、C 下水道事務所においても同様の設定を行った。表一 7 に A 市全体で必



図一 9 A 下水道事務所管轄の本システム適用箇所および復旧ルート  
※図中のMHPはマンホールポンプの略

表一 7 A 市全体で必要な電源バッテリーの詳細

	電源バッテリー台数		
	EV	外部給電機	可搬型蓄電池
A 下水道事務所	5	1	20
B 下水道事務所	4	2	8
C 下水道事務所	1	1	4
合計	10	4	32

要な電源バッテリーの詳細を示す。

図一 8 に示す選定フロー等はあくまで一例であり、各自治体によって違いが出てくると考えられるものの、本ケーススタディでは、各自治体において本システムの導入検討を行う際に参考となる事例を示すことができた。

5. おわりに

本稿では、災害停電時に停止したマンホールポンプ施設について早急に機能の復旧を図ることができる「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」の開発に関する、自治体へのアンケートや実証実験等の研究成果を取りまとめ、報告した。

現在、浸水等により制御盤が故障し、使用不可となった場合にも対応可能なシステムの研究開発を進めている。本研究を含めたこれらの活動が、全国の自治体における災害時の課題解決に少しでも寄与できれば幸いである。

J|C|MA

《参考文献》

「災害停電時マンホールポンプ起動支援システムに関する技術資料 2022 年 12 月」((公財)日本下水道新技術機構)

[筆者紹介]

平木 颯 (ひらき さとし)  
荏原実業(株)  
技術開発本部 事業化推進部



# 令和3年度逢初川水系応急対策工事

## ICT・DX技術導入による熱海土石流災害の早期復旧

大丸 雄一郎

令和3年7月3日に発生した静岡県熱海市伊豆山逢初川水系における土石流は、下流の住宅街を流下し甚大な被害を及ぼした。本工事は災害発生直後の応急対策として急務とされた軟弱土砂で埋まった既設砂防堰堤の機能回復を図るとともに、急峻な上流谷部からの不安定土砂の流出による二次災害の防止を図りながら昼夜間施工体制により早期に復旧対応したものである。本稿では災害復旧を行うために導入使用した、様々な高度技術を紹介する。

キーワード：砂防堰堤, 無人化施工, ヘリコプター, ICT・DX技術, デジタルツイン

### 1. はじめに

梅雨前線の影響により令和3年7月1日より3日間降り続いた雨は累計雨量496mmに至った。伊豆山源頭部にて発生した土石流は延長約2km, 最大幅約120mと大規模なもので、住宅街を流下し河口の伊豆山港にまで達した。熱海という土地柄、海際まで山が迫り、谷部・平地には住宅が集まっていたことで被害が大きくなった。(令和5年7月現在, 死者28名, 負傷者4名, 家屋被害98棟) また、源頭部に大規模な盛土がなされていたことが災害の発生、被害の拡大につながったとも言われている。

被災地域の道路インフラは寸断され、土石流に伴う「警戒区域」となり工事箇所周辺には容易に到達することが困難な状況であった。発災直後の厳しい施工条件のなかで早期復旧を進めるために高度な技術力による対応が求められたことから、静岡県知事の要請により国直轄による緊急的な砂防事業として実施された(写真-1, 2, 図-1)。

### 2. 工事概要 (図-2)

発注者：国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所

工事名：令和3年度逢初川水系応急対策工事

工事場所：静岡県熱海市伊豆山地先

工期：自 令和3年7月21日

至 令和5年3月31日 (619日間)

工事規模：堤長：59.0m 堤高：13.0m



写真-1 被災状況 (既設砂防堰堤)

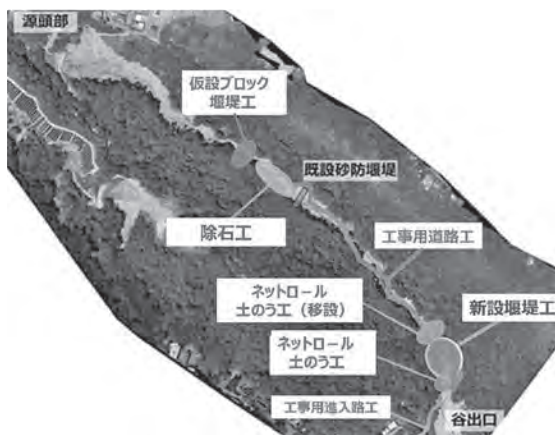


写真-2 被災状況 (施工起点下流)

- ・砂防土工1式 (除石 7,200 m<sup>3</sup>)
- ・作業土工1式
- ・コンクリート堰堤工1式 (6,140 m<sup>3</sup>)
- ・仮設堰堤工1式
- ・法面工1式



図一 被災範囲及び施工位置図



図二 工事内容

- ・砂防堰堤付属物工 1 式
- ・仮設工 1 式

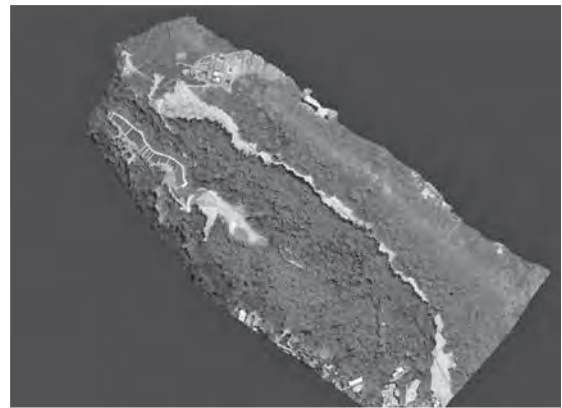
当初予定されていた源頭部の盛土撤去については、発注者方針により本工事での実施は見送られた。

### 3. ICT・DX 技術の施工面での活用

施工計画を行うに当たっては現状を正しく把握することが重要である。しかし、災害復旧工事の性格上、現況図面も工事目的物の図面もない状態であった。そのためまず、UAV レーザ測量を実施して現況地形の三次元データを作成した。UAV レーザ測量は、光波測距儀などを使用して行う従来測量に比べて圧倒的に速いことに加え、二次災害の恐れがある現地に極力人を立ち入らせないためでもある。

得られたデータを基に3Dプリンタを使用して、最初に三次元モデルを作成した。初期段階においては、画面上ではなく実体として視認できることで、より現地のイメージを鮮明に捉えることができ、計画立案がスムーズに行えた (図一3)。

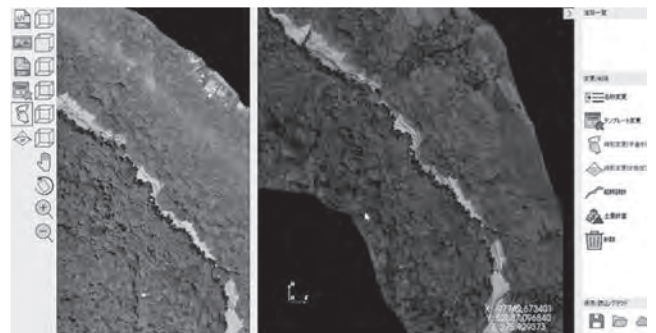
また、取得した3Dデータを専用の仮設計画支援ソ



図一3 UAV レーザ測量 (3次元地形測量) 成果

フトに取り込むことで、計画した仮設道路の勾配や切盛土量を瞬時に把握することができ、最適なルート選定を短時間で行うことができた。仮設堰堤についても、位置と堰堤高を設定するだけで容量が瞬時に分かるため、どこに設置すれば少ない工事量で効果的に容量を確保できるか検討を重ねて位置を決定した (図一4, 5)。これらの技術を用いて得た情報をもとに、現地踏査から4日後の7月25日には施工方針を立案し、発注者との協議を行った。

さらに仮設道路の造成や既設砂防堰堤の除石工の出来形確認においても、従来一定距離ごとに横断測量を行う必要があったものが、完成時に再度 UAV レーザ測量を行うことで、短時間で結果が得られた。



図一4 仮設計画支援ソフト



図一5 仮設道路計画図

#### 4. ヘリコプターによる既設砂防堰堤の除石

既設砂防堰堤は上端まで土砂で覆い尽くされていたが、構造物としての健全性は維持されていたため、堆積した土砂を早期に撤去することが二次災害を防止する上で最も効率的と考えられたことから、除石工が計画された。

しかし、現場は山間部の急峻な谷地形であり、重機を搬入したり、土砂を運搬したりするためのアクセス道路がなかった。既設砂防堰堤までは逢初川沿いに管理用道路があったものの、被災しているため使用できる状態ではなかった。

そこで、ヘリコプターを使用してバックホウを直接堰堤上流に搬入し、掘削した土砂を使用してヘリコプターで仮置場まで搬出し、そこからダンプトラックで処分地へ運搬することとした。ヘリコプターの運用については、富士山源頭部での実績がある富士砂防事務所の見聞も参考にして行った（写真—3）。

使用するヘリコプターは、既設砂防堰堤上で作業する0.1 m<sup>3</sup>級バックホウが運搬可能な機体としてアエロスパシア社製のAS332Lを選定した。同ヘリコプターの最大積載重量は3.2 t（飛行条件と安全性を考慮し積載重量を3.0 tに制限）であるが、バックホウ重量がこれを超過するため、キャタピラ・バケットを分解して空輸し現地にて組立を行った。組立に要するカニクレーン、敷鉄板などの機材も同様に空輸を行った。

ヘリコプターの運行にはヘリポートが必要であることから、熱海市の協力を得て近隣の姫の沢運動公園の人工芝グラウンドに敷鉄板を設置し、ヘリコプターの待機、給油およびバックホウなどの資機材搬入基地とした。

土砂は1.0 m<sup>3</sup>バケットに積込み、ヘリコプターより吊り下げた30 mのワイヤーに玉掛して空輸した。



写真—3 ヘリコプターによる除石

地上ではヘリコプターの風圧下による特殊な玉掛となるため、ヘリコプター側との合図方法や玉掛手順を専門指導員により作業者に教育し運用した。

現場が山間部であり天候が変わりやすく、条件が整わず飛行中止となることが多かったこと、飛行時間に応じた整備が義務付けられていることなどで通常の重機土工事のように8時間/日稼働とはならなかったが、今回実施した空輸と並行して仮設道路を整備し、途中から効率の良いダンプ、キャリアダンプなどによる運搬に切替える計画としたことにより、全体工程を短縮し既設砂防堰堤の機能を早期に回復するという目的は果たせた。

#### 5. 無人化施工の推進

先にも述べたように、源頭部下流河川域には不安定な盛土が残っていると想定されているなかで工事を行うため、二次災害の危険性が非常に高いと考えられた。そのため極力人が危険箇所には立ち入らずに作業できる体制を検討した。

現在、様々な無人化技術の開発が行われているが、機械が掘削場所を選定して自動で積込・搬出を行うまでのレベルには達していない。またヘリコプターによる土砂運搬の必要があることから玉掛作業が発生し、この部分は人に頼らざるを得ない。

検討の結果、遠隔操作タイプのバックホウを導入した。先の土石流が到達しなかった高い場所にステージを設け、オペレーターはそこから目視しながら遠隔でバックホウを操作した。玉掛についても同様で、ヘリコプターから吊り下げたフックに土砂バケットを掛ける時だけ作業員が退避場所から降りてくる体制とした。空の土砂バケットをヘリコプターから降ろす時は、吊荷が着地すると自動的にフックが外れるオートマチックフックを使用した。

仮設道路完成後に用いた10 tキャリアダンプおよび0.8 m<sup>3</sup>バックホウについても遠隔操作タイプを用い、作業員の安全確保に努めた（写真—4, 5）。

#### 6. ICT・DX技術の安全面での活用

##### (1) ICT・DX技術導入に向けた通信環境の強化

本工事の安全対策として、まず当然ながら二次災害の防止が重要と考えられた。国土交通省と静岡県が上流部に雨量計、傾斜計、土石流ワイヤーセンサーを設置し、赤色灯・サイレンで周知する監視・緊急連絡体制を整備していたものの、周辺地域での天候変化を現



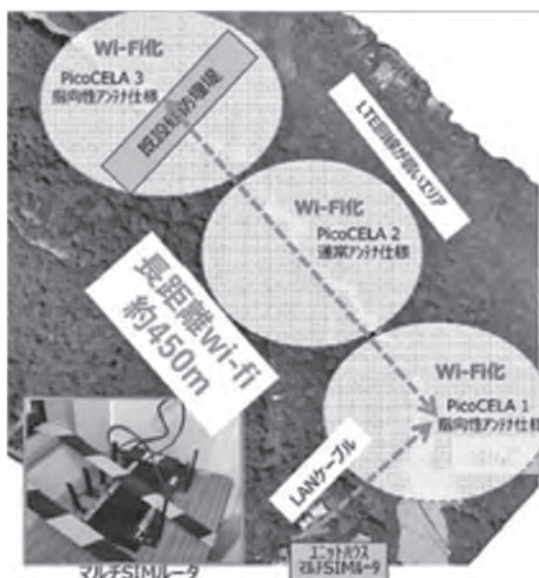
写真一四 遠隔操作バックホウ (0.1m³ 級)



写真一五 遠隔操作バックホウ (0.8m³ 級)

場に伝えたり避難状況を確認するには Wi-Fi 環境を整備し、現場と常に連絡が取れる状態にしておく必要があった。

現場は谷地形の山林であるため、通信環境の調査を実施したが非常に不安定であったため、複数箇所にアンテナを設置して工事場所全体をカバーする Wi-Fi 環境を確保した (図一六)。



図一六 Wi-Fi 環境の構築

(2) 現場管理支援システム「T-iDigital Field」の導入  
本工事の工事範囲は約 1 km であり、工事の早期完了を目指し昼夜 3 交代での作業を行った。広範囲に多数の工事関係者が常に入出入りする状況下では、いつ、どこで、だれが、何をしているかを正確に把握することが安全管理の第一歩である。

そのため、いつでも・どこでも・簡単にスマートフォンやタブレット等から工事全体をリアルタイムに把握できる現場管理支援システムを導入した。

「T-iDigital Field」は、CPS (Cyber-Physical System) の概念を用いて、各現場で多様な判断をする「ヒト」、重機・地盤・構造物などの「モノ」、安全・品質・工程などに関する「コト」の情報をセンシングクラウドに集積・統合してデジタルツインを形成し、建設に関する様々な問題を予見し、解決あるいは回避するための支援を行うことで、ミス・ロス・無駄を防ぎ、安全性や生産性を向上させるシステムである。

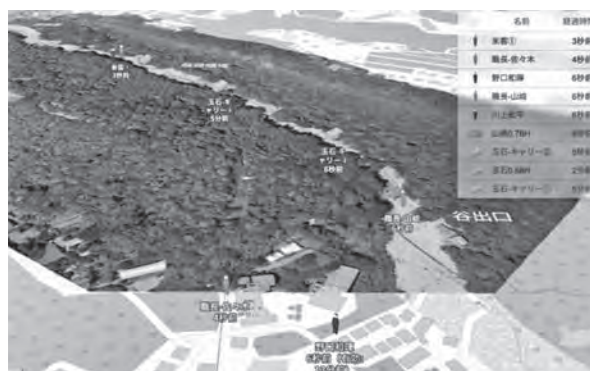
本工事においては、「T-iDigital Field」のアプリケーション群から安全対策を強化するため「重機・人等位置管理」アプリ、「カメラビュー」アプリを使用することとした。

### (3) 「重機・人等位置管理」アプリ

建設機械や工事関係者の個々の位置や稼働データは、GNSS (Global Navigation Satellite System) 端末等から LTE 回線や Wi-Fi でプラットフォームにアップし、リアルタイムに作業時の位置や稼働状況のデジタルツインを形成することができる。

通常作業時においては、広範囲の現場内における建設機械や工事関係者の作業位置や稼働状況をリアルタイムに把握することができ、夜間作業時には従来のカメラ等で容易に可視化できなかったものが確実に可視化できるようになり、遠隔での安全確認や安全指示に大きな支援となった。

緊急避難が必要になった場合には、現場のどこに工



図一七 T-iDigital Field 画面イメージ

事関係者や重機が残っているか等もリアルタイムに確認できるなど、退避状況の把握にも大きく貢献した(図一7)。

#### (4) 「カメラビュー」アプリ

重機や人の位置情報は「重機・人等位置管理」アプリで管理できる。しかし、作業の進捗状況、現地の天候・地盤の状況などの情報の把握にはカメラ映像が必要となる。

そこで、パンチルトズーム機能を有する固定型クラウドカメラを複数台設置し、現場全域を可視化するとともに、持ち運び可能なウェアラブル型クラウドカメラを職員等が作業箇所に携帯することで、昼夜作業の安全確認や工事の進捗等を情報共有できる環境を構築した。クラウドカメラの映像は常時録画されており、現場事務所のパソコンのほかスマートフォンやタブレットなどにより、いつでも・どこでも閲覧可能である。

昼夜3交代での作業のため、自分が前日作業終了した時点とは状況が変わっている。当日の作業開始前に作業の進捗だけでなく、作業場所までの通路、上流での異変の有無、地盤や水の流れなど、全体の状況を把握してから作業を開始することで、適切な判断に役立った。

また、トラブルや事故が発生した場合には、録画画像を確認することで、原因究明や事後の対応の手助けにもなる。ただ、本工事でそのような目的で使うことがなかったのは幸いである(図一8)。

#### (5) 総合管理室(通称:DXハウス)の設置

現場の入口付近に前述のシステムを集約化した総合管理室(通称:DXハウス)を設置した。前述の作業開始前の確認はこのDXハウスで行った(写真一6)。

来場者についても、現場入場前にDXハウスにてT-iDigital Fieldの専用端末を貸与することで、現場での位置・移動確認をできるようにし、安全を確保した。



図一8 クラウドカメラ画面イメージ

緊急時には、カメラビューによる目視と、デジタルツインによる重機と人の位置情報の確認のダブルチェックで、職員・作業員の退避状況をより確実に把握でき、適切な指示を出すことができる。

## 7. 仮設堰堤工

前述のICT・DX技術による対策が安全確保に大きく貢献したのは間違いない。しかし、従来の対策も決してないがしろにできるものではない。本工事でも仮設堰堤を設けることで下流域ならびに工事場所の「物理的な」安全確保を図った。

まず、最初にネットロール土のうを設置した。ネットロール土のうは、大型土のうを積み重ね高強度ネットで拘束一体化するもので、大型土のうを積んだだけのものよりも流下力に対する抵抗力が大きい。今回のように生コン車やラフタークレーンがすぐに進入できない場合に、入手が容易な材料を用いて比較的小型のバックホウで施工ができるネットロール土のうは、災害時の応急対応には適している(写真一7)。

上流部まで仮設道路が整備できた時点でブロック積堰堤を設置した。ブロック積堰堤はコンクリートブロック(消波ブロック:1.77m×1.2m 重量約3t/個)を層状に積み上げ構築するもので、国交省の災害用備蓄ブロックが利用できたことから、早期設置が可能となった。本工事では177個を使用し、堤体高3.0mを



写真一6 総合管理室(DXハウス)内の管理状況



写真一7 仮設堰堤工(ネットロール土のう工)

確保した。

ブロック積堰堤はコンクリート打設する堰堤に比べ短期間で施工できるとともに、本設堰堤が完成した後は撤去・再利用ができるため、こちらも応急対応に有効である（写真—8）。

## 8. おわりに

2021年7月3日の災害発生から1ヶ月も経たない7月29日に工事着手できたこと、着手より5ヶ月後の12月25日に既設砂防堰堤の除石を完了できたこと、またこの期間において無事故・無災害を達成できたのは、国土交通省・静岡県・熱海市のご協力をいただき、作業員の一人一人までもが丸となって被災地の安全を取り戻そうと努力した結果である。

その後開始した新設砂防堰堤もブロック割の検討、3次元FEMによる温度応力解析、低発熱・収縮抑制高炉セメントの採用などでコンクリート打設間隔を短縮し、昼夜施工、無事故無災害で実質1年で完成した。

本工事が完成したことにより、地域の方々が安全・安心に暮らせる復旧・復興の第一歩になると信じている（写真—9, 10）。

## 謝 辞

最後に、この災害復旧事業で得た貴重な経験を、今後も頻発する可能性のある自然災害の早期復旧の技術



写真—8 仮設堰堤工（仮設ブロック堰堤工）



写真—9 既設砂防堰堤除石完了



写真—10 新設砂防堰堤（伊豆山砂防堰堤）施工完了

的な貢献につなげるとともに、地域の早期復旧を進めるために、多大なご支援、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を申し上げます。

JICMA

## 《参考文献》

- 1) 丸山高志：熱海土石流災害への取組みについて、土木施工，vol.63，No.6，pp.84-87，2022.6
- 2) 大丸雄一郎，丸山高志，川田淳：ICT・DX技術導入による熱海土石流災害の早期復旧－DX技術「T-iDigital Field」導入による熱海土石流災害復旧の安全対策の強化，土木学会第78回年次学術講演概要集，第VI部門，VI-633，2023.9

## 【筆者紹介】

大丸 雄一郎（だいまる ゆういちろう）  
大成建設㈱  
横浜支店土木部  
課長



# スリップフォーム工法によるトンネルインバートの機械化施工

## 平成 30-32 年度 日下川新規放水路（吐口側）工事

川原 仁志

断面の小さいトンネルにおいて、掘削工とインバート工の併進作業を行うことは難しく、インバートの施工はトンネル貫通後の施工となる。インバートの一般的な施工は、人力による型枠設置やコンクリート打設、型枠撤去を行うが、工程短縮が課題である本工事では、機械施工が主体のスリップフォーム工法を採用、インバートの曲面形状に対応した施工機械を開発し、施工の効率化を図った。

キーワード：山岳トンネル、インバート、スリップフォーム工法、工程短縮、省力化

### 1. はじめに

日下川新規放水路は、高知県日高村の浸水被害を大幅に軽減するため、日下川で3本目の放水路トンネルであり、事業の早期完成が望まれていた。

トンネル断面は、直径7mの標準馬蹄形で掘削断面積約50m<sup>2</sup>と小さく、トンネル掘削工とインバート工の併進作業が不可能であり、貫通後に施工するインバート工の工程短縮が課題であった。

本報告では、人力によるトンネルインバートの施工に対し、コンクリート舗装や円形水路等の構造物の連続施工に多くの実績を有し、機械施工が主体のスリップフォーム工法を用いた効率的なトンネルインバートの施工を行い、工程短縮を図った事例について報告する。

### 2. 工事概要

一級河川仁淀川水系の一次支川である日下川（くさかがわ）は、高知県日高村の中央部を貫通し、仁淀川に合流する河川である。日下川の河床勾配は1/3,000程度と極めて緩く、水はけが悪いという特徴を持つ。また、日下川の流域は仁淀川本川から遠ざかるほどに標高が低くなるという低奥型地形である。さらに洪水時には仁淀川本川の水位が支川水位より高いことも相まって、日下川流域に位置する高知県高岡郡日高村では古くから浸水被害に悩まされてきた。

これまでに派川日下川放水路（高知県、1961年完成）や日下川放水路（国、1982年完成）を整備している。しかしながら2014年8月の台風12号の豪雨により、

床上浸水109戸、床下浸水50戸、浸水面積274haに及ぶ甚大な被害が発生したため、2015年度『床上浸水対策特別緊急事業（日下川）』が採択された。

そして緊急事業として、3本目放水路トンネルとして総延長5,368mの新日下川放水路（図-1）を整備することになった。

工事概要を表-1に示す。本工事は、放水路トンネル延長5,130mのうち吐口側の2,280mと導水路（接続ます）を施工した。

### 3. 工事の問題点と対策

本工事は、トンネル幅が約7.0m（図-2）と狭小で、トンネル掘削工とインバート工の併進作業が不可能なため、貫通後に開始するインバート工の工程短縮が課題であった。

また、新日下川放水路では事業効果の早期発現を目的として、大きな出水があった場合には、施工中の放水路に通水を行う可能性もあったため、貫通後の一刻

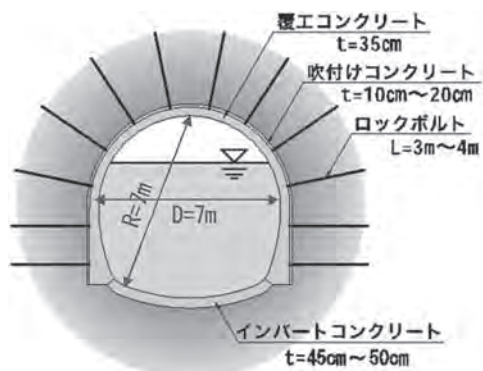


図-1 位置図



表一 工事概要

工事名称	平成 30-32 年度 日下川新規放水路（吐口側）工事	
発注者	国土交通省 四国地方整備局 高知河川国道事務所	
施工者	熊谷組・大豊建設 特定建設工事共同企業体	
工事場所	高知県吾川郡いの町大内地先	
工期	2019(平成 31)年 2 月 1 日～2023(令和 5)年 3 月 31 日	
工事内容	工事延長	2,302 m
	トンネル延長	2,280 m
	本坑（上流側）	1,326 m
	（下流側）	954 m
	作業坑	185.5 m
	NATM 発破掘削 長尺鋼管先受け工、パイプーフ工 接続ます（ニューマチックケーソン）	



図一 標準断面図

も早い覆工およびインバートコンクリートの施工が求められた。

通常のトンネルにおけるインバート施工は、覆工コンクリートの打設長に合わせて、1打設長は 10.5 m（本工事では 12 m）となる。そのため、総延長 2,280 m の本トンネルでは、上・下流工区で分割してもインバート施工だけで 5.5 ヶ月を要することが想定された。

そこで、インバートコンクリートの施工を一般的な人力による型枠設置やコンクリート打設、型枠撤去に対し、機械施工が主体のスリップフォーム工法を採用することで施工の効率化を図り、工程短縮を図ることとした。

スリップフォーム工法は、コンクリート打設時にその場で強い振動をかけ締固めて成型することで、打設直後のコンクリートを自立させる工法である。この工法は、コンクリート舗装や防護柵、円形水路など同一断面が連続した構造物の施工に多くの実績があるが、トンネルのインバートコンクリートへの適用は新たな取組みであった。

#### 4. スリップフォーム工法による施工

##### (1) 施工手順

トンネルインバートを施工するために採用した機械は、ヒューロン TP-880-CP（以下「成型機」）である（写真一）。

標準工法とスリップフォーム工法のインバートの施工順序の比較を図一 3 に示す。

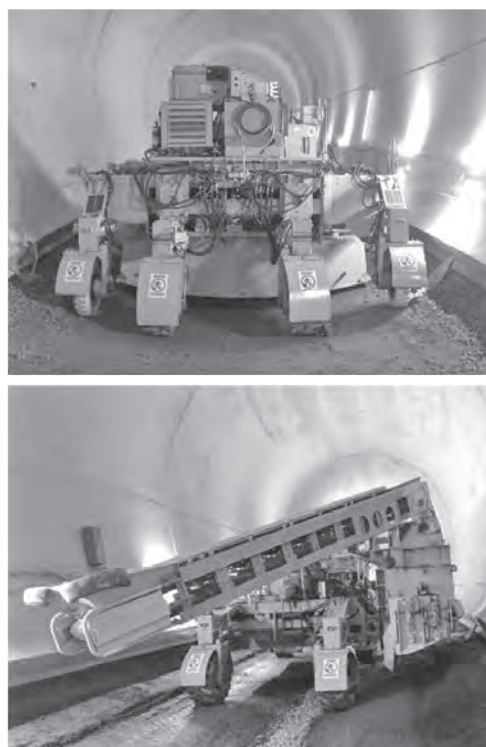
標準工法は、「掘削・床付け→型枠設置→コンクリート打設→型枠撤去」の手順で、延長方向 10.5 m ～ 12.0 m を全幅一括施工で行う。

これに対し、スリップフォーム工法は、「掘削・床付け→チェアー・タイバー（目地金物）設置→左右各端部コンクリート打設→中央部コンクリート打設」の手順で、左右各端部は 1 回当たり延長方向 180 m、中央部は 60 m を連続的に施工する。

コンクリート打設は、インバートの曲面形状に対応した成型機をセットし、ミキサー車からベルコンにより供給し、成型機内部に投入し、成型機が連続的に締固め・成型を行いながら前進し連続打設を行う。その後、表面均し（仕上げ）を行い、コンクリート打設完了となる。

施工状況を写真二に示す。

以下に、スリップフォーム工法で施工する際に留意した点を示す。



写真一 成型機

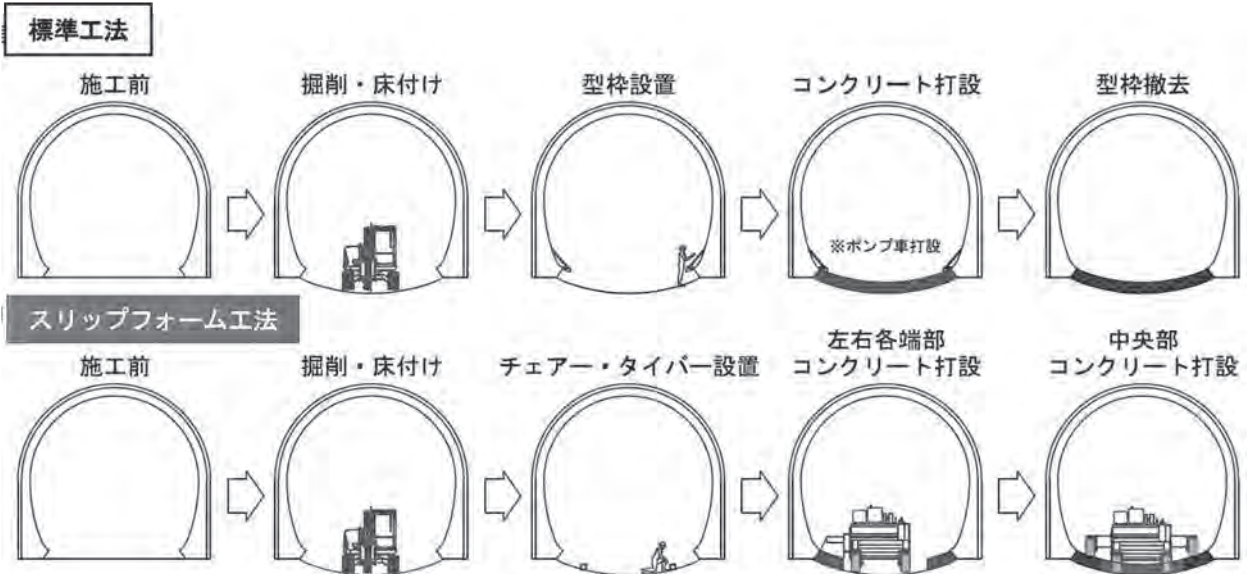


図-3 施工手順



(a) 掘削・床付け



(b) チェアー・タイバー設置



(c) 端部コンクリート打設



(d) 端部コンクリート打設



(e) 端部コンクリート打設完了



(f) 中央部コンクリート打設



(g) コンクリート打設状況



(h) コンクリート表面仕上げ



(i) コンクリート打設完了

写真-2 施工状況

(2) 使用コンクリート

スリップフォーム工法は、成型機に取付けた鋼製型枠にコンクリートを投入し、型枠内部で締固め・成型を行うと同時に成型機を前進させる連続施工となるため、使用するコンクリートは打設直後の自立性が求められる。

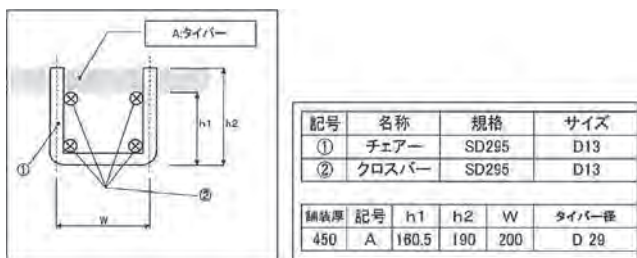
配合は、セメント量 300 kg/m<sup>3</sup>、スランプ 3.5 cm の固練りとし、試験練りを実施し、試験施工で自立することを確認した。また、ミキサー車での運搬が可能であることも確認した。

実施工においては、規格値内でもスランプ 3.5 cm を超過するコンクリートは、型枠脱型後に自立しないため、運搬中のスランプロスや気温等を考慮した品質管理が必要であった。

(3) インバートの分割施工

インバートコンクリートの全幅は 7 m であるが、トンネル内空と干渉するため、全幅一括施工に必要な機械通行のための幅を確保できない。

そのため、インバートを横断方向に中央部・左右各端部の 3 分割して施工することとした。その際、分割したコンクリート同士の継目で目違いが生じないように、コンクリート舗装で使用するチェアー・タイバーを用いた目地構造を採用した（写真—2 (b)）。チェアー・タイバー詳細を図—4 に示す。



図—4 チェアー・タイバー詳細

また、成型機は、左右各端部用および中央部コンクリート打設用をそれぞれ準備した。

(4) クラック防止対策

標準工法では、一般的に 1 回の打設長が 12 m であり、打ち継ぎ部がコンクリートの収縮等に対する吸収効果を持つ。一方、スリップフォーム工法では、1 回の打設長が 180 m 程度の連続体となるため、覆工コンクリート継目位置に合わせて、横断方向にカッター目地を入れ、インバートコンクリートのクラック防止を図った。

5. 工程短縮

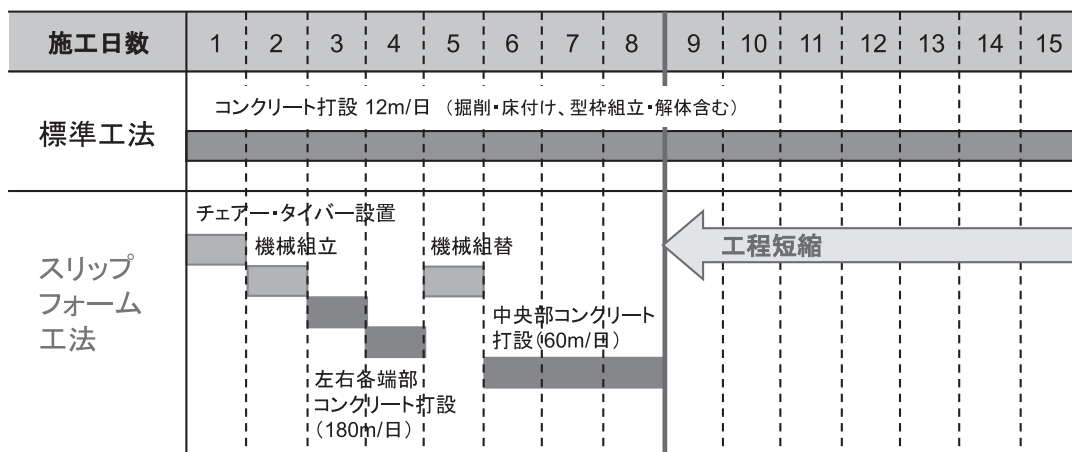
施工延長 180 m の場合の標準工法とスリップフォーム工法の工程比較を図—5 に示す。

標準工法では、コンクリート打設（掘削・床付け、型枠組立・解体含む）は 12 m/日となり、施工日数は 15 日間となる。

一方、スリップフォーム工法は、チェアー・タイバー設置で 1 日、機械組立および組替で 2 日、左右各コンクリート打設は 180 m/日で各 1 日、中央部コンクリート打設は 60 m/日で 3 日となり、施工日数は 8 日間となる。このように、スリップフォーム工法における施工日数は、標準工法と比較し、約 53% に工程短縮が可能である。

結果として、本坑(上流側)1,326 m の施工において、標準工法での 5.5 ヶ月より 2 ヶ月早い 3.5 ヶ月で施工することができた。

工程短縮が可能となった主たる要因は、スリップフォーム工法では打設直後のコンクリートが自立するため、型枠設置・取外しの作業が不要となった点、打設時の筒先・締固め作業は成型機が行うため、左官仕



図—5 工程比較

上げが主たる作業となる現場作業員の負担が軽減され、1日あたりの打設量を多くする（標準工法  $60\text{ m}^3$  → スリップフォーム工法  $150\text{ m}^3$ ）ことが可能となった点が挙げられる。

## 6. おわりに

本報告では、工期短縮を目的として機械施工が主体のスリップフォーム工法によりインバートの曲面形状に対応した施工機械を開発し、インバートコンクリート施工の効率化を図った。

標準工法にはないチェアー・タイバー設置、狭小な坑内でのスリップフォーム打設機械の組立・解体、左右各端部打設用と中央部打設用で機械の組み替え等があるものの、スリップフォームを使用したトンネルイ

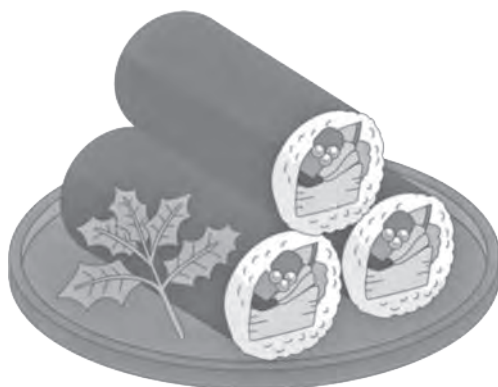
ンバートの施工方法は、施工可能な条件が揃えば、標準工法よりも効率が良い施工であり、今後幅広く展開することが可能と考えられる。

最後に、本工法を実施するにあたり、工法変更を認めてくださった国土交通省四国地方整備局、計画・設計・施工段階でお世話になりました(株)ガイアート・(株)末広産業の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

JCMA

### 【筆者紹介】

川原 仁志（かわはら ひとし）  
（株）熊谷組  
中四国支店 土木部  
係長



# 東海道新幹線 16 駅と在来線 20 駅のプラットホーム上家を耐震補強, ダンパーによる新工法を開発

家 倉 優 人・塚 脇 喜 章

東海旅客鉄道(株)では、駅の地震対策として駅舎の耐震化や天井の脱落対策を順次進めている。プラットホーム上家については、2011年3月の東日本大震災による被災事例を踏まえ、地震発生時の安全性をより一層高めるため、各駅のプラットホーム上家の耐震診断や補強方法の検討を進め、2021年7月より耐震補強工事を実施している。なお、実施にあたっては、柱・梁の接合部にダンパーを取り付ける新工法を開発し、新幹線駅及び一部の在来線駅に採用することとした。本稿では、この新工法について紹介する。  
キーワード：地震, 上家, 高架橋, 耐震補強, 制振技術, 増幅機構付減衰装置

## 1. はじめに

2011年の東日本大震災において、プラットホーム上家では梁の下フランジや柱脚のアンカーボルト破断など、倒壊こそしなかったものの、大きな被害が発生した。その後、2013年に「特定鉄道施設等に係る耐震補強に関する省令」が制定され、平均乗降客数等の条件に該当するプラットホーム上家に対して耐震化の努力義務が課された。2017年には、(公財)鉄道総合技術研究所が「鉄骨造旅客上家の耐震診断指針(以下、指針)」を整備した。これを受け当社保有の上家に対して、指針に基づく耐震診断を実施した結果、高架橋上のプラットホーム上家(以下、高架上家)においては柱の耐力不足を補うため3面に補強柱を取り付けるなど、膨大な補強が必要であることがわかった(図-1)。

これは、

- ・既設高架上家の柱梁接合部・柱脚に関する知見が十分でないため、実際の性能にかかわらず性能を低く評価せざるを得ないこと
- ・高架上家の柱脚を固め過ぎると高架橋への反力が大きくなり、高架橋側の補強も必要で、補強が更に大きかりになってしまうため、高架上家単体での補強を前提としていること

などによる。

指針に基づく補強では工期が長く、コストが大きいだけでなく、施工後にホームの有効幅員が狭くなり旅客サービスへの影響が懸念される。

これらの課題に対して、実験・解析により高架上家の実際の性能(以下、耐震限界性能)を把握し、他駅

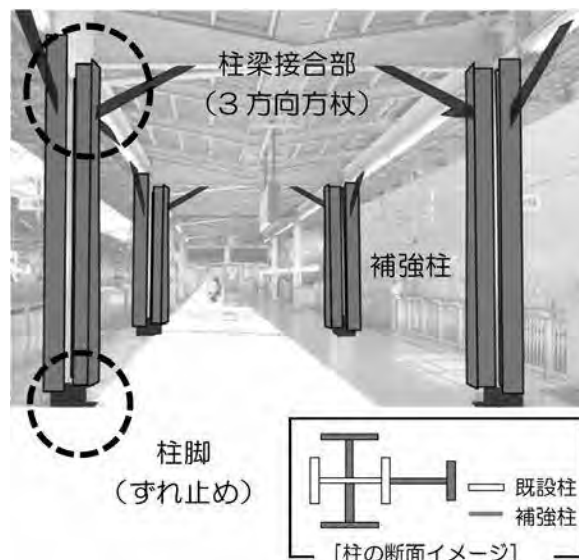


図-1 指針に基づく補強

への展開を見据えて評価法を開発することとした。また、補強が必要な場合の対策として、高架上家の特性に合わせた合理的な補強方法を開発した。

## 2. 耐震限界性能の評価

### (1) 研究対象

東海道新幹線の高架上家の中から、柱梁接合部・柱脚が標準的な新横浜駅をモデル駅とした。柱梁接合部・柱脚の耐力や変形性能を把握するため、図-2に示す線路直交方向(強軸)・線路平行方向(弱軸)を抜き出した実物大の試験体を製作し、地震力を想定した水平力を繰り返し載荷する実験並びにFEM解析を実

施した。さらに、それらの結果を踏まえて高架橋・高架上家一体モデルを作成し、地震応答解析により高架上家の耐震性能を確認することとした。

(2) 現地調査

建設年度・構造の特徴を調査し、竣工図と現地の状況を確認するため、現地調査を実施した。部材の断面測定、柱の仕上げ材を一部撤去して柱脚を確認し、現物を踏まえた試験体を製作した。

(3) 実験

実験状況として、柱梁接合部（強軸）の試験体は図一3 (a) に示すように、柱が水平に、梁が垂直になるように設置した。柱脚の試験体は図一3 (b) に示すように、高架橋を模した鉄筋コンクリート基礎上部に柱を固定した試験体とした。実験方法は、正負交番漸増繰り返し載荷を行い、各接合部の性能を確認した。

(a) 柱梁接合部の実験結果

柱梁接合部（強軸）の水平力と変形角の関係を図一4 (a) に示す。指針に基づく耐震診断では、弾性限界内しか評価できないが、塑性化後も一定の耐力を保持した状態で変形角 1/20 まで、粘り強い変形性能を確認できた。なお、変形角 1/20 以降は、図一5 (a) の通り、柱フランジに局部座屈が発生した。また、弱

軸については水平力の最大値は異なるものの、同様の傾向であることを確認した。

(b) 柱脚の実験結果

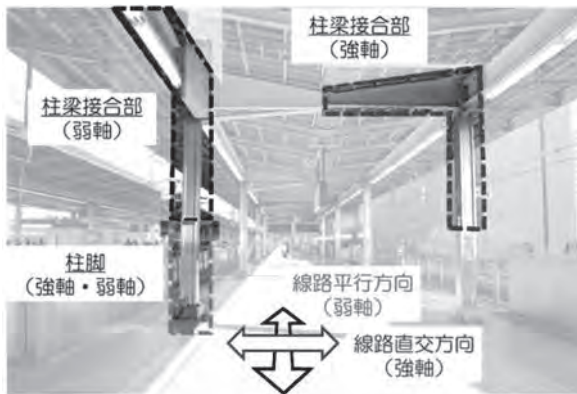
柱脚（弱軸）の曲げ耐力と変形角の関係を図一4 (b) に示す。指針に基づく耐震診断では、回転剛性・曲げ耐力がゼロ（ピン接合）の想定であったが、一定程度の回転剛性（5 MN・m/rad）・曲げ耐力（約 60 kN・m）があることを確認した。なお、図一6 (a) の通り、アンカーボルトの伸び（塑性化）により、ベースプレートが浮き上がる現象を確認した。柱梁接合部と同様に変形角 1/20 まで安定した挙動であることが確認でき、強軸も同様の傾向であることを確認した。

(c) 限界変形角の設定

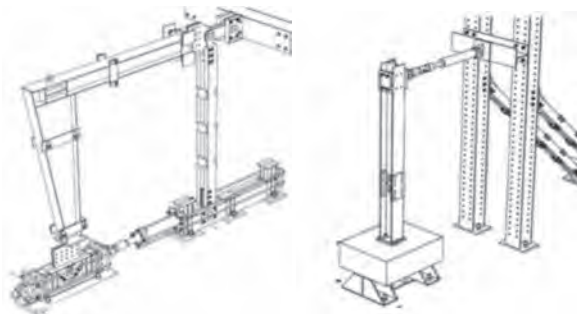
柱梁接合部、柱脚の実験より、変形角 1/20 に達しても十分な耐力を保有していることを確認し、以降の検討に用いる変形の指標（限界変形角）を 1/20 と設定した。

(4) 評価法の確立

実験と同条件で FEM 解析をした結果（図一5 (b)、図一6 (b)）、柱梁接合部・柱脚ともに、実験を精度よく再現することができた。作成した FEM モデルのパラメータ（柱幅や板厚など）を変更して解析することで、他駅も FEM 解析により接合部の性能が評価可

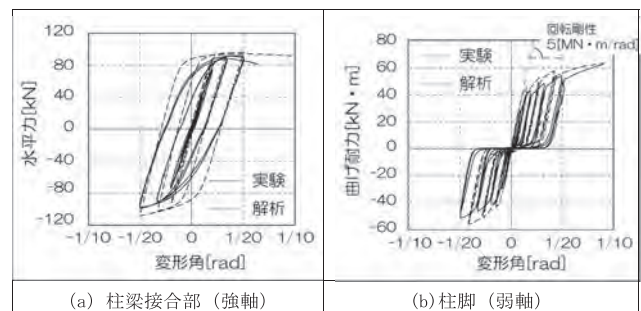


図一2 試験体部位



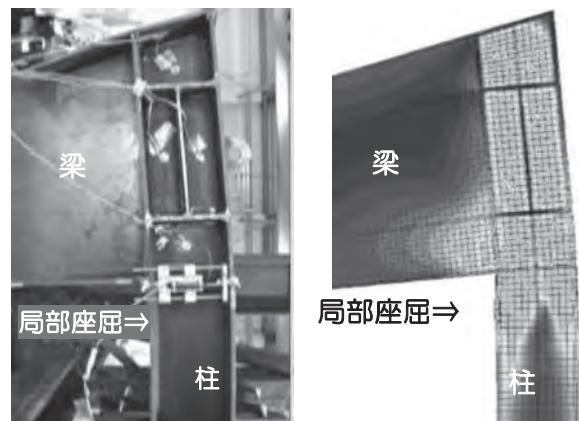
(a) 柱梁接合部 (強軸) (b) 柱脚 (弱軸)

図一3 実験状況



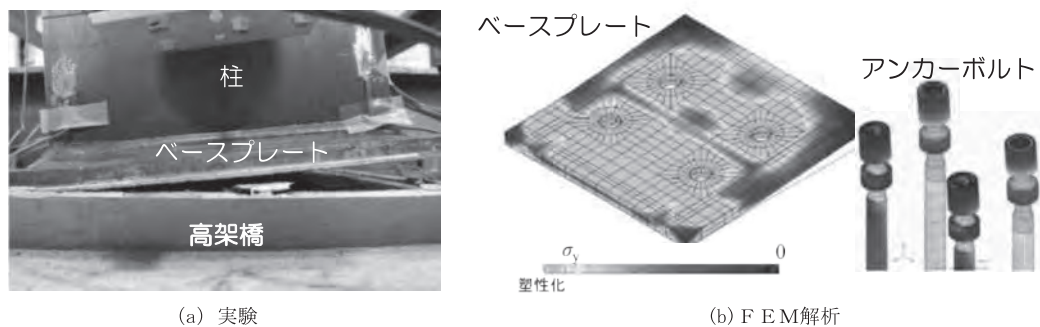
(a) 柱梁接合部 (強軸) (b) 柱脚 (弱軸)

図一4 実験結果

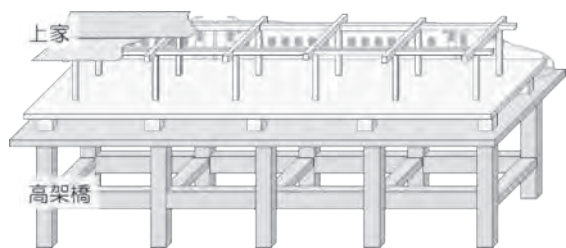


(a) 実験 (b) FEM 解析

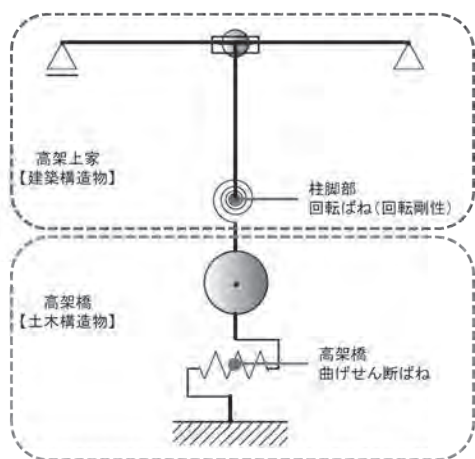
図一5 最大変形時の柱梁接合部



図一6 最大変形時の柱脚



(a) 解析対象概要図



(b) 解析モデル

図一7 地震応答解析の対象範囲

能となり評価法として確立した。

### (5) 地震応答解析結果

評価法による結果を図一7に示す高架 上家・高架橋一体モデルに反映し、地震応答解析を実施した。

地震応答解析は建築基準法に準じた3波の異なる位相の地震動にてそれぞれ解析を実施した。その結果、線路直交方向（強軸）は最大変形角 1/22 と接合部の破断による倒壊のない、十分な耐力・変形性能を確認でき、耐震性能は十分で補強が不要であることを確認した。線路平行方向（弱軸）は最大変形角 1/19 となり、耐力・変形性能が線路直交方向（強軸）と比較して劣るため、補強が必要となった。

## 3. 合理的な補強方法の提案

### (1) 補強方針の策定

補強が必要な線路平行方向（弱軸）に対する補強方針を次のように定め、補強方法を検討する。

- ・高架橋の余力の範囲内で、可能な限り柱脚を補強する（柱脚の弱軸について、強軸と同程度に補強）
- ・高架橋への反力を抑制するため、ダンパーを設置し地震エネルギーを吸収（高架 上家の柔構造を活かす）

### (2) 柱脚補強案の検討

柱脚の弱軸について、強軸と同程度の回転剛性となるよう、表一1に示す回転剛性の異なる3パターンの補強案に対する実験及びFEM解析を実施し、補強効果を検証した。回転剛性の比較結果を図一8(a)に示す。これより、最も簡易な補強①でも、強軸と同程度の回転剛性を確保できることを確認した。また、最大曲げ耐力の比較結果を図一8(b)に示す。いずれの補強方法も最大曲げ耐力は同程度であることから、高架橋への影響は補強方法によらず一定となり、高架橋の余力等に応じて補強②や補強③も適用できることを確認した。

### (3) ダンパー仕様について

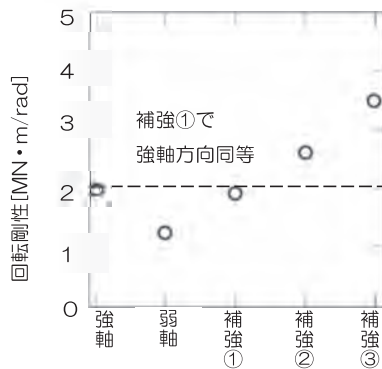
高架橋により増幅される地震動に対して、上家に作用する地震力を低減するだけでなく、高架橋への反力を抑制することを目的としてダンパーを設置する。ダンパーの仕様は、

- ・大小様々な地震に適用可能であること
- ・耐候性が十分にあること
- ・既存 上家の構造に影響を与えないこと

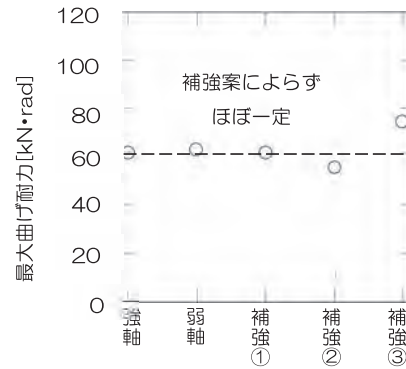
の条件を満足する図一9に示す低出力型の増幅機構付減衰装置をダンパーとして想定することとした。

表一 柱脚補強案

	補強①	補強②	補強③
補強イメージ			
補強方法(仕様)	カバープレート (#600)	補強① +コンクリート充填 ( $F_c=24kN$ )	補強② +あと施工アンカー (M24)
実験結果			

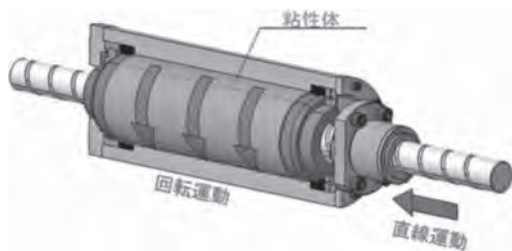


(a) 回転剛性の比較

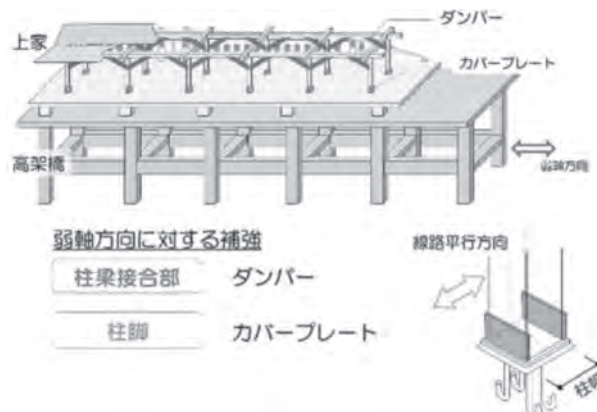


(b) 最大曲げ耐力の比較

図一 8 柱脚補強案の検討結果



図一 9 ダンパー概念図



図一 10 開発する補強方法のイメージ

(4) 合理的な補強方法の提案

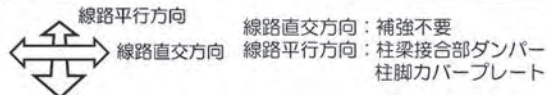
以上の検討より, 補強方法を以下の通り提案する(図一 10)。

- ・線路直交方向(強軸): 十分な耐震性, 補強不要
- ・線路平行方向(弱軸): 柱脚…カバープレート  
柱梁接合部…ダンパー

補強後の高架高架橋(図一 11)に対する地

震応答解析の結果, 地震時の変形角が1/19から1/22と改善され, 実験で安定した性能を確認できた限界変形角(1/20)以内となり, 必要な耐震性能が確保できることを確認した。





線路直交方向：補強不要  
線路平行方向：柱梁接合部ダンパー  
柱脚カバープレート

図-11 開発した補強方法



写真-1 補強箇所（柱梁接合部）



写真-2 補強箇所（柱脚）

#### 4. まとめ

高架上家の柱梁接合部・柱脚に対する実験・解析により、以下の結論を得た。

- ・高架上家の耐震限界性能は、指針による耐震診断結果よりも高く、線路直交方向（強軸）は補強不要
- ・作成した柱梁接合部・柱脚のモデルを用いた評価法により、柱幅や板厚などが異なる高架上家についても、実験を実施することなく評価が可能
- ・線路平行方向（弱軸）の補強については、高架橋への反力を考慮し、柱脚をカバープレート補強した上で、高架上家の柔構造を活かし、ダンパーにより減衰を付加することが合理的

#### 5. おわりに

東海旅客鉄道㈱では、開発した新工法を採用し、東海道新幹線は品川駅を除く16駅、在来線はお客様のご利用が1日1万人以上の駅のうち、対策不要の駅や今後補強要否の検討を行うレール造の上家（柱や梁にレールを使用した上家）等を除く20駅を対象に、プラットホーム上家の耐震補強工事を実施している。既に、東海道新幹線新横浜駅（写真-1, 2）、東海道本線焼津駅、西焼津駅、磐田駅、安城駅、笠寺駅の施工が完了し、残る駅についても順次設計、施工を実施している。また、レール造の上家についても、耐震補強により地震発生時の安全性をより一層高めるべく、更なる新工法の開発に取り組んでいる。

JCMA

#### 《参考文献》

- 1) (一社) 鉄道建築協会：鉄道建築ニュース 2011.12月号 特集主幹論文「東日本大震災」
- 2) (公財) 鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター：鉄骨造旅客上家の耐震診断指針, 2017.3
- 3) 家倉, 塚脇, 吉原, 西本, 佐藤, 井上 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)「既存旅客上家鉄骨架構の構造性能評価 その1～その5」, pp.1083-1092, 2020.9
- 4) (一社) 鉄道建築協会：鉄道建築ニュース 2020.12月号 特集 主幹論文「高架上家の耐震化について」
- 5) 家倉, 菅原, 住岡, 玉井, 吉原, 西本, 高塚 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)「古レール造上家架構の構造性能評価 その1～その3」, pp.1095-1100, 2023.8

#### 【筆者紹介】

家倉 優人 (いえくら ゆうと)  
東海旅客鉄道㈱  
静岡支社 施設部施設課  
担当課長



塚脇 喜章 (つかわき よしあき)  
東海旅客鉄道㈱  
建設工事部 建築工事課  
係長



# 地震により被災した RC ラーメン橋台の ジャッキアップと軌道復旧

草野 英明

2022年3月16日に発生した福島県沖地震(M7.4)にて、東北新幹線福島・白石蔵王間に建設されていたRCラーメン橋台の下層柱は、軸方向鉄筋が露出変形するほどの損傷を受けた。そこで、被災状況の確認および復旧方法の検討が行われた結果、橋台とPC桁下部に仮受けベント設備を構築し、2,000 kN級鉛直ジャッキ20台および水平移動ジャッキを用いて、所定の位置へ復旧することとされた。その結果、残存していた柱の抵抗が想定以上に大きく、仮受けベントの耐力が計画値を超えることが懸念されたため、残留変位を残したまま軌道工事にて復旧することとなった。復旧方法は、スラブ上の路盤コンクリートのかさ上げ量を調整することで、軌道を所定の位置と高さへ復旧することとなり、同年4月14日の早朝に新幹線の運行を再開した。

キーワード：東北新幹線, 福島県沖地震, ラーメン橋台, ジャッキアップ, 水平スライド

## 1. はじめに

2022年3月16日に発生した福島県沖地震(M7.4)では、宮城県蔵王町や福島県国見町などで震度6強を観測した。その結果、高架橋等の土木設備、架線等の電力設備、軌道設備等において多くの被害が発生し、復旧に多くの時間を要した。

その中でも特に被害の大きかった東北新幹線福島・白石蔵王間のRCラーメン橋台(以下、橋台)においては、柱の軸方向鉄筋が露出変形し、構造物全体が傾斜するほどの損傷を受けた。

本報では、橋台の被災状況と復旧に用いたジャッキアップおよび軌道復旧について報告する。

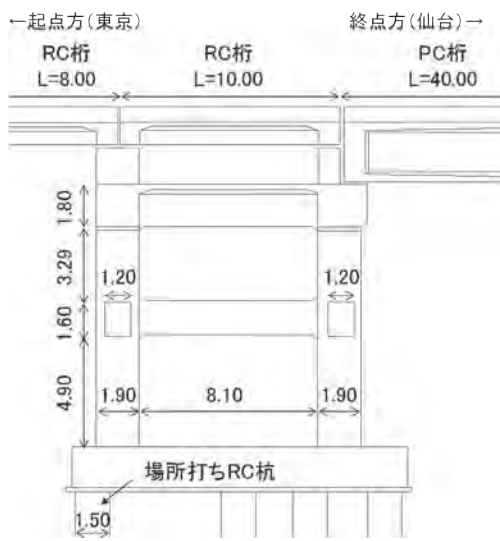


図-1 構造物一般図<sup>2)</sup> (単位:m)

## 2. 構造物概要<sup>1)</sup>

橋台の構造一般図および構造物諸元を図-1および表-1に示す。当該構造物は線路方向・線路直角方向に1径間の2層ラーメン構造であり、起点方はスパン8mのRC単純桁、終点方は40mのPC桁を支持している。

また、上層スラブ上には10mのRC単純桁を支持している。構造高さ(フォーミング天端~PC桁座天端)は11.59mで、基礎は場所打ちRC杭(φ1.5m, L=31.5m)10本により支持される構造物である。

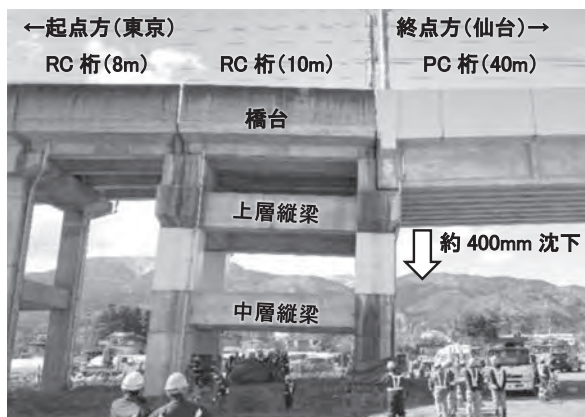
表-1 構造物諸元<sup>2)</sup>

構造形式	2層RCラーメン橋台
径間数	線路方向: 1径間 線路直角方向: 1径間
基礎形式	場所打ちRC杭: φ1.5m (L=31.5m n=10本)
上部工形式	起点方: スパン8m RC桁(単T2主桁) 終点方: スパン40m PC桁(8主桁)
軌道形式	スラブ軌道
柱の断面寸法	1.9m × 1.4m
柱の耐震補強	上層柱: 鋼板巻立て補強 下層柱: 未補強

### 3. 損傷状況

橋台および軌道の損傷状況を図一2 (a)~(c) に示す。損傷は柱と中層梁に見られ、特に下層柱については、かぶりコンクリートが広範囲に剥落し、軸方向鉄筋の変形、コアコンクリートの損傷が確認された。その損傷によって構造物全体が傾斜し、軌道面で最大約400 mm 程度鉛直沈下し、桁は起点を背にして右側に最大180 mm 程度の水平変位が発生したものと報告されている<sup>1)</sup>。

一方、中層横梁にはせん断ひび割れに伴うかぶりコンクリートの剥落が確認されている。



(a) 橋台損傷状況 (全体)



(b) 橋台損傷状況 (下層柱)



(c) 軌道損傷状況

図一2 橋台および軌道の損傷状況

### 4. 復旧方法の検討と施工

橋台は前述の通り、下層柱損傷の影響で橋台全体の沈下や水平方向にずれが生じた。特に終点方下層柱の損傷が確認されたことから、軸力保持機能が低下していると推定された。そのためジャッキアップ等により橋台を所定の位置に戻した後、損傷した部材の補修を行うことで列車荷重を支持する計画が採用された。

図一3 に主な応急復旧の施工ステップ、図一4 に仮受けベント構造図を示す。

#### (1) 仮々受け工 (沈下防止)

橋台終点方のPC桁直下には、県道46号線が交差している。終点方下層柱の損傷の大きさから、余震等によってPC桁および橋台の更なる沈下や水平移動の進行による県道46号線への影響が懸念された。

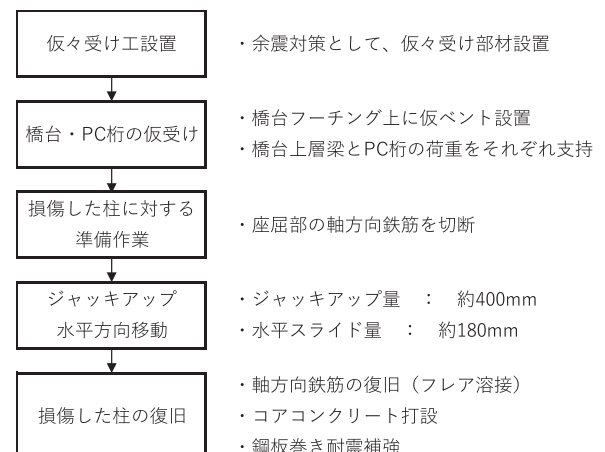
そこで、図一5 に示す通り、GL~中層縦梁間および中層縦梁~上層縦梁間に対して山留材を井桁に組み合わせ合わせた仮々受け工を設置し、それ以上の沈下を防止することにした。

なお、仮々受け工の設置期間は、PC桁の荷重を仮受けベントにて受け替えるまでとした。

#### (2) 橋台・PC桁の仮受け

仮々受け工の設置後、PC桁の荷重を受けるための仮受けベントの設置を行った。ベントの設置に先立ち、橋台フーチングの健全度を調査するため、最大2mの土砂を掘削してフーチング上面を露出させることとした。その後、フーチングの目視確認を実施し、健全であることが確認されている。

写真一1 に示す通り、PC桁側の仮受けベントの構築を行い、油圧ジャッキにてPC桁の荷重すべてを橋台から仮受けベントに移行させた後、仮々受け工を撤



図一3 復旧の施工ステップ

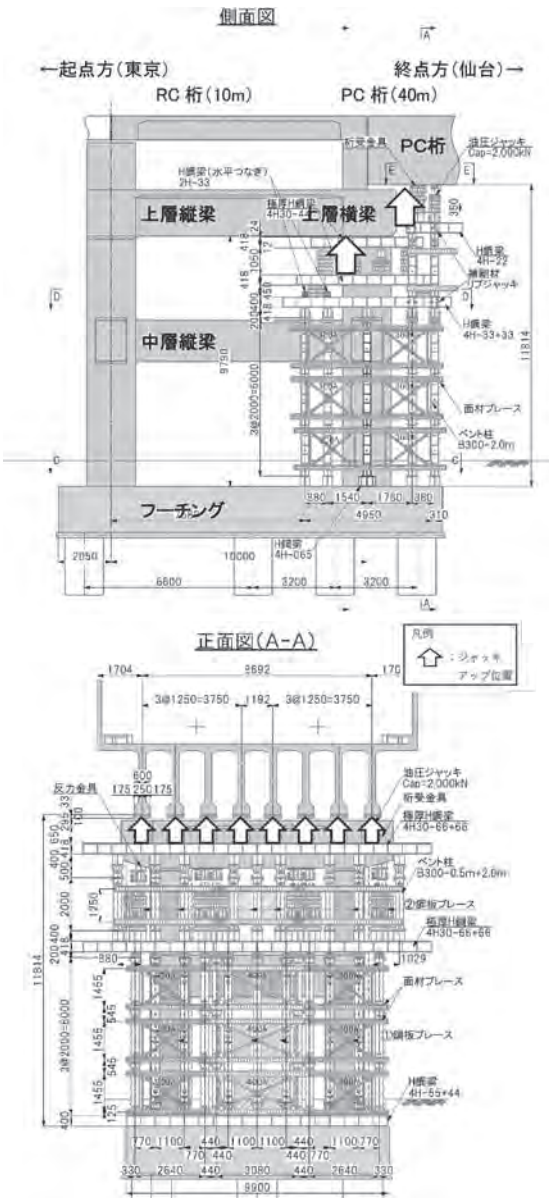


図-4 仮受けベント構造図



図-5 仮々受け工（沈下防止）設置完了

去した。仮々受け工撤去後に、橋台フーチング起点方の土砂を掘削し、橋台上層梁の荷重を受ける仮受けベントの構築を実施した。

仮受けベント構築後の写真を写真-2に示す。

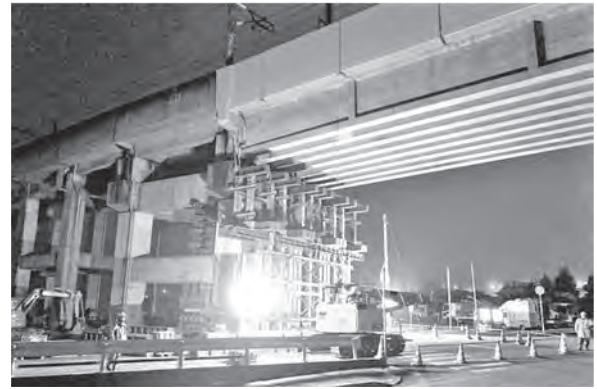


写真-1 仮受けベント設置完了（PC桁側）

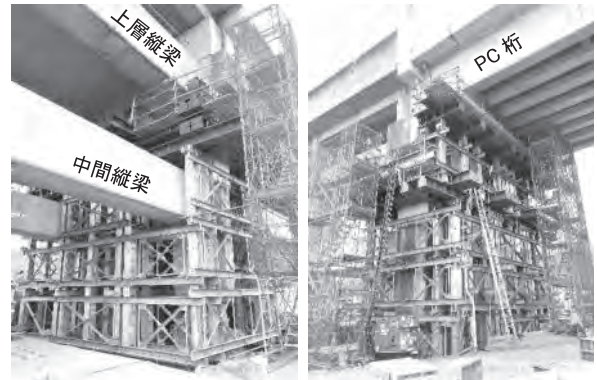


写真-2 仮受けベント構築完了（左：橋台側・右：PC桁側）

### (3) ジャッキアップ設備

仮受けベント構築後、図-6 (a), (b) に示す通り、橋台上層横梁の下部およびPC桁の下部に対して2,000 kN級の油圧ジャッキ20台を配置した。

油圧ジャッキの配置完了後は、油圧装置および油圧ジャッキのストローク管理用のリニアエンコーダーを設置した。その後、PC桁および橋台の計画荷重の100%（PC桁:8,480 kN・橋台:6,000 kN）を油圧ジャッキに載荷し、全荷重を仮受けベントにて受け替えた。

### (4) 下層柱軸方向鉄筋の切断

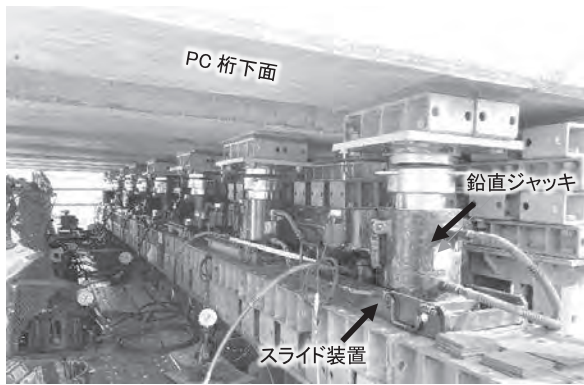
PC桁および橋台に作用する荷重を仮受けベントに受け替えた後、橋台終点方下層柱の変形した軸方向鉄筋を切断した。これは、ジャッキアップを行う際に油圧ジャッキへ作用する荷重の低減を目的としている。

### (5) 変位制限装置撤去

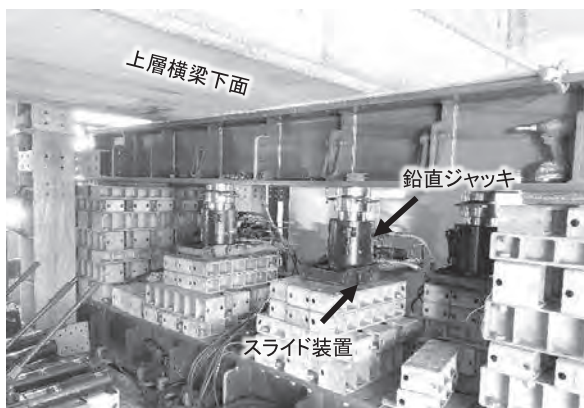
橋台前面には図-7に示す通り、PC桁に対する変位制限装置が設置されていたため、ジャッキアップに支障する範囲を事前に撤去し、施工完了後に復旧した。

### (6) ジャッキアップ方法

ジャッキアップ1ストローク当たりの高さは、



(a) 油圧ジャッキ配置状況 (PC 桁) 2,000 kN 級 8 台



(b) 油圧ジャッキ配置状況 (橋台) 2,000 kN 級 12 台

図一 6 油圧ジャッキ配置状況

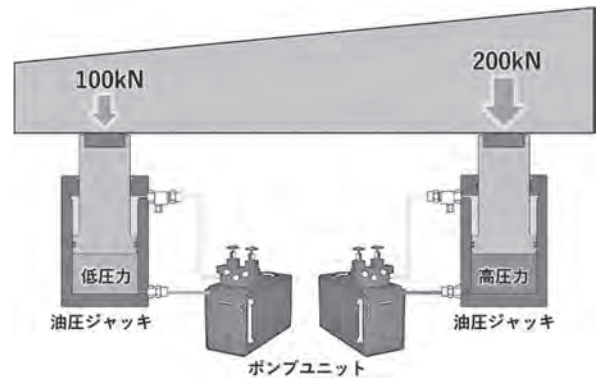


図一 7 PC 桁 変位制限装置

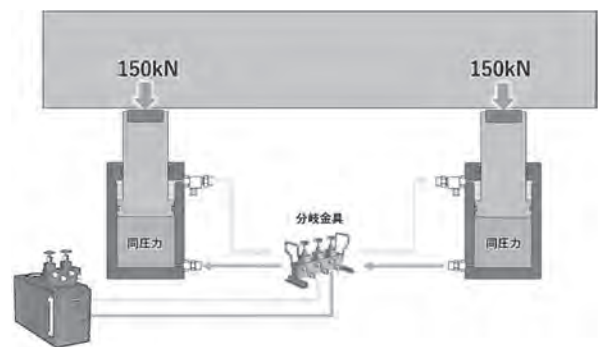
ジャッキアップ時に PC 桁鋼製沓の上沓と下沓が脱落しない高さ 20 mm を基本とした。ジャッキアップ方法は、所定の高さまで PC 桁と橋台を交互に 20 mm ずつ繰り返しジャッキアップする方法とした。

また、橋台下層柱の損傷により構造物全体が傾いていたため、異荷重にて荷重支持ができるよう、ジャッキアップ開始直後の油圧系統は単動としたが、各受点のジャッキ反力に大きな差異が見られなかった。したがって、ジャッキ操作の煩雑さを避けるために、その後はストロークと反力を同時に管理しながら連動にてジャッキアップを行った。

単動と連動の概要を図一 8 (a), (b) に示す。



(a) ジャッキアップ時油圧系統 (単動式)



(b) ジャッキアップ時油圧系統 (連動式)

図一 8 単動と連動の概要

## 5. ジャッキアップ結果

ジャッキアップ開始後、油圧ジャッキの荷重は計画通り順調に進捗していたが、扛上量 180 mm を超えた辺りから PC 桁では計画荷重の 8,480 kN、橋台部では 135% に当たる 8,100 kN まで上昇した。その後、慎重に作業を進め、205 mm まで扛上することができたが、これ以上進めると他の部材に悪影響が生じることが懸念されたため、それ以降のジャッキアップ作業を中止し、水平方向へのスライド工程に移行することとした。

なお、ジャッキアップの荷重増加の原因は、橋台起点方の下層柱に想定を上回る抵抗力が生じたためと推察されている。

水平方向へのスライドは図一 6 (a), (b) に示す鉛直ジャッキ下部のスライド装置に組み替えて実施した。

しかし、水平方向に約 15 mm スライドした時点で水平ジャッキの反力が增大したため、その後のスライド装置による水平移動を中止した。

この結果、橋台は鉛直方向に 150 mm の沈下および、水平方向に 80 mm (起点を背にして右側) の残留変位を残す結果となり、この状態で軌道側へ引き渡

し、軌道工事にてレールを所定の位置に復旧することになった。

## 6. 下層柱の復旧および耐震補強

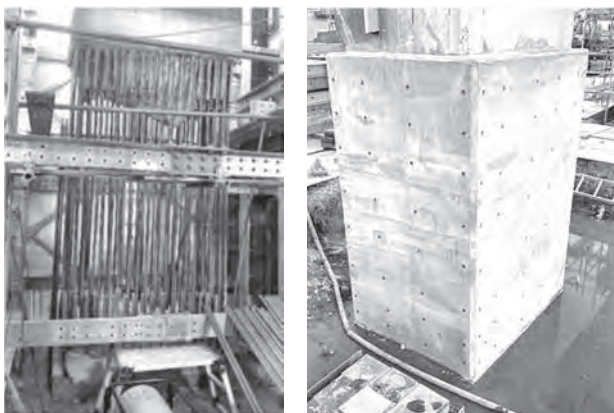
ジャッキアップ施工後、損傷した下層柱の復旧を実施した。復旧方法は、以下の順番で行った。

- ① 損傷したコアコンクリートの撤去
- ② 軸方向鉄筋の台直し
- ③ 上下の既存軸方向鉄筋と新たな鉄筋のフレア溶接による接続
- ④ 帯鉄筋の再配置
- ⑤ 無収縮モルタルの打設
- ⑥ 鋼板巻きによる耐震補強

軸方向鉄筋のフレア溶接完了時の写真を写真—3に、無収縮モルタル打設完了時の写真を写真—4に、鋼板巻きによる耐震補強完了の写真を写真—5に示す。

## 7. 軌道復旧

高架橋上の軌道は、図—9に示す通り、スラブコ



写真—3 フレア溶接完了

写真—4 モルタル打設完了



写真—5 鋼板巻き耐震補強完了

ンクリート上に路盤コンクリートを構築し、その上にスラブ版とレールを設置する構造となっている。

軌道の復旧方法は、図—10に示す通り、レールおよびスラブ版を一時撤去し、既存の路盤コンクリート上に新たな路盤コンクリートを打設して、かさ上げすることで所定の位置にレールを復旧した。なお、スラブ版の位置を固定する突起コンクリートも破損していたため、応急処置として山留材による拘束材を取り付けた。

路盤コンクリートの施工状況を写真—6に、仮軌道復旧状況を写真—7に示す。

## 8. おわりに

2022年3月16日に福島県沖地震が発生したが、その翌日より現地入りし、4月14日早朝には東北新幹線福島・白石蔵王間の運転再開に貢献することができた(図—11)。

運転再開までの28日間、当該現場に従事した当社



図—9 軌道構造概略図

図—10 復旧後軌道構造概略図



写真—6 路盤コンクリート施工状況



写真—7 仮軌道復旧状況

工種	月日		3月														4月													
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
仮受け工			仮受け工																											
仮受けベント工																														
ジャッキアップ																														
水平スライド																														
下層柱復旧																														
変位制限装置復旧																														
中層梁復旧 (断面修復・ひび割れ注入)																														
軌道関連工事																														

図-11 応急復旧 概略実工程表

および協力会社の工事関係者は延べ約 6,000 人となった。

その間、昼夜を問わず復旧作業に従事して頂いた協力会社の皆様、ご指導を頂いた東日本旅客鉄道(株)の皆様に厚く御礼を申し上げます。



《参考文献》

- 1) 東日本旅客鉄道(株), 「大きな損傷を受けたラーメン構造物の地震被害と復旧」, SED, No60, pp.30 ~ 39, 2022

- 2) 東日本旅客鉄道(株), 「福島県沖地震で大きな損傷を受けた第一小坂街道架道橋の被害解析と復旧後の耐震性能評価」, SED, No61, pp.2 ~ 9, 2023

【筆者紹介】

草野 英明 (くさの ひであき)  
 東鉄工業(株)  
 土木本部 土木エンジニアリング部  
 担当部長





## 「移動式廃棄物処理設備」の活用に向けた検討 迅速な災害復興に向けた取り組み

永島 篤志

近年、大小様々な自然災害が発生し、都度被災者の生活、財産を奪っており大規模災害時には復興に多大な時間と労力と費用が掛かり被災者の方々はもとの生活に戻るまでに数年の年月を仮設住宅や移民等で不自由な生活を余儀なくされることとなる。

このような、災害にて発生した災害廃棄物を迅速に処理し早期復興を行うため省スペースで固定式設備とは異なり短期間で設置が完了し、工事終了後は撤去が容易な移動式処理設備による災害廃棄物処理が1995年に発生した兵庫県南部地震の復興処理以来本格的に導入されるようになってきた。

キーワード：災害処理、移動式、リサイクル、破碎、選別、堆積、省人化

### 1. はじめに

「移動式廃棄物処理設備」は、主にエンジンを動力源としてけん引または自走にて移動が可能なユニットタイプの破碎機・選別機・コンベア設備等で、屋外現場等電気設備やコンクリート基礎が不要な機械設備である。

近年は、破碎機と選別機とコンベアを連結しプラントとして作業場内に配置することで省人化及びダンプ輸送の削減等に効果があり、様々な現場で移動式機械の導入が進んでいる。

### 2. 設備概要

本設備は、被災現場の早期復興を目的として被災による電気・工場設備等の災害廃棄物処理設備が整っていない現場に電気・工場設備を必要としない移動式設備を搬入し、廃棄物処理を行うことで災害廃棄物を早期に処理を行い、迅速なインフラ・地域復興整備につながるべく廃棄物処理システムの構築を目的としている。

#### (1) 移動式設備活用のメリット

- ①設備設置場所の基礎・電気工事等が不要である。
- ②処理原料場所の近くで作業ができ、原料の輸送コストが低減できる。
- ③駆動源がエンジンであり、受電設備・電気配線工事が

が不要である。

- ④機器の単独運転や組み合わせにより多彩な処理が可能である。
- ⑤現場搬入・搬出が容易にできる。

#### (2) 設備概要

##### (a) 1軸・2軸シュレッダー

主に、廃プラ・木くず・紙くず・繊維くず・家屋解体等の混合廃棄物を15センチ程度に破碎し、分別・焼却・埋立・燃料リサイクル処理用破碎を行う。

##### (b) 木材シュレッダー

流木・家屋廃木材を破碎し、焼却・バイオマス燃料として有効活用。

##### (c) 選別機（振動タイプ・トロンメルタイプ）

混合廃棄物原料の土砂抜きや災害土砂・破碎製品のサイズ選別を行う。

##### (d) クラッシャー

コンクリートガラ・自然石を破碎し、建設資材へのリサイクルに活用する。

##### (e) コンベア

製品高積み・原料運搬乗継・車両・船舶等への原料積み込み・手選別設備等に活用する。

### 3. 使用事例

#### (a) 災害土砂の選別（写真—1）

災害土砂中に流木・ガレキ・廃岩石が含まれている





写真一 災害土砂選別及び分別作業

ので、埋め立て処分場へ搬入する際に管理型処分場への搬入となるため、受け入れ制限や遠方への搬出となり、選別機によるサイズ選別後、作業員による分別作業を行い、残土処分として円滑に処分が行えた。

(b) 災害ガレキの破碎再資源化設備 (写真一2)

災害廃棄物から分別された災害ガレキや災害土砂の選別後の廃岩石をクラッシャーで破碎後、選別機でサイズ選別を行い、RC-40及び裏込め材等の復興資材のリサイクル原料として再資源化活用を行った。

(c) 災害土石の破碎選別リサイクル (写真一3)

集積した災害土石を選別し、埋戻材、仮設路盤材として活用し、+40mmを破碎処理を行い、路盤材、裏込め材、ぐり石等の復興資材として再資源化活用を行った。

(d) 可燃性廃棄物破碎原料処理 (写真一4)

災害現場より集積した可燃性廃棄物を2軸シュレッ



写真二 災害ガレキ破碎再資源作業



写真三 災害土石の選別・破碎再資源化処理



写真四 災害可燃性廃棄物の破碎減容作業

ダーにて破碎減容を行い、焼却処分、セメント会社へボイラー燃料としての活用を行った。

(e) 混合廃棄物破碎選別設備 (図一1)

混合廃棄物を破碎減容し、可燃物・不燃物・残渣へ分別し、焼却処分・埋立処分・セメント会社へボイラー燃料としての活用を行った。

#### 4. 迅速な災害廃棄物処理に向けての課題

近年、全国各地で自然災害が頻発している状況で各自治体と民間企業や協会団体等で災害協定を締結し、災害発生時に迅速な対応を行う準備が進んできている。しかし、実際に災害発生時には法令・人材・機材・集積処理場所の確保・搬出先・原料毎の処理方法・作業処理費用等の様々な障害により対応の遅れや処理方法が決まらず、廃棄物処理が進まず結果的に復興工事が遅れる事例が発生している。

については、省庁、自治体、協力団体を中心に災害廃棄物委員会として、日頃から定期的に災害発生時における各問題を提議し、解決策を話し合い、協定内容の具体化、処理単価の取決め、会計検査・清算、条例による法規制等を改善整備し、災害発生時には官民一体で広域連携体制による迅速対応を行い人命救助や復旧作業に支障をきたさないよう、早急に対応することが求められる。

また、災害廃棄物の多種多品目の混合廃棄物が多く焼却や埋め立て処分が主流となっているが、各行政焼却施設は日常発生する家庭ごみの焼却処理を行っているため、災害廃棄物の受け入れ量の制限があり迅速な処理の妨げとなっている。また、破碎処理ヤードに長期廃棄物を堆積することで有機物の発酵熱や金属の酸化熱による堆積廃棄物の火災事故の発生の恐れがあるため、処理済廃棄物の早期処分を行うためのリサイクル技術の発展向上や再資源化による活用の模索を行い、災害廃棄物の早期処分を推進していくことが必要となる。

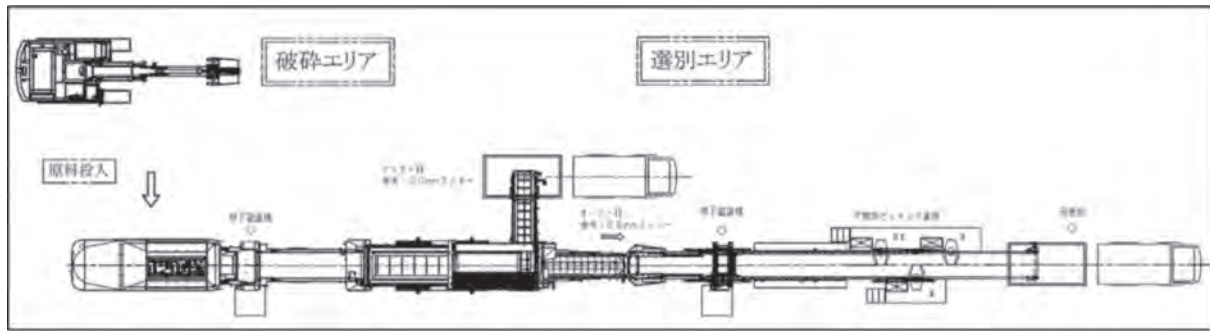


図-1

### 5. おわりに

本稿では、これまでに廃棄物処理、砕石・鉱山等の現場で活用してきたシュレッダー、クラッシャー、選別機等の処理機械技術を応用し、迅速に復旧作業を行うための取組みを行ってきたが、このような不定形・多品種原料の処理を円滑に行うために欠かせないのが人材の確保及び育成であり、オペレーターの仕様いかんによっては、機械の故障や作業トラブルの発生に繋がる。今後求められるのは、IT等を活用した自動化、省人化をさらに進化させソフト・ハード面での作業機

械の進化と作業環境の改善を図り、官民がさらに連携し一体となり対応を行うことで、災害復旧の安全かつ迅速な対応で社会貢献に繋げてまいります。

JICMA

[筆者紹介]  
 永島 篤志 (ながしま あつし)  
 (株)ヨーキ  
 環境機器事業部  
 部長



ずいそう

## 海外での日本代表戦観戦のすゝめ

島村 涼太



オリンピックやワールドカップ、WBCなどのスポーツの世界大会の開催期間中は、普段スポーツに興味のない方でも話題にするぐらいに日本中の誰もが熱狂しますよね。そういった国際大会の中には日本で開催される大会もありますが、当然ですが海外で開催される大会の方が大多数です。

スポーツ観戦は、もちろん自宅でくつろぎながらテレビで観るだけの楽しいし、何よりテレビで観た方がどんなスポーツであっても細部まで良く観れるというところですが、現地でしか味わえない熱気、歓声、興奮を求め、現地で観るということに醍醐味を感じている方も数多くいらっしゃるのではないのでしょうか。かくいう私もその一人です。

ところで、私と同じ“スポーツ観戦は現地派”という皆さんは、海外でスポーツ観戦、それも日本代表戦を観戦したことはありますか？

私は過去に3回、海外での日本代表戦の観戦経験があります。2015年に台湾で開催された野球・プレミア12のアメリカ戦とベネズエラ戦、2017年にアメリカで開催された野球・WBC準決勝のアメリカ戦、そしてもう一昨年にはなりましたが、カタールで開催されたサッカーFIFAワールドカップのドイツ戦と、それぞれを現地に行って、観戦して参りました。

「海外でのスポーツ観戦、ましてや日本代表戦なんて個人で行くにはお金もかかるだろうし、相当ハードルが高いでしょ？」と思われた方。それこそ、ドーハの悲劇が起こった頃にカタールに観戦に行くということは相当なハードルの高さがあったのだろうと想像しますが、今の時代は大丈夫です。まず私たちにはスマホがあります。どんなところに行こうが、いまやスマホさえあれば試合、飛行機のチケット手配から現地ホテルの予約、現地でのタクシー手配、公共交通機関のルート選定、レストランでの料理の注文の際の翻訳…なんでも1台で解決できます。心配な費用についても、もちろん旅行代理店に頼んだ方がお手軽ですが、スマホを使ってすべてを自前で手配すれば（人によっては少々骨が折れる作業かもしれませんが）旅行会社のツアー代の半額ぐらいには収めることができるのではな

いでしょうか。

そんな試合観戦旅行の際、最近特に便利なサービスとして活用させて頂いているのが大会の公式リセールサイト。リセールサイトというのは、観戦チケットを持っているが所用で行けなくなってしまったという人と、どうしても行きたいがチケットを持っていないという人を繋ぐサービスで、システム手数料を除きほぼ定価での取引が可能になっており、買い手、売り手共にWin-Winなサービスになっております。カタール・ワールドカップのチケット発売日は大会の半年以上前と、なかなかスケジュールの立て辛い時期での発売だったので一度は現地参戦を諦めたのですが、大会公式リセールサイトの存在を知り、調べ始めたところでタイミング良く、お目当てのチケットがリセールに出されており、無事チケットを確保できたというのがカタール・ワールドカップの際の、私の現地参戦決定の顛末でした。

一方で、現地に行ってからひたすらスマホを頼りにしていると、海外旅行の醍醐味の現地の人との交流機会が少なくなってしまいます。現地での行動スケジュールを立てる上で、スマホは非常に重要なツールですが、いざ現地に乗り込んだ後は移動手段の検索以外極力スマホに頼らず、現地の方とのコミュニケーションを楽しみながら、現場に向かうことを心がけましょう。

また海外での日本代表戦観戦の醍醐味として挙げられるのは自分自身の熱狂度の違いです。当然国内開催時の現地観戦も熱狂すること間違いのないのですが、はるばるここまでやってきたんだという海外滞在時特有の興奮と、海外という圧倒的アウェイな状況の中で歌う君が代によるボルテージの上がり方はものすごいです。ましてや実際に現地観戦したワールドカップ・ドイツ戦のような劇的逆転勝利なんてした時には…あの“熱狂”を体感してしまったら最後、病みつきます。

上記とは違う視点で、スポーツ大会を目的とした旅行は、その大会が開催されるからこそ、普段はスポットライトが当たらない、旅行先として検討しないような土地を訪れるチャンスにもなります。

私が現地に向かった3か国のうち、先に挙げた台湾

やアメリカは行かれたことがある方も多いと思いますが、皆さんの中で、カタールに行かれたことがある方はどのくらいいらっしゃいますでしょうか。

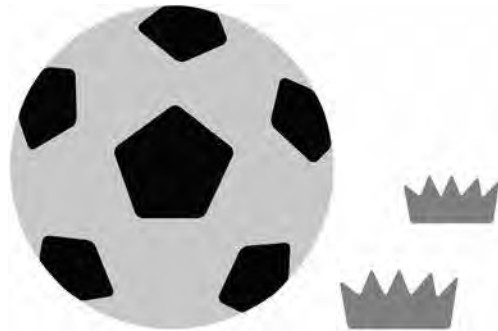
カタールの首都ドーハにあるハマド国際空港はヨーロッパやアフリカに行く際のハブ空港として良く使われる空港で、カタールから先へ行くためのトランジットでカタールに足を踏み入れた方はある程度いらっしゃると思うのですが、その先の、入国までされたことのある方は少数なのではないかと。

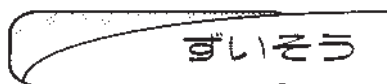
そもそも私は海外旅行が趣味なのですが、海外旅行好きとしてもなかなか旅行先として選ぶことは無いカ

タール。そんなカタールでも、FIFA ワールドカップという一大イベントがあるということで行くことができ、短い時間ではありましたが現地の雰囲気に触れることができました。

数年間の、旅行ができなかった時期を経て、ようやく本格的に行けるようになった海外旅行。皆さまも自身が興味のあるイベントを追いかけての海外旅行、是非行ってみたいはいかがでしょう。

——しまむら りょうた (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
設備部 機械課 担当係長——





## 料理とお酒を楽しむ人生

池 端 光 晴



お酒は若い時から好きで今でも毎日の様に呑んでいます。古くから「酒は百薬の長」という言葉がありますが、それはお酒を呑むこと（呑む人すべて）を正当化する為に都合のいい言葉だと思っています。しかし、実際にはこの後「過ぎたるは百薬の長ならず」という続きがあるそうです。確かに沢山の量を毎日呑んでいて体に良いはずがないことは重々承知しています。ある医学者が飲酒量と全死亡率との関係を10年間にわたって調べた結果は、「全くお酒を呑まない人」や「大量に呑む人」に比べて「適量の飲酒をする人」は長生きするというものでした。また、和食などを肴に嗜む程度が体にとっては良いのでしょうか。しかしながら、お酒を好きな人がほんの少しの量の飲酒で満足するはずはありませんよね！私もそうです。皆さんも飲酒量は「いいかげん」にしましょう。

こんな私ですが、今では料理を作るのも趣味のひとつとなっています。そのきっかけは2020年頃、コロナ感染が拡大した頃からでしょうか。それと家庭の事情もありました。まずはコロナ感染が拡大して外出や外食が減ったこと。加えて妻がパートタイマーで働いていて、土日や祝日に仕事の時もある為、休日に私が夕飯を作る事が増えました。高校生の息子が一人いますので、当然子供の為に夕飯を作らなければいけないという事情も重なったことです。

自然の流れだと思いますが、自分がお酒を呑むので酒の肴の様なメニューが多いのは否定できません。また、居酒屋にあるメニューを真似して作ったりしました。塩昆布キャベツ、ナムル、春雨サラダ等、それにコンソメスープ。これは簡単で野菜もとれるし家族にも好評でしょっちゅう作っています。なんといっても欠かせないのが「お酒」です。ご飯を作りながらお酒を呑む、いわゆるキッチンドリンカーです。キッチンドリンカーという言葉調べてみると、「女性が家事をしながら飲酒することで、やめられなくなり依存症につながっていく行動パターン」とあります。私は、単純に「料理をしながらお酒を呑む人」だと思っていましたが、あまり良いイメージではないみたいです。

今までの内容を読んで頂いた方から、「料理とは言

えないだろー」という声が聞こえてきそうです。確かに酒の肴的な料理を作ることが多いのは事実ですが、毎週の様に夕飯を作っていると休日の午前中には、今日の晩ごはんは何にしよ～かな～と頭の中で考える様になってしまっている自分がいます。私の妻も、世の中の奥様方も、毎日こうやって考えているんだ。大変なんだな～と思えて、妻に対して改めて感謝の気持ちをもつ事もできました。勿論それを言葉にして妻に伝えた事もあります。その時妻は「大変でしょ～、ご飯作って作って」そうハッキリ言われると、なんだよ～と思ってしまう私は、まだまだ大人になりきれていないのかな…。

料理とは言えないと思っている方へ、私が今まで作ってきた料理についてお伝えしたいと思います。先程高校生の息子がひとりいると言いましたが、もうひとり長男がいます。台湾の大学へ進学しましたが、2023年に卒業して自宅へ戻ってきました。その長男も含めて家族に人気の定番料理は唐揚げとローストビーフですね。当然ですがローストビーフは生のブロック肉から作って、ご飯の上に盛り付けて卵の黄身を落とした「ローストビーフ丼」、唐揚げは1kgの鶏肉を使ってもあつという間に無くなってしまいます（写真－1, 2）。皆気を使ってくれているのか？美味しい美味しいと食べてくれます。「パパの作った唐揚げ美味しいよね」その言葉が嬉しいですね。ここでまた反省、妻が作ってくれた料理に対して「美味しい」と何回言ったことがあったかな～？

日本の文化なのか「言わなくてもわかるだろう」と



写真－1 ローストビーフ丼



写真—2 油淋鶏唐揚げ

いう考えは年輩の方だと納得する方もいると思いますが、それはちょっと違うなという事にも気付かされました。やはり人間は口に出して言ってもらえると嬉しいものです。

私の料理の話に戻ります。自分で作って美味しかったと思うのは、麻婆豆腐です。味付けから調味料を使って一から自分で作ったのですが、コクがあってとても美味しかったです。少々面倒なので一度しか作っていませんが。それと2020年から毎年おせち料理を作っています（写真—3）。重箱に盛り付けるのですが、素人なので彩りというか料理の配置のバランスが難しいですね。おせち料理に欠かせないのは数の子、松前漬です。私の料理の好みは味というよりは食感です。



写真—3 おせち料理



写真—4 握り寿司

数の子のコリコリとした食感はたまりません。松前漬も昆布と人参を切って自分で味付けします。

おせち料理以外でチャレンジしてみたかったのが「握り寿司」です。閑上の朝市にネタを買いに行き、シャリを作って、カウンターキッチンに妻と高校生の息子を座らせて「いらっしゃい」お寿司屋さんごっこです。最初はどうしてもシャリが大きくなってしまうものです。握り寿司は二回やりました。二回目は、ネタを大きく、シャリの量を少なくする事を意識して握りました（写真—4）。そこで欲しかったのが刺身包丁です。翌日それを買に行き、握り寿司を2日続けてやりました。刺身包丁を使った事がある人は分かると思いますが、切るのが気持ちいいです。

何となく料理をしてきましたが、それによって、世の中の奥様が毎日の献立を考える大変さ、作ってくれた料理を美味しいと口に出して伝える大切さ等を知ることができました。そして、夕方からお酒を呑み、肴をつまみながら料理を作る。それを美味しいと食べてくれる家族がいる。今では料理が趣味のひとつになっています。料理を作って、お酒を呑みながら、お客様と会話を楽しむ、居酒屋の親方なんかも楽しそうだと思います。人は何歳からでも新しい事を始められる、皆さんも何かにチャレンジしてみたいはいかがでしょうか！

## JCMA 報告

## 一般社団法人日本建設機械施工協会 令和6年新年会報告

本協会の新年会は、令和6年1月9日（火）午後4時から機械振興会館地下2階ホールにおいて開催された。

開会に先立ち、1月1日（月）に発生した令和6年能登半島地震を受けて、黙祷を捧げた。

金井道夫会長は、冒頭の挨拶にて、「能登半島地震で亡くなられた方々へはお悔やみ申し上げるとともに、被災された方々にお見舞い申し上げます。復旧・復興に果たす建設機械の役割は非常に重要であり、会員企業の方々、関係者の方々とともに、全力で早期復旧・復興に取り組んでいきたい」と弔意を示すとともに、被災地の復旧・復興への協力を呼び掛けた。さらに、「欧州では、災害発生時の建機搬入の拠点づくり、ICT施工におけるデータ共用やカーボンニュートラルへの取り組みも進んでおり、参考になる点も多い。本協会においても重点的に調査を進め、皆さまのお役に立ち

たい」と述べた。

次に、足立敏之参議院議員が挨拶し、「能登半島地震では被災された地元建設業の皆さんも地域の安全安心を回復するために懸命に頑張っている。TEC-FORCEも大量に被災地に入っており、報道されている以外でも様々な分野の人達が復旧復興に向けて頑張っておられることも認識しなければならない」と述べた。

続いて、建山和由副会長（立命館大学総合科学技術研究機構教授）の発声で、被災地における関係者各位の尽力に対し敬意を表するとともに、一日も早い復旧・復興を祈念して静かに杯を上げた。

最後に、佐藤恭輔理事（株竹中工務店専務執行役員）が閉会の挨拶を行い、令和6年新年会は午後5時に終了した。



金井道夫会長



足立敏之参議院議員



建山和由副会長



佐藤恭輔理事

# 新機種紹介 機関誌編集委員会

## ▶ 〈19〉 建設ロボット、情報化機器、タイヤ、ワイヤロープ、検査機器等

23-(19)-03	大成建設 ミキサー車の 生コン自動供給装置 T-コンサプライヤー	'23.7 開発 新機種
------------	---	-----------------

### ▶ 概要

建設業界は、全産業の中でも高齢化の進行と就労者数の減少が著しく、今後の担い手不足が深刻な懸案事項となっている。そうした中、山岳トンネル工事でのコンクリート吹付けや、ダム、明かり工事でのコンクリート打設作業では、粉じんや排気ガスの発生、低温・高温といった過酷な環境下でも、生コンを連続して供給するため、ミキサー車の操作を有人で行う必要があり、作業完了までミキサー車から離れられない。このような状況を踏まえ、担い手不足に対応する上でも自動化や新技術の開発などによる作業環境改善と省人化に向けた取り組みが急務となっている。

そこで吹付け機やコンクリートポンプの生コン使用量に合わせて、ミキサー車のドラム回転数を自動制御しながら生コンを自動供給するシステム「T-コンサプライヤー」を開発した。

本システムは、「吹付け機・コンクリートポンプ側装置」と「ミキサー車側装置」から構成されており、各装置の役割は次のとおりである。

### 【システム概要】(図-1, 写真-1 参照)

#### 《吹付け機・コンクリートポンプ側装置》

- ①生コン量検出装置：吹付け機などのホッパー内の生コン量を測定
- ②判断装置：測定した生コン量に合わせて、ミキサー車の最適なドラム回転数を算出
- ③通信装置：算出したドラム回転数の情報などをミキサー車へ無線送信
- ④3色灯：生コンの供給状況を表示

#### 《ミキサー車側装置》

- ①通信装置：吹付け機・コンクリートポンプ側装置から送信されたドラム回転数などの情報を受信
- ②生コン供給量制御装置：受信したドラム回転数の情報を基にドラム回転数を制御

### ▶ 特徴

本システムの特徴は次のとおりである。

#### (1) ミキサー車の生コンを自動供給が可能

生コンの使用量に応じてミキサー車のドラム回転数を自動で制御して、吹付け機やコンクリートポンプへ生コンを供給することができる。

#### (2) 既存ミキサー車などへの後付け運用が可能

本システムは汎用性が高く、既存ミキサー車や吹付け機、コンクリートポンプに後付けて運用することができる。

#### (3) 生コン供給状況を確認しながら別途作業が可能

3色灯を用いて、吹付け機やコンクリートポンプのホッパー内の

生コン量が「正常」(青色)、「過剰」(黄色)または「ミキサー車内の生コンが空」(赤色)の状況を表示する。このため吹付け機やコンクリートポンプの操作など他の作業を行いながらでも生コン供給状況を確認することができる。

### ▶ 期待される効果

次のような効果が期待される。

#### ①作業環境を改善

有人による生コン供給操作が不要となり、過酷な環境下での作業がなくなるため、作業環境改善が図れる。

#### ②省人化を実現

大量打設や長時間に及ぶ供給などのほか、ミキサー車の待機や折り返し運転といった施工現場の条件に合わせて、少人数でも効率的な対応が可能となり、省人化を実現できる。

#### ③担い手不足を解消

ミキサー車の運転手は、レバーの調整など生コン供給操作を行う必要がないため、供給操作の未経験者でもミキサー車の運転・配車が可能で、担い手不足の解消に向けた対策になる。

### ▶ 用途

- ・トンネルやダム、明かり工事などでのミキサー車を用いた生コンを供給する作業
- ・自動化施工のミキサー車を用いた生コンを供給する作業



図-1 大成建設(株) T-コンサプライヤー構成・系統図

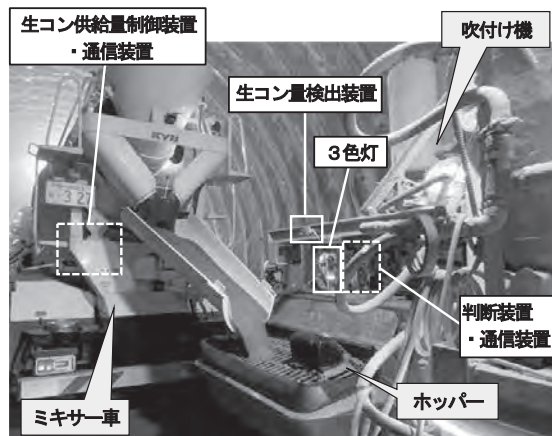


写真-1 大成建設(株) T-コンサプライヤー全景

問合せ先：大成建設(株) 土木本部機械部

〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1

TEL：03-5381-5309



## 建設業の業況

### 1. はじめに

わが国の建設業は長時間労働が常態化していること、長時間労働にもかかわらず他産業に比べ賃金水準が低いことから、特に建設技能労働者の入職、定着が困難な状況となり、平成9年の685万人をピークとして減少を続け、極めて速いスピードで高齢化している。

また、政府が進める働き方改革における「働き方改革関連法」による「改正労働基準法」の罰則付き時間外労働時間の上限規則が2024年に適用を受けることとなるため、長時間労働の是正は急務となっている。

中央建設業審議会・社会資本整備審議会産業分科会建設部会基本問題小委員会では、持続可能な建設業の実現に向けて、「請負契約の透明化による適切なリスク分担」、「適切な労務費等の確保や賃金行き渡りの担保」、「魅力ある就労環境を実現する働き方改革と生産性の向上」について検討がなされ、中間とりまとめがなされた。

このような状況の中、建設業の業況について、直近のデータを交えて紹介する。

### 2. 建設投資の概要

令和5年度の建設投資は、国土交通省「令和5年度建設投資見通し」をみると70兆3,200億円(前年度比2.2%増)と見通されている。

このうち、政府投資については前年度比4.5%増の25兆3,400億円、民間投資については前年度比1.0%増の44兆9,800億円と見通されている。これを建築・土木別に見ると、土木投資については前年度比4.9%増の26兆8,900億円、建築投資については前年度比0.6%増の43兆4,300億円と見通されている。

また、令和4年度の建設投資は、前年度比1.5%増の68兆7,900億円となると見込まれている。このうち、政府投資は前年度比0.9%増の24兆2,500億円、民間投資は前年度比1.8%増の44兆5,400億円と見込まれている。これを建築・土木別に見ると、土木投資が前年度比3.0%増の25兆6,300億円、建築投資が前年度比0.6%増の43兆1,600億円となると見込まれている。

建設投資は、平成4年度の84兆円をピークに減少基調となり、平成22年度には平成4年度の半分程度にまで減少した。その後、東日本大震災からの復興等により回復傾向となっている。令和5年度の建設投資については、令和4年度の補正予算等に係る政府建設投資が見込まれることなどから、総額として70兆3,200億円と見通されている(図-1参照)。

令和5年度の建設投資の構成を見ると、政府投資が36%、民間投資が64%である。民間投資のうち住宅、非住宅及び建築補修(改装・改修)投資を合わせた建築投資が全体の53%を占めている。政府投資は土木投資が全体の27%を占めており、この両者で建設投資全体の80%を占めている(図-2参照)。

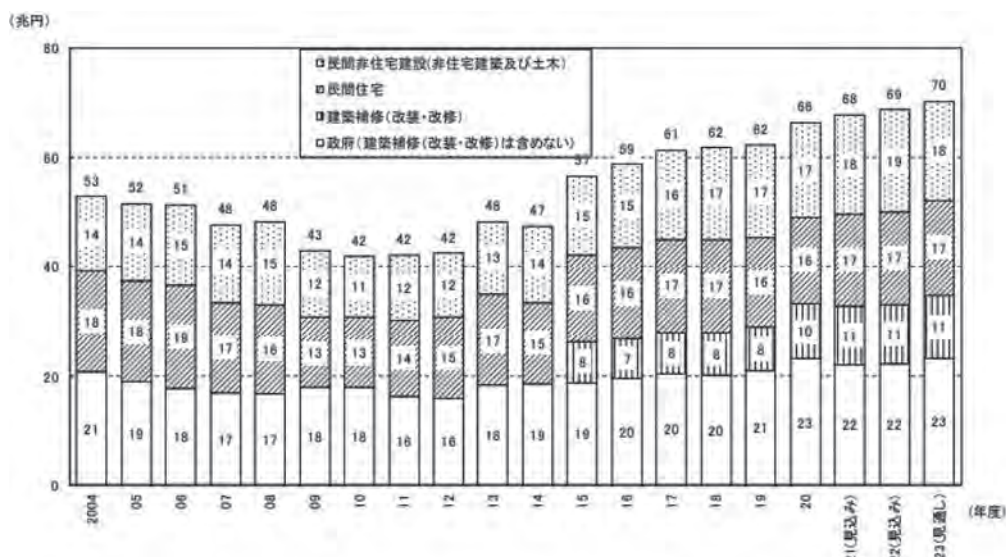
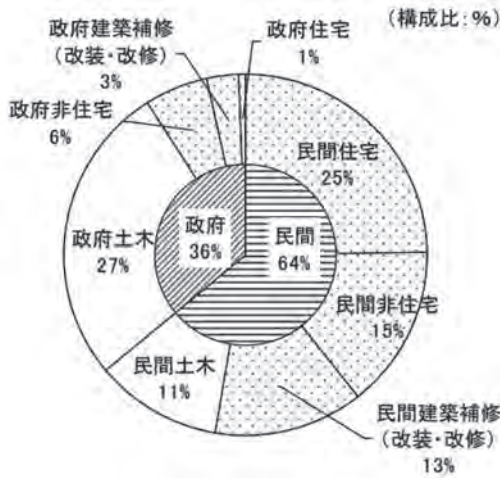


図-1 建設投資額(名目値)の推移(出所:国土交通省)

# 統計



図一 令和5年度建設投資の構成(名目値)

### 3. 全国許可業者数の推移

国土交通省「建設業許可業者数調査の結果について」をみると、令和5年3月末現在の建設業許可業者は474,948業者で、前年同月より345業者(0.1%)の減少となった。

令和5年度中に新規に建設業許可を取得した業者は16,404業者で、前年度比12.8%の減少となった。

また、令和4年度中に建設業許可が失効した業者については16,749業者であり、前年度比4.1%の減少となった。内訳としては、建設業を廃業した旨の届出を行った業者は7,476業者であった。一方、許可の更新手続きを行わないことにより許可が失効した業者は9,273業者であった。

建設業許可業者数が最も多かった平成12年3月末時点の、業種別許可の総数は1,392,339業者で、比較すると22.0%の増加となっている(図一3参照)。

なお、業種別許可業者数についてみると、令和5年3月末現在において許可を取得している業者の数が最も多い業種は、とび・土工工事業であり全体の37.6%を占める。次いで、建築工事業が30.5%、土工工事業が27.6%が続いた。

一方、取得している業者の数が最も少ない業種は清掃施設工事業であり、全体の0.1%程である。次いでさく井工事業の0.5%、消防施設工事業の3.3%が続いた(図一4参照)。

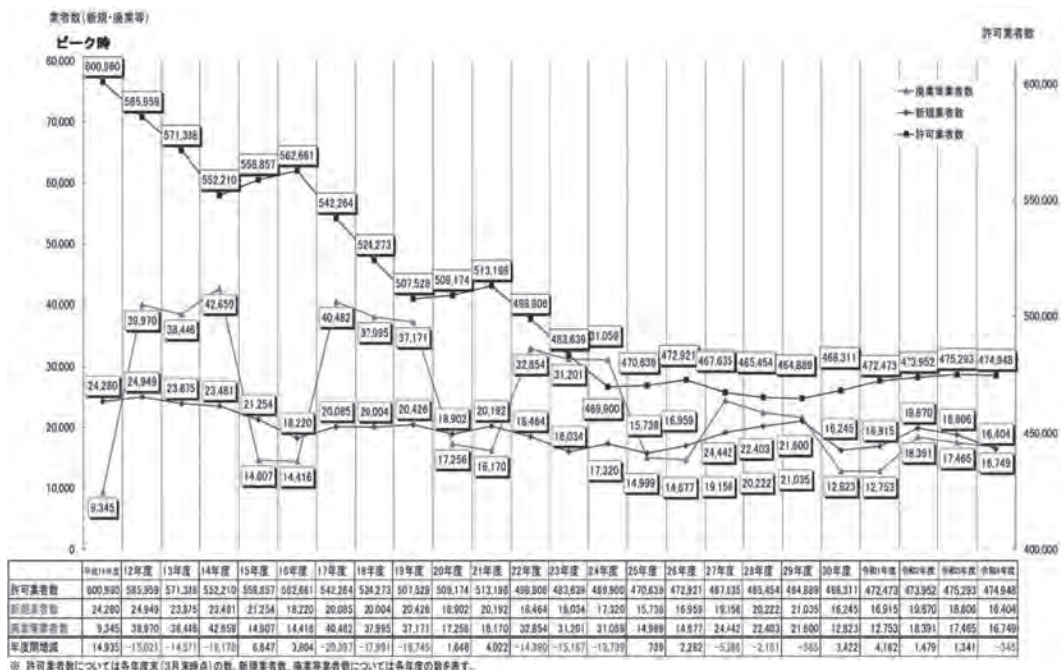
### 4. 建設業許可業者における業種別許可業者数の増減

平成5年3月末現在の取得業者数が増加した許可業種は24業種となった。増加率についてみると、熱絶縁工事業が5.4%と最も高く、ガラス工事業が4.8%、板金工事業が4.3%で続き、以下解体工事業と左官工事業3.9%、防水工事業と鉄筋工事業が3.8%で続いている。

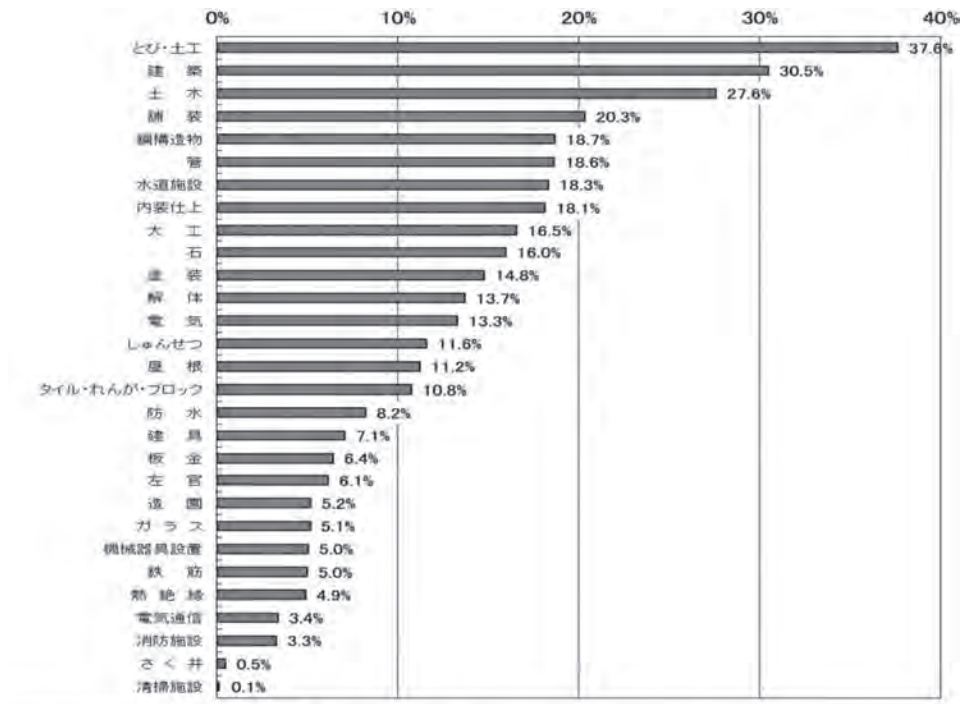
一方、前年同月に比べて取得業者数が減少した許可業種は5業種となった。減少率についてみると清掃施設工事業が3.2%と最も高く、建築工事業が1.4%、さく井工事業1.3%が続き、造園工事業1.0%が続いている(表一1参照)。

### 5. 労働災害発生状況

令和4年の労働災害発生状況について厚生労働省「労働災害発生状況」をみると、全産業における新型コロナウイルス感染症への患によるものを除いた休業4日以上の死傷者数は132,355名であり、



図一3 許可業者数・新規及び廃業等業者数の推移(出所:国土交通省)



平成 28 年 6 月 1 日施行により、従前の 28 業種に解体工事業が追加された。

図—4 建設業許可業者における業種別許可の取得率 (出所：国土交通省)

表—1 建設業許可業者における業種別許可業者数の増減表 (出所：国土交通省)

【業者数が増加した許可業種】

許可業種	前年同月比
解体	2,447 業者 (3.9%)
塗装	2,052 業者 (3.0%)
鋼構造物	1,880 業者 (2.2%)
石	1,862 業者 (2.5%)
内装仕上	1,843 業者 (2.2%)
とび・土工	1,761 業者 (1.0%)
屋根	1,663 業者 (3.2%)
タイル・れんが・ブロック	1,655 業者 (3.3%)
防水	1,418 業者 (3.8%)
板金	1,250 業者 (4.3%)
熱絶縁	1,191 業者 (5.4%)
しゅんせつ	1,162 業者 (2.2%)
ガラス	1,115 業者 (4.8%)
左官	1,083 業者 (3.9%)
大工	1,032 業者 (1.3%)
建具	1,014 業者 (3.1%)
舗装	926 業者 (1.0%)
鉄筋	864 業者 (3.8%)
電気	639 業者 (1.0%)
水道施設	481 業者 (0.6%)
管	295 業者 (0.3%)
機械器具設置	287 業者 (1.2%)
電気通信	243 業者 (1.5%)
消防施設	46 業者 (0.3%)

【業者数が減少した許可業種】

許可業種	前年同月比
清掃施設	▲ 13 業者 (▲ 3.2%)
さく井	▲ 31 業者 (▲ 1.3%)
土木	▲ 206 業者 (▲ 0.2%)
造園	▲ 250 業者 (▲ 1.0%)
建築	▲ 2,090 業者 (▲ 1.4%)

# 統計

前年同期 130,586 名と比べ 1,769 名 (1.4%) 増加した。

また、新型コロナウイルス感染症へのり患によるものを除いた労働災害による死亡者数は、774 名であり、前年同期 778 名と比べ 4 名 (0.5%) 減少した (図-5、6 参照)。

一方、建設業における休業 4 日以上の死傷者数は、14,539 名であり、前年同期 14,926 名と比べ 387 名 (2.59%) 減少した。一方、死

亡者数については 281 名となっており、前年同期 278 名と比べ 3 名 (1.08%) 増加した。

死傷災害については減少する結果となったが、死亡災害については増加する結果となった。

死傷災害における事故の型別についてみると、「墜落・転落」が 31.6% で最も多く、次いで「転落」が 11.9%, 「はさまれ・巻き込

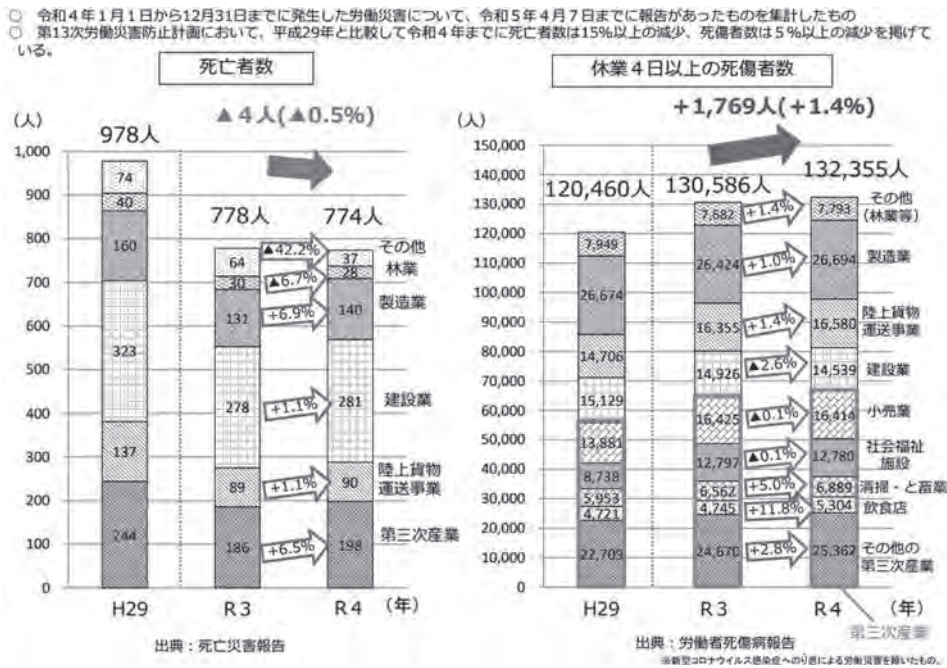


図-5 令和 4 年業種別労働災害発生状況 (出所：厚生労働省)

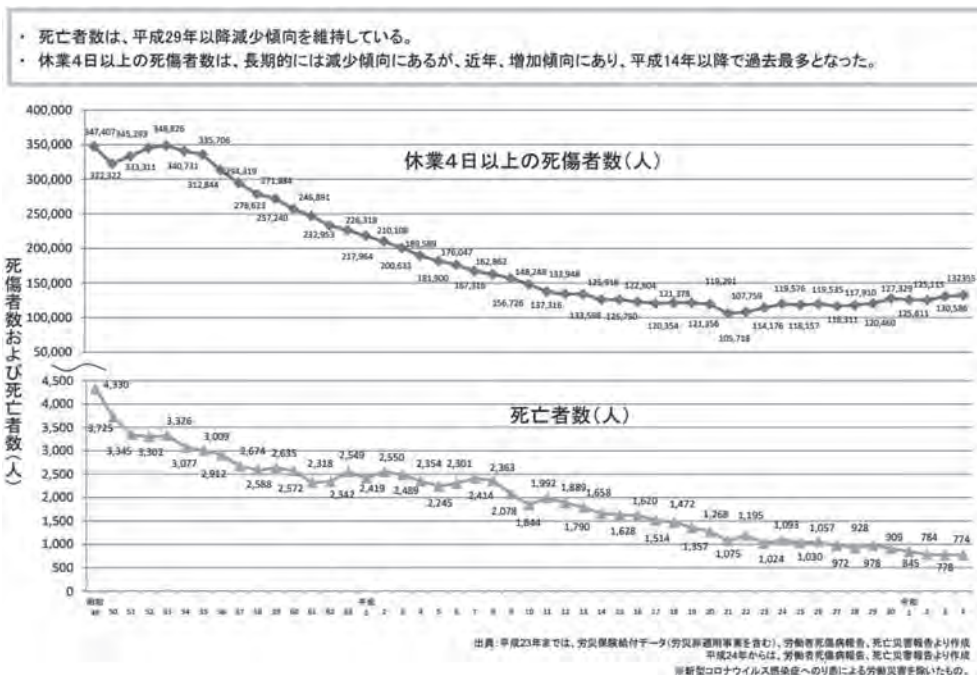


図-6 労働災害による死亡者数、死傷者数の推移 (出所：厚生労働省)

統計

まれ」が11.7%であった。

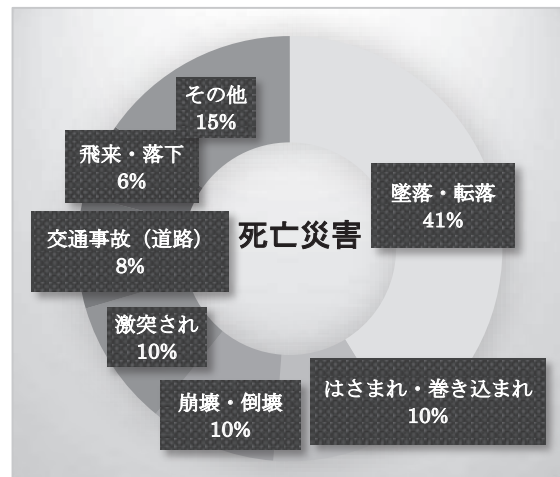
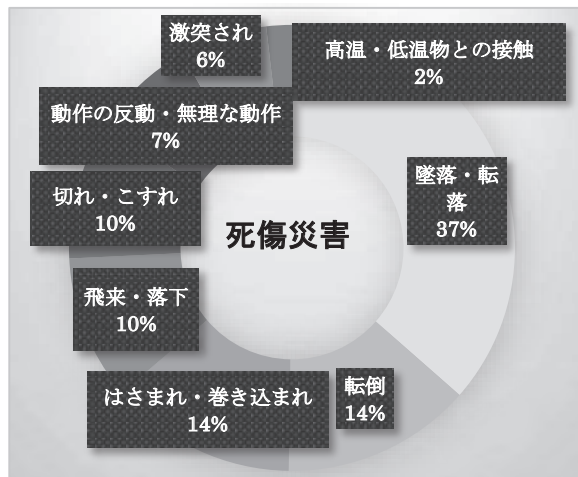
壊・倒壊」と「激突され」が9.6%で続いた（表－2、図－7参照）。

また、死亡災害における事故の型別についてみると「墜落・転落」が41.3%で最も多く、次いで「はさまれ・巻き込まれ」が10.0%、「崩

表－2 建設業における事故の型別 労働災害発生状況（出所：厚生労働省）

[人]

		H29	H30	R1	R2	R3	R4	
死傷災害		15,129	15,374	15,183	14,790	14,926	14,539	100.00%
業種別	土木工事業	4,015	3,889	3,808	3,933	4,038	3,942	27.11%
	建築工事業	8,306	8,554	8,417	8,074	7,895	7,606	52.31%
	その他の建設業	2,808	2,931	2,958	2,783	2,993	2,991	20.57%
事故の型別	墜落・転落	5,163	5,154	5,171	4,756	4,869	4,594	31.60%
	転倒	1,573	1,616	1,589	1,672	1,666	1,734	11.93%
	はさまれ・巻き込まれ	1,663	1,731	1,693	1,669	1,676	1,706	11.73%
	飛来・落下	1,478	1,432	1,431	1,370	1,363	1,318	9.07%
	切れ・こすれ	1,312	1,267	1,240	1,257	1,339	1,272	8.75%
	動作の反動・無理な動作	880	875	885	947	981	940	6.47%
	激突され	734	832	842	791	825	800	5.50%
	高温・低温物との接触	210	340	238	289	210	233	1.60%
	その他	2,116	2,127	2,094	2,039	1,997	1,942	13.36%
死亡災害		323	309	269	256	278	281	100.00%
業種別	土木工事業	123	111	90	101	100	108	38.43%
	建築工事業	137	139	125	101	132	117	41.64%
	その他	63	59	54	54	46	56	19.93%
事故の型別	墜落・転落	135	136	110	95	110	116	41.28%
	はさまれ・巻き込まれ	28	30	16	27	27	28	9.96%
	崩壊・倒壊	28	23	34	27	31	27	9.61%
	激突され	23	18	26	13	19	27	9.61%
	交通事故（道路）	50	31	27	37	25	24	8.54%
	飛来・落下	19	24	18	13	10	16	5.69%
	その他	40	47	38	44	56	43	15.30%



図－7 事故の型別内訳（出所：厚生労働省）

統計

6. 建設業倒産件数の推移

令和4年の建設業の倒産件数について東京商工リサーチ「全国企業倒産状況」をみると、令和3年より15.3%（169件）増加し1,274件であった。倒産件数については、2020年より減少を続けてきたが、3年ぶりに増加することとなった。

また、負債額についても令和3年度より20.0%（212億円）増加し、1,267億円であった。負債額については、2年連続で増加することとなった（図-8参照）。

7. 建設業就業者数の推移

建設業就業者数は、バブル後の不況下でも一貫して増加を続け、結果的にわが国の雇用の安定に寄与してきたが、平成9年の685万人をピークとしてその後は減少が続いてきた。

令和4年の技術者や技能者、事務系を含めた建設業就業者数は479万人であり、前年の485万人より6万人減少した。

一方、建設業に従事する技能労働者数については、平成9年の455万人をピークとして減少が続いており、令和4年の技能労働者

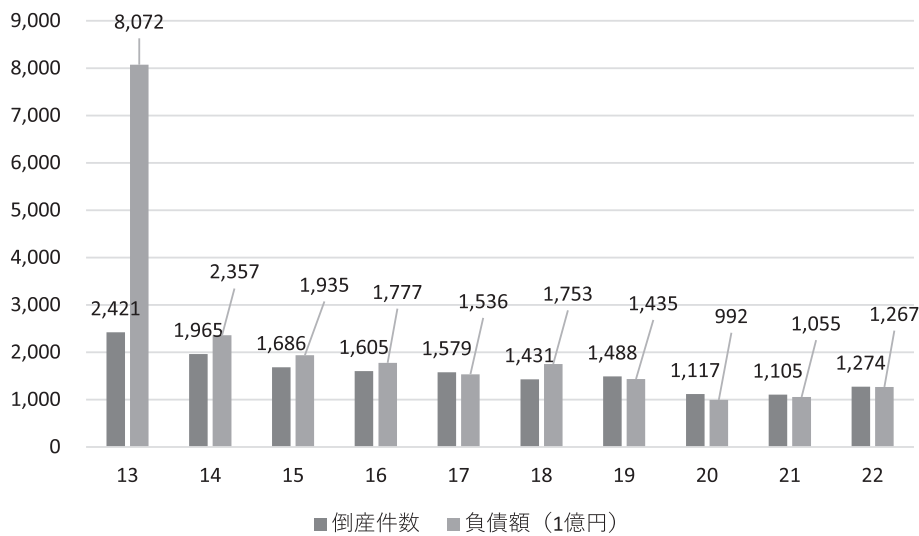


図-8 建設企業倒産の推移（出所：東京商工リサーチ「全国企業倒産状況」）

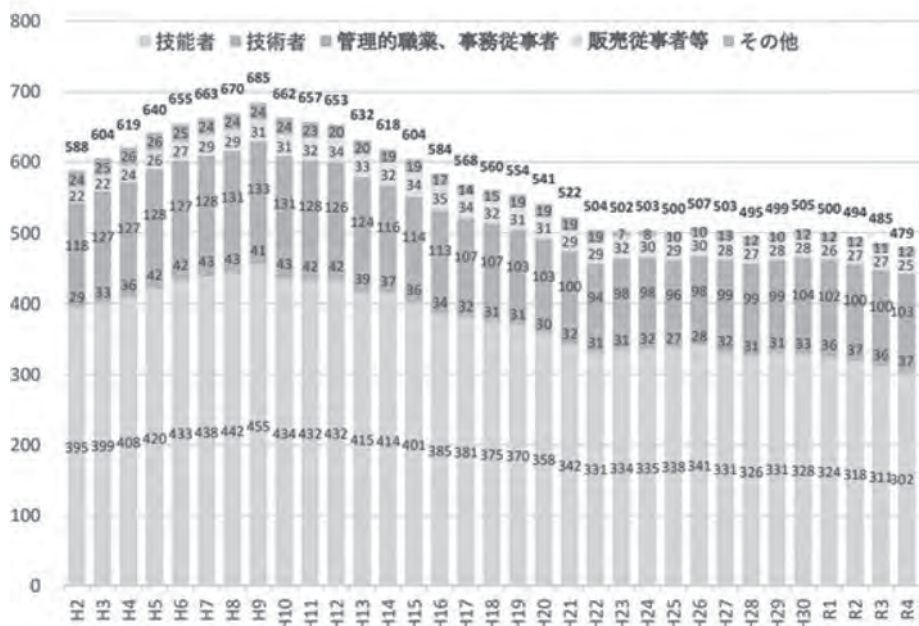
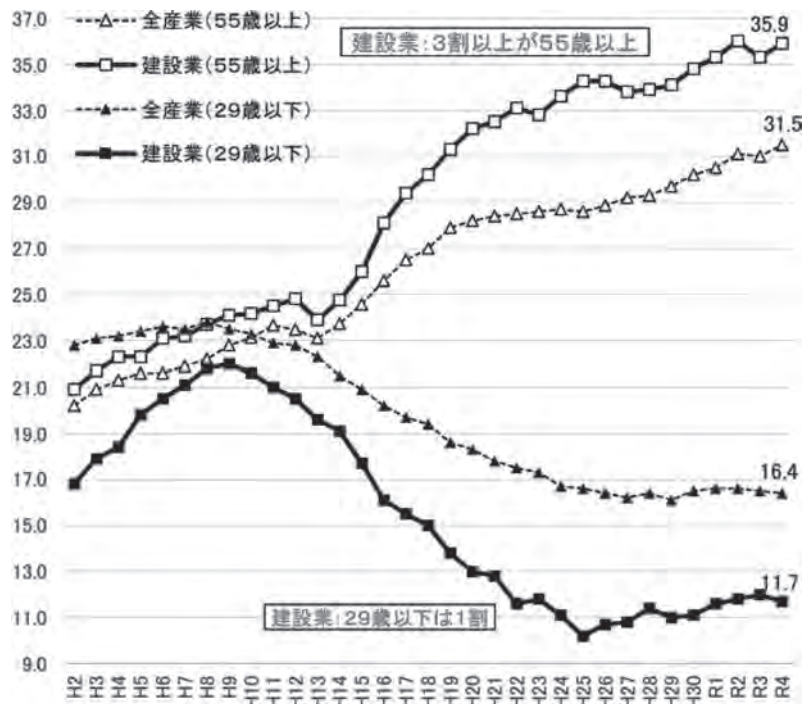


図-9 建設業就業者数の推移（出所：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出）



図一10 建設業就業者の高齢化の進行 (出所：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出)

数についても前年の311万人より9万人減少し、302万人となった(図一9参照)。

また、令和4年の建設業就業者を年齢層別にみると、55歳以上の割合は令和3年より0.4%上昇し35.9%となった。一方、29歳以下の割合は前年より0.3%減の11.7%となった。

建設業では、就業者の3人に1人以上が55歳以上の状況にあり、29歳以下の就業者は10人に約1人しかおらず、高齢化がさらに進んでいる状況にある(図一10参照)。

### 8. おわりに

現在建設業界は、担い手の不足、資機材の価格高騰、時間外労働

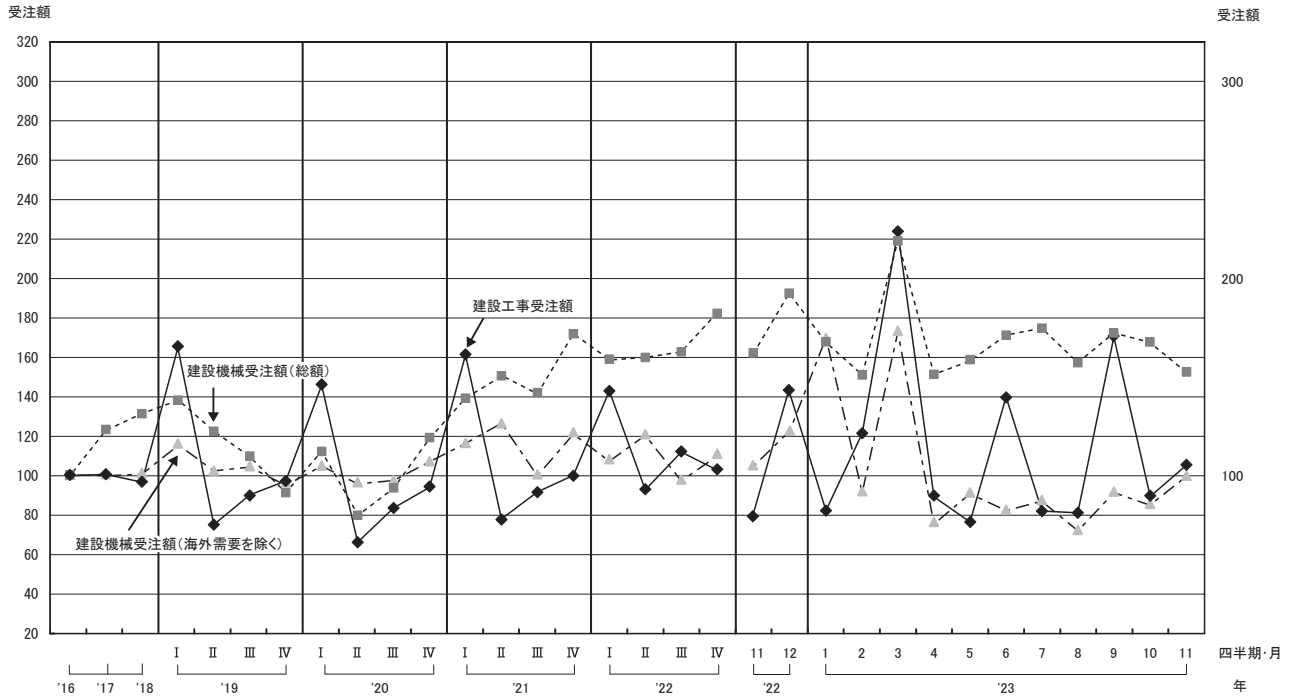
規制への対応、適正な請負契約の締結など、多くの課題を抱えている。

このような諸課題に対し、中央建設業審議会・社会資本整備審議会基本問題小委員会では、昨年9月に建設産業が抱える諸課題に関し講ずべき措置について検討し、中間とりまとめを公表した。その中で掲げられている、「請負契約の透明化による適切なりリスク分担」、「適切な労務費等の確保や賃金生き渡りの担保」、「魅力ある就労環境を実現する働き方改革と生産性向上」などは、どの課題も早急に解決していかなければ、業界を持続させていくことができない重要な課題である。国、総合工事業、専門工事業などが、それぞれにこれらの取り組みを進めていかなければならない。

(文責 清水)

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2016年平均=100)  
 建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2016年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社)

(単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官公庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非製造業							
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2022年 11月	9,636	6,849	1,908	4,941	2,121	385	282	6,736	2,900	206,833	11,819
12月	17,593	14,275	5,184	9,091	3,208	540	-430	13,048	4,544	207,841	16,317
2023年 1月	10,021	6,986	1,556	5,430	2,452	336	248	6,867	3,154	207,251	10,213
2月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	214,894	21,223
4月	10,993	8,354	2,034	6,320	2,003	528	107	7,807	3,186	215,556	9,294
5月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569
6月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201
9月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673
10月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029
11月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	22年 11月	12月	23年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
総 額	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	2,361	2,804	2,445	2,198	3,197	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221
海 外 需 要	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	1,788	2,130	1,509	1,694	2,246	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673
海外需要を除く	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	573	674	936	504	951	419	501	452	479	395	503	469	548

(注) 2016～2018年は年平均で、2019～2022年は四半期ごとの平均値で図示した。  
 2022年11月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査  
 内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査



## 行事一覽

(2023年12月1～31日)

### 機械部会



#### ■機械整備技術委員会 見学会

(株)筑豊製作所 北九州支店 見学

月 日：12月5日(火)

参加者：小林一弘委員長ほか7名

見学内容：①エンジン、建機・クレーン、産機などの機械の修理・点検について最新鋭設備を導入した施設の見学  
②(株)筑豊製作所概要説明と業務紹介  
③北九州支店の施設、設備の見学  
④質疑応答

#### ■トンネル機械技術委員会 機械設備改善WG

月 日：12月7日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：椎橋孝一郎リーダーほか11名

議 題：①メンバーより提出された機械設備改善調査票について記載内容の説明と議論 ②調査票のまとめ方について調査票の書式、調査項目一覧表について討議 ③今後の進め方について議論

#### ■トンネル機械技術委員会 積込・運搬機械調査WG

月 日：12月8日(金)(会議室, Web 併行開催)

出席者：浅沼副委員長ほか13名

議 題：①積込・運搬機械に関する技術紹介と意見交換：日立建機(株)の技術紹介、(株)ザクティの技術紹介 ②WGの運営方法に関する議論

#### ■基礎工用機械技術委員会

月 日：12月13日(水)(会議室での対面開催)

出席者：梶沢淳一委員長ほか21名

議 題：①前田建設工業(株)による技術プレゼン：「ダム形式、目的、施工(基礎工事機械を用いた施工について)」  
②各社トピックス：オリエンタル白石(株)「ニューマチックケーソン工法における施工管理システム(GeoViz)ケーソンショベル自動運転の開発紹介」  
③今後のスケジュールについて：技術プレゼン、各社トピックスの予定

#### ■コンクリート機械技術委員会

月 日：12月14日(木)(会議室, Web 並行開催)

出席者：笹谷武委員長ほか10名

議 題：①前回の議事録確認 ②技術発表：三笠産業(株)「会社紹介と電動パ

ワーユニット製品紹介」 ③来年度活動計画について議論

#### ■除雪機械技術委員会

月 日：12月19日(火)(会議室, Web 併行開催)

出席者：坂井幸尚委員長ほか22名

議 題：①国交省から除雪に関する状況報告：除雪機械オペレータ調査結果  
②自動化、情報化対応関連、他技術についての情報共有：R5年度JCMAシンポジウム発表案件「除雪機械作業装置の自動化に関する現状と今後の展望について」のプレゼン、R5年度以降の活動テーマの検討 ③その他：来年度の委員会の体制について、2024ふゆトピア・フェアの概要紹介

#### ■建築生産機械技術委員会 (ラフテレーン作業燃費分科会)

月 日：12月20日(水)(会議室, Web 併行開催)

出席者：石倉武久委員長ほか6名

議 題：①GX建設機械認定制度への対応について討議：国交省との打合せの内容の確認、認定機種追加のための取組とスケジュールについて

#### ■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：12月21日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：丸山修委員長ほか12名

議 題：①第6回WGの報告と今後の進め方について議論 ②技術講演会について：状況報告と当日までの実施事項などの確認 ③令和6年度の活動について議論：調査活動の内容、見学会候補地について

#### ■油脂技術委員会

月 日：12月26日(火)(会議室, Web 並行開催)

出席者：石川広二委員長ほか25名

議 題：①燃料エンジン油関係：カーボンニュートラル燃料の動向に関する報告 ②高粘度指数作動油関係：規格に関するアンケートの結果報告 ③規格普及促進関係：オンファイル状況の報告、JAMA ルブオイルセミナー関連の説明 ④JCMASの改正について：進捗状況の報告、ペンディング事項について ⑤その他：油脂技術委員会の運営体制と役割分担について、ホームページの更新について・令和5年度、6年度の活動について

#### ■路盤・舗装機械技術委員会・JCMAS「ロードローラ作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月 日：12月27日(水)(会議室, Web 併行開催)

出席者：柴田大地 WGリーダーほか8名  
議 題：①WGリーダー選出 ②WG名称の検討と決定 ③活動内容、スケジュールについて議論

### 標準部会



#### ■ISO/TC 127/SC 3/JWG 16-ISO 23870 「高速相互接続」規格群「認証連携」特設会合

月 日：12月6日(水)夜

出席者：米国 Deere 社の Bradley Deem 氏主催、Jessop Lueschow 氏運営で、日本から正田明平委員(JCMA事務局)1名、ほか海外から11名

場 所：Web上(ISO Zoom)

議 題：認証連携(ID連携)及びセキュリティ

#### ■ISO/TC 195/SC 2/WG 2 国内専門家会合

月 日：12月11日(月)

出席者：中川剛士委員(加藤製作所)ほか3名

場 所：Web上(ISO Zoom)

議 題：①12月12日の国際バーチャルWG会議対応協議

#### ■ISO/TC 195/SC 2/WG 2 国際バーチャルWG会議

月 日：12月12日(火)夜

出席者：和田悟知委員(豊和工業)ほか9名

場 所：Web上(CEN Zoom)

議 題：①ISO/FDIS 24147「路面清掃車-用語及び商業仕様」FDIS投票結果報告 ②路面清掃車-エネルギー効率-試験及び評価の検討 ③PWI 24149 路面清掃車-性能試験方法(次回へ延期) ④次回会合予定(1月29日バーチャル, 3月18日バーチャル)

#### ■ISO/TC 127/SC 1/WG 6-ISO 11152 「エネルギー消費試験方法」国際WG会議

月 日：12月12日(火)～14日(木)

出席者：米国 Crowell コンピナー(Caterpillar)など海外(米国・フランス・ドイツ)から対面出席5名, Web

出席4名, 日本から正田明平プロジェクトリーダー(協会事務局)ほか2名

場 所：米国ミルウォーキー機器製造業者協会 AEM

議 題：①開会(ISO行動規範確認など) ②専門家の報告(ISO 11152 従来経緯説明・予備業務として登録されたISO/PWI TS 11152-1(第1部：通則)検討・未登録のPWI TS 11152-2(ショベル系掘削機械)検討・90度旋回含む負荷サイクルの解析についての発表) ③まとめ及び結論(各国意見対

応処理、今後のWG及び特設会合予定など)

### ■ISO/TC 214/WG 1-ISO 18878「運転員の教育」改訂案文検討 国際WG会議

月日：12月13日(水) 早朝

出席者：カナダ Skyjack 社 McGregor コンピナー・米国 Moss 幹事・Bonesteel プロジェクトリーダーなど海外(オーストラリア・米国・英国・カナダなど)から12名出席、日本は出席見送り

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：①開会 (ISO 行動規範確認など) ②ISO/CD 18878 (運転員の教育) について投票結果検討 ③各国意見に対するPLの対応案を参照して論議し対処 ④本件 (ISO 18878 改訂) の今後の方針：DISに進めることとして、今後WG1でそのための改訂案意見聴取し確認

### ■ISO/TC 195/SC 1 委員会

月日：12月14日(木)

出席者：川上晃一委員長(日工)ほか13名

場所：機械振興会館会議室及びWeb上 (ISO Zoom)

議題：①SC1傘下プロジェクト進捗報告・宿題事項対応協議 ②TC195/AG1バーチャル会議(11月27日)報告・対応協議 ③令和5年度JCMAシンポジウム(11月29日・30日)開催報告

### ■ISO/TC 195/SC 1/WG 10 コンクリート用振動機 国際バーチャルWG会議

月日：12月21日(木) 夜

出席者：小倉公彦コンピナー (JCMA事務局) ほか4名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：①ISO/WD 18651 コンクリート内部振動機-用語及び商業仕様WGコンサルテーション結果・コメント審議 ②今後の予定

## 建設業部会



### ■クレーン安全情報WG

月日：12月4日(月)

出席者：猪又勝美主査ほか10名

議題：①クレーンの最新動向ヒアリング(リープヘルジャパン) ②建機工相談：移動式クレーン定期自主検査制度の更新講習テキスト改訂に伴うJCMA編集物の事故事例提供について ③事故事例発表 ④その他

### ■機電交流企画WG

月日：12月14日(木)

出席者：落合博幸主査ほか10名(内Web参加者3名)

議題：①機関誌2024.03号掲載予定「2023年度機電技術者の為の講演会」報告原稿について ②令和5年度若手現場見学会(横浜環状南線桂台T)の2024.03開催計画について ③令和5年度(2024年)第24回機電技術者意見交換会開催内容の見直し・立案について ④その他

### ■三役会

月日：12月25日(月)

参加者：宮内良和幹事長ほか4名

議題：①12/4クレーン安全情報WGの報告 ②12/14機電交流企画WGの報告 ③令和5年度合同部会について ④その他

## レンタル業部会



### ■コンプライアンス分科会

月日：12月5日(火) (Web会議併用)

出席者：飛山分科会長ほか8名

議題：①部会長・分科会長挨拶 ②「お客様の安全技術情報の集約とプラットフォーム化の検討」の進め方等について ③レンタル業としてのトラック輸送業における運賃について ④各社からの報告事項・情報交換

### ■レンタル業部会

月日：12月7日(木) (Web会議併用)

出席者：中村部会長ほか12名

議題：①部会長挨拶 ②コンプライアンス分科会活動報告 ③各社の取組事項、部会員共通の問題、課題について ④その他

## 各種委員会等



### ■機関誌編集委員会

月日：12月6日(水)

出席者：中野正則委員長ほか26名

議題：①令和6年3月号(第889号)計画の審議・検討 ②令和6年4月号(第890号)素案の審議・検討 ③令和6年5月号(第891号)編集方針の審議・検討 ④令和5年12月号～令和6年2月号(第886～888号)進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

### ■新工法調査分科会

月日：12月13日(水)

出席者：石坂仁分科会長ほか3名

議題：①新工法情報の持ち寄り検討 ②新工法紹介データまとめ ③その他

## 支部行事一覧

### 北海道支部



#### ■令和5年度北海道支部親睦会

月日：12月1日(金)

場所：センチュリーロイヤルホテル

出席者：柳屋勝彦支部長ほか67名

#### ■令和5年度第4回除雪機械技術講習会の打合せ

月日：12月19日(火)

場所：かでの2・71020会議室

出席者：巖博技術部会副部会長ほか12名

議題：①令和5年度実施結果 ②令和6年度実施計画 ③その他

### 東北支部



#### ■第2回企画部会(書面)

月日：12月4日(月)

出席者：木村信悦企画部会長ほか5名

議題：第2回支部運営委員会について：①令和5年度上半期事業報告について、②令和5年度上半期事業決算状況について、③情報提供

#### ■第1回EE東北'24実行委員会

月日：12月5日(火)

場所：仙台市TKPガーデンシティ-仙台勾当台(Web併用)

出席者：宮本健也 東北地方整備局 企画部長ほか28名

内容：①EE東北'23決算・監査報告 ②EE東北'24組織(案) ③EE東北'23出展者アンケート概要 ④EE東北'24実施方針(案) ⑤EE東北'24予算(案)

#### ■第2回支部運営委員会

月日：12月11日(月)

場所：仙台市ホテル仙台ガーデンパレス

出席者：高橋弘支部長ほか29名

議題：①令和5年度上半期事業報告について ②令和5年度上半期事業決算状況について ③情報提供

#### ■令和5年度基礎技術講習会(インフラDX)(主催：東北土木技術人材育成協議会) ⑥8回目

場所：東北技術事務所 研修棟

月日：12月12日(火)

受講者：15名

#### ■ICT・UAV(i-Construction)基礎技術講習会(主催：東北土木人材育成協議会)

⑦宮城会場

<座学(対面・Web併用)>

月 日：12月12日（火）

受講者：62名

<実習>

月 日：12月13日（水）

場 所：岩沼市 日本キャタピラー  
D-Tech Center Satellite 岩沼

受講者：20名

### ■第2回 情報化施工技術委員会 委員会

月 日：12月21日（木）

場 所：仙台市 ハーネル仙台

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会  
委員長ほか17名+ Web参加18名

議 題：①委員の紹介 ②i-Construction  
(ICT活用工事) セミナー開催報告  
③EE東北'24 サテライト会場について  
④i-Construction 施工 講習説明  
者認定制度の変更について ⑤建設  
ICT 総合研修 (i-Academy 恋地) に  
ついて ⑥委員会設立10年について  
⑦次回開催について

## 北 陸 支 部

### ■令和5年度 第2回新技術活用評価会議

月 日：12月1日（金）

場 所：北陸地方整備局 4F 災害対策本  
部長室

出席者：宮崎清隆 施工技術部長

議 題：①事後評価 (繊維製かごマット  
「FIT-CUBE」) について ②活用促進  
技術の指定 (審議) について ③令和  
5年度推奨技術候補 (碎石メッシュか  
ご「かご楽」の選定について) ④テー  
マ設定型 (技術公募) 技術比較表の公  
表について (急傾斜法面等に適用でき  
る草刈り技術)

### ■令和5年度 (秋期) 支部事務局長意見 交換会

月 日：12月7日（木）

場 所：機械振興会館

出席者：堤事務局長

議 題：①本部から議題 ②各支部から  
の議題

### ■建設インフラ DX ソリューションセミ ナー 2023

月 日：12月8日(金) 13:20~16:30

場 所：石川県地場産業振興センター  
第2研修室

主 催：福井コンピューター(株)中部営業  
所福井オフィス

共 催：(一社) 日本建設機械施工協会  
北陸支部

セミナー内容：①北陸地方整備局におけ  
るインフラ DX の取り組み ②建設

DX を目指した取り組み事例の紹介

③現場における ICT 技術の活用事例

④ FC ソリューションの紹介

### ■ ICT 活用講習会 (入門者クラス)

月 日：12月22日（金）→12/21 雪害  
対応の想定から中止

場 所：Web 会議システム (Zoom)

受講者：受講予定者 442 人

講義内容：① ICT 活用の概要 ② ICT  
活用工事の流れ ③ ICT を活用した  
測量業務等の概要 ④北陸地方整備局  
におけるインフラ DX の取り組み

## 中 部 支 部

### ■学生のための ICT 講座

名古屋工業大学

月 日：12月13日（水）

参加者：工学部社会学科環境都市分野  
3学年 55 名

### ■i-Con 出前講習会

月 日：12月15日（金）

依頼企業：徳倉建設(株)

場 所：名古屋港湾会館

参加者：徳倉建設(株)社員及び協力会社社  
員約 100 名

講 師：サイテックジャパン(株)鈴木勇二  
氏ほか 3 名

### ■令和5年度公共工事 (機械関係) の諸 課題に関する意見交換会

月 日：12月22日（金）

場 所：名古屋市ナカトウ丸の内ビル  
2F 会議室

参加者：中部地方整備局田中昌次施工企  
画課長ほか 4 名，中部支部川西光照企  
画部会長ほか 32 名

内 容：機械関係業務等の諸課題に関す  
る意見交換を実施

## 関 西 支 部

### ■近畿地方整備局との意見交換会

月 日：12月21日（木）

場 所：キャッスルホテル

参加者：松本事務局長以下 18 名

内 容：意見交換

## 四 国 支 部

### ■R5JCMA i-Construction 施工 講習説明 者更新講習・講習説明者認定試験

月 日：12月4日（月）

場 所：サン・イレブン高松 大研修室  
(高松市)

受験者：講習説明者更新講習 15 名，講  
習説明者認定試験 49 名

### ■国交省との共催事業「ICT計測技術講習会」

月 日：12月8日（金）

場 所：国土交通省四国技術事務所構内  
(高松市牟礼町)

受講者：支部会員会社等からの応募者  
18 名

内 容：①3次元計測技術 ② TLS,  
モバイル端末による起工測量 ③ PC  
による点群データ処理

### ■令和5年度 四国地方整備局と (一社) 日本建設機械施工協会四国支部との意見 交換会

月 日：12月13日（水）

場 所：四国地方整備局 (高松市)

参加者：四国地方整備局 奥田企画部長  
ほか 5 名，四国支部 機械設備メーカ  
12 社 22 名

### ■国交省との共催事業「ICT施工技術講習会」

月 日：12月15日（金）

場 所：国土交通省四国技術事務所構内  
(高松市牟礼町)

受講者：支部会員会社等からの応募者  
18 名

内 容：①3次元設計データ作成演習  
② ICT 建機による施工体験 ③ 3次  
元出来形帳票作成演習

### ■整備局機械職員との意見交換会 (機械職 伝承会)

月 日：12月19日（火）

場 所：四国地方整備局 (高松市)

参加者：四国地方整備局 機械職 34 名，  
OB 市原事務局長ほか 4 名

## 九 州 支 部

### ■令和5年度 i-Construction (ICT 施工) 技術講習会

開催場所及び参加者：

福岡会場 (R5.12.8) 68 名

内 容：①国・地方自治体の取組  
② ICT 施工の実践：インフラ DX, 3  
次元計測, ICT 建設機械, 3次元デー  
タの効果的活用, 施工計画・実地検査

### ■企画委員会

月 日：12月19日（火）

場 所：宝ビル 11F 1106 会議室

出席者：8 名

議 題：①令和5年度 JCMA 九州支部  
の主要行事予定について ② JCMA  
認定講師試験と更新講習 実施結果  
③会員向け講習会等の取組メニュー検  
討 意見交換 ④建設行政講演会につ  
いて

## 編集後記

昨年は、世界的な温暖化の影響が続くなか、日本においても近年まれにみる夏台風の本州接近と異常気象による豪雨災害が多い年でした。

8月の台風7号では東海道新幹線が台風によって計画運休したにも係らず、その後の線状降水帯による静岡局豪雨などで新幹線が運転見合わせとなり、お盆の交通網が大混乱となりました。また、台風13号では千葉県を中心に中小河川氾濫による家屋の床上浸水が多数発生しました。

そして元日早々の「令和6年能登半島地震」の発生です。最大深度7による家屋倒壊や火災、津波に加え道路・電気・水道などのライフラインが遮断され、大震災に匹敵する激甚災害でした。犠牲となられた方々に、心よりお悔み申し上げるとともに、被災された皆様には心よりお見舞い申し上げます。

2月号では、今後ますます懸念される地震や台風、洪水などの大災害に備えるため「大規模災害、防災、災害復旧、復興」をテーマに、10年余を経過した東日本大震災を踏まえ、防災関連技術の動向を報告しました。

巻頭言では、防災科研の理事長から、「建設機械と防災」と題して大災害と建設機械のかかわりと、今後発生するであろう大災害への備えについて、時代の流れに沿った今後対処すべき方向性を提言頂きました。

行政情報は、関東大震災から100年を迎え、首都直下地震に対する関東地方整備局の取り組みと、過去に学び次世代へつなぐ防災推進国民大会2023の開催報告を頂きました。

特集報文では、免震や耐震、耐火などの新技術や新素材の開発状況、災害対応のためのモニタリングシステム、令和3年の熱海土石流災害の復興状況や東海道新幹線の駅ホーム上屋の耐震対策、地震で被災した東北新幹線高架橋橋桁の早期復旧など様々な分野から数多くの報告を頂きました。

交流のひろばでは、能登半島地震で被災された皆様が、今まさに直面している課題の一つである災害廃棄物の迅速な災害復興に向けた取り組みを紹介頂きました。

最後になりますが、ご多忙の中、執筆頂いた皆様に深くお礼申し上げます。本号が今後も発生するであろう大災害への備えについて今一度考えるきっかけになれば幸いです。

(副島・木村)

## 機関誌編集委員会

### 編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

### 編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

### 編集委員

渡邊 賢一	国土交通省
槻瀬 誠	農林水産省
木村 桂一	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
宇野 昌利	清水建設(株)
加藤 友希	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

### 事務局

(一社)日本建設機械施工協会

### 3月号「建築特集」予告

・ロボットフレンドリーな環境の実現に向けた取組 ・「2050年カーボンニュートラル」の実現に向けて ・木材で耐火被覆した鋼管柱の耐火性能 ・高所作業車キーレスシステムの開発 ・コンクリート床仕上げ機械「防音カバー付き電動ハンドトロウエル」の開発 ・展示取蔵環境への包括的なアンモニア低減対策 ・建築BIMによる鉄筋の自動配筋・組立と自動配筋検査 ・鋼製建具工事におけるBIM活用 ・大風量かつ吹出し口の結露抑制が可能な空調用誘引ユニット ・国内最高! 162mのビルを新工法で解体 ・マスクットH工法を放射線施設の解体工事に適用拡大 ・実建物のホールライフサイクルアセスメントの検討と環境製品宣言 (EPD) の取得

### 【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。  
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料 (12冊) 10,032円 (税・送料込)

## 建設機械施工

第76巻第2号 (2024年2月号) (通巻888号)

Vol.76 No.2 February 2024

2024 (令和6) 年2月20日印刷

2024 (令和6) 年2月25日発行 (毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫


印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話 (0545) 35-0212
北海道支	部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話 (022) 222-3915
北陸支	部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10	電話 (052) 962-2394
関西支	部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30	電話 (092) 436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

# FA機器の最適無線化提案

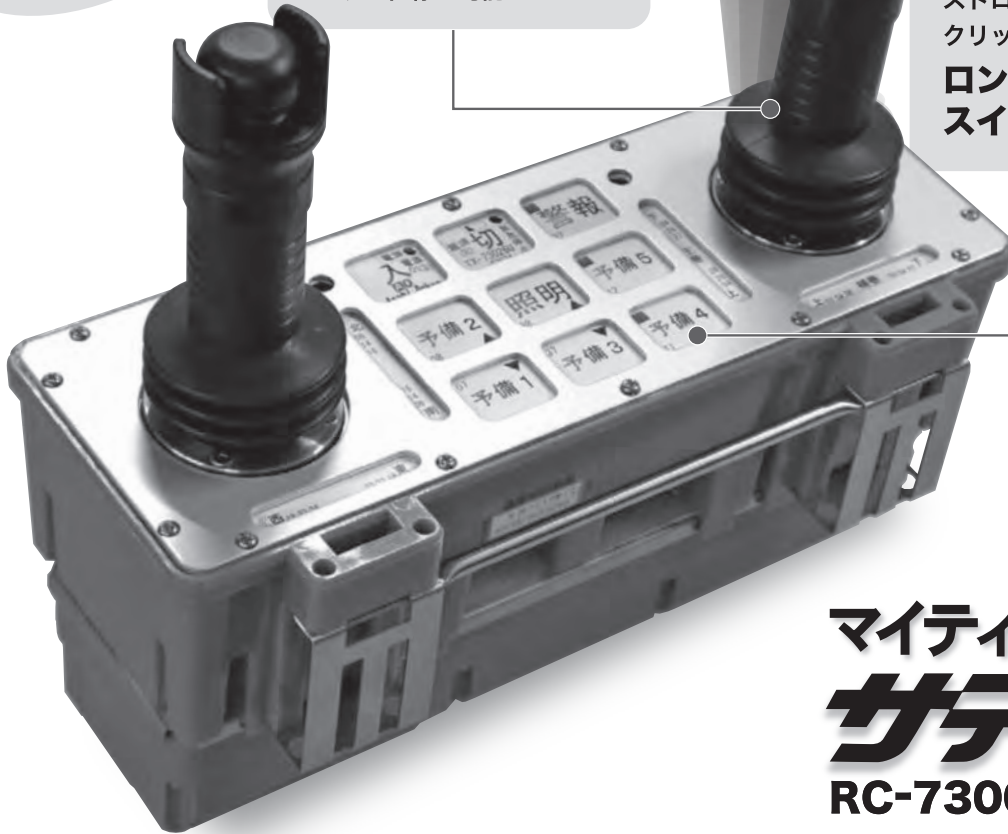
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他  
産業機械用無線操縦装置

**New!**

自社開発した  
**3ノッチ式  
ジョイスティック**  
中立位置に自動復帰  
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、  
クリックがハッキリ!  
**ロングストローク  
スイッチ**を標準採用



**マイティ** 429MHz帯・1.2GHz帯  
特定小電力モデル対応  
**サテラ**  
**RC-73000U/G** シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《TC-1000808S》

**緊急停止  
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯  
特定小電力モデル対応

フッシュロック、  
ターンリセット型  
キノコスイッチ



クレードルタイプ  
充電台対応

**2段押3組  
標準型**

- ・インバーター制御の  
クレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリの  
ロングストローク  
スイッチ

**429MHz  
1216MHzが  
同価格!!**



- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



**朝日音響株式会社**

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411  
<http://www.asahionkyo.co.jp/>



無線工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索

## 精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



### 発電機

図書館内並の低騒音を実現!  
静音発電機マーリエ



50Hz-7m  
43dB

DCA-25MZ

### 溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御  
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A  
(炭酸ガス/カウジング/手溶接)

交流電源  
三相 25 kVA

DCW-500LSE

### コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵  
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D



●技術で明日を築く

本社：〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5  
TEL:03(6861)1122 FAX:03(6861)1182  
ホームページ：http://www.denyo.co.jp/

札幌営業所 011(862)1221 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131  
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350  
東北営業所第2課 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301  
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700  
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231

## 杭打工事用

# パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、  
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け  
パイルキーパー

### 仕様

杭径.....最大 φ2500mm  
杭重量.....最大 90ton  
開閉.....油圧駆動  
前後スライド範囲.....±900mm 油圧駆動  
左右スライド範囲.....±1000mm 油圧駆動

### 実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、  
ダム湖再生工事、導枠治具、リーダー付



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



## 吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル TEL:03-3634-5651  
URL : [www.yoshinaga.co.jp](http://www.yoshinaga.co.jp)

# 建設機械施工 広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

### ■職業別購読者

建設機械施工 / 建設機械メーカー / 商社 / 官公庁・学校 / サービス会社 / 研究機関 / 電力・機械 等

### ■掲載広告種目

穿孔機械 / 運搬機械 / 工事用機械 / クレーン / 締固め機械 / 舗装機械 / 切削機 / 原動機 / 空気圧縮機 / 積込機械 / 骨材機械 / 計測機 / コンクリート機械 等

広告掲載・広告原稿デザイン — お問い合わせ・お申し込み



広告営業部：田中 [san-mich@zam.att.ne.jp](mailto:san-mich@zam.att.ne.jp)

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、  
資料の請求はメール、FAXでお送りください。

※カタログ／資料はメーカーから直送いたします。  
※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お名前:	所属:
所属:	
会社名(校名):	
資料送付先:	
電話:	FAX:
E-mail:	

広告掲載 メーカー名	製品名

FAX 送信先 サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX 03-3664-0138

# 遠隔始動排水システム

人に依存したポンプ設備の運用管理から、IoTを活用した遠隔一元管理へ

省人化による  
人手不足解消！

遠隔操作で  
安全確保！

IoT活用による  
遠隔一元管理と  
リアルタイム対応！

近年の  
水害対策

集中豪雨や台風に備えた浸水対策、BCP 対策には仮設ポンプ設備が有効とされ採用される機会が増えています。しかし、まだまだ課題も多くあるのが現状です。

仮設ポンプ  
設備の課題

- ・ 人手不足による現場対応の遅れ
- ・ 豪雨のたびに現地へ急行
- ・ 水位が上昇した危険な現場での作業
- ・ 点在する現場の状況把握

スマホでかんたん遠隔操作！水害対策の現場の課題を解決！

詳しくは動画をご覧ください！



遠隔始動排水のしくみ

**STEP 1** フロートにより水位上昇を検知  
豪雨などによる河川、水路の水位上昇をフロートが検知します。

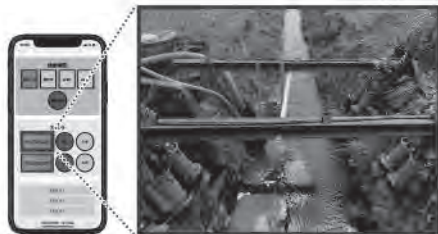
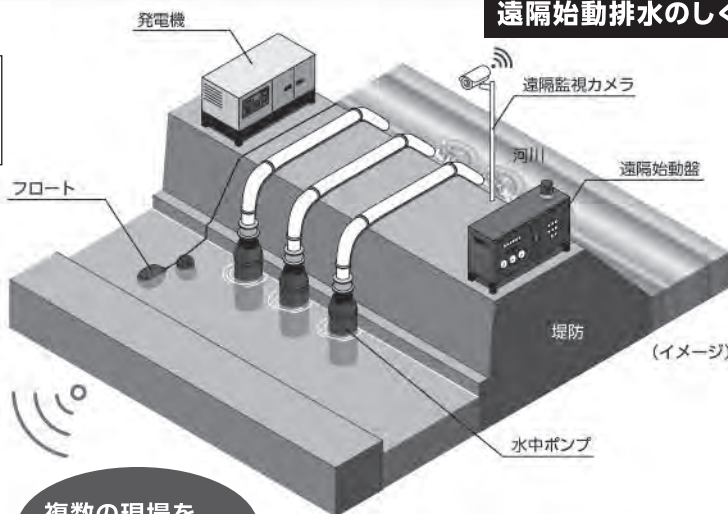
**STEP 2** 管理者にメールで通知  
水位上昇を検知すると、管理者にメールで通知され、現場の状況確認を促します。

**STEP 3** PC・スマホで現場の状況確認  
現場に設置されている遠隔監視カメラの映像や水位状況を、危険な現場に向かず安全に確認できます。

複数の現場を  
スマホ1台で運用！

**STEP 4** 発電機を遠隔始動  
排水が必要な場合は、その場で発電機を始動でき、水位上昇にリアルタイムで対応できます。

**STEP 5** ポンプが自動で排水開始  
発電機を始動させると、自動的にポンプが排水を開始。水位が下がるとポンプと発電機が自動で停止します。



株式会社 鶴見製作所

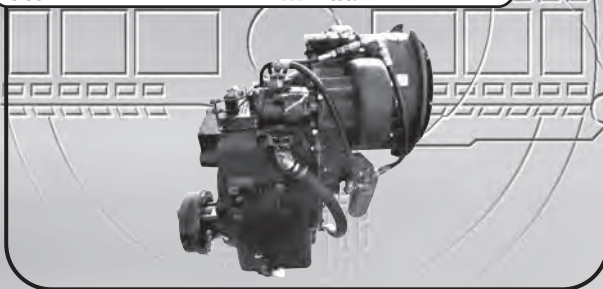
大阪本店：〒538-8585 大阪市鶴見区鶴見4-16-40 TEL.(06)6911-2351 FAX.(06)6911-1800  
東京本社：〒110-0016 東京都台東区台東1-33-8 TEL.(03)3833-9765 FAX.(03)3835-8429

北海道支店：TEL.(011)787-8385 東京支店：TEL.(03)3833-0331 北陸支店：TEL.(076)268-2761 近畿支店：TEL.(06)6911-2311 四国支店：TEL.(087)815-3535  
東北支店：TEL.(022)284-4107 北関東支店：TEL.(028)613-1520 中部支店：TEL.(052)361-3000 中国支店：TEL.(082)923-5171 九州支店：TEL.(092)452-5001



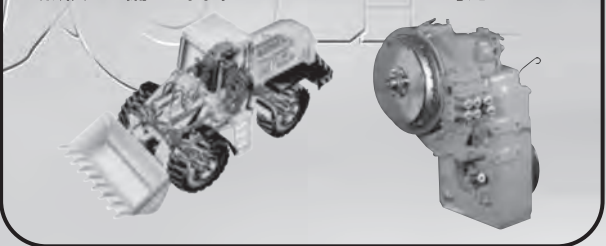
あらゆる建設機械／シールドマシン・・・  
**油圧機器の整備・再生**

各種トランスミッション整備で相談に応じます。



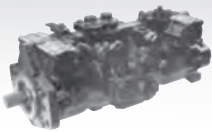
建設機械用ZFトランスミッション

点検・整備は、日本ではマルマのみが対応

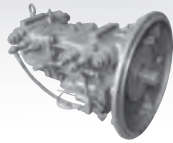


建設機械のあらゆる油圧機器

斜板式ダブルポンプ



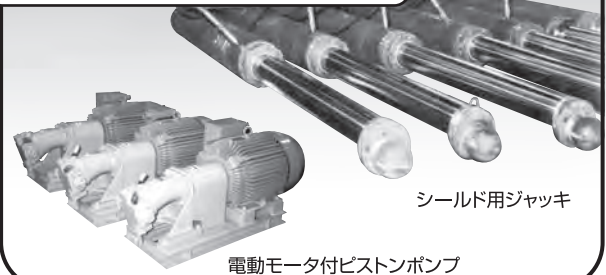
斜板式ピストンポンプ



斜軸式ピストンモータ



シールドマシン用油圧機器



シールド用ジャッキ

電動モータ付ピストンポンプ

**建機と共に半世紀以上。確かな「信頼」をお届けします！**

整備・再生された各Ass'yは、自社独自開発の多機能油圧機器試験機により性能を確認。各テストのデータはデータベースとして保存され、出荷後、マッチング調整や、搬送されてきた同等品の確認テストに活用します。この万全を期した体制がマルマの高い信頼性の由縁です。



MH-R220は従来の油圧ドライブ型油圧機器試験機に比べ、インバータ制御電動モーター駆動、及びエネルギー回生回路の採用により大幅な消費電力量の削減を実現しました。大型油圧ポンプの試験も可能です。



**マルマテクニカ株式会社**

本社・相模原事業所 営業部 整備油機課

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台6-2-1

TEL042 (751) 3809 FAX042 (756) 4389

E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京工場 〒156-0054

E-mail:tokyo@maruma.co.jp

名古屋事業所 〒485-0037

E-mail:n-service@maruma.co.jp

東京都世田谷区桜丘1-2-22

TEL03 (3429) 2141 FAX03 (3420) 3336

愛知県小牧市小針2-18

TEL0568 (77) 3311 FAX0568 (77) 3719

URL <http://www.maruma.co.jp/>

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

**バイプロコンパクター**

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

**タンピングランマー**

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

**三笠産業株式会社**

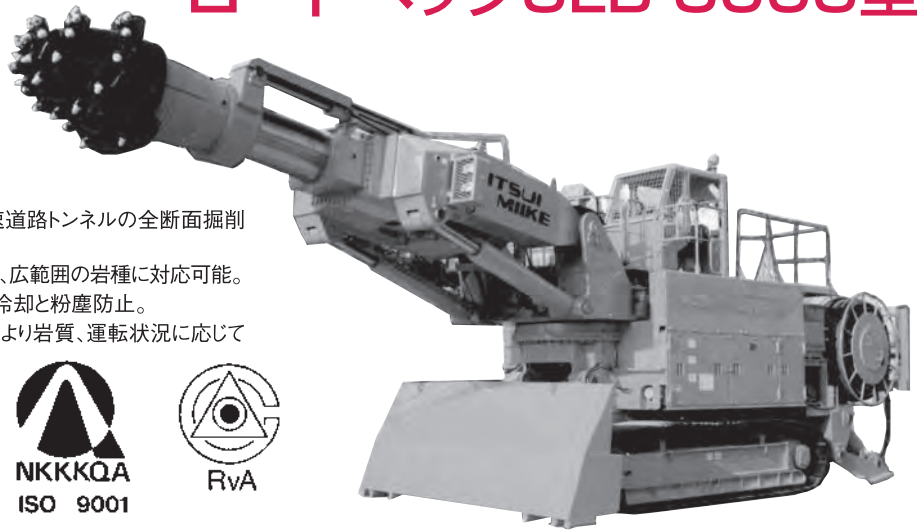
MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL:06-6745-9631	北関東営業所 TEL:0276-74-6452	中国営業所 TEL:082-875-8561	沖縄出張所 TEL:080-1013-9328
札幌営業所 TEL:011-892-6920	長野出張所 TEL:080-1013-9542	四国出張所 TEL:087-868-5111	
仙台営業所 TEL:022-238-1521	中部営業所 TEL:052-504-3434	九州営業所 TEL:092-431-5523	
新潟出張所 TEL:090-4066-0661	金沢出張所 TEL:080-1013-9538	南九州出張所 TEL:080-1013-9547	

# 安全・高能率な掘削を実現!

## 全断面对応中硬岩用トンネル掘進機 ロードヘッダSLB-300S型



### 特長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店 / 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館  
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : [sanki@mitsumiike.co.jp](mailto:sanki@mitsumiike.co.jp)

## 建設機械用 無線操作装置 **ダイワテレコン**



ICT施工や自動制御に対応可能

### ダイワテレコン872

- 最大72点の操作点数を持ち、比例制御にも対応いたします。
- 指令機操作パネルはレイアウトフリーで用途に合わせた実装部品が選択可能。
- 特定省電力無線429MHz帯域および1200MHz帯域選択可能。
- 外部接続用ポート(オプション仕様)より、LAN通信制御が可能。

### 取付改造実績

油圧ショベル, ブルドーザ, 振動ローラ  
クローラダンプ, 鑿岩機, その他特殊専用機など

無線遠隔装置だけでは終わらない  
弊社では制作から取付改造工事までを完全サポート  
大型機対応屋内工場完備(100tクラスまで対応)



ハンディータイプ  
使いやすさを極めた高機能・高性能  
**ダイワテレコン810**

用途  
インバータ制御機器  
エンジン制御  
油空圧比例制御

**DAIWA TELECON**  
大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番  
TEL : 0569-84-8582 (直通) FAX : 0569-84-8857  
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>  
e-mail [mekatoro@daiwakiko.co.jp](mailto:mekatoro@daiwakiko.co.jp)

未来をと  
貴方と  
創りたい

**SITECH**



**SITECH**

**Trimble**  
Authorized Dealer

**SITECH-JAPAN.COM**

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com  
東京都大田区南蒲田2-16-2テクノポート大樹生命ビル  
TEL:03-5710-2594 FAX:03-5710-2731

雑誌 03435-2



4910034350247  
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)