

JCMA 報告

平成 27 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績 (その 2)



優秀賞



災害廃棄物処理における「造粒再生碎石製造技術」の開発と実用化

清水建設(株), 恵和興業(株)

I. 業績の概要

東日本大震災における地震と津波により発生した膨大な量の災害廃棄物や津波堆積物は、被災地の復旧・復興のために早期の除去が求められていた。これらは、地域の復旧・復興に対して大きな阻害要因となっていた。また、被災自治体では、最終処分場の容量が逼迫し、大量の災害廃棄物を受け入れられる状況ではなかった。

その解決方法として、従来は埋め立て処分対象とされていた大量の焼却主灰、洗浄残渣、ガラス・カワラ・陶器片・石等の不燃物を造粒骨材として再資源化し、コンクリート塊を破碎した再生碎石と混合して、新たな造粒再生碎石を製造する技術を初めて開発・実用化した。そして、本技術を、宮城県より委託された災害廃棄物処理業務気仙沼ブロック（南三陸処理区）に適用し有効性を確認した。

灰を含む多原料を組み合わせた造粒は初めての技術であり、多くの要素実験を通して配合の選定・ミキサーの選定・攪拌方法の開発を行った。そして、製造された造粒再生碎石は、宮城県の公共工事資材の品質基準と、岩手県の復興資材の品質基準を満足するとともに、環境省土壤汚染対策法にもとづく特定有害物質の溶出量検査・含有量検査においても基準を満足する高品質なものであり、道路の路盤材等へ広く活用されている。

II. 業績の詳細な技術的説明

1. 造粒の概念

「造粒」は、粉体や粉体を溶かした溶液を原料として、「粒をつくる」技術である。「造粒」の目的は、製品粉体の取扱性や機能性を改善し、付加価値を向上させることにあり、転動、攪拌などの作用で運動している湿潤粉体の凝集現象を利用して、顆粒、ペレット状の造粒物に成長させるものである。

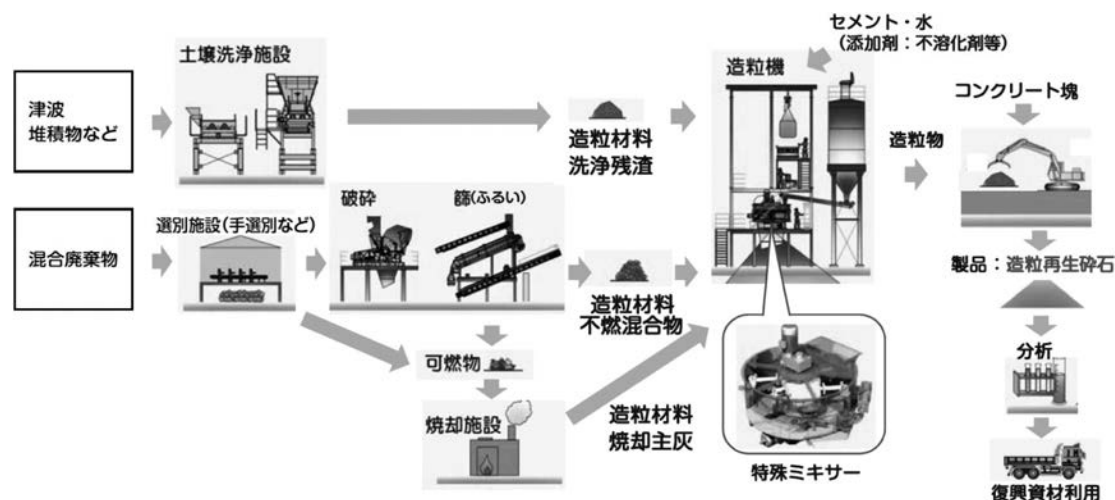
2. 造粒再生碎石製造手順

選別施設により選別されたガラス・カワラ・石等の不燃物は、造粒前処理施設に運ばれ、破碎機で粉碎し風力選別、比重差選別、伸縮スクリーン等により不純物をより高い精度で除去し、粒径 6 mm 以下の造粒原料とする。この原料に、焼却施設で発生した焼却主灰、土壌洗浄設備で発生した残渣、セメント、不溶化剤を混合し造粒物を製造する。さらに造粒物と RC 碎石を混合し復興資材（造粒碎石）として製造する。図—1 に造粒再生碎石製造フローを示す。

(1) 造粒前処理

1) 不燃物破碎処理

選別施設により選別されたガラス・カワラ・石等の不燃物は、破碎機を数回通過させ 6 mm 以下の粒子になるまで粉碎される。原料製造ラインには、振動篩、風力選別機、



図—1 造粒再生碎石製造フロー

比重差選別機, 伸縮式フルイ (ゴム篩) 等各種機械設備 (写真—1～5) を配置し徹底的に不純物を取り除き高品質な原料製造を行った。出来上がった不燃物原料を写真—6 に示す。



写真—1 振動篩 (40mm フルイ分け)



写真—2 破碎機



写真—3 風力選別機



写真—4 比重差選別機



写真—5 伸縮式フルイ (ゴム篩)



写真—6 不燃物原料 (6mm 以下)

2) 焼却主灰破碎処理

焼却施設で発生する焼却主灰は、粒径、鉛含有量別にフレコン詰めされる。焼却主灰破碎・選別施設にて、10 mm 以下に粉碎され、金属類等異物も除去される。その際に、鉛含有量にしたがい調整配合される。写真—7～9 に、破碎状況その他の写真を示す。

3) 不燃物・主灰混合処理

鉛含有量の調整された焼却主灰は、破碎・粉碎処理された不燃物と不溶化剤を添加して強制混合され造粒原料ができる。固化処理で混合される洗浄残渣の鉛含有量を考慮し、



写真—7 焼却主灰



写真—8 焼却主灰破碎状況



写真—9 振動篩 (10mm フルイ分け)



写真—10 焼却灰混合施設



写真—11 混合機二軸式



写真—12 混合原料排出

それぞれの配合比を調整する。写真—10～12に、混合機、混合作業の写真を示す。

(2) 造粒固化処理

洗浄残渣と、不燃物と焼却主灰からなる造粒原料は、それぞれ別ラインで造粒固化処理装置に送られる。造粒固化処理装置は、計量器と特殊ミキサーで構成されている。造粒原料、セメント、水、不溶化剤を適切なタイミングで投入・高速攪拌・回転数制御を行うことで造粒骨材が製造される。原材料の配合は、それぞれの排出量及び鉛含有量に合わせて適宜変更し、造粒物として定めた品質管理基準を満たすよう調整する。今回採用した造粒機は、スイング式ブレードで材料を圧縮・掻き上げ動作を繰り返す、材料と添加剤を完全に練り込み高速回転により材料を攪拌、均一に混練し造粒する機種である。造粒前処理施設および造粒固化処理施設全景写真を写真—13、14に、造粒機を写真—15に示す。



写真—13 造粒前処理施設全景



写真—14 造粒固化処理施設全景



写真—15 造粒機特殊ミキサー

(3) 造粒骨材品質管理

各処理過程で発生する原料については現場に設けた室内試験室で迅速に有害物を分析した。できあがった造粒骨材(写真—16)は、定期的に外部機関で有害物質溶出量・含有量、放射能濃度、土質試験を行い、品質に問題がないことを確認してから造粒再生碎石製造に使用される(写真—17)。

2-1 造粒再生碎石製造

災害廃棄物を用いた造粒再生碎石は、洗浄残渣、焼却主灰、不燃混合物からなる造粒骨材と、40 mm 以下に破碎



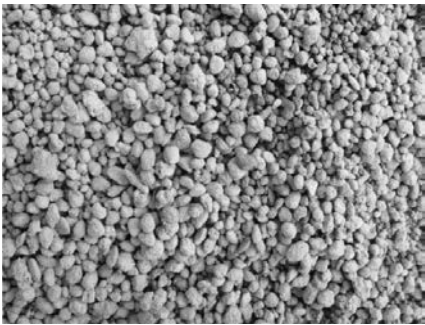
写真—16 造粒骨材排出



写真— 17 現場内試験室品質管理状況



写真— 19 造粒再生碎石



写真— 18 造粒骨材

されたコンクリート塊（主に建築物解体で発生したもの）とを、重機を使用して容積比 1 対 1 の割合で混合・粒度調整を行い製造する。造粒骨材と製造された造粒再生碎石をそれぞれ写真— 18, 19 に示す。

2-2 品質管理

造粒再生碎石は、日々の品質管理に基づき各種試験を実

施している。造粒再生碎石の品質規格は、宮城県の公共工事資材と、岩手県の復興資材に関する基準をクリアするとともに、環境省土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の溶出量検査、含有量検査においても基準を満足している。また、放射性物質の量は 1 kg あたり 100 ベクレル以下の安全な製品であることを確認している。

(1) 材料試験規格値

「宮城県共通仕様書（土木工事編Ⅰ）」における下層路盤、および、「岩手県復興資材活用マニュアル」における再生碎石（RC-40、RB-40 相当）の品質管理項目および品質管理基準を表— 1 に示す。

(2) 有害物質規制値

土壌汚染対策法に基づく有害物質規制値は以下のとおりである。

表— 1 品質管理基準

分類	項目		管理基準	頻度	根拠
有害物質	土壌汚染対策法 26 項目溶出量		土壌環境基準	1 回 /900 m ³	「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について（平成 24 年 5 月 25 日環境省通知）」の運用に関する県の考え方について（宮城県）
	土壌汚染対策法 9 項目含有量				
	放射性物質濃度		100 Bq/kg 以下		
	ダイオキシン類溶出量		環境基準		
	ダイオキシン類含有量				
土質試験	粒度	ふるい目	通過質量百分率(%)	1 回 / 月	迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方（国土交通省）
		53	100		
		37.5	95 ～ 100		
		31.5	－		
		26.5	－		
		19	50 ～ 80		
		13.2	－		
		4.75	15 ～ 40		
		2.36	5 ～ 25		
		0.425	－		
		0.075	－		
	すりへり減量（％）		40 以下		
	塑性指数（Ip）		6 以下		
	95%修正 CBR（％）		40 以上		
	強熱減量		－		

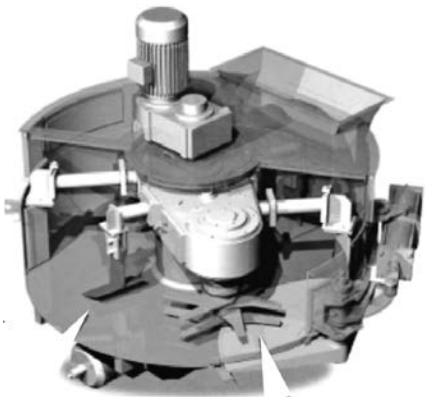
- ・有害物質溶出量
評価基準：土壤汚染対策法 特定有害物質 26 項目
管理基準：土壤環境基準
分析方法：環境省告示第 18 号による
- ・有害物質含有量
評価基準：土壤汚染対策法 第二種特定有害物質 9 項目
管理基準：土壤環境基準
分析方法：環境省告示第 19 号による
- (3) 放射性物質規制値
「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生材の活用について（通知）」における放射性物質濃度の評価基準は表－2 のとおりである。
- ・放射性物質濃度
評価基準：放射性セシウム（Cs134 + Cs137）クリアランスレベル
測定方法：ゲルマニウム半導体検出器による測定

3. 技術課題と解決方法

開発にあたり、事前に想定される課題を設定し、実スケールの要素実験を行い課題を解決した。

3-1 特殊ミキサーの選定

- (1) 課題：造粒物品質の安定性確保
セメントおよび多品種材料による造粒のためにミキサーに求められる要件には、細かい解砕性能、均一な練り込み性能、造粒および整粒性能がある。これらの性能を確認するために、申請者らは、攪拌型ミキサーとしてチョッパー型とローター型の 2 種類を用いて造粒試験を実施した。要素実験においては、それぞれの原料の配合や水分量、特殊ミキサーの回転数・攪拌時間を制御することでミキサーの性能を検証した。本技術においては、安定した性能を示したローター型ミキサー（図－2）を採用した。写真－20 に解砕・混練状況、写真－21 に造粒・整粒状況を示す。
- (2) 課題：ミキサー部品の耐摩耗対策
各部品の摩耗は回転数が高くなるにつれて急激に摩耗量が増えることが想定された。摩耗対策として、ブレードにタングステンカーバイトをコーティングし耐久性を向上させた。
- (3) 課題：計量誤差による品質安定性確保
一般的に計量はミキサー上部に設置された計量器により



図－2 造粒機特殊ミキサー



写真－20 解砕・混練状況



写真－21 造粒・整粒状況

材料がバッチ計量されるが、材料の計量器への付着により計量誤差が生じる。これらの誤差は造粒の品質に大きく影響することが判明したために、精度よく計量・投入する方法が求められた。申請者らは、ミキサー下部にロードセルを取り付け、各々の材料投入ごとの重量を正確に計量する累計計量方式を採用した。

表－2 放射性物質濃度の評価基準

100 Bq/kg（クリアランスレベル）以下	利用制限なく使用できることとする。
100 Bq/kg超 3,000 Bq/kg 以下	利用者や周辺居住者の被ばく線量が 0.01 mSv/ 年（10 μ Sv/ 年）以下となるよう覆土等により使用環境を整えることとする。
3,000 Bq/kg超 8,000 Bq/kg 以下	管理型最終処分場で処分することとする。
8,000 Bq/kg 超	指定廃棄物として国が処理・処分することとする。

（環境省 環廃対発第 120525001 号、環廃産発第 120525001 号）

表―3 造粒物製造配合例

不燃分6mm以下		配合量	配合比率
含有量最大値	0 mg/kg	380	35.0%
洗浄残渣		配合量	配合比率
含有量最大値	300 mg/kg	300	27.6%
セメント		配合量	配合比率
含有量最大値	0 mg/kg	135	12.4%
焼却灰		配合量	配合比率
含有量管理基準	300 mg/kg	220	20.3%
水		配合量	配合比率
含有量最大値	0 mg/kg	10	0.9%
不溶化剤		配合量	配合比率
	0 mg/kg	40	3.7%
		1085	100.0%

造粒物

鉛含有量 144 mg/kg

土壌環境基準値：150mg/kg以下

RC40以下と混合し『造粒碎石』製品化

造粒碎石

3-2 最適配合の選定

(1) 課題：造粒物の鉛含有率の適正化

焼却主灰および洗浄残渣には鉛が含まれている。配合の選定においては、造粒物製造後の鉛含有量が土壌環境基準値である 150 mg/kg 以下となるように、多くの配合試験を実施した。そして、洗浄残渣と焼却主灰各々の鉛含有量の組み合わせによる配合例（表―3）を設定した。

(2) 課題：造粒物の性状適正化

前項（1）で選定した配合例（案）において製造した造粒物の性状は、粒の大きさ、硬さ、含水量が一定基準を満たす必要がある。これは原料配合と水分量、および、ミキシング制御に左右される。試験練りから選定された運転設定例を表―4 に示す。

Ⅲ. 技術的効果

本技術は、災害廃棄物処理業務気仙沼ブロック（南三陸処理区）に適合しその効果を確認した。

(1) 効果：最終処分場搬入量の大幅な低減

本技術により、南三陸処理区では最終処分場搬入量を従来技術と比較すると 159 千 ton から 16 千 ton に大幅に低減できた。その結果、搬入量は 90% 削減でき、最終処分場の負荷を大幅に低減した。

(2) 効果：高品質なりサイクル資材の製造

造粒再生碎石の品質は、宮城県の公共工事資材の品質基準と、岩手県の復興資材の品質基準を満足するとともに、



写真―22 造粒再生碎石搬入状況



写真―23 駐車場路盤整備状況

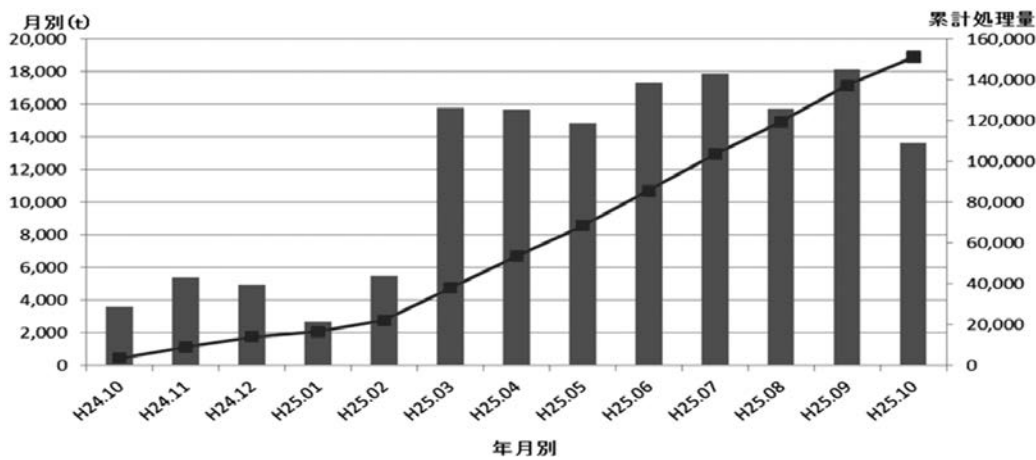
表―4 特殊ミキサー運転設定例

工 程		時 間	投入量
原料投入 解砕混合	① 洗浄残渣投入	20 秒	540 kg
	② 解砕	10 秒	－
	③ 不燃物（投入）	10 秒	360 kg
	④ 解砕	20 秒	－
固化材・不溶化剤 添加混合	⑤ 硫酸鉄添加	10 秒	10 kg（添加率：1.1％）
	⑥ マグネシウム添加	10 秒	25 kg（添加率：2.8％）
	⑦ セメント添加	15 秒	135 kg（添加率：15％）
	⑧ 混合	10 秒	－
	⑨ 水（ポリ鉄）添加	05 秒	10 kg（添加率：2.5％）
	⑩ 混練	30 秒	－
造粒物製造	⑪ 造粒	40 秒	－
	⑫ 排出	60 秒	－

合計サイクルタイム： 240 秒

15 バッチ / 時間

表一 5 造粒再生碎石製造量推移グラフ



環境省土壌汚染対策法にもとづく特定有害物質の溶出量検査・含有量検査においても基準を満足している。製造された造粒再生碎石は、南三陸町の復興事業において駐車場や工事用道路の路盤材として活用されている。写真一 22, 23 に造粒再生碎石の活用状況を示す。

(3) 効果：高い製造能力

造粒再生碎石の最終製造量累計は、15.1 万 ton に達した。そのうち造粒骨材製造量は 61.3 千 ton を数える。表一 5 に造粒再生碎石製造量推移グラフを示す。

災害廃棄物処理が順調に稼働を始めて造粒に必要な原料が貯蔵できてからは、造粒骨材製造は二交代制で取り組んだ。過去に例のない製造量であったが、造粒前処理および固化処理工程を含め、大きな機械設備のトラブル、および製品品質に関わるトラブルは発生せず、安定した製造能力を発揮した。

Ⅳ. 施工実績 (1 件)

業 務 名：災害廃棄物処理業務気仙沼ブロック（南三陸処理区）

委 託 者：宮城県
受 託 者：清水・フジタ・鴻池・東亜・青木あすなろ・
 錢高・浅野特定業務共同企業体
業務場所：宮城県本吉郡南三陸町
工 期：平成 24 年 3 月 6 日～平成 26 年 3 月 25 日

Ⅴ. 波及効果

本技術は災害廃棄物処理において、最終処分場不足や建設資材不足の解消に大きく貢献できるものである。ここで開発・実用化された技術は、建設廃棄物を含め、今後の処理業務においても展開可能である。またリサイクルされた高品質な資材は、町の復興事業において積極的に活用されている。

大友 信悦
清水建設(株)
勅使河原 和則
恵和興業(株)

お断り
この JCMA 報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。

地域貢献賞

PC 床版架設機による PC 床版架設

(株)野田自動車工業所（野田クレーン）

業績の概要

現橋の早川橋は、一般県道栗倉飯富線が一級河川である早川を渡河する3径間単純ワーレントラス桁橋であり昭和9年に架設された。80年が経過、老朽化し架替えを必要としていた。発注者は山梨県。当社はPC床版の施工等を担当した。

発注者：山梨県 峡南建設事務所

工事名：(一) 栗倉飯富線早川橋床版工事

受注者：近藤工業(株)

施工場所：山梨県南巨摩郡身延町栗倉

架設位置一帯は河川の狭窄部で且つ河床変動が激しい場所であることから河川内に橋脚を設けない単径間のバスケットハンドル型ニールセンローゼ橋（橋長143.6m、支間長141.0m、幅員8.2m）となった。早期供用を目指す上で床版は工場生産が可能なプレキャストPC床版施工が最適であるが、橋梁上部が塞がった形となるニールセンローゼとの相性は上空からの架設が必要なPC床版工法は相反する施工方法であった。

今回採用した「PC床版架設機」（特許登録済、写真—1



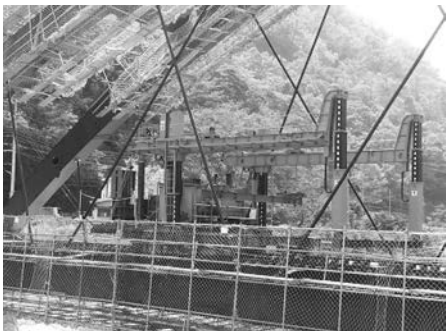
写真—3 施工中の PC 床版架設機③



写真—4 施工中の PC 床版架設機④



写真—1 施工中の PC 床版架設機①



写真—2 施工中の PC 床版架設機②

～4)は橋台部からの施工のみでPC床版を架設することができ、尚且つ上空障害物にも対応できることから、出水期中も施工可能。

時期によっては大幅な工期短縮、仮設資材設備の軽減、河床や道路規制などの地元住民の負担軽減など多くのメリットが考えられることから今回の採用に至った。

「PC床版架設機」は門型形態のジャッキ式吊り上げ装置と軌道装置動力車との組合せの複合型機械で、桁上に敷設した軌道を橋台と架設地点を往復して一度に1～2枚ずつ架設していく。

PC床版はクレーン車によって運搬台車に乗せられそのまま平行移動して架設機により架設するので桁上で床版を回転させたりしないので、下路トラスなどの橋にも対応できる。そのため第二東名や名神などの高速道路や山間部など大型重機が入れない場所や上空障害がある場所で多くの実績がある。当機は今回も安定した実力で無難に床版架設を終わらせた。

架設翌日からすぐに鉄筋工や地覆型砕工に入れ、工期が

短くできるプレキャスト PC 床版は架設が終わる頃にはすぐ手前まで鉄筋型枠ができており、このあと床版と桁自体の高さ調整をして間詰め部や地覆等にコンクリートを打設して完成となる。

業務内容

1. 業績の説明

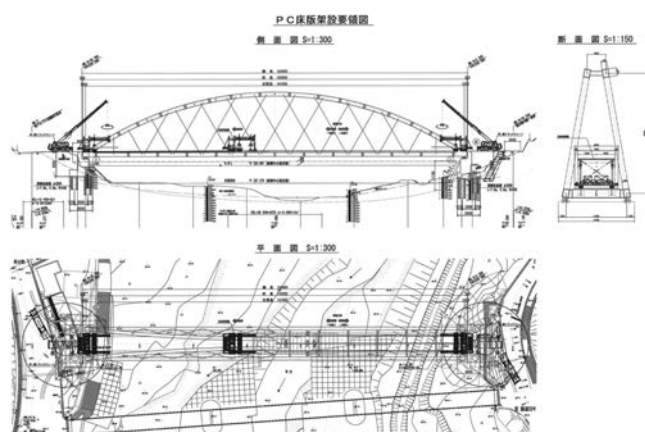
PC 床版架設機（特許登録済）を利用することにより河川内に重機等を搬入する必要がなくなり出水期の施工も可能となり PC 床版と相まって早期供用が可能となった（写真—5，図—1）。

2. 業績の効果

通常の床版施工では、渇水期を待って河川内に搬入路を設け作業するのに対してインターバルを置かず施工でき、工場製品の PC 床版を利用する本工事は約 10 ヶ月の早期供用開始が可能となった（写真—6）。河川内を何度も触ることなく、足場もそのまま供用できるためコストダウンに繋がった。



写真—5 現橋早川橋（手前）と架設中の新橋



図—1 早川橋 架設要領



写真—6 PC 床版架設機（2号機）全景

3. 施工または生産販売実績

平成 10 年 第二名神 飛島高架橋
 平成 11 年 第二東名 豊田 JCT
 平成 14 年 52 号甲西バイパス 戸川橋
 平成 15 年 第二東名 逢妻女川高架橋
 平成 15 年 秋田県 柳田橋
 平成 15 年 近畿道 三ツ谷池橋
 平成 16 年 東名阪 牧ノ原高架橋
 平成 18 年 第二伊勢道 2・3・5 号橋
 平成 21 年 R170 高架橋 他

4. 地域への貢献度

ニールセンローゼ橋を選択でき河川内に橋脚を建てる必要がなくなり、尚且つプレキャスト PC 床版施工により早期施工，早期供用が可能になったうえ，河川内工事を極力少なくすることができ環境や自然災害に対するリスクを大幅に改善できた。

安田 宏司

（株）野田自動車工業所（野田クレーン） 執行役員

お断り

この JCMA 報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。