

掘削土再利用連壁工法

—RC連壁施工技術を応用した超深度対応可能な掘削土再利用連壁—

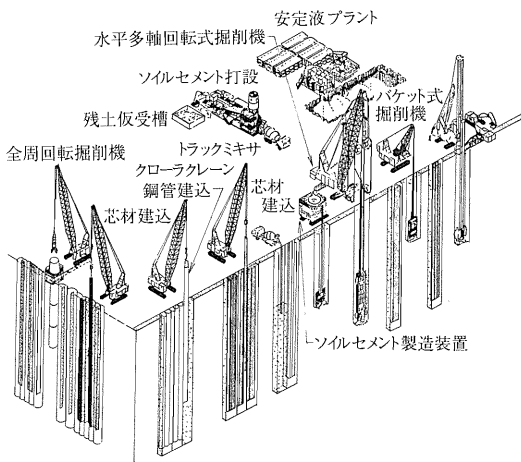
織田 茂・遠藤 堅一・弘瀬 友一朗

掘削土再利用連壁工法は、掘削土を山留め・止水壁の壁体であるソイルセメントの材料として再利用し、建設副産物である残土発生量を抑制するとともに残土搬出・生コン搬入の工事車輛を減少させる事で環境保全に寄与する連壁工法である。また、止水性能に欠かせない掘削精度はRC連壁掘削技術を使用することにより施工中に超音波測定器によって確認できる。ソイルセメントは地上で製造するためばらつきの少ない品質が得られる。このように高品質であり環境にやさしい連壁工法である。

キーワード：掘削土再利用、ソイルセメント、土留、連壁、超深度

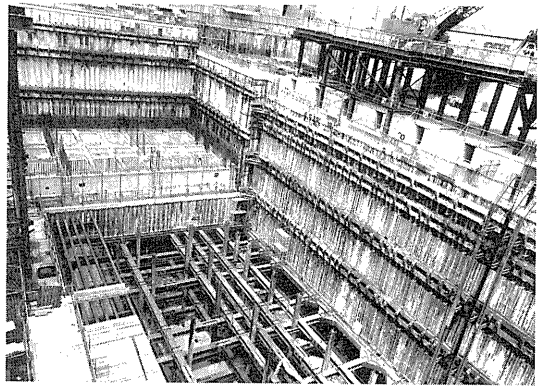
1. はじめに

近年、建設産業では、建設副産物である掘削残土の発生を抑制する工法が環境保全、残土処理場不足の面から要求されている。また、地下工事における土留め止水壁築造工事においては原位置攪拌工法の施工能率の高さから施工コストが安く経済的であるため採用深度が深くなっている。しかし、30 m程度以深の施工の場合、排泥比率が高くなるとともに、一部の工法では掘削精度不良による止水不良が見られる場合がある。そこで、高い掘削精度を有するRC連壁の施工技術を応用することにより止水性の高いソイルセメント連壁を築造するとともに掘削残土を再利用しその発生を抑制する環境にやさしい新技術を開発した。図—1



図—1 施工概要図

に概要図、写真—1に施工例を示す。



写真—1 施工例

2. 工法の概要

掘削土再利用連壁工法は、RC連壁で使用されている掘削機を用いて溝壁を高精度(1/500以上)で掘削した後、新たに開発したソイルセメント製造プラントによって、分級・粒度調整した掘削土とセメントミルクとを混合攪拌して製造したソイルセメントをトレミーにて溝壁中に打設し、その後芯材となる鋼材を建込み、ソイルセメント連壁を構築する工法である。

3. 工法の特徴

連壁工法の特徴を以下にまとめる。

① 環境にやさしい

- ・地球環境に配慮した、環境保全・再資源化工

法である。

- 発生掘削土の 50~70%を再利用可能である。
- 掘削土運搬車輛の削減による CO₂ 等の環境負荷の低減が可能である。

② 高い遮水性能を確保

- 高い鉛直性 (1/500 以上) を確保できる。
- カッティング工法による確実な継手処理ができる。
- 壁体ソイルセメントは地上管理出来るためばらつきが少なく高い遮水性能が確保できる (10⁻⁵ cm/sec 以上)。

③ 広い適用範囲

- 大深度 (最大 120 m) でも対応可能である。
- 厚壁 (1,200 mm) にも対応可能である。
- 低空頭での施工や狭隘地での施工が可能である。
- 置換工法であるため固化不良を起こすような土質は除去できるため原地盤の影響を受けない。
- 全回転式オールケーシング掘削機

と組み合わせることにより地中障害のある地盤でも施工できる。

④ 経済性

- 等厚施工なので合理的で経済的な芯材配置が可能である。

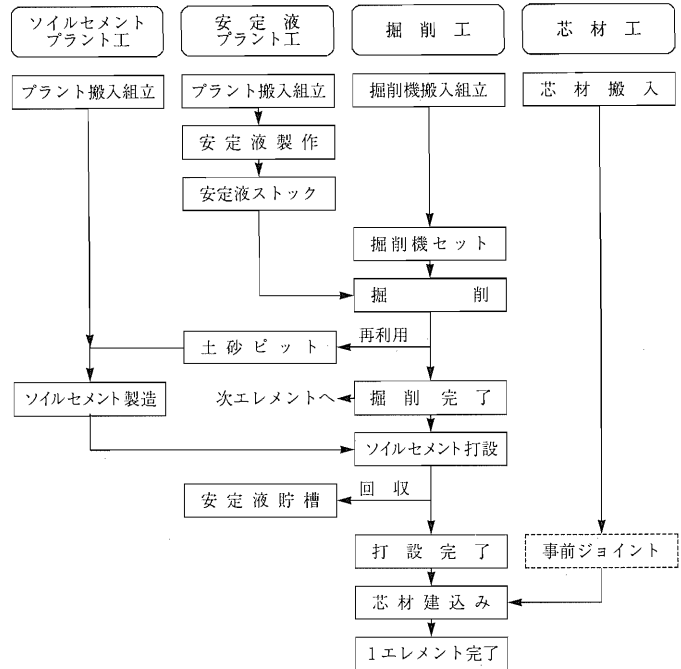
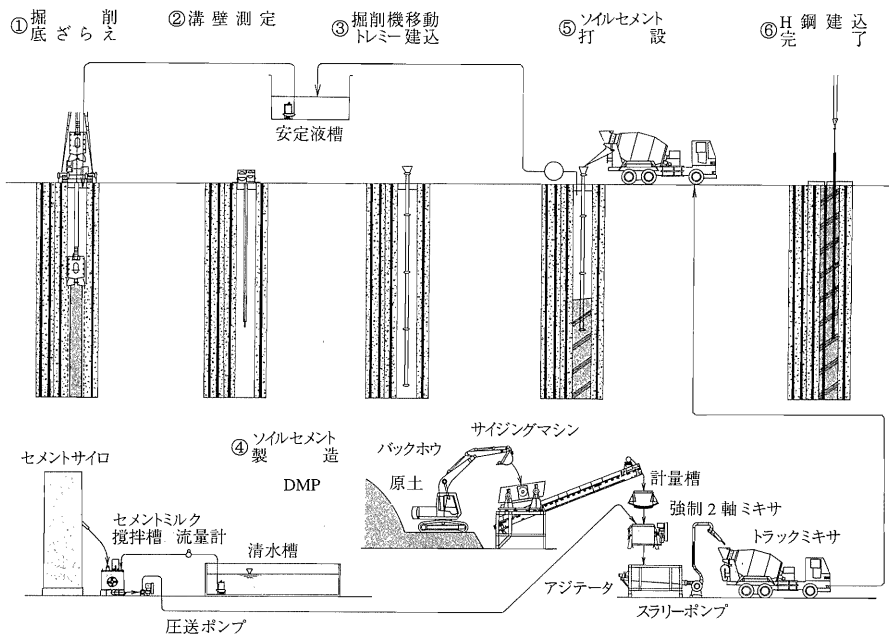


図-2 掘削土再利用連壁施工フロー



注：DMP (Daiyo-Mixing-Plant) ソイルセメント製造装置

図-3 掘削土再利用連壁施工概念図

- 掘削残土処理量が激減するため経済的である。

⑤ その他

- コンパクトな全自動ソイルセメント製造装置を使用することにより省スペースで大容量(30~40 m³/h)の製造が可能である。

4. 施工フロー

施工フローを図-2, 施工概念図を図-3に示す。

5. ソイルセメント製造装置

ソイルセメント製造装置は平成4年から開発を開始し、試行錯誤を繰り返し改善することにより、現在では160 m²(並列配置8 m×20 m, 直列配置4.5 m×35 m)程度の設置面積(原土仮置き場は除く)で1時間当たり30~40 m³の製造能力を確保することができた。開発過程で最も苦労した点は粘性土中の礫・玉石の除去である。これらは配管を閉塞させ製造能力の低下を招いていた。そこで礫・粘土対応の特殊な振動スクリーンを開発した(公開特許平09-011225)。通常の振動スクリーンは篩分けた粘土・礫をすぐに排出する構造になっているが本装置の振動スクリーンは網上で土塊を滞留させ粘性土を流動化させることにより網を通過させ粘性土中の礫・玉石を取出す構造となっている。

次に苦労した点は粘性土が振動スクリーンを通過した後に再度凝集し土塊となり配管を閉塞させてしまうことである。そこで、粘性土を剪断攪拌する方法を開発した(公開特許平11-256158)。これらの開発によりコンパクトでかつ多様な掘削土を再利用できる全自動ソイルセメント製造装置が完成された。ソイルセメント製造装置の平面・立面図を図-4に、概念図を図-5に示す。

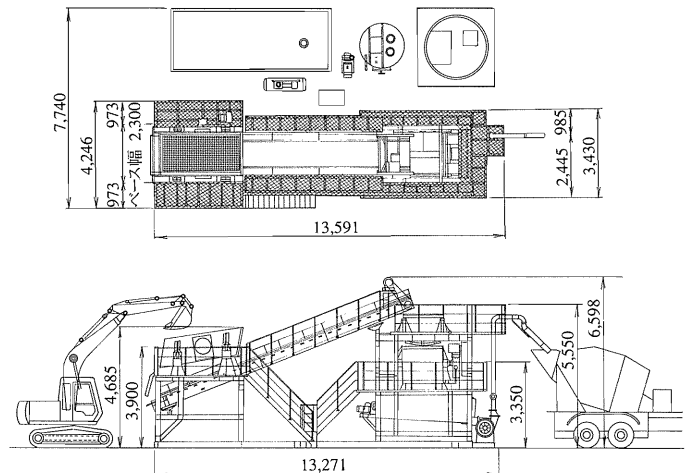


図-4 ソイルセメント製造装置平面・立面図

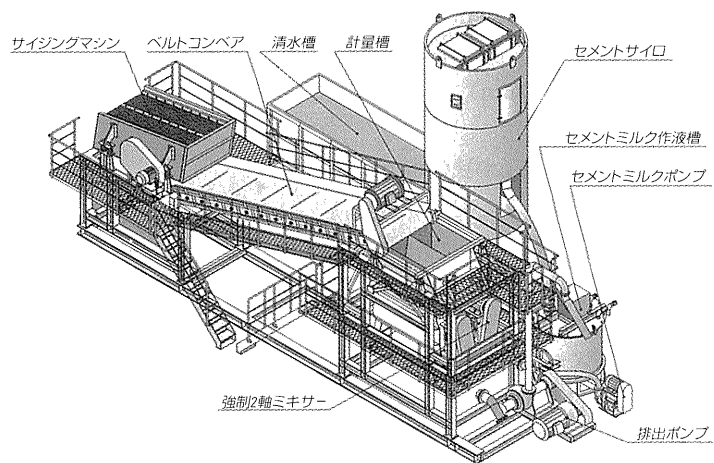


図-5 ソイルセメント製造装置概念図

6. 再利用掘削土

掘削土の再利用率は、掘削土の特性を分析した結果決定するものである。掘削土の再利用に適さない硬質粘土・玉石等が多く含まれ、再利用できる土量が必要土量に満たない場合は、別途土砂の購入が必要となる。なお、ソイルセメントを製作するのに必要な掘削土以外は残土として搬出する。

(1) 掘削土再利用率の算定

再利用率は、実施工における設計掘削土量及び残土搬出量から、以下のように算定する。

再利用率 = (設計掘削土量 - 残土搬出量) / 設計掘削土量

ここで設計掘削土量は掘削壁厚×設計掘削水平延長×設計掘削深度、で算出する。

(2) 土質別掘削土再利用率

掘削土の再利用率は前記した算定式にて算出するが、一般的な掘削土再利用率の目安は、表—1 に示すとおりである。

表—1 掘削土再利用率

発生土名	N 値 < 10	N 値 ≥ 10
粘性土	80%	10%
砂質土	90%	90%
礫質土	10%	10%

※注 礫質土の場合、粒子分布により利用率は変動する。

ソイルセメント製造プラントの礫・粘性土対応特殊土砂分離装置は、篩網上で掘削土が滞留し、振動を与える事で流動化させ、篩網を通過させる構造になっている。よって、振動を与えても流動化しない粘性の強い掘削土は再利用できない。

硬質粘土や礫が多い特殊地盤の場合は、別途下記に示す改質方法を採用する事で再利用可能であるが、別途工費が必要となる。

① 硬質粘土の改質方法

- ・固化処理による改質：粉碎した原土に固化材を添加し混合攪拌した後再利用する。再利用率が大きい。
- ・解泥処理による改質：水を加え混合攪拌し再利用する。再利用率は低い。

② 礫の改質方法

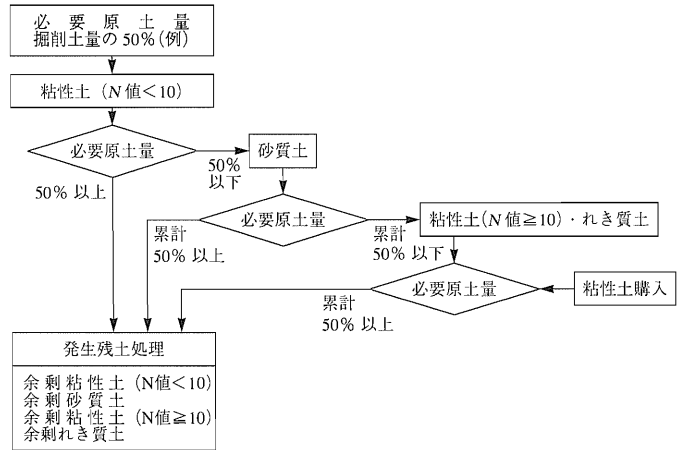
- ・破碎処理による改質：クラッシャにより破碎し再利用する。

原土が粉碎した礫や粗砂で構成される場合は、遮水性（遮水係数の向上）を考慮して「ベントナイト」等を別途添加した試験練りにより、配合を決定する必要がある。

7. 発生残土処理

土質別再利用優先順位を下記に示す。

- ① ブリージング防止を目的として「粘性土」より優先して使用する。



図—6 発生残土算出フローシート

- ② 砂質土は、必要土量より「粘性土」を引いた利用可能土量とする。
 - ③ 上記①+②で不足する場合のみ「礫質土」及び「N≥10の粘性土」を使用する。
 - ④ 上記①+②+③で不足する場合は、別途粘性土の購入が必要となる。
- 発生残土算出フローシートを図—6に示す。

8. ソイルセメントの品質管理

(1) ソイルセメントの品質管理基準

ソイルセメントの品質管理は、掘削溝への充填性や遮水性及び側圧に対する必要一軸圧縮強度を考慮して下記の品質管理を標準とする。

- ① 一軸圧縮強度 必要圧縮強度以上（通常 0.5 N/mm²）
- ② スランプフロー 200～300 mm
- ③ ブリージング 3%未満

(2) ソイルセメントの配合試験

本工法は現地掘削土を利用するため原土性状が異なる土質、異なる割合で構成される。本工法では原土の細粒分含有率によってソイルセメントの品質が変化すること（同一水量配合であれば細粒分が多いとスランプフローは小さくなり、細粒分が少ないとブリージングが多くなる）に着目し異なる細粒分含有率の原土を使用し試験練りを行い要求品質を満たした配合（水・セメント・乾燥土比）を細粒分含有率別に集積し配合表を作成する。類似工法において埋戻し用の市販ソイルセメ

ントを転用した事例もあるが、本工法の配合試験のような原土特性の把握が出来ず製品品質のばらつきが大きく壁材の用（充填性、止水性、強度ほか）をなさないということも発生している。

(3) 試験練り手順

ソイルセメントの主材料を水・セメント・乾燥土（湿潤状態の原土を水と乾燥土として考える）とする。なお、試験練りスケールは1/250（4L/1,000L）もしくは1/500とする。

$W/(C+N)$ を基本に試験配合を決定する。

ここで、 W ：全水分量 ($W=w_1+w_2$)

C ：固化材（セメント）添加量

N ：乾燥土重量

原土の含水率を測定し湿潤土を乾燥土と保有水に分け保有水を配合上の水分の一部として計算する。配合概念図を図-7に、試験練りフローを図-8に、配合表例を図-9に示す。また、スランプフロー試験を写真-2に、ブリージング試験を写真-3に、一軸圧縮試験を写真-4に示す。

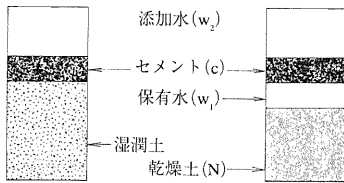


図-7 配合概念図

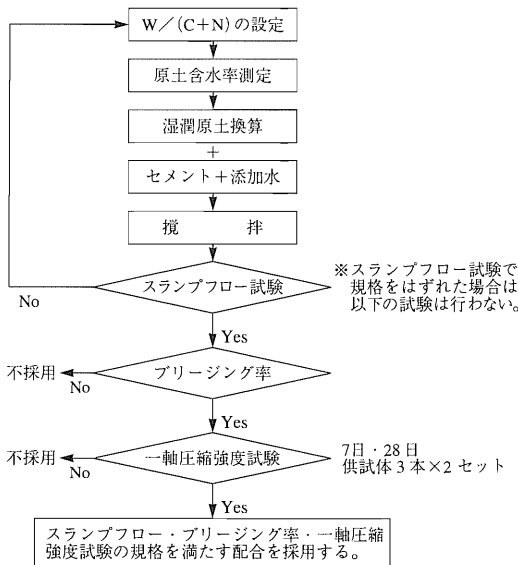


図-8 試験練りフロー

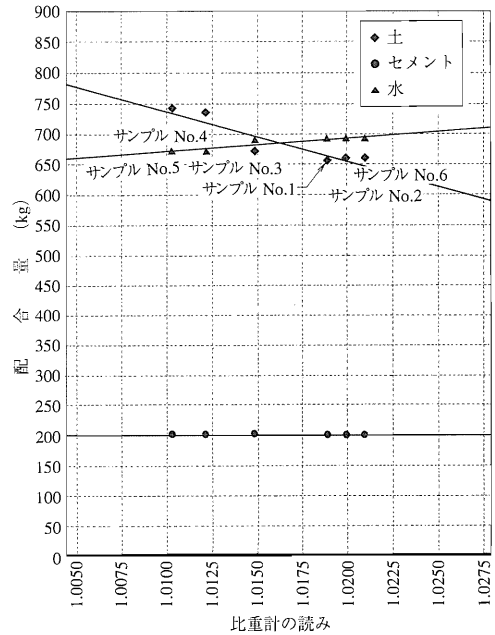


図-9 配合表例



写真-2 スランプフロー試験

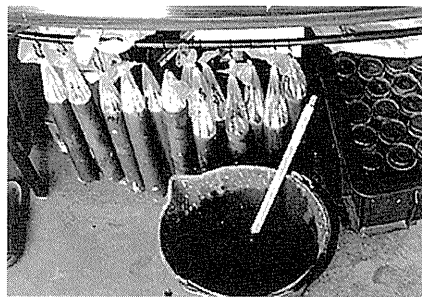


写真-3 ブリージング試験

表-2 日常品質管理

種別	試験項目	頻度
原土品質管理	含水率	1回/EL
	簡易沈降比重	1回/EL
混合時品質管理	スランプフロー	1回/EL
硬化後の品質管理	ブリージング率	1回/EL
	一軸圧縮強度	1回/EL

注：EL=エレメント

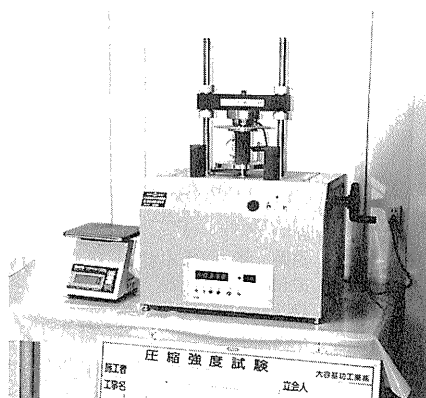


写真-4 一軸圧縮試験

(4) 日常品質管理

日常品質管理項目頻度を表一2に示す。

(5) 試験項目及びその試験方法

スランプフロー：エアモルタル及びエアミルクの試験方法 (JHSA 313-1992)

ブリージング：プレキャストコンクリート工注入モルタル)のブリージング率及び膨張率試験方法 (社団法人地盤工学会)

一軸圧縮強度試験：土の一軸圧縮試験方法 (JISA 1216-1976)

9. 過去の施工実績におけるソイルセメント品質

ここでは、過去の実績におけるソイルセメント配合及び品質について報告する^{1), 2), 3)}。

(1) ソイルセメントの配合

表一3に過去の配合実績例を示す。これまでの実績では、単位セメント量は、140 kg/m³から200 kg/m³である。

表一3 実績における配合例

施工場所	配合水比 W/(C+N) (%)	土量 N (kg)	セメント量 C (kg)	水量 W (kg)	遅延剤 (kg)	フロー値 (mm)	28日強度 q _w (N/mm ²)
東京	86%	634	180	703	5.4	295	2.1
大阪	84%	803	140	790	0.6	230	1.5
埼玉	68%	750	200	650	6.0	280	2.4

(2) 掘削土再利用率の実績

掘削土再利用率は、前述した式により算定するが、これまでの主な実績工事7件における平均的な再利用率は59%である。この7工事における最小再利用率は53%、最大再利用率は69%である。各工事における再利用率の違いは、主に掘削対象土による影響であるが、ソイルモルタル製造プラントの改良に伴い、掘削土をより有効に利用できる傾向にある。

(3) 一軸圧縮強度

設計強度が0.5 N/mm² (材齢28日)の場合、製造プラントで採取したソイルセメントの一軸圧縮強度は、平均的に2.0 N/mm²程度の強度発現が確認されている。また、材齢28日における一軸圧縮強度の変動係数は30%程度であり、コンクリートの場合 (一般的な変動係数：15~20%) に比べてばらつきが大きい。このばらつきの程度は、材齢が7日から28日になるにつれて、大きく減少する傾向が認められている。

深度方向にコアサンプリングした供試体の一軸圧縮強度試験結果では、深度と圧縮強度との間には明確な関係が認められていない。このことより、ソイルセメント材料の圧縮強度に対しては、深度よりも掘削土の材料の影響が大きいものと考えられる。

過去の施工実績では、施工中の強度試験結果を基に配合修正を行い、単位セメント量を低減した事例も報告されている²⁾。

(4) 透水係数

これまでの施工事例では、コアサンプリングした供試体の透水試験結果において、深度に関係なく、透水係数10⁻⁷ cm/sオーダの値を確保できていることが確認されている。

10. おわりに

掘削土再利用連壁工法は、平成12年12月に財団法人先端技術センターにて先端建設技術審査証第1205号*を取得しており、これまでの施工実績も約12.0万m²に達している。壁材のソイルセメント管理のみならず今後はすでに実施している芯

材建込み後の打設方法の開発など、施工実績に基づいた施工システムの合理化、安全化を図り、また幅広い材料の再利用を実現するための研究を推し進める所存である。

《参考文献》

- 1) 先端建設技術・技術審査証明報告書「掘削土再利用連壁工法(掘削土のリサイクルによる建設残土の減量化工法)」、(財)先端建設技術センター、平成12年12月
- 2) 原田 哲伸, 他: 掘削土再利用地中連続壁工法による開削トンネル山留の施工, 建設の機械化, No. 607, pp. 3-9, 2000年9月
- 3) 中原 淳, 他: ソイルセメント連続壁工法(TSW工法)の品質管理事例, 基礎工, Vol. 27, No. 7, pp. 66-69, 1999年7月

* 技術審査証明書取得会社

鹿島建設株式会社, 株式会社熊谷組, ケミカルグラウト株式会社, 三豊テクノコンストラクション株式会社, 成和機工株式会社, 大成建設株式会社, 大容基功工業株式会社, 株式会社竹中工務店, 株式会社竹中土木, 中央工業株式会社, 戸田建設株式会社, 株式会社利根

【筆者紹介】

織田 茂(おりた しげる)

ケミカルグラウト株式会社

施工本部

基礎工事部

次長

CRM 工法研究会技術委員長



遠藤 堅一(えんどう けんいち)

成和機工株式会社

設計技術室

室長

CRM 工法研究会技術副委員長



弘瀬友一朗(ひろせ ゆういちろう)

大容基功工業株式会社

機械部部長

東京事務所所長

CRM 工法研究会技術委員



—2001年版— 日本建設機械要覧

本書は、国産および輸入の各種建設機械、作業船、工専用機械等を選択して写真、図面等のほか、主要諸元、性能、特長等の技術的事項を網羅しております。なお、今回は「環境保全およびリサイクル機械」を第10章にまとめ内容の充実をはかっており、建設事業に携わる方々には欠かすことのできない実務必携書です。

掲載内容

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ブルドーザおよびスクレーパ ・掘削機械 ・積込機械 ・運搬機械 ・クレーン、インクラインおよびウインチ ・基礎工事機械 ・せん孔機械およびブレイカ ・トンネル掘削機および設備機械 ・骨材生産機械 ・環境保全およびリサイクル機械 | <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート機械 ・モータグレーダ、路盤機械および締固め機械 ・舗装機械 ・維持修繕・災害対策機械および除雪機械 ・作業船 ・高所作業車・エレベータ、リフト ・アップ工法、横引き工法および新建築生産システム ・空気圧縮機、送風機およびポンプ | <ul style="list-style-type: none"> ・原動機および発電設備 ・建設ロボット、情報化機器、タイヤ、ワイヤロープおよび検査機器等 |
|---|--|---|

付録

1. 建設機械関係日本工業規格
2. (社)日本建設機械化協会規格(JCMAS)
3. 土工機械関係 ISO 規格

体裁：B5判, 約1,400頁/写真, 図面/表紙特製

定価：会 員 44,100 円 (本体 42,000 円) 送料 1,050 円

非会員 52,500 円 (本体 50,000 円) 送料 1,050 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289