

「回転式破碎混合工法」の適用事例と適用性拡大に向けた開発

佐 藤 裕

近年、気候変動の影響により、洪水や土砂災害が頻発し、甚大な被害が発生している。地域の安全を確保するため堤防強化、河道拡幅、築堤などの整備工事が急速に進められている。「回転式破碎混合工法」は、建設発生土と砂やセメントなどの改良材を均質に混合し、同時に破碎・細粒化を可能とする地盤改良技術であり、これにより様々な建設発生土をリサイクルし、河川工事で有効に活用されている。本稿では性状の異なる建設発生土を例に挙げ、適用事例と適用性拡大に向けた取り組みについて紹介する。

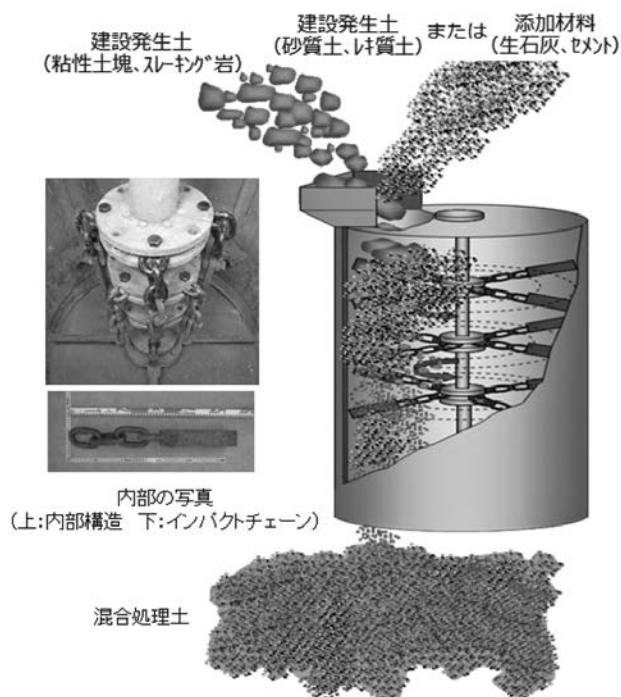
キーワード：河川、堤防強化、築堤、地盤改良技術、建設発生土、リサイクル

1. はじめに

わが国の治水の考えは、これまでの過去の降雨実績に基づく治水計画から、気候変動による降雨量の増加などを考慮した治水計画に見直しを行い、河川整備等の事前防災対策の加速化に加え、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う、総合的かつ多層的な対策を進めている¹⁾。

回転式破碎混合工法（以下、「本工法」という）は、軟岩から高含水比粘性土と幅広い土質に対応し、土塊の解きほぐしや細粒化、均質な混合を同時に処理可能とする独自の技術を有している。

本工法は、建設発生土の再利用を可能にする技術として、造成工事などの盛土材の製造に使われるだけでなく、近年では遊水地の築堤や河川の堤防の補修・強化にも広く活用されている。2023年10月現在で、土砂改良の実績は約1,180万 m^3 であり、そのうち河川工事では540万 m^3 に達している。



図一 1 本工法の概要

2. 本工法の概要

図一 1 に本工法の概要を示す。

(1) 概要

建設発生土は処分地の確保が難しく、地下茎、がれき、ごみを含み、土砂自体が軟弱な場合も多いため、そのままでは利用しにくい。このような土砂を大量かつ連続的に1つのプラントで改良し、再利用するのが本工法の目的である。本工法は、鋼製の円筒内で高速

回転するフレキシブルなチェーンの打撃力により、建設発生土の破碎・細粒化と添加材料との均質な混合を同時に行う地盤改良技術である。粘性土、砂質土、礫質土から軟岩まで幅広い土質材料に対応し、セメントや生石灰などの改良材を添加することができ、河川の築堤材製造や造成工事などに活用されている。

また用途や改良土量などの条件によって車載型、自走型、プラント型を選定でき、特にプラント型では改良土量に応じて少量から大量施工まで対応できるラインナップを揃えている。全タイプともコンピューター

制御によりシステム管理しており、連続大量施工においても一定の品質を確保する。

(2) 特徴

本工法は、以下の特長がある。

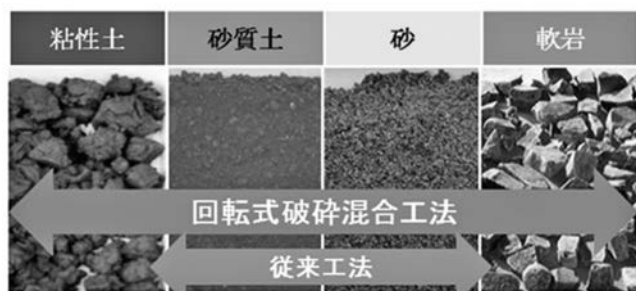
(a) 幅広い適用範囲

図一2に本工法の適用範囲を示す。従来工法と比べて軟岩や高含水比粘性土も対象とし、適用範囲が広いため、様々な建設発生土の再利用が可能である。

(b) 粘土塊の解きほぐし、(c) 改良材との均質な混合
塊状の粘土を解きほぐすことで、改良材との混合性が向上し、均一な品質の改良が可能である。図一3に示すように従来工法では砂質土を混合した場合、塊状の粘土のまま混合され、品質が一様ではなかった。一方、本工法の場合は塊状の粘土をほぐし、細粒化すると同時に砂質土を混合するため、均質な改良を実現し、安定した高い品質が期待できる。

(d) 細粒化と混合

建設副産物のコンクリートがらなどを利活用する場合、

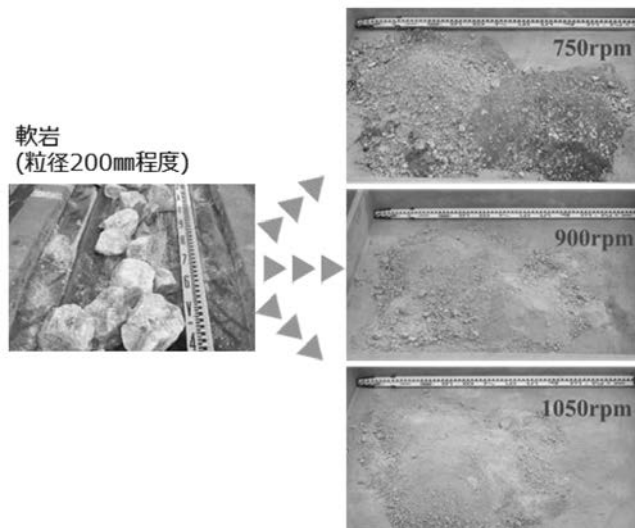


図一2 本工法の適用範囲

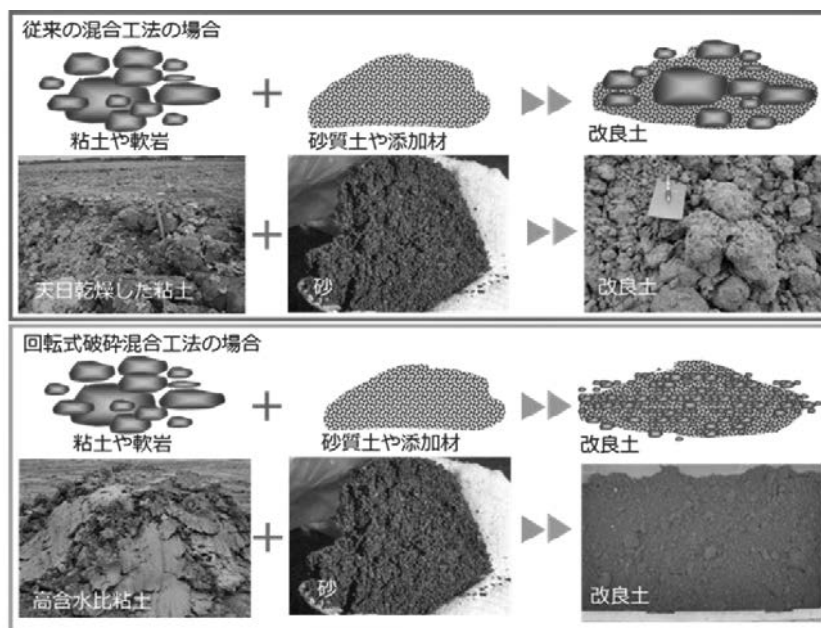
合、粒度調整や強度改善などが図れ、リサイクル率の向上にも寄与できる。図一4に示す軟岩を破碎する場合、チェーンの回転数を変えることで、要求される品質基準に適合する粒度範囲に調整することが可能である。

(e) 植物根等に付着する土砂の分離

「河川土工マニュアル」では、築堤材には植物根などの有機物の混入は避けることとされている。一方、河道掘削で発生する土砂には木片や一般のごみなどがしばしば混在しており、これらが含まれる土砂はこれまで処分されてきた。本工法では、このような混入土砂に対してもチェーンの回転や打撃により植物根などが付着する土砂を効果的に分離することができる。さらに分別機械の組み合わせにより、一連のプロセスで



図一4 本工法による軟岩破碎状況



図一3 本工法の粘性土改良イメージ



図—5 分別を組み合わせたプラントシステム

土砂の分離，改良，分別を実現している（図—5）。東日本大震災においては，震災廃棄物の分別処理業務にも採用された実績もある。

このように，本工法は様々な性状の建設発生土を対象としており，その適応範囲が広く，均質な改良が可能である。これにより，建設発生土を有効に利用し，多様な要求品質基準に適合できる。

3. 河川堤防への適用事例

以下，4つの事例を示す³⁾。

(1) 高含水比粘性土改良事例

工 事 名：北島地区遊水地周囲堤外工事

要求品質：細粒分含有率 $15\% \leq F_c \leq 50\%$

コーン指数 400 kN/m^2 以上

透水係数 $k = 10^{-5} \text{ m/s}$ 未満

使用材料：高含水比粘性土－砂礫

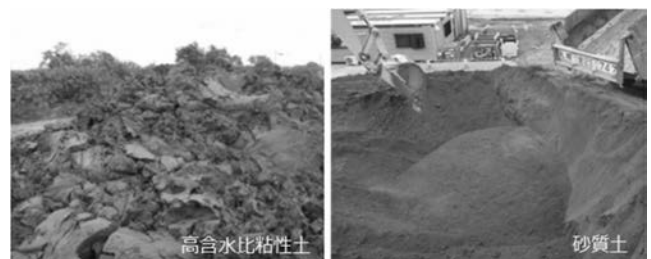
泥炭混じり粘土－セメント系固固化材

製造土量：約 $62,800 \text{ m}^3$

本工事は，平成 25 年 7 月から国土交通省北海道開発局 千歳川河川事務所管内の北島地区遊水地において，掘削直後の高含水比粘性土と漁川ダムを浚渫して発生した砂れきを混合して改良した事例である（写真—1）。従来では1年間の天日乾燥が必要だった高含水比粘土を，本工事では掘削直後に砂との均質混合を行い，曝気乾燥を促進させることで仮置期間を短縮する目的で施工した（写真—2）。本工法を用いることにより，掘削直後の高含水比粘性土に砂を均一に混合することで，曝気乾燥効果が向上し，含水比の低下に必要な期間を短縮でき，工期短縮に期待できる工法と評価された（写真—3）。



写真—1 現場全景（高含水比粘性土改良事例）



写真—2 原土（高含水比粘性土と砂質土）



写真—3 改良土

(2) 軟岩破砕混合による改良事例

工 事 名：川内川（山崎大橋下流右岸・樋渡地区）

築堤土砂製造工

要求品質：細粒分含有率 $27\% \leq F_c \leq 55\%$

コーン指数 $1,200 \text{ kN/m}^2$ 以上

使用材料：粒径 600 mm から 200 mm 以下に一次破碎した軟岩とシラスの 2 種混合

製造土量：約 81,700 m³

国土交通省九州地方整備局 川内川河川事務所管内の川内川（山崎大橋下流右岸・樋渡地区）築堤土砂製造工において、従来、築堤材としての品質が満足できなかった軟岩礫まじりシラスを対象に、少量の添加材を混合して良質な築堤材として利活用する工事である（写真—4）。本工事では、軟岩混じりシラス土砂を要求品質に適合した粒度に破碎し、少量の土壤改良材 12 kg/m³ を添加すると同時にシラスと混合して築堤材の品質に適した土砂に改良した（写真—5, 6）。その結果、残土処分と購入土砂のコスト削減と、環境負荷の低減に寄与することができた。



写真—4 現場全景（軟岩破碎混合改良事例）



写真—5 原土（軟岩とシラス）



写真—6 改良土

（3）草根ゴミ分別を含めた改良事例

工 事 名：筑後川木塚地区築堤工事のうち土砂改良工事

要求品質：細粒分含有率 15% ≤ Fc ≤ 50%

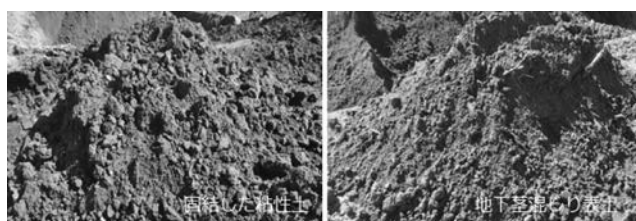
コーン指数 1,200 kN/m² 以上

使用材料：建設発生土（ゴミ地下茎混入土、粘性土）
－石灰（平均 15 kg/m³）

製造土量：約 13,300 m³

国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所管内の河道掘削工事において発生するそのままでは利用できない地下茎混り表土（礫混り砂質土）と、固結した粘性土の 2 種類の材料と石灰を混合し、地下茎を分別すると共に、築堤土の要求品質に合った改良土を製造することを目的とした工事である（写真—7）。

本工事では、①粒度調整、②強度改善、③地下茎及びゴミの分別除去の 3 つの改良を本工法と分別機械を併設したプラントで行った（写真—8）。数種類の発生土を利用することから、土の性状や土量を考慮して最適な組み合わせとなるように事前検討し、室内試験を実施することにより、①粒度調整や②強度改善が得られる配合を導き出し、品質の確保とリサイクル率の向上を図ることが可能となった。また、③地下茎及びゴミの分別除去については、一般に土が付着したゴミ等は塊状の呈を示し、分別機械単体では分別が困難な状態であったが、本工法を採用することで土は解きほぐされ、土とゴミ等が分離して分別効率が良くなり、改良土は不純物のない築堤材として再利用し、リサイクル率の向上が図れた（写真—9）。



写真—7 原土（粘性土と草根ゴミ混じり表土）



写真—8 現場全景（草根ゴミ分別改良事例）



写真—9 改良土とふるい分けした草根ゴミとレキ材

(4) 鬼怒川激特事業における施工事例

工 事 名：H27 激特・若宮戸築堤（その1）工事の内、土砂改良工

要求品質：細粒分含有率 $15\% \leq F_c \leq 50\%$

コーン指数 400 kN/m^2 以上

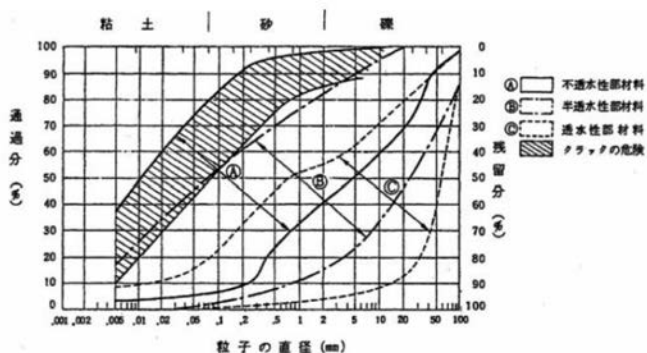
粒度分布適正範囲内（図—6）

使用材料：建設発生土（砂質土、粘性土）

再生碎石

製造土量：約 $50,000 \text{ m}^3$

H27 年 9 月関東・東北豪雨により鬼怒川の水位が上昇し、堤防決壊（1ヶ所）、溢水や護岸崩壊などの被害が発生した。築堤材は、河道掘削等で生じた砂質土と粘性土の2材混合であったが、要求品質の粒度分布適正範囲を満たせなかったため、粒度調整と締固め性能向上を図る目的で再生碎石を配合し、3材混合により築堤材を製造した（写真—10）。なお、粒度分布の適正範囲とは、河川土工マニュアル記載の図—6²⁾を参考に半透水性材料となる粒度分布の範囲を示す。この粒度範囲を満たす3材混合の配合比（砂質土：粘性土：再生碎石＝5：2：3）を室内配合試験で検討し、現場配合として改良を行った。製造した築堤材は、締固めが良好で安定した築堤の施工が行えたと評価を得た（写真—11）。

図—6 堤体材料の適正範囲参考例²⁾

写真—10 現場全景（鬼怒川激特事業における施工事例）



写真—11 原土（砂質土、粘性土、再生碎石）と改良土

以上の（1）～（4）で述べたように、そのままでは利用できない建設発生土を改良し、再利用できる技術として全国の河川工事で採用されている。

4. 適用性拡大に向けた技術開発

施工条件に応じて、車載型、自走型、プラント型が使用されている。河川工事などの狭所での需要が高まっていることから、今回、狭所で能力を発揮する自走型の改良機を全面的に見直し、機能面と運用面を向上させた新型の自走型土質改良機およびオブション機を開発した。

特徴を以下に示す。

(a) 機動性

本機械は電動駆動のシステムを採用しており、これまでは外部からの電源供給が必要であった（写真—12）。新型機は電源ユニットを搭載し、ワンパッケージ化することで自走が可能となり、機動性が向上した（写真—13）。

(b) 組立が容易

添加材を使用する際にサービスタンクを取り付ける



写真12 既存の自走型土質改良機 (TMSP1500)



写真13 今回開発した自走型土質改良機 (TMSP1800)

必要があるが、本機械に搭載のクレーンで組立を完了する。

(c) 操作が容易

運転操作にはタブレット PC を使用し、離れた場所から操作可能とした。施工条件を入力しておくことで運転・停止ボタンの操作のみで運転が可能である。

(d) 適応範囲

これまで当社の自走型土質改良機は、対象土として

高含水比粘性土は適応範囲外であったが、新たに専用の粘性土供給機を開発し、搭載することで対応可能とした。また、これまでの1材料(土)と1添加材の混合に加えて、土砂供給用の自走型土砂供給機(オプション機)を開発し、2材料1添加材の混合を可能にした。

今後は工事へ適用し、運用評価と更なる開発を進めていく。

5. おわりに

本工法は、従来の工法では難しいとされていた様々な性状の建設発生土のリサイクルを可能とし実績を積み重ねており、最近では令和3年の3R推進功労者等表彰(リデュース・リユース・リサイクル推進功労者等表彰)国土交通大臣賞を受賞している。今後も皆様のニーズに応えるために技術力の向上を進め、皆様が安全・安心して生活できる社会づくりに貢献していきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局:「流域治水」の基本的な考え方
- 2) (一財) 国土技術研究センター:河川土工マニュアル, p63, 2009年4月
- 3) 茅賀 都, 大坪 研二, 中島 典昭:鬼怒川激特事業現場における回転式破砕混合工法の活用事例, 平成28年度 中国地方建設技術開発交流会

【筆者紹介】

佐藤 裕 (さとう ゆう)
 日本国土開発(株)
 サステナビリティ経営本部
 つくば未来センター 機械グループ

