

「回転式破碎混合工法」による建設発生土リサイクル技術 (幅広い建設発生土等を高品質に改良する総合土砂改良技術)

中島 典昭* 小幡 博志*

1. はじめに

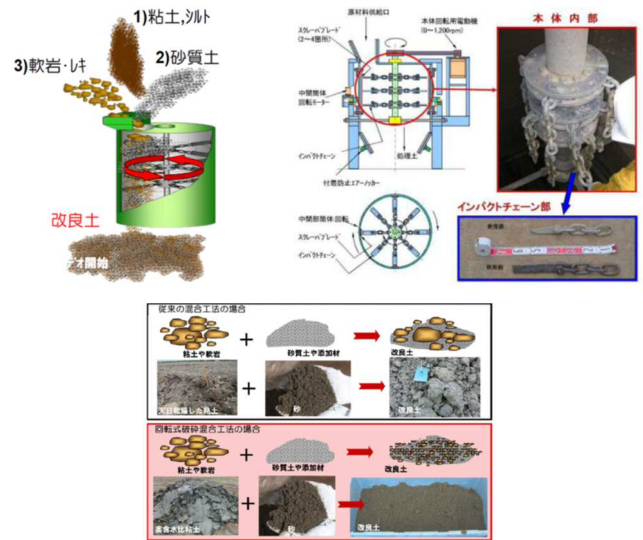
各種の建設工事において発生する土砂は、工事に伴う周辺環境への負荷の軽減、トータルコストの縮減等の観点から、これらを他の工事に、できるだけ有効利用することが望ましい。一方、一般に、建設発生土は、広範囲で多様な土質を有することが多いため、これを有効利用するにあたっては、コストと品質を共に満足することは難しい。このような背景の下、標記工法は、建設発生土と添加材を同時に破碎・細粒化して、均質に混合し、併せて発生土に混入している草木根類、雑物等を分離・除去するとともに、石灰の添加等によって有効利用先での土作業に必要な作業性を備えた土砂に改良が可能なりサイクル技術として開発されてきた。

本稿では、回転式破碎混合工法 (NETIS KT-090048-V) の概要と基本性能について述べると共に、実工事への適用例について紹介する。

2. 回転式破碎混合工法の概要

回転式破碎混合工法の主機は、円筒内に、必要に応じて回転数を増減できる複数本のフレキシブルなチェーンを備えている。軟岩、コンクリート等が改良対象の場合は高速回転での破碎・細粒化も可能である。一方、土砂混合、粘性土解砕等が改良目的の場合は低速回転させながら、チェーンの打撃力による均質混合処理が可能である。これと併せて、添加材の均一な混合が同時にできる機能を有している。第1図に回転式破碎混合機の概要図と混合イメージ図を示す。また、この混合性能を活かすための高度な配合管理システム、従来機では困難であった粘性土供給機等の付帯設備の開発も並行して進めてき

た結果、回転式破碎混合工法は、幅広い建設発生土等を高品質に改良できる総合土砂改良技術として発展してきた。写真1～2に開発した粘性土供給機の概要を示す。



第1図 回転式破碎混合装置の概要図
と混合イメージ図



写真1 高粘性・高含水比対応型「一軸粘性土供給機」と供給軸部及び対象粘性土(例)

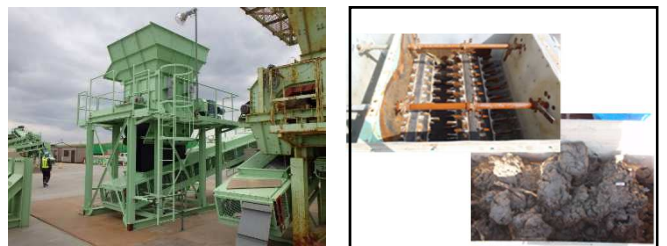


写真2 塊状粘性土対応型「二軸粘性土供給機」と供給軸部及び対象粘性土(例)

3. 回転式破碎混合工法の基本性能

本工法の特長である破碎と混合については、以下の試験により基本的な性能を確認した。

3.1 破碎試験

破碎については、性状の異なる建設副産物、及び建設発生土を回転式破碎混合装置で破碎処理し、破碎前後の粒度により細粒化の程度を確認した。

試験に用いた材料は、塊状の建設副産物でコンクリートガラ（一軸圧縮強さ $q_u = 57\text{Mpa}$ ）、アスファルトガラ、岩塊（頁岩：一軸圧縮強さ $q_u = 43\text{Mpa}$ 、泥岩：一軸圧縮強さ $q_u = 5\text{Mpa}$ ）の3種類。土砂状の建設発生土で礫混じり土の計4種類である。なお、これらの最大粒径はいずれも $200\text{mm} \sim 150\text{mm}$ の材料である。

第2図にコンクリートガラ、アスファルトガラ、岩塊、礫混じり土の破碎前後の粒度分布を示す。図から、破碎後の最大粒径は4種類の材料ともに破碎前と比較して小さくなる。また、粒度分布においては、塊状の材料は単粒から粒径幅の広い材料に細粒化される。

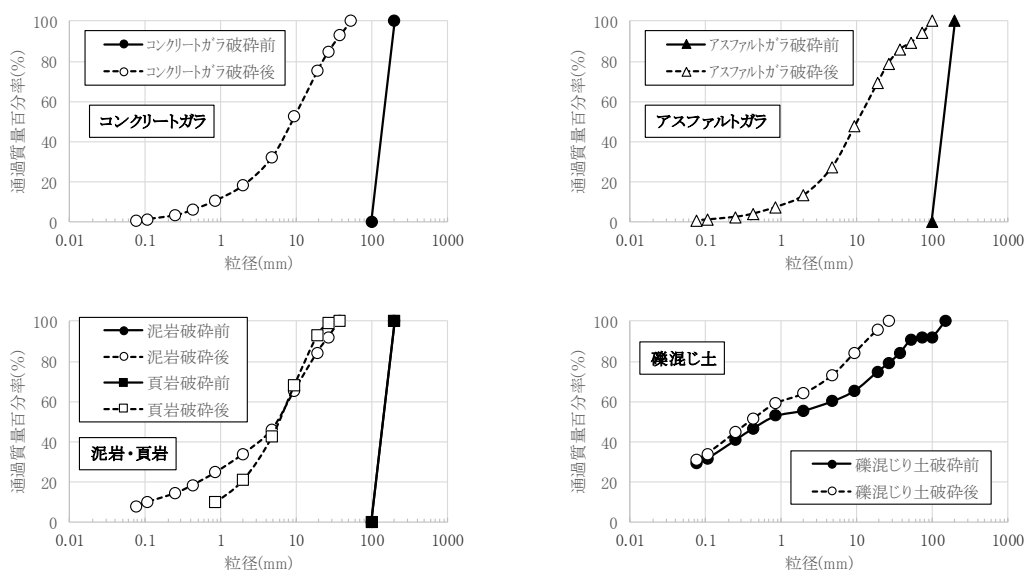
一方、土砂状の材料は粒径 2mm 程度以上で細粒化が認められるが、 2mm 以下の砂分（ $2\text{mm} \sim 0.075\text{mm}$ ）や細粒分（ 0.075mm 以下）においてはほとんど破碎されずに処理されることが認められる。

この結果から、回転式破碎混合工法の破碎性能については、細粒の材料を濾す効果は認められないが、粗粒の材料に対しては、チェーンの打撃力で対象材料を細粒化し、粒径幅の広い土工材料に粒度を改善する効果のあることが分かる。

3.2 混合試験

混合については、建設発生土の河床砂礫と粘性土を用い、湿潤土砂重量比で河床砂礫：粘性土 = 6:1 の割合で配合し、回転式破碎混合工法、バックホウ、コンクリートミキサ、手混ぜにより混合土を作成し、各種混合方式による混合性を比較した。この内、手混ぜは粘土塊を解きほぐして砂礫と均一に混合した基準の試料として取り扱った。なお、混合性の評価は、粘性土（粘土塊）が解きほぐされ、細粒化した粘性土が河床砂礫と均一に混合されていることとし、以下の粒度試験の方法で評価した。

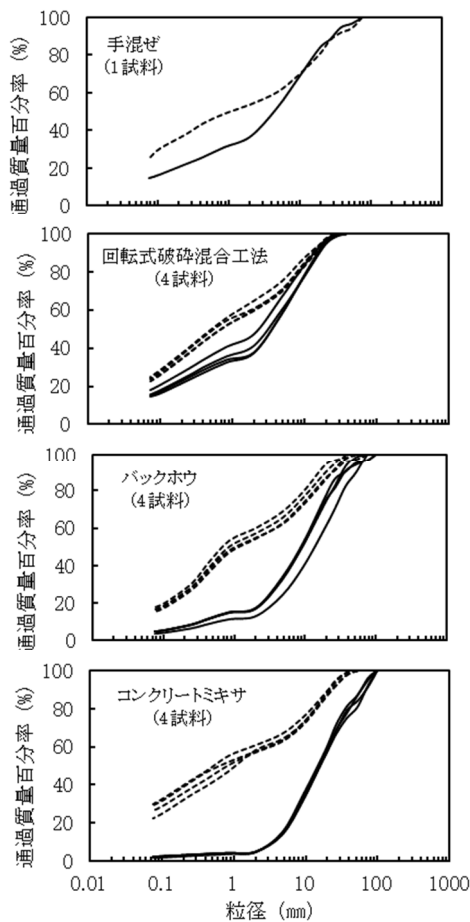
粒度試験は、各種混合方式により処理した混合土を炉乾燥し、一昼夜乾燥させた後に硬化した粘土塊を含む混合土の粒度を気中にてふるい分ける（以下、「気中法」と称する）。その後、地盤工学会基準に準拠する方法で標準網ふるい 0.075mm ふるいで粘土塊や細粒の材料を水で洗い流し（以下、「水洗い法」と称する）、ふるいに残留した試料を炉乾燥してふるい分けた。



第2図 コンクリートガラ、アスファルトガラ、岩塊、礫混じり土の破碎前後の粒度分布

この方法で行うことにより、同一の試料で粘土塊が含まれる見かけ上の粒度と、粘土塊を水で洗い流す JIS に準拠した二つの粒度を測定することができる。そして、この二つの粒度の差が小さいほど粘土塊が少なく均一な混合土として評価した

第 3 図に各種混合方式による粒度分布を示す。この結果から、気中法と水洗い法の粒度の差が小さい混合方法の順番は、手混ぜ ≤ 回転式破碎混合工法 < バックホウ < コンクリートミキサとなる。混合状況は、粒度の差の大きいバックホウおよびコンクリートミキサでは、時間と共に粘性土が捏ね返され塊状の粘土塊が多く発生する一方で、回転式破碎混合工法は粘性土が細粒化されると同時に河床砂礫を混合することで、捏ね返しの発生がなく手混ぜと同等の混合性を有することが分かる。



第 3 図 各種混合方式による粒度分布

4. 適用事例

これまでに回転式破碎混合工法は、低品質な建設発生土を従来の技術にはない破碎混合技術により高品質な盛土材料に改良してきた。以下に、そのままでは有効利用することが困難な粘性土を築堤土に改良した二つの事例を紹介する。

4.1 高含水比粘性土を築堤土に改良する現地試験施工

4.1.1 概要

北海道開発局 札幌開発建設部 千歳川河川事務所では遊水地整備事業において、大量に発生する高含水比の掘削粘性土(以下：粘性土という)を築堤土として利用している。ここでは、そのままでは利用が困難な粘性土を 1 年程度仮置き曝気乾燥して含水比を低下させ、砂を混合して粒度改良を行い築堤土としての施工性と品質を確保している。本試験施工では、粘性土を解きほぐし、砂との均質混合が可能な回転式破碎混合工法と高含水比、高粘性の材料を対象に開発した 1 軸粘性土供給機を採用した。掘削直後の粘性土と砂を混合して粒度改良し、粘性土の解きほぐしと砂との均質混合による曝気乾燥促進効果によって仮置期間を短縮し、併せて大規模施工による工期短縮を図る取り組みとして実施した現地試験施工である。

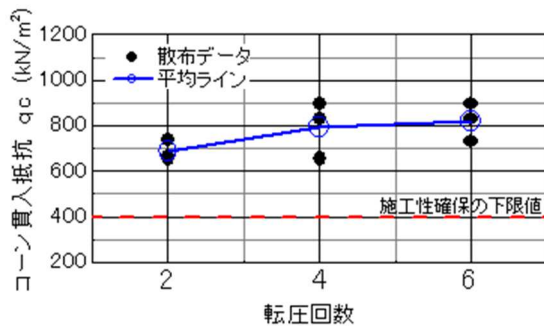
4.1.2 試験施工の概要

対象とする粘性土は、自然含水比 50% ~ 120%、細粒分含有率 85% ~ 100% の超湿地ブルドーザでもトラフィカビリティが得られない軟弱土である。試験施工は、軟弱土 1.0 に対して砂を容積比で 1.0, 1.4, 1.6 の 3 種類の割合で混合し、約 2 週間程度曝気乾燥して、その期間内に目標とするコーン貫入抵抗 $q_c = 400 \text{ kN/m}^2$ が得られる配合を選定して試験盛土を実施し、本工法の有用性を確認したものである。

4.1.3 試験施工の結果

曝気乾燥の結果、当然ながら砂の配合割合の高い攪拌土ほど曝気乾燥効果の高いことが認められ、粘性土 : 砂 = 1 : 1.6 の攪拌土が養生日数 7

日でコーン貫入抵抗 $q_c \geq 373 \text{ kN/m}^2$ と概ね目標コーン貫入抵抗値 $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ を得ることを確認し、この配合を試験盛土に採用した。試験盛土は、7t級ブルドーザにより転圧回数 2, 4, 6 回行い、転圧ごとのコーン貫入抵抗を確認した。第4図に転圧回数とコーン貫入抵抗の関係を示す。第4図から、2回転圧で目標のコーン貫入抵抗 $q_c \geq 600 \text{ kN/m}^2$ 程度と品質を十分確保する結果が得られた。この試験施工の結果から、回転式破碎混合工法を用いることで、安定的な築堤土の製造と仮置期間の短縮が図れる可能性のあることが明らかになった。写真3に適用プラントを示す。



第4図 転圧回数とコーン貫入抵抗の関係



写真3 適用プラント(1軸粘性土供給機)

4.2 葦地下茎混じり高含水比塊状粘性土の築堤土への改良施工

4.2.1 概要

国土交通省 関東地方整備局 利根川上流河川事務所管内では河川事業の推進にあたり、遊水地内の掘削発生粘土の内、葦の地下茎が多量に混入した高含水比の塊状粘性土を改良し、良質な堤防整備を行うための諸調査を行っている。この含水比の高い塊状粘性土を築堤土に有効利用するためには、粘土を解砕して(粘土と地下茎を分離)、地下茎を除去し、有機物を含まない土

砂とし、加えて含水比を低下させて築堤現場での施工性が確保できる、耐浸透性機能に優れた良質な築堤土に改良する必要がある。

そこで、地下茎が細断されない程度にチェーンを低速回転させて粘土を解砕する性能と、ホッパーから葦地下茎が混入した塊状の粘性土を安定的に供給できるように開発した2軸粘性土供給機を組み合わせたプラントを採用した。

土砂改良作業では、塊状粘性土を解砕して葦と粘性土に分離し、併設した分別機で地下茎と粘土を分級して地下茎を除去した。この時、解砕される粘土に少量の石灰を同時添加した。

上記の作業により、地下茎を除去、含水比を低下させ、作業性に優れた良質な築堤土に改良した。写真4に適用したプラントを示した。



写真4 適用プラント(2軸粘性土供給機)



写真5 分別除去された葦地下茎
(870m³/30,000m³改良)

4.2.2 施工結果

標記工法を適用した結果、掘削土に混入している葦の地下茎は、概ね9割程度除去できることが確認された。さらに、築堤作業時の施工性確保と築堤後の、のり面植生への影響を低減する目的で取り組んだ、石灰添加量の低減策については、葦地下茎塊状粘性土を掘削後に1ヶ月程度曝気乾燥して改良すると、効率的な含水比低下と、植生への影響低減に配慮した効率的な土砂改良ができることを確認し、当初計画と比べて石灰添加量を低減させるなどの成果が得られている。

5. おわりに

回転式破砕混合工法は、現場からの多様で難しい要求を伺いながら、改良を重ねてきた結果、幅広い建設発生土の改良が可能な総合土砂改良技術として活用され、普及が進んできている。

特に、東北大震災における、混入物を含む津波堆積土の改良や、各地の堤防整備事業、あるいは大規模な道路事業など、大量で難しい発生土の改良現場での活用事例が多い。

今後とも、現場からの多様な要望を伺いながら、トータルコストにも配慮しつつ、一層の品質向上・効率改善に向けた技術開発を進めて行きたいと考えているところである。

日本国土開発（株） 土木本部 機電部
TEL：046-285-3339 FAX：046-286-1642
E-mail：hiroshi.obata@n-kokudo.co.jp

【謝辞】

国土交通省 関東地方整備局 利根川上流河川事務所、および北海道開発局 札幌開発建設部 千歳川河川事務所の関係者の皆様には、試行錯誤の現地試験施工や学会への論文発表など多大なご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 角脇ほか、回転式破砕混合工法を用いた葦の地下茎が混入した塊状粘性土を良質な築堤土に改良する現地試験施工、土木学会大 68 回年次学術講演会、平成 25 年 9 月
- 2) 中島ほか、回転式破砕混合工法による高含水粘性土を築堤土に改良する現地試験施工について、土木学会第 67 回年次学術講演会、平成 24 年 9 月

【筆者紹介】

中島 典昭
日本国土開発（株） 土木本部 技術センター
TEL：046-285-3339 FAX：046-286-1642
E-mail：noriaki.nakajima@n-kokudo.co.jp

小幡 博志