

がれき混じり泥土の再生処理技術とその分別・改質特性

平嶋 裕・平石耕一・堀内晴生

1. はじめに

東日本大震災における津波被害によって約2,000万トンの災害廃棄物が発生するとともに、津波堆積物も約1,000万トン発生している。この津波堆積物には、海底底質に由来する粘土分を多く含む土砂が存在し、また、木片や金属片等のがれき分が混在していることから、これを震災復興用の盛土等の地盤材料として活用するためには、①がれき分の効率的な分別と、②細粒分が多い土を締固め特性に優れた再生土に改良することが課題となっている。

一方、鉄鋼の生産工程で副生する製鋼スラグを原料するカルシア改質材（石灰系粒度調整材）は、碎石状で締固めに適した粒度組成であるとともに、酸化カルシウム分（CaO：カルシア）を多く含むことから水と反応して固化する性質等を有する。その性質を利用し、港湾等から発生するヘドロ状の底質浚渫土と混合し、人工干潟や深掘り窪地埋戻しの造材材や埋立柱への適用が広がってきている。

本稿では、浚渫土と似た特性と考えられる津波堆積物に対して、回転式破碎混合機とカルシア改質材を用いて、復興用土工材料に分別・改質する検討を実施した結果について紹介する。

2. 高速回転式カルシア改質工法の概要

2.1 工法の概要

図-1に本工法の概要図を示す。本工法は、回転式破碎混合機によりがれき混じり泥土（以下、原土）

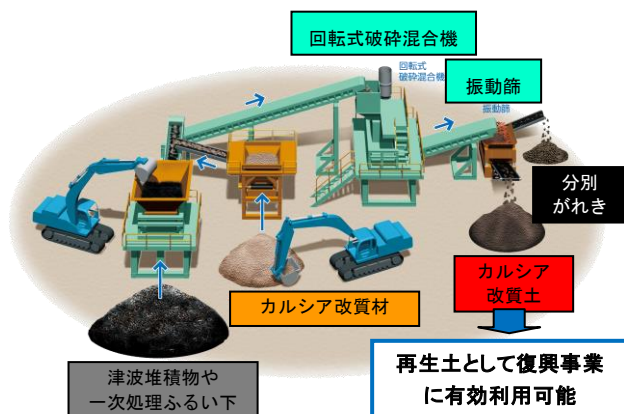


図-1 高速回転式カルシア改質工法の概要図

とする）とカルシア改質材（以下、改質材とする）を混合し、振動篩にてがれき（以下、分別がれきとする）とカルシア改質土（以下、改質土とする）に分別する工法である。

図-2に本工法にて分別・改質した一例を示す。がれきに付着した泥土は引き剥がされ、改質土に残存するがれきも木くず程度である。



図-2 がれき混じり泥土の分別・改質結果の一例

2.2 工法の特長

本工法が精度良くかつ効率的に分別・改質できる理由は、以下の特長を有しているためである。

①混入がれきの効率的な分別

回転式破碎混合機で混合することで、改質材の吸水効果（図-3）とサンドブラスト効果（図-4）により、がれきと泥土の分離と泥塊の破碎を促進。

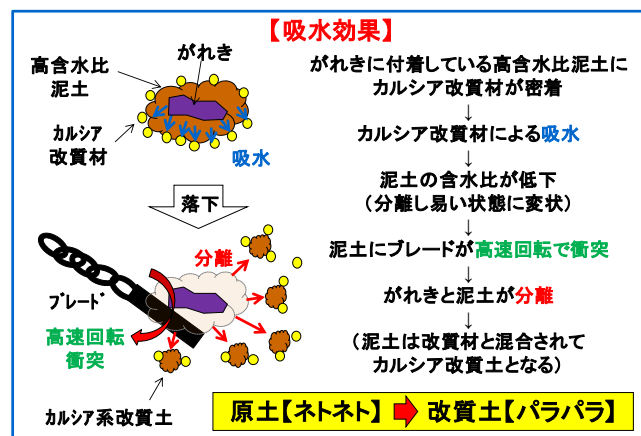


図-3 吸水効果のイメージ図

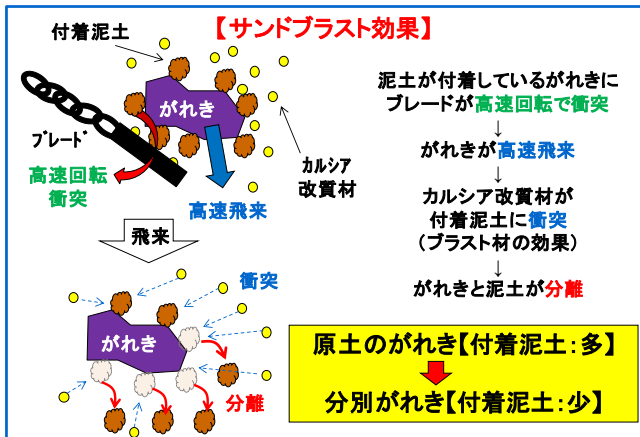


図-4 サンドブラスト効果のイメージ図

②泥土を迅速に良質な土工材料へ改質

泥土に低含水比の改質材を混合することで含水比を大幅に低減。加えて、改質材の粗粒分が混合されることで粒度分布が改善。

また、改質材は石灰分（CaO）を含有しているため、土粒子表面へのカルシウムイオンの吸着による団粒化と、可溶性カルシウム分のポズラン反応等による固化効果等（図-5）により、再泥化を防止し強度も増加。

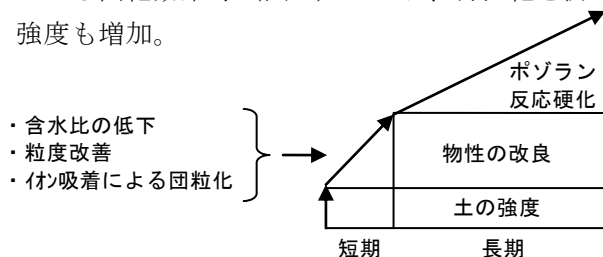


図-5 石灰の強度発現模式図（セメント系固化材による地盤改良マニュアル：（社）セメント協会より引用）

3. 試験概要

3.1 試験に用いた原土

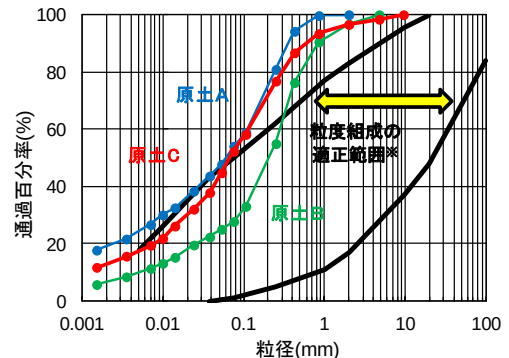
表-1に試験に用いた原土の物性、図-6に粒度分布を示す。試験には、農地で鋤取りされた原土A、

表-1 試験に用いた原土

物性項目	単位	原土A	原土B	原土C
湿潤密度	g/cm ³	1.708	1.817	1.615
含水比	%	40	31	34
土粒子密度	g/cm ³	2.654	2.662	2.701
細粒分含有率 (75μm未満)	%	54	28	52
砂分含有率 (75μm～2mm)	%	46	69	45
礫分含有率 (2mm超)	%	0	3	3
液性限界	%	56.5	45.0	47.3
塑性限界	%	26.5	25.4	22.8
原土の採取場所		農地	仮置場	分別土※

※分別土：トロンメル篩（篩目40mm）にて一次処理された篩下

仮置場に集積された原土B、トロンメル篩にて一次処理された原土Cの3種類を用いている。原土Aには農土が混入しているため、細粒分含有率が54%と高く、含水比も40%あり、ダンゴ状の泥塊状態（表-4参照）である。



※「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」（国土省：2012年3月）より引用

図-6 原土の粒径加積曲線

3.2 カルシウム改質材

表-2に改質材の物性、図-7に粒度分布を示す。改質材は環境安全品質を満足した石灰系の固化材に相当する材料である。CCS-5は篩目（標準20mm）を通すために粒径を約5mm以下に調整したものである。CCS-20～40の粒径は道路用鉄鋼スラグCS-20～40と同等である。

表-2 カルシウム改質材の種類と特性

製品	分別/改質併用	CCS-5
	改質用	CCS-20 CCS-30 CCS-40
化学成分	CaO含有量	30%以上（質量%）
特性	塩基度(CaO/SiO ₂)	1.5以上（質量比）
環境安全品質※	重金属8項目の溶出量/含有量	土壌汚染対策法の基準値以下

※JIS A 5015：2013「道路用鉄鋼スラグ」を準用

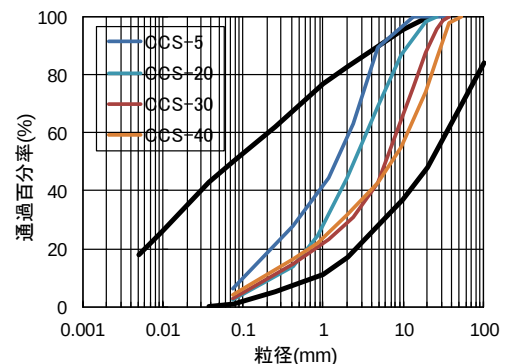


図-7 カルシウム改質材の粒径加積曲線の一例

3.3 確認手順と試験方法

表-3に試験ケースを示す。

分別性能の確認については、改質材混合の有無の2ケースを実施して、目視により改質土と分別がれきの出来形を比較した。

土研センター

表-3 性能確認試験ケース

試験	原土A	原土B
分別性能確認試験 (目視比較)	①改質材混合 ②原土のみ	—
改質性能 コーン試験 (改質材混合率 : 0~30%比較)	①CCS-5混合 ②CCS-30混合	①含水比31%(自然) ②含水比36%(加水) ③含水比40%(加水)
能 確 認 試 験	CBR試験 (改質材混合率 : 0~40%比較)	—
試験 盛土 (ϕ の確認)	CCS-30 30%混合	CCS-5 20%混合
試験盛土(施工性・ 安定性確認)	原土C ①CCS-5 30%混合 ②原土のみ	

改質性能の確認については、コーン試験、CBR試験、三軸圧縮試験と、試験盛土を築造して施工性と安定性の確認を実施した。

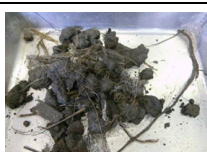
4. 試験結果

4.1 分別性能確認試験

表-4に原土A(農地堆積土)の分別状況を示す。改質材を30%混合して分別した結果、がれきは精度良く分別され、改質土も含水比が下がり粒度調整もされ、良質な土砂に再生されている。

原土のみで分別した結果は、多くの泥塊が篩上に残存し、篩下の土も泥土状の泥塊のままである。

表-4 原土Aの分別状況

原土A(農地堆積土) 含水比: 40% 細粒分含有率: 54% 砂分含有率: 46% 礫分含有率: 0%		
		
試験ケース	篩下	篩上
CCS-5 30% 混合	カルシア改質土	分別がれき
		
原土のみ	分別土(泥塊)	分別がれき(泥塊含)
		
(参考) 高炉 セメント 5% 混合	セメント改良土	分別がれき(泥塊含)
		

参考までに実施した一般的な土質改良工法であるセメント混合では、原土のみよりは改善されるもの

の、泥塊が篩上に残存し、篩下のセメント改良土も含水比が高く握るとダンゴ状になる。

4.2 改質性能確認試験

4.2.1 コーン試験

図-8、図-9にコーン試験結果を示す。図-8より含水比と細粒分含有率がともに高い原土Aについても、改質材の混合率30%(本工法の標準配合)にてコーン指数が800kN/m²以上(第2種建設発生土)に改質されていることがわかる。

また、図-9よりコーン指数は、コーン指数の影響因子の一つとして考えられる含水比と高い相関関係があることが確認できる。

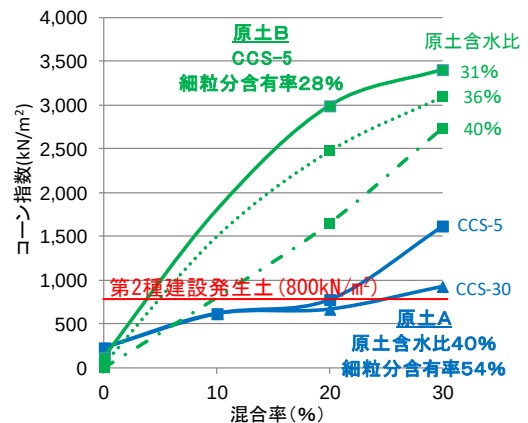


図-8 コーン指数と改質材混合率の関係

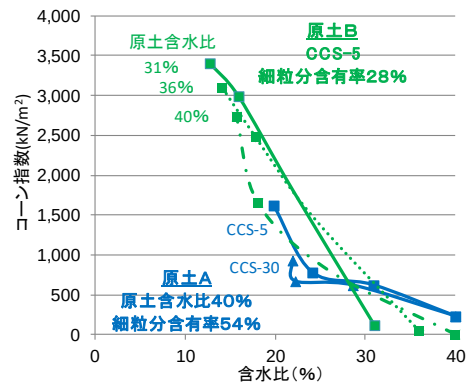


図-9 コーン指数と含水比の関係

4.2.2 CBR試験

図-10に自然含水比によるCBR試験結果を示す。改質材の混合率20%以上にて、CBRが3%以上(路床最低値)に改質されていることがわかる。

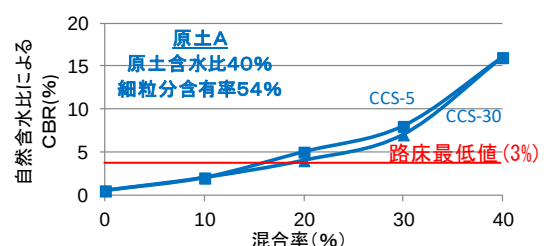


図-10 CBRと改質材混合率の関係

4.2.3 三軸圧縮試験

表-5に三軸圧縮試験結果を示す。改質材の混合率20%～30%にて、せん断抵抗角 ϕ が良質砂と同等の 35° に改質されていることがわかる。

表-5 三軸CD試験結果（圧密排水）

	単位	原土A-CCS-30	原土B-CCS-5
せん断抵抗角 ϕ_d	$^\circ$	34.8	39.6
粘着力 c_d	kN/m ²	25.0	62.2
混合率	%	30	20
締固め度	%	95	

4.3 試験盛土による施工性と安定性の確認

原土Cを用いた改質材有無の2ケースの試験盛土を、幅5m×奥行き5m×高さ1mで築造した。図-11に試験盛土の築造状況を示す。

施工性については、2ケースともに特殊な建設機械を用いることなくバックホーにて築造でき、築造時のコーン指数も2,000kN/m²程度あり良好に締め固まることが確認できた。

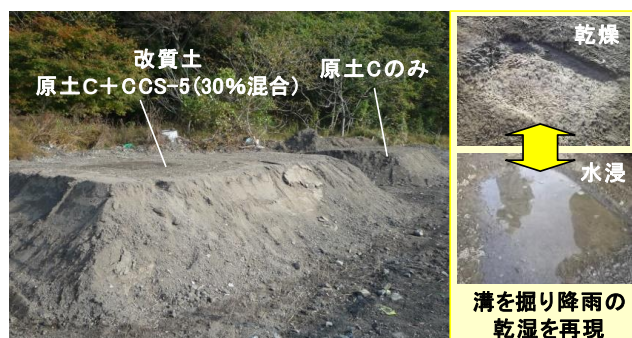


図-11 試験盛土の築造状況¹⁾

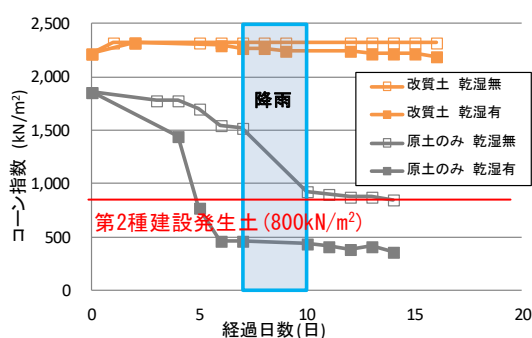


図-12 乾湿繰返しと降雨によるコーン指数変化¹⁾

安定性については、40cm×20cm×深さ2cmの水溜めの溝を掘り、1回/日の乾湿繰返しと降雨による強度変化をコーン試験にて確認した。図-12に試験結果を示す。

原土のみケースは、乾湿による粉化と降雨による再泥化により強度低下しているが、改質土ケースは強度低下せず安定していることが確認できた。

5. まとめ

回転式破碎混合機とカルシア改質材を用いて、津波堆積物を復興用土工材料に分別・改質する検討を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 本工法は、細粒分含有率と含水比が高い津波堆積物でも精度良い分別と改質ができる。
- (2) 改質土は、粒度改善と含水比低下により良好な締固め性能を有し、コーン指数800kN/m²以上（第2種建設発生土）、CBR3%以上、せん断抵抗角 35° 以上の強度を有している。
- (3) 改質土は、降雨による再泥化が生じにくい安定した材料であり、防潮堤や道路等の盛土材料、地盤の嵩上げ材料等の復興用土工材料に有効利用できる。

本工法は、建設技術審査証明（建技審証 第1305号）を2013年8月に取得している。また、カルシア改質材は、津波堆積物のみでなく浚渫土（海域）、建設残土や農地泥土（陸域）の改質にも有効であり、今後の適用の広がりを期待している。

謝 辞

本検討にご協力いただきました関係者皆様に深謝するとともに、早期復興をお祈りします。

参考文献

- 1) 赤司有三他：カルスピン工法によるがれき混じり津波堆積土の利用技術、公社）地盤工学会、第10回環境地盤工学シンポジウム、2013.9

平嶋 裕



新日鐵住金(株)スラグ・セメント
事業推進部市場開拓室 主幹
Yutaka HIRASHIMA

平石耕一



新日鐵住金エンジニアリング(株)
環境修復推進部 シニアマネージャー
Kohichi HIRAISHI

堀内晴生



(一財)土木研究センター技術研究所
地盤・施工研究部次長
Haruki HORIUCHI