

発生土原位置再利用工法

Execution System for Recycle of Excavated Soil

川原田秋彦 シビルエンジニアリング 第二プロジェクト室 室長
山本 行範 シビルエンジニアリング 第二プロジェクト室 主査
安部 大志 シビルエンジニアリング 第二プロジェクト室 統括スタッフ
鈴木 操 基盤技術研究所 都市工学研究部 主任研究員
杉本 格 日本鋼管工事㈱ 土木本部 計画設計部 設計室 室長
浦本 俊明 日本鋼管工事㈱ 研究開発部 次長

Akihiko Kawaharada
Yukinori Yamamoto
Futoshi Abe
Misao Suzuki
Itaru Sugimoto
Toshiaki Uramoto

発生土の原位置再利用を可能とする施工システムを確立した。本工法は、現地で発生土の土塊を残した状態で水および固化材と混合してスラリー化安定処理土を製造し、打設する工法である。この製造方法により、発生土利用率 **70%**以上を可能とした。また、施工上の特徴として、小規模工事に適するように、処理土の製造、打設にコンクリートアジテータ車を用いた施工システムを採用した。この結果、掘削位置での土の処理、再利用が可能で、**1日あたり 70m³/台**程度の施工性を有する工法を実用化した。

Execution system for using excavated soil at the original place is established. This system is to mix soil, water and cement and pour the mixture with clods. Therefore, it is possible to use more than 70% of excavated soil. Further, this system applies sand-bag to shoot soil and agitator truck to mix and pour the mixture. Consequently, it was enabled to mix and pour the mixture at the original place and execute 70m³ of the mixture per day.

1. はじめに

建設発生土の再利用工法の一つとして、スラリー化安定処理工法(流動化埋戻し工法を含む)がある。この工法は、土砂と固化材および水を混練装置により均一に混合処理して埋戻し土などに利用するものであり、おもに定置式の装置を使用し、共同溝などの大規模工事に適用されている。しかし、配管埋設などの小規模工事では、用地確保や経済性の問題により普及が進んでいないのが実情であり、特に土砂が発生した位置での実績は、ほとんど皆無であると思われる。このため、小規模工事にも適用可能な低コスト型の施工システムの開発が望まれている。

このような背景から、スラリー化安定処理による発生土の現地での再利用を目的とした、効率のかつ経済的な施工システムを確立した。以下にその概要を紹介する。

2. 従来工法の問題点および開発目標

従来のスラリー化安定処理工法は、処理の過程において土塊を細粒化し、礫などを取り除いた上で水および固化材と均一化に混合する必要がある。このため、土砂の再利用率が **30~50%**程度と低く、さらに、専用の混練装置を使用するために、施工数量が少ない場合、施工コストに占める装置の比率が高く、他工法に対して経済性が劣る結果になっている。また、土砂の発生位置での適用に対しては、装置と材料の仮置きのための広いスペースが必要であり、

さらに、均一な処理を行うための前処理により、施工効率の低下が避けられなかった。したがって、施工用地、施工効率の面からも小規模工事への適用は非常に困難であった。

以上の問題点を解決するために、以下に示す具体的目標を設定し、本工法の開発にあたった。

- (1) 発生土の利用率：**70%**以上
- (2) 処理方法：土の細粒化、均一化不要(専用設備不要)
- (3) 処理能力：大量処理(**5m³/20分**)
- (4) 全体施工システム：高効率化(**10m³/時間**)
- (5) 施工コスト：定置式プラントの **1/2~1/3**

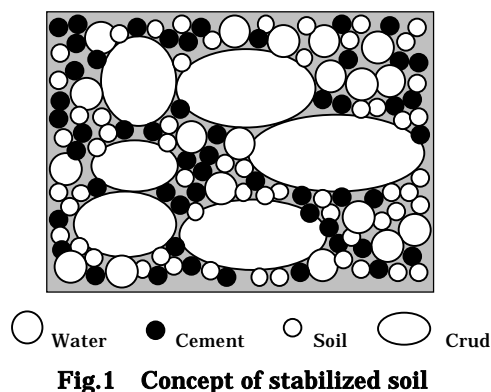
3. 安定化処理土の特性

3.1 処理土の基本思想

本工法における処理土の基本思想は、掘削前の地山を形成していた土の強度を活かし、掘削によってほぐされた土塊同士を固化材で結びつけ、地山と同程度の強度にすることである。この思想によれば、**Fig.1** に示すように原料となる発生土は土粒子まで細粒化されず、土塊の状態のままスラリー中に残留する。したがって、固化材の固化反応が土の化学的成分の影響を受け難くなり、固化材の選定や配合が容易になる。また、スラリーに溶け込む土の微粒分が減少するため、少量の水でも流動性に優れ、処理土に占める発生土の割合を多くすることができる。

以上のように、処理土は地山の強度特性を、ほとんどそのまま継承するため、掘削前が有用な地山であれば、発生

した土砂は原則として、どのような種類の土砂でも利用することができ、また、土砂の中に多少の礫、ガラなどであっても、埋設物などへの悪影響がなければ、そのまま利用することができる。さらに、一度使用されたスラリー化安定処理土についても、同様に再利用することができる。



3.2 処理土の工学的特性

3.2.1 強度特性

(1) 一軸圧縮強さ

本処理土の一軸圧縮強さは、通常のスラリー化安定処理土と同様、固化材量が増加するにしたがって大きくなるが、発生土の種類により、同じ固化材量でも一軸圧縮強さは大きく異なる。**Table 1** に配合例を、また、**Fig.2** に一軸圧縮強さと本処理土 1m^3 中の固化材質量との関係を示す。

土砂が細粒土の場合、一軸圧縮強さは固化材量の増加にしたがい大きくなる傾向を示し、固化材量が 120kg/m^3 程度以上で一軸圧縮強さと固化材量との関係がほぼ直線となる。一方、粗粒土の場合、一軸圧縮強さは固化材量 100kg/m^3 以下ではほぼ一定であり、固化材量が 100kg/m^3 を越えると急激に増加し、直線的となる。

本配合例での土砂の利用率(処理土中の質量百分率)は、細粒土で $52\sim 70\%$ 、粗粒土で $74\sim 79\%$ である。このうち、強度が一般的な地盤より高い No.4, 5, 8 および低い No.1

Table 1 Mixing design

No.	Description of soil	Mixing design (kg)			Unconfined compressive strength (kN/m ²)	
		Soil	Cement	Water	7 days	28days
1	Volcanic cohesive soil	941	120	299	64	90
2	Volcanic cohesive soil	979	150	262	153	206
3	Volcanic cohesive soil	902	200	300	220	368
4	Volcanic cohesive soil	773	250	376	435	615
5	Silt	740	225	450	882	921
6	Cohesive soil	910	163	327	157	167
7	Sand	1400	100	400	127	157
8	Sand	1400	140	350	666	1254
9	Sand	1490	68	340	119	158
10	Sandy soil	1370	60	425	137	157

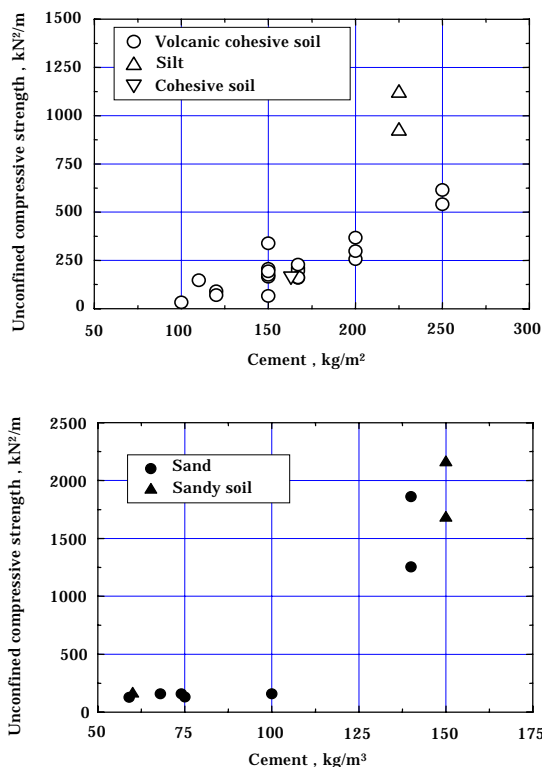


Fig.2 Unconfined compressive strength

を除いた場合、利用率は細粒土で $65\sim 70\%$ 、粗粒土で $74\sim 79\%$ となる。したがって、本工法を用いて原地盤程度の強度を前提に埋戻しを行う場合、細粒土で 70% 、粗粒土で 80% 程度の再利用が可能となる。

なお、本工法では土塊を残した状態でスラリー化するため、土砂に含まれる水分の大半は土塊に取り込まれたままの状態である。このため、配合計算で土砂中の水分を考慮する必要がなく、配合決定プロセスが容易である。

(2) 支持力特性

支持力の評価指標として **CBR** 値を用いる。粗粒土を対象とした **CBR** 値と固化材量との関係を **Fig.3** に示す。

CBR 値は一軸圧縮強さと同様の傾向を示し、固化材量 100kg/m^3 以下ではほぼ一定であり、 100kg/m^3 を越えると急激に増加する。

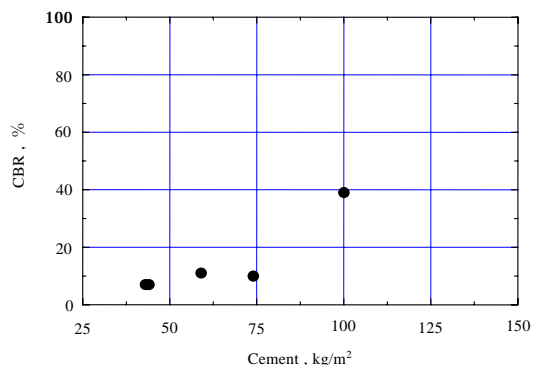


Fig.3 CBR

(3) 流動性

処理土の流動性は、狭隘部の充填性、施工性などに影響する。流動性の評価指標は、本処理土に含まれる土塊の影響を排除するため、スランプコーンによるスランプフロー値とした。ただし、粗粒土のように土塊となりにくい土砂の場合は、ミニスランプコーンにより評価した。**Fig.4** にスランプフロー値と土砂量の関係を示す。また、**Fig.5** にスランプフロー値と水量の関係を示すが、スランプフロー値と土砂量および水量とは、ほぼ直線的な関係を示す。

なお、別途検討により、スランプフロー値 **350mm** 以上、また、ミニスランプフロー値 **200mm** 以上で、直径 **1m** 以下の管下への充填が可能との結果を得ている。

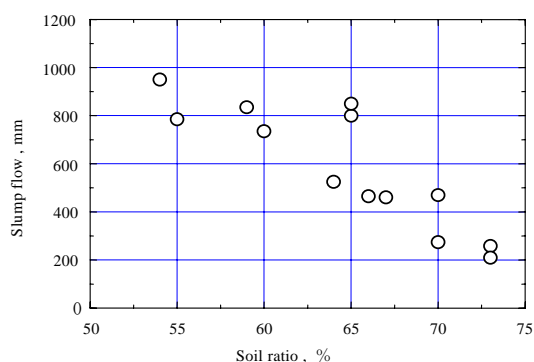


Fig.4 Slump flow - soil ratio

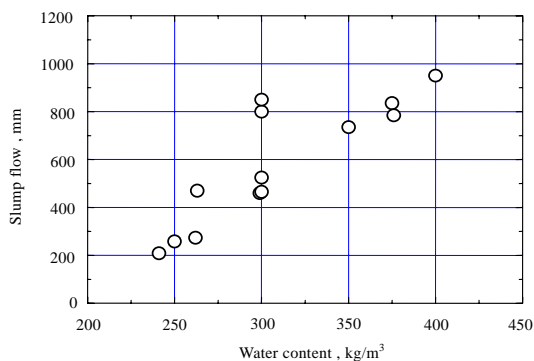


Fig.5 Slump flow - water content

(4) その他の工学的特性

処理土の耐久性、および、処理土中の土塊が強度、支持力特性に与える影響については、古本らが検討を行っている。

古本らによれば¹⁾、耐久性の評価を繰り返し載過試験により行い、荷重、載荷回数に関わらず良質砂質土と同等以上の耐久性を有することを示している。

また、土塊の処理土に対する影響は、土塊の重量含有率および径をパラメータとして、土塊を含まない一般的なスラリー化安定処理土のケースとの比較試験で確認を行っている。その結果、含有率 **50%** 以下であれば土塊の径に関わらず、一般的な処理土と同等の強度、支持力特性を有することを示している。

4. 施工システム

4.1 施工法の概要

通常のスラリー化安定処理工法では、混合設備として土塊を均一に細粒化可能な専用ミキサーを用い、処理土の打設はスラリーポンプなどを使用するケースが一般的である。また、土砂の投入に際しては、土砂ホッパーやコンベヤなどを用い、さらに、処理土から礫分やガラなどを取り除くため、前処理としてふるい分けを行うことも必要である。

これに対し本工法の特徴は、**Fig.6** に示すように処理土の製造および打設にコンクリートアジテータ車を用い、また、アジテータ車への土砂、固化材の投入にサンドバッグを用いることである。アジテータ車の採用により、**1** バッチあたりの施工量が最大 **6m³** となり、専用ミキサーに対して **3~6** 倍の能力となる。さらに、土砂投入時にふるい分けが不要なこと、打設をアジテータ車で行うことにより、施工時間の更なる短縮を可能とした。

4.2 施工フロー

以下に施工手順を示す。

【事前作業】

- (1) 原位置土を用い、事前配合試験を行う。
- (2) 別途工事として埋戻し範囲の掘削を行う。
- (3) 工事場所への機材搬入、貯水、土砂計量などの準備作業を行う。

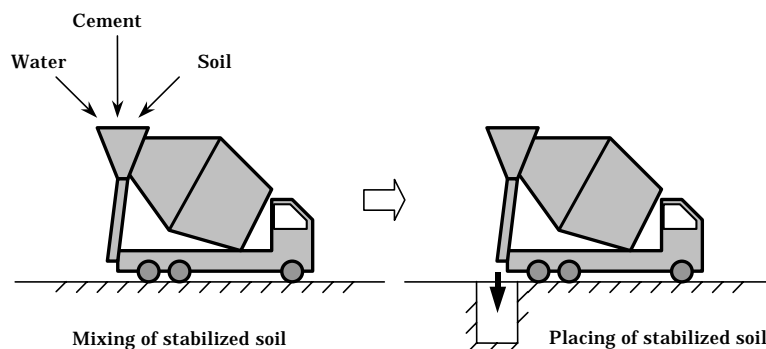


Fig.6 Concept of construction

【処理土製造・打設作業】

- (4) アジテータ車への給水を行う。
- (5) バックホウによりサンドバッグへ土砂を投入後、サンドバッグによるアジテータ車への土砂・固化材投入を行う。また、並行してアジテータ車のドラムを回転させ、処理土の混合を行う。なお、固化材の投入はフレコンバッグによっても可能である。
- (6) ドラムを高速回転させ、処理土の最終混合を行った後、処理土の打設を行う。
- (7) (4)～(6)の作業を必要バッチ繰り返す。

【後片付け】

- (8) アジテータ車の洗浄、機材の片付け、搬出を行う。

4.3 品質管理

処理土の品質管理は以下にしたがって実施する。

(1) 数量管理

土砂数量については、バックホウからサンドバッグへの投入回数で管理を行う。バケット 1 杯あたりの土量はあらかじめ計量を行う。

(2) 混合・運搬・打設管理

処理土の硬化、分離を避けるため、混合および運搬時は、常時ドラムを低速で回転させる。混合時間は土砂の投入時間を除き、1 分以上とする。

(3) 配合管理

材料の使用量、処理土の特性が配合設計通りであることを確認するため、バッチ単位で管理する。また、フロー値などが設計値と著しく異なる場合には、配合の変更を行う。配合変更は、土砂利用率をパラメータとした配合表にしたがって行う。

(4) 品質管理

流動性は打設時にスランプフロー値を測定し管理する。強度については、一軸圧縮試験および CBR 試験にて管理する。また、施工時の強度管理が必要な場合には、コーンペネトロメータを用いた貫入試験を行う。

5. 現場適用事例

5.1 工事概要

高架道路の橋脚基礎周囲の埋戻し工事に対して本工法を適用した。Fig.7 に工事概要を示す。橋脚は非常に交通量の多い道路に隣接しており、橋脚基礎部と埋戻し部の一部は、工事完了後は隣接道路下に位置する。また、橋脚の三方は、一部後施工を含む擁壁により囲まれており、掘削は、ライナープレート土留壁として行った。このような立地条件により、埋戻し土の特性として、隣接道路側のみから施工可能な流動性を有すること、また、埋戻し後に道路路床、擁壁基礎として十分な強度、支持力および耐久性を有することが要求され、前章に示す工学的特性を持つ本工法を採用した。

5.2 施工概要

施工手順は前章の施工フローに準拠した。また、処理土の配合を Table 2 に示す。なお、処理土の品質管理はスランプフロー値および一軸圧縮強さによって行った。

Table 2 Mixing design

			Unit : kg
Soil	Water	Cement	Remarks
980	263	150	Rapid-hardening portland cement

5.3 施工結果

5.3.1 施工状況

Photo 1 に工事状況を示す。土砂中には、コンクリートガラなどが混入していた。大径のガラは排除して土砂の投入を行ったが、最大で 20cm を超えるものも結果的に投入、混合された。しかし、このような状況下でも作業、品質に支障なく混合、打設され、本工法の汎用性の高さが実証された。また、一方向からの打設にも関わらず、処理土は橋脚周囲に均等に打設され、流動性は良好であった。

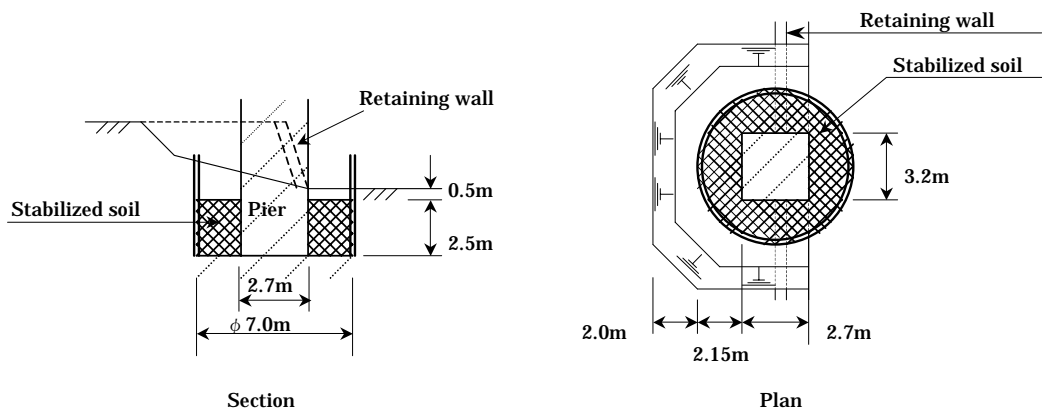


Fig.7 Conditions of construction



Photo 1 Construction

5.3.2 処理土の物性値

Table 3 に一軸圧縮強さ、スランプフロー値を示す。スランプフロー値は 420～680mm であり、数値からも流動性が良好であることが確認された。

Table 3 Result of performance test

q _u (kN/m ²)		Slump flow (mm)	Remarks
7-days	28-days		
1120	1680	420～680	q _u : Unconfined compressive strength

5.3.3 施工能率

Table 4 に本工事における 1 バッチあたりの平均施工サイクルタイムを示す。1 バッチの施工時間は 35 分であり、1 日あたりでは、実働時間を 7 時間とした場合、約 70m³の施工が可能である。また、表中、土砂の投入時間が 20 分と突出しているが、サンドバッグの材質に起因する耐久性の問題で、1 回あたりの投入量をバッグ容量の半分程度に抑制したためである。今後、バッグの材質改良により、投入時間は短縮可能である。

Table 4 Cycle time of construction (min.)

Item	Water supply	Soil shooting	Mixing	Pouring	Others	Sum.
Time	4	20	1	5	5	35

6. おわりに

以上のように、本工法は建設工事で発生する掘削土を、既存の設備、材料を利用し、現地で簡易にかつ効率的に再利用できる工法である。本工法は、従来工法が処理土をより均一な性状にすることに目標を置いたことに対し、地山が持つ特性を極力活かすという逆転の発想に着眼した。この発想のもと、より簡易な、また、既存設備を使用するなどの手段により、高効率かつ低コストを実現し、さらに、発生土利用率を飛躍的に向上させることに成功した。

参考文献

- 1) 古本一司ほか. “小規模対応型流動化処理工法を用いた地中構造物埋戻し技術の開発”. 土木技術資料. Vol.42, No.10, 2000年 10月, pp.54-59.

<問い合わせ先>

シビルエンジニアリング部 第二プロジェクト室

Tel. 045 (505) 7717 安部 大志

E-mail address : abef@eng.tsurumi.nkk.co.jp