研究論文

環境に配慮した中性無機改良材による 泥水シールド発生土のリサイクル —改良土の品質管理法—

竹内雄三*・石徳博行**・丸山俊朗***・瀬崎満弘***

要 旨

建設汚泥として取り扱われている泥水シールド工法を用いたトンネルの発生土の多くは、産業廃棄物として処分されている。これを有効利用する方策として個別指定制度があり、都道府県知事の許可によりリサイクルが可能となる。掘進対象地盤によって発生土の性状は著しく変化する。このような性状が変わる発生土に対応して一次処理土と二次処理土の混合比率と改良材の量と配合を変えることで、制度の提示する条件を満たす改良土を製造することができる。本論文では、泥水シールド工事において中性無機改良材を使用した施工データを収集・解析し、所定の性状を確保するための品質管理手法を明らかにした。

キーワード：中性無機改良材，泥水シールド発生土，発生土改良，リサイクル

1. はじめに

泥水シールド工法は、掘削に伴う周辺地盤の変位が小さく、水密性の高いトンネルを構築する工法として都市部の道路、鉄道、上下水道等のトンネル建設に多用され、この発生土は一次処理土と二次処理土(後述)に分離され、泥水シールド発生土として処理されている。泥水シールド発生土は、廃棄物の清掃と処理に関する法律において産業廃棄物の建設汚泥として分類されていて、取扱いが厳格に規制され、多くの場合に産業廃棄物として処理・処分されているが、処分場の確保が困難になってきている。

しかし、このような状況下で建設汚泥を有効利用する方策として個別指定制度がある。

この制度は知事の指定する条件を満足すれば、産業廃棄物処分業の許可なしにリサイクルすることが可能となる制度である。

これまで泥水シールド発生土のリサイクルは、道路路体や高規格堤防堤体への利用例がある¹⁾が、何れも

セメント・石灰系の改良材を用いた改良土である。この改良土は、改良土の強度発現に時間を要すること、さらにアルカリ性の浸出水対策として地表面から1.5 m以上の厚さで普通土の覆土を要すること等が必要であり、その用途に制約があること等の問題があった。そのため、土地区画整理などの盛土造成に用いられた例は見られない²⁾。

諸外国においては、軟弱地盤中にトンネルを計画する例が少なく、我国特有の泥水シールド工法を用いた例はほとんど見られておらず、発生土の処分に関する研究は見あたらない。しかし、最近アジア地域の河口付近の大都市の基盤整備に活用を検討している例があり、発生土のリサイクルについても関心が持たれてくると考えられる。

泥水シールド工法によるトンネル建設の有用性と発生土の処分場不足の逼迫した状況を鑑みれば、諸問題を解決できる汎用性の高い改良土を製造するための改良材とその施工管理方法の開発が急務である。

日本鉄道建設公団(現(独)鉄道建設・運輸施設整

*小野田ケミコ(株)技術設計部 Yuzo TAKEUCHI

** (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構九州新幹線建設局 Hiroyuki ISHITOKU

***宮崎大学工学部土木環境工学科 Toshiro MARUYAMA, Mitsuhiro SEZAKI

受付日2004年2月16日

受理日2004年4月27日

備支援機構)は、埼玉県の個別指定を受けて、その条件に適合する中性無機改良材を開発して、埼玉高速鉄道線泥水シールド工事を施工し、発生土の改良に関する貴重なデータを蓄積した。

泥水シールド発生土の改良に求められる要件は、トンネルの掘進にともなって地盤が変化しても、力学的に安定した改良土を製造し、しかも改良土の環境安全性が高いことである。しかし、一連の工事が試行錯誤的に進められて大量のデータが蓄積されているものの、改良土の品質管理手法は確立されておらず、また、環境影響評価が十分になされたとは言い難い。

そこで、本研究では、すでに蓄積されている泥水シールドトンネルの施工管理において通常測定される計測項目の測定値、改良材添加量および改良土の品質データ等から改良土の品質管理手法を確立することを目的とした。

2. 泥水シールド発生土を改良するための品質管理法

2.1 改良土の満足すべき条件とリサイクル

個別指定の適用を受けるためには、発生場所、発生時期、発生量、発生土の性状、改良方法(改良材の性状、改良方法、品質管理方法)、改良土の性状、利用場所、利用時期、利用量、数量確認方法を明らかにし、改良土としての条件を満足する必要がある。

当該工事における改良土の性状に関する埼玉県個別指定条件³⁾は次に示すとおりである。

用途：土地区画整理等の盛土に利用できること。

強度：コーン指数400kN/㎡以上。

含水比：50%以下。

浸出水のpH：5.8～8.6。

安全性：土壤汚染に係わる環境基準に定める有害物質を含まないこと。

上記のコーン指数および含水比は、改良土を盛土造成地に搬入した時点の値である。また、改良土のコーン指数の測定は「締固めた土のコーン指数試験方法」(JISA1228)⁴⁾、突固め方法は「突固めによる土の締固め試験」(JISA1210)⁵⁾、含水比の測定は「土の含水比試験」(JISA1203)⁶⁾によった。

当該プロジェクトにおける泥水シールド発生土は、個別指定条件を満足する改良土に改質され、車両基地造成、土地区画整理、工業団地造成、公園造成の盛土材料として13ヵ所の受入先に発生土量の大部分の約

500,000㎡がリサイクルされた⁷⁾。平成13年3月に全ての工事が終了したが、今日までトラブルは全く見られない。

2.2 改良土の製造方法と強度発現特性

2.2.1 泥水シールド発生土

泥水シールド発生土は、排泥として泥水とともに排出され、振動篩により礫・砂分が分離されて一次処理土として排出される。礫・砂分が分離された残りの泥水は液体サイクロンにより粒径75μm以上の細砂と粒径75μm以下の土粒子を含む泥水に分離される。この泥水は比重調整の後に再び送泥としてシールド機に送られて利用されるが、余剰となった送泥されない残りの泥水は高圧ポンプによりフィルタープレスに送られて脱水され、二次処理土として脱水ケーキが排出される。また、粒径75μm以上の細砂は一次処理土として排出される。

2.2.2 発生土の性状

泥水シールドより発生する土は、一次処理土と二次処理土に分離して排出される。149データ分の両処理土の計測で得られたpH、コーン指数および含水比の実績値の平均値と範囲を表1に示す。また、表2に一次処理土と二次処理土の粒度組成を示す。

一次処理土は、礫・砂分を主体とする緩い砂質土であるが、礫・砂粒子表面に付着した泥水(粒径75μm以下の細粒分を含む)を多く含む。そのため、含水比は23～43%で砂質土としては大きく、コーン指数は30～340kN/㎡で小さい値を示すという特徴がある。

二次処理土は液体サイクロンで分級された大部分が

表1 一次処理土と二次処理土の実績値(測定数n:149)

	一次処理土	二次処理土
pH	8.5 (6.6～9.8)	8.9 (6.8～10.4)
コーン指数 (kN/㎡)	134 (30～340)	932 (580～1,300)
含水比 (%)	32.8 (22.9～42.6)	42.2 (31.7～53.6)

表2 一次処理土と二次処理土の粒度組成

	粒径 (mm)	一次処理土	二次処理土
粘土	0.005以下	4%	45%
シルト	0.005～0.075	12%	52%
細砂	0.075～0.25	37%	3%
中砂	0.25～0.85	29%	—
粗砂	0.85～2.00	6%	—
細礫	2.00～4.75	12%	—

粒径75 μm 以下の細粒分で構成され、その含水比は、フィルタープレスにより脱水されるために32～54%で粘性土としては小さく、ケーキ生成時のコーン指数(q_{cn})は580～1,300 kN/m^2 と大きな値である。また、液性限界52%、塑性限界30%、塑性指数22%程度である。さらに図-1に示すように脱水ケーキを解砕したもののコーン指数(q_{cr})は、ケーキそのもの(q_{cn})の1/3～1/5に減少する性質を示す^{8, 9)}。

そのため、脱水ケーキの状態のままではブルドーザ等で解砕されて、盛土造成に必要なコーン指数の値が不足したり、降雨時には泥濘化することが懸念される。したがって、盛土材料として必要な性状にするためには、これを改良する必要がある。

発生土のpHは、平均値でのおおの8.5および8.9の弱アルカリ性を示している。これはシールド掘進と同時にシールド機内で実施するセグメント背面へのアルカリ材料を含む裏込注入材料が影響しているためと考えられる。

2.2.3 改良材の性状

使用した中性無機改良材は、アルカリ性のA液と酸性のB液および中性の粉体の2液1粉体で構成するものである。A液とB液を混合すると短時間にゲル化して硬化が進行し、硬化時に発熱はない。改良材の成分、真比重およびpHを表3に、所定の配合時の化学成分分析結果を表4に示す。なお、土壌汚染に係わる環境基準に定める有害物質は検出されていない。

A液は、珪酸ナトリウム液(JIS-K-1408珪酸ナトリウム3号、モル比： $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 3.1 \sim 3.3$)と珪酸カリウム液(珪酸カリウム、モル比： $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O} = 1.8 \sim 2.2$)を重量比5：3の割合に、B液は、燐酸液(75%りん酸2号)と硫酸アルミニウム液(JIS-K-1459水

表3 中性無機改良材の構成

名称	成分	真比重	pH
A液	珪酸ナトリウム、珪酸カリウム	約1.40	約13
B液	燐酸、硫酸アルミニウム	約1.40	約2
粉体	焼結石膏、炭酸カルシウム	約2.60	約7

表4 中性無機改良材の成分含有量
(配合がA液7.5L、B液2.5L、粉体20kgの場合)

項目	計量値	項目	計量値
pH (25℃)	7.5	Ca (wt%)	13
Al (wt%)	0.23	SO_4 (wt%)	20
Na (wt%)	6.0	PO_4 (wt%)	0.019
K (wt%)	1.3	T-Si (wt%)	14

道用硫酸アルミニウム、8%液)を重量比5：4の割合に混合したものである。粉体は焼結石膏粉末(JIS-R-9111陶磁器型材用せっこう)と炭酸カルシウム粉末(JIS-K-8617炭酸カルシウム)を重量比7：3の割合に混合したものである¹⁰⁾。

A液とB液を3：1の比率で混合すると混合液のpHが約7となり、発生土のpHによってはA液とB液の比率を変化させることによって改良土のpHを調整することが可能である。

中性無機改良材の化学反応は急速である。固化のメカニズムは、複雑で必ずしも明らかではないが、次のようであると推定している。

[成分]

A液：珪酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)、
珪酸カリウム ($\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)

B液：硫酸アルミニウム ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)、燐酸 (H_3PO_4)
粉体：炭酸カルシウム (CaCO_3)、焼結石膏 (CaSO_4)

[反応形態]

↓

上記に示すように、各成分が土粒子の水分と反応し、不溶性のゲルと一部結晶水を持つ粉体(石膏)を形成すると同時にアルミナシリカゲルを形成する。炭酸カ

図-1 二次処理土のコーン指数の関係

ルシウムは、A液と反応し一部が珪酸カルシウムおよび炭酸ガスとなり、残余は反応せずに吸水作用のみを行う。

2.2.4 改良土の製造方法

泥水シールドの現場において、振動篩から排出される一次処理土とフィルタープレスから排出される二次処理土を、それぞれ隣接する土砂ピットに貯留し、1台のバックホウ（バケット容量0.5m³）によりそれぞれの排出量の比率に応じて土砂ホッパに供給する。土砂ホッパからスクリーンコンベヤにより二軸パドルミキサに供給され、発生土を連続的に混練して送り出すとともに、途中に設けた3カ所の改良材供給口からA液・B液・粉体の順に添加する。改良材は、液体は可変容量ポンプ、粉体はスクリーンコンベヤによって連続的に添加される。改良材量の制御は、可変容量ポンプとスクリーンコンベヤの回転数を変化させることにより、設定された発生土1m³あたりの添加量が供給される。二軸パドルミキサから排出された改良土はベルトコンベヤにより改良土ピットに運搬される。図-2に泥水シールド現場における改良土の製造フローを示す。

現場に設けた試験室においては、100ℓ強制練りミキサにより所定の割合の発生土を1分間混練して混合土を作成し、これを混練しながらA液、B液、粉体の順に20秒程度の時間差を持って添加し、さらに1分間混練して改良土を製造する。改良土のコーン指数、含水比、pHを計測し、発生土の性質および排出土量の比率に応じた適切な改良材の添加量を決定する。

2.2.5 改良土の強度発現特性

一次処理土と二次処理土の混合比率を容積比で3：7および5：5として混合土1m³を製造し、これに改良材のA液7.5ℓ、B液2.5ℓ、粉体20kg加えて改良土を製造した。改良土のコーン指数の経時変化を図-3に示す。

改良土のコーン指数は、一次処理土と二次処理土の混合比率5：5と3：7について全体的に見ると、改良土製造直後に200～400kN/m²に、6時間後には400～700kN/m²に直線的に上昇し、その後徐々に上昇するが、24時間程度でおおむね収束して700～1,000kN/m²に達した。改良後早期に強度が上昇するが、長期強度の上昇は緩やかである特徴がある。24時間以降の強度の増加は、乾燥を防ぐためにビニール袋で密封養生した試料ではほとんど見られていない。

図-2 泥水シールド現場における改良土製造フロー

図-3 改良土のコーン指数の経時変化

また、発生土の混合比率が5：5では3：7に比べて強度レベルが低く、一次処理土の混合比率が増加するとコーン指数が低下する傾向がある。この傾向は、一次処理土に含まれる土粒子表面に付着した泥水が影響していると考えられる。すなわち、一次処理土の混合比率が高いほど改良土の強度が高くない。

この理由は、二次処理土に含まれる水は土粒子に包含されているのに対し、一次処理土に含まれる水のはほとんどが表面水であるので、この水と改良材が反応して所定の強度に達するのに改良材が多く消費されるためであると考えられる。

強度発現の特徴を従来から用いられているセメント・石灰系の改良材を添加した改良土と比較すると、セメント・石灰系改良材を添加した改良土が改良後1～2日以降に強度が発現し、長期にわたって強度の増加が進むのに対し、中性無機改良材を添加した改良土は、図-3で明らかのように、改良後24時間で強度の発現がほぼ完了する。このように、中性無機改良材を添加した改良土は、強度の発現が早く改良土が早期に運搬可能な状態となり、強度の増加が短時間に完了するため盛土に利用した後に強度が増加することはない。

2.3 蓄積したデータから見た品質管理方法

2.3.1 対象土層の性状

本論文の対象とした区間は、埼玉高速鉄道浦和市大門地区の泥水シールド工区であり、初期推進完了の120m地点から中間立坑位置の900m地点間の延長780mである。対象区間の概要を表5に示す。

約200m間隔で実施されたボーリング調査結果から想定された地質縦断面図を図-4に示す。なお、図中の○数字は改良材添加量に着目した区間番号であり、表8（次頁）の区間に対応させている。また、掘進対象土層の物性値を表6に示す。

図-4に示すように、対象区間のシールド掘進土層は、東京層の砂質土層（Tos-2、Tos-3）と粘性土層（Toc-2、Toc-3）の互層であり、Tos-3とToc-3が多く出現する。

表6に示すように、Tos-3は、シルト・粘土分（細粒分）の含有率が10%以下で、ほとんどが粒径0.25mm～2.00mmの中砂および粗砂で構成されている。Toc-3は、ほとんどが細粒分で、その中の60%程度が粒径0.05～0.075mmのシルト分で構成されている。

2.3.2 改良土の品質管理方法⁷⁾

表6に示すように、対象区間の砂質土と粘性土では物性値に大きな違いがあり、それに加えて泥水シールドは密閉型であるため、掘進中の土層を直接確認することは困難である。そのため、掘進対象土層の性状によって変化する発生土に対して、改良材を添加・混練

表5 対象区間の概要

項 目	対象区間概要
トンネル延長	780m（120m～900m間）
土 被 り	9.1m～20.8m
掘進対象土層	東京層（Tos-2,-3,Toc-2,-3）
トンネル形状	円形断面：セグメント外径9.40m
シールド形式	泥水シールド：外径9.60m
トンネル断面積	掘削断面積：72.4㎡
セグメント形式	RC 平板型：幅1.20m

図-4 対象区間の地質縦断面図

表6 対象土層の物性値（平均値）

名称		東京層砂質土		東京層粘性土	
項目		Tos-2	Tos-3	Toc-2	Toc-3
土粒子比重（-）		2.80	2.80	2.70	2.70
単位容積重量（g/cnf）		1.98	2.06	1.60	1.69
自然含水比（%）		28	23	65	46
間隙比（-）		0.9	0.7	1.8	1.4
粒度組成	礫分（%）	13	1	0	0
	砂分（%）	62	90	3	17
	シルト分（%）	19	5	57	52
	粘土分（%）	6	4	40	31
液性限界（%）		-	-	84	71
塑性限界（%）		-	-	39	34
塑性指数（%）		-	-	45	37

して製造する改良土を、満足すべき性状に維持するために適切な品質管理が必要となる。

ここでは、泥水シールド掘進において通常実施している計測項目に加えて、発生土の性状を把握するための計測項目と改良土の品質を評価するための項目の計

測管理を実施した。

(1) 計測項目と品質評価項目

①通常計測項目

泥水シールド施工における通常の計測項目は、掘削土量、一次処理土量、二次処理土量である。シールド掘進作業は1日2交代(昼方・夜方)であり、各方終了時のセグメント建込数、フィルタープレス開枠数を把握することにより、これらを算出した。

②発生土の性状を把握するための計測項目

掘進中の土層の変化は、通常計測項目の一次処理土と二次処理土の土量の比率によって推定することができる。発生土の性状を把握するための計測項目は、改良土の品質評価項目と同様のpH、コーン指数および含水比とし、一次処理土と二次処理土の発生時点の値を昼方および夜方の始業時に計測した。

③改良土の品質評価項目

改良土の品質評価項目は、改良材添加量と2.1に示す改良土の性状に関する条件のpH、コーン指数および含水比とし、改良土の製造後1時間以内の値を昼方および夜方の始業時に計測した。

(2) 品質管理方法

中性無機改良材により発生土を改良する場合は、改良土の強度の発現が急速であるため、改良土を短時間のうちに使用することができることと、発生土に対して適正な改良材添加量を設定することで経済性を高めることができるため、現場で簡易に計測することができる項目によって品質管理を行う必要がある。

改良材添加量は、前方(昼方または夜方)までの計測結果を踏まえて土層の変化の有無を判断し、当方掘進開始時に設定(継続または変更)するとともに、計測項目および品質評価項目の計測を実施する。

改良土の品質評価項目は、改良材添加後1時間以内の計測値が、改良土の性状に関する条件を満足することで管理することを基本とした。

①計測項目と品質評価項目の実績値

対象区間の780m、149方分の通常計測項目(掘削土量、一次処理土量、二次処理土量、一次・二次処理土比率)の実績値をまとめると、表7が得られた。ここで、一次・二次処理土比率とは、排出される一次処理土量と二次処理土量の百分率である。また、発生土の性状を把握するための計測項目の実績値は、すでに表1に示したとおりである。

表7に示すように、シールド掘進量とフィルタープ

レスの開枠回数から求められる一次・二次処理土比率は、12%：88%～92%：8%(平均59%：41%)となっている。一次処理土の比率では、掘削土量が最大値(435m³)で一次処理土量が最小値(54m³)のとき最小値12%(=54m³/435m³)、最大値(400m³)のとき最大値92%(=400m³/435m³)になる。このように、780mを掘進する中で掘進対象土層が大きく変化することから、変化する発生土の性状に応じて制度の提示する条件を満足する改良土を製造するために、適正な改良材添加量を選定することが必要となる。

対象区間を改良材添加量毎に区分した区間、距離、改良材添加量およびデータ数を表8に、改良土の品質評価項目の実績値を表9に示す。

表8に示す改良材添加量は、発生土1m³あたりの配合と量の値で、改良土のコーン指数を確保するために使用したものである。改良材の必要量と配合は、掘進対象土層の性状に起因する自然含水比や粒度組成などの要素によって左右される。

そのため、改良材添加量でまとめた各区間内での土層の変化は小さいが、区間境界付近で土層が変化した

表7 通常計測項目の1方あたりの実績値 (m³ : n = 149)

	最小値	最大値	平均値
掘削土量	87	435	381
一次処理土量	54	400	226
二次処理土量	33	327	155
一次・二次処理土 比率(%)	12 : 88	92 : 8	59 : 41

表8 改良材添加量ごとの区間別データ数

区 間	距 離	改良材添加量 A液(ℓ) : B液(ℓ) : 粉体(kg)		データ数
		①-1	①-2	
①120～210m	90m	33 : 11 : 30		4
		33 : 11 : 20		18
②210～245m	35m	21 : 7 : 20		3
		18 : 6 : 20		4
③245～495m	250m	12 : 4 : 20		4
		12 : 4.5 : 20		42
④495～545m	50m	33 : 11 : 40		9
⑤545～630m	85m	24 : 8 : 20		15
⑥630～725m	95m	21 : 8 : 30		16
⑦725～900m	175m	15 : 6 : 30		4
		15 : 6 : 20		23
		15 : 5 : 30		7
計	780m	-		149

表9 改良土の実績値（改良材添加後約1時間の値）

	最小値	最大値	平均値
改良材添加量	12 : 4 : 20	33 : 11 : 40	20 : 7 : 23
pH	7.00	8.60	8.10
コーン指数 (kN/m ²)	200	580	431
含水比 (%)	26.7	49.7	36.8

ため、改良材添加量を変更していることが分かる。表9中の改良材添加量は、A液(ℓ)、B液(ℓ)および粉体(kg)の順で、発生土1m³あたりの添加量である。

②改良土のコーン指数に対する添加量の選定

表1と表7から分かるように、掘進対象土層のpH、コーン指数、含水比および一次・二次処理土比率は大きく変化している。これらの要素の変化に応じて改良土の満足すべき性状を確保するためには、改良材添加量の厳密な管理が必要になってくる。

実際に用いた改良材添加量と配合は、表8に示すように12種類であった。改良土のコーン指数は、改良土が利用現場に搬入された時点で400kN/m²以上の値を確保することが指定されている。その管理方法として、改良材添加後1時間以内の計測値が400kN/m²以上の値であることを基本としており、大部分はこれを満足している。

しかし、表9の最小値に示すように、設定した改良材添加量に対して改良材添加1時間後には200kN/m²の値しか出ないものがある。これに対しては、図-3に示す改良土の強度発現特性を利用して、使用時まで時間的な余裕がある受入先に搬出することで、その後の強度発現を見越して普通ダンプトラックで搬出可能な200kN/m²を最低値として管理することとした。

③改良土のpH調整のための添加量の調整

改良土のpH調整は、液体改良材（A液とB液）の比率を変化させることで行うことができる。

図-5に実際に用いた液体改良材の配合の実績値を示す。

A液とB液の比率は3 : 1でpHは約7となり通常この比率を用いる。

実際に用いた9種類のA液とB液の添加量比率の中で5種類は3.0 : 1であるが、4種類はA : B = 2.50 : 1 ~ 2.75 : 1であり、アルカリ側にある発生土を中性域の改良土にするために、酸性のB液の比率を若干増加した添加量を選定している。

図-5 液体改良材の添加量比率の実績値

④コーン指数に及ぼす一次・二次処理土比率の変化に対する添加量の調整

図-3に示したように、改良土のコーン指数は、一次処理土の混合比率が大きくなると低下する傾向がある。表8に示す各区分においてデータ数の多い区分③と区分⑦について、一次処理土比率(R₁)と改良土コーン指数(q_c)の関係をまとめると、図-6と図-7が得られた。また、区分③と区分⑦の計測値は表10のとおりである。

(凡 例) ○ : 改良材添加量③-1, ● : 改良材添加量③-2 (表8)

図-6 区分③の一次処理土比率と改良土コーン指数

(凡 例) □ : 改良材添加量⑦-1, ■ : 改良材添加量⑦-2, ■ : 改良材添加量⑦-3 (表8)

図-7 区分⑦の一次処理土比率と改良土コーン指数

表10 区間③と区間⑦の計測値

	区間③：245～495m L = 250m (n : 46)	区間⑦：725～900m L = 175m (n : 34)
一次二次処理土量の比率	77% : 23%～40% : 60% (平均61% : 39%)	59% : 41%～25% : 75% (平均39% : 61%)
改良材添加量	12 : 4.5 : 20～12 : 4.0 : 20 (平均12 : 4.5 : 20)	15 : 6.0 : 30～15 : 5.0 : 20 (平均15 : 5.8 : 23)
一次処理土のコーン指数	130～40kN/m ² (平均89kN/m ²)	340～70kN/m ² (平均134kN/m ²)
二次処理土のコーン指数	1190～750kN/m ² (平均937kN/m ²)	1040～580kN/m ² (平均826kN/m ²)
改良土のコーン指数	540～320kN/m ² (平均440kN/m ²)	530～300kN/m ² (平均419kN/m ²)

図－6 および図－7 に示すように一次処理土比率が増加すると改良土コーン指数は低下する傾向が明らかである。このことは、同一の改良材添加量において一次処理土比率により改良土コーン指数のレベルをある程度予測できることを示している。

区間③と区間⑦を比較すると、区間③の改良材添加量が少ないにもかかわらず、一次処理土比率が同一レベルでの改良土コーン指数は大きくなっている。このことは、表10に示す一次処理土と二次処理土の計測値に大きな差異が見られないところから、後述する施工時期の違いによる外気温の影響を受けているものと考えられる。

⑤コーン指数に及ぼす外気温変化に対する添加量の調整

改良材添加量が変化する要素として掘進対象土層の変化のほかには改良土製造時の外気温の影響が考えられる。図－8 に室内試験における外気温と改良土コーン指数の3時間値を示す。

これに用いた発生土は一次処理土と二次処理土の比率が5 : 5 で、改良材添加量はA液7.5ℓ / m³、B液2.5ℓ / m³、粉体20kg / m³である。

中性無機改良材は硬化時の発熱はないため外気温の影響が現れやすいと考えられ、外気温が低くなると改良土のコーン指数が低下する傾向があることが分かる。

各区間の施工時期のさいたま測候所における平均気温と平均最低気温は、初期（'98.10）の区間①と最終（'99.2）の区間⑦までに外気温が徐々に低下して行き、平均気温で11.1℃（15.8～4.7℃）、最低気温で13.5℃（12.7～－0.8℃）の差が生じている。

（凡 例）○：第1回試験値，△：第2回試験値
図－8 外気温と改良土コーン指数の関係

改良土のコーン指数を確保するために必要な改良材添加量は、外気温が低下すると増加する一方で、改良土のコーン指数は発生土の性状にも左右される。したがって、発生土の性状が一定であれば外気温の変化に対応して改良材添加量を加減することで対応できるものと考えられる。

3. ま と め

すでに蓄積されている、泥水シールドトンネルの施工管理における通常測定される計測値と改良土の品質管理に必要な計測値を収集・解析して、改良土の品質管理手法を見出すことができた。

その要点は、次のとおりである。

（1）泥水シールド発生土は礫・砂分（一次処理土）とフィルタープレスによる脱水ケーキ（二次処理土）に分離される。一次処理土の平均 pH は8.5、平均コーン指数は134kN/m²、平均含水比は32.8%、平均粒径（50%通過質量百分率）は約0.2mmであり、二次処理土のそれは、それぞれ8.9、932kN/m²、42.2%、約0.005mmであった。

（2）解砕した二次処理土のコーン指数は、脱水ケーキの1/3～1/5に減少する。

（3）改良土のコーン指数とその経時変化は、一次処理土と二次処理土の混合比率を5 : 5～3 : 7として改良材（混合土1 m³あたりA液7.5ℓ、B液2.5ℓ、粉体20kg）を適用すると、極めて短時間に200～400kN/m²に上昇し、6時間後に400～700kN/m²に達し、24時間程度で安定する。

（4）改良土のコーン指数は、一定量の改良材では一次処理土の混合比率が小さいほど大きくなる。

（5）改良土の指定された品質管理（コーン指数、pH、含水比）は、一次処理土と二次処理土の混合比率、

改良材の添加量および構成材であるA液、B液、粉体のバランスを調整することで可能である。

(6) 混合土 1 m³あたりの平均改良材添加量はA液 20 l (28kg), B液 7 l (10kg), 粉体23kg (合計61kg)程度であり, 改良土の平均コーン指数は431kN/m², 平均含水比は36.8%, pHは8.1であった。

(7) 外気温が低下すれば一定の改良材添加量で改良土のコーン指数は低下するが, 改良材の増加で対処することができる。

(8) 中性無機改良材を用いた発生土改良は, 中性無機の改良土を短時間で利用可能にできることなどの特徴があり, 適切な品質管理を行うことにより, 多くが産業廃棄物として処分されてきた泥水シールド発生土のリサイクルを可能にすることのできる画期的な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 財先端建設技術センター編：建設汚泥リサイクル指針, p.128, 1999.10
- 2) 財先端建設技術センター編：建設汚泥リサイクル指針, pp.129~133, 1999.10
- 3) 財先端建設技術センター編：建設汚泥リサイクル指針, p.132, 1999.10
- 4) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説, pp266-268, 2000.3
- 5) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説, pp252-259, 2000.3
- 6) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説, pp266-268, 2000.3
- 7) 石徳博行, 岩崎光美, 竹内雄三：泥水シールド発生土の有効利用システム, 地質と調査, pp.20-25, 2000.3
- 8) 建設副産物リサイクル広報推進会議編：建設リサイクル, p.3, 1999.Vol.6
- 9) 竹内雄三, 岩崎光美：泥水シールドから発生する土砂の有効利用システム, トンネルと地下, p.8, 1998.9
- 10) 日本国特許庁：公開特許公報, 特開平11-61794, 1999.3

Recycling of the sludge produced by slurry shield tunneling using environment-friendly the neutral inorganic materials — The quality control technique of improved sludge —

TAKEUCHI Yuzo, ISHITOKU Hiroyuki, MARUYAMA Toshiro and SEZAKI Mitsuhiro

ABSTRACT

Much of sludge generated by slurry shield tunneling handled as construction mud is disposed as the industrial wastes. The individual governmental appointment system is used as a measure of efficiently utilizing the sludge, and the sludge can be recycled by the permission granted by the prefectural governor. The property of sludge changes dramatically due to the change in the ground to be tunneled. The improved sludge that satisfies the conditions given by this system can be manufactured by varying the blending ratios of the primary treatment sludge to the secondary treatment sludge and the quantity of the materials according to the original sludge properties. This report shows the quality control technique for securing desired properties by means of the analysis of data that were collected from the improvement of sludge using the neutral inorganic material in the slurry shield tunneling.

Key Words : neutral inorganic material, slurry shield sludge, improvement of sludge, recycle