

## 11. 速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その7）

### Backfill Industrial Method by Sandy Soil System Stability Processing of Type that Hardens Fast (Part. 7)

技術支援課 橋本喜正、田中輝栄、峰岸順一

#### 1. まえがき

道路占用工事による埋め戻し等において、即日復旧が可能であり、輻輳管周りに空洞が生じにくい埋戻し材として、砂質土系発生土を対象とした、速硬性のある固化材を用いる速硬型の砂質土系安定処理土（以下、処理土という）を提案し、その実用化に向け、継続して検討を行ってきた。

本処理土に求める主な条件は、①即日復旧時に路床としての条件を満たすため、処理土施工から1時間後の CBR 値が 3%以上、②再掘削を容易にするため、施工から 28 日後の CBR が 20%以下、③輻輳管周りに空隙が生じないこと、の 3 点である。

これまでの検討結果<sup>5)</sup> から、しゃ断層用砂を主材に用いた処理土は概ね条件を満足することが現場の施工規模に近い屋外実験により明らかとなった。

平成 24 年度の調査では、現場における実用化に向けて残された課題である、温度や待機時間を考慮した配合設計方法の検討、実際の歩道の占用工事における発生土の適用性の検討、より経済的な材料に向けての検討について実施したので、その内容を報告するものである。

#### 2. 実施項目

実施項目は、次の 4 項目である。

- ①材料試験
- ②処理土の実道施工規模の試験施工の実施
- ③実道における発生土の適用性検討

#### ④コスト低減配合の基礎検討

#### 3. 材料試験

##### (1) しゃ断層用砂

本検討で用いる砂質土として、これまでの検討と同様に、概ね品質が一定である購入したしゃ断層用砂を用いた。このしゃ断層用砂について、含水量試験、土粒子の密度試験、粒度試験、および細粒分含有率試験を行った。

試験結果を、表-1 に示す。

この結果から、今回用いたしゃ断層用砂は、これまで用いている砂と概ね同様の性質と判断し、試験に適用した。

表-1 しゃ断層用砂の土質試験結果

材 料 名		しゃ断層用砂	
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		2.759	
含水比 $\omega_n$ (%)		13.5	
粒 度 特 性	粗粒分	礫 分 G (%)	1.9
		砂 分 S (%)	95.5
	細粒分	シルト分 M (%)	2.6
		粘土分 C (%)	
	最大粒径 (mm)		9.5
	均等係数 $U_c$		2.17
曲率係数 $U_c'$		1.03	
地盤材料の 工学的分類	分類記号	(S)	
	分類名	砂	
土懸濁液の pH		6.6	

#### 4. 処理土の実道施工規模の試験施工

##### 4.1 室内配合試験

###### (1) 使用材料

本実験では、主材としてしゃ断層用砂を、固化材として半水石こう（以下石こうという）、酸化マグネシウム（以下 MgO という）を、遅延剤としてペプトンを用いた。

###### (2) 室内配合試験

室内配合試験は、仮配合試験と本配合試験の2段階に分けて行った。仮配合試験では、MgO 量を  $80\text{kg/m}^3$  に固定し、石こう量と遅延剤量を変化させて最適石こう量と遅延剤添加量を決定した。本配合試験では、仮配合試験で定めた石こう量と遅延剤量を固定し、MgO 量を変化させて長期強度試験（28日養生）により、最適 MgO 量を求めた。

気温及び材料温度は、夏場を想定した高温期（ $25\sim 35^\circ\text{C}$ ）を目的として、概ね  $29^\circ\text{C}$  とした。

半水石こうは、過去の調査で用いられてきた石こう（以下石こう1という）にて予備試験を行ったところ、初期強度の増加傾向が過去の結果と大きく異なる結果となった。石こう1を用いるとこれまで用いた配合の大幅な変更が見込まれたことから、過去の石こうの傾向と同様の性状を有する石こう（以下石こう2という）を用いて室内および屋外実験を行った。

###### (3) 仮配合試験

###### 1) 仮配合試験条件

仮配合試験の配合条件を表-2に示す。配合水量と MgO は、既往調査<sup>3)</sup>よりそれぞれ適正配合  $465\text{kg/m}^3$  の1.05倍に当たる  $488\text{kg/m}^3$  と  $80\text{kg/m}^3$  に固定した。

なお、処理土製造は、下記手順にて実施した。

①固化材（半水石こうと MgO）と遅延剤をビニール袋で約2分間混合する

②モルタルミキサー（3切）に材料を投入し、45秒間混合した後、次の30秒間で底部と縁部に付着した材料を掻き出し、その後45秒間混合する

③水を入れ、40秒間混合する

また、品質確認は、処理土の強度を簡易に確認することが可能な山中式土壤硬度計を用いた硬度測定（以下「硬度試験」という。）による硬度と、CBR試

表-2 仮配合試験の配合条件

No.	配合 ( $\text{kg/m}^3$ )				遅延剤 添加量 %*	
	石こう	MgO	固化 材量	配合 水量		
1	80	80	160	488	0.31	
2					0.33	
3					0.36	
4	100		180		488	0.31
5						0.32
6						0.33
7						0.34
8						0.35
9						0.37
10	120	200	488	0.24		
11				0.27		
12				0.30		
13				0.33		
14					0.36	

\*遅延剤添加量は石こうに対する重量比

験を準用した CBR 試験の CBR 値を評価指標とした。

硬度計は、ばねのついた先端のコーン（高さ 40mm、底径 18mm、頂角  $12^\circ 40'$ ）を垂直に圧入し、土壌の硬度による貫入抵抗を数値化するもので、軟らかい 0(mm) から硬い 40(mm) までの貫入量を測定できるものである。この貫入量を硬度として評価を行った。

なお、硬度試験は CBR 試験後の貫入面において3点測定を行い、この平均値を用いた。また、本検討にて実施した CBR 試験の養生方法は気中養生とした。

配合目標強度として、これまで検討した結果から、①水混合後60分以内で硬度が13mm以上となること②7日後の CBR 値が8~9%（28日後の CBR 値13%換算）程度と設定した。

###### 2) 仮配合試験結果

仮配合試験の結果を表-3に示す。また、石こう量別の打設後の硬度変化のグラフを図-1~3に示す。

各石こう量ごとにばらつきはあるが、遅延剤が多くなるほど、

- ・ピーク強度が大きく
  - ・強度発現の始まりが遅い
- という特徴が認められる。

石こう量が  $80\text{kg/m}^3$  では、ピーク強度が小さく、遅延剤を増加すると硬度の発現が遅くなった。

100kg/m<sup>3</sup>では、遅延剤量が0.31~0.33%で1時間 得られる。

表-3 仮配合試験結果

No.	石こう	遅延剤添加量 (%)	山中式土壌硬度計 硬度 (mm)									硬度13mm到達時間 (h)	CBR (%) 7日後
			15分後	30分後	45分後	60分後	75分後	90分後	105分後	2時間後	7日後		
1	80	0.31	0.0	2.6	2.1	2.9	2.2	—	—	—	19.1	—	1.9
2		0.33	0.0	4.8	4.8	4.1	—	—	—	—	23.1	—	2.9
3		0.36	0.0	0.0	3.8	11.6	15.3	15.6	16.1	14.4	26.2	1.12	5.5
4	100	0.31	0.0	3.1	14.7	17.9	17.0	15.3	—	—	28.7	0.76	7.6
5		0.32	0.0	0.0	3.1	15.8	19.4	20.2	19.6	—	27.6	0.96	7.0
6		0.33	0.0	2.4	11.3	13.6	13.2	13.7	—	—	26.9	0.95	5.3
7		0.34	0.0	0.0	0.0	10.3	16.5	16.0	16.4	17.7	26.8	1.13	7.2
8		0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	16.9	19.8	20.7	28.4	1.43	9.5
9		0.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	15.3	21.0	27.3	1.74	8.2
10		0.24	3.5	12.3	11.6	11.4	11.8	—	—	—	20.8	—	2.5
11	120	0.27	0.0	0.0	12.1	19.1	20.5	19.8	19.8	—	29.5	0.83	9.2
12		0.3	0.0	0.0	5.1	17.0	21.2	21.0	—	—	29.8	0.93	11.7
13		0.33	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	19.2	23.4	23.6	30.0	1.38	12.6
14		0.36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	11.7	20.4	29.4	1.83	10.9

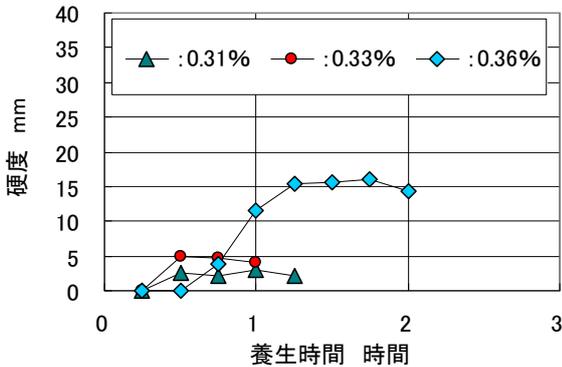


図-1 打設後の硬度変化 (石こう 80kg/m<sup>3</sup>)

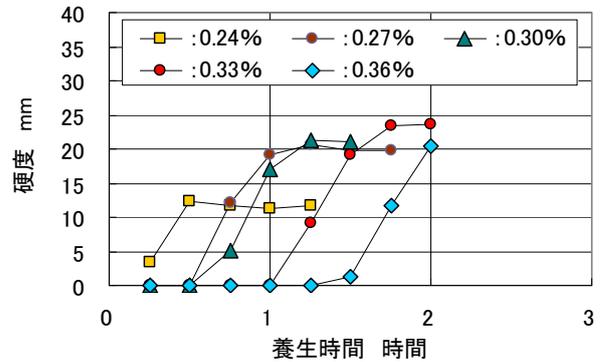


図-3 打設後の硬度変化 (石こう 120kg/m<sup>3</sup>)

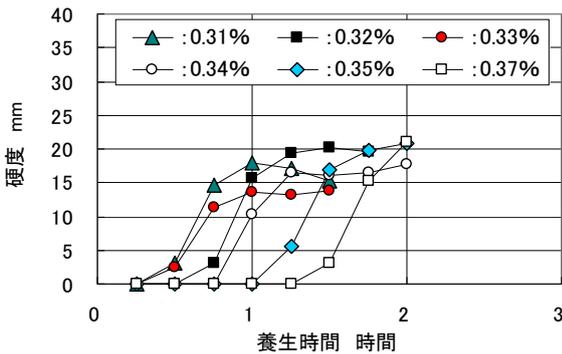


図-2 打設後の硬度変化 (石こう 100kg/m<sup>3</sup>)

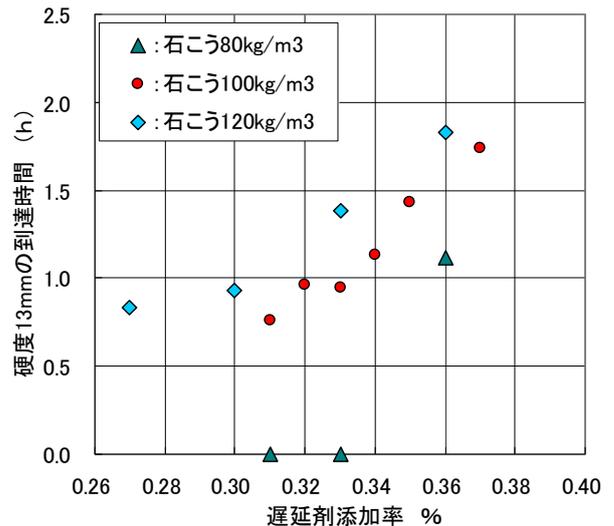


図-4 遅延剤添加率と硬度 13mm の硬化時間

以内で 13mm 以上の硬度発現が得られた。120kg/m<sup>3</sup>においても、遅延剤量が 0.27~0.30% で 1 時間以内に 13mm 以上の硬度が発現した。

これらの結果より、硬度 13mm に達する養生時間を遅延剤添加率に対してグラフ化すると、図-4 が

図-4 から、石こう量 100kg/m<sup>3</sup> に対しては遅延剤添加率 0.31% とすると約 45 分で硬度 13mm 程度に硬化すると推定される。また、石こう量が 120kg/m<sup>3</sup> の

場合は 0.27~0.30%で同様の硬化時間になると予想される。

次に打設 7 日後の CBR 値の遅延剤添加率との関係を図-5 に示す。

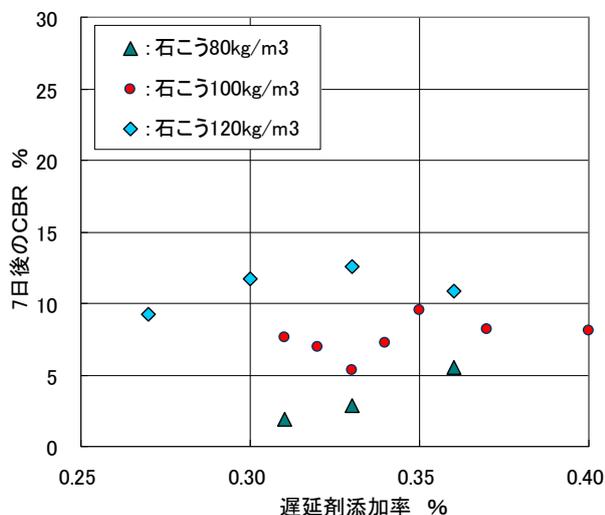


図-5 遅延剤添加率と 7 日後の CBR

7 日後の CBR は、石こう量 80kg/m³ で 2~6%、100kg/m³ で 5~10%、120kg/m³ で 2~13%となり、石こう量が多いほど大きい傾向を示した。遅延剤添加率に対してみると、図-5 に示すように、各石こう量において、遅延剤添加率が大きくなるほどわずかに CBR が大きくなり、硬度 13mm までの養生時間と同様の傾向が読み取れる。

以上より、仮配合試験における石こう量と遅延剤添加率は以下のように決定した。

- ・石こう量：100kg/m³
- ・遅延剤添加率：0.31%

#### (4) 本配合試験

##### 1) 配合条件

本配合試験では、仮配合試験の結果より、石こう量を 100kg/m³、遅延剤添加率を 0.31%として、MgO 量を 60、80、100kg/m³ の 3 段階に変化させて配合試験を行った。配合条件を表-4 に示す。

表-4 本配合試験の配合条件

No.	配合 (kg/m³)				遅延剤添加量 %*
	半水石こう	MgO	固化材量	配合水量	
1	100	60	160	488	0.31
2		80	180		
3		100	200		

\*遅延剤添加量は石こうに対する重量比

#### 2) 本配合試験結果

打設後の硬度及び CBR 試験結果を表-5 に示す。

初期強度の発現は仮配合試験に比べてやや遅くなり、60 分以内に硬度 13mm を満足する配合は得られなかった。一方、7 日後の CBR は、全て許容範囲に入る数値であった。仮配合と本配合試験において同様の配合で処理土を作製しても、同じ結果が得られるとは限らず、ばらつきの大きい材料であることがわかった。

本配合試験の結果、60 分以内に硬度 13mm を満足する配合は得られなかったものの、仮配合試験では、MgO 量が 80kg/m³ で 60 分以内に硬度 13mm に達していること、7 日後の CBR が 80kg/m³ で 7.0%、100kg/m³ で 7.4%と大きな差がなかったことから、屋外施工実験に用いる配合は表-6 の配合とした。

表-6 決定配合

半水石こう (kg/m³)	MgO (kg/m³)	固化材量 (kg/m³)	遅延剤 (%)
100	80	180	0.31

#### 4.2 屋外施工実験

##### (1) 実験目的

実際の現場施工を想定し、高温期 (25~35℃) において現場に近い規模で処理土の施工が円滑に行えるか総合的に確認を行うこと、また、室内配合試験の試験結果と屋外作製の試験結果を比較し、配合

表-5 本配合試験結果

No.	山中式土壤硬度計 硬度 (mm)									硬度13mm 到達時間 (h)	CBR (%) 7日後
	15分後	30分後	45分後	60分後	75分後	90分後	105分後	2時間後	7日後		
1	0.0	0.0	0.0	0.2	6.0	15.9	19.4	17.7	24.6	1.2	4.5
2	0.0	0.0	1.4	11.5	15.9	18.1	18.3	16.9	27.3	1.1	7.0
3	0.0	0.0	9.3	11.9	12.1	13.2	12.2		28.4	1.5	7.4

試験方法の妥当性について確認することを目的とした。

確認内容は以下の通りである。

- ① 輻輳する埋設管を設置した土槽への水締め打設実験による、施工性や管回りへの充填性の確認
- ② 打設した処理土の上に路盤をイメージした碎石層を敷均し・転圧して、埋め戻しが可能かの確認
- ③ 打設した処理土の強度および掘削性の確認

(2) 配合および実験条件

現場施工実験における処理土の配合は、室内実験で決定した表-6の配合を用いた。

現場条件である処理土混合後から水締め施工までの待機時間は3時間とした。

また、実験に用いた土槽のサイズは、1箇所あたり幅60×長さ200×深さ90cmであり、下部に埋設管を想定した塩ビ管(VP50とVP100)を設置し、底面から55cmまで処理土を打設、その上に碎石層25cm、覆土10cmとした。実験土槽の概念図を図-6に示す。

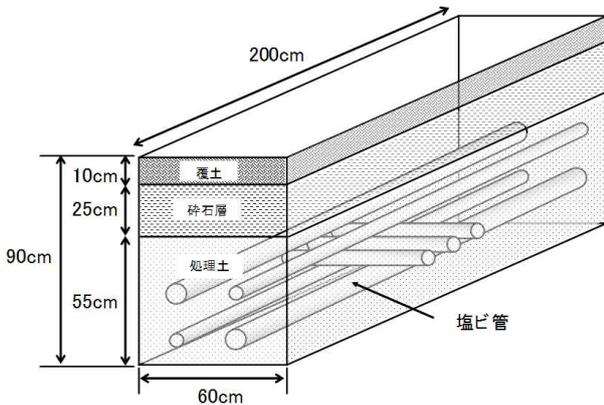


図-6 実験土槽

(3) 製造及び施工

処理土の製造は、ポットミキサー160L×2台で行った。このミキサーは効果的な混練容量が90L程

度のため、2台のミキサーで4回混合して処理土を製造した。1回当たりの製造時間は5分で、1回目の開始から4回目の終了までおよそ45分であった。

製造後は、ビニールシートで覆って待機し、3時間後に水締め打設を行った。処理土はスコップで投入し、並行して水を2Lビーカーで散布して水締めを実施した。水締めによる打設状況を写真-1に示す。



写真-1 水締めによる打設状況

打設後、打設面の硬度が13mmとなったことを確認してから碎石層を敷均し、2層に分けてランマー転圧を行った。

製造および施工については、実際の現場における打設量に近い規模においても特に問題なく円滑に実施することができた。

(4) 試験結果

品質管理試験結果の一覧を表-7に示す。

1) 処理土の初期強度

図-7に材料温度および気温と硬度の変化を示す。製造開始から打設終了までの平均気温は約27℃であった。

打設面の硬度は、30分後で14.3mmに達したことから、打設30分後より路盤材を敷均し、転圧することができた。硬度13mmまでの硬化時間は、室内配合

表-7 本配合試験結果

山中式土壤硬度計 硬度 (打設面) (mm)				CBR値 (%)		現場密度試験 (%)		掘削性 (分)	平均気温 (°C)
0.5 h	1.0 h	1.5 h	28日	7日	28日	砂置換法	RI法	剣スコップ	
14.3	17.5	16.4	21.1	10.6	7.2	96.7	98.3	0.8	26.8

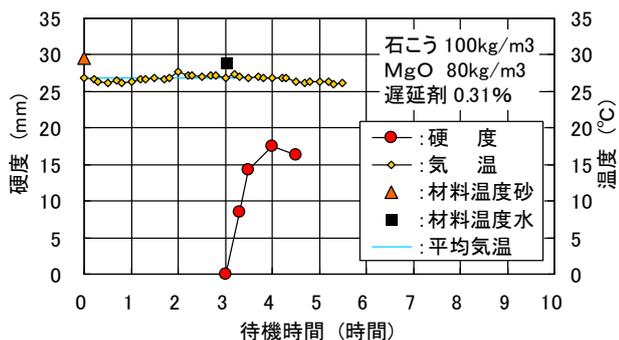


図-7 屋外施工実験における材料温度及び気温と硬度変化

試験よりも 15 分程度短かった。

## 2) 処理土の CBR

打設 7 日後と 28 日後に CBR モールドを採取して CBR 試験を実施した。

7 日後の CBR は、平均で 10.6%と概ね想定通りであったが、28 日後の CBR は平均値が 7.2%と 7 日後よりも小さくなり、想定と異なる結果となった。

原因としては、モールドの設置場所の違いと打設した処理土のバッチの違いに起因しているものと推測される。ただし、28 日後の値も目標範囲には入っていた。

## 3) 碎石層の締固め度

碎石層の転圧後、RI 法と砂置換法による現場密度試験を行った。結果は、砂置換法で 96.7%、RI 法で 98.3%と概ね同等の値を示し、いずれも基準値の 90%以上を満足する締固め度が得られた。

この結果、CBR3%に相当する硬度として設定した表面硬度 13mm において、問題なく敷き均し・転圧ができることが確認できた。

## 4) 処理土の掘削性

打設 28 日後に剣スコップによる掘削性試験を行った。この結果、18L の処理土を 0.8 分で容易に掘削することが出来た。既往調査によるしゃ断層用砂の掘削時間が 0.3~0.7 分程度であり、概ねしゃ断層用砂と同等の掘削性を有していると言える。

## 5) 管下の充填状況

管下の状況を写真-2~5 に示す。いずれの管下にも明らかな空洞は認められず、充填性が良好である

ことが確認できた。管下には、打設時に浮き上がっ



写真-2 管下の充填状況 (上段)



写真-3 管下の充填状況 (中段)



写真-4 管下の充填状況 (下段)



写真-5 管下の充填状況 (側面)

た固化材が部分的に付着しており、わずかな空洞が形成されているが、処理土は硬化しており、問題はないと考えられる。

また、図-8で管横と管下の強度の比較を示す。

各深度において管下の強度は管横とほぼ同等の値となっており、処理土の充填性や強度の均一性が確認できたと考えられる。

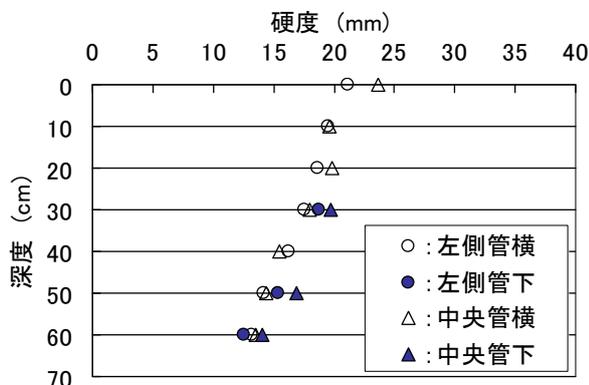


図-8 深度および水平方向の硬度変化

## 5. 実道における発生土の適用性検討

### (1) 実験目的

現場発生土の有効活用を図るため、占用工事等における埋戻しの現場において実際に発生した土がそのまま処理土の材料として適用可能かを検討した。

### (2) 発生土の性状

現道の施工現場において5試料を採取し、土質試験を実施した。発生土採取箇所の概要を表-8に、土質試験結果を表-9に、粒径加積曲線を図-9に示す。

土質試験を行った結果、5箇所全ての発生土が、37.1~66.2%の礫分を含み、最大粒径が53~75mmの粘性土混じり砂質礫に分類される礫質土であった。なお、発生土5はpHが高く、石灰系またはセメ

表-8 発生土採取箇所概要

発生土番号	企業者	路線名	工事理由	掘削規模(m)		
				幅	深さ	延長
1	東京電力(株)	池上通り	配管・ケーブル工事	0.8	0.8	38
2	東京ガス(株)	早稲田通り	ガス管取替え	0.6	1.0	135
3	東京ガス(株)	青梅街道	管路取替え	0.6	1.5	550
4	東京都水道局	新青梅街道	経年管取替え	1.0	1.2	20
5	東京都水道局	言問通り	支床移設取替え	0.9	1.5	624

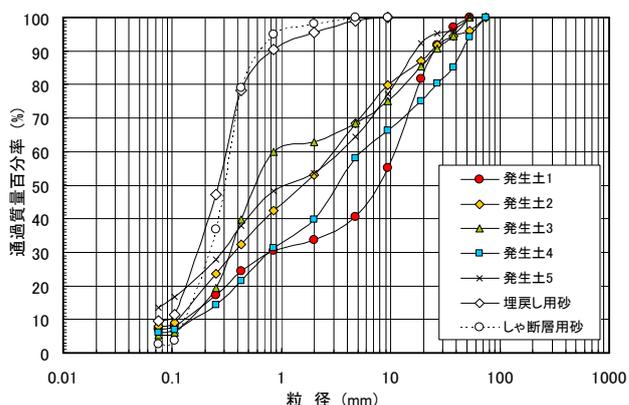


図-9 発生土の粒径加積曲線

ント系の改良土であると推定される。

発生土5を除いた礫質土の細粒分含有率は、5.3~7.9%の範囲である。実験では、37.5mmを超える礫分を除去した発生土1~4で配合試験を行った。

この場合の細粒分含有率は、再計算すると5.6~8.4%となった。一方、礫分は懸濁水の形成に関与しないことから、礫分を除いた場合の細粒分含有率を算出すると、8.4~21.0%となった。

### (3) 予備配合試験

礫質土の場合、礫分が懸濁水の形成に関与しないことから、配合水量が少なくなることが予想される

表-9 発生土の土質試験結果

材料名		発生土1	発生土2	発生土3	発生土4	発生土5	埋戻し用砂(購入土)	しゃ断層用砂(H24)
試料名		砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		2.697	2.618	2.686	2.658	2.682	2.729	2.759
含水比 $w_n$ (%)		8.8	13.5	13.7	9.2	19.2	16.6	13.5
粒度特性	粗粒分							
	礫分 G (%)	66.2	46.9	37.1	60.1	46.5	4.6	1.9
	砂分 S (%)	26.7	45.2	57.6	33.8	39.9	85.8	95.5
	シルト分 M (%)	7.1	7.9	5.3	6.1	13.6	9.6	2.6
粘土分 C (%)								
最大粒径 (mm)		53.0	75.0	53.0	75.0	53.0	9.5	9.5
均等係数 $U_c$		74.57	25.15	5.26	31.21	86.27	3.93	2.17
曲率係数 $U_c'$		0.37	0.37	0.79	0.64	0.56	1.24	1.03
分類記号		(GS-Cs)	(GS-Cs)	(GS-Cs)	(GS-Cs)	(GS-Cs)	(S-F)	(S)
地盤材料の工学的分類		粘性土混じり砂質礫	粘性土混じり砂質礫	粘性土混じり砂質礫	粘性土混じり砂質礫	粘性土混じり砂質礫	細粒分混じり砂	砂
土懸濁液のpH		8.1	8.7	8.2	8.5	12.7	—	6.6

表-10 配合試験条件と結果

No.	主材	石こう 1	MgO	固化 材量	配合 水量	山中式土壌硬度計 硬度(mm)						硬度 13mm 到達 時間(h)	CBR (%)		CBR 28日/7日 強度比
						15分後	30分後	45分後	60分後	75分後	7日後		7日後	28日後	
1	埋戻し 用砂	80	80	160	488	0.0	0.0	5.8	14.0	17.1	27.0	1.0	5.5	-	-
2		100	80	180	488	0.0	0.0	8.8	17.3	19.7	30.2	0.9	8.2	-	-
3		120	80	200	488	0.0	0.0	8.0	19.6	23.1	31.2	0.9	11.0	-	-
4	発生土 4	80	80	160	404	0.0	0.0	2.0	9.7	14.3	34.6	1.2	20.5	-	-
5		100	80	180	404	0.0	0.0	5.8	17.7	21.6	34.1	0.9	28.1	-	-
6		120	80	200	404	0.0	0.0	2.9	16.4	21.8	34.7	0.9	27.3	-	-
7	発生土 1	120	20	140	404	0.0	0.0	8.8	17.9	20.6	32.9	0.9	21.4	37.5	1.8
8		120	50	170	404	0.0	0.0	7.3	15.6	21.3	34.6	0.9	26.8	31.8	1.2
9		120	80	200	404	0.0	0.0	9.6	20.5	23.8	35.7	0.8	33.7	43.1	1.3
10	発生土 3	100	40	140	404	0.0	4.7	16.8	23.2	24.4	33.5	0.7	34.0	46.2	1.4
11		100	60	160	452	0.0	0.0	1.6	11.7	19.4	31.1	1.0	16.0	26.0	1.6
12		100	80	180	452	0.0	0.0	0.0	4.9	14.9	32.2	1.2	18.4	34.7	1.9
13	埋戻し 用砂	100	60	160	494	0.0	0.0	0.0	3.9	13.6	26.4	1.2	6.1	9.7	1.6
14		100	80	180	494	0.0	0.0	0.0	1.6	8.3	28.7	1.4	8.3	12.5	1.5
15		100	100	200	494	0.0	0.0	0.0	0.4	5.8	30.6	1.5	9.4	15.7	1.7

ため、配合試験に先立って予備試験を行い、適正水量を求めた。JIS A 313-1992 に規定する「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」シリンダ法により発生土4を用いて配合水量ごとのフロー値を測定し、既往の検討結果から判断すると、発生土4の場合、適正水量が385kg/m<sup>3</sup>と得られた。この水量は砂の場合より約80kg/m<sup>3</sup>少なく、標準配合と大きく異なることとなった。

また、本発生土の検討については屋外施工実験に用いた石こう2を用いて予備試験を行ったが、発生土1を用いた場合は石こう量が80~120kg/m<sup>3</sup>のとき硬度13mmの硬化時間が2.5時間以上となり、初期強度の発現が得られなかった。

当初、実験に供する土質は採取した発生土から3種類を選定して、仮配合試験と本配合試験で同じ材料を用いる計画であったが、想定と異なりこれまでの標準配合と大きく異なる特性であったこと、固化材の硬化特性の違いにより検討数が多くなったことなどから、採取した発生土の量に不足が生じたため、試験では購入した埋戻し用砂も加えて実験を行うこととした。

次に発生土2と埋戻し用砂にて、石こう量を大幅に増やした200kg/m<sup>3</sup>程度で試験を行ったところ1時間以内の硬度発現が確認できた。

しかし、この配合は初期の硬度を満足する一方で、7日後のCBRが20%より大きくなり、石こう2で

は条件を満足する配合は得られないことが判明した。

そこで、試験的に石こう1と埋戻し用砂による配合試験を実施した。その結果、石こう量100kg/m<sup>3</sup>、MgO80kg/m<sup>3</sup>の標準的な配合で、打設後約50分で硬度13mmとなり、7日後のCBRも約8%と目標値の範囲内であった。

石こう1では条件を満足できる可能性が得られたことから、配合試験では、石こう1を使用することとした。

#### (4) 配合試験

##### 1) 硬度とCBR値

予備試験の結果を踏まえ、配合試験は、発生土1、3、4と埋戻し用砂を用いて、石こう、MgO、配合水量を変化させ15配合で行った。配合試験条件と結果を表-10に示す。なお、No.1~6までは仮配合試験という位置づけで行い、結果の反映を早く行う関係上28日後のCBR値の実験を実施していない。

硬度試験とCBR試験の結果であるが、発生土4を用いたNo.4~6では石こう量が概ね100kg/m<sup>3</sup>以上で硬度13mmに達することができたが、一方でCBRの値が7日後で20%を超え、条件を満足できなかった。

発生土1のNo.7~9は、発生土4と同様に硬度は条件を満足したが、CBRの値が全て7日後で20%を超え、条件を満足できなかった。

発生土3のNo.10~12は、CBRの値が全て28日後で20%を超え、条件を満足できなかった。特に、No.10

表-11 仮配合試験条件と結果

No.	再生石こう	高炉セメント	固化材量	配合水量	フロー値 (mm)	山中式土壌硬度計 硬度(mm)						硬度 13mm 到達 時間(h)	CBR (%) 7日後
						15分後	30分後	45分後	60分後	90分後	7日後		
1	100	80	180	488	213	0.0	6.3	7.4	8.6	10.6	35.5	—	38.1
2	120	80	160	488	184	2.0	10.4	12.0	13.1	14.2	35.5	1.0	35.5
3	140	80	200	488	190	1.2	12.0	13.9	14.6	16.0	35.5	0.6	32.6
4	100	0	180	488	217	10.9	11.8	11.7	10.9	11.2	14.3	—	1.1
5	100	20	220	488	148	0.0	8.9	10.7	11.1	11.5	12.9	—	1.4
6	100	40	280	488	173	0.0	7.3	9.4	11.0	11.1	32.5	—	13.8

のみ強度の傾向に違いが見られたが配合水量が少なかったことが強度に影響したものと考えられる。

No. 1～3、13～15 の購入した埋戻し土を用いた配合では、配合水量が 488 kg/m<sup>3</sup> の No. 1～3 の配合では硬度が 60 分以内に 13mm に達し、また、CBR の値が 7 日後で 5.5～11% であり、同じ埋戻し用砂を用いた No. 13～15 で得られた 28 日後/7 日後の強度比が平均 1.6 であることから、28 日後の CBR 値は推定 8.8～17.6 と 20% 以内であり条件を満足できたと考えられる。

配合水量が 494 kg/m<sup>3</sup> の No. 13～15 は、28 日後の CBR 値は推定 9.7～15.7 と 20% 以内であり条件を満足できたが、硬度が 60 分以内に 13mm に達せず条件を満足できなかった。

## 2) 28 日後/7 日後の強度比

28 日後/7 日後の CBR 強度比は、1.2～1.9 までの間に分布し、発生土で平均 1.5、埋戻し土で平均 1.6 であった。この結果、強度比は使用する主材や固化材の配合によって変化することから、7 日後の強度を配合試験の目標値として用いる場合には、事前に強度比を確認の上、信頼できるレベルまでデータを蓄積して用いる必要があると考えられる。

## (5) 砂質土系発生土の適用性に関するまとめ

都内の占用工事現場から採取した発生土 4 種類と購入した埋戻し用砂を用いて発生土の適用性に関する配合試験を行った。

この結果、礫質土である現場発生土の場合、硬度と CBR 値の両方の配合目標を満足する配合は得られなかった。参考として実験した埋戻し土については、粒度分布がこれまで実験を行っているしゃ断層

用砂と類似しており、条件を満足する配合を得ることができた。

結論として、今回採取した発生土においては 37.1～66.2% の礫分を含み 13mm 以上の粒径の粗礫が平均 15% 程度含まれている礫質土であったことから、これまで実験を行ってきた砂質土系配合をそのまま適用できず、目標とする条件を満足できなかったこと、礫分が多いことから管回りの埋戻し材料の主材として適していないことがわかった。このため、今回採取したサンプルは 5 種類と少ないものの、発生土を処理土の材料としてそのまま適用することは困難であると考えられる。

## 6. コスト低減配合の基礎検討

### (1) 検討目的

コスト縮減を目的とし、リサイクル材等を用いた割安な材料を用いて同様の性能を満足する処理土の製造が可能か、室内において検討を行った。

### (2) 配合試験

従来の実験では、固化材に半水石こうと MgO を使用してきたが、コスト低減を図るため、廃石こうボードから再生された半水石こう（以下再生石こうという）を主体として、MgO の代わりに高炉セメント（B 種）を適用した場合の配合を用いた。

主材として、品質が安定しており、これまで検討実績のあるしゃ断層用砂を用いた。

### 1) 仮配合試験

仮配合試験における配合条件と試験結果を表-11 に示す。表-11 の結果から、再生石こう量が 100kg/m<sup>3</sup> で高炉セメントが 40kg/m<sup>3</sup> の No. 6 は 13.8%

表-12 本配合試験条件と結果

No.	再生石こう	MgO	高炉セメント	固化材量	配合水量	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)	山中式土壌硬度計 硬度 (mm)						硬度 13mm 到達時間 (h)	CBR (%)	
								15分後	30分後	45分後	60分後	120分後	7日後		7日後	28日後
1	120	80	0	200	488	152	0	0.0	4.5	10.4	12.1	—	19.0	—	1.7	4.7
2	120	40	20	180	488	169	0	0.0	6.1	9.1	10.6	—	25.2	—	4.4	13.7
3	120	0	40	160	488	200	0	0.0	4.9	7.4	8.6	10.3	32.1	—	12.8	26.5
4	140	80	0	220	488	187	0	0.0	5.2	10.7	12.4	12.5	19.6	—	1.6	4.6
5	140	40	20	200	488	141	0	0.9	12.5	14.5	15.4	16.7	28.6	0.6	5.7	15.2
6	140	0	40	180	488	179	0	2.0	11.0	12.7	13.4	14.5	32.9	0.8	15.0	29.5
7	160	40	20	220	488	170	0	0.0	13.1	15.3	15.5	15.9	27.2	0.5	4.6	14.5
8	160	0	40	200	488	184	0	0.0	12.3	14.8	14.4	16.4	32.9	0.6	13.9	28.2
9	160	0	30	190	488	164	0	1.6	13.0	16.2	15.7	16.2	30.3	0.5	8.9	17.6

となり、28日後の目標値を満足する可能性があることが判明した。

### 2) 本配合試験

本配合試験では、仮配合試験の結果を受けて、半水石こう量を 120~140kg/m<sup>3</sup> とし、MgO を 0~80kg/m<sup>3</sup> の範囲で、高炉セメントを 0~40kg/m<sup>3</sup> の範囲で変化させた。配合条件と試験結果を表-12 に示す。

結果として、高炉セメント量が 20kg/m<sup>3</sup> で MgO40kg/m<sup>3</sup> の No. 5、7、高炉セメント量が 30kg/m<sup>3</sup> である No. 9 の3種類のみが硬度と CBR 値ともに満足する結果となった。なお、強度が目標値を満足する3種類のうち、高価な材料である MgO を含まずコスト面で有利であること、固化材の種類が少なく練り混ぜ時の手間が少ないことから、No. 9 の配合が最適と判断した。

### 3) 環境への影響の確認

本検討にて得られた配合の処理土について、六価クロムとふっ素に関する土壌溶出量試験を行った。

配合は、強度がやや高めではあるが六価クロム溶出の安全側となる No. 8 (再生石こう 160kg/m<sup>3</sup>、高炉セメント 40kg/m<sup>3</sup>) の配合を用いた。試験結果を表-13 に示す。

六価クロム化合物は検出下限値以下であった。また、ふっ素およびその化合物は、0.5mg/L と基準値以下の値であった。土懸濁液の pH は pH 11 の強アルカリ性であった。

### (3) コスト試算

実験用の小売り単価ではあるが、従来から検討している標準配合の処理土のコストから、今回検討したコスト低減配合がどの程度コスト縮減できたか

表-13 土壌溶出量試験結果

	処理土 (No.8)	基準値 (mg/L)
六価クロム化合物 (mg/L)	< 0.005	0.05
ふっ素およびその化合物 (mg/L)	0.5	0.8
土懸濁液の pH	11	—

表-14 配合と使用量

材料	主材 (kg/m <sup>3</sup> )	固化材 (kg/m <sup>3</sup> )	
		半水石こう	MgO
従来標準配合	しゃ断層用砂	100	80
	1,400	100	80
コスト低減配合	しゃ断層用砂	再生石こう	高炉セメント
	1,400	140	30

を試算した。検討した配合と材料の使用量を表-14 に示す。処理土の材料費は、大半が固化材の材料費である。再生石こうの単価はバージンの半水石こうと比較しておよそ 40%程度となる。また、高炉セメントの単価は MgO と比較しておよそ 15%程度となる。

コスト低減配合の処理土の材料費 (練混ぜ費は除く) を試算すると、標準配合の処理土と比較しておよそ 4 割程度に低減することがわかった。

### (4) コスト低減配合に関するまとめ

固化材を廉価な材料に代替したコスト低減配合を検討したが、目標とする条件を満足する配合が得られ、標準配合の処理土と比較しておよそ 4 割程度に低減することがわかった。

## 7. まとめと今後の課題

### (1) まとめ

#### 1) 処理土の実道施工規模の試験施工

プラント製造の処理土を想定して、夏期の高温期における室内配合試験と屋外施工実験を行った。室内配合試験は、石こう量と遅延剤添加量の適正配合を決定するための仮配合試験と MgO 量を決定するための本配合試験の 2 段階に分けて実施した。結果を以下にまとめる。

##### ① 室内配合試験と屋外施工の比較

室内配合試験の試験結果と屋外作製の試験結果の比較により、屋外実験における初期・長期強度が室内配合試験時に設定した強度とほぼ同様の値となり、配合試験方法は妥当であると判断できた。

##### ② 高温期における処理土の製造・打設

今回の実験により、ほぼすべての温度条件で処理土を製造、打設できることが確認できた。

##### ③ 処理土の施工性

施工は水締め打設による方法で行ったが、管下の充填性も良好であり（写真）、埋設管輻輳部への適用が可能であることが確認できた。

#### 2) 実道における発生土の適用性検討

今回採取した発生土においては 37.1～66.2%の礫分を含み 13mm 以上の粒径の粗礫が平均 15%程度含まれている礫質土であったことから、これまで実験を行ってきた砂質土系配合をそのまま適用できず、目標とする条件を満足できなかったこと、礫分が多いことから管回りの埋戻し材料の主材として適していないことがわかった。このため、今回採取したサンプルは 5 種類と少ないものの、発生土を処理土の材料としてそのまま適用することは困難であると考えられる。

#### 3) コスト低減配合の基礎検討

固化材を廉価な材料に代替したコスト低減配合を検討したが、目標とする条件を満足する配合が得られ、標準配合の処理土と比較しておよそ 4 割程度に低減することがわかった

### (2) 今後の課題

今回の調査により、処理土の配合設計やコスト縮減を含む適用性についておおよその結果を得ること

が出来た。しかし、以下の点が今後の課題としてあげられる。

#### ① 固化材としての半水石こうの多様性

今回の調査において石こうの硬化特性や遅延剤との相性が、固化材や主材ごとに異なることが改めて判明した。処理土をより一般的な材料とするためには、市場に出回っている石こうの種類や品質を把握し、温度条件を含む硬化特性や遅延剤との相性を把握する必要があるものと考えられる。

#### ② 砂質土の土質に対する処理土の性状

今回入手できた発生土が礫分に富む礫質土であったため、いわゆる砂質土における適用性を十分に把握できたとは言えない。特に礫分が多い場合、適正な配合水量が大きく変化する。したがって、砂と細粒分を多く含む砂質土のブレンドにより、異なる土質の砂質土を製造して工学的により正確な配合特性を把握することは、今後の一般化に向けて重要と考えられる。

## 8. あとがき

平成 16 年度から継続して検討を続けてきた本処理土は、道路占用工事による埋め戻し等に適用できる、即日復旧が可能で、輻輳管周りに空洞が生じにくい埋戻し材としての条件は概ね満足できる材料が得られたといえる。

しかし、実用化にあたっては、現場発生土を活用したりサイクルの面やコストなどの課題がまだ残っている。

今後これらの課題に対する実験を進めていく予定である。なお、本調査を進めるに当たり、道路管理部保全課をはじめ、関係者各位に多大なご協力を得たことを感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 小林一雄、上野慎一郎（2008）：速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法、平 20. 都土木技術センター年報、119-128
- 2) 小林一雄、上野慎一郎（2009）：速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その 3）、平 21. 都土木技術支援・人材育成センター年報、89-98
- 3) 大野正宏、田中輝栄、峰岸順一、小林一雄（2010）：速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その 4）、平 22. 都土木技術支援・人材育成センター年報、83-90
- 4) 大野正宏、田中輝栄、峰岸順一（2011）：速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その 5）、平 23. 都土木技術支援・人材育成センター年報、69-76
- 5) 橋本喜正、田中輝栄、峰岸順一（2012）：速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その 6）、平 24. 都土木技術支援・人材育成センター年報、95-104