

8. 速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その8）

Backfill Industrial Method by Sandy Soil System Stability Processing of Type that Hardens Fast (Part.8)

技術支援課 橋本喜正、田中輝栄、峰岸順一

1. まえがき

即日復旧が可能で、輻輳管周りに空洞が生じにくい道路占用工事等による埋戻し材として、砂質土を用いた速硬型の安定処理土(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^{1)~6)}。

本処理土に求める主な条件として、①即日復旧が可能な強度となるよう速硬性があること、②再掘削が容易となるよう、長期強度が掘削可能な強度以下となること、③輻輳管周りに空隙が生じず、充填性が良好であること、の3点があげられる。

これまでの検討結果⁶⁾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 25 年度の調査では、これまでの調査結果を踏まえ、標準的な製造・施工方法の確立を図り、実験の総括を行ったので、その内容を報告する。

2. 調査項目

実施項目は、次の3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 本工法の総括

3. 材料試験

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

砂および埋戻し用砂を用いた。このしゃ断層用砂および埋戻し用砂について、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。参考のために昨年度に用いたしゃ断層用砂の試験値も示した。

しゃ断層用砂の細粒分は 3.1%と都の基準を満足しており、全体の粒度組成も昨年度のものとはほぼ一致している。埋戻し用砂は、細粒分が 11.7%で、都の基準（細粒分 10%未満）をわずかに超えていた。また、この埋戻し用砂は、粘土の団粒（径 4cm 程度以下の塊）を含んでいたことから、実際の細粒分はさらに大きいものと考えられる。

表-1 材料試験結果

材料名		しゃ断層用砂 (H25)	埋戻し用砂 (H25)	しゃ断層用砂 (H24)	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.760	2.668	2.759	
含水比 ω_n (%)		18.8	17.7	13.5	
粒度特性	粗粒分	礫分 G (%)	1.4	18.4	1.9
		砂分 S (%)	95.5	69.9	95.5
	細粒分	シルト分 M (%)	3.1	11.7	2.6
		粘土分 C (%)			
最大粒径 (mm)		9.5	53.0	9.5	
地盤材料の工学的分類	分類記号	(S)	(SG-Cs)	(S)	
	分類名	砂	粘性土混じり礫質砂	砂	
土懸濁液のpH		7.0	8.9	6.6	

4. 処理土の実道施工規模の試験施工

速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その7）の室内実験⁶⁾によって、しゃ断層用砂を主材に用い、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。）と高炉セメント B 種（以下、「高炉セメント」という。）を固化材として用いた「コスト低減配合」の適用可能性が示唆された。そこで、この配合を用い、実道施工規模の試験施工を実施して適用性を検証した。あわせて、しゃ断層用砂よりコストが低い埋戻し用砂での配合も検討を行った。

4.1 室内配合試験

屋外試験施工に用いる配合を室内配合試験により求めた。この室内配合試験は、準備試験と配合試験、確認試験の3段階に分けて行った。準備試験では、過去の実績を参考に再生石こう量と高炉セメント量を変化させて再生石こう量と高炉セメント量の絞り込みをした。配合試験では、準備試験で絞り込んだ石こう量と高炉セメント量から石こう量を3点ふり、最適再生石こう量を求めた。この結果から得られた最適配合を用いて確認試験を行い屋外実験に用いる配合の物理性状等の確認を行った。

また、品質確認はこれまでの実験と同様に、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、JIS A 1211 に規定する CBR 試験を準用した 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°40'）を垂直に圧入し、土壤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
- ② 7 日後の CBR 値が 7% (28 日後の CBR 値 13% 換算) 程度 (2~12%) となること

と設定した。

4.1.1 しゃ断層用砂を用いた配合試験

(1) 使用材料

本試験では、主材としてしゃ断層用砂を、固化材として再生石こう、高炉セメントを、その他材料として水を用いた。

(2) 準備試験

配合条件を表-2 に示す。このうち No. 0-1 と No. 0-2 は適正な配合水量を求めるために実施したもので、準備試験で実施する配合のうち No. 1-1 から No. 1-9 までの適正な配合水量を求めるために先駆けて実施したものである。ここで、適正な配合水量については処理土の充填性や施工性に影響を与えるフロー値（フロー試験 JHSA313, 3.5.2）で評価した。

No. 0-1 と No. 0-2 の配合のフロー値を図-1 に示す。この結果から、目標とするフロー値の範囲である 180 mm から 220 mm の中央値に近い配合水量である 475 kg/m³ を採用した。

表-2 準備試験配合条件（しゃ断層用砂）

No.	処理土の配合密度 (t/m ³)	配合水量 (kg/m ³)	配合 (kg/m ³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
0-1	1.882	465	488	100	0	100
0-2	1.863	475	499	100	0	100
1-1	1.863	475	499	100	0	100
1-2	1.856	475	499	140	0	140
1-3	1.848	475	499	180	0	180
1-4	1.857	475	499	140	10	150
1-5	1.857	475	499	140	20	160
1-6	1.858	475	499	140	30	170
1-7	1.853	475	499	160	10	170
1-8	1.854	475	499	160	20	180
1-9	1.855	475	499	160	30	190

この水量にて、No. 1-1 から No. 1-9 まで同じ水量とし、No. 1-1 から No. 1-3 までは再生石こう量を 100、140、180 kg/m³ の 3 種類で高炉セメント量が 0 kg/m³、1-4 から 1-9 までは再生石こう量を 140、160 kg/m³ の 2 種類で高炉セメント量を 10、20、30 kg/m³ の 3 種類の組み合わせの 6 種類の配合を検討した。

準備試験の結果を表-3 に示す。また、この結果を硬度と CBR で整理したグラフを図-2 と図-3 に示す。

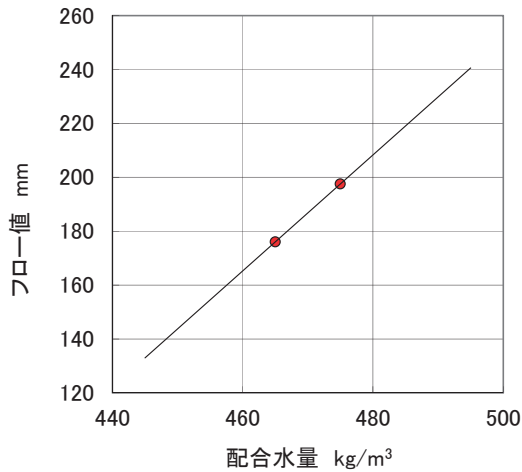


図-1 準備試験フロー値設定

表-3 試験結果 (しゃ断層用砂)

No.	フロー値 (mm)	硬度 (mm)					7日後	CBR (%)
		15分後	30分後	45分後	60分後	7日後		
1-1	174	5.9	6.6	7.0	6.9	5.8	0.8	
1-2	175	12.0	13.9	14.8	15.5	13.3	1.7	
1-3	200	15.0	17.5	17.3	17.4	18.0	2.8	
1-4	206	2.1	7.2	7.4	8.0	16.4	1.5	
1-5	183	2.3	8.6	9.0	9.5	15.7	1.6	
1-6	203	0.6	6.4	7.3	8.4	26.6	5.7	
1-7	136	7.1	14.1	15.2	16.3	23.2	3.4	
1-8	196	1.2	8.9	10.3	10.8	17.4	1.8	
1-9	117	5.5	12.5	13.4	14.8	30.0	6.9	

図-2、図-3の結果から、硬度と CBR の目標値の双方を満たし、目標値に最も近い配合は No. 1-9の配合である再生石こう量が 160 kg/m³、高炉セメント量が 30 kg/m³のケースとなった。このため、この配合を中心として配合試験を実施した。

(3) 配合試験

表-4 に示す 3 配合にて用いて試験を実施した。なお、準備試験において No. 1-9 はフロー値が基準値より小さかったことから、配合水量を 5kg/m³増やして 480kg/m³とした。試験結果を表-5 に示す。また、この結果を硬度と CBR で整理したグラフを図-4 と図-5 に示す。

この結果、1 時間後の硬度が 13 mm以上を満足する再生石こう量は 160kg/m³以上となり、7 日後の CBR は再生石こう量が 140kg/m³以上で満足できることから、再生石こう 160kg/m³、高炉セメント 30kg/m³をしゃ断層用砂を用いた配合として選定し、以下の確認試験を実施した。

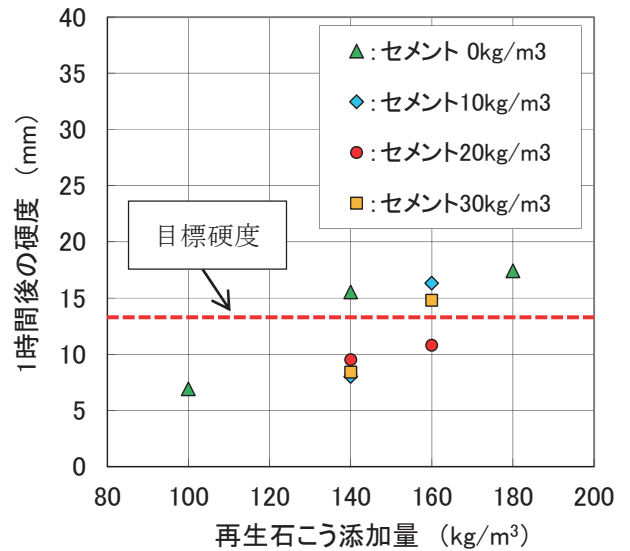


図-2 硬度試験結果 (1 時間)

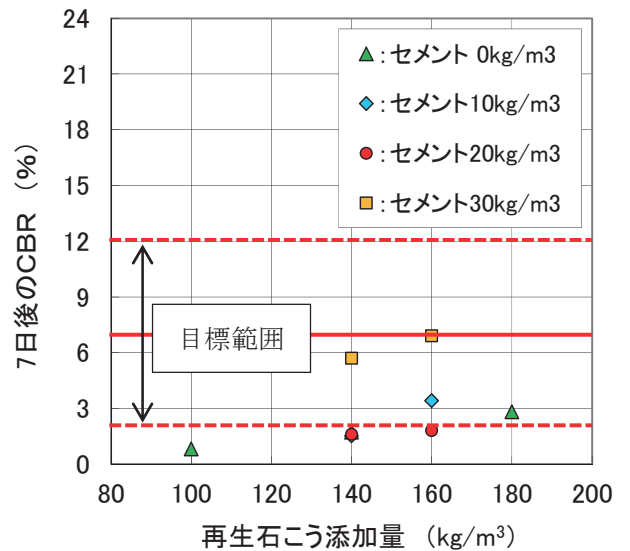


図-3 CBR 試験結果 (7 日後)

表-4 配合試験条件 (しゃ断層用砂)

No.	処理土の配合密度 (t/m ³)	配合水量 (kg/m ³)	配合 (kg/m ³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
2-1	1.849	480	504	140	30	170
2-2	1.845	480	504	160	30	190
2-3	1.842	480	504	180	30	210

表-5 試験結果 (しゃ断層用砂)

No.	フロー値 (mm)	硬度 (mm)					7日後	CBR (%)
		15分後	30分後	45分後	60分後	7日後		
2-1	180	3.4	9.7	11.4	11.6	30.4	8.3	
2-2	170	5.5	13.2	14.7	15.4	31.3	10.7	
2-3	175	6.2	14.7	16.3	17.3	31.4	11.4	

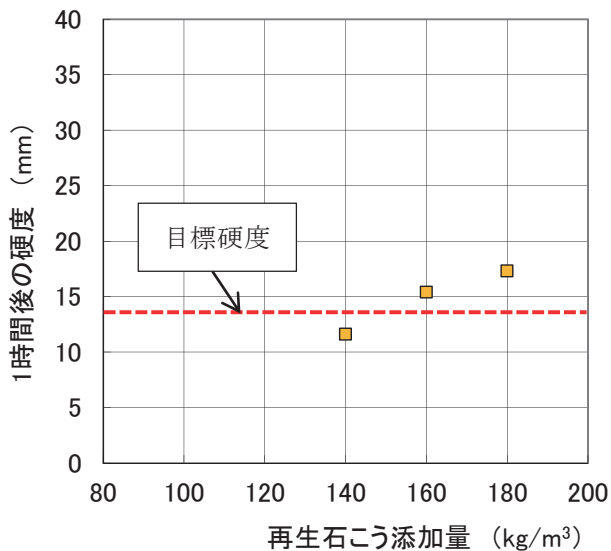


図-4 硬度試験結果 (1時間)

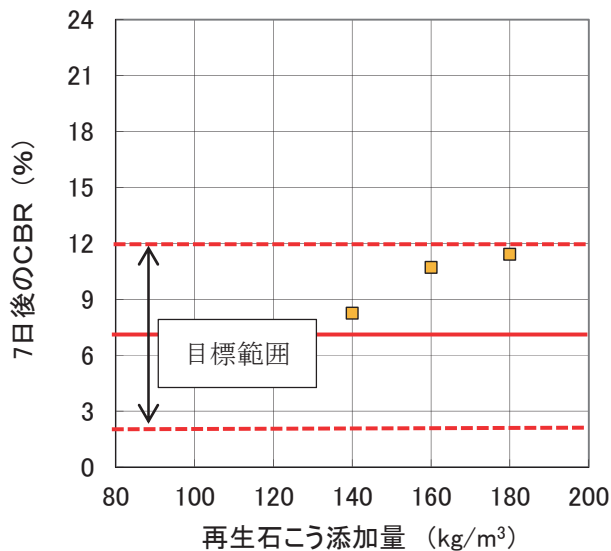


図-5 CBR 試験結果 (7日後)

(4) 配合確認試験

配合確認試験では、配合試験で選定した配合について、硬度、CBR、フロー値のほか、ブリージング量、透水係数、pH、六価クロム・フッ素の化合物の土壌溶出量についても確認を行った。

1) 配合条件

配合確認試験は、表-6 に示す条件で試験を実施した。なお、試験はn=3とした。

表-6 配合試験条件 (しゃ断層用砂)

No.	処理土の配合密度 (t/m³)	配合水量 (kg/m³)	配合 (kg/m³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
3	1.845	480	504	160	30	190

2) 配合確認試験結果

① フロー値とブリージング率

試験結果を表-7 に示す。

表-7 フロー値とブリージング率

No.	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)
3-1	190	0.0
3-2	198	0.0
3-3	186	0.0

処理土のフロー値は、186~198mmの範囲にあり、3回の配合は概ね同じ配合であったと言える。

ブリージング率は0.0%で、全て材料分離は生じなかった。

② 硬度とCBR

硬度試験およびCBRの結果を、表-8 に示す。

また、図-6 に硬度の経時変化を、図-7 に CBR の強度変化を示す。

表-8 硬度試験および CBR の結果

No.	硬度 (mm)						CBR (%)	
	15分後	30分後	45分後	60分後	7日後	28日後	7日後	28日後
3-1	10.1	14.6	15.7	15.9	30.0	33.2	8.1	13.5
3-2	9.2	14.1	14.6	16.2	29.8	31.7	8.1	13.3
3-3	10.4	14.6	15.4	15.8	30.4	32.5	8.6	14.5

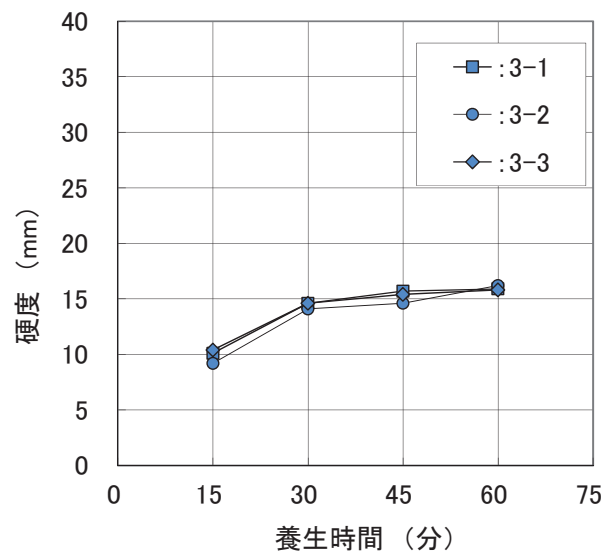


図-6 硬度試験結果

硬度は、およそ30分後には目標とする硬度13mmを満たしており、配合試験時の硬度とほぼ同様の結果が得られた。

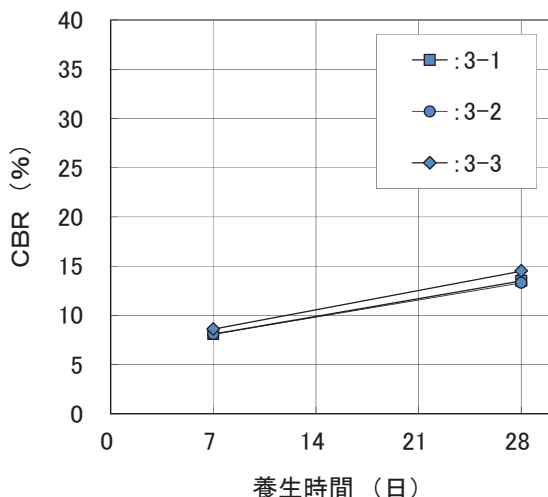


図-7 CBR 試験結果

また、CBRの結果であるが、配合試験時の7日強度が10.7%であったが確認試験では8%程度と若干低い値となった。ただし、7日強度および28日強度については目標の範囲を満足しており問題のない結果となった。

③ 透水係数

土の透水試験方法(JIS A 1218)の定水位透水試験方法による本処理土の透水係数であるが、およそ 6.3×10^{-8} (m/s)となった。この値は、一般的な土質区分によると難透水性の土質に区分される。

④ 土壌溶出量およびpH

土壌溶出量試験および土懸濁液のpH試験の結果を表-9に示す。

表-9 土壌溶出量試験およびpH試験結果

溶出量試験項目	処理土	基準値
六価クロム化合物	< 0.005	0.05
フッ素およびその化合物	5.3	0.8
土懸濁液のpH	11.2	-

※<は定量下限値未満

土壌溶出量試験の結果、しゃ断層用砂を用いた処理土では、六価クロム化合物は検出されなかった。しかし、フッ素およびその化合物は5.3mg/Lで、基準値を超える値となった。これまでの調査結果では、0.1~0.3mg/Lと基準値を超える結果はなく、今回のこの結果は主材であるしゃ断層用砂の特性による可能性が考えられるが、使用する主材についても事前

にフッ素およびその化合物の溶出量を確認する必要がある。

4.1.2 埋戻し用砂を用いた配合試験

(1) 使用材料

本試験では、主材として埋戻し用砂を、固化材として再生石こう、高炉セメントを、その他材料として水を用いた。

(2) 準備試験

配合条件と試験結果を表-10 および表-11に示す。このうちNo. 0-1とNo. 0-2は、しゃ断層用砂の配合試験と同様に適正な配合水量を求めるために実施したものである。

目標とするフロー値の範囲である180mmから220mmの中央値に近い配合水量である480kg/m³を採用し、No. 4-1~No. 4-4を実施した。

この結果、No. 4-3の158mm、No. 4-4の146mmなど

表-10 準備試験配合条件(埋戻し用砂)

No.	処理土の配合密度 (t/m ³)	配合水量 (kg/m ³)	配合 (kg/m ³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
0-1	1.821	475	499	100	0	100
0-2	1.798	485	509	100	0	100
4-1	1.812	480	504	100	0	100
4-2	1.806	480	504	140	0	140
4-3	1.800	480	504	180	0	180
4-4	1.805	480	504	160	10	170
4-5	1.797	485	509	160	20	180
4-6	1.781	495	520	160	30	190
4-7	1.764	505	530	140	10	150
4-8	1.765	505	530	140	20	160
4-9	1.766	505	530	140	30	170

表-11 試験結果(埋戻し用砂)

No.	フロー値 (mm)	硬度 (mm)					CBR (%)
		15分後	30分後	45分後	60分後	7日後	
4-1	190	0.0	0.0	3.4	4.5	11.7	0.9
4-2	167	0.0	5.7	10.8	12.4	17.3	2.4
4-3	158	1.1	13.0	16.8	18.4	22.1	5.2
4-4	146	9.8	12.4	14.6	15.7	21.7	3.5
4-5	147	3.3	12.8	15.4	16.5	25.5	5.1
4-6	156	3.4	12.3	15.0	15.5	30.5	11.7
4-7	208	0.0	5.1	9.9	10.4	16.9	2.0
4-8	201	1.3	8.8	11.1	11.4	24.0	4.2
4-9	213	0.3	8.5	10.1	10.0	29.5	10.1

フロー値に小さい値が出たことから、配合水量を次第に増やしてみたところ、最終的に、配合水量が 505 kg/m³ の No. 4-7～No. 4-9 において、フロー値が 201～213mm となった。この結果を硬度と CBR で整理したグラフを図-8 と図-9 に示す。

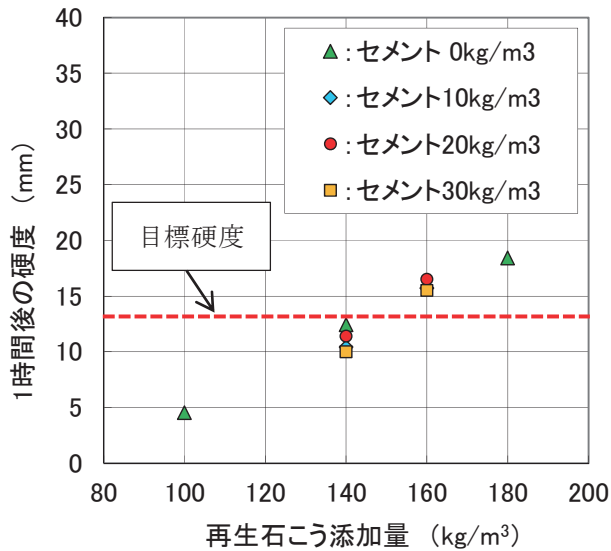


図-8 硬度試験結果 (1 時間)

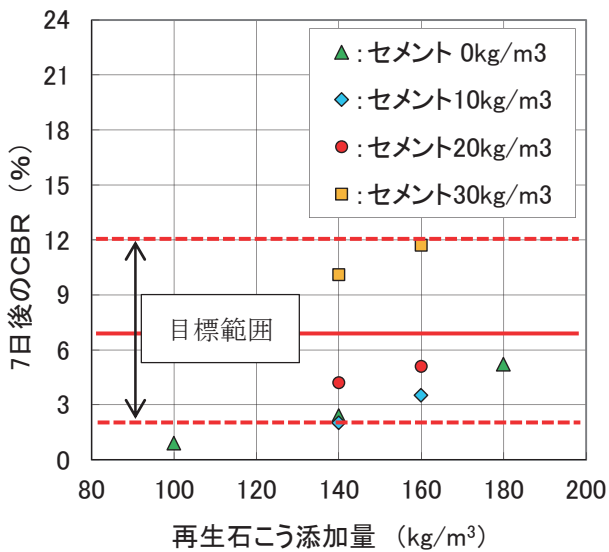


図-9 CBR 試験結果 (7 日後)

図-8、図-9 の結果から、硬度と CBR の目標値の双方を満たす配合は再生石こう量が 160 kg/m³、高炉セメント量が 20 または 30 kg/m³ のケースとなった。このため、今回はしゃ断層用砂と同様の高炉セメント量が 30 kg/m³ の配合を中心として配合試験を実施した。

(3) 配合試験

表-12 に示す 3 配合にて用いて配合試験を実施し

た。なお、準備試験のフロー値と強度等の試験値を考慮し、配合水量を 500kg/m³ とした。試験結果を表-13 に示す。また、この結果を硬度と CBR で整理したグラフを図-10 と図-11 に示す。

この結果、1 時間後の硬度が 13 mm 以上を満足する再生石こう量は 160kg/m³ 以上、7 日後の CBR は再生石こう量が 140kg/m³ 以上で満足できることから、再生石こう 160kg/m³、高炉セメント 30kg/m³ を埋戻し用砂を用いた配合として選定し、確認試験を実施した。

表-12 配合試験条件 (埋戻し用砂)

No.	処理土の配合密度 (t/m ³)	配合水量 (kg/m ³)	配合 (kg/m ³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
5-1	1.775	500	525	140	30	170
5-2	1.772	500	525	160	30	190
5-3	1.769	500	525	180	30	210

表-13 試験結果 (埋戻し用砂)

No.	フロー値 (mm)	硬度 (mm)					CBR (%)
		15分後	30分後	45分後	60分後	7日後	7日後
5-1	200	0.5	7.8	10.5	11.8	30.5	9.3
5-2	182	2.1	12.5	14.5	16.1	30.1	10.7
5-3	158	3.6	14.4	17.2	19.2	30.6	11.9

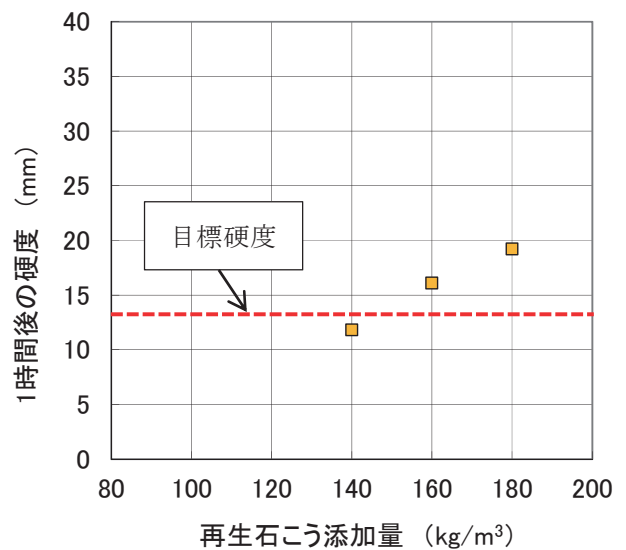


図-10 硬度試験結果 (1 時間)

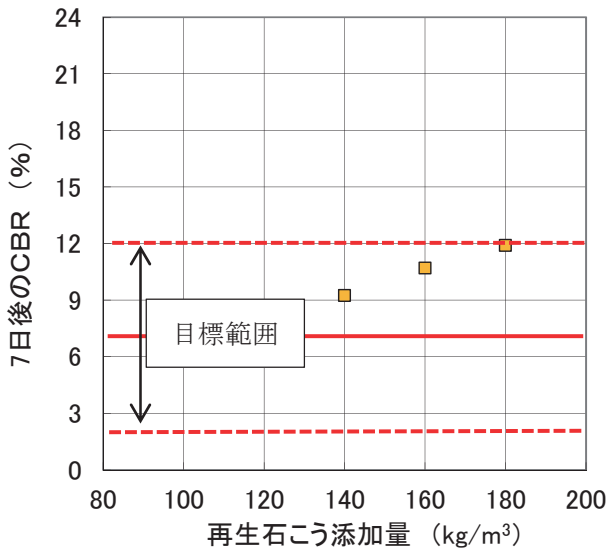


図-11 CBR 試験結果 (7日後)

(4) 配合確認試験

配合確認試験では、配合試験で選定した配合について、硬度、CBR、フロー値のほか、ブリージング量、透水係数、pH、六価クロム・フッ素の化合物の土壤溶出量の確認を行った。

1) 配合条件

配合確認試験は、表-14 に示す条件で試験を実施した。なお、試験は n=3 とした。

表-14 配合試験条件 (埋戻し用砂)

No.	処理土の配合密度 (t/m³)	配合水量 (kg/m³)	配合 (kg/m³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
6	1.772	500	525	160	30	190

2) 配合確認試験結果

① フロー値とブリージング率

試験結果を表-15 に示す。

表-15 フロー値とブリージング率

No.	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)
6-1	201	0.0
6-2	194	0.0
6-3	212	0.0

処理土のフロー値は、194~212mm の範囲にあり、3 回の配合は概ね同じ配合であったと言える。

ブリージング率は 0.0% で、全て材料分離は生じなかった。

② 硬度と CBR

硬度試験および CBR の結果を、表-16 に示す。

また、図-12 に硬度の経時変化を、図-13 に CBR の強度変化を示す。

硬度は、およそ 45 分後には目標とする硬度 13 mm を満たしており、配合試験時の硬度とほぼ同様の結果が得られた。

また、CBR の結果であるが、配合試験時の 7 日強度が 10.7% であったが確認試験では 12% 程度と若干高い値となった。ただし、7 日強度および 28 日強度については目標の範囲を満足しており問題のない結果となった。

③ 透水係数

土の透水試験方法 (JIS A 1218) の定水位透水試験方法による本処理土の透水係数は、およそ 3.46×10^{-8} (m/s) となった。この値は、一般的な土質区分によると難透水性の土質に区分される。

表-16 硬度試験および CBR の結果

No.	硬度 (mm)						CBR (%)	
	15分後	30分後	45分後	60分後	7日後	28日後	7日後	28日後
6-1	2.8	12.4	15.2	16.1	31.3	33.0	12.8	16.1
6-2	3.1	11.9	14.4	16.5	31.1	33.4	11.8	17.4
6-3	3.5	12.4	14.3	15.3	31.4	33.6	12.4	18.5

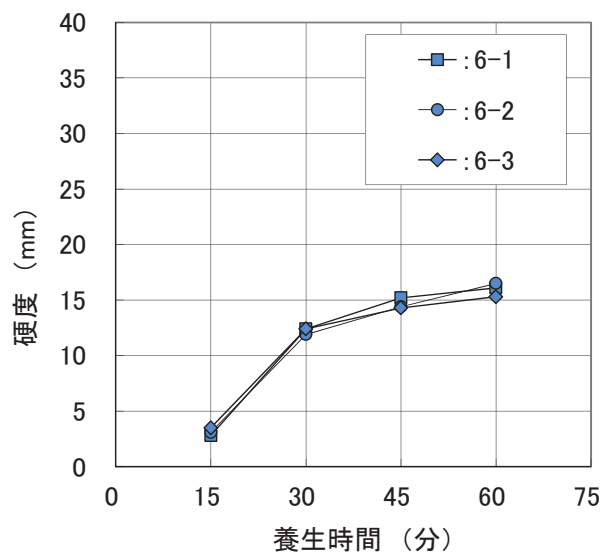


図-12 硬度試験結果

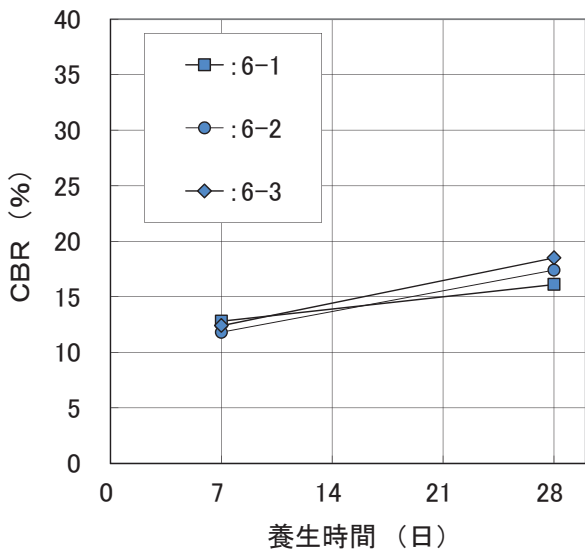


図-13 CBR 試験結果

④ 土壌溶出量および pH

土壌溶出量試験および土懸濁液の pH 試験の結果を表-17 に示す。

表-17 土壌溶出量試験および pH 試験結果

溶出量試験項目	処理土	基準値
六価クロム化合物	< 0.005	0.05
フッ素およびその化合物	< 0.1	0.8
土懸濁液の pH	11.1	-

土壌溶出量試験の結果、埋戻し用砂を用いた処理土では、六価クロム化合物やフッ素およびその化合物は検出されなかった。ほぼ同配合であるしゃ断層用砂を主材に用いた場合には、フッ素およびその化合物が基準値を超えた結果が出たことから、今回のしゃ断層用砂に問題があった可能性が高いと考えられる。

4.2 屋外施工実験

(1) 実験概要

室内配合試験にて検討したしゃ断層用砂と埋戻し用砂を主材とした2種類の処理土について、現場の規模に近づけた屋外の施工実験により適用性を確認するものである。また、現在道路占用工事で管路等の埋戻しに用いられているしゃ断層用砂、第二種改良土単独による2種類の材料も同時に実験を行い、計4種類の材料を用いて比較実験を行った。実験対象の概要を表-18 に示す。

表-18 屋外施工実験の実験対象概要

No.	埋戻し材料		管回り部の埋戻し方法
	上層路床	管回り部	
7-1	しゃ断層用砂	処理土(しゃ断層用砂)	水締め
7-2	しゃ断層用砂	処理土(埋戻し用砂)	水締め
7-3	しゃ断層用砂	しゃ断層用砂	突き棒+足踏み
7-4	しゃ断層用砂	第二種改良土	突き棒+足踏み

(2) 配合および実験条件

しゃ断層用砂と埋戻し用砂を主材とした2種類の処理土と、現在道路占用工事で管路等の埋戻しに用いられているしゃ断層用砂、第二種改良土単独による2種類の材料の計4種類の埋戻し実験を行った。

幅転する管路が存在する現場の状況を模した土槽(図-14、写真-1)を各材料にて1槽ずつ計4槽作製し、しゃ断層用砂と埋戻し用砂を主材とした2種類の処理土については水締めによる施工方法にて打設し、短期・長期強度、管回りの強度、施工性、管回りの充填性、掘削性などを確認した。しゃ断層用砂・第二種改良土単独のケースは、現在行われている通常の締め固め方法で施工し、管回りの強度、充填性等の確認を行った。

しゃ断層用砂と埋戻し用砂を主材とした2種類の処理土の配合は、室内配合試験で検討した表-19 に示す配合を用いた。

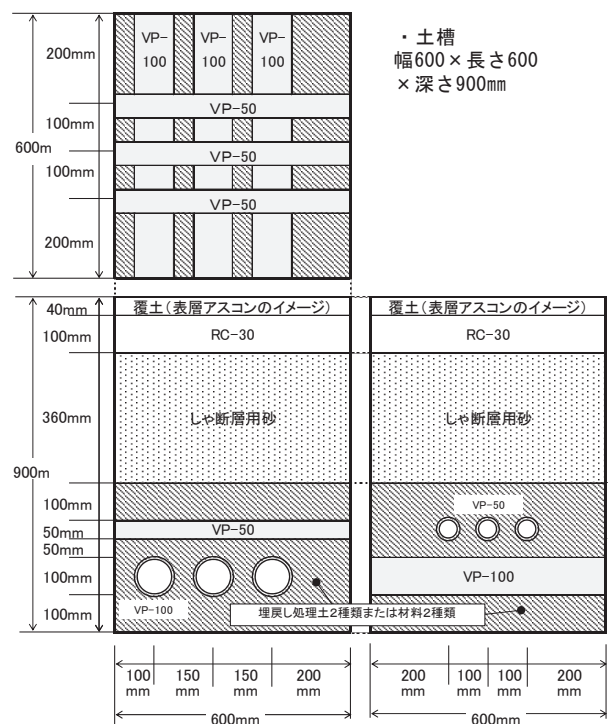


図-14 実験土層



写真-1 実験土層状況



写真-2 処理土製造状況

表-19 屋外施工実験における処理土の配合条件

No.	主材	処理土の配合密度 (t/m ³)	配合 (kg/m ³)			
			全水量	再生石こう	高炉セメント	固化材量
7-1	しゃ断層用砂	1.845	504	160	30	190
7-2	埋戻し用砂	1.772	525	160	30	190

(3) 製造及び施工

1) しゃ断層用砂と埋戻し用砂を主材とした 2 種類の処理土

室内配合試験で決定した配合を用いた。ただし、配合水量は、水締めをしっかりと行うことができる水量とし、埋戻し用砂を主材とした No. 7-2 では 13L を割り増し投入した。

処理土の製造は各 145 リットル程度で実施した。処理土の製造・施工は下記の手順に従い実施した。

- ① 各材料を予め計量しておき、主材と固化材をミキサーで 5 分間攪拌した。(写真-1)
- ② 実験土槽に底面から 40cm、管上面から 10cm まで処理土を水締め施工した。混合土はスコップで投入し、水は 2L 程度の容器で投入した。輻輳する管回りは、突き棒や足踏み転圧を用いて処理土が十分にまわるように施工した。
- ③ 処理土表面にて硬度測定を行い、所定の強度に達した時点で、処理土の上にしゃ断層用砂を敷均し、ランマーで転圧した。しゃ断層用砂の仕上がり厚は 360mm とした。その上に砕石 (RC-30) を敷均し、ランマーで転圧を行い、厚さ 10cm の砕石層を構築した。
- ④ 砕石層の上には 4cm の覆土を行い、養生した。



写真-3 水締め状況

2) しゃ断層用砂、第二種改良土単独

それぞれの材料をそのまま用いて埋戻しを行った。施工は下記の手順に従い実施した。

- ① 実験土槽に底面から 40cm、管上面から 10cm まで材料を埋戻した。施工方法は現場で用いられている一般的な方法として、突き棒と足踏転圧で行った。(写真-4)



写真-4 突き棒による締固め状況

② 材料の上にはしゃ断層用砂を敷均し、ランマーで転圧した。しゃ断層用砂の仕上がり厚は360mmとした。その上に碎石(RC-30)を敷均し、ランマーで転圧を行い、厚さ10cmの碎石層を構築した。

③ 碎石層の上には4cmの覆土を行い、養生した。

(4) 試験内容

以下の試験により品質を確認した。

1) 硬度試験

硬度試験は、処理土施工後15分、30分、45分、60分および28日後に処理土表面でそれぞれ所定数量行う。また、施工28日後には、管回り、各深度での硬度も測定する。

2) CBR試験

埋設したCBRモールドで作製した供試体により28日後にCBR試験を実施する。

3) 現場密度試験

碎石層の施工直後に、碎石層の密度を砂置換法により各処理土各1点測定する。

4) 管回りの硬化状態の観察

28日後のCBRモールド掘り出しの際に、管回りの硬化状態を目視確認する。

5) 剣スコップによる掘削性調査

全ての試験終了後に、実験土槽の処理土を剣スコップで掘削し、18リットル缶へ詰め込み、缶が一杯になるまでの時間を測定する。

(5) 試験結果

1) 硬度試験

しゃ断層用砂を用いた処理土 No. 7-1 は、管回り上10cmから上の層を転圧して復旧する場合における適用性を把握するため、流動化処理土取扱い基準で定められている基準を準用し、表面硬度が3mm以上となった際に上層の施工を行った。その結果、打設15分後に4mmを超えたため、その後は管上部の敷均し、転圧を行った。

打設15分後の硬度は、図-15に示すように、室内の確認試験に比べてかなり小さかったが、後述のように、問題なく路床材や路盤材を敷き均して転圧することができた。

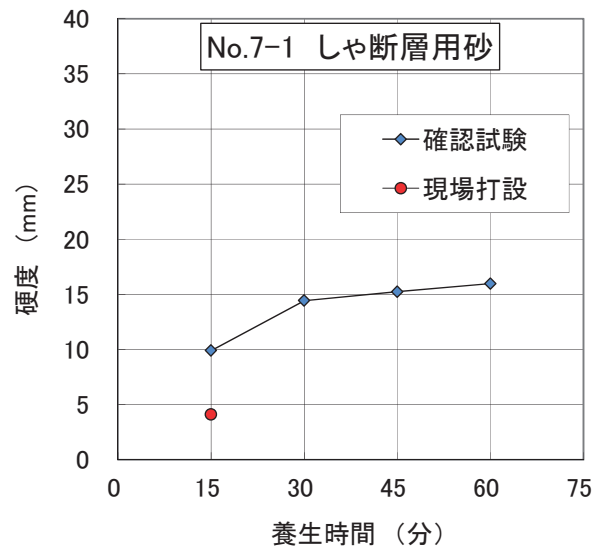


図-15 表面硬度結果 (しゃ断層用砂)

埋戻し用砂による処理土 No. 7-2 では、No. 7-1と同様に上層を転圧して埋め戻しを行うものであったが、こちらはより長く硬度の伸びを確認するため、通常路盤下面まで処理土を施工する場合に用いる硬度の基準値である13mm程度まで確認することとした。埋戻し用砂の配合の硬度を図-16に示す。

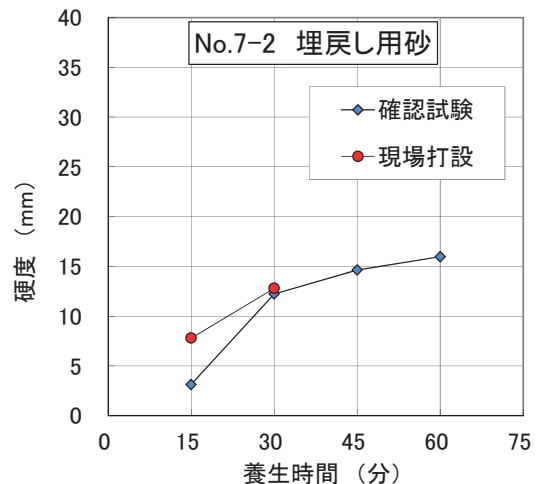


図-16 表面硬度結果 (埋戻し用砂)

No. 7-2の打設面硬度は、打設15分後に7.8mmとなり、30分後には12.8mmと、初期強度の発現は確認試験よりも良好であり、所定の硬度に達したことから、上層の敷均し転圧を行った。

次に、管回り付近の28日後の硬度を図-17に示す。

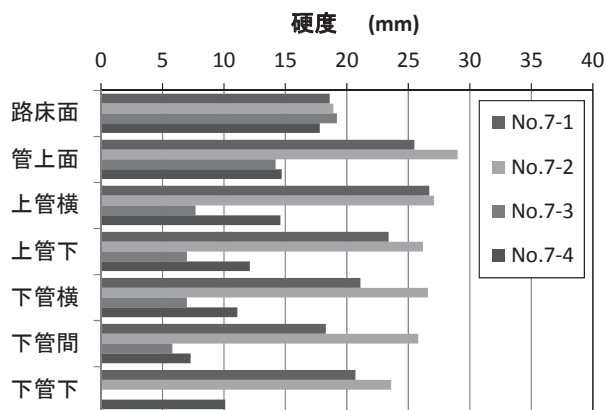


図-17 管回り硬度結果 (28日後)

しゃ断層用砂と埋戻し用砂を用いた処理土 (No. 7-1、No. 7-2) は、図-17に示すように、全ての測定箇所 18mm 以上を示し、管下の硬度は管横などと概ね同等であった。一方、しゃ断層用砂または第二種改良土単独のケース (No. 7-3、No. 7-4) は、管下の特に下管の下部が非常に小さい値であった。特にしゃ断層用砂では、下管の下に硬度 0mm の空洞を伴う部分が生じていた。

2) CBR 試験

打設した処理土の CBR は、No. 7-1 が 13.1%、No. 7-2 が 11.4% で、No. 7-1 は概ね室内配合試験と同等の値であったが、No. 7-2 はやや低い値となった。ただし、両者とも CBR の基準値は満足した。

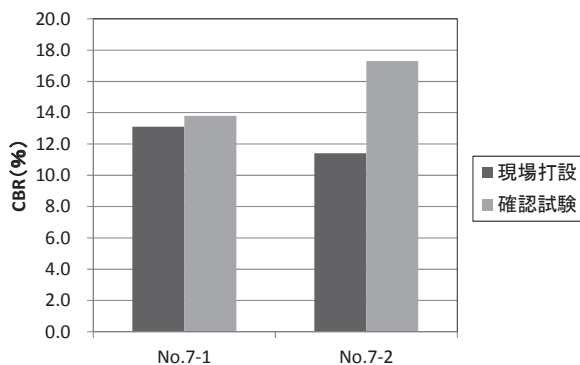


図-18 CBR 結果 (28日後)

3) 現場密度試験

現場密度試験は、砂置換法により、路盤材転圧後に実施した。結果は表-20に示す。

締固め度は、水締めした改良土、しゃ断層用砂または第二種改良土単独のケースにかかわらず、全て約 94% と良好な値であった。

表-20 現場密度試験結果

No.	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
7-1	2.142	94.6
7-2	2.118	93.5
7-3	2.128	94.0
7-4	2.134	94.2

4) 管回りの硬化状態の観察

28日後の時点で、管回りの硬化状態を目視確認した。(写真-5~8)

上側の径 50mmVP 管の管下は、いずれのケースでもほぼ 100% の充填状況で、目立つ空洞は認められなかった。

次に、下側の径 100mmVP 管の管下の状況であるが、写真-7の円内に示すように No. 7-3 のしゃ断層用砂単独のケースで深さ 5cm を超える顕著な空洞が生じていた。また、図-17に示したように、この管下の強度は硬度が 0mm で非常に緩い状態であった。

写真-8の No. 7-4 の第二種改良土単独のケースでは、目立った空洞は認められなかった。このことは、突き棒が使用できるような輻輳部で入念な突き棒転圧を行えば、空洞がかなり解消できることを示している。しかし、管下や管の間の硬度については全体に小さい傾向がみられたことと、処理土のように固化材により土粒子が固結していないことから、将来的に砂の移動が起こり空洞が発生するリスクは存在すると考えられる。

一方、写真-5の No. 7-1 のしゃ断層用砂の処理土では下管の中央管下にのみ若干空洞が生じたが他の 2 本では空洞が発生しておらず、硬度も十分確保できていたことから、この中央部のみ管回り部の水締め施工時に水量が不足するなどの施工不良が発生したのではないかと想定される。写真-6の No. 7-2 の埋戻し用砂の処理土では空隙も発生しておらず、硬度も十分確保できていた。

この結果から、現在現場で用いられているしゃ断層用砂や第二種改良土による埋戻しは突き棒が使用できるような輻輳部で入念な突き棒転圧を

行えば、空洞についてはかなり解消できる場合もあること、処理土を用いたとしても、水締めによる施工の良否により品質に差が出るのがわかった。

5) 剣スコップによる掘削性調査

しゃ断層用砂単独のNo. 7-3は約0.5分で標準的な砂の掘削時間であった。また、第二種改良土は1.4分と砂の3倍程度の時間を要した。

処理土の掘削性は、No. 7-1 が 3.9 分、No. 7-2 が 3.5 分と砂と比較して約7、8倍程度の時間を要したが、スコップで掘削できない硬さではなかった。

4.3 実道施工規模の試験施工まとめ

しゃ断層用砂と埋戻し用砂を用いて処理土の室内配合試験と屋外施工実験を実施した。その結果、屋外施工に適用可能な適正配合を室内試験で得ることができ、ほぼ同等の品質の処理土を屋外で打設することができた。

主材となるしゃ断層用砂と埋戻し用砂の比較では、どちらも品質に遜色はない結果となっており、両者用いることが可能という結果となった。配合試験により、所定の条件を満足できるのであれば、より安価な材料である埋戻し用砂を用いることが工事費用を抑えることができ、有効と考えられる。

5. 処理土工法の総括

今回得られた結果と平成16年度から実施してきたこれまでの知見を総括し、本処理土工法の設計・施工方法等について総括した結果を以下に示す。

5.1 概説

(1) 速硬型砂質土系安定処理土の概要および特徴

処理土は、主に占用企業者等の管きよの埋戻し工事に利用するものである。

処理土の主な特徴は以下に示す。

① 即硬性がある

水締め後15分から30分程度で管周り上層の敷均し、転圧が可能となるような即硬性を有する。このため、仮に管下部の充填が不十分な場合でも地下水等に流されない強度を保持する。

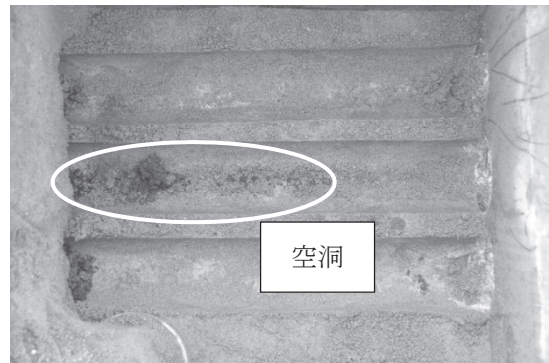


写真-5 下管管下の充填状況 (No. 7-1)



写真-6 下管管下の充填状況 (No. 7-2)

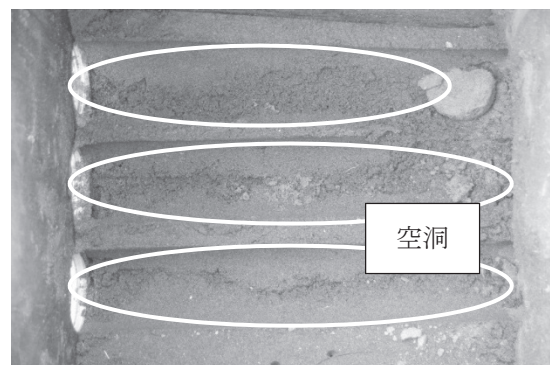


写真-7 下管管下の充填状況 (No. 7-3)



写真-8 下管管下の充填状況 (No. 7-4)

- ② 流動性を持ち、締固めが不要である。
硬化前は高い流動性をもつので、狭い空間や形状の複雑な箇所でも容易に埋戻しや充填が可能である。
- ③ 流動性・強度を任意に設定可能である。
固化材や水の配合量を調節することにより、用途に応じた流動性と強度を得ることができる。
- ④ 粘着力が高いため、地震時に液状化しない。

(2) 適用用途

処理土は、水締めにより流動し、速硬性を有しているため締固めを必要としないことから、即日開放が必要な占用工事における埋設管の輻輳する狭隘な空間や締固めの困難な箇所の埋戻し・充填に用いると特に効果的である。

(3) 工法選定の考え方

処理土は用いる主材の土質によって性状が異なるため、適切な材料を選択する必要がある。
また、処理土の製造に際し、現場練りのケースでは現場や現場に近い場所に製造スペースが、プラント製造の場合にはプラントや発生土のストックヤードが必要となる。

都内の現場では一般にプラント設置用地の確保が容易ではない場合が多い。ただし、ストックヤードおよびプラント設置用地が1箇所でも確保できれば、そこに発生土を集積し安定処理土を製造した後、複数の現場に配送運搬することができる。

これらの点を踏まえて、工法選定の考え方のフローを示すと、図-19のようになる。

5.2 設計

(1) 使用材料

処理土に使用する材料について以下に説明する。

1) 主材

「主材」とは、処理土の原料土となる土砂であり、事前に品質の確認できている購入するしゃ断層用砂あるいは埋戻し用砂を標準として用いる。現場からの発生土を用いる場合には、主材が礫を含む場合でも最大粒径が13(mm)程度以下のものは主材として利用できる場合がある。この際には、事前に品質を確認するものとし、配合条件を満足したもののみ適用するものとする。

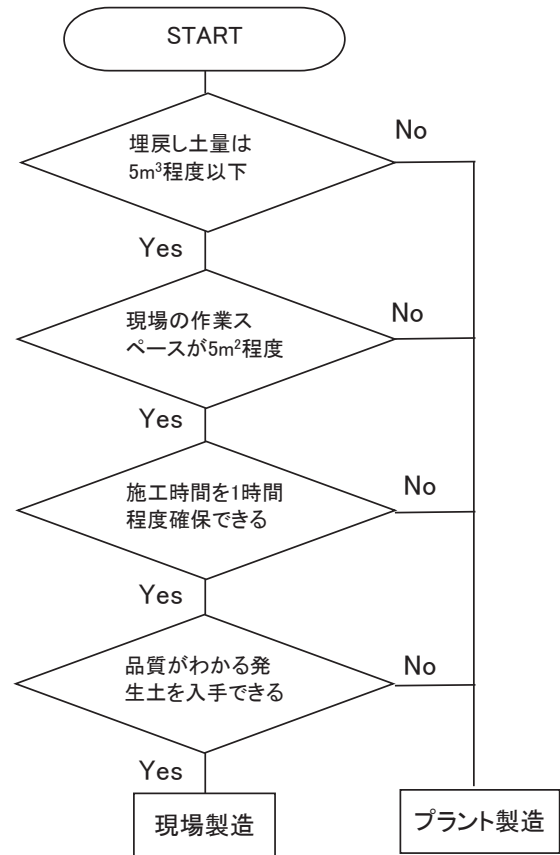


図-19 工法選定フロー

また一度埋戻しなどに利用された後に再掘削された処理土は、建設発生土として扱うことができるが、この土も再度、処理土の主材として利用できる。ただし、処理土の施工時に管周りへの充填性を高め、固化材が満遍なく混合されるよう破碎されている必要がある。

第二種改良土や粒状改良土は、限られた条件下での実験ではあるが、処理土の主材としては条件を満足しないという実験結果が得られている。もし、適用を検討する場合には、予め配合試験等により配合条件を満足することを確認した後適用するものとする。

2) 固化材

「固化材」には主に石こう、高炉セメント、酸化マグネシウムが用いられる。

石こうでは、半水石こうを通常用いるが、価格面で比較的高価なことから、品質が確保される場合には安価な石こうボード等のリサイクルによる再生石こうを用いてもよい。

処理土の固結後の強度は、固化材の添加量などで配合を調整することにより調節することができる。即日復旧のための短期的な強度発現には石こうが、長期的な強度には酸化マグネシウムや高炉セメントが大きく寄与する。

3) 遅延剤

「遅延剤」は、固化時間等の調整のために添加される材料である。これまでの実験結果から、処理土においてはペプトンを遅延剤として用いる。

水を加える前の処理土の混合土（以下、混合土という。）においては、主材に含まれる水と石こうやセメント等の固化材が反応し固化が始まるので、プラントから離れた打設現場へ混合土を運搬する場合などでは遅延剤を用いて固化時間を調整する。この固化時間は、遅延剤の配合量や処理土の主材の含水状態や細粒分含有率など土質の程度により変化するため、現場の状況に合わせて配合量を適切に調整する必要がある。

(2) 配合条件

1) 強度条件

処理土の強度は固化材の配合量等により調整できる。長期的な強度については材齢 28 日時の CBR 値を用い、施工時の管理に用いる短期強度については山中式土壤硬度計による硬度の 2 つで評価する。ただし、過去に実績のある配合を用いる場合や材齢 7 日と 28 日との関係が確認できている場合には、長期強度に材令 7 日時の CBR を用いる。

強度設定に際しては以下のような事項を考慮して設定する必要がある。

① 路床・路体としての要求強度を満足すること

道路の埋戻しに用いる場合には、路床としての規定の CBR を満足する必要がある。また路体の場合には、周辺の地山と同程度以上の強度を確保する必要がある。

② 再掘削が可能なこと

埋設管の埋戻しの場合には強度が大きくなりすぎて再掘削が困難にならないよう注意する必要がある。本処理土の対象とする歩道の埋戻し工事ではスコップ等による人力掘削が可能な程度に強度を設定することが望ましい。

2) 流動性の条件

施工性、管周りへの充填性が良好となるよう、フロー値による管理を実施する。

3) 材料分離抵抗性

処理土中の土砂や固化材が分離するのを防ぐため、ブリージング率による管理を行う。

(3) 配合設計

1) 配合設計の手順

処理土の配合設計のフローを図-20 に示す。

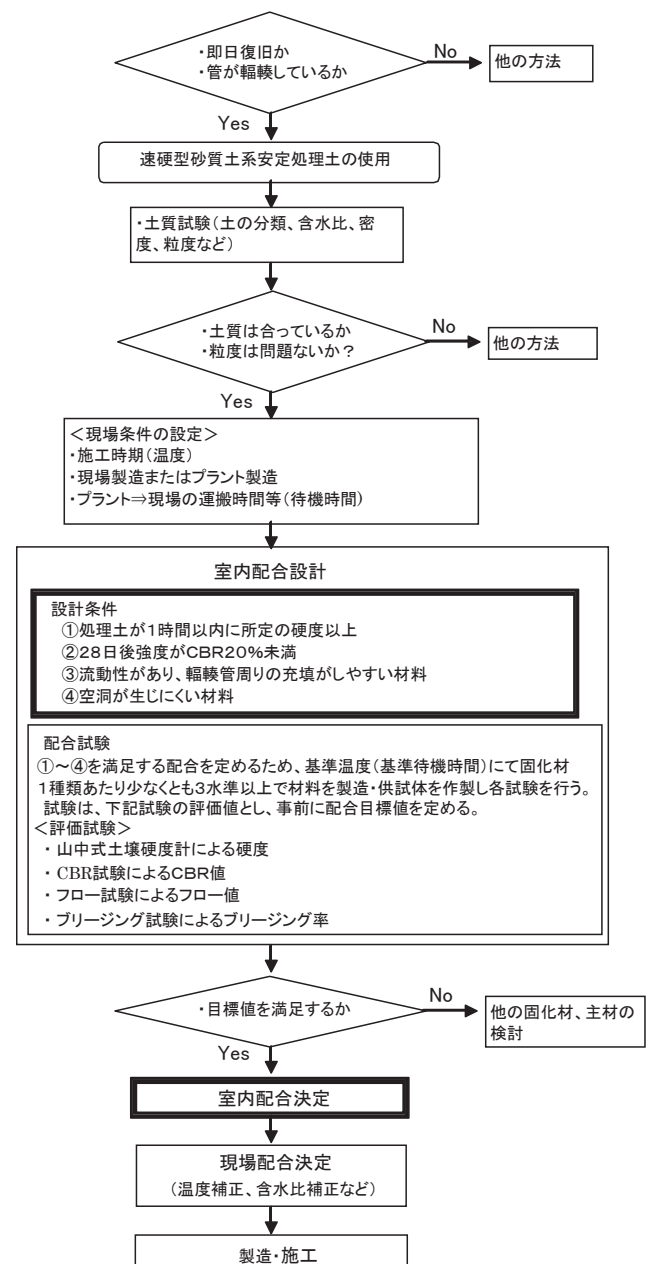


図-20 配合設計フロー

2) 配合条件の決定

① 埋戻し形式

埋設管等の埋戻しは、A：管の上面から10cm上までの面に対して安定処理土にて埋め戻す場合と、B：管周りから路盤下面まで全て安定処理土にて埋め戻す場合の2種類がある。

Aの場合とBの場合では処理土に必要な短期強度が異なることから、配合に先立ち予め埋戻し形式を定めておく必要がある。

Aの方法は、処理土と路盤面の間に他の材料を締め固めて敷設するため、配合時の初期強度がBと比較して低く抑えられ配合設計が比較的容易となること、全体の安定処理土量が少なくなるため材料コストが抑えられることなどの長所がある。反面、埋戻し材料が2種類となることから作業が煩雑となり施工時間がやや長くなること、機械による締め固め作業が発生するため振動・騒音の問題が生じること、などの短所がある。

② 製造体制

安定処理土を製造するにあたり、現場製造の方法と、プラント製造の方法の2種類があるが、プラント製造の方法は実績がないため、当面は現場製造の方法を推奨する。

③ 埋戻しに必要な時間

通常の即日復旧の埋戻し工事において、管回りの埋戻し工程に与えられる時間は概ね1~2時間程度である。このため、1時間程度で安定処理土が所定の強度を有する状態となっていなければならない。

配合設計の際には、この施工の際に用いることができる時間を考慮し、所定の初期強度を有するに至る時間を通常30分~60分の範囲で設定する。

ただし、この時間が短いほど一般的に固化材使用量が多くなりコストアップすること、長期強度が高くなり再掘削が困難になるといったデメリットが増すことに留意が必要である。

④ 温度条件

安定処理土は、水締め施工後の養生時の温度により、初期強度が変化することが実験から明らかとなっている。このため、配合試験はなるべく施工時に近い温度で行うことが望ましい。特に温度条件は遅

延剤への影響が大きく、低温期(0~10℃)と中~高温期(10~30℃)の間で初期強度の違いが出ている。

⑤ 初期強度

③で設定した時間において、埋戻し形式がAの場合には、安定処理土施工後の表面の硬度(山中式土壤硬度計)が3mm以上、埋戻し形式がBの場合には、安定処理土施工後の表面硬度が13mm以上となるよう設計する。

⑥ 長期強度

CBR試験により、材齢7日あるいは28日時点での強度を評価値とする。材齢28日でCBRが20%以下となるよう設計する。過去に実績のある配合を用いる場合や材齢7日と28日との関係が確認できている場合などには、長期強度に材齢7日時のCBRを用いる。

標準的な配合の場合には、28日強度が7日強度の1.6倍程度であるため、材齢7日でCBRが12%以下を目標としている。したがって、28日強度が3~20%であるので、7日強度2~12%の中央値7%を目安とする。

⑦ 流動性

フロー試験により、フロー値が180mm~220mmとなるよう設計する。特に室内試験では、水分が過剰になると主材の量が少なくなり、モールド打設後に過大に沈下したり、水分が排出されるまで時間を要することになる。

⑧ 材料分離抵抗性

ブリージング試験によるブリージング率が1%未満となるよう設計する。

3) 配合試験

① 土質試験

主材の土質を確認するために、配合試験に先立ち実施する。確認する試験項目は表-21に示す。

② 準備試験

使用材料の固化材のうち、石こうは製品ごとのバラつきが大きい。特に再生石こうはリサイクル品であることから特にバラつきが大きいいため、配合試験を行う前に、基本特性を把握するとよい。

過去に用いられて実績のある標準配合をベース

表-21 現場密度試験結果

試験項目	基準
土粒子の密度試験	JIS A 1202
土の含水比試験	JIS A 1203
土の粒度試験	JIS A 1204
土懸濁液のpH試験	JGS 0211
地盤材料の工学的分類	JGS 0051
土の細粒分含有率試験	JIS A 1223

に数種類の配合にて概略の初期強度と長期強度の傾向をつかむ。

③ 配合試験

所定の品質が確認された材料を用いて配合試験を実施する。試験の際は、各種配合条件を定めた上で、固化材量や水量を変化させて、少なくとも3水準は実施する。

初めに、固化材や水の単位量を標準配合や準備試験による結果を参考に固定し、石こう・再生石こうと主材の単位量を変化させ、おおよその石こう量を把握するとよい。

試験時は、初期強度、長期強度は必ず確認する。またフロー値は処理土の品質を明瞭に反映するために強度試験と同時に実施する必要がある。ブリージング率は必要に応じて確認する。

④ 室内配合の決定

上記の方法を用いて、目標とする条件を満足する室内配合が決定された場合、再度決定した配合にて試験を実施し品質を確認しておくことが望ましい。また、この際に環境への影響を確認するため、六価クロム化合物、ふっ素およびその化合物などの溶出量を確認しておくことも重要である。

5.3 施工

(1) 施工の手順

標準的な施工の手順を図-21 に示す。

(2) 施工

1) 現地調査

現地調査は主に以下に示す項目について行う。

① 埋戻し施工箇所

埋戻し施工箇所における現地調査では、埋戻し対象物の埋設位置や周辺状況を観察し、作業スペースが確保できるかをその際に確認する。なお道路占有

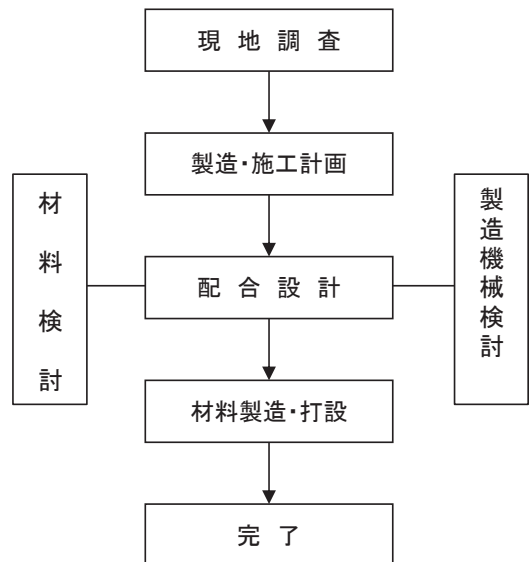


図-21 施工フロー

許可時間や作業時間帯などもあわせて調査する。

② 製造場所

まず打設現場あるいは近隣で、製造場所として利用可能な面積を調査する。必要面積が確保できない場合は、付近の代替地を用意する必要がある。その場合には、現場と製造場所までの距離、運搬時間、交通渋滞などの道路事情について調査する。

2) 製造体制および製造フロー

現場製造は、埋戻しの施工現場に材料を持ち込み、処理土を製造して水締め施工を行う方法である。そのために必要な資機材は、主に次の通りである。

<材料>

- ・砂質土
- ・固化材
- ・水

<機材>

- ・ミキサー、電源
- ・水槽またはタンク車

固化材は、特に再生石こうの品質が幅広く、初期の強度特性が変化するため、事前の配合試験で十分確認しておく必要がある。温度条件も重要である。固化材の硬化特性や遅延剤の効果に影響するので、使用現場の温度条件を事前に把握して、安全側の対応が必要となる。

ミキサー、発電機は、ある程度の騒音を発するので、特に夜間工事において静音タイプを用いる

など配慮する必要がある。

3) 打設

処理土の打設方法は、水締めを標準とする。

施工時の水量が適正量となっていないと、設定した強度を満足しないことが懸念されるため、特に水量の管理を確実に行うことが求められる。特に輻輳部においては他の箇所より多めの水を使用するとよい。なお、管回り部では突き棒を併用すると充填性がさらに向上する。

水締めの際、水タンクからホースを用いて水を供給する場合には水量の調整が可能なものを用い、水が過剰に入らないよう留意する。

5.4 施工(品質)管理

(1) 品質管理

1) 使用材料の管理

使用する主材の含水比を測定し、現場配合水量の補正を行う。また、使用する主材の含水比が一定となるよう管理する。

配合設計と同一の処理土が製造されているか確認できるように、使用主材、固化材、水の使用量を記録しておき、製造数量、流量計による数量あるいは出来形と照査する。

2) 処理土の管理

処理土の施工後、山中式土壌硬度計による表面硬度を確認し、所定の強度を有することを確認してから上層の施工を実施し復旧を行う。

長期強度については、安定処理土の製造時において、必要に応じ長期強度のサンプルを採取し、所定の試験を行い品質を管理する。

6. 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工法であるが、道路占用工事による埋戻し等に適用でき、即日復旧が可能な輻輳管周りに空洞が生じにくい埋戻し材としての条件を概ね満足できる材料が得られた。この成果は本文にも記載した内容の処理土の利用マニュアルとして取りまとめ、本検討は一区切りがついた段階である。

しかし、実用化にあたっては、固化材や主材の違いによる強度の分布の把握やコストなどの課題がまだ残っている。

なお、本調査を進めるに当たり、道路管理部保全課指導担当係をはじめ、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 (その 2)、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
- 6) 橋本喜正、田中輝栄、峰岸順一 (2013) : 速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法 (その 7)、平 25. 都土木技術支援・人材育成センター年報、109-119

7) 流動化処理土取扱い基準 (2003) : 東京都建設局道路管理部