

11. 速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法

Backfill Industrial Method by Sandy Soil System Stability Processing of Type that Hardens Fast

技術調査課 小林一雄、上野慎一郎

1. はじめに

輻輳した埋設管部など、狭隘で十分な転圧が困難な箇所においては、道路陥没抑止の観点から流動性や長期的安定性に優れる流動化処理土が活用されてきている。

しかし、現在用いられている流動化処理土は、固化まで一定の時間を要することから即日復旧を行うような小規模工事には適用できない現状がある。また、流動化処理土に用いる速硬型のセメント系固化材の開発が進んでいないのも現状である。

本報告では、即日復旧工事にも適用可能な速硬型の埋戻し材料として、砂質土系安定処理土による埋戻しについての基礎的検討を行ったものである。

速硬型の砂質土系安定処理土の施工は、道路占用工事で掘削した砂質土に石こう系固化材を添加混合したものを水締めする方法を考えている。実験は、購入したしゃ断層用砂を用いて行っている。

石こう系固化材は、チタン石こう（半水石こう）と酸化マグネシウム（助剤）を混合したものである。

また、遅延剤としては、クエン酸（試験時は2%に希釈したものを使用する）を使用した。

2. 調査内容

- ① 材料試験
- ② 含水砂の配合試験
- ③ 助剤の効果確認試験
- ④ 遅延剤の効果確認試験

- ⑤ 施工性確認実験
- ⑥ 現場施工実験
- ⑦ 既設処理土の追跡調査
- ⑧ 再利用配合試験

3. 材料試験結果

(1) 土質試験結果

今回使用したしゃ断層用砂の細粒分は3.6%で、しゃ断層用砂の基準を満足していた。

(2) 土壌含有量および土壌溶出量試験

土壌汚染対策法に基づく土壌含有量および土壌溶出量試験の試験項目のうち、六価クロム化合物、鉛およびその他の化合物、砒素およびその化合物、ふっ素およびその化合物の4項目について試験を実施した。対象材料は、しゃ断層用砂、チタン石こう、酸化マグネシウムおよびクエン酸であり、結果は表-1に示した。

使用材料の中で、チタン石こうからは指定基準値を

表-1 土壌含有率および溶出量試験結果(材料)

試験項目	しゃ断層用砂	チタン石こう	酸化マグネシウム	クエン酸	基準値 (mg/kg)
含有量	六価クロム化合物	< 25	< 25	< 25	250
	鉛及びその化合物	< 15	< 15	< 15	150
	砒素及びその化合物	< 15	< 15	< 15	150
	ふっ素及びその化合物	< 400	< 400	< 400	4000
試験項目	しゃ断層用砂	チタン石こう	酸化マグネシウム	クエン酸	基準値 (mg/L)
溶出量	六価クロム化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.05
	鉛及びその化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.01
	砒素及びその化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.01
	ふっ素及びその化合物	0.1	5.1	0.5	< 0.1

越えるふっ素およびその化合物が溶出された。

(3) 土懸濁液のpH試験

土懸濁液のpH試験は、チタン石こうで8.4、酸化マグネシウムで12.5であった。

4. 含水砂の配合試験

(1) 実験方法

自然含水比状態のしゃ断層用砂を用いて、水/固化材比を変化させて配合試験を行った。

配合方法は、ハンドミキサでしゃ断層用砂と固化材を1分間混合し、次に水を加えて同様に攪拌して試料とした。水の攪拌時間は20秒間とした。

できあがった処理土は、一軸圧縮強度試験用のモールド(φ5cm×h10cm)4本、貫入量および温度測定用のモールド(φ15cm×h15cm)3本に打設した。

(2) 目標値の設定

砂質系改良土の品質基準は、CBR値と一軸圧縮強度との関係や一軸圧縮強度と掘削性や浸水特性等との関係を明らかにして設定する必要があるが、現状では明確な関係が得られていない。

本報告書では、表-2に示す流動化処理土の品質基準¹⁾を準用することとした。なお、実験では初期強度の目安として山中式土壌硬度計による貫入量を測定した。

流動化処理土の場合は、一軸圧縮強度と貫入量の相関式が求められており、また実験により貫入量が3mm以上で処理土の上に人が載って作業することが可能なことを確認している²⁾。

流動化処理土における一軸圧縮強度の値は、下限値がCBR3%に相当する強度で、上限値が掘削可能な強度に相当することを確認している³⁾。

(3) 配合

助剤/石こう比(以下助剤添加率と記載する)は40%とし、固化材量は200~350kg/m³の間で変化した表-3に示す配合とした。

(4) 試験方法

① 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮強度試験は、モールド上面を高分子フィルムで覆い、温度20±3℃、湿度90%で養生し、1時間後、1, 7, 28日後にそれぞれ1本行った。

表-2 砂質系安定処理土の目標品質基準

試験項目	基準値		試験頻度	
			配合設計	施工管理
原料土の土質区分	火山灰質粘性土、粘性土、砂質土		同一土質について 3個以上	-
最大粒径	管回り部	13mm以下		
	その他	40mm以下		
一軸圧縮強度	後日復旧の場合	交通開放時 13N/cm ² 以上 28日後 55N/cm ² 以下	同一土質について 配合組合せ 5組以上 各時期 1本以上/組	同一土質について 土木材料仕様書の一般用レディミクストコンクリートの試料採取単位に準じる
	フリージング率	1%未満	同上 1回/組	
処理土の密度	1.5t/m ³ 以上。ただし埋設管の埋戻しに当たっては1.35t/m ³ 以上		同上 1回/組	1日1回以上
使用水の 水質区分	本品に使用する水は、工業用水道の水質基準値を満たすこと。 (塩素イオン含有量については200mg/l以下など)			

表-3 含水砂の配合試験の配合条件

No.	水/固化材 重量比	水/石 こう 重量比	助剤/ 石こう 系固化 材 (%)	配合密 度 t/m ³	配合 (kg/m ³)				原料土	
					全水量	チタン 石こう	酸化マ グネシ ウム	固化材 量	湿潤重 量	添加水 量
2-1	1.40	1.96	40	1.845	490	250	100	350	1.139	356
2-2	1.40	1.96	40	1.965	419	214	86	300	1.412	254
2-3	1.40	1.96	40	2.084	350	178	71	250	1.682	152
2-4	2.00	2.80	40	1.490	701	250	100	350	1.497	642
2-5	2.00	2.80	40	1.660	601	215	86	300	1.860	500
2-6	2.00	2.80	40	1.830	501	179	72	250	1.222	357
2-7	1.60	2.24	40	2.000	400	178	71	250	1.530	220
2-8	1.80	2.52	40	1.823	504	200	80	280	1.177	366
2-9	1.80	2.52	40	1.915	450	179	71	250	1.376	289
2-10	1.60	2.24	40	1.917	448	200	80	280	1.346	290
2-11	1.60	2.24	40	2.082	352	157	63	220	1.711	151
2-12	1.80	2.52	40	2.007	396	157	63	220	1.576	211
2-13	2.00	2.80	40	1.932	441	157	63	220	1.440	272
2-14	2.30	3.22	40	1.822	506	157	63	220	1.241	361
2-15	2.20	3.08	40	1.935	440	143	57	200	1.468	267

② 温度測定

熱電対を用いて1分間隔で2時間以上測定した。

③ 貫入量測定

貫入量測定は、打設後30, 60分後に山中式土壌硬度計による貫入量測定をそれぞれ5点ずつ行った。

④ ブリージング率測定

土木学会基準「プレパクトコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法」により3時間後のブリージング率を測定した。

(5) 試験結果

1) 処理土の密度

処理土の配合密度は、処理土が固体(しゃ断層用砂の土粒子、固化材)と水からなるとした場合の密度である。できあがった処理土には、固体と水のほかに空気で充填された間隙が存在する。したがって、処理土の配合密度と実測密度の差は間隙の量を反映していることになる。

図-1は、処理土の全水量と実測密度の関係を示した図であるが、全水量が450kg/m³で実測密度が最も大きくなっている。

実測密度が大きくなる理由は、図-2に示すよう

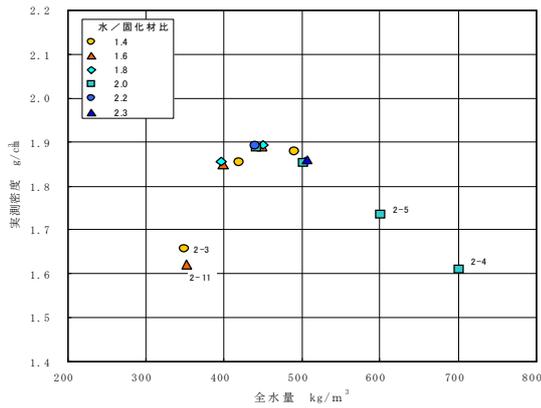


図-1 処理土の全水量と実測密度の関係

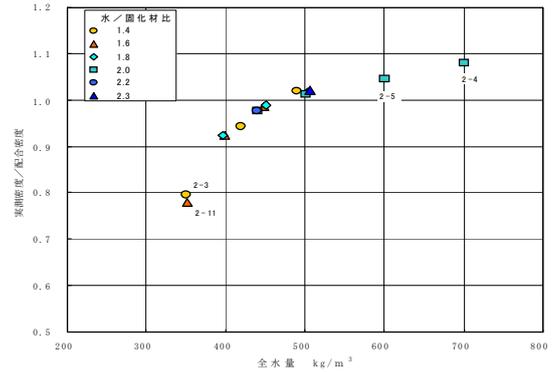


図-2 全水量と実測密度(1時間)／配合密度比

に、全水量が多いほど密度比が大きくなっていることから、過剰の水の一部が分離（絞り出された状態）されて、固体の量が相対的に多くなるために計算値よりも密度が大きくなったと考えられる。

実測密度が小さくなる理由は、水の量が少なく流動性が悪くなり、うまく充填されないために空隙が多くなった結果と考えられる。

したがって、助剤添加率が40%の場合、処理土の密度は1.9g/cm³前後で全水量が450kg/m³程度が水／固化材比の適正配合と考えられる。

2) 処理土のブリージング

処理土のブリージング率は、全水量が約700kg/m³であったNo.2-4で6.5%と基準値の1%を大きく上回ったほかは、すべて0%であった。

5. 助剤の効果確認試験

(1) 配合

水／固化材比は、全水量を約450kg/m³とするために、原則として1.3～1.9の範囲とし、表-4の配合とした。

助剤添加率が0%のNo.3-1は、硬化が非常に早く供試体を作製できなかったため、水／固化材比を2.25としたNo.3-8も実施したが、同様に硬化が早く、供試体の作製が困難であった。

このことは砂質系改良土の配合において助剤の酸化マグネシウムが必要であることを示している。

(2) 試験結果

1) 処理土の一軸圧縮強度

① 1時間強度

表-4 処理土の配合

No.	水／固化材重量比	水／石こう重量比	助剤／石こう系固化材%	配合密度 t/m ³	処理土1m ³ 当たりの配合 (kg/m ³)					
					全水量	固化材	助剤	固化材量	原料土	添加水量
3-1	1.60	1.60	0	1.884	448	280	0	280	1,309	295
3-2	1.60	2.88	80	1.935	449	156	125	280	1,367	288
3-3	1.60	1.92	20	1.903	449	234	47	280	1,330	292
3-4	1.60	3.52	120	1.947	448	127	153	280	1,381	286
3-5	1.80	2.16	20	1.904	450	208	42	250	1,365	289
3-6	1.80	3.24	80	1.931	450	139	111	250	1,394	287
3-7	1.80	3.96	120	1.942	450	114	136	250	1,407	285
3-8	2.25	2.25	0	1.892	451	200	0	200	1,405	286
3-9	1.60	2.24	40	1.918	448	200	80	280	1,349	289
3-10	1.24	2.23	80	1.940	447	200	160	360	1,283	296
3-11	1.90	2.28	20	1.895	455	200	40	240	1,359	296
3-14	1.40	2.52	80	1.928	453	180	144	324	1,304	300
3-15	1.60	2.88	80	1.935	449	156	125	280	1,367	288

図-3 に全水量が約450kg/m³における水／固化材比と1時間強度の関係を示す。また、図-4 は水／石こう比と1時間強度の関係を示したものである。

1時間強度（初期強度発現性）は主に水／石こう比に影響されると考えられる。流動化処理土の場合の130kN/m²以上の強度とするには、水／石こう比を3.5以下とする必要がある。

② 28日強度

28日強度を見ると、図-5 および図-6 に示すように、1時間強度とは全く逆の傾向が現れてくる。

28日強度（長期強度）は、石こう量ではなく、固化材量または助剤の酸化マグネシウム量に主に影響されていると考えられる。流動化処理土の場合の550kN/m²以下の強度とするには、水／固化材比を1.6以上（固化材量280kg/m³以下）とする必要がある。

初期強度では石こうの強度発現性に支配されて処理土の強度が決まるのに対して、長期的には助剤（酸化マグネシウム）の強度発現性がより支配的になる

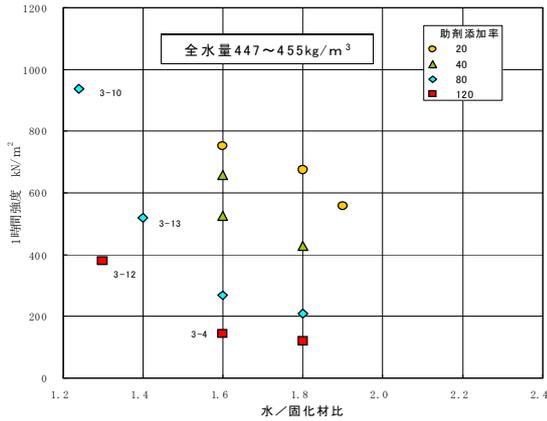


図-3 1時間強度と水/固化材比

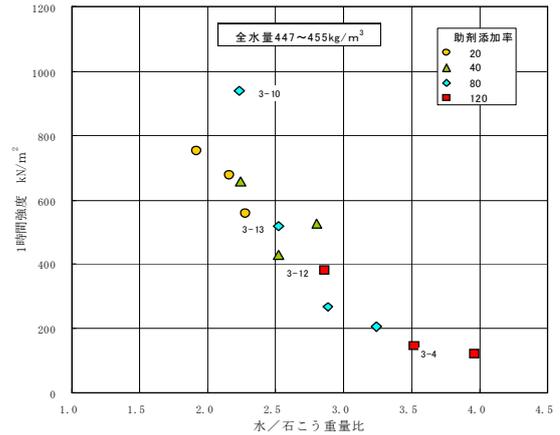


図-4 1時間強度と水/石こう比

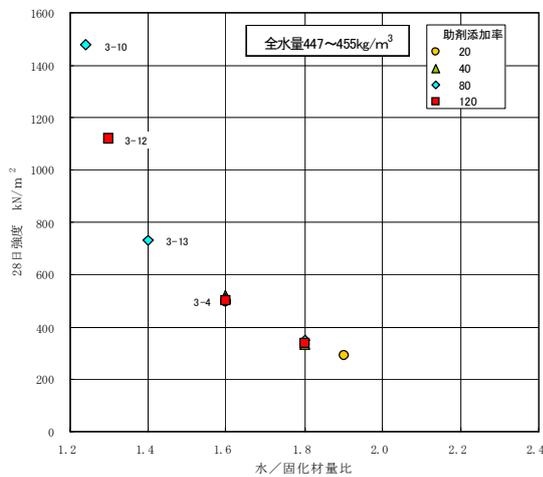


図-5 28日強度と水/固化材比

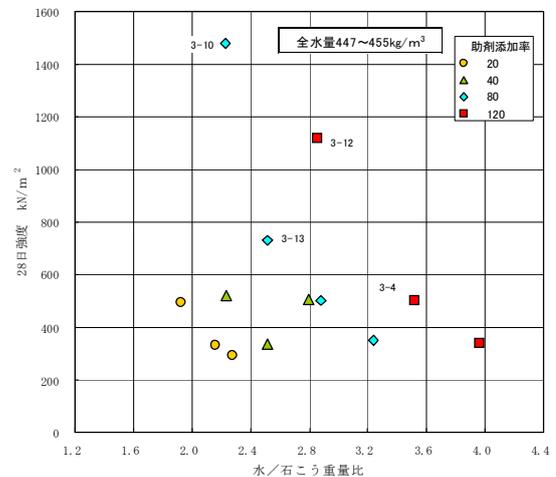


図-6 28日強度と水/石こう比

と考えられる。

③ 28日/1時間強度比

図-7で助剤添加率と1時間強度に対する28日強度の比との関係を見る。

強度比 (=強度の伸び率) は助剤添加率が大きいほど大きくなる傾向を明瞭に示す。

助剤添加率が約60%以上で強度比が1以上となり、強度の低下が起こらないと推定される。

2) 処理土の浸水実験

助剤添加率ごとに2本ずつ供試体を作製し、1週間養生後に浸水して、1週間毎に質量と体積の変化を測定した。

その結果、図-8に示すように、28日後の質量変化率(浸水直前の初期質量に対する28日後の損失質量比)は、助剤の添加率が20%で約8%、40%で4%、

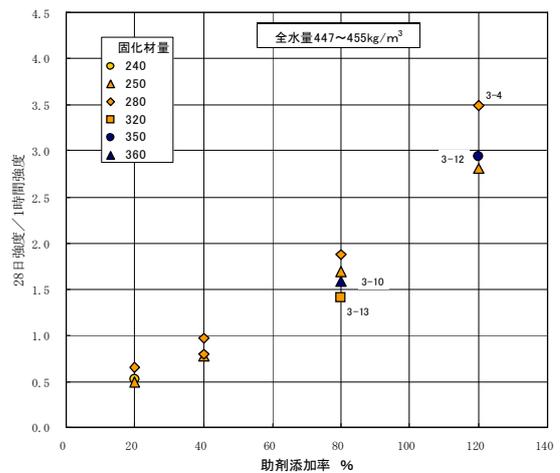


図-7 助剤添加率と28日/1時間強度比

80%で0%となり、添加率80%で耐水性が十分になることが判明した。

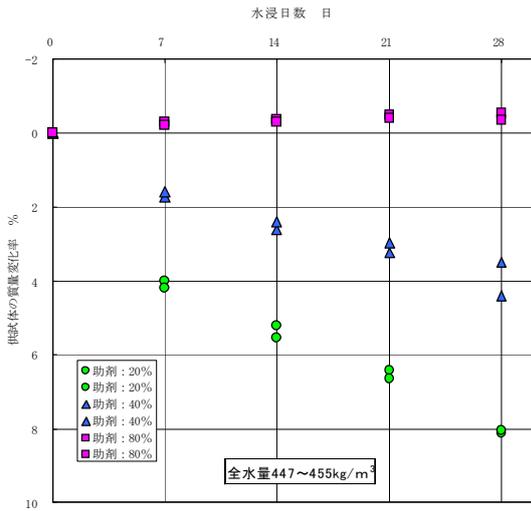


図-8 水浸日数と質量変化

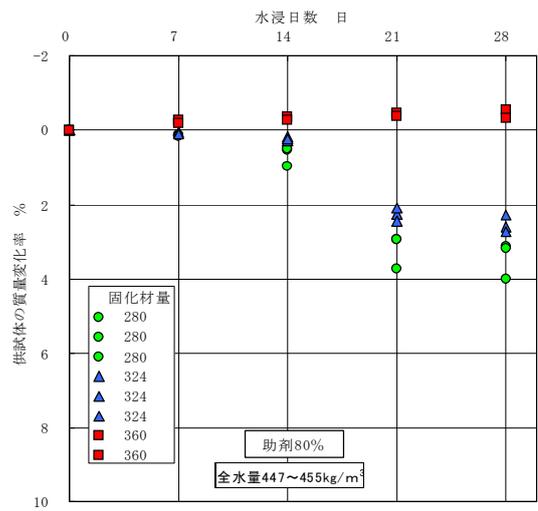


図-9 質量変化率の経時変化

図-9 は、助剤添加率が 80%で固化材量を変化させた場合の質量変化率である。この図によると助剤添加率が一定でも、固化材量が多くなるにつれて質量変化率が小さくなり、固化材量が 360kg/m³では質量変化がなかった。

3) 助剤の硬化遅延効果

図-10 は、助剤添加率とピーク温度までの時間を示したものであるが、助剤添加率が高くなるほど時間が長くなっている。

助剤添加率が 0%の場合は、固化が急速に進み供試体を作製できなかった。このことから、温度上昇も極めて早いと推定される。

したがって助剤の添加により固化材の硬化が抑えられることが推測される。

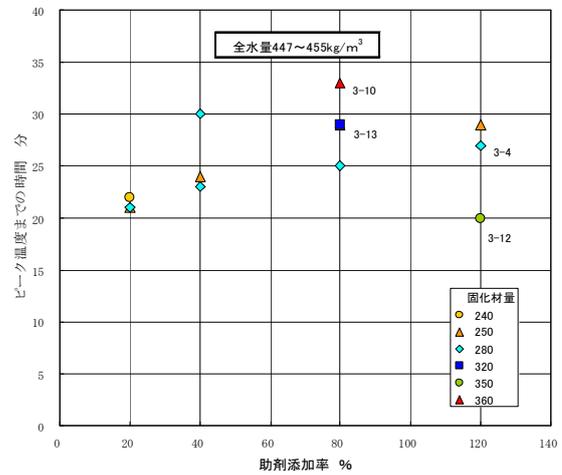


図-10 助剤添加率とピーク温度までの時間

6. 遅延剤の効果確認試験

遅延剤は霧吹きで噴霧し、噴霧量は自然含水比の砂の重量に対するパーセントで示した。

(1) 配合

配合は、表-5 に示すように、助剤添加率を 40% または 80%として、固化材量はそれぞれ 280kg/m³ と 324 kg/m³として、遅延剤添加率を 0.1~5%の間で変化させた。

(2) 試験結果

1) 一軸圧縮強度

① 待機時間をとらなかったケース

図-11 は、遅延剤添加率と一軸圧縮強度の関係を示している。

表-5 遅延剤の添加条件

No.	水/固化材重量比	助剤/石こう系固化材 (%)	遅延剤 (2%溶液)			遅延剤混合後の待機時間 (分)	固化材混合後の待機時間 (分)
			原料土に対する混合比 (%)	混合量 (g)	混合時間 (分)		
5-1	1.60	40	5	336.6	4	0	0
5-2	1.60	40	1	67.3	4	0	0
5-3	1.38	40	5	383.6	4	0	0
5-4	1.50	40	3	215.0	4	0	0
5-5	1.63	40	0.5	33.1	4	0	0
5-6	1.65	40	0.1	6.5	4	0	0
5-7	1.63	40	0.5	33.1	4	0	30
5-8	1.63	40	0.5	33.1	4	0	60
5-9	1.36	80	1	67.4	1	0	0
5-10	1.38	80	0.5	33.1	1	0	0
5-13	1.38	80	0.5	33.1	1	60	0
5-14	1.38	80	0.5	33.1	1	30	0
5-15	1.63	40	0.5	33.1	4	30	0
5-16	1.63	40	0.5	33.1	4	0	15
5-17	1.38	80	0.5	33.1	4	0	0

*原料土は、処理土に配合する砂の湿潤重量を用いる。

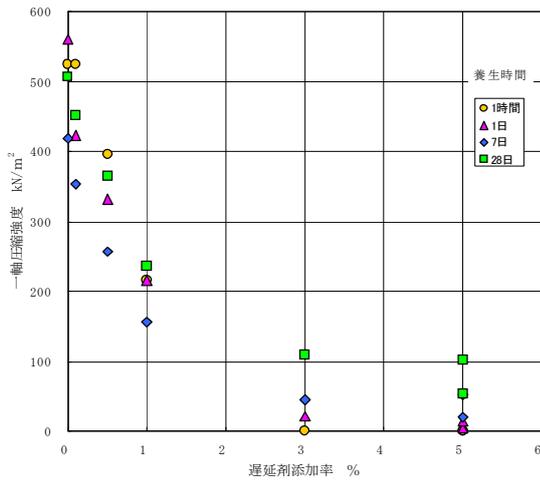


図-11 遅延剤添加率一軸圧縮強度

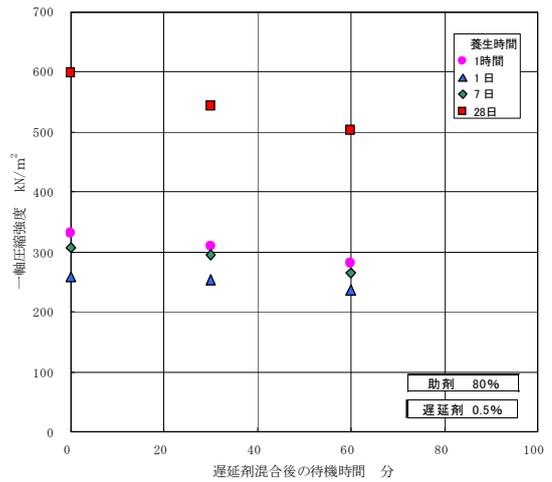


図-12 遅延剤混合後の待機時間と一軸圧縮強度

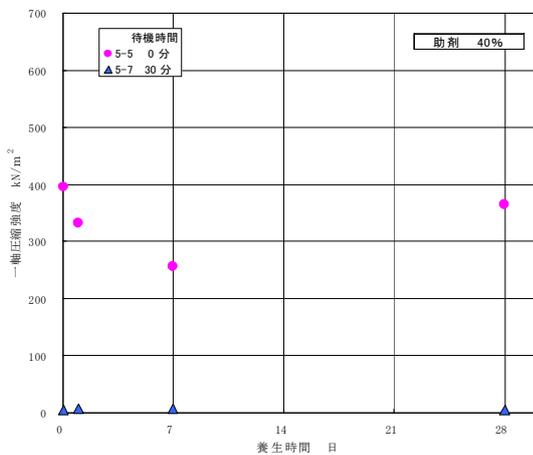


図-13 固化材混合後の待機時間と一軸圧縮強度

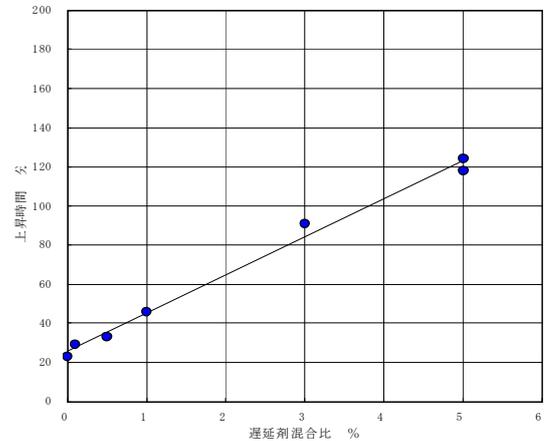


図-14 遅延剤添加率と温度上昇時間

グラフにしたものである。ここで 0%のケースは含水砂の実験における No3-3 を使用した。

この図より、遅延剤添加率が大きくなると強度は双曲線的に小さくなることが読み取れる。このような強度低下は、材令が 28 日と長くなってもほとんど変わらないことから、遅延剤は初期強度を押さえるばかりでなく、長期的にも影響すると考えられる。

② 遅延剤混合後の待機時間

遅延剤混合後の待機時間と一軸圧縮強度の関係は、図-12 に示すようにそれぞれの養生時間毎に概ね直線関係が得られ、待機時間が長くなると若干の強度低下が起こる。遅延剤混合 60 分後に固化材と水を混合した場合の強度低下は、待機時間をとらなかったものの強度の 20%程度であり、待機時間をとることは施工上可能と考えられる。

③ 固化材混合後の待機時間

固化材を混合した後で水を添加するまでの間に待機時間を取り、強度の変化を検討した。

その結果、図-13 に示すように、待機時間が 30 分の場合、強度がほとんど発現しなかった。

固化材を混合すると、すぐに砂に含まれる水分との固化が生じ、攪拌により固化した団塊を細分化していると考えられる。そのため、固化材の混合は、打設直前に行わざるを得ないと言える。

2) 温度測定結果

温度上昇にかかる時間と遅延剤添加率との関係を図-14 でみると、明らかな直線関係を示しており、硬化反応を遅らせている可能性が高い。しかしながら、長期強度が延びなくなることから、遅延剤は少ない方が望ましいと判断される。

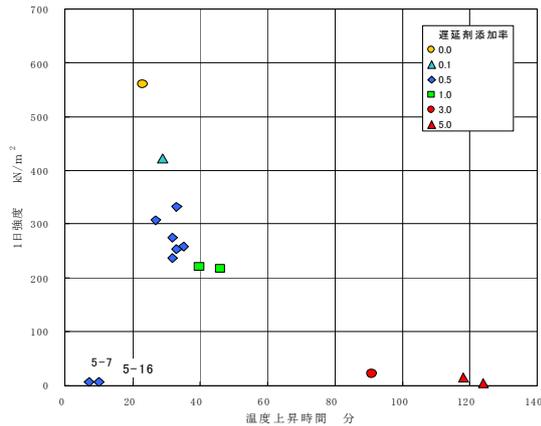


図-15 温度上昇時間と1日強度

図-15は温度上昇時間に対して1日強度をプロットした図である。この図によると、固化材混合後に待機時間をとった2ケース(5-7, 5-16)を除いて、遅延剤添加率と同じような良好な相関関係が得られる。温度上昇時間が約 60 分程度でも、適切な配合条件で目標値を満足できることを示唆している。

7. 施工性確認実験

(1) 実験容器

- ① 実験は、アクリル製の透明な箱にφ75mmの管を2条6段で設置した水槽を使用した。水槽の底には、地盤の透水性を考慮して排水量を変化できるように穴を開けて内径16mmの水道用蛇口を取り付けた。
- ② 砂の流出がないようにフィルタをセットした。フィルタとして、化繊布(厚さ3mm, 網目0.1mm以下)を蛇口の入り口(容器)側内部に充填した。

(2) 施工方法

1) 処理土作製方法

① 遅延剤の混合

砂に遅延剤を噴霧しながら150リットル程度混合できるコンクリートミキサで10分間攪拌する(遅延剤を混合する場合)。

② 固化材混合

遅延剤混合後に、固化材を混入しコンクリートミキサで5分間攪拌する。

③ 水締め方法

従来の実験では、投入した処理土や砂の厚さが厚くなると水が静的に浸透するだけで、水締めとなら

表-6 施工性確認実験の配合条件

No.	水/固化材重量比	水/石こう重量比	処理土の配合密度 t/m³	処理土1m³当たりの配合 (kg/m³)				排水 1: ローム 2: 砂相当	遅延剤混合量 (%)	
				固化材	助剤	固化材量	原料土			
				チタン石こう	酸化マグネシウム	湿潤重量	添加水量			
6-1	しゃ断層用砂のみ使用							1	-	
6-2	"							2	-	
6-3	1.65	2.97	1.912	156	125	280	1,325	307	2	0
6-4	1.65	2.97	1.912	156	125	280	1,325	307	2	0
6-5	1.65	2.97	1.912	156	125	280	1,325	307	1	0
6-6	1.65	2.97	1.912	156	125	280	1,325	307	1	0
6-7	1.40	2.52	1.928	180	144	324	1,304	300	2	0
6-8	1.36	2.45	1.950	180	144	324	1,344	283	2	1
6-9	1.40	2.52	1.928	180	144	324	1,304	300	2	0
6-10	1.40	2.52	1.928	180	144	324	1,304	300	2	0
6-11	しゃ断層用砂のみ使用							2	-	
6-12	"							2	-	

表-7 実際の配合

No.	砂の準備量 (kg)	砂の残量 (kg)	実際の配合				処理土の打設量 (kg)	打設時の投入量 (kg)	水の投入量/配合量重量比
			水/固化材重量比	水/石こう重量比	全水量 (kg/m³)	固化材量 (kg/m³)			
6-1	105.1	23.8	-	-	498	-	81.3	17.0	-
6-2	105.1	23.9	-	-	498	-	81.2	17.0	-
6-3	104.3	49.1	2.50	4.49	700	226	55.2	18.7	1.8
6-4	104.3	30.1	2.66	4.79	745	218	74.3	27.3	1.9
6-5	104.3	34.8	1.92	3.46	538	260	69.5	16.6	1.2
6-6	104.3	28.9	2.38	4.29	668	232	75.4	24.1	1.7
6-7	105.8	31.7	2.07	3.73	671	266	74.1	23.6	1.7
6-8	108.4	31.7	1.98	3.56	640	270	76.7	22.2	1.7
6-9	105.8	29.0	1.63	2.93	528	301	76.8	17.7	1.2
6-10	105.8	27.6	1.80	3.24	583	287	78.2	20.6	1.4
6-11	104.0	24.0	-	-	501	-	80.0	17.0	-
6-12	104.0	16.2	-	-	553	-	87.8	25.5	-

なかつたので、上下管の間で2層に区分し、土と水を交互に投入した。実験当初は管頭に土が載るくらいの時に水を投入したが、それでも土が厚すぎる事が判明したので、次第に薄くして、管の1/4~1/3のところこまめに水を入れるようにした。その結果、管下まで土と水が回り込むことが判明した。

(3) 配合

実験に使用した処理土の配合は、今回までに実施した室内での配合試験結果を参考にして、助剤/石こう比はすべて80%とし、固化材量は280kg/m³と324 kg/m³を採用した。遅延剤については、強度低下の点など遅延剤の効果や使用方法についての議論が必要と考えられたので、No.6-8で1%水を添加混合した。配合条件を表-6に示す。

施工性に関する実際の配合は表-7に示すように、水量が適正配合となる水量を基準に、重量比で1.2から1.9倍程度まで変化させることとした。

(4) 試験項目

- ① 水締め終了30分、1時間、1日後に表面沈下量、管下空洞量、容器からの排水量を測定した。
- ② 水締め終了1日後に約100mmの雨水を散水し、

表-8 処理土の貫入量と水の浸出状況

No.	貫入量 (mm)		浸出状況				
	30分後	1時間後	最初の2L浸出時間分	1日後		2日後	
				浸出量 (L)	残量 (L)	浸出量 (L)	残量 (L)
6-1	4.9	—	48	10.75	6.25	10.5	5.7
6-2	7.8	—	105	10.38	6.62	8.2	8.5
6-3	5.5	5.9	115	4.90	13.81	10.5	13.3
6-4	7.5	7.7	15	10.30	16.99	10.4	16.6
6-5	13.3	13.8	—	0.00	16.56	4.2	22.4
6-6	15.0	15.2	—	5.50	18.57	10.6	18.0
6-7	13.7	13.4	91	5.29	18.29	9.0	19.3
6-8	9.1	9.7	84	9.27	12.91	9.5	13.5
6-9	20.2	20.3	—	0.68	17.01	8.6	18.5
6-10	20.1	20.4	—	2.03	18.60	9.0	19.6
6-11	4.4	—	35	10.58	6.42	37.7	3.8*
6-12	4.5	—	29	10.94	14.56	17.0	7.6**

*1日後に10L、2日後に20Lを追加投入。 **10Lは打設5時間後に投入。

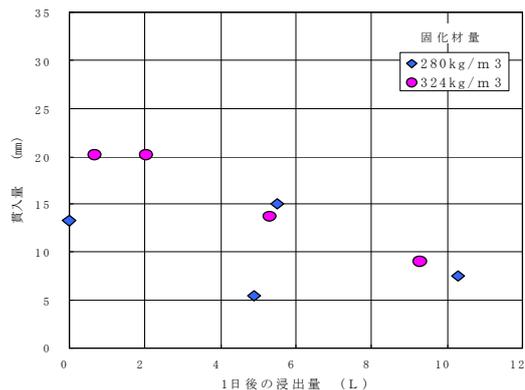


図-16 1日後の水の浸出量と30分後の貫入量

1日後に表面沈下量、管下空洞量、容器からの排水量を測定した。

(5) 処理土表面の貫入量と水の浸出状況

処理土表面の貫入量と水浸出状況を表-8 に示す。

しゃ断層用砂の水締めでは、貫入量が 4.4 から 7.8mm と小さく1日後の水の浸出量は 10.4 から 10.9 L と多い。一方、処理土の水締めでは、貫入量が 5.5 から 20.2mm と大きな値が出ており、1日後の水の浸出量は 0.0 から 10.3 L と小さい値が出ている。

1日後の水の浸出量と 30 分後の貫入量との関係は図-16 に示すように浸出量が多いと貫入量が小さく強度が出ないことが分かる。

(6) 処理土の体積変化

処理土の体積変化を表-9 に示す。

空洞量 (Vv) は、実験槽表面側空洞の合計面積 (S₁) と裏面側空洞の合計面積 (S₂) をスケッチより測定し、次式により算出した。

$$Vv = (S_1 + S_2) / 2 \times 20 \text{ cm}$$

処理土の体積は、処理土の占める体積から空洞量を差し引いた値とした。

空洞発生量は、砂のみの場合で 100~2150cm³、処理土の場合で 90~1070cm³ と両者ともにばらついた。しかし、全体的には処理土の方が砂の 1/4 以下の空洞量であると言える。これらのばらつきの原因は、主に水締めの方法、水の投入頻度によると考えられる。すなわち、土と水をできるだけ同時に連続的に投入すれば、効果的な水締めができると言える。

1 日後に再度水を加えたときの砂は、表面が沈下するとともに、内部の砂も沈下して空洞が埋まり、全体の体積が減少する現象がみられた。このような

表-9 処理土の体積変化

No.	空洞発生状況 (cm ³)				処理土体積 (L)				計算密度 (g/cm ³)		
	30分後	1時間後	1日後	2日後	30分後	1時間後	1日後	2日後	30分後	1日後	2日後
									30分後	1日後	2日後
6-1	1.954	1.954	1.257	1.612	69.96	69.96	69.10	68.38	1.405	1.267	1.272
6-2	2.148	2.148	2.074	1.312	68.29	68.29	67.59	68.55	1.438	1.299	1.308
6-3	513	513	513	513	71.32	71.32	71.32	71.32	1.036	0.968	0.961
6-4	90	90	90	90	73.36	73.36	73.36	73.36	1.385	1.244	1.239
6-5	223	223	223	223	72.73	72.73	72.73	72.73	1.184	1.184	1.264
6-6	1.073	1.073	1.073	1.073	73.45	73.45	73.45	73.45	1.355	1.280	1.272
6-7	430	430	430	430	76.30	76.30	76.30	76.30	1.280	1.210	1.223
6-8	426	426	426	426	75.46	75.46	75.46	75.46	1.311	1.188	1.195
6-9	436	436	436	436	74.23	74.23	74.23	74.23	1.273	1.264	1.283
6-10	100	100	100	100	75.91	75.91	75.91	75.91	1.302	1.275	1.288
6-11	1.887	1.887	—	—	70.52	70.52	69.80	—	1.376	1.238	—
6-12	100	100	100	—	73.56	73.56	73.02	—	1.540	1.402	—

現象は、空洞量が最も少なかった No. 6-12 においても観察された。一方、処理土の場合は、空洞の多少にかかわらず、沈下や体積の減少は生じなかった。

処理土の体積から求めた計算密度は No. 6-3 を除いて、1.2 から 1.4g/cm³ となっており、表-6 に示した配合密度の 1.9g/cm³ に比べて低い値となっている。今後は水の割り増しを少なくすると共に水締め方法も検討する必要がある。

8. 現場施工実験

(1) 掘削溝の施工

戸田橋実験場の構内に、幅 50cm×長さ 100cm×深さ 70cm の掘削溝 3 箇所を施工した。各掘削溝にはφ 20cm×長さ 100cm の塩ビ管を埋設管として設置した。

(2) 施工方法

- ① 砂に遅延剤を噴霧しながらコンクリートミキサ (容量 160L×2 台) で 10 分間攪拌した (遅延剤有の場合)。
- ② 固化材を混入し上記ミキサで 5 分間攪拌した。
- ③ 続いて、掘削溝に約 300L を敷均して、水を散布

して水締めを行った。水の散布は、できるだけ処理土と同時に投入するようにし、特に管下から管回り部にかけては十分な量の水を投入した。

(3) 試験内容

① 水締め終了 30 分後に表面での山中式硬度計による貫入量を測定した。

② 28 日後に土壌の含有量と溶出量、20 cm 深さごとに pH、供試体切り出しによる一軸圧縮試験、不攪乱試料による CBR 試験、埋設管下の空洞調査および山中式硬度計による貫入量の測定を行った。

(4) 処理土の配合

実験に使用した配合を表-10 に示す。助剤添加率は、今回の室内配合実験等をふまえて 3 ケースとも 80% とした。No. 7-1 と No. 7-3 は固化材量が 324kg/m³ で No. 7-3 には 1% の遅延剤を添加した。

(5) 山中式土壌硬度計による貫入量

現場打設した処理土の貫入量を表-11 に示した。

現場打設した処理土の貫入量は、30 分後の値で、No. 7-1 が 26mm、No. 7-2 が 23mm、No. 7-3 が 24mm であり、28 日後でも No. 7-3 はやや大きくなったが、ほぼ変わらぬ値となっていた。

(6) 28 日後に置ける試験結果

1) 一軸圧縮強度試験

打設 28 日後に不攪乱で採取した試料の一軸圧縮強度は、表-12 に示すように、No. 7-1 が上部で 26 kN/m²、下部で 22 kN/m² と、No. 7-2 が 20~36 kN/m²、No. 7-3 が 17~30 kN/m² と小さい値となった。

2) 湿潤密度

湿潤密度は、施工性の実験とは異なり、1.5 から 1.7g/cm³ と基準値を満足していた。

3) CBR 試験

打設 28 日後に実施した不攪乱で採取した試料の CBR は、表-12 に示すように、No. 7-1 が 29.6% と最も高く、No. 7-2 と No. 7-3 が平均で約 8% となり、基準値の 3% を上回った。

4) pH

砂質系安定処理土の pH は、表-13 に示すように、概ね 9.9~10.8 の強アルカリ性を有している。なお、流動化処理土からの浸出水の pH は 11~12²⁾ であり、砂質系改良土はこれと比較するとアルカリ性が弱い

表-10 現場施工実験の配合

No.	水/固化材重量比	水/石こう重量比	処理土の配合密度 t/m ³	処理土 1m ³ 当たりの配合 (kg/m ³)				遅延剤 (2% 液)		
				全水量	固化材	助剤	固化材	原料土	混合量	時間
					チタン石こう	酸化マグネシウム	量			
7-1	1.40	2.52	1.928	453	180	144	324	1.304	0	-
7-2	1.65	2.97	1.912	462	156	125	280	1.325	0	-
7-3	1.36	2.45	1.950	440	180	144	324	1.344	1	10

表-11 山中式土壌硬度計による貫入量

No.	貫入量 (mm)		
	30分後	1時間後	28日後
7-1	26.4	27.2	27.0
7-2	23.5	28.0	23.8
7-3	24.4	30.1	32.1

表-12 28 日後の一軸圧縮強度・CBR (不攪乱試料)

No.		一軸圧縮強度 kN/m ²			湿潤密度 g/cm ³			CBR %			
		1	2	平均	1	2	平均	1	2	3	平均
7-1	上部	24.6	28.0	26.3	1.509	1.556	1.533	29.6	-	-	29.6
	下部	21.8	-	21.8	1.495	-	1.495	-	-	-	-
7-2	上部	19.9	-	19.9	1.553	-	1.553	5.0	8.4	11.2	8.2
	下部	44.6	26.6	35.6	1.595	1.601	1.598	-	-	-	-
7-3	上部	15.2	18.1	16.7	1.534	1.528	1.531	6.7	10.8	-	8.8
	下部	30.1	-	30.1	1.657	-	1.657	-	-	-	-

表-13 28 日後の pH 試験結果

深度 (cm)	0~20	20~40	40~60	60~80
No. 7-1	9.9	10.3	10.5	10.6
No. 7-2	10.8	10.7	10.8	10.7
No. 7-3	10.7	10.8	10.7	10.7

表-14 土壌含有量および溶出量試験結果 (処理土)

試験項目	H18年度処理土			H17年度処理土		基準値 (mg/kg)
	No. 7-1 28日後	No. 7-2 28日後	No. 7-3 28日後	No. 10-2 28日後	No. 10-2 1年後	
六価クロム化合物	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	250
鉛及びその化合物	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	150
砒素及びその化合物	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	150
ふっ素及びその化合物	< 400	< 400	< 400	< 400	< 400	4000

試験項目	H18年度処理土			H17年度処理土		基準値 (mg/L)
	No. 7-1 28日後	No. 7-2 28日後	No. 7-3 28日後	No. 10-2 28日後	No. 10-2 1年後	
六価クロム化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.008	0.05
鉛及びその化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.01
砒素及びその化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.01
ふっ素及びその化合物	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	0.8

と言える。

5) 土壌含有量および溶出量試験

打設 28 日後と 1 年後の安定処理土について、六価クロム、鉛、砒素、およびふっ素の 4 項目について土壌含有量と溶出量試験を実施した。

結果は、表-14 に示すように、1 年後の試料で基準値以下のふっ素と六価クロムが溶出された他は、

含有量、溶出量試験ともに有害物質は検出されなかった。

チタン石こうからは基準値を越えるふっ素及びその化合物が溶出されたが、製造した処理土からは検出されていないことから、混合希釈により濃度が定量下限値以下に小さくなったものと考えられる。使用上は、問題ないと判断される。

表-15 既設処理土の一軸圧縮強度

No.	試験時期	一軸圧縮強度kN/m ²			湿潤密度g/cm ³		
		1	2	平均	1	2	平均
10-1	上部	38.1	29.9	34.0	1.379	1.318	1.349
	下部	23.5	20.8	22.2	1.318	1.409	1.364
10-2	上部	68.3	51.2	59.8	1.448	1.413	1.431
	上部	23.7	25.3	24.5	1.453	1.442	1.448
10-3	上部	13.5	22.8	18.2	1.508	1.582	1.545
	下部	15.1	11.7	13.4	1.574	1.580	1.577

9. 既設処理土の追跡調査

(1) 埋設土槽の状況

土槽は、長さ100cm、幅50cm、深さ70cmおよび90cmで、直径20cm、長さ100cmの塩ビ管を設けたもの2槽に処理土を水締めし、10cmの覆土、または30cmの路盤が施工してある。

(2) 一軸圧縮強度

1年後の一軸圧縮強度は、表-15に示すように、No.10-2が平均で24.5kN/m²、No.10-3が上部で18.2kN/m²、下部で13.4kN/m²と低い値を示した。No.10-3で上部と下部を比較すると、上部の方がやや大きい。この傾向は、昨年度の28日後の結果と同じである。

(3) CBR強度

処理土のCBRは、表-16に示すように、28日後で2.2~6.2%、1年後で3.2~6.2%の範囲にあり、28日後のNo.10-1を除いて、3%以上となった。

(4) 貫入量

図-17は、H17年度の1年後の貫入量(No.10-2、No.10-3)と今年度の28日後の貫入量(No.7-1~No.7-3)を打設面、管横、管下別に整理したものである。図より、打設面から水を投入したNo.10-2では管横および管下の強度が小さいが、管横で一度水を投入したNo.10-3では管下の強度が出ていること、さらに水と処理土を同時投入したNo.7-1~No.7-3では部位別に大きな差がないことが明らかである。

したがって、水締めは、管下から管上まで水と処理土を同時的に投入する方法が効果的であると考えられる。

10. 既設処理土の再利用実験

(1) 実験条件

表-16 既設処理土のCBR強度

No.	試験時期	CBR%		
		1	2	平均
10-1	上部	2.7	2.2	2.5
10-2	上部	6.2	-	6.2
10-2	上部	3.8	-	3.8
10-3	上部	3.2	6.2	4.7

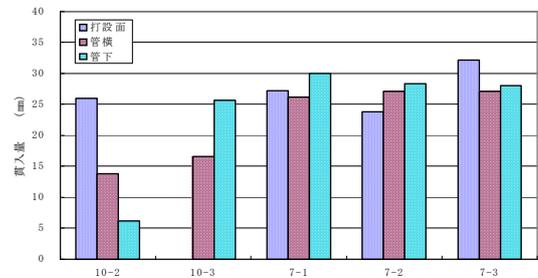


図-17 現場打設実験における部位別の貫入量

表-17 再利用実験の配合

No.	水/固化材重量比	助剤/石こう系固化材 (%)	配合密度 t/m ³	処理土1m ³ 当たりの配合 (kg/m ³)				
				固化材		助剤	原料土	添加水量
				チタン石こう	酸化マグネシウム			
8-1	1.60	80	1.952	156	124	280	1,411	261
8-3	1.80	80	1.857	155	124	280	1,238	339
8-4	1.60	80	1.832	180	144	324	1,141	367

表-18 再利用実験結果

No.	一軸圧縮強度 (kN/m ²)				実測密度 (g/cm ³)			
	1時間後	1日後	7日後	28日後	1時間後	1日後	7日後	28日後
8-1	130	156	310	451	1.879	1.869	1.866	1.856
8-3	67	79	159	237	1.847	1.853	1.850	1.847
8-4	98	102	266	366	1.816	1.819	1.820	1.811

9. で再掘削した処理土の再利用性を検討するために配合試験を実施した。

配合は、含水砂、助剤等の配合試験結果に基づいて、表-17に示す配合を用いた。

(2) 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度は、表-18 に示すように、1 日後までは目標値をやや下回る値であったが、7 日後以降は延びる傾向があり、目標値を満足しており、再利用可能な材料であると考えられる。

今回の再利用実験では、比較的強度が小さかった No. 10-2 の掘削材料を使用したために、試料調整において砕く等の作業が必要なかったものであり、今後、配合や施工方法の改善により、十分に固化した改良土を再利用する場合には、粒度調整がうまくいくかどうか課題になると考えられる。

11. まとめと考察

(1) 土壌含有量および土壌溶出量試験

①チタン石こうからは指定基準値を越えるふっ素およびその化合物が溶出された。しかし、佐々木他⁴⁾によればふっ素の含有量は 44mg/kg、溶出量は 0.0mg/L という報告もあるので、石こうの選択が必要である。

②1 年後の試料で基準値以下のふっ素と六価クロムが溶出された他は、含有量、溶出量試験ともに有害物質は検出されなかった。

③助剤の種類については、表-19 に示すように、平成 16 年度に水砕スラグと酸化マグネシウムと比較が行った。水砕スラグではふっ素及びその化合物の溶出を確認したために、酸化マグネシウムが妥当と判断した。

(2) 土懸濁液の pH 試験

①土懸濁液の pH 試験は、チタン石こうで 8.4、酸化マグネシウムで 12.5 であった。

②砂質系安定処理土の pH は、9.9~10.8 の強アルカリ性を有しているが、pH が 11~12 である流動化処理土の浸出水と比較するとアルカリ性が弱いと言える。

(3) 助剤の効果確認試験

①助剤添加率が 40% の場合、処理土の密度は 1.9g/cm³ 前後で全水量が 450 kg/m³ 程度が水/固化材比の適正配合と考えられる。

②1 時間強度（初期強度発現性）は主に水/石こう比に影響されると考えられる。

③28 日強度（長期強度）は、石こう量ではなく、

表-19 処理土の土壌溶出量試験結果（平成 16 年度）

特定有害物の種類	溶出量		単位	含有量基準
	石こう+高炉スラグ	石こう+酸化マグネシウム		
試料番号	No. 2	No. 4		—
水/固化材比	0.7	0.7	—	—
固化材/水硬性助剤比	40	67	—	—
固化材量	651	252	kg/m ³	—
カドミウム及びその化合物	<0.005	<0.005	mg/l	0.001mg/l 以下
六価クロム化合物	0.017	0.047	mg/l	0.05mg/l 以下
シアン化合物	不検出	不検出	mg/l	不検出
水銀及びその化合物	<0.0005	<0.0005	mg/l	0.0005mg/l 以下
アルキル水銀	不検出	不検出	mg/l	不検出
セレン及びその化合物	<0.005	<0.005	mg/l	0.01mg/l 以下
鉛及びその化合物	<0.005	<0.005	mg/l	0.01mg/l 以下
砒素及びその化合物	<0.005	<0.005	mg/l	0.01mg/l 以下
フッ素及びその化合物	1.1	0.3	mg/l	0.8mg/l 以下
ホウ素及びその化合物	<0.1	<0.1	mg/l	1mg/l 以下

注）規格：日本工業規格

水質環境基準告示：昭和46年12月環境庁告示第59号（水質汚濁に係る環境基準について）

排出基準検定告示：昭和49年9月環境庁告示第64号（環境大臣が定める排水基準に係る検定方法）

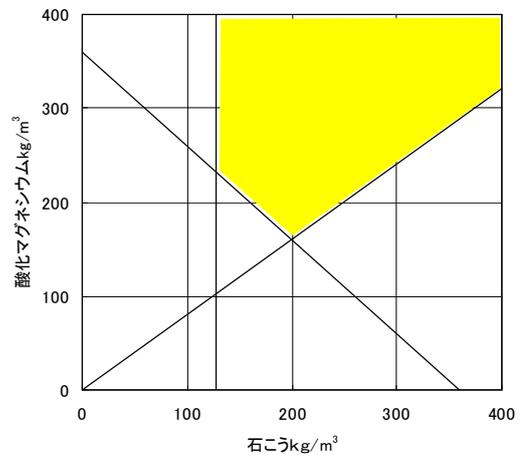


図-18 配合案

固化材量または助剤の酸化マグネシウム量に主に影響されていると考えられる。

④28 日後の質量変化率（浸水直前の初期質量に対する 28 日後の損失質量比）は、助剤添加率 80% の場合で、固化材量が多くなるにつれて質量変化率が小さくなることが判明した。

⑤以上の結果から、一軸圧縮強度の上限値を無視すれば図-18 に示すような配合案が想定される。

⑥助剤の添加により固化材の硬化が抑えられることが推測される。

(4) 遅延剤の効果確認試験

①遅延剤は初期強度を押さえるばかりでなく、長期的にも影響すると考えられる。

②遅延剤混合 60 分後に固化材と水を混合した場合の強度低下は、待機時間をとらなかったものの強度の 20% 程度であり、待機時間をとることは施工上

可能と考えられる。

③固化材の混合は、打設直前に行わざるを得ないと言える。

④温度上昇にかかる時間と遅延剤添加率との関係は、明らかな直線関係を示しており、硬化反応を遅らせている可能性が高い。しかしながら、長期強度が延びなくなることから、遅延剤は少ない方が望ましいと判断される。

⑤温度上昇時間が約 60 分程度でも、適切な配合条件で目標値を満足できることを示唆している。

(5) 施工性確認実験

①空洞発生量は、砂のみの場合で 100~2150cm³、処理土の場合で 90~1070cm³ と両者ともにばらついた。しかし、全体的には処理土の方が砂の 1/4 以下の空洞量であると言える。

②1 日後に再度水を加えたときの砂は、表面が沈下するとともに、内部の砂も沈下して空洞が埋まり、全体の体積が減少する現象がみられた。一方、処理土の場合は、空洞の多少にかかわらず、沈下や体積の減少は生じなかった。

(6) 現場施工実験

打設 28 日後に実施した不攪乱で採取した試料の CBR は、基準値の 3% を上回った。

(7) 既設改良土の追跡調査

処理土の CBR は、28 日後で 2.2~6.2%、1 年後で 3.2~6.2% の範囲にあり、28 日後の No. 10-1 を除いて、3% 以上となった。

(8) 既設処理土の再利用実験

一軸圧縮強度は、水分の過不足により、1 日後までは目標値をやや下回る値であったが、7 日後以降

は延びる傾向があり、目標値を満足しており、再利用可能な材料であると考えられる。

12. 今後の課題

今後の課題としては、以下の 3 点が挙げられる。

(1) 品質管理および施工管理の方法と基準値

これまでの実験では、暫定的に流動化処理土の基準値を目標値としてきた。しかしながら、砂質系改良土は粘性土質の流動化処理土とは性状が異なることから、強度特性も異なっており、処理土に適した管理方法と基準値を検討する必要がある。

具体的には、CBR と一軸圧縮強度の関係の把握、掘削性と強度の関係の把握が必要と考えられる。

(2) 適正配合の把握

今年度までの実験結果により、全水量が 450kg/m³ 程度、石こう量 128 kg/m³ 以上、酸化マグネシウム 160 kg/m³ 以上、助剤添加率 80% 以上、固化材量 360 kg/m³ 以上が適正な配合範囲と考えられる。なお、上限値については今後の課題である。

遅延剤については、強度低下の点から当面は使用しないで、助剤の硬化遅延効果のある時間内での研究を進めるが、現場での製造方法や施工方法との関係で、遅延剤の種類や添加率と強度の経時変化の関係などを把握しておくことが望ましい。

(3) 水締め方法の検討

処理土の密度や強度が、配合試験と現場施工実験で異なることから、密度や強度が得られるような施工方法を検討する必要がある。具体的には、配合試験でのハンドミキサと同程度の混合が可能な施工方法と、品質管理基準値を考慮した強度を把握する。

参 考 文 献

- 1) 松村真人、内田喜太郎、阿部忠行 (1996) : 流動化処理土を用いた埋戻し工法(その 4)、平成 8 年、東京都土木技術研究所年報、107-114
- 2) 小林一雄、内田喜太郎 (1992) : 道路占用工事における埋戻し工法、平成 4 年、東京都土木技術研究所年報、65-74
- 3) 内田喜太郎、小林一雄 (1995) : 流動化処理土を用いた埋戻し工法(その 3)、平成 7 年、東京都土木技術研究所年報、57-64
- 4) 佐々木謙一、大澤誠司、田辺和康 (2003) : 石膏系中性固化材による地盤改良技術の現状と課題、資源・素材 2003、資源・素材学会