

## 7. 速硬型の砂質土系安定処理による埋戻し工法（その5）

### Backfill Industrial Method by Sandy Soil System Stability Processing of Type that Hardens Fast (Part.5)

技術支援課 大野正宏、田中輝栄、峰岸順一

#### 1. まえがき

道路占用の埋設管が輻輳している狭隘で十分な転圧ができない箇所においては、しゃ断層用砂の水締めによる埋戻しが行われてきたが、即日復旧を行う箇所では空洞を生じる場合があり、道路陥没の一因ともなっていた。

このため、即日復旧を前提に、空洞が生じにくい輻輳管回りの埋戻し材として、急速に硬化する速硬型の砂質土系安定処理土（以下、処理土という。）の実用化に向けた検討を平成 16 年度から行ってきた。

平成 22 年度の実験調査では、水締め施工の水量と施工方法の確認、遅延剤の効果確認について行ったので、その内容を報告するものである。

実験は、処理土をプラントで製造し、現場へ運搬後、水締めによって施工する方法を想定している。

処理土として求める条件は、①路床としての条件を満たすため、処理土水締め施工 1 時間後の CBR が 3%以上、②再掘削を容易にするため、28 日後の CBR が 20%以下であることとした。

処理土は、しゃ断層用砂に石こう系固化材（以下、固化材という）と遅延剤（ペプトン）を混合したものである。固化材は、半水石こうと酸化マグネシウムを混合したものである。なお、実験では、購入したしゃ断層用砂を用いた。

#### 2. 今年度の調査内容

今年度行った実験調査内容は、次の通りである。

- ① 材料試験は、土質試験、pH 試験及び土壌溶出試験を行い材料の品質を確認した。
- ② 水締め施工の実験では、室内実験及び屋外実験を行い水締め施工に必要な水量と水締め施工の方法について検討した。
- ③ 遅延剤の効果確認実験では、室内実験及び屋外施工実験を行い遅延剤の効果について検討した。

#### 3. 材料試験

##### (1) 土質試験結果

処理土の原料土である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。試験結果は、表-1 に示すとおりである。しゃ断層用砂の細粒分は 2.3%で、基準値を満足していた。

##### (2) pH 試験

処理土の主たる原料であるしゃ断層用砂、半水石こう、酸化マグネシウムと処理土 6 試料について土懸濁液の pH 試験を行った。その結果、しゃ断層用砂 6.3 は、ほぼ中性を示すが、半水石こう 11.3、酸化マグネシウム 8.9、処理土 8.7（6 試料の平均値）と強アルカリ性～アルカリ性を示した。なお、この傾向は従来<sup>1)</sup>の結果と同様であった。

##### (3) 土壌溶出量試験

処理土の材料であるしゃ断層用砂、半水石こう、および酸化マグネシウムと打設 28 日後の処理土 6 試料について表-2 に示す土壌溶出量試験を行った。

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> )		2.696	
含水比 $\omega_n$ (%)		10.7	
粒度特性	粗粒分	礫分 G (%)	1.5
		砂分 S (%)	96.2
	細粒分	シルト分 M (%)	2.3
		粘土分 C (%)	
	最大粒径 (mm)		4.8
	均等係数 $U_c$		2.15
曲率係数 $U_c'$		0.97	
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		6.3	

表-2 処理土使用材料の土壌溶出量試験結果

溶出量試験項目	しゃ断層用砂	半水石こう	酸化マグネシウム	処理土	基準値 (mg/L)
六価クロム化合物	< 0.005	< 0.005	< 0.008	最大0.007	0.050
ふっ素及びその化合物	< 0.1	2.6	< 0.1	最大0.1	0.8

六価クロム化合物は、しゃ断層用砂、半水石こう、ともに定量下限値 0.005mg/L 未満、酸化マグネシウムも定量下限値 0.008mg/L 未満であった。処理土の値も最大 0.007mg/L と、いずれも基準値を下回った。また、ふっ素およびその化合物は、半水石こうが 2.6 mg/L と大きな値を示したが、処理土としては、0.1mg/L 未満であり基準値 0.8mg/L 未満であった。

#### 4. 水締め施工の実験

水締め施工の実験は、水と固化材量が処理土の強度に与える影響を把握する室内実験と屋外実験を実施した。

##### (1) 水締めの室内実験

###### 1) 配合と実験条件

現場での水締め施工を想定すると、室内実験における最適配合の添加水量では、水が不足して十分な水締めができないことから、水を割増す必要がある。これまでの実験調査<sup>2)</sup>では、水だけを増やすと水/固化材比が大きくなり、強度が低下する恐れが考えられ、水と固化材を同時に増やす方法で検討してきた。その結果、水と固化材の倍率は、おおよそ 1.05 倍が最適であることが確認<sup>3)</sup>できている。

今回の室内実験では、水だけを増やした 1 ケース

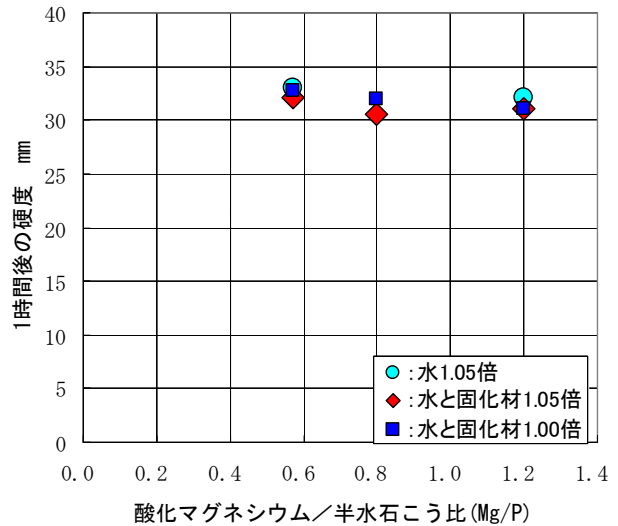


図-1 1時間後の硬度の比較

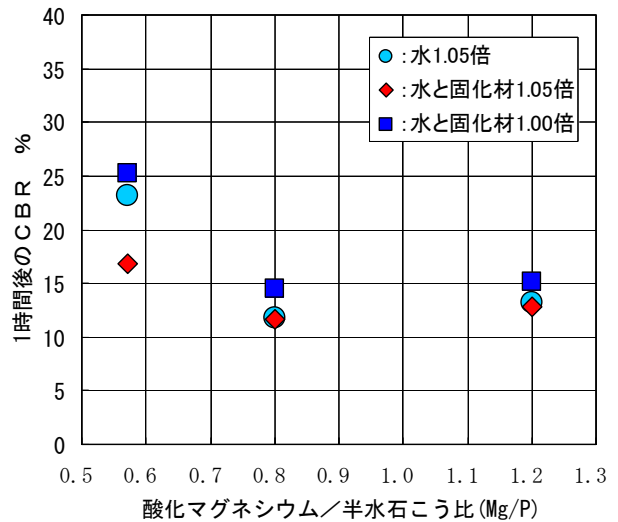


図-2 1時間後のCBRによる比較

と水と固化材を同時に増やした 2 ケースで水締め施工を行い、各ケースについて以下の 3 種類で配合し、処理土の強度低下を比較検討した。

- ① 半水石こう 100kg/m<sup>3</sup>、酸化マグネシウム 80kg/m<sup>3</sup>、固化材量 180kg/m<sup>3</sup>→Mg/P=0.80
- ② 半水石こう 140kg/m<sup>3</sup>、酸化マグネシウム 80kg/m<sup>3</sup>、固化材量 220kg/m<sup>3</sup>→Mg/P=0.57
- ③ 半水石こう 100kg/m<sup>3</sup>、酸化マグネシウム 120kg/m<sup>3</sup>、固化材量 220kg/m<sup>3</sup>→Mg/P=1.20

###### 2) 室内実験結果

処理土打設 1 時間後の山中式土壌硬度計による硬度の測定 (以下、硬度という) と CBR は、図-1 と図-2 に示すように、水だけを増やした場合と水と固化材を同時に増やした場合とで比較すると、ほ

ば同等の値を示した。したがって、室内実験結果では、水だけを増やす方法が妥当と判断した。

なお、山中式土壌硬度計による硬度とC B Rの関係は、硬度が20 mm程度でC B R3%以上であることがこれまでの実験<sup>2)</sup>でわかっている。

## (2) 水締め施工の屋外実験

### 1) 配合条件

水だけを増やした場合の水の倍率は1.05とし、比較のために水と固化材を同時に増やしたケースも実施した。配合条件を表-3に示す。

表中のNo. 5-1~No. 5-3とNo. 5-5~No. 5-7が水だけを増やした6ケースで、No. 5-4とNo. 5-8が水と固化材を同時に増やした2ケースである。

なお、全8配合のうち、No. 5-1~No. 5-4の4ケースは長期強度の追跡調査のために、28日後の試験は実施せず、水締め施工した上に覆土して保存した。

### 2) 実験条件

水だけを増やしたケースと水と固化材を同時に増やしたケースで水締め施工の屋外実験を行い、30分後、1時間後の硬度と28日後の密度、硬度、土研式円錐貫入試験による打撃回数（以下、打撃回数という）およびC B Rを測定した。さらに、ハンドスコップによる掘削性試験を行った。

### 3) 屋外実験結果

屋外実験結果について、硬度を表-4に、土研式円錐貫入試験、C B R試験、および掘削性試験を表-5に示す。

#### ① 処理土の密度

処理土の密度は、28日後に採取したC B R試料で

表-3 水締め施工の屋外実験における配合条件

No.	水/石こう重量比	水/固化材重量比	水硬性助剤/石こう系固化材 (%)	処理土の配合密度 (t/m <sup>3</sup> )	水と固化材の倍率	配合 (kg/m <sup>3</sup> )					
						全水量	半水石こう	酸化マグネシウム	固化材量	原料土 湿潤重量	添加水量
5-1	4.88	4.88	80	1.872	1.05	488	100	80	180	1,332	359
5-2	3.49	3.49	57	1.865	1.05	488	140	80	220	1,281	364
5-3	4.88	4.88	120	1.882	1.05	488	100	120	220	1,299	363
5-4	4.65	4.65	80	1.872	1.05	488	105	84	189	1,323	360
5-5	4.88	4.88	80	1.872	1.05	488	100	80	180	1,332	359
5-6	3.49	3.49	57	1.865	1.05	488	140	80	220	1,281	364
5-7	4.88	4.88	120	1.882	1.05	488	100	120	220	1,299	363
5-8	4.65	4.65	80	1.872	1.05	488	105	84	189	1,323	360

表-4 硬度の結果

No.	硬度 (mm)						
	打設面						C B R モールド
	30分後	1時間後	1.5時間	2.0時間	2.5時間	28日後	28日後
5-1	23.8	27.0	25.6	26.6	25.4	—	—
5-2	26.0	29.8	29.4	30.1	30.3	—	—
5-3	24.3	24.0	24.3	24.9	24.1	—	—
5-4	25.2	27.1	25.5	25.9	25.5	—	—
5-5	23.6	23.9	26.5	25.4	23.9	27.2	28.8
5-6	26.8	29.9	29.5	29.8	30.2	29.8	28.9
5-7	25.8	26.5	26.7	26.8	26.0	30.2	31.1
5-8	25.5	27.7	28.1	27.7	28.8	27.6	30.2

表-5 各測定試験結果

No.	土研式貫入試験 (回/10cm)		C B R (%)	実測密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ハンドスコップ 掘削性 (分)	剣スコップ 掘削性 (分)
	全層 平均	中央部 平均				
	28日後	28日後	28日後	28日後	28日後	28日後
—	No. 5-1~5-4は、追跡調査のため保存中					
5-5	36	40	18.3	1.872	0.8	1.1
5-6	52	55	30.2	1.798	1.8	2.0
5-7	55	60	33.9	1.939	1.6	1.8
5-8	47	51	28.2	1.886	1.5	1.2

測定した。処理土の実測密度は、図-3に示すNo. 5-6が1.798g/cm<sup>3</sup>と配合設計時の密度に比べてやや小さくなっていたが、その他の3ケースは配合設計時の密度と同じかやや大きい値を示した。

密度の点からは、水だけを増やしても密度は確保できると言える。

#### ② 処理土の硬度

水締め施工直後の硬度は、30分後で概ね24mm以上となり、その後は横ばいか漸増であった。したがって、現場で施工する場合は、水締め施工30分後で、処理土の上に路盤材等の敷均し、転圧が可能と考えられた。また、水締め施工1時間後の硬度は、図-4に示すように、室内硬度に比べて3~7mm程度小さい値を示した。

水締め施工28日後の硬度は、図-5に示すように、打設面が27~30mmで、C B Rモールド（深度40cm前後）が27~30mmとほとんど同等の値であった。室内試験における硬度と比較すると、室内硬度と同等か5mm程度小さい値であった。

#### ③ 処理土の打撃回数

水締め施工28日後の打撃回数は、図-6に示すように全層平均で36~55回/10cm、表層と最下層を除く中央部の平均が40~60回/10cmで、全てのケー

スで道路占用工事要綱の基準値（16回/10cm）を満足した。

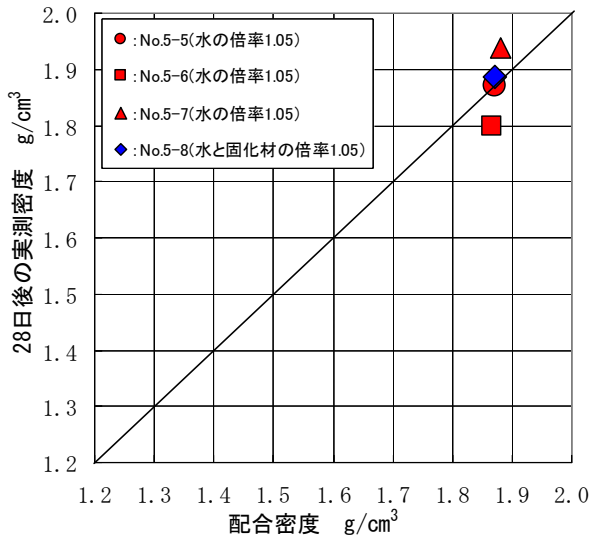


図-3 配合密度と実測密度の関係

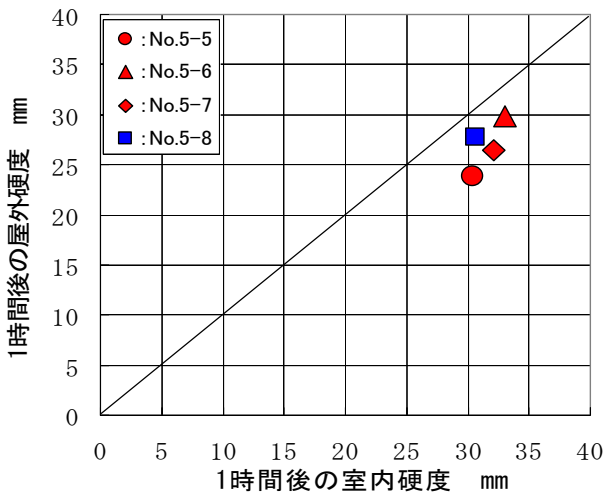


図-4 1時間後の室内硬度と屋外硬度

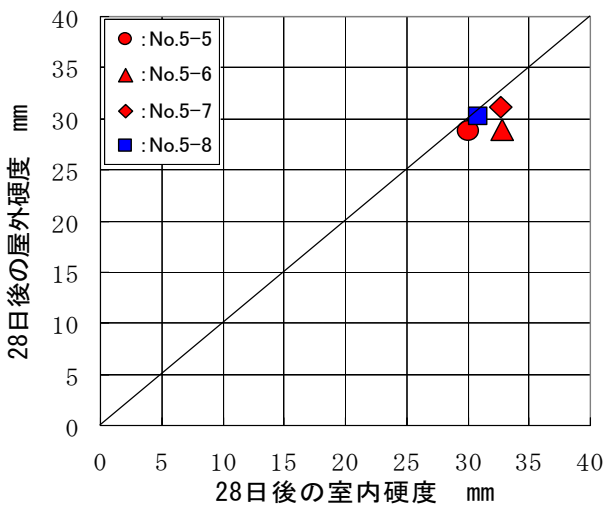


図-5 28日後の室内硬度と屋外硬度

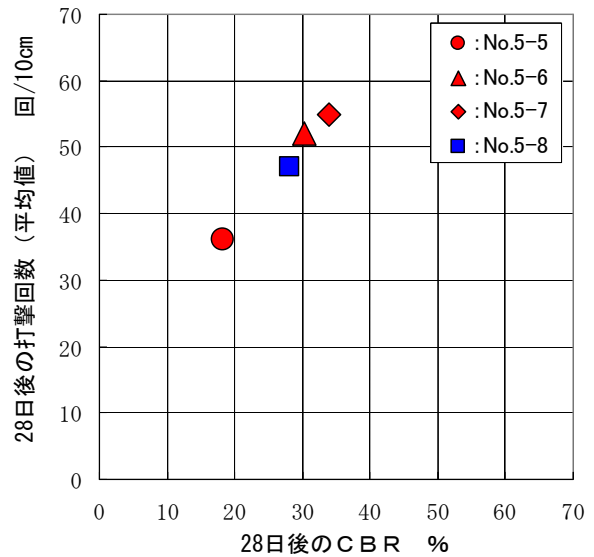


図-6 CBRと打撃回数

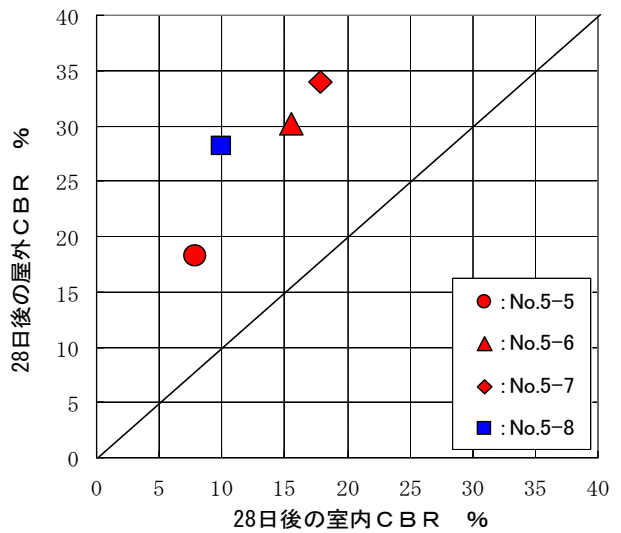


図-7 室内CBRと屋外CBR

#### ④ 処理土のCBR

水締め施工28日後のCBRは、図-7に示すように、18.3～33.9%の範囲にあり、室内配合試験結果の2.0倍程度の値を示した。

#### ⑤ 処理土の掘削性

ハンドスコップによる掘削時間は、図-8に示すように0.8～1.8分の範囲にあった。

剣スコップによる処理土の掘削時間は、図-9に示す。その結果、No.5-6がCBR33.9%で2.0分と最も大きい値を示し、No.5-5がCBR18.3%で1.1分と最も小さかった。CBRが30%程度のケースでは、掘削時間が1.8～2.0分と大きい、いずれのケースとも人力による掘削は可能と判断した。

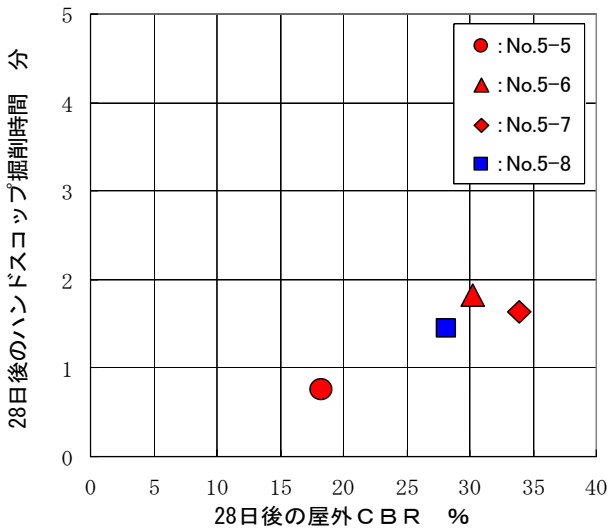


図-8 28日後のハンドスコップ掘削時間

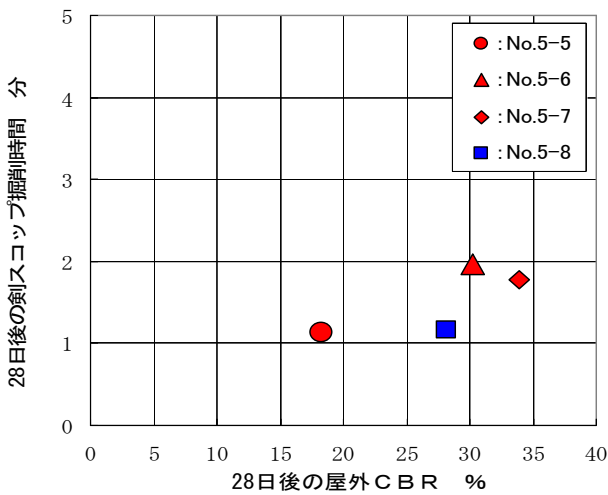


図-9 28日後の剣スコップ掘削時間

### (3) 実験結果の考察

#### 1) 水締めにおける水の割増し方法

同じ基本配合で水だけを増やしたケース No. 5-5 と水と固化材を同時に増やしたケース No. 5-8 の比較を行った。その結果、No. 5-5 は No. 5-8 に比べて、1 時間後の硬度が約 4mm、打撃回数が全層平均で 11 回/10cm、C B R が 10% と小さい値の結果であった。この差は、図-10 に示すように、水を増やしたことにより、水/固化材比が変化した結果である。したがって、水だけを増やした場合は、その配合分だけ強度が低下する。

また、水の割増率については、1.05 倍の倍率で概ね過不足がなく、いずれのケースでも十分な水締めが施工できたことから、1.05 倍が妥当であることを室内及び屋外実験で確認した。

## 2) 水締め施工の目視判断実験

水締め施工の目視判断実験を戸田橋実験場構内に作った実験用土槽にて行った。写真-1 に水締め施工の状況を示す。

水締め施工に使う水が多少増えても周囲の地山に浸透され、強度への影響はほとんどなかった。

また、水が少ないと投入された処理土の中に水が浸透しにくくなり、効果的な水締め施工にならず、不均質な処理土が形成された。

水締め施工の方法としては、処理土と水をほぼ同時に投入する方法で打設し、その際、打設面に 2cm 程度の水が常に浮いている状態を維持することで、C B R の結果から、強度を有する概ね均質な埋戻しを行うことができた。

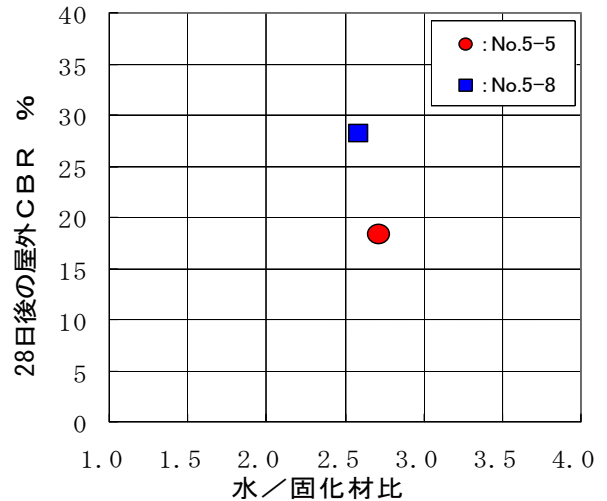


図-10 水/固化材比に対する 28日後の屋外 CBR



写真-1 水締めによる処理土の打設状況

## 5. 遅延剤の室内効果確認実験

遅延剤の効果確認実験として、室内実験で配合を検討し、屋外実験で施工性を確認した。

### (1) 室内実験

#### 1) 室内実験概要

プラントで処理土を製造し、現場まで運搬して水締め施工を行うことを想定すると、運搬や水締め施工までの待機時間が必要となる。

今回の室内実験では、待機時間が1時間から8時間までのケースについて遅延剤の散布量を対石こう重量比で0.18%から0.85%まで変化させてその効果を調べた。なお、遅延剤はペプトンを使用した。処理土の基本的な配合は、以下の2種類とした。

- ① 半水石こう 100kg/m<sup>3</sup>、酸化マグネシウム 80kg/m<sup>3</sup>、  
固化材量 180kg/m<sup>3</sup>→Mg/P=0.80
- ② 半水石こう 140kg/m<sup>3</sup>、酸化マグネシウム 80kg/m<sup>3</sup>、  
固化材量 220kg/m<sup>3</sup>→Mg/P=0.57

#### 2) 室内実験結果

待機時間別に、遅延剤散布量と硬度の関係を検討した結果を図-11に示す。

遅延剤の散布量が少なく、待機時間の短いケースでは、処理土打設1時間後の硬度は、待機時間が1～3時間までの4ケースで、硬度14～19mmと概ねCBR3%相当に近い値を示した。また、同じ待機時間であっても散布量の違いにより、2時間のケースのように固化の進行に違いがあった。

なお、待機時間8時間のケースは、処理土打設から1時間では、固化の進行がなかった。

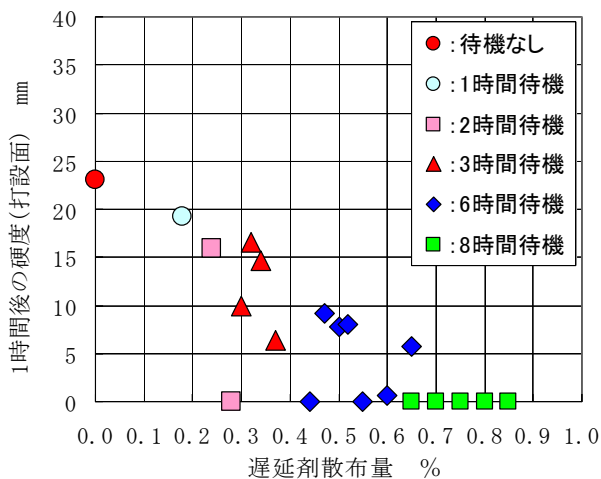


図-11 遅延剤散布量と1時間後の硬度

## (2) 屋外施工実験

### 1) 屋外実験概要

遅延剤の室内配合実験に基づいて屋外施工実験を行った。処理土の基本配合は、表-6に示す2種類とし、遅延剤の散布量と待機時間は表-7に示す。

表-6 遅延剤の屋外実験における基本配合

No.	水/石こう重量比	水/固化材重量比	水硬性助剤/石こう系固化材 (%)	処理土の配合密度 (t/m <sup>3</sup> )	水と固化材の倍率	配合 (kg/m <sup>3</sup> )				
						全水量	半水石こう	酸化マグネシウム	固化材量	原料土湿潤重量
A	4.88	2.71	0.80	1.872	1.05	488	100	80	180	1.293
B	3.49	2.22	0.57	1.865	1.05	488	140	80	220	1.293

表-7 屋外実験での遅延剤の散布量と待機時間

基本配合	No.	遅延剤 (ペプトン)			待機直後の試料状況
		種類	散布量 (%)	待機時間 (時間)	
A	6-1	ペプトン	0.18	1	—
A	6-2	〃	0.24	2	待機中固化
A	6-2	〃	0.28	2	—
A	6-3	〃	0.32	3	—
A	6-4	〃	0.30	3	待機中固化
A	6-4	〃	0.65	6	—
A	6-5	〃	0.55	6	待機中固化
A	6-5	〃	0.65	6	—
A	6-6	〃	0.70	6	—
A	6-7	〃	0.85	8	—
A	6-8	〃	0.90	8	—
B	6-9	〃	0.70	6	—
B	6-10	〃	0.27	3	部分的に固化
A	6-11	〃	0.35	3	部分的に固化

なお、表-7のNo.6-4とNo.6-8の2ケースは長期強度の追跡調査のために、28日後の試験は実施せず、水締め施工した上に覆土して保存した。

実験中の気温は、冬季に実験を行ったため7～13℃の範囲であった。

### 2) 屋外実験結果

#### ① 硬度とCBR

屋外施工実験では、表-8に示す待機時間が1時間から6時間までの4ケースは、水締め施工1時間後の硬度が20mm以上の値を示し、CBR3%相当を満足できた。そのうち、1時間待機のNo.6-1は、水締め施工30分後の硬度が22mmとCBR3%以上に相当する強度が発現した。

また、待機時間が3時間から8時間のその他のケースにおいても、水締め施工の1.5時間後から3.0時間後の硬度からCBR3%に相当する強度が発現した。これらの結果から、適切な散布量の遅延剤を混ぜることにより、6時間までは待機時間を確保できることを確認した。また、遅延剤散布量の調整により、8時間までは待機可能と考えられた。

表-8 屋外実験結果

No.	遅延剤 待機時間 (時間)	硬度 (mm)							CBR (%)	ハンドス コップ 掘削性 (分)	剣スコップ 掘削性 (分)	
		打設面										
		30分後	1時間後	1.5時間	2.0時間	2.5時間	3.0時間	1日後				28日後
6-1	1	22.2	23.1	21.3	24.5	24.7			29.0	9.8	0.6	
6-2	2	待機中に固化、打設せず									—	
6-2	2	12.6	26.1	27.3	28.8	28.8			29.6	21.8	1.0	1.3
6-3	3	4.4	6.4	12.5	21.7	26.3			29.9	15.0	0.7	0.9
6-4	3	待機中に固化、打設せず									—	—
6-4	6	5.7	14.5	25.7	27.0	27.2			追跡調査のため保存中			
6-5	6	待機中に固化、打設せず									—	—
6-5	6	6.8	20.0	24.4	25.8	25.6			27.6	17.5	0.9	0.8
6-6	6	4.1	7.6	15.6	26.4	25.6			29.6	11.8	0.7	1.0
6-7	8	5.1	7.0	12.2	22.0	23.0			28.8	13.6	0.6	0.9
6-8	8	6.1	7.9	8.8	10.6	17.8	24.6		追跡調査のため保存中			
6-9	6	6.9	7.9	7.9	9.2	8.5	9.8	33.2	34.5	18.1	0.8	3.4
6-10	3	14.2	20.9	23.2	23.1	22.8			24.0	10.9	0.8	1.0
6-11	3	8.1	14.2	16.1	16.6	17.8			20.0	5.9	0.5	0.6

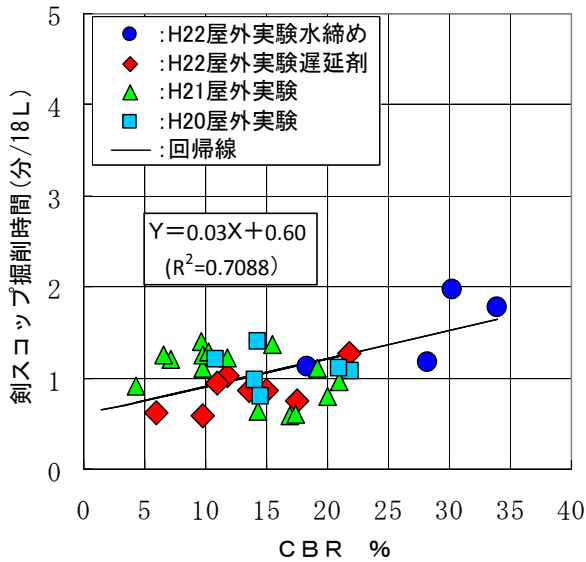


図-12 CBRと剣スコップ掘削時間の関係

一方、同じ待機時間の処理土でも待機の途中で固化したケースがあった。これは、待機中の気温や材料の温度の影響が考えられる。

② 処理土の掘削性

処理土の掘削性について既往調査結果<sup>4)</sup>を含めて検討した。人力による掘削時間は、通常のランマー転圧による砂では0.5分程度である。図-12に示すCBRが25%程度までの剣スコップによる処理土の掘削時間は、0.6~1.3分と容易に掘削可能な範囲であった。したがって、砂の掘削時間に近い処理土は、CBRが25%程度までは人力掘削が容易に可能である。

6. まとめと今後の課題

(1) まとめ

1) 水量の割増しと強度確認

これまでの実験調査では、水締め施工を行って所定の強度を得るために、水と固化材を同時に増やす方法で検討してきたが、今回の実験では、水と固化材を同時に増やす方法と水だけを増やした実験を行った。その結果、室内実験では、水だけを増やした場合の初期強度は水と固化材を同時に増やした場合とほぼ同等の値であった。

また、屋外施工実験では、水だけを増やした場合は、水と固化材を同時に増やした場合より強度がやや低下する可能性があるものの、基準値を下回ることはなかった。

2) 水締めの方法と目視判断

屋外施工実験では、常に水がやや過剰な状態を保ちながら、水と処理土を同時に打設することにより、十分な水締め施工を行うことができた。

実際の施工現場においても、水が打設面に浮いている状態を常に保つことにより、適切な水締め施工ができるものとする。

3) 処理土の遅延効果

今回の実験調査において、遅延剤（ペプトン）を用いた待機時間が6時間までの処理土は、水締め施工1時間後の硬度により、CBR3%相当の値を満足した。また、8時間までの処理土は、2.5時間後の硬度により、CBR3%相当の値を満足した。

## (2) 今後の検討課題

これまでの実験調査と今回の実験調査により、半水石こうと酸化マグネシウムを固化材とした処理土は、一定の品質が確認できた。しかし、現場へ適用するには、いくつかの課題がある。主な課題としては、次の3点である。

- ① 温度変化による遅延剤の強度発現性
- ② 現場規模の製造機械と施工方法の検討
- ③ 長期強度の確認

### 1) 温度変化による遅延剤の強度発現性

今回の実験では、遅延剤(ペプトン)を用いて8時間までの遅延効果と強度発現性の確認ができた。しかし、同じ遅延剤の散布量でも打設前に固化したケースがあるなど、材料の温度や気温により大きく影響される可能性がある。したがって、材料温度や気温に対する許容範囲等を今後検討する必要がある。

### 2) 現場規模の製造機械と施工方法の検討

これまで屋外実験は、当センターの戸田橋実験場構内で、最大150L程度のコンクリートミキサーを用いて実験用の処理土製造を行ってきたが、実際に現場で施工を行うには、多量の処理土が必要となる。そのため、現場規模に見合う実用可能な製造機械による処理土の製造と施工方法を検討する必要がある。

## 3) 長期強度の確認

処理土の水締め施工1時間程度の短時間で、CBR3%相当の強度が発現することがこれまでの実験調査で確認できている。

一方、長期強度については、最大28日までの強度しか把握できていないが、今回の屋外施工実験で作製した4試料について、1年後に強度確認等を行う予定である。

## 7. あとがき

道路陥没の生じにくい、即日復旧を前提にした輻輳管回りへの埋戻し材として、半水石こうと酸化マグネシウムを固化材とした処理土は、一定の品質が確認できた。しかし、実用化にあたっては、実発生土を用いた品質の検討や、現在、固化材として使用している材料はセメントに比べても単価が高いことから、コスト削減を図る必要がある。

本調査を進めるに当たり、道路管理部保全課の方をはじめ、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、平成20年、東京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)、平成20年、東京都土木技術センター年報、83-90
- 4) 小林一雄、内田喜太郎、石川靖仁(1991):道路占用工事における埋戻し工法、平3都土木技研年報、61-70