

10. 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

技術支援課 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、しゃ断層用砂の水締めによる埋戻しを行っていたが、関東ロームのような水はけが悪く、しかも即日復旧を行う箇所では空洞を生じやすく、道路陥没の一因ともなっていた。

このため、道路占用工事等では、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、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。

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、しゃ断層用砂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。

石こう系固化材は、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。

2. 材料試験結果

(1) 土質試験結果

しゃ断層用砂は、表 - 1 に示すように、当初購入したもの（H19-1）が細粒分 13.8%としゃ断層用砂の基準値を大きく越えていたことから、新たに購入した砂（H19-2）を使用した。H19-2 の細粒分は 3.4%で、基準を満足しており、粒度分布上は H16～H18 に用いられている砂とほとんど同じ組成であった。

(2) 土壌溶出量試験

土壌汚染対策法に基づく土壌溶出量試験の試験項目のうち、六価クロム化合物、ふっ素およびその化合物の 2 項目について試験を実施した。対象材料は、しゃ断層用砂、半水石こう、酸化マグネシウムおよびクエン酸ナトリウムであり、結果は表 - 2 に示したように、半水石こうからは指定基準値を越え

表 - 1 しゃ断層用砂の土質試験結果

| 材料名 | しゃ断層用砂 (H19-1) | しゃ断層用砂 (H19-2) | しゃ断層用砂 (H18) | しゃ断層用砂 (H17) | しゃ断層用砂 (H16) | |
|-------------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 試験名 | 砂 | 砂 | 砂 | 砂 | 砂 | |
| 土粒子の密度 s (g/cm ³) | 2.665 | 2.712 | 2.682 | 2.698 | 2.711 | |
| 含水比 n (%) | 19.3 | 15.0 | 13.3 | 13.9 | 13.3 | |
| 粒度特性 | 粗粒分 | | | | | |
| | 礫分 G (%) | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.8 | 0.0 |
| | 砂分 S (%) | 86.2 | 96.6 | 95.8 | 96.3 | 96.4 |
| | 細粒分 | | | | | |
| | シルト分 M (%) | 13.8 | 3.4 | 3.6 | 2.9 | 2.3 |
| | 粘土分 C (%) | | | | | 1.3 |
| 最大粒径 (mm) | 0.9 | 2.0 | 4.8 | 9.5 | 2.0 | |
| 均等係数 Uc | - | 1.87 | 2.08 | 1.99 | 1.99 | |
| 曲率係数 Uc' | - | 0.91 | 0.87 | 0.87 | 0.91 | |
| 地盤材料の工学的分類 | 分類記号 | (S-F) | (S) | (S) | (S) | |
| | 分類名 | 細粒分混じり砂 | 砂 | 砂 | 砂 | |
| 土懸濁液の pH | - | 6.5 | 6.7 | 4.8 | 5.8 | |

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 | 実施年度 | しゃ断層用砂 | 半水石こう | 酸化マグネシウム | クエン酸ナトリウム | 基準値 (mg/L) |
|------------|------|---------|---------|----------|-----------|------------|
| 六価クロム化合物 | H17 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.05 |
| | H18 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | |
| | H19 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | |
| ふっ素及びその化合物 | H17 | < 0.1 | 1.1 | 0.3 | < 0.1 | 0.8 |
| | H18 | 0.1 | 5.1 | 0.5 | < 0.1 | |
| | H19 | < 0.1 | 3.5 | 0.1 | - | |

るふっ素およびその化合物が溶出された。

処理土からは、表 - 3 に示したように、六価クロム化合物、ふっ素およびその化合物は溶出したが基準値よりは下回っていた。

(3) 土懸濁液の pH 試験

土懸濁液の pH 試験は、半水石こうで 6.8、酸化マグネシウムで 11.0 であった。

3. 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、固化材量および水/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。

助剤の添加率は、50 ~ 200% とし、固化材量は 160 ~ 360kg/m³ の間で変化させた。

(2) 山中式土壌硬度計による試験値

山中式土壌硬度計の結果は貫入量と貫入抵抗値について検討した。貫入抵抗値は土壌硬度計の使用説明書にしたがって貫入量から換算して求めた。

$$Y = X * 100 / (0.795 * (40 - X)^2) * 98.07 / 1,000$$

ここで、 X : 貫入量(mm)

表 - 3 処理土の土壌溶出量試験結果

| 試験項目 | 19年度 | | 18年度 | | 17年度 | | 基準値 mg/kg |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | 7-3 28日後 | 7-1 28日後 | 7-2 28日後 | 7-3 28日後 | 10-2 28日後 | 10-2 1年後 | |
| 六価クロム化合物 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | 0.008 | 0.05 |
| ふっ素及びその化合物 | 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 0.1 | 0.8 |

表 - 4 配合条件と強度との相関

| X | Y | | 相関係数 | | | データ数 | |
|----------|------|-------|-------------------------|--------|---------|--------|----|
| | | | 相関度 | 係数a | 係数b | | |
| 水 / 固化材比 | 1時間後 | 一軸圧縮 | log(kN/m ²) | 0.8352 | -0.5580 | 3.5004 | 14 |
| | | 貫入抵抗 | log(kN/m ²) | 0.8285 | -0.4143 | 1.5649 | 14 |
| | | C B R | log(%) | 0.8665 | -0.3506 | 1.9876 | 14 |
| | 28日後 | 一軸圧縮 | log(kN/m ²) | 0.9925 | -0.6533 | 3.9476 | 14 |
| | | 貫入抵抗 | log(kN/m ²) | 0.9521 | -0.5649 | 4.1918 | 14 |
| | | C B R | log(%) | 0.9619 | -0.5204 | 2.5986 | 14 |
| 水 / 石こう比 | 1時間後 | 一軸圧縮 | log(kN/m ²) | 0.9830 | -0.3444 | 3.7031 | 14 |
| | | 貫入抵抗 | log(kN/m ²) | 0.9703 | -0.2545 | 3.7106 | 14 |
| | | C B R | log(%) | 0.9813 | -0.2082 | 2.0849 | 14 |
| | 28日後 | 一軸圧縮 | log(kN/m ²) | 0.8278 | -0.2857 | 3.7526 | 14 |
| | | 貫入抵抗 | log(kN/m ²) | 0.7044 | -0.2192 | 1.9207 | 14 |
| | | C B R | log(%) | 0.7076 | -0.2008 | 2.3444 | 14 |

Y : 貫入抵抗値(MN/m²)

(3) 配合条件と強度との相関

処理土の強度は、昨年度までの結果¹⁾により、初期強度が石こう量に、長期強度が酸化マグネシウムまたは固化材量に支配されていると推定した。

表 - 4 に水/石こう比、水/固化材比と各種強度との相関式を示した。図 - 1 に水/石こう比と 1 時間後の C B R、図 - 2 に水/固化材比と 28 日後の C B R との関係を示した。

初期強度は、水/石こう比と強い相関を示し、長期強度は水/固化材比と良好な相関関係にあることが確認できた。

4. 掘削性試験

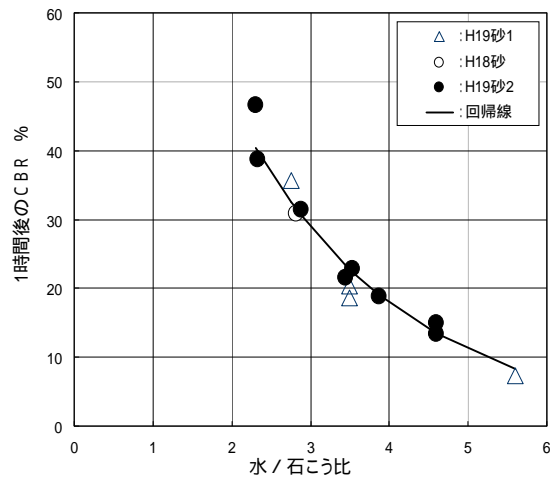


図 - 1 水/石こう比と 1 時間後の C B R

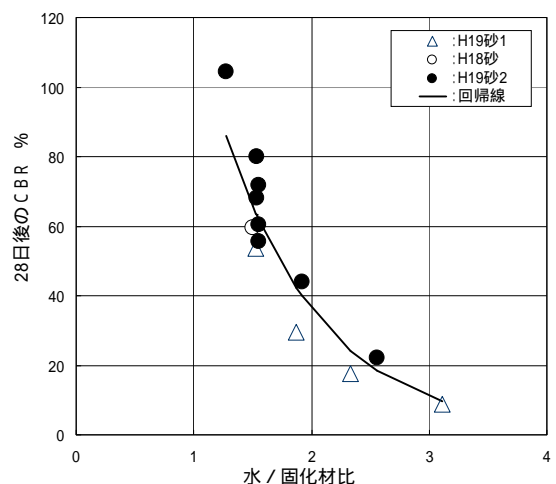


図 - 2 水/固化材比と 28 日後の C B R

(1) ハンドスコップ掘削性

処理土の掘削性と強度の関係を把握するために、強度試験に合わせて掘削性の測定を行った。

C B Rモールドの試料をハンドスコップで掘削するのに要した時間は、表 - 5 に示すように、一軸圧縮強度やC B Rと比較的明瞭な相関関係を示した。

ハンドスコップ掘削性は、図 - 3 に示すように、C B R20%程度で2分程度であった。

(2) 剣スコップ掘削性

山中式土壤硬度計による貫入量は、モールド供試体の1時間後で17mm~34mmの範囲にあり、掘削性の実験槽では12~26mmの範囲となり、全てのケースでモールド供試体の値が実験槽の値を上回っていた。

実験槽とモールドの強度比は、図 - 4 に示すように、貫入抵抗値で0.02~0.53であり、貫入量では0.4~0.9倍であった。

このような違いは、剣スコップの掘削性試験を実施した実験槽の処理土は水締めによるものであり、ハンドスコップのモールドはハンドミキサを用いた練り混ぜにより製造したという処理土の製造方法の

表 - 5 ハンドスコップ掘削性と強度との相関

| X | Y | 相関係数 | | | データ数 |
|-----------------------------|----------------------|--------|--------|--------|------|
| | | 相関度 | 係数a | 係数b | |
| 一軸圧縮強度 kN/m ² | ハンドスコップ掘削性 log(分) | 0.9483 | 0.0008 | 0.0793 | 46 |
| | | 0.9373 | 0.0009 | 0.0659 | 45 |
| C B R % | ハンドスコップ掘削性 log(分) | 0.9462 | 0.0129 | 0.0198 | 46 |
| | | 0.9320 | 0.0130 | 0.0162 | 45 |
| 貫入抵抗 kN/m ² | ハンドスコップ掘削性 log(分) | 0.9035 | 0.0339 | 0.0852 | 46 |
| | | 0.8814 | 0.0325 | 0.0967 | 45 |

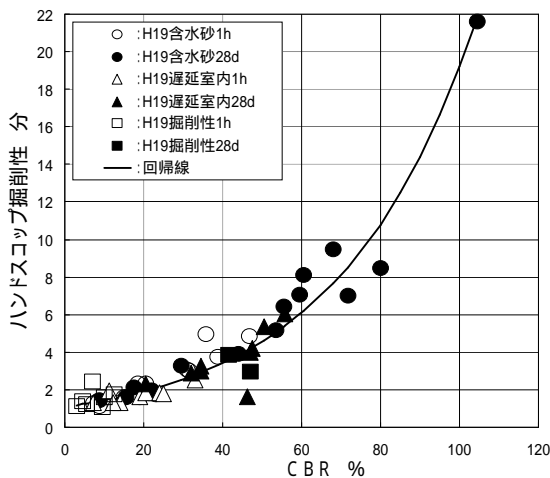


図 - 3 C B Rとハンドスコップ掘削性

違いによるものと考えられる

図 - 5 に示すC B Rと貫入抵抗値の関係をj用いて実験槽で直接測定した貫入抵抗値からC B Rを換算すると(以下、換算C B Rと呼ぶ)実験槽の換算C B Rは2.7~7.1%と推定される。したがって、今回の実験ではC B Rが概ね7%までの処理土は容易に掘削できたと言える。

図 - 6 は、実験槽で直接測定した貫入抵抗値から相関式により換算したC B Rと剣スコップ掘削時間をプロットしたものである。この図から、C B R20%に相当する剣スコップ掘削性は概ね4分から8分程度であり、剣スコップ掘削性は、図 - 3 に示したハンドスコップによる掘削性の2~4倍程度に相当すると推定され、比較的容易に掘削可能と判断できる。

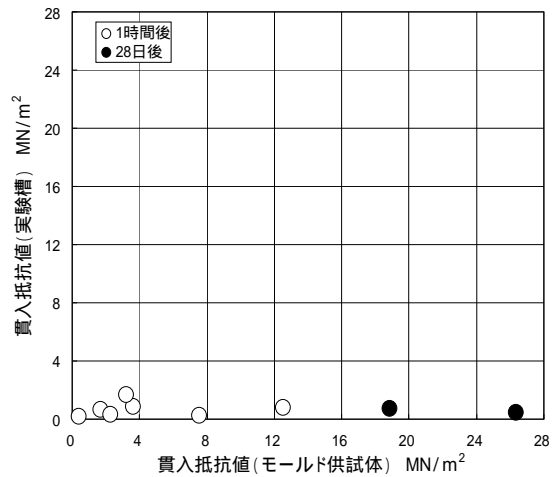


図 - 4 モールド供試験体と実験槽での貫入抵抗値

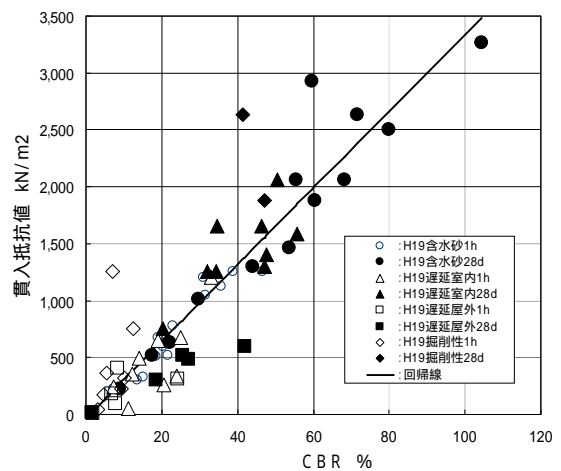


図 - 5 C B Rと貫入抵抗値

今後より大きいC B Rでの掘削性を確認し、C B Rの上限値を確認する必要があると考えられる。

5. 遅延剤の効果確認試験

(1) 実験方法

石こうは $160\text{kg}/\text{m}^3$ 、酸化マグネシウムは $120\text{kg}/\text{m}^3$ で、固化材量は合計 $280\text{kg}/\text{m}^3$ とし、全水量は含水砂の配合試験結果から $465\text{kg}/\text{m}^3$ とし、助剤/石こう比は全て 75% とした。

クエン酸ナトリウムの濃度は、昨年度まで採用していた 2% 溶液に加えて、20% 溶液と粉末 (100%) の 3 種類で行った。なお、添加量の違いによる影響を見るために、対石こう比で 0.15% と 0.05% の 2 種類について試験を実施した。

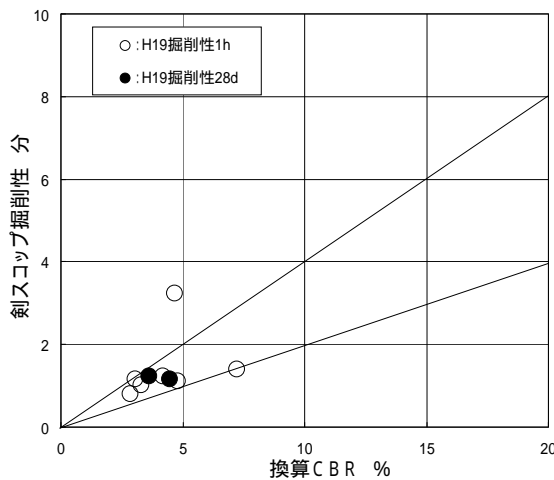


図 - 6 換算 C B R と 剣スコップ掘削性

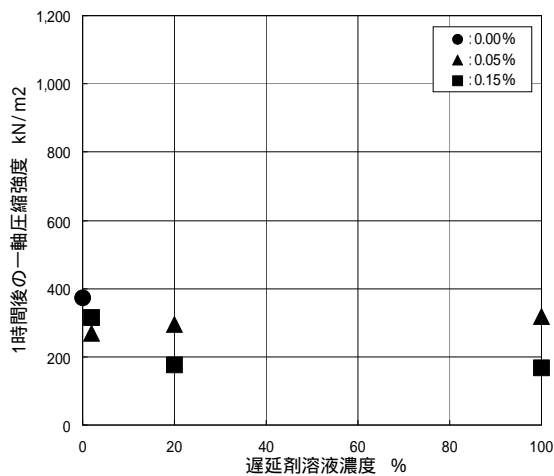


図 - 7 遅延剤濃度と 1 時間後の一軸圧縮強度

(2) 散布方法の検討

1 時間後の一軸圧縮強度は、無添加の場合に比べて、遅延剤を添加したケースで低下した。その低下傾向を見ると、図 - 7 に示すように、散布量が 0.05% の場合より、0.15% の場合で低下率が大きい。また、遅延剤の濃度との関係を見ると、濃度 20% まで急激に低下し、その後は 100% に向かって漸減またはほぼ一定の傾向が読み取れる。

遅延剤の効果は、硬化までの時間が長くなると考えれば、混合 1 時間後の強度が無添加の場合に比べて小さいと遅延効果があると判断できる。

(3) 温度測定結果

ピーク温度まで上昇する時間を反応時間と考えると、この時間が長くなると遅延効果があると判断できる。ピーク温度までの時間は、図 - 8 に示すように、遅延剤無添加の場合は 59 分であったのが、濃度 100% (粉末) の散布量 0.15% のケースが 95 分と最も長くなっている。また、散布量が 0.05% の場合でも粉末のケースで 63 分と最も長くなっている。このことから、濃度 100% の粉末で使用する方が、遅延時間延長に効果があると判断される。

遅延剤を添加する場合、石こうと反応する水分量を減らすことが望ましいので、濃度 100% の粉末で用いることが適していると考えられる。

(4) 種類の選定

遅延効果に優れた遅延剤を選定する目的で、クエン酸ナトリウム、ペプトン、およびゼラチンの 3 種類について比較試験を行った。

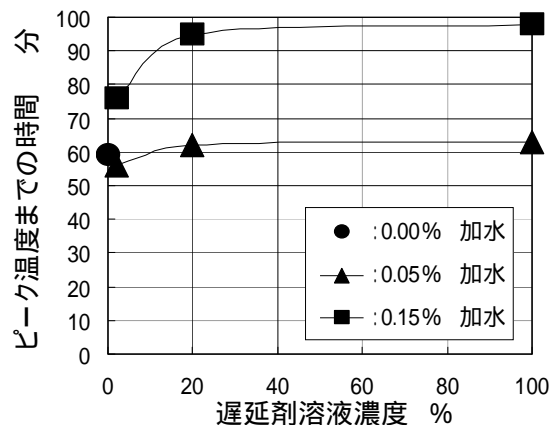


図 - 8 遅延剤濃度とピーク温度までの時間

試験では、散布濃度は前項の実験結果から 100%の粉末とした。各遅延剤とも粒径が 1~2mm の顆粒状結晶であることから、均一に混ざりやすいように乳鉢ですりつぶして粒径 0.05mm 以下の微粉末にして使用した。ただし、ゼラチンは非常に固く、すりつぶすことができなかつたので、温水に溶かして 2%溶液として使用した。

全水量は 465kg/m³ 固化材量は 280kg/m³として、遅延剤の散布量を 0.0~0.2%の間で変化させた。

遅延剤散布量と 1 時間後の一軸圧縮強度との関係は、図 - 9 に示すように、ばらつきがあるものの、クエン酸ナトリウムに比べてペプトンの方が強度の低下が大きく、遅延効果が出ていると評価される。

1 日後の一軸圧縮強度は、図 - 10 に示すように、

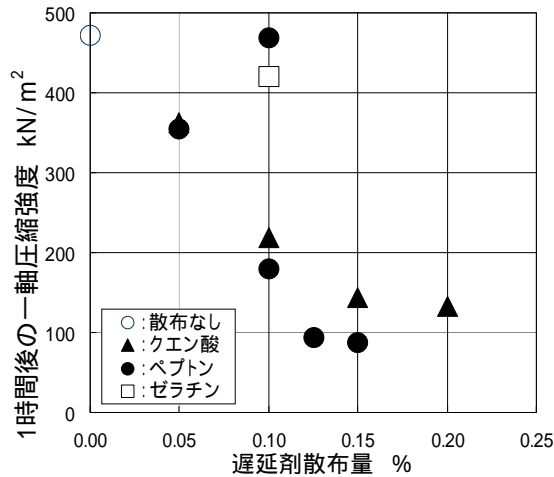


図 - 9 遅延剤散布量と 1 時間後の一軸圧縮強度

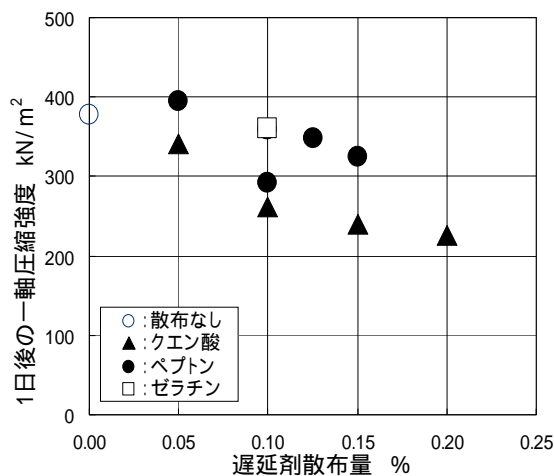


図 - 10 遅延剤散布量と 1 日後の一軸圧縮強度

クエン酸ナトリウムの方が全体に強度が小さく、ペプトンの方が強度増加に期待できることを示している。さらに、遅延剤を添加する場合に固化材量を少なくできる可能性があることも示している。

(5) 温度測定結果

遅延剤散布量とピーク温度までの時間との関係は、図 - 11 に示すように、実験誤差と考えられる 1 ケースを除いてペプトンの方がクエン酸ナトリウムより長くなっている。

ピーク温度までの時間が長くなると 1 時間後の強度は小さくなり、その後も硬化が進むと考えられることから、ピーク温度までの時間が長いペプトンの方が遅延効果に優れていると判断できる。

(6) 室内効果

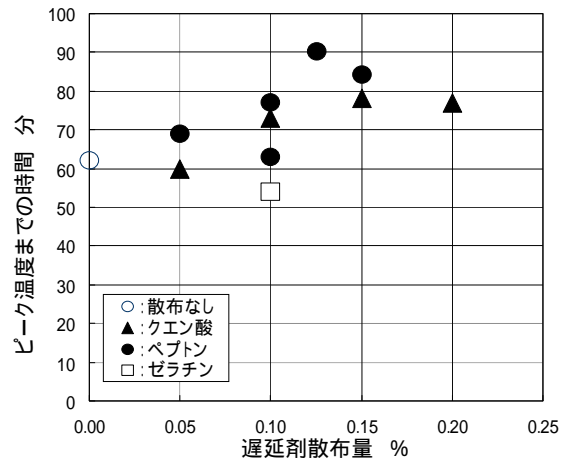


図 - 11 遅延剤散布量とピーク温度までの時間

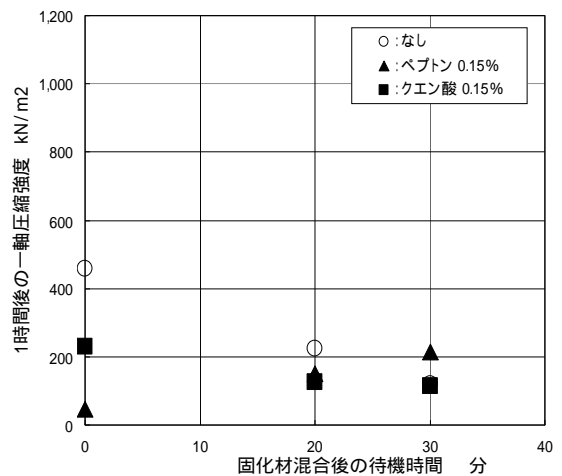


図 - 12 待機時間と 1 時間後の一軸圧縮強度

1時間後の一軸圧縮強度は、図 - 12 に示すように、ペプトンの値が小さく、固化材混合後の待機時間が長くなるにつれて値が大きくなる傾向がある。

28日後の一軸圧縮強度は、図 - 13 に示すように、待機時間にかかわらずペプトンの方がクエン酸ナトリウムより上回った。

以上の点より、クエン酸ナトリウムに比べてペプトンの方が遅延効果に優れていると結論できる。

一方、遅延剤を添加したケースの28日強度は、無添加の場合と同程度になり、ペプトンとクエン酸がほぼ同程度で、待機時間が20分と30分において無添加の場合を上回っていた。

遅延剤は、長期強度に対してでも有効と考えられる。

(7) 屋外効果

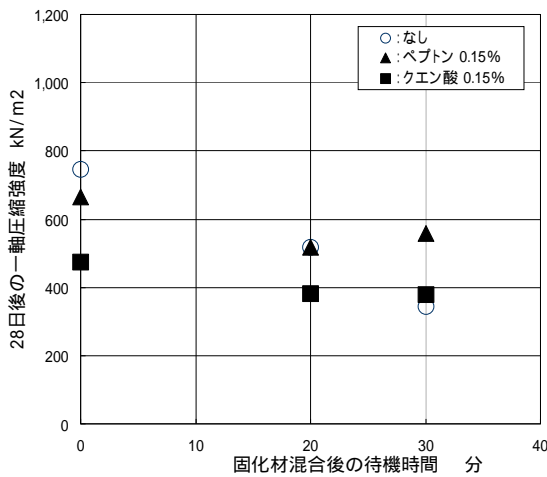


図 - 13 待機時間と28日後の一軸圧縮強度

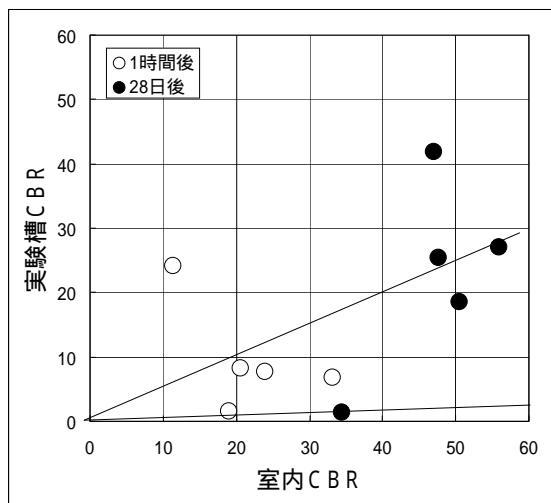


図 - 14 実験槽と室内配合における CBR

実際の打設現場に近い規模で打設実験を行って、遅延剤の効果を確認するために実験を行った。

実験槽は、幅 25cm × 長さ 55cm × 深さ 60cm の実験槽 5 個を厚さ 21mm の合板で作製した。各実験槽には 15cm × h12.5cm と 5cm × h10cm の供試体用モールドを設置した。

処理土は、コンクリートミキサー（容量 160L/台）で製造して、実験槽に約 70L を敷均して、水を散布して水締めを行った。水の散布は、昨年度および今年度の施工性確認実験等の結果から、できるだけ処理土と同時に投入するようにし、特にモールド周辺部にかけては十分な量の水を投入した。

水の投入量は、施工性確認実験の結果を参考にして、配合計算における添加水量分の水量とした。

実験槽の CBR は、図 - 14 に示すように、室内試験の CBR の結果と比較すると、2 ケースは室内の値を上回ったが、その他は室内の 1/2 ~ 4/100 と小さい。このように値が小さくなった原因としては、モールド内への充填不足が考えられる。

6. 施工性確認実験

(1) 横方向の施工性実験

処理土の実測密度は、図 - 15 に示すように、砂だけの場合で 1.6 ~ 1.7g/cm³ となり、処理土の場合は、突き棒なしのケースが 1.5 g/cm³、突き棒ありのケースが 1.8 g/cm³ 程度であった。

ここで突き棒なしの場合の密度の違いは、打設時において処理土の硬化が進行しているために隙間が

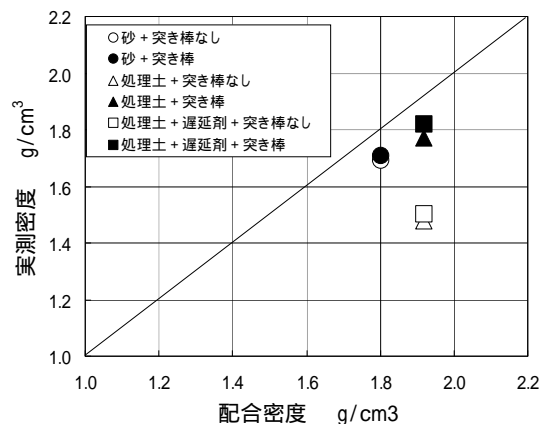


図 - 15 配合密度と実測密度との関係

できやすいためと考えられ、突き棒を使用した場合には砂だけの場合と同等の密度比が得られることを示唆していると考えられる。

図 - 16 は、1 日後における土壤硬度計による管下の貫入抵抗と実測密度の関係を示した図である。

この図によると、砂だけの場合は値が 0 kN/m² に近く、突き棒なしの場合が 190 kN/m² 程度で、突き棒ありの場合が 270 ~ 410 kN/m² と、管下の貫入抵抗値は大きくなっている。

突き棒使用の処理土の場合は、密度と管下の貫入抵抗値共に大きな値が得られる。突き棒なしの処理土の場合は、砂のみの場合に比べて、密度は小さいが管下の貫入抵抗値は大きく、処理土の硬化作用による効果が示されたものと考えられる。

(2) 深さ方向の施工性実験

1) 処理土作製方法

実験は、アクリル製の透明な箱に 75mm 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

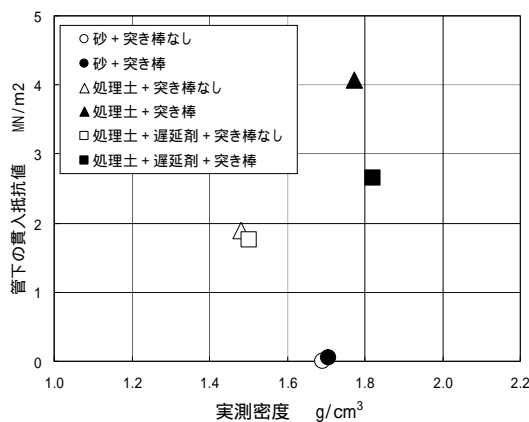


図 - 16 実測密度と管下の貫入抵抗値

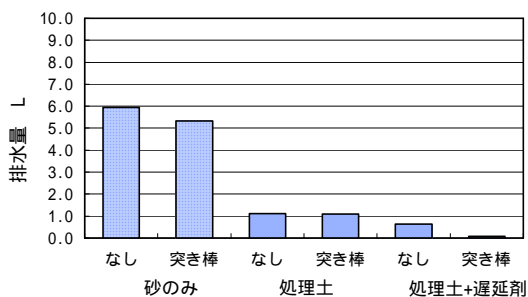


図 - 17 打設 1 時間 ~ 1 日後の排水量

穴を開けて内径 16mm の水道用蛇口を取り付けた。

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) 打設 1 時間 ~ 1 日後の間での排水量

打設 1 時間 ~ 1 日後の間での処理土の排水量は、図 - 17 に示すように、砂だけのケースが 1 日後で 5.3 ~ 6.0L、処理土のケースが 0.1 ~ 1.1L であった。

打設 1 時間 ~ 1 日後の排水量の違いは、処理土では固化材との反応に水が使われたために排水量が小さくなっているものと考えられる。これに対して砂だけの場合は突き棒を使用したケースでも 5.3L と処理土に比べて多く、打設後に空隙ができることを示している。

7. 考察

(1) 品質管理試験方法

今回の調査では、処理土の強度を測定するために、一軸圧縮強度試験、土壤硬度計、コーン貫入試験、および C B R 試験を実施した。その結果、表 - 6 に示すように、それぞれの強度間に明瞭な相関関係が得られた。

最も良い相関が得られたのは、C B R と貫入抵抗値、C B R とコーン指数で、いずれも約 0.95 の高い重相関係数を示した。また、その他の組み合わせにおいても概ね 0.89 ~ 0.94 の重相関係数が得られており、C B R から一軸圧縮強度、貫入抵抗値から C B R といった強度の換算が可能と考えられる。

土壤硬度計は、硬度から換算される貫入抵抗が一

表 - 6 各強度間の相関度

| X | Y | 相関係数 | | | データ数 |
|-----------------------------|----------------------------|--------|---------|---------|------|
| | | 相関度 | 係数 a | 係数 b | |
| 一軸圧縮強度 kN/m ² | 貫入抵抗 MN/m ² | 0.8959 | 0.0221 | 0.1924 | 64 |
| | | 0.8776 | 0.0233 | -0.1789 | 64 |
| 一軸圧縮強度 kN/m ² | C B R % | 0.9387 | 0.0608 | 6.3735 | 46 |
| | | 0.9180 | 0.0612 | 6.2056 | 45 |
| 一軸圧縮強度 kN/m ² | コーン指数 kN/m ² | 0.9285 | 11.9063 | 1129.6 | 53 |
| | | 0.8985 | 11.3120 | 1326.3 | 52 |
| C B R % | 貫入抵抗 MN/m ² | 0.9509 | 0.3450 | -0.7483 | 46 |
| | | 0.9421 | 0.3569 | -1.0724 | 45 |
| C B R % | コーン指数 kN/m ² | 0.9477 | 192.47 | -412.18 | 42 |
| | | 0.9316 | 179.73 | -60.30 | 41 |
| 貫入抵抗 MN/m ² | コーン指数 kN/m ² | 0.8906 | 475.21 | 1320.5 | 53 |
| | | 0.8730 | 424.61 | 1694.9 | 52 |

軸圧縮強度やC B Rと良好な相関関係を示しており、試験の簡便さからも現場での強度判定に適していると判断される。

一方、コーン貫入試験は、人力で貫入可能な1kNの荷重計の上限値3,080 kN/m²が概ね一軸圧縮強度の200~300 kN/m²に相当しており、これより強度が大きい場合には人力で測定できないために、現場での使用は難しいと判断される。

(3) 品質管理基準

1) 室内配合の場合

今回の調査では、掘削性に関して上限値を把握することはできなかったが、C B Rが20%程度までは掘削可能と考えると、C B Rが3%から20%に相当する一軸圧縮強度および貫入抵抗は、表-6に示す関係式より、以下のようにまとめられる。

| | |
|--------|---------------------------|
| C B R | : 3 ~ 20% |
| 一軸圧縮強度 | : ~ 230 kN/m ² |
| 貫入抵抗値 | : 1~6 MN/m ² |
| 硬度 | : 23.2~31.9mm |

2) 水締め施工の場合の割り増し

掘削性実験や施工性の確認実験からは、屋外強度が室内配合の強度より小さくなることが判明している。この違いは、室内配合試験が処理土と水を混合してから打設しているのに対して、屋外では処理土を打設してから水を投入して水締めを行っていることによるものであり、実測密度と配合密度の関係が

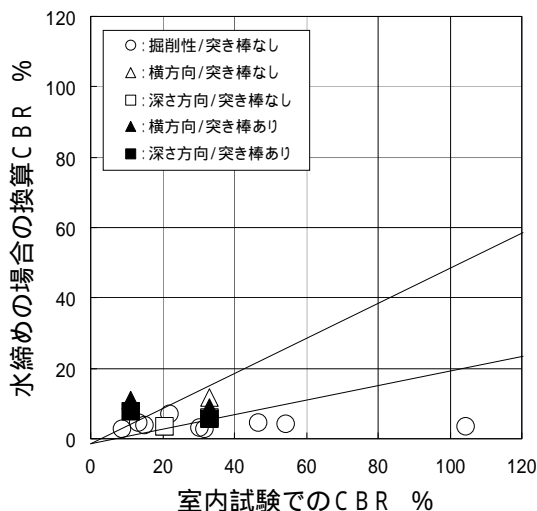


図 - 18 C B Rによる室内強度屋外強度の比較

ら、室内/屋外強度比の低下の一因は処理土の充填不足によることが考えられる。

今回の実験では、室内と屋外の違いを一軸圧縮強度やC B R試験において直接比較できるデータは得られていない。また、今回の調査では、屋外実験と室内配合試験のばらつきが大きく、屋外/室内強度比を決めることは難しいが、現時点では以下のように考える。一般に、埋戻し材料の強度はC B Rや一軸圧縮強度で議論されてきているので、ここではC B Rをもとに屋外/室内強度比の検討を行った。図-18は、貫入抵抗値から前記の相関式により求めた換算C B R強度について室内と屋外の強度を比較したものである。

図-18において、屋外/室内強度比は概ね0.1~1.0までばらついているが、補助工法を使用しない場合の平均値は0.2で、使用した場合の平均値は0.5であった。

3) 水締め施工の場合の室内配合での品質

前記の比率で、室内配合試験の品質管理基準値を計算すると、以下の値が得られる。

突き棒等の補助工法なしの場合

| | |
|--------|--------------------------------|
| C B R | : 15 ~ 100% |
| 一軸圧縮強度 | : 140 ~ 1540 kN/m ² |
| 貫入抵抗値 | : 4.4 ~ 33.8 MN/m ² |
| 硬度 | : 30.7 ~ 36.4mm |

突き棒等の補助工法ありの場合

| | |
|--------|--------------------------------|
| C B R | : 6 ~ 40% |
| 一軸圧縮強度 | : ~ 550 kN/m ² |
| 貫入抵抗値 | : 1.3 ~ 13.1 MN/m ² |
| 硬度 | : 24.7 ~ 34.3mm |

(4) 処理土の適正配合

品質管理に関して強度の上限値は、未確定であるが、仮に前記の補助工法なしの場合でC B R 15~100%、補助工法ありの場合でC B R 6~40%と仮定すると、配合条件と強度の関係式より、補助工法なしの場合は水/石こう比が0.4~4.4で水/固化材比が1.2~2.3となり、補助工法ありの場合はそれぞれ2.3~6.3、1.9~3.5となる。これらの範囲から、上記関係式の推定範囲外を除くと、以下のような適正配合が推定できる。

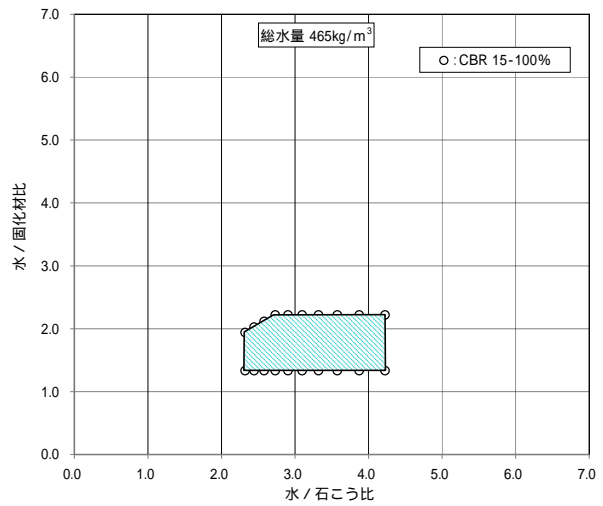
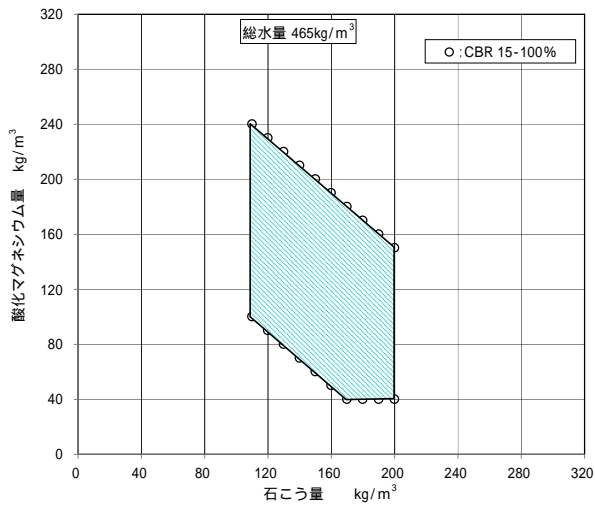


図 - 19 適正配合の範囲 (補助工法なしの場合)

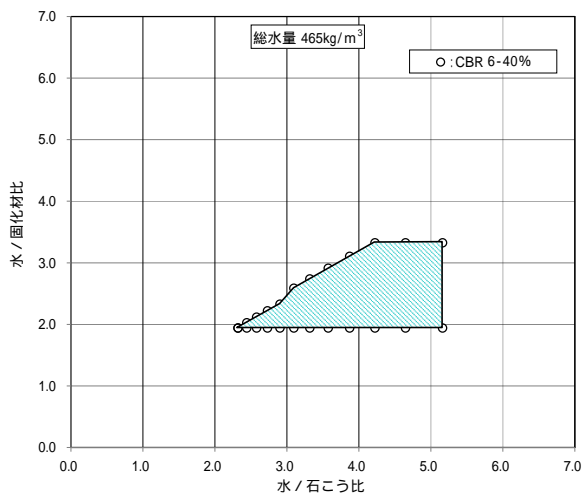
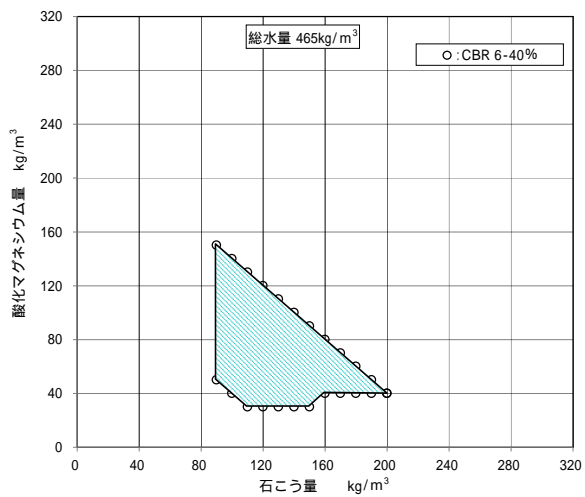


図 - 20 適正配合の範囲 (補助工法ありの場合)

突き棒等の補助工法なしの場合

水/石こう比 : 2.3 ~ 4.2

水/固化材比 : 1.3 ~ 2.2

突き棒等の補助工法ありの場合

水/石こう比 : 2.3 ~ 5.2

水/固化材比 : 1.9 ~ 3.3

適正な総水量は、しゃ断層用砂の粒度組成によって変わる可能性もあるが、今回使用したしゃ断層用砂においては約 465kg/m³であった。上記の配合条件で石こう量および固化材量等を計算すると、補助工法なしの場合は図 - 19 に示す範囲が条件を満足し、補助工法ありの場合は図 - 20 に示す範囲が条件を満足した。これらをまとめると、以下の値が得られる。なお、酸化マグネシウムに関しては、H18年

度の調査で、助剤(酸化マグネシウム)/石こう比が0%では、固化が早すぎて適用できないことが判明している。助剤/石こう比の適用下限値は確認できていないが、ここではH18年度に確認されている20%を下限値とした。

突き棒等の補助工法なしの場合

石こう量 : 110 ~ 200 kg/m³

固化材量 : 210 ~ 350 kg/m³

酸化マグネシウム量 : 40 ~ 240 kg/m³

突き棒等の補助工法ありの場合

石こう量 : 90 ~ 200 kg/m³

固化材量 : 140 ~ 240 kg/m³

酸化マグネシウム量 : 30 ~ 150 kg/m³

(5) 処理土の施工方法

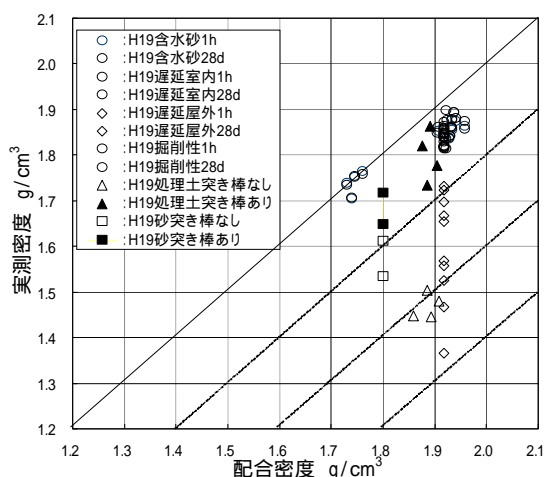


図 - 21 補助工法の有無による実測密度/
配合密度比

今回の調査では、処理土の打設時に補助工法の有無の効果を検討した。補助工法としては、突き棒を使用した。その結果、図 - 21 に示すように突き棒なしの場合では実測密度/配合密度比が 0.7~0.9 であったのに対して、突き棒を使用した場合は同比が 0.9~1.0 と室内配合実験に近い充填率が得られた。

実際の現場では、土や水の投入方法を細かく管理することは難しいと考えられるので、施工差の出にくい補助工法（たとえばバイブレータなど）の使用が望ましいと言える。

(6) 処理土の適用性

室内配合試験により、水/石こう比や水/固化材比と強度の関係が概ね高い信頼度で得られたことから、現場への適用がある程度可能になったと考えられる。

ただし、室内配合試験と屋外の強度には相当の違いがあり、強度比等の関係をより詳細に検討する必要がある。

8. おわりに

主な結果をまとめると次のとおりである。

初期強度は、水/石こう比と強い相関を示し、長期強度は水/固化材比と良好な相関関係にあることが確認できた。

今後より大きい C B R での掘削性を確認し、C B R の上限値を確認する必要があると考えられる。

砂と固化材混合後の水締めまでの施工時間を確保するための遅延剤は、ペプトンを使用し、濃度 100% の粉末で用いることが適している。

即日復旧の場合の埋戻し開始後から路盤材打設までの時間 1 時間~1 日後の排水量の違いは、処理土では固化材との反応に水が使われたために排水量が小さくなっているものと考えられる。これに対して砂だけの場合は突き棒を使用したケースでも 5.3L と処理土に比べて多く、打設後に空隙ができることを示している。

突き棒使用の処理土の場合は、密度と管下の貫入抵抗値共に大きな値が得られる。突き棒なしの処理土の場合は、砂のみの場合に比べて、密度は小さいが管下の貫入抵抗値は大きく、処理土の硬化作用による効果が示されたものと考えられる。

土壌硬度計は、硬度から換算される貫入抵抗が一軸圧縮強度や C B R と良好な相関関係を示しており、試験の簡便さからも現場での強度判定に適していると判断される。

室内試験と屋外試験の強度には相当の違いがあり、強度比等の関係のより詳細な検討が必要である。

突き棒等の補助工法を用いて埋設管回りを水締めする場合の室内試験配合案を示すことができた。

本調査を進めるに当たり、道路管理部保全課の方々にも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 (2007): 速硬型の砂質土系安定処理土による埋戻し工法、平成 19 年、東京都土木技術センター年報、121 - 132