

9. 建設発生土を用いた液状化対策改良土の提案

立命館大学 石森洋行
山崎砂利商店 釜本英一
立命館大学 ○岡本晃尚

1. はじめに

本研究は、管路埋戻し材に利用される砂に粘土を混ぜることで液状化対策に効果のある改良土を開発することが目的である。また、廃棄物の有効利用を意識し、埋戻し材として天然の砂を用いるのではなく粒径の大きな廃棄物として鉋さい（砂状の鋳物廃砂）を使用し、粒径の小さな粘土には建設汚泥を用いて検討を行った。

2. 実験内容・方法

2.1 使用した試料

本研究で使用した鉋さいと汚泥は、土粒子密度がそれぞれ 2.703 g/cm^3 、 2.697 g/cm^3 、強熱減量が 5.9%、11.3% である。鉋さいの粒径は砂分（ $75 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$ ）が 100% であり、汚泥では砂分が 50.6%、シルト分（ $5 \mu\text{m} \sim 75 \mu\text{m}$ ）が 42.1%、粘土分（ $5 \mu\text{m}$ 以下）が 7.3% であった。

2.2 突固めによる締固め試験

JIS A 1210 に従い突固めによる締固め試験¹⁾を行った。鉋さいと汚泥の全土量に対して汚泥配合率を、質量ベースで 0%、10%、15%、20%、25%、30% の 6 種類を作製しそれぞれの締固め曲線を求め、最大乾燥密度と最適含水比を求めた。試験方法には B 法を採用し、ランマーの重さは 2.5 kg、落下高さは 30 cm、落下回数は 55 回として突固めた。

2.3 修正 CBR の貫入試験

上記の汚泥配合率 6 種類の試料において、最大乾燥密度時の強度特性を明らかにするために JIS A 1211 に従い、貫入試験¹⁾から修正 CBR を求めた。荷重装置を用いてピストンの貫入速度を 1 mm/min として貫入し、所定の貫入量を得るための荷重荷重の関係性を求めた。荷重荷重と貫入量曲線を作製し、貫入量 2.5 mm または 5.0 mm となる荷重荷重を求め、CBR 値を $\text{CBR}(\%) = (\text{荷重}/\text{標準荷重}) \times 100$ として求めた。ここで標準荷重は貫入量 2.5 mm のとき 13.4 kN で、貫入量 5.0 mm のとき 19.9 kN である。

2.4 振動実験

上記 2 つの試験結果から高い最大乾燥密度と CBR 値をもつ汚泥配合率を見つけ、その条件で作製した試料に対して振動実験²⁾を行った。

加速度センサーを振動台に、また間隙水圧計をアクリル製容器（縦 27 cm、横 42 cm、高さ 29 cm）の下部に設置した後、容器に試料を高さ 7.5 cm まで入れて約 5 kPa の上載応力を 1 分間作用させて締固める。その後、試料を高さ 15 cm まで入れて、同様に約 5 kPa の上載応力を 1 分間作用させて締固めて層厚 15 cm の実験土槽を作製した。締固めた土槽の上から水を少しずつ流し飽和条件を模した。飽和させた実験土槽を振動台に設置し、上載応力 1 kPa が作用した条件で振動開始した。振動開始から 60 秒毎に加速度を徐々に大きくし、その際に土槽中に埋設した間隙水圧計の読みを記録した。目視で地盤が液状化していると判断できた時点で実験を終了した。

3. 実験結果と考察

3.1 締め固め特性

図 1 に締め固め試験の結果を示す。鉋さい-汚泥混合試料において、汚泥配合率 0% の試料よりも汚泥を配合した試料のほうが最大乾燥密度は大きく、特に汚泥配合率が 10% と 20% のとき著しく高い値を示した。一方で、汚泥配合率 25%、30% の試料では最大乾燥密度はそれよりも減少した。また汚泥配合率 10%、15%、および 20% では最適含水比時以外の含水比において乾燥密度は鉋さいのみの場合と比べて同等もしくはそれ以上の値を維持できた。

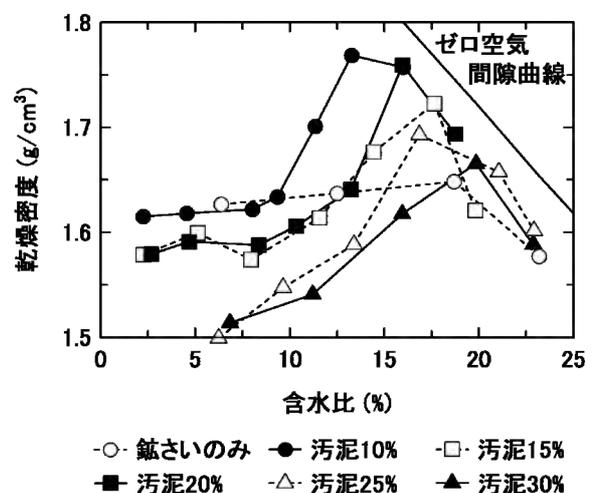


図 1 締め固め曲線に及ぼす汚泥添加率の影響

3.2 強度特性

修正 CBR 貫入試験から得た荷重—貫入量曲線より、汚泥配合率 20%の試料が他の試料と比べて著しく高い強度を示した。汚泥配合率 20%より高い汚泥配合率の試料は粘土分が相対的に多くなるので締固めが弱く強度は低下した。同様に、鉋さいのみの場合でも砂分が相対的に多くなるので締固めが弱く強度は低下した。汚泥配合率 10-20%の試料は砂分と粘土分が混ざり合い、粒度が改善されることで、その強度は鉋さいのみの場合のそれよりも大きくなると考えられる。鉋さいのみに比べて高い CBR 値を示しているのは、汚泥配合率 10%と 20%の試料であった。汚泥配合率 15%では強度が下がってしまったが試料の混ぜ合わせに原因があると考えられる。本研究で用いた鉋さいでは汚泥を 20%加えることで、強度に関しては日本道路協会が定める一般道路における路盤下層部の材料規定を満たすことができた。

3.3 液状化特性

図 2 と図 3 は振動実験における土槽底部の間隙水圧の経時変化である。締固め試験と CBR 試験の結果から汚泥配合率 20%の試料が最も強度に優れた配合条件と考え、汚泥配合率 20%の試料と、汚泥配合率 0%の試料に対して振動実験を行った。なお図中の過剰間隙水圧(破線)とは、理論上有効応力がゼロとなる時の間隙水圧の値を表わし、間隙水圧計の読みがこの過剰間隙水圧を超えると液状化が生じた目安となる。加速度を 60 秒ごとに 1 段階ずつ上げた結果、汚泥配合率 0%の試料の場合では、経過時間 960 秒(加速度 16 段階目)で徐々に土槽が緩くなり始め、経過時間 1020 秒(加速度 17 段階目)で完全に液状化したのを目視で確認した。図 2 に示す間隙水圧のデータを見ると、経過時間が経つにつれ、間隙水圧も徐々に増加し、液状化が起き始めた 16 段階から急激な間隙水圧の増加が生じた。このとき、理論上有効応力がゼロとなる間隙水圧値を超えたことから液状化がおきたことがわかる。これは目視での液状化したタイミングと一致する。一方で汚泥配合率 20%の試料では、経過時間 1080 秒(加速度 18 段階目)で土槽が緩くなったが、経過時間 1380 秒(加速度 23 段階目)まで状態は変わらず、23 段階目を超えてから液状化が始まり、完全に液状化したのは 25 段階目であった。図 3 をみると算出した理論上有効応力がゼロとなる間隙水圧値を超えたが、目視ではしばらくの間、液状化は起きなかった。以上より汚泥

配合率 20%の試料が鉋さいのみの試料と比較

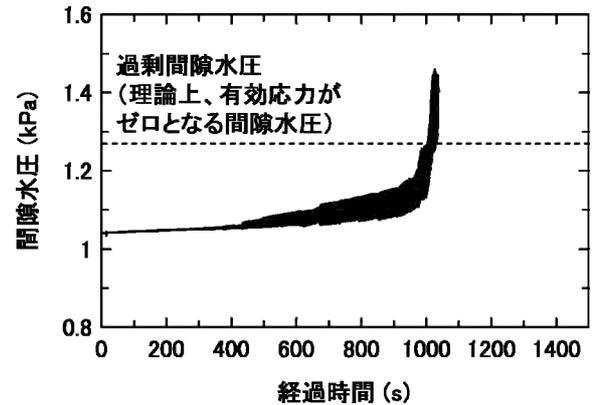


図 2 鉋さいのみの地盤における土槽底部での
間隙水圧の経時変化

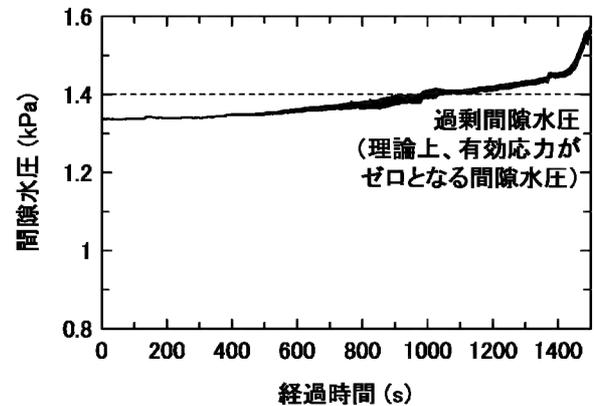


図 3 汚泥配合率 20%の地盤における土槽底部での
間隙水圧の経時変化

して液状化に対して粘り強い抵抗をもつ試料であることがわかった。

4. 結論

本研究では、次の知見を得た。(1) 汚泥配合率を 0~30%として 6 水準変化させた試料を用いて突固め試験と修正 CBR 貫入試験を行ったところ、汚泥配合率 20%の試料を最適含水比で締固めた場合で $CBR_{5.0} = 34\%$ を得た。(2) 汚泥配合率 20%の試料と鉋さいのみの試料の 2 つを用いて、液状化を模した振動実験を行ったところ、鉋さいのみの試料よりも汚泥配合率 20%の試料の方が約 1.7 倍液状化しにくくなった。(3) 理論上の有効応力がゼロになる間隙水圧値を超えてから液状化に至るまでに、しばらくのタイムラグが認められたことから、汚泥配合率 20%の試料のほうがより液状化に対して粘り強い抵抗をもつことがわかった。