

パイプライン埋戻し土の締固め度と液状化強度の関係

Relationship between degree of compaction and liquefaction strength of back-fill soil around pipe

○上野和広*, 毛利栄征*, 堀俊和*, 松島健一*, 有吉充*

UENO Kazuhiro*, MOHRI Yoshiyuki*, HORI Toshikazu*, MATSUSHIMA Kenichi*,
ARIYOSHI Mitsuru*

1. はじめに

地震時にパイプラインの不陸などの被害を生じる原因として埋戻し土の液状化がある。土の液状化強度が密度の増大と共に上昇することは良く知られており、埋戻し土の液状化抵抗力を高めるには十分に締固めを行うことが重要である。しかしながら、実際の埋戻しで使用されるような細粒分を含む土について、密度と液状化強度の関係は十分に検討がなされていない状況にある。本報告では、埋戻し土の液状化強度と施工時に管理基準として用いられている締固め度(Dc 値)の関係について検討した結果を報告する。

2. 試料および実験条件

液状化試験には笠間土と鉾田砂をそれぞれ重量比 70%, 30%で混合した試料を用いた。粒径加積曲線および物理的性質を図-1 に示す。なお、図-1 には実際にパイプラインの埋戻し土として使用されていた材料の粒度分布を、参考に点線で示している。混合試料の細粒分含有率 FC は 24.8%であった。供試体は、「JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験 (A-b 法)」による最大乾燥密度 (1.421g/cm³) に対して Dc 値が 85%, 90%, 95% (以下, D85%, D90%, D95%) となるように、直径 5cm×高さ 10cm のモールド内で突固めて作製した。供試体を飽和、圧密(圧密圧力 $\sigma_c' = 50\text{kN/m}^2$) 後に非排水条件にし、繰返し軸差応力(周波数 0.1Hz の sin 波)を与えて液状化試験を行った(有効拘束圧 $\sigma_0' = 50\text{kN/m}^2$)。

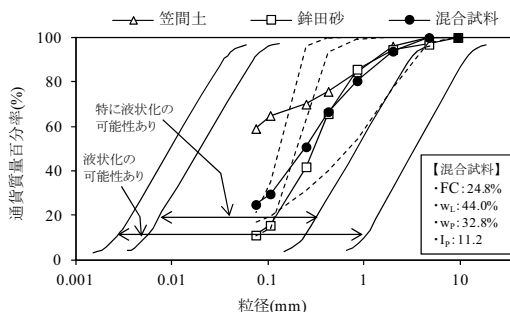


図-1 混合試料の粒径加積曲線および物理的性質
Grain size distribution curve and physical property

3. 結果と考察

図-2 に、異なる Dc 値の供試体へ同じ繰返し応力振幅比 $\sigma_d / (2\sigma_0')$ (σ_d : 繰返し軸差応力の片振幅 (kN/m²)) で繰返しせん断応力を与えた際の軸ひずみ ε_a および過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma_0'$ (Δu : 過剰間隙水圧 (kN/m²)) の経時変化を示す。なお、 ε_a の後に記載した波数は両振幅軸ひずみ DA=5%に達した時の繰返し回数である。同じ DA の値に達するまでの繰返し回数は密度の大きい方が多くなっており、D90%と比較して D95%は大きな液状化抵抗を示している。これは、密度の低い土では負のダイラタンシーによる間隙水圧の上昇が生じやすく、D90%では D95%よりも有効応力が大きく減少したためである。図-3 に示す有効応力経路では、繰返し载荷に伴って D90%の有効応力が D95%よりも急激にゼロに近づいていることを確認できる。

また、図-2 で $\Delta u / \sigma_0'$ がほぼ 1.0 に達した後における ε_a の挙動を見ると、D90%の場合

*農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所, National Institute for Rural Engineering
キーワード: 液状化, 細粒分, 締固め度

は1波で ε_a が急増しているのに対し、D95%では8波の繰返し载荷を受けても比較的緩やかに ε_a が増加しており、急激な破壊は生じていない。これは、密度の大きなD95%がサイクリックモビリティを示したためであり、図-3の有効応力経路において有効応力がほぼゼロに至った後、有効応力が载荷に伴って繰返し回復していることを確認できる。図-3の応力-ひずみ曲線では、その有効応力の回復によってある程度せん断応力が加わった際に剛性が回復し、 ε_a が急増することなく徐々に増加していることを確認できる。

次に、地盤の許容変形量を $DA=5\%$ とした場合の液状化強度曲線を図-4 に示す。また、液状化強度 R_{20} と D_c 値との関係を図-5 に示す。図-5 には、パイプラインの設計基準¹⁾ において現地盤の液状化判定 (F_L 法) で用いられる式から、図-5 に記した条件で算出した地震時せん断応力比 L の範囲も参考に示している。図-5 では、 D_c 値の上昇に伴って R_{20} が増加し、 D_c 値を95%とすることでレベル1地震動に対して十分な液状化強度にまで改善できることを確認できる。

4. まとめ

パイプライン埋戻し土を想定した混合試料 ($FC=24.8\%$) を用い、異なる締固め度条件下で液状化試験を実施した。その結果、締固め度を大きくすることでサイクリックモビリティを示し、有効応力がゼロに至った後も破局的な破壊には至らず、徐々にひずみが増加することが確認された。また、今回使用した混合試料は D_c 値を大きくすることで液状化に対する抵抗が増し、レベル1地震動に対して十分な液状化強度にまで改善できることが確認された。

参考文献

1) 農業農村工学会 (2009) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書, pp.360

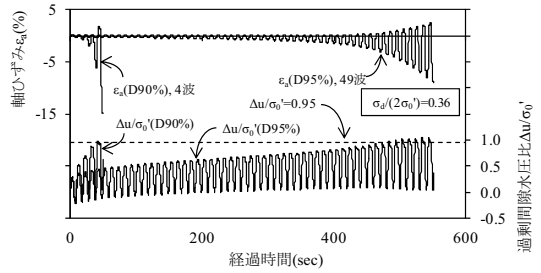


図-2 軸ひずみおよび過剰間隙水圧比の経時変化
Progress of axial strain and excess pore water pressure ratio

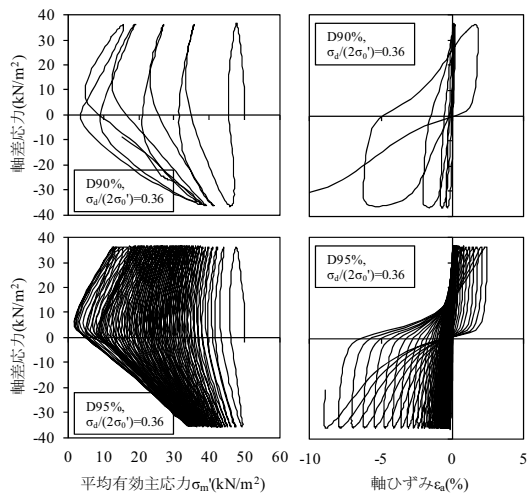


図-3 有効応力経路および応力-ひずみ曲線 (D95%)
Effective stress pass and stress-strain curve (D95%)

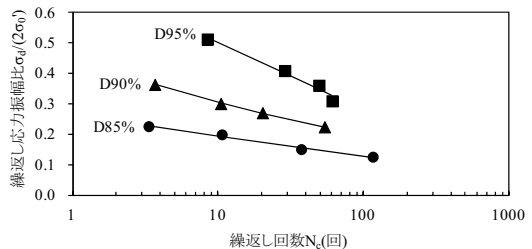


図-4 液状化強度曲線 (DA=5%)

Stress ratio versus number of loading cycles (DA=5%)

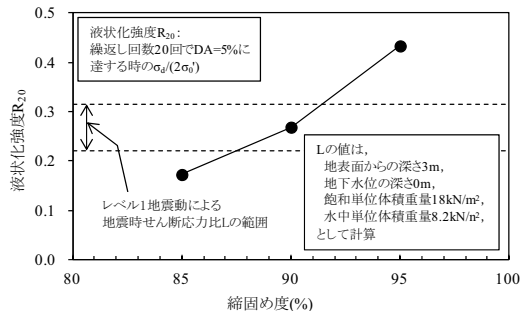


図-5 締固め度と液状化強度 R_{20} の関係

Liquefaction strength versus degree of compaction