

谷埋め高盛土の地震時の変形に関する解析手法の検討

土木研究所 正会員 ○東 拓生
 土木研究所 正会員 佐々木哲也
 土木研究所 正会員 加藤 俊二

1. 目的

近年の大地震において、沢部を横断する道路盛土が大規模崩壊し、震後の道路交通機能の確保に支障となる事例が報告されており、特に既設盛土の耐震性の定量的な評価が可能な解析手法が求められている。

本研究は、盛土材料の繰返しせん断破壊を考慮して地盤剛性を低下させた上で、その自重による変形を静的に解析する手法(自重解析)を用いて、過年度実施した谷埋め高盛土の遠心力载荷実験を模擬した解析を行い、解析手法の適用性等について検討を行った。

2. 解析方法

本研究では、過年度行った谷埋め高盛土の遠心力载荷実験(例えば¹⁾)のうち、変状対策工がない31ケースを対象に、2次元自重解析「ALID」²⁾を用いて解析を行った。

対象とした遠心力载荷実験模型と解析モデルの例を図-1に示す。実験は幅1500mm、高さ500mm、奥行300mmの土槽内に高さ実スケールで15m~22mの片盛りの盛土模型を作成し、50Gの遠心加速度を作用させた状態で盛土背後から浸透水を給水して盛土内水位を形成させ、これを地震波により加振したものである。これを図-1(b)のとおりモデル化した。実験は、盛土材料の締固め度、細粒分含有率、盛土内の水位等を変化させて行っており、盛土材料については室内土質試験により物性を把握して解析モデルに設定した。

解析は、地震時の剛性低下を考慮しない盛土内水位以浅については、弾・完全塑性モデル「改良MC/DPモデル」¹⁾により弾塑性挙動を表現した。盛土内水位以深の盛土層については、盛土材料物性から繰返しせん断強度比 R_L を設定し、所定の地震外力(繰返しせん断応力比)との関係から液状化に対する抵抗率 F_L を計算し、この F_L に基づきせん断剛性を低下させ³⁾⁴⁾自重解析を行った(解析手法の詳細は参考文献5)を参照されたい)。

ここで R_L については、繰返し非排水せん断強度試験と遠心力载荷実験における応力状態等が異なることから、遠心力载荷実験から累積損傷度法を適用して逆算により求めた。まず遠心力载荷実験で大きな変形量が発生した5ケースについて、図-2に示すとおり実験模型に設置した加速度計(図-1(a)のA5とA7)の計測値の時刻歴を元に繰返しせん断応力比SRの時刻歴を算出する。加速度計A5近傍の盛土模型のせん断ひずみ $\gamma=7.5\%$ に達する時刻を、実験時に撮影した動画の画像解析から算出し、その時刻までの繰返しせん断応力比SRの時刻歴をパルス化する。このパルスを用いて、繰返し回数N-繰返しせん断応力比SR関係の曲線式(図-2中に示す双曲線式)を調整しながら累積損傷度Dを計算し、 $D=1$ となる曲線式を求め、 $N=20$ 回におけるSRを R_L とした。このような計算方法で求めた R_L は、繰返しせん断強度試験で得られた R_L に対して概ね2.0~3.4倍程度となったことから、解析に用いる R_L は繰返しせん断強度試験で得られた R_L の2.0倍に設定した。

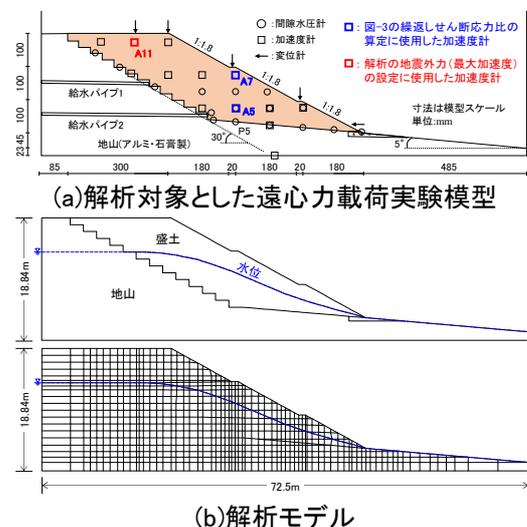


図-1 解析対象とする実験模型と解析モデル例

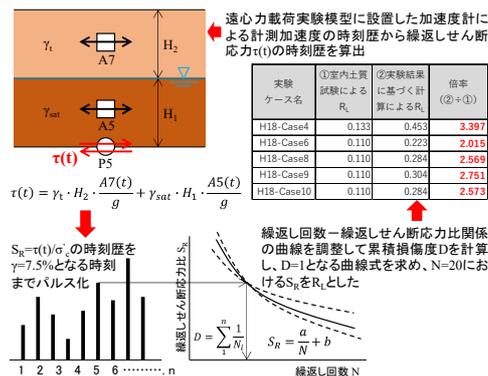


図-2 繰返しせん断強度比 R_L の推定方法

3. 解析結果

図-3に解析結果の例として、締固め度 $D_c=82\%$, $F_c=7\%$ で水位が高いケースと、 $D_c=90\%$, $F_c=57\%$ で水位が低いケースについて、実験における変形状況及び解析による変形図を示す(以降、実験の各種寸法及び変位量等については、実物換算で表記する)。図-3(a)については、実験での沈下量が天端、法肩ともに2m程度であったが、解析では2.5m~2.9mと変形がやや大きい結果となっているが、変形の性状は概ね実験と整合した。細粒分が多い盛土材料を使用した図-3(b)についても、実験での変形量は0.3m前後、解析では0.3~0.5mと、概ね整合した。

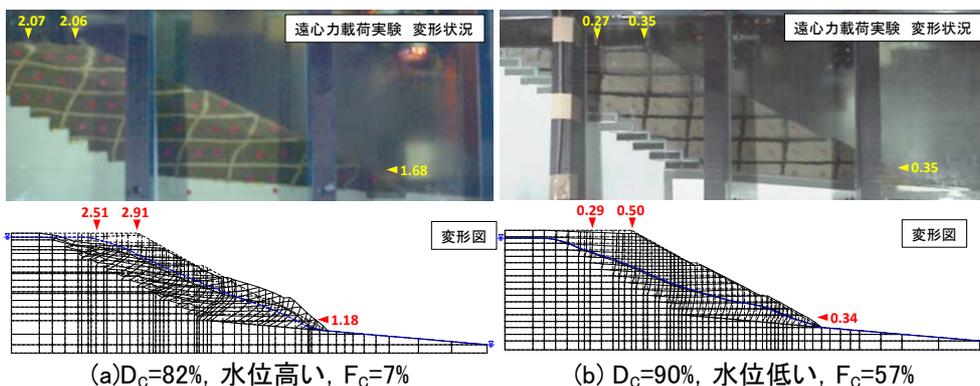


図-3 解析結果と実験時の変形状況の例

図-3(a)については、実験での沈下量が天端、法肩ともに2m程度であったが、解析では2.5m~2.9mと変形がやや大きい結果となっているが、変形の性状は概ね実験と整合した。細粒分が多い盛土材料を使用した図-3(b)についても、実験での変形量は0.3m前後、解析では0.3~0.5mと、概ね整合した。

図-4に、全ケースの解析と実験の変形量の関係を示す。天端及び法肩の沈下量は、変形量が2m以下では実験と解析が概ね整合しているが、変形量が2mを超える場合、実験では加振終了後も流動的変形が継続し、解析の変形量が実験より小さくなる傾向がみられる。また、法尻の水平変位量は全体的に実験よりも解析結果が小さい傾向がみられる。実験では地山と盛土の接合部は、摩擦抵抗はあるものの滑動できるが、解析では盛土モデル底面が剛体である地山に結合しているため、法尻に近い範囲の変形量が抑制されたものと推測される。

図-5に締固め度 D_c と天端沈下量の関係を水位ごとに分類したものを示す。 D_c に着目すると、 D_c が低くなると沈下量が増大し、第1小段(下段)直下での水位と天端沈下量の関係をみると、水位が高いケースで変形量が大きく、特に D_c が低いケースで変形量が急増する傾向があり、解析においてもその傾向を概ね表現できている。

4. まとめ

- (1) 遠心力載荷実験で見られた変形状況及び変形量を解析でも概ね表現できた。実験でみられる締固め度の低下及び水位の上昇による変形量が増大についても、解析で概ね表現できた。
- (2) 天端及び法肩の沈下量については、変形量が2m以下では解析と実験は概ね整合するが、2mを超えると実験では加振終了後も流動的変形が継続し、解析変形量の方が小さくなる傾向がみられた。また、法尻の水平変位量については、実験結果に比べ解析の変位量が小さくなる傾向がみられた。これは盛土モデル底面が、剛性が高い地山に結合しており、法尻付近の変形量が抑制されたことが原因と推定される。

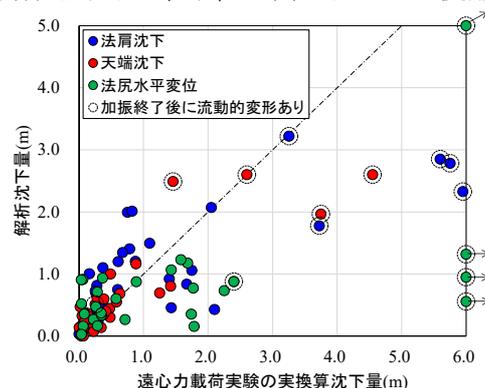


図-4 解析と実験の変形量の関係

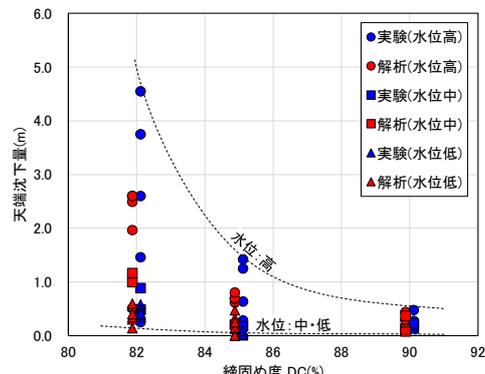


図-5 締固め度と天端沈下量の関係

参考文献

- 1) 加藤俊二, 佐々木哲也: 山岳盛土の地震時変形挙動に関する遠心力載荷模型実験, 土木技術資料 Vol.61, No.8, pp.28-31, 2019.8.
- 2) (株)地盤ソフト工房: ALID/Win 地盤土の構成則(第3版), 2016.5.
- 3) 安田進, 稲垣太浩, 長尾和之, 山田真一, 石川敬祐: 液状化を含む繰返し軟化時における種々の土の変形特性, 第40回地盤工学研究発表会, pp.525~526, 2005.7.
- 4) 豊田耕一, 杉田秀樹, 石原雅規: 河川堤防の地震被害事例に基づく液状化地盤の剛性に関する検討, 第4回日本地震工学会大会 - 2005 梗概集, pp.226~227, 2005.11.
- 5) 東拓生, 佐々木哲也, 加藤俊二: 谷埋め高盛土の地震時変形挙動に関する解析手法の検討, 土木技術資料 Vol.62 No.12, pp.16-19, 2020.12.