

遠心力場での盛土の振動実験の有限要素法を用いた 数値シミュレーション

日本大学 学生会員 ○柳沼 克幸
日本大学 金子 公平
日本大学 正 会 員 中村 晋

1. はじめに

我が国は世界有数の地震多発国であり、最近の 10 年に着目しても、1995 年兵庫県南部地震から、2004 年新潟県中越地震まで、大規模な地震被害をもたらす地震が多く発生している。被害は、橋梁などの構造物のみならず、盛土などの土構造物に生じている。盛土などの土構造物の被害に着目すると、2003 年宮城県北部地震や 2004 年新潟県中越地震は、降雨の後に生じた地震であり、その被害形態に降雨による土中水の影響が指摘されている。降雨による斜面崩壊などに関する研究はこれまでも実施されているが、降雨後の土中内に水分が含まれる状態の土構造物の崩壊機構をはじめとする地震時挙動は未解明であるといえる。

本報告では、まず、振動模型実験や数値解析に基づく土構造物の地震時挙動に関する 既往の研究事例を調査し、既往の土構造物の崩壊機構に関する知見を整理するとともに地盤内の水分の影響に着目した課題の抽出を行う。次に、有限要素法による数値シミュレーションを別途で実施された盛土模型の遠心力場での振動実験を対象として実施し、盛土の地震時挙動とそのモデル化について 検討を行う。ここで、別途実施した実験とは、地盤材料と盛土の飽和度の違いが盛土の振動性状に及ぼす影響を調べることを目的とした、遠心力場での振動模型実験である。

2. 既往の研究課題の整理・分析

まず、盛土また斜面などの土構造物を対象とした振動模型実験、また数値解析に基づく研究事例を対象とし、地盤材料や地盤構造などの条件が地震時挙動に及ぼす影響を調査した。振動模型実験は遠心力場また 1G 場での実験が行われている。数値解析で用いられている解析法には、主に有限要素法が用いられている。その結果、盛土の細粒分含有率や相対密度、盛土寸法や支持地盤厚などの地盤条件の違いは盛土の沈下性状や支持地盤の側方流動性状の差異として現れることが明らかになった。また、盛土の崩壊機構についてみると、湿潤状態の盛土では縦割れが生じやすく、飽和状態の盛土では全面陥没が生じやすくなるなどの事例も報告されている。このように、盛土内に含まれる水分が盛土の地震時挙動に及ぼす影響について検討した事例はあるものの、実験による研究事例で用いられている土中水分条件は主に支持層のみを飽和させた条件であった。このことは、さらに既往の土構造物の地震被害の中に降雨後の地震被害も認められることから、盛土・支持層の飽和度が盛土などの土構造物の崩壊機構に及ぼす影響を把握することは重要であると考えられる。

3. 解析手法

地盤内の水分状態に応じた土の非線形挙動を適切に評価できる解析手法は確立されていないが、盛土の地震時挙動の解析には、飽和状態の土の挙動を考慮できる二次元有限要素法による有効応力解析プログラム STADAS を用いる。このプログラムの特長は、実地盤における排水条件や地盤特性を考慮して 初期応力解析から地震応答解析までを一環して解析できることである。

4. 解析条件

4.1 振動模型実験の概要

比較の対象とする盛土の模型は、実物との縮尺比を 1/30 とした。地盤材料は、盛土(8 号珪砂, $D_r=60$)、支持層(4 号珪砂, $D_r=60$)、基盤層(セメント改良土, $q_u=500\text{kN/m}^2$)で構成した。盛土モデルの大きさは、高さ 200mm、勾配 30°とした(後述の図 1 参照)。支持地盤の大きさは、幅 1382mm×奥行 398mm×深さ 600mmとした。加振外力には、2003 年宮城県北部地震で鳴瀬川河口部で観測された記録の NS 成分を用いた。盛土、支持地盤内で、加速度、間隙水圧、土壌水分などの計測が実施されている。

4.2 解析モデル

図-2 に解析モデルを示す.解析は実物換算のモデルで実施した.盛土,支持層,基盤層ともに 4 節点固体要素でモデル化した.要素数は 936 要素,節点数は 1006 点である.境界条件として,底面,両側面の境界はいずれも水平,鉛直方向,回転の自由度を固定とした.

4.3 地盤物性のモデル化

図-2 に示した有限要素モデルの盛土,支持地盤各位置の地盤物性のうち,盛土,支持地盤ともに乾燥状態の実験(ケース 1)を対象とし,せん断弾性係数のモデル化を行う.その際,鉛直方向に複数設置された加速度計により得られた記録に基づき,計器間の平均せん断応力と平均せん断ひずみを推定し,その履歴特性よりせん断弾性係数の推定を行った.せん断応力は式(1)に示すように加速度計の設置位置間の加速度分布を直線と過程することにより,深度方向に積分することにより求めた.せん断ひずみは,式(2)に示すように加速度記録を数値積分することにより得られた変位差より求めた.この分析には,地盤材料の非線形性の影響が現れない加速度レベルの小さな実験結果を用いた.

$$\tau(t)_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \rho_{ij} \{A(z_i, t) + A(z_j, t)\} H_{ij} \quad (1)$$

$$\gamma(t)_{ij} = \frac{d(z_i, t) - d(z_j, t)}{H_{ij}} \quad (2)$$

この手法で得られた盛土上部,支持地盤上部の平均応力-平均ひずみ関係を図-3,4 に示す.これより,盛土上部,支持地盤上部のせん断弾性係数はそれぞれ 2.67MPa,2.25MPa と得られた.

5. まとめ

既往の研究事例を調査し,盛土に含まれる水分がその崩壊機構に影響を及ぼすもののその機構は十分に明らかとなっていないことが分かった.別途実施した盛土模型の振動実験を対象とし,数値解析により盛土の地震時挙動を分析する.解析に必要な盛土模型の材料特性として,せん断弾性係数をせん断応力とせん断ひずみの関係を用いモデル化した.そのパラメーターを用い,有限要素法による盛土の地震応答解析を実施する.

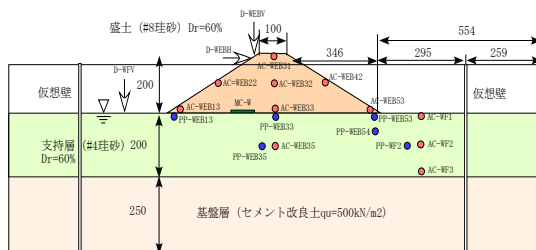


図-1 模型断面図 (case1)

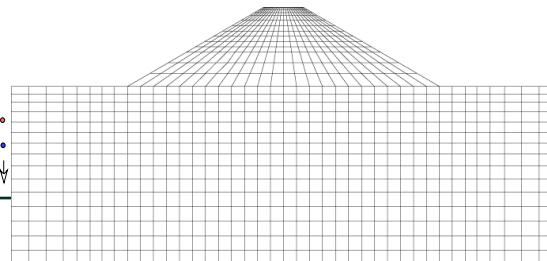


図-2 解析モデル (case1)

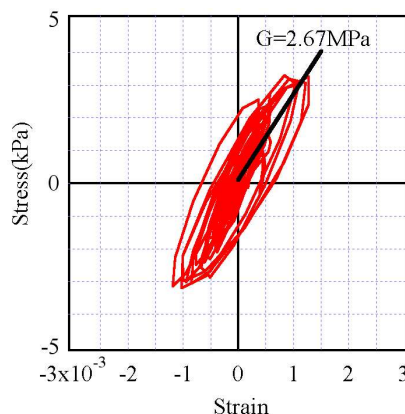


図-3 盛土上部の平均応力-平均ひずみ関係

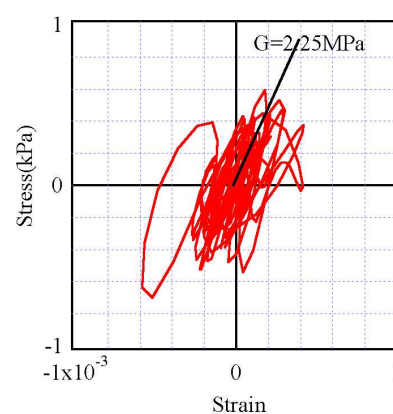


図-4 支持地盤上部の平均応力-平均ひずみ関係

参考文献

- 1) 吉田望 (2001): STADAS A computer program of ground and soil-structure interaction problem (2D Version) Manual (Version 4.00)