

大地震時の盛土の天端沈下量に関する遠心実験と解析

京都大学防災研究所	正会員	○飛田 哲男
京都大学防災研究所	正会員	井合 進
京都大学社会基盤工学専攻		上田 恭平
国土交通省近畿地方整備局		中道 正人
国土交通省近畿地方整備局		金子 英久

1. 目的

既往の大地震において、河川堤防盛土や宅地盛土に多くの被害事例が報告されている。その被害は、堤内への浸水を引き起こしたり、盛土上に建設された構造物の被害を併発するなどの危険性を有している。設計段階で盛土の沈下量を正確に予測し、被害を最小限に食い止めるためには、まず盛土の動的変形メカニズムを詳細に知る必要がある。本研究では、図1に示す河川堤防の横断面について、地震時におけるその変形挙動を明らかにするために、遠心模型実験を実施した。また、多重せん断モデルに基づく有効応力解析プログラムを用いてその適応性を検討した。

2. 遠心模型実験の方法

遠心模型実験には京都大学防災研究所の遠心力载荷装置（半径 2.5m）を用い、50G の遠心力場で実施した。模型地盤、盛土の作成には相馬砂 5 号を用い、地盤条件を緩詰め飽和砂、密詰め飽和砂の 2 種類とし、それぞれの地盤条件において入力波の振幅を変化させて 3 ケースずつ、延べ 6 ケース実施した。実験模型の断面図は図-1 に示すとおりである。模型地盤の相対密度は、緩詰めで約 30%、密詰めで約 70%であった。入力波は実大換算で 1Hz、20 波の正弦波とし、加速度振幅を変化させて実験を行った。

3. 遠心模型実験による盛土の変形挙動

遠心模型実験により得られた盛土の変形形状の例を図-2(a)に示す。同図に示す結果は、緩詰め飽和砂地盤、最大入力加速度 179Gal のケース（Case2）である。繰り返しせん断による過剰間隙水圧の上昇とともに緩くなった下部地盤上の盛土が沈下し、それにより下部地盤が横方向に広がり盛土脇の周辺地盤の隆起を引き起こしている。図-3 に Case 1 から Case 3 における最大入力加速度と盛土天端沈下量との関係を後述する解析の結果と合わせて示す。下部地盤が緩詰めの場合、Case2 では沈下量は約 1.0m で、これは盛土高さ 3m の 30%程度の値である。一方、図には示さないが、下部地盤が密詰めの場合、Case6 の入力加速度が 574Gal と大きな値でも、沈下量は盛土高さの 3%程度に抑えられた。実験では下部地盤が密詰めの場合の沈下量は緩詰めの場合の 0.5～6.5%程度に抑えられており、地震時の沈下対策として下部地盤の非液状化対策が有効であることが確認できた。

4. 多重せん断モデルによる盛土の変形挙動の数値解析

地震時の盛土の変形挙動解析を、多重せん断モデルに基づく有効応力解析プログラムである FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) を用いて行った¹⁾。解析の手順は、まず完全排水条件下で盛土

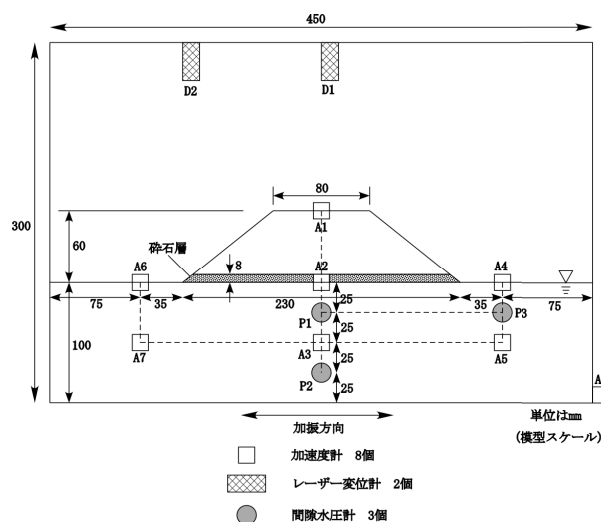


図-1 遠心模型断面

キーワード 盛土, 沈下量, 遠心模型実験, 有効応力解析

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄京都大学防災研究所 TEL 0774-38-4092

モデルの自重解析を行い、その後遠心模型実験で得られた入力波の波形を用いて、動解析である地震応答解析を非排水条件の下で行った。解析寸法は遠心模型実験で対象とした実大モデルと同一とし、地盤モデルのパラメータは緩詰め地盤の場合には等価 N 値を 3, 5, 6 の 3 パターンとし標準的に得られる値を用いた。

解析による盛土の変形形状を図-2(b)に示す。図-2(a)の実験結果と比較すると、盛土の変形形状や周辺地盤の隆起の様子がよく再現されている。一方、図には示さないが、密詰め地盤の場合には、下部地盤の変位が小さいため、同一節点で構成される盛土端部の節点変位が小さくなった。これは盛土端部のメッシュを細かくし、自由度を高めたうえで解析を行うことで解決できるものと思われる。

下部地盤が緩詰めの場合について、解析による最大入力加速度と盛土天端沈下量との関係を図-3に示す。 N 値が 5 の場合には、Case 1 ではともに沈下量は小さいが、Case 2, 3 ではそれぞれ実験値の約 30%, 65%と過小評価した解析結果となっている。また N 値を小さくすると沈下量が大きくなる傾向にあることがわかる。

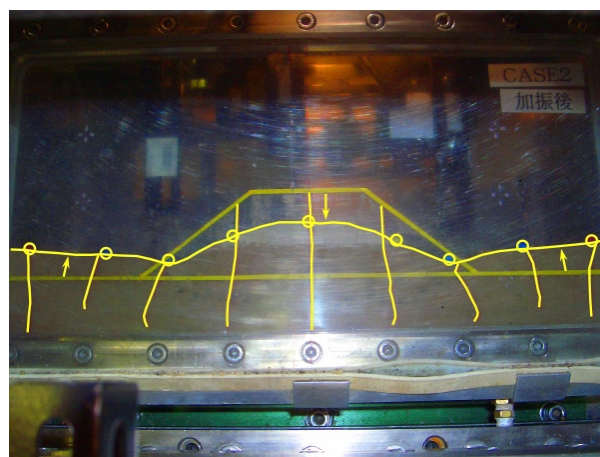
盛土下部地盤内における一要素（図 2 (b) 黒塗り）を取り出し、その軸差ひずみ増分と最大入力加速度との関係を、盛土天端沈下量と最大入力加速度との関係と合わせて図-4に示す。同図より下部地盤が緩詰め飽和砂の場合、盛土天端沈下量は、盛土下部地盤の軸差ひずみ増分と強い相関があることがわかる。一方、下部地盤が密詰め飽和砂の場合には、下部地盤の変形がきわめて小さいため緩詰め地盤でみられるような強い相関は見られない。

5. まとめ

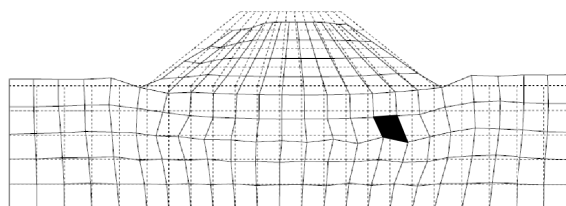
大地震時の盛土の動的挙動について、天端沈下量に着目して、遠心模型実験結果および数値解析結果を整理した。実験では飽和した下部地盤の相対密度と入力加速度を変化させた。将来の盛土の沈下量予測に役立てることを念頭に、入力加速度と天端沈下量との関係を求めた。また、数値解析では、緩詰め下部地盤の場合には、変形形状は比較的良く一致した。しかし、密詰め下部地盤の場合には、盛土端部の節点が下部地盤の変位に拘束された。

参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.(1990): Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp. 27～56.



(a)遠心模型—加振後



(b)FLIP—加振後

図-2 Case2における盛土変形形状

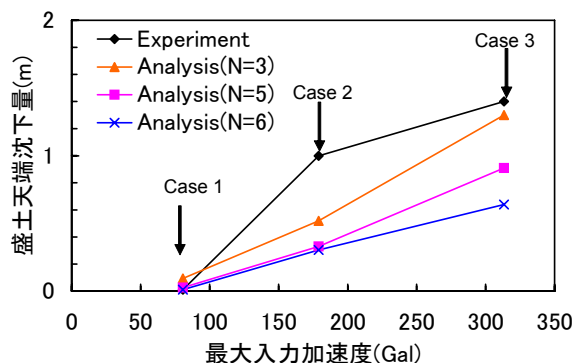


図-3 最大入力加速度と盛土天端沈下量の関係
(Case1-3: 緩詰め)

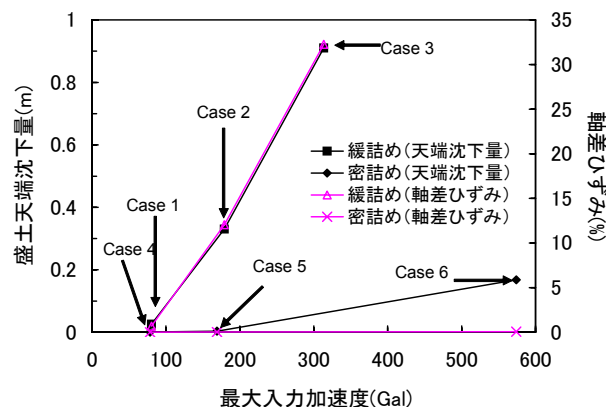


図-4 解析における最大入力加速度と盛土天端沈下量・軸差ひずみの関係