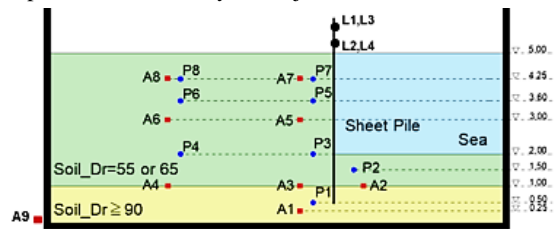


# 自立式矢板護岸の地震時大変形挙動に対する FLIP TULIP の適用性検討

上田 恭平\*

## 1. 研究の目的

地盤の液状化を対象とした研究手段として、遠心模型実験や数値解析による地盤挙動の予測やそのメカニズム解明があげられる。しかし、実験者によって生じる実験結果の不確実性や客観的な解析の妥当性を示すことは非常に困難である。この現状を打破するため、多数の研究機関が共通の地盤条件に対して一斉実験、一斉解析を行うことで結果の整合性を評価し、地盤災害の予測技術向上を目指す国際プロジェクト LEAP (Liquefaction Experiments and Analysis Projects) が発足した<sup>1)</sup>。本研究では、他の研究機関と結果を比較するための初期段階として、LEAP-RPI-2020 で取り扱う自立式矢板を有する地盤・構造物系の地震時大変形挙動を対象に、遠心模型実験と二次元有効応力解析を実施することで解析手法の適用性について考察する。



■ 加速度計  
● 間隙水圧計  
● レーザー変位計

Units in m (Prototype Scale)

図 1 実験模型の概略

## 2. 研究の方法

### (1) 遠心模型実験

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 (回転半径 2.5 m) を用いた。実験は遠心場の相似則を用いて縮尺 1/40 とした。実験模型の概略図を図 1 に示す。矢板には厚さ 3 mm のアルミニウム板を使用した。オタワ砂を用いて空中落下法により砂を供給した後、メトロズで地盤全体を飽和させた。実験は表 1 に示す延べ 4 ケースを行い、加振波には 1 Hz のテーパ付正弦波 20 波を使用した。

表 1 実験ケース

Case	液状化層 Dr (%)	PGA (m/s <sup>2</sup> )	矢板変位 (cm)
1	55.2	0.159	40
2	69.9	0.160	18
3	69.5	0.173	38
4	57.2	0.218	45

### (2) 有効応力解析

有限ひずみ理論に基づくひずみ空間多重せん断モデル<sup>2)</sup>を土の構成則とする二次元有効応力解析プログラム FLIP TULIP を用いて、遠心実験 Case 2~4 の再現解析を行った。実験結果との比較を行うため、解析寸法を実験模型のプロトタイプと同じになるように設定し、下部砂層は非排水条件、上部砂層は排水条件で解析を行い、矢板は線形はり要素とした。地盤の境界条件は底面を固定境界、側面を鉛直ローラーとしている。また摩擦力の影響を考慮するため、矢板・地盤節点間にジョイント要素を設けている<sup>3)</sup>。矢板下端と地盤は変位を拘束させた。地盤や矢板、ジョイントに関するパラメータは過去の試験、解析事例を参考に決定した<sup>3), 4)</sup>。全てのケースで共通のパラメータを使用している。解析手順として、まず物理現象で

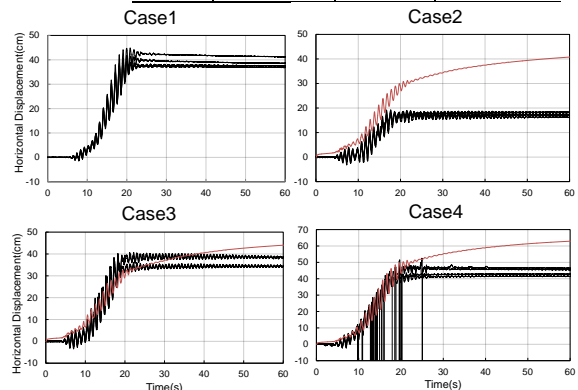


図 2 矢板変位時刻歴 (黒: 実験, 赤: 解析)

\*京都大学防災研究所・助教

は圧密に相当する静的解析（自重解析）を行い、動的解析に移行する。

### 3. 得られた成果

#### (1) 遠心模型実験

四か所のレーザー変位計の値を地表面高さに補正し矢板変位量の評価に用いた。各ケースで得られた矢板変位量時刻歴を図 2 に示す。入力地震動の大きさが同程度である Case 1 と Case 2 を比較すると、Case 2 よりも緩い地盤である Case 1 の方が矢板の最終変位量は大きい。液化化による地盤変形は緩い地盤の方が大きいという従来の結果と合致する。上部地盤の相対密度が 65% となるように地盤作製を行った Case 3, Case 4 の矢板変位量の時刻歴を比較すると、Case 4 は Case 3 よりも緩い地盤でありかつ入力地震動は大きいにもかかわらず、加振後の矢板変位量に Case 2 と Case 3 間ほどの明確な差はみられなかった。ここから、入力地震動の大小は必ずしも矢板変位の大小とは一致せず、矢板変位量を決定づける他の要因が存在することが分かった。要因としては地盤と土槽壁間の摩擦の状況がケース間で全く同じではないことなどが考えられる。一例として、図 3 に加振後の矢板変位の様子を示す。

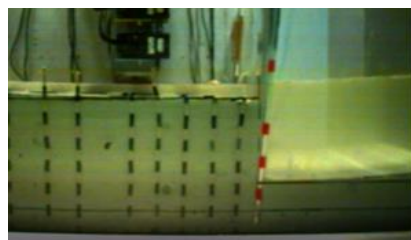


図 3 加振後の様子（実験：Case 2）

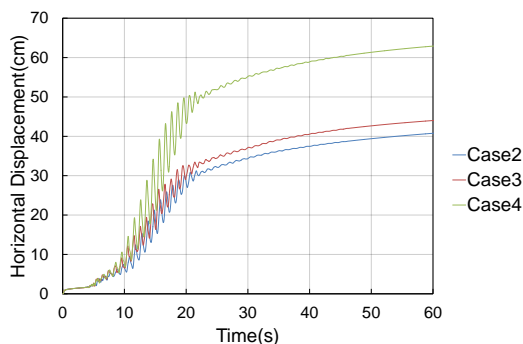


図 4 矢板変位時刻歴の解析結果の比較

#### (2) 有効応力解析

自重解析後からの矢板変位量の時刻歴を、遠心実験の時刻歴と比較して図 2 に示す。全ケースにおいて実験では加振後矢板変位量はある値に収束するが、解析では加振後も矢板変位が続いている。Case 2 と Case 4 は実験よりも解析結果の加振後の矢板変位量が大きくなっているが、Case 3 では同程度である。遠心実験で構造物と地盤の位置関係や地盤密度に関してケース間で再現性が完全に担保されているとは言えないため、このような違いが生じるものと考えられる。実験のばらつきを考慮した解析精度の検証については、他の研究機関との比較を通じて今後検討を進める予定である。有効応力解析における Case 2~4 の矢板変位量を図 4 に示す。遠心実験では Case 3 と Case 4 の矢板変位量が比較的近い値となったが、解析では Case 3 と Case 4 の矢板変位量は大きく異なり、Case 2 と Case 3 で近い値が得られた。実験と解析で矢板変位量が一致しないケースはあるものの、同じ地盤・構造物系に対して入力地震動の強さを変化させたときに、地震動の大小と矢板変位の大小が必ずしも一致していないことが実験同様明らかになった。地盤系に構造物があることで加振による地盤内の応力状態が複雑に変化し、揺れやすい地震波の振幅の条件が地盤の相対密度に応じて変化することが原因として考えられる。最後に、図 5 に加振後の矢板変位の様子を示すが、図 3 の実験における変形モードを適切に再現できていることがわかる。

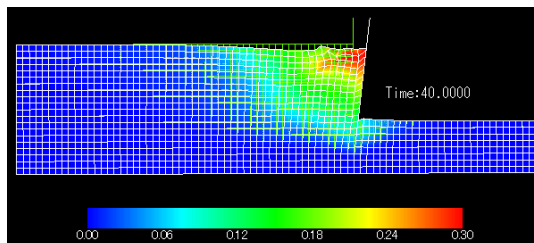


図 5 加振後の様子（解析：Case 2）

### 参考文献

- 1) M. Manzari et al.: LEAP projects: Concept and challenges, *Geotechnics for Catastrophic Flooding Events*, 109-116, 2015.
- 2) Iai et al.: Finite Strain Formulation of a Strain Space Multiple Mechanism Model for Granular Materials, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 37(9), 1189-1212, 2013.
- 3) FLIP コンソーシアム：各種解析事例，FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ，3-3-1 - 3-5-70.
- 4) Vargas et al.: Influence of the relative density and K0 effects in the cyclic response of Ottawa F-65 Sand- Cyclic Torsional Hollow-Cylinder Shear Tests for LEAP-ASIA-2019, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 133, 106111, 2020.