

巨大地震時の密な礫質土で構成された盛土
法面内部の応力状態に着目した遠心模型実験

東北大学・学生会員・○高橋 幸希
東北大学・正会員・河井 正

1. はじめに

近年の幾つかの巨大地震の発生を背景として、原子力関連施設の性能評価の際、加速度振幅が大きく、継続時間の長い地震波形が基準地震動として用いられていることから、そういった地震動が入力された場合、原子力発電所敷地前面防潮堤周辺でみられる密な礫質の埋戻土においても過剰間隙水圧が蓄積する可能性があり、それを考慮した性能評価が求められる。そこで本研究では遠心模型実験を用いて土中の応力状態を調べ、どのような応力状態で変形が進むのかを分析していく。

2. 遠心模型実験の概要

2.1 装置の概要

本研究では、図 1 に示す、(株)大林組 技術研究所所有の動的遠心载荷模型実験装置を使用した。遠心模型実験では、加速度 50G の遠心場に模型を置いた場合、表 1 のような相似則が成立する。

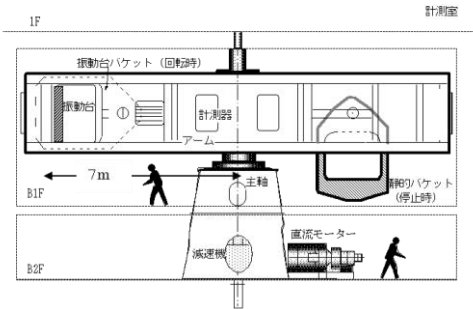


図 1 遠心模型実験装置の構成

表 1 遠心模型実験(50G 場)における相似則

物理量	相似率
加速度	1/50
速度	1
変位	50
応力	1
ひずみ	1
透水係数	1 (但し粘性が50倍の流体を使用)

2.2 模型断面とセンサー配置

模型地盤の断面図および平面図を図 2,3 に示す。模型土槽の内寸は高さ 600mm、幅 1900mm、奥行き 800mm であり、実物換算値は、高さ 25m、幅 95m、奥行き 40m である。傾斜した基盤層(ソイルモルタル層)と、ケーソンおよびその後背部を埋め立てる礫質土で模型地盤が構成されている。また、後背地盤上には、埋め立て土と同様の礫質土材料による盛土を作製し、盛土下面までは水の 50 倍の粘性を持つ流体で地盤を飽和させた。模型には図 3 に示すように、変位計や土圧計、水圧計、加速度計を設置し、ケーソンや盛土天端の沈下量といった基本的な応答のほか、地盤中の要素応答の把握を可能とした。

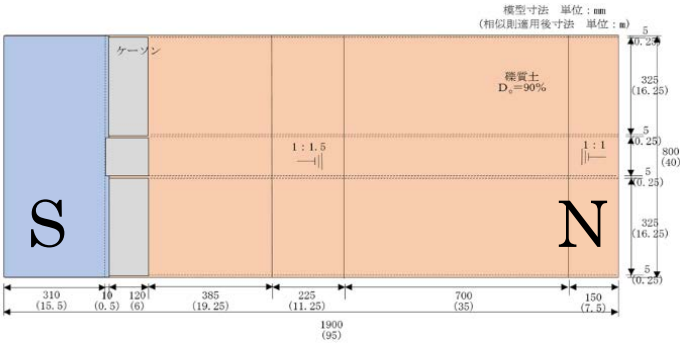


図 2 模型地盤下断面図

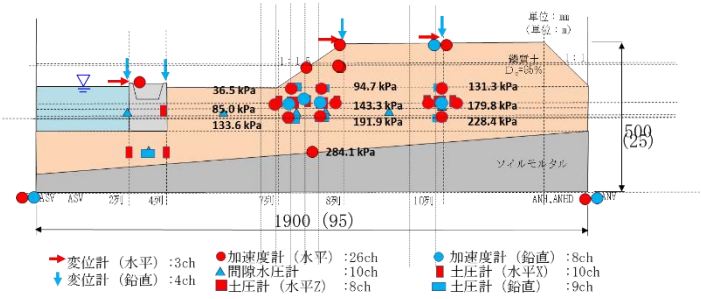


図 3 模型地盤上断面図及び計測機器配置図

2.3 加振実験の概要

入力加速度波形には 2016 年 4 月 16 日 熊本地震および、2011 年 3 月 11 日 東北地方太平洋沖地震をそれぞれ想定した波形を用いた(表 2)。

表 2 加振ケース表 ケース 1

加振ケース	波形	振幅 (最大/最小)	内容
d01	ホワイトノイズ	—	微小振動時の固有周期の把握を目的とした加振
d02	熊本地震 (小振幅)	55/32	加振ケースd03の試加振
d03	熊本地震 (原波形)	940/-430	振幅が大きく継続時間が短い加振
d04	東北地方太平洋沖地震 (原波形)	299/-215	継続時間が長い地震波による加振
d05	東北地方太平洋沖地震 (原波形比振幅2倍)	1030/-678	振幅が大きく継続時間が長い地震波による加振

3. 実験結果

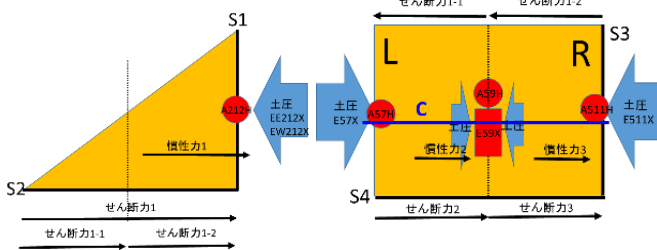


図 4 対象位置拡大図 A **図 5 対象位置拡大図 B**

上図は法面とその内部を拡大した図であり(図 3 計測器配置図参照), S1,S3 は土圧面の面積, S2,S4 は応力面の面積である. 図 4,5 の中に示される土圧と慣性力を用いて力の釣り合いを考え, せん断力を求め, さらに S2,S4 を用いてせん断応力を求めた. 最終的に, 図 5 を中央縦の点線で二つに分け, R, L とし, 中央線 C 位置でのせん断応力, 軸差応力, 有効応力を求め Mohr 円を描き, 応力状態を確認する.

以下図 6~9 は各計測値の時刻歴である. 間隙水圧波形よりどれだけ液状化に近づいたかが, 変位波形によって盛土中央表面と比較した法面部の挙動が確認できる.

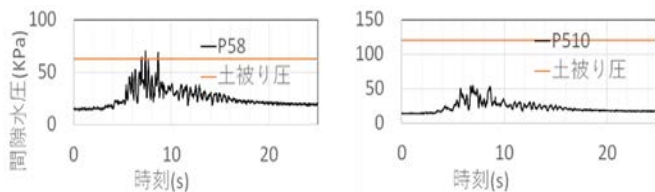


図 8 間隙水圧 L

図 9 間隙水圧 R

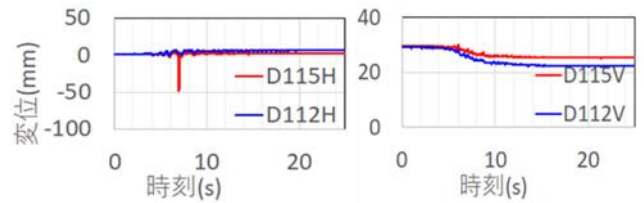


図 10 水平変位

図 11 鉛直変位

以下図 12~15 は中央線 C での応力状態及び Mohr 円を示している. Mohr 円は 破壊線に収まる, もしくは破壊線を超える部分が最も小さくなるように K0 を 0.5~2.0 の間で 0.05 刻みに変えていった. せん断応力と軸差応力もその K0 の時のものを比較している.

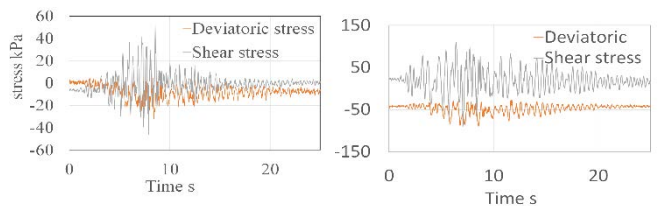


図 12 せん断-軸差応力比較 L

図 13 せん断-軸差応力比較 R

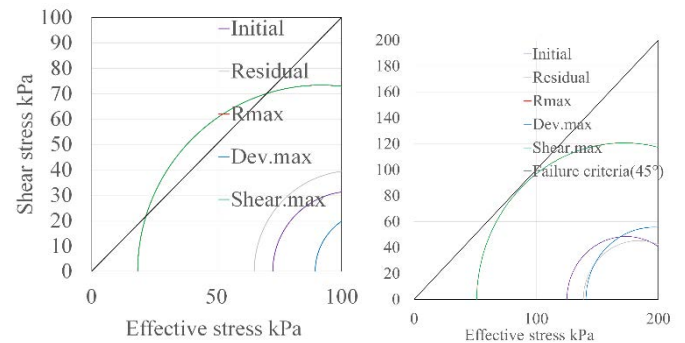


図 14 Mohr 円 L

図 15 Mohr 円 R

4. まとめ

図 12,13 よりせん断応力が軸差応力より大きくなっていることがわかる. これについて図 10,11 より盛土中央に比べ法面部のほうが沈下が大きことがわかり, 法面部に崩れが生じ, RL 部ともに N 側上方からの土圧を受けたと考えられる.

また図 14,15 より L 側では破壊線を超えているが, これは図 8,9 より L 側では間隙水圧が大きく上昇し, 液状化していることから説明できる.