

動的遠心力模型実験装置の開発並びに振動土圧及び盛土実験
に関する研究

高知高専 正会員 岡林 宏二郎、復建調査設計株式会社 正会員 橋田 賢治
高知高専 法人会員 ○山口 大輔・伊藤 輝・三笠 候嗣

1. 緒言

東日本大震災の被害調査結果から、海洋型の継続時間が長い地震波や長周期の波を含む地震波に対する対策、粘り強い土構造物の設計等が必要であることがわかった。これらに対応するには、南海トラフ巨大地震に対する挙動や対策工の実証実験が可能な装置が必要である。そこで、本校に設置されている装置を地震動が加振できる動的に改善した。本研究では、装置が必要な仕様を満たし、実構造物に相似則を適用した模型実験を行うことである。装置の動作確認を行い、その結果に相似則の検討を適用し、実構造物に生じる加速度を推定する。そして、地震波を加振し、静的土圧と振動土圧を計測する振動土圧実験及び盛土の液状化実験を行った。

2. 動的遠心力模型実験装置(Mark II)について

2.1 動的遠心载荷装置の原理・概要

遠心力模型実験装置は実物の縮尺 $1/n$ の模型を重力加速度の n 倍の遠心加速度場において、模型内に実物と同じ自重応力とひずみ状態を再現させることができる。実験に用いた本校の装置の基本諸元を表 1 に示す。

2.2 動的遠心载荷装置の動作確認

地震波に対する装置の動作確認として、SIN 波と神戸波の模擬地震波のデータを用いて振動台を加振し、変位データの再現確認を行った。記録間隔を調整しながら加振した結果、SIN 波では記録間隔 1 秒、神戸波などのランダム波では記録間隔 0.1 秒で変位データが再現可能である。

3. SIN 波を用いた振動土圧実験

3.1 実験方法

幅 450mm、高さ 300mm、奥行 150mm の試料容器を用いる。容器内に土圧計を貼り付け、空中落下法で豊浦標準砂を高さ 200mm まで入れる。試料作成時の容器と土圧計の設置状況を図 1 に示す。標準砂の相対密度は $Dr=80.6\%$ と密な状態であった。そして、試料容器を振動台に載せ、遠心加速度を $10\sim40G$ で静止土圧を計測する。その後、振動数 $10Hz$ 、片振幅 5mm の SIN 波の模擬地震波を加震し、振動土圧を計測した。

3.2 実験結果

遠心加速度 $20G$ の結果を図 2 および図 3 に示す。図 2 は計測した鉛直土圧を示す。鉛直土圧の理論値は、土の単位体積重量 γ_t 、地表からの深さ H 及び装置の遠心加速度 N の積による $N\gamma_t H$ で算出できる。相対密度が 80.6% と密な状態では、実測値が理論値と比較して非常に小さいことがわかった。図 3 は計測した左壁面にかかる水平土圧を示す。水平土圧の理論値は、鉛直土圧と静止土圧係数 K_0 の積による $K_0 N\gamma_t H$ で算出できる。地表からの距離が浅い位置では、拘束圧が小さくなり、振動土圧の増加量が大きく、深い位置では、拘束圧が大きいので増加量が小さくなる。

4. 地震動による盛土実験

4.1 盛土実験の概要

表 1 遠心力模型実験装置の基本諸元

有効半径(mm)	1925
深さ(mm)	1700
振動台の寸法(mm)	L550×B150
試料 容器寸法(mm)	L450×B150×H300
	L450×B139×H355
最大加速度(G)	200
最大周波数(Hz)	30
最大変位(mm)	30
駆動モータの動力P(KW)	14
計測装置	スイッチボックス
	圧力センサーコネクター

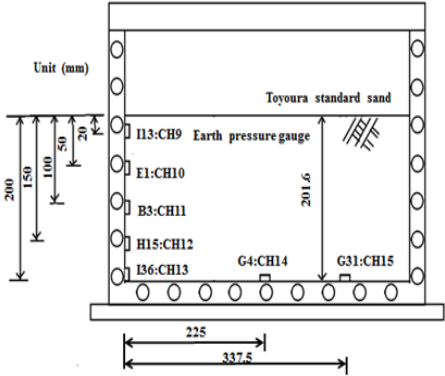


図 1 土圧計と容器内の状態

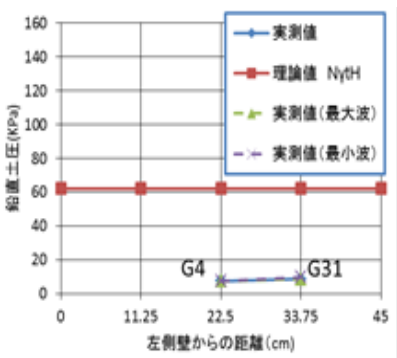


図 2 鉛直土圧分布

盛土実験では寸法幅 450mm、高さ 355mm、奥行 139mm の実験容器を用いた。模型地盤の概略図を図 4 に示す。

4.2 模型地盤の作成

寸法幅 450mm、高さ 355mm、奥行 140mm の試料容器を用いる。基礎地盤作製には硅砂 5 号を用いる。目標相対密度 $Dr=90\%$ として、硅砂 5 号を厚さ均等で実験容器に入れて厚さ 2cm になるまで突き固めを行った。液状化地盤作製には豊浦標準砂を用いて、厚さ 10cm、目標相対密度 $Dr=50\%$ とする。試料作製は空中落下法で液状化層を作製し、液状化層内に赤い色砂と間隙水圧計を設置する。盛土作製では、目標相対密度 $Dr=95\%$ として、硅砂 7 号を用いる。盛土を台形状にするために型枠を用いて冷凍庫で凍結を行う。そして、遠心装置を用いて実験を行う直前に、凍結した盛土を解凍し、容器内の液状化地盤上に載せる。

4.3 実験方法

地盤内の地下水としてメチルセルローズ溶液を作製し、水頭差を利用して試料容器に注入する。セルローズ溶液を地盤内に通水しやすくするために、 CO_2 ガスポンプを用いて、 CO_2 ガスを地盤内に注入する。その後、盛土地盤を設置し、試料容器をプラットフォーム上に設置する。遠心加速度を 20G 場に上昇し、変位量 2mm、振動数 10Hz、波数 20 波と設定した SIN 波を 10 回加振する。

4.4 実験結果

4.4.1 模擬地震波の検討

遠心加速度 20G 場の状態で、変位量 2mm、振動数 10Hz で加振したときの模擬地震波の加速度波形を図 5 に示す。波形の片振幅から、最大応答加速度は 3600gal である。模型に生じた応答加速度を実物に生じる応答加速度に換算するために、相似則の検討として、公式 $\alpha_m = N\alpha_p$ を用いる。相似則の検討から、遠心加速度 20G 場の状態なので、変位量 2mm の実物に生じる応答加速度は 180gal となる。

4.4.2 間隙水圧の検討

液状化層深さ 1、5、10cm に設置した最大間隙水圧の実測値及び理論値をそれぞれ図 6、7、8 に示す。実測値は実線で示しており、模擬地震波の加振後の間隙水圧値を計測した。理論値は点線で示しており、水の密度 ρ 、重力加速度 g 及び深さ H で水圧を計算し、更に遠心加速度 G との積から求めた。3 箇所とも模擬地震波の加振によって、実測値が理論値より一時的に上回っている。このことから、過剰間隙水圧が発生し、地盤全体に液状化が発生したことが言える。

5. まとめ

遠心力模型実験装置(MARK II)を動的に改善し、予備実験を経て、振動土圧及び盛土実験が可能となった。

振動土圧実験では静的土圧及び動的土圧の計測が可能となり、遠心力場での振動制御も可能であった。実験結果から、振動土圧は遠心力場が大きくなる程、土圧の増減は小さくなることが分かった。

盛土実験では、地震動による盛土の天端変位や間隙水圧の検討から、地盤の液状化発生が可能となった。

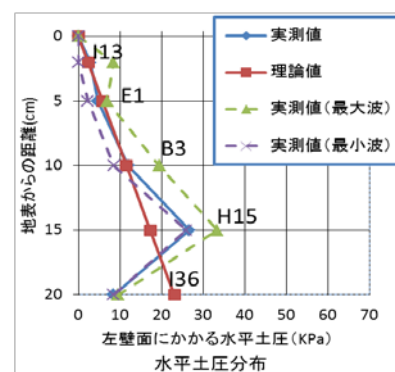


図 3 左壁面の水平土圧分布

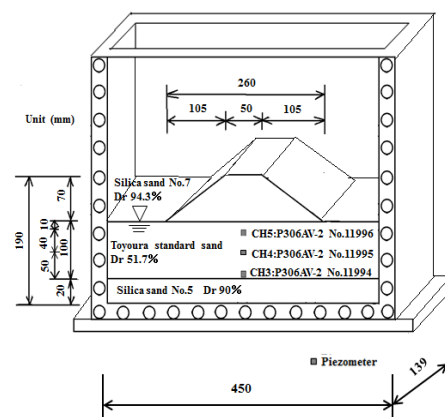


図 4 模型地盤の概略図

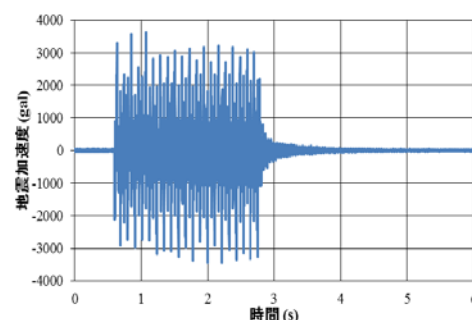


図 5 地震加速度波形

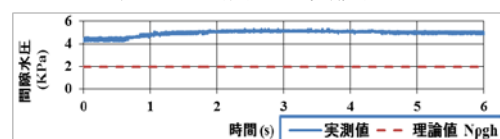


図 6 液状化層深さ 1cm の間隙水圧

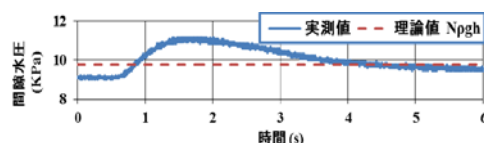


図 7 液状化層深さ 5cm の間隙水圧

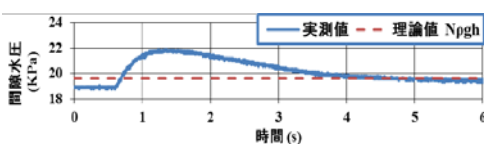


図 8 液状化層深さ 10cm の間隙水圧