

腹付け盛土施工を模擬した遠心模型実験における軟弱粘性土地盤の作製方法

軟弱粘性土地盤, 腹付け盛土, 遠心模型実験

複合技術研究所 国 ○田村幸彦 非 森 誠二
 鉄道総合技術研究所 正 工藤敦弘 国 渡辺健治
 正 野中隆博 国 小島謙一
 港湾空港技術研究所 国 森川嘉之 国 高橋英紀

1. はじめに

著者らは遠心模型実験により, 軟弱粘性土地盤上で長年供用されている盛土に対して, 線増工事等で腹付け盛土施工した際の軟弱粘性土地盤の変形および対策工の効果の検証を行っている. 本論文では, 特に遠心模型実験における模型の作製方法について述べる. なお, 実験の目的等の詳細については文献 1) を参照されたい.

2. 遠心模型実験を実施する上での課題

遠心模型実験により, 軟弱粘性土地盤上の盛土に対する腹付け盛土施工を再現し, 盛土体および軟弱粘性土地盤の挙動を評価することや, 各種対策工の効果を検証するためには, 以下に示す 3 つの実験上の課題を克服する必要がある.

課題①: 長年供用された盛土下の軟弱地盤の圧密過程の再現

長年供用された既設盛土下の軟弱粘性土地盤は, 既設盛土荷重による圧密が進行し, それに伴う強度増加が見込めるが, 腹付け盛土下の軟弱粘性土地盤は荷重履歴がなく正規圧密状態に近い. 遠心模型実験装置 (文献 1 参照) の連続稼働時間内 (12 時間程度) に既設盛土による軟弱粘性土地盤の圧密を完全に終了させるためには, 重力場において模型地盤作製時に行う予備圧密の圧力を高くすれば良いが, それは逆に腹付け盛土下の軟弱粘性土地盤の強度も過剰に増加させてしまうデメリットがある. 模型地盤作製および遠心载荷においては, 実際の軟弱粘性土地盤の荷重履歴をできるだけ再現する必要がある. なお, 一般に古い鉄道盛土では, 地盤改良をすることなく構築されている場合も多く, 供用期間中の盛土の沈下に対しては, バラストの新規投入によって軌道整備を行っていることが多い. この場合, 建設当初からの盛土天端面の累積沈下量は大きい場合で 50cm~1m 程度と想定される.

課題②: 地盤改良等の対策工の再現

軟弱粘性土地盤内に施工する対策工の模型には, 既設盛土荷重による荷重履歴を与えてはならないため, 実験では, 既設盛土模型の圧密沈下が完全に収束した後に対策工を施工する必要がある. しかしながら, 遠心载荷中に対策工を施工する事は困難なため, 遠心载荷を 2 度 (既設盛土による圧密, 腹付け盛土による圧密) に分け, 重力場において対策工を施工する必要がある. しかしながら, 一度遠心载荷を停止すると, 拘束圧の解放に伴い粘性土地盤が膨張することで, 地盤の乱れや硬化等が生じてしまうため, この影響をできるだけ排除する必要がある.

課題③: 腹付け盛土の施工の再現

腹付け盛土は一般に 1 週間程度で構築されるため, 既設盛土の供用期間に対して極めて短い時間に構築される. そのため, 腹付け盛土は遠心場において 10~20 秒程度で構築する必要がある.

本論文では, 上記 3 つの課題に対する対処法について詳細を示す.

3. 実験上の課題に対する対処法

3.1 長年供用された盛土下の軟弱地盤の圧密過程の再現方法

(課題①)

図-1 に遠心模型実験に用いた土槽および盛土模型を示す. 実現場において, 腹付け盛土が施工される軟弱粘性土地盤は, 荷重の履歴や圧密の影響を受けていない場合が多いため, 模型地盤で模擬するためには腹付け盛土下の予備圧密を極力低く設定することが望ましい. よって, 軟弱粘性土地盤 (20cm 深さ) を 4 層に分けて作製し, 予備圧密圧力を最下層から 60kPa, 40kPa, 40kPa, 20kPa で与えることとした. しかしながら, 前述した予備圧密圧力では既設盛土下の軟弱粘性土地盤の強度は十分に増加せず, 遠心加速度を上昇させた際の既設盛土の変位量が現実に比して大きくなることが予想された. そのため, 既

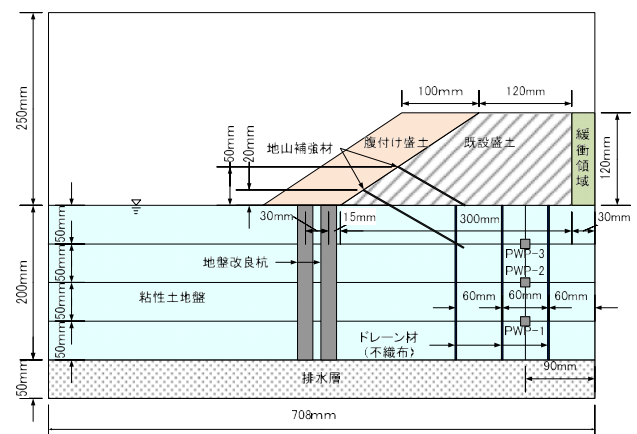


図-1 実験模型概要図

Preparation technique of soft clay ground for centrifuge model test on construction of widened embankment : Yukihiro TAMURA, Seiji MORI (Integrated Geotechnolgy Institute Limited), Atsuhiko KUDO, Kenji WATANABE, Takahiro NONAKA, Kenichi KOJIMA (Railway Technical Research Institute), Yoshiyuki MORIKAWA, Hidenori TAKAHASHI (Port and Airport Research Institute)

設盛土下（図-1 に示す黒太線の位置）に支持力に影響のない不織布をドレーン材として使用し、既設盛土下の軟弱粘性土地盤の排水距離を短くすることで、限られた遠心载荷時間の中で既設盛土下の軟弱粘性土地盤の圧密度を高くし、遠心加速度を上昇させた直後の既設盛土下の軟弱粘性土地盤の急激な変形（即時変形）を抑制することができた。

3.2 地盤改良等の対策工の再現方法（課題②）

図-2 に遠心模型実験における既設盛土下の過剰間隙水圧の消散過程を示す。前述したとおり、対策工を施工するためには遠心場での既設盛土による圧密終了後、一度重力場に戻す必要があるが、その際、急激に遠心加速度を低下させた場合、図-2 右図に示すように軟弱粘性土地盤の体積膨張に伴って大きな負圧が発生し、特に軟弱粘性土地盤表面が不飽和状態になり硬化してしまう。そのため図-2 左図に示すように、負圧が生じないように遠心加速度を段階的に低下させ、各低下段階において軟弱粘性土地盤表面への給水を行った。また、遠心加速度の上昇についても、急激な上昇に伴う模型の変形を抑えるために、図-2 左図に示すように 1G から最大 40G まで段階的に遠心加速度を上げた。2 回目の遠心载荷の最大加速度（50G）に対して 1 回目の遠心载荷の最大加速度を 40G とした理由は、1 回目と 2 回目の遠心载荷による荷重履歴の影響で軟弱粘性土地盤の強度が増加し、腹付け盛土による軟弱粘性土地盤および既設盛土の変形が小さくなってしまふ事を防ぐためである。このような遠心载荷・除荷方法を採用することにより、遠心载荷後に一旦重力場に戻すことによる地盤の乱れ・硬化等を抑制することが可能となった。その他、軟弱粘性土地盤の圧密過程で排出される水についても、既設盛土内に浸透することによる既設盛土の弱体化を防ぐために、盛土法尻部分をシリコンで作製した遮水シートで被覆し、排出された水は模型土槽外へ排水した。

対策工は、図-1 に示す通り、セメント攪拌混合杭による柱状改良および、柱状改良と地山補強材による既設盛土補強を併用した 2 種類を模擬して施工した。柱状改良は既設盛土法尻端部から 60mm（実換算 3m）の範囲に改良率が 30%程度となるように杭径 20mm（実換算 1m）の柱状体を配置した。改良杭材料はアクリルで作製し、中空状の供試体に鋼製の芯材を用いて、単位体積重量が 18kN/m^3 になるように作製した。改良杭模型周辺には土中の摩擦抵抗を考慮して豊浦砂を塗布した。地山補強材は直径 5mm（実換算 250mm）の全ネジを水平間隔 40mm（実換算 2m）で 2 段（上段：長さ 100mm（実換算 5m）、下段：長さ 150mm（実換算 7.5m））配置した。対策工の設置状況図を図-3 に示す。

3.3 腹付け盛土の施工の再現方法（課題③）

腹付け盛土は、遠心場において砂降らし装置により構築した。構築の過程は、実施工の工期を考慮して 3 秒の砂降らしと 17 秒の放置を 1step として施工した。10step で腹付け盛土を構築した場合、この施工時間を重力場に換算すると約 5 日に相当する。腹付け盛土材料には乾燥砂を使用し、実際の施工において長年供用されている盛土に比して良質で単位体積重量の大きい盛土材料が使用される場合が多いことを想定し、豊浦砂とジルコン砂を乾燥重量比 1:1 で混合した単位体積重量 21.0kN/m^3 の盛土材料を用いた。腹付け盛土施工に伴う軟弱粘性土地盤の圧密を十分促進させた後、加振装置を用いて L1 地震動を想定した振動実験を実施した。これは過去の地震による盛土の被害が軟弱地盤上の腹付け盛土に特に多かったことを勘案したものである。振動実験では、既設盛土および腹付け盛土部分の変形、対策工の効果に着目した。詳細については別途報告する予定である。

4. まとめ

本論文では、遠心模型実験を行う上での課題を整理し、その課題に対する解決案を検討した。本論文内の各遠心模型実験で得られた詳細な知見については文献 1) および 2) を参照されたい。

参考文献

- 1) 渡辺健治, 工藤敦弘, 野中隆博, 小島謙一, 森川嘉之, 高橋英紀, 森誠二: 軟弱地盤上における腹付け盛土施工を模擬した遠心模型実験, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014.7 (投稿中)
- 2) 工藤敦弘, 渡辺健治, 野中隆博, 小島謙一, 森川嘉之, 高橋英紀, 森誠二: 軟弱地盤上における腹付け盛土施工時の対策工効果の検討, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014.7 (投稿中)

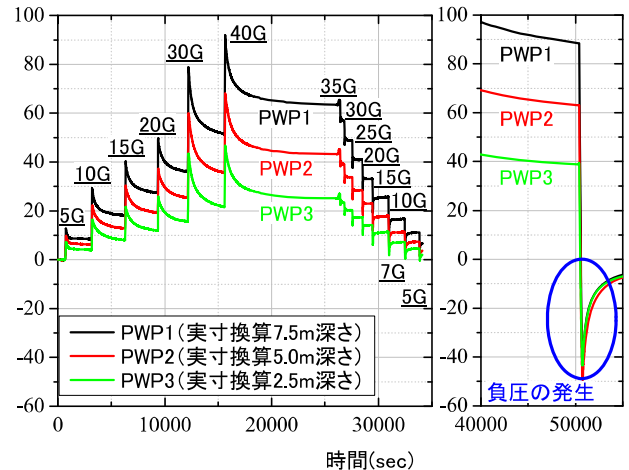


図-2 遠心模型実験における過剰間隙水圧の消散過程
(右：遠心加速度を急激に減少した場合)
(左：遠心加速度を段階的に減少した場合)

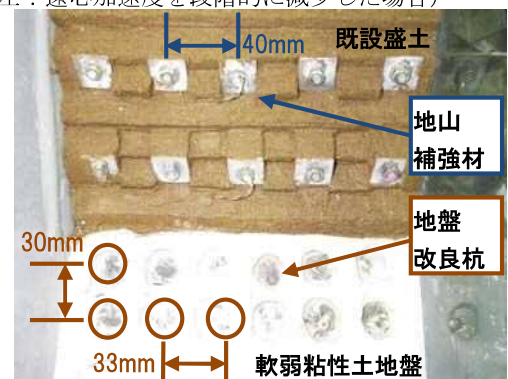


図-3 対策工設置状況