

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

軟弱粘性土地盤，腹付け盛土，遠心模型実験

鉄道総合技術研究所 国 ○渡辺健治 正 工藤敦弘
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
複合技術研究所 非 森 誠二

1.はじめに 軟弱粘性土地盤上の盛土に対して，線増工事のために腹付け盛土を施工する場合，軟弱粘性土地盤の圧密沈下やせん断変形に伴う既設盛土の沈下，さらには腹付け盛土前面地盤の隆起等が懸念される．鉄道盛土においては，長期間供用された単線盛土の複線化工事において腹付け盛土を施工する事例が多いが，その一方で地震時に腹付け盛土が弱点箇所として被災する事例も多いたとえ¹⁾．これは既設盛土と腹付け盛土が別時期に施工されるため一体性が低く，境界面が「水みち」の弱部になりやすいため，軟弱粘性土地盤の変形により境界面において変形しやすいためである．

このような変状を抑制するために軟弱粘性土地盤対策を施す必要がある．しかしながら腹付け盛土を施工する場合，鉄道盛土として供用されている既設盛土下の対策は容易ではないため，対策は腹付け盛土下に限定され，施工性・経済性に優れた対策工が求められている．

既往の軟弱地盤対策の研究は，新規に左右対称な盛土を構築する場合を対象としているものが多いが，腹付け盛土の施工を対象とした部分的な軟弱地盤対策の効果検討についての研究事例は少ない．既往の対策事例としては，腹付け盛土を施工する部分（既設盛土土尻部）において鉛直方向に直径 1m 程度の地盤改良杭を打設する人が多い（図 1 参照）²⁾．この場合，地盤改良杭は鉛直荷重だけでなく腹付け盛土に伴う水平荷重を受けるが，このような偏荷重を受ける地盤改良杭の挙動，対策工の効果については十分に解明されていない．例えば文献 3 においては，盛土下に打設した地盤改良杭には全体安定としての滑動変位と，改良体のせん断破壊だけでなく，改良体の曲げ破壊や改良体自身の転倒等の様々な破壊モードが複合的に発生する場合があると指摘されている．そのため，地盤改良杭に偏荷重が作用する場合，実務設計においては地盤改良杭の改良率を合理的に決定できない問題がある．

上記を踏まえ，著者らは，軟弱粘性土地盤上の盛土に腹付け盛土を施工した場合の軟弱粘性土地盤および既設盛土の挙動の評価，さらに偏荷重を受ける地盤改良杭の水平支持性能の評価を行うために系統的な遠心載荷実験を実施している．本研究では，そのうち対策工を施していない遠心載荷実験結果について報告する．

2.実験方法，載荷条件 図 2 に遠心模型実験に用いた粘性土地盤および盛土モデルを示す．遠心模型実験は最大 50G 場で実施するため，モデルは実際の寸法の 1/50 で作製している．軟弱粘性土地盤は，AX カオリンおよび MC クレーを乾燥重量比 1:1 で混合した材料に含水比 120% の状態になるよう水分調整し，十分に練り混ぜた試料を用いて作製した．

既設盛土は，最適含水比（19.8%）で調整した稲城砂を用い，締めめ密度比 90% で作製した．鉄道盛土として標準的な高さ 6.0m 程度を想定している．既設盛土モデルは型枠内で突き固めて作製した後に凍結させ，予備圧密の終了した軟弱粘性土地盤上に設置した．一方，腹付け盛土は，遠心場において砂降らし装置により構築する必要があるため乾燥砂を用いた．単位体積重量は，実施工を勘案し 21kN/m³ とし，豊浦砂とジルコン砂を乾燥重量比 1:1 で混合した材料を用いた．

実験は，（独）港湾空港技術研究所の所有する遠心模型実験装置 Mark II で実施した（有効回転半径：3.8m，最大積載質量 2.7t，最大遠心加速度 113G）．遠心実験は対策工を施工するケースに実験条件を合わせるために，①遠心場における既設盛土の自重による圧密試験（遠心載荷 1 回目，40G まで），②遠心場における腹付け盛土の施工試験（遠心載荷 2 回目，50G）の 2 回に分けて行った．実験方法の詳細については文献 4) を参照されたい．

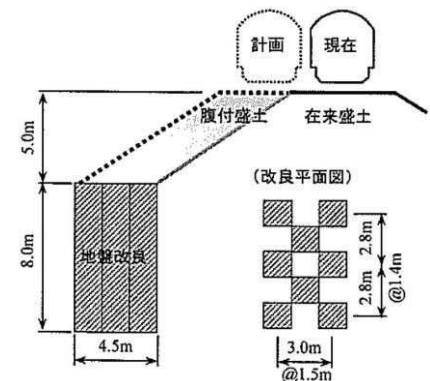


図 1 鉄道複線化工事における腹付け盛土に伴う地盤改良事例（文献 2 を引用）

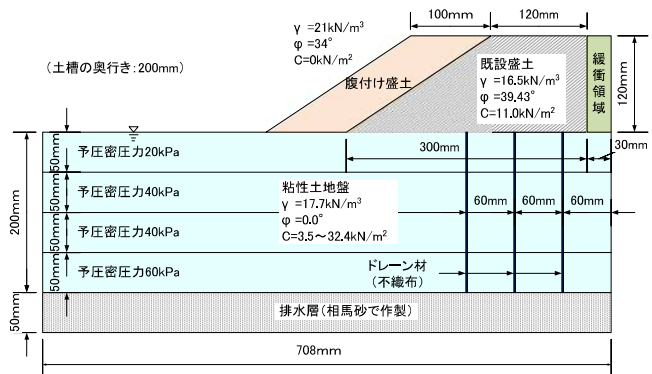


図 2 実験模型概要図

Centrifuge model test on construction of widening of embankment on soft clay: Kenji WATANABE, Atsuhiko KUDO, Takahiro NONAKA, Kenichi KOJIMA (Railway Technical Research Institute), Yoshiyuki MORIKAWA, Hidenori TAKAHASHI (Port and Airport Research Institute), Seiji MORI (Integrated Geotechnology Institute Limited)

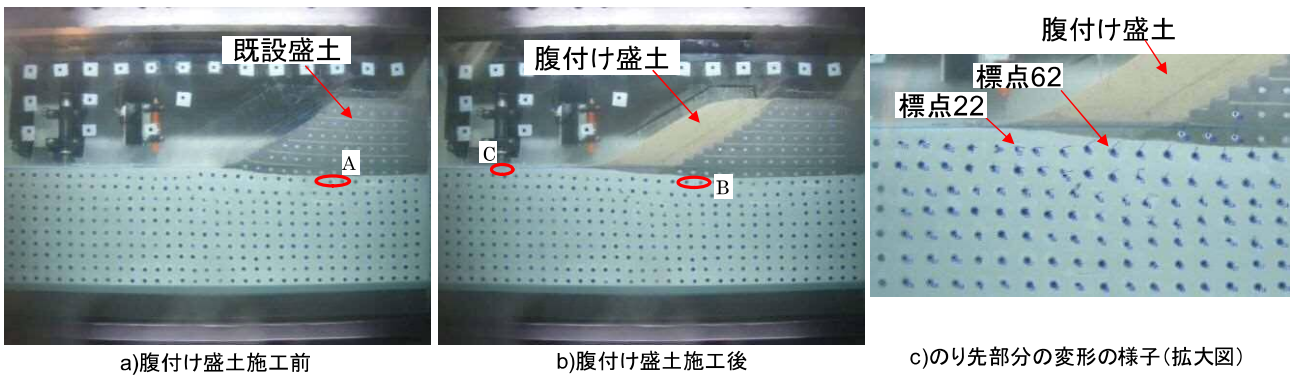


図3 実験模型概要図

3.実験結果および考察

3.1 既設盛土の自重による圧密（遠心载荷 1 回目，遠心载荷 2 回目：腹付け盛土施工直前）

既設盛土の自重により，特に既設盛土法肩直下の軟弱粘性土地盤が大きく沈下し（図 3a 中の A 点），既設盛土法尻方向に向かって弓なり状に変形した．一方，既設盛土前面の軟弱粘性土地盤には隆起等の変形は確認できなかった．既設盛土は 1 回目の遠心载荷（40G）で 18.1mm 程度沈下し，遠心载荷終了後に重力場に戻した時に 4.1mm 程度回復（膨張）したが，2 回目の遠心载荷（50G）により，さらに 11.0mm 沈下した．すなわち遠心载荷前から腹付け盛土の施工直前までで既設盛土は累積 25mm 程度沈下したこととなり，これは実寸換算で 1.2m 程度に相当し，長期間供用した鉄道盛土の累積沈下量に概ね整合する．

3.2 腹付け盛土の施工による軟弱地盤の変形（遠心 2 回目）

図 3b, c に遠心载荷による腹付け盛土施工試験結果を，表 1 に画像解析により算出した軟弱粘性土地盤の代表箇所の変位量を示す．図 3b より，腹付け盛土を含めた盛土体下の軟弱粘性土地盤の変形モードは，既設盛土の自重による圧密時と同様に弓なり状となり，特に上载荷重が大きい既設盛土のり先近傍（図中の B）での水平・鉛直変位量が大きく，腹付け盛土前面の軟弱粘性土地盤の表層部（図中の C）においては 2.7mm 程度の隆起が確認された．また，既設盛土天端の変位量が 1.0mm 程度沈下していることから，腹付け盛土の施工に伴い，既設盛土が連れ込み沈下していることが確認された．表 1 および図 3c から，腹付け盛土直下の軟弱粘性土地盤（標点 62）は，腹付け盛土施工に伴う即時変形で鉛直方向に 4.6mm 程度沈下し，水平方向に 4.8mm 程度押し出されるような変位が確認できた．即時変形後の圧密変形でも鉛直方向，水平方向共に即時変形と同方向に変位を続け，圧密変形での変位量を加算した累積変位量を実寸換算すると，鉛直方向に 420.0mm 程度沈下し，水平方向に 279.0mm 程度押し出されている結果が得られた（表 1a 参照）．このことから，軟弱粘性土地盤上で腹付け盛土施工をすることが，軟弱粘性土地盤に対して大きな影響を及ぼしていることがわかる．

また，腹付け盛土法尻付近の軟弱粘性土地盤（標点 22）においても，水平方向の変位については腹付け盛土直下の軟弱粘性土地盤と同様の変形モードを示すことを確認した（表 1b 参照）が，鉛直方向の変位については即時変形で 1.4mm 程度隆起するような変形モードが見られた．しかしながら，その後の圧密変形における鉛直方向の変位を加算した累積変位量の実寸換算値が 45.5mm 程度の沈下であり，腹付け盛土直下の標点 62 より小さいことから，鉛直方向の変形を抑制することを目的とした軟弱地盤対策を行う場合には，腹付け盛土法尻部より既設盛土法尻近傍で行った方が合理的であると考えられる．

4.まとめ 本研究では，軟弱粘性土地盤上の盛土に腹付け盛土を施工した場合の軟弱粘性土地盤および既設盛土の挙動を評価するための遠心载荷実験を示した．本論文では紹介できなかったが，対策工を模擬した遠心実験⁵⁾や L1 地震相当の振動実験も実施しており，これらの結果を踏まえ，より効果的で経済的な対策工の提案を行っていきたい．

参考文献 1) 日本国有鉄道盛岡工事局：十勝沖地震による鉄道盛土の被害に関する研究，1971.2 2) 山田孝弘，西本英二，藤本清克：山陰本線（京都～園部間）複線化工事，土と基礎，55-4，2007 3) Kitazume M. & Maruyama K.: External stability of group column type deep mixing improved ground under embankment loading, Soils and Foundations, Vol.46, No.3, pp323-340, 2006.6, 4) 田村幸彦，森誠二，工藤敦弘，渡辺健治，野中隆博，小島謙一，森川嘉之，高橋英紀：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，第 49 回地盤工学研究発表会，2014.7（投稿中），5) 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）

表 1 腹付け盛土施工に伴う軟弱粘性土地盤の変位量（上段：実験値，下段：実寸換算，単位：mm）

a) 腹付け盛土直下（標点 62）の変位量			
	即時変形	圧密変形	合計値
水平変位	-4.8 (-238.5)	-0.8 (-40.5)	-5.6 (-279.0)
鉛直変位	4.6 (230.0)	3.8 (190.0)	8.4 (420.0)
b) 腹付け盛土法尻（標点 22）の変位量			
	即時変形	圧密変形	合計値
水平変位	-5.6 (-277.5)	-0.8 (-42.0)	-6.4 (-319.5)
鉛直変位	-1.4 (-71.5)	2.3 (117.0)	0.9 (45.5)

* 水平変位は右向きが正，鉛直変位は下向きが正