

遠心力模型実験を用いた長期地盤変形要因の分析

Analysis of long-term soil Reduction factor using centrifugal force Model Tests

共通事業本部 地質部 不動 充
共通事業本部 地質部 鈴木 智之
共通事業本部 地質部 高橋 慶行

泥炭性軟弱地盤上に施工された河川堤防において、長期的な沈下や側方変位が多数確認されている。盛土に伴う泥炭性軟弱地盤の沈下は、弾性的な即時沈下、間隙水の脱水による一次圧密沈下、クリープ的な二次圧密沈下などに起因すると考えられており、沈下及び側方変位の予測は一般的な軟弱地盤と比べて困難で、未だ予測と実測値が一致しないことも多い。本稿は、このような地盤の沈下や側方変位の挙動を再現し、長期的な地盤の変形要因を考察する目的で遠心載荷装置を用いた遠心模型実験を試みたものである。

1 はじめに

北海道には、積雪寒冷地特有の泥炭性軟弱地盤が多く存在する。泥炭は、分解不十分な湿性植物の遺体が堆積してできたもので、その有機物含有量、圧縮性は極めて大きく、せん断強さは小さいなどの工学的特性を有する。一般に泥炭が表層部に堆積し、その下位に軟弱粘性土層が続くような地盤を泥炭性軟弱地盤という。盛土による泥炭性軟弱地盤の沈下は、弾性的な即時沈下、間隙水の脱水による一時圧密沈下、クリープ的な二次圧密沈下などに起因すると考えられており、沈下の予測は一般的な軟弱地盤と比べて困難で未だ予測と実測値が一致しないことも多いのが実態である。¹⁾

本稿は、泥炭性軟弱地盤上に盛土が施工されてから10年近く経過しているが、長期的に沈下及び側方変位が継続している場所に対して、遠心載荷装置を用いた遠心模型実験を行い、長期的な地盤の変形挙動を将来予測したものである。

2 遠心載荷装置

模型実験を実物大で実施する場合、規模が大きくなり実施が困難なため、縮小模型を用いて実施する。ただし、縮小模型を用いる場合、通常の重力場では、実物大の地盤と同様の応力状態を再現することが困難であることから、縮小模型に遠心加速度を作用させることで、実物大に相当する応力状態を再現することを可能としている。

遠心力載荷装置は、図1.1に示す仕様で、回転

腕（アーム）の先端に模型容器を装着し、動力用モータにより回転させることにより、遠心力を模型に作用させるものである。

本実験に際しては、（国研）土木研究所 寒地土木研究所で所有する遠心載荷装置を借受した。²⁾

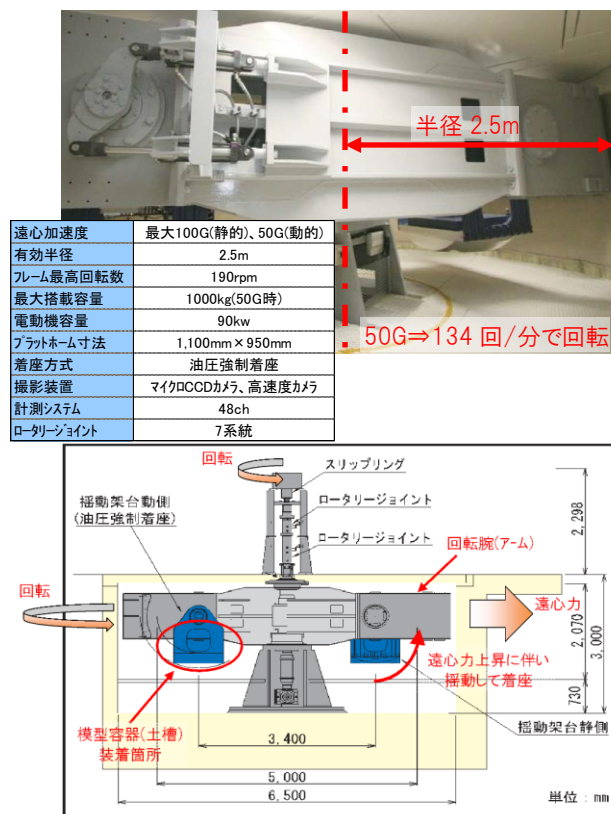


図1.1 遠心載荷装置概略図²⁾

3 縮小模型の作成

3.1 現地の土層構成

縮小模型を作成するにあたり、モデル化する現地の土層構成を整理した。現地の土層構成は、地表面より層厚 4.0m 程度の Ap 層（泥炭）が堆積し、その下位に層厚 2.0m 程度で As 層（砂質土）が堆積する。盛土は、必要盛土厚 H_t が 8.0m 程度となり、過年度調査による土層断面図からは、2.7m 程度の沈下が発生しているものと想定される（図 3.1）。

実験の対象土層は、沈下が卓越する Ap 層（泥炭）と、その下位に位置して、圧密沈下の排水層となる As 層（砂質土）とした。

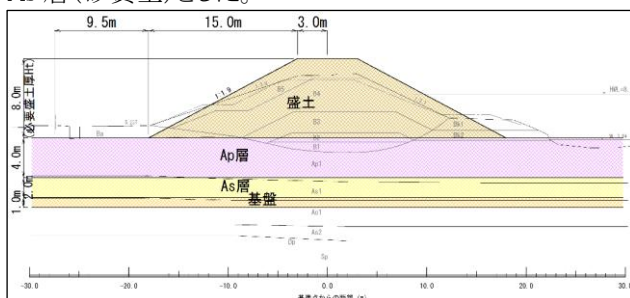


図 3.1 実験に用いる土層断面図

3.2 模擬泥炭の作成

遠心模型実験に向けて、土槽に投入する模擬泥炭を作成した。模擬泥炭は、以下に示す 3 ケースについて作成し、試験载荷として盛土後、1 時間程度 50G により遠心载荷を行い、沈下量及びすべり破壊の有無等から実験への適否を評価した。

(1) 腐植物寸法調整試料

現地の泥炭をミキサーで攪拌後、粒径効果※を考慮して、4.75mm ふりを通過した試料を用いて作成した。

※粒子寸法が実物の模型の縮尺と合致しないことに起因した影響。

【適用不可】泥炭の繊維分が乱されて繊維によるテンション効果がなくなったことで、地盤の強度が再現できずに盛土が破壊に至った。

(2) 粉末腐植物片による寸法調整

粒径効果を考慮して一定寸法(2~3 mm程度)に植物片が裁断可能となるように現地の泥炭を乾燥させ、裁断後、含水調整して作成した。

【適用不可】泥炭繊維に空気が入るため、脱気作業の際、敷設した泥炭が膨張することから十分な脱気が行えなかった。残存した空気のクッション効果で殆ど沈下を確認することができなかった。

(3) 実物（ブロックサンプリング試料）

現地でブロックサンプリングした泥炭を土槽の大きさに成形して用いた。

【適用可】基礎地盤の破壊は確認されず盛土载荷による圧密沈下及び圧密による泥炭の強度増加も

発生した。

以上のことから、模擬泥炭は現地の再現性の高い実物(ブロックサンプリング)を採用した。

3.3 縮小模型の作成

遠心模型に用いる縮小模型は 1/50 スケールとして作成した。

基礎地盤の作成は、各土層(基盤⇒As 層⇒Ap 層の順)を所定の層厚で敷設した(表 3.1)。基礎地盤は、脱気処理作業を行い、土槽内に残存する空気を除去し、飽和状態とした後に自重による圧密を再現するために 50G 場による自重载荷を行った。

盛土は、土槽外で最適含水比に調整した試料を締め整形し、凍結させた。その後、凍結させた状態で基礎地盤上に載せた。

また、遠心载荷時における盛土や地盤の沈下量及び変形量、間隙水圧を計測する目的で計測センサー(レーザー変位計、間隙水圧計)を設置した。

表 3.1 実験条件

土層名	記号	層厚(m)	材料	特記事項
築堤盛土	B	8.0	豊浦砂:カオリン=4:1	$\rho_s = 1.7 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比
泥炭	Ap1	4.0	不攪乱試料	$w_n = 550\%$ (採取時含水比)
砂質土	As1	2.0	豊浦砂	空中落下法により作成

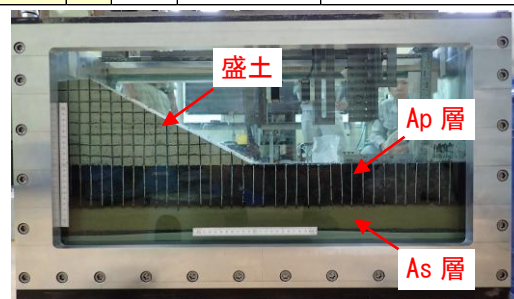


写真 3.1 実験土槽一般図の状況

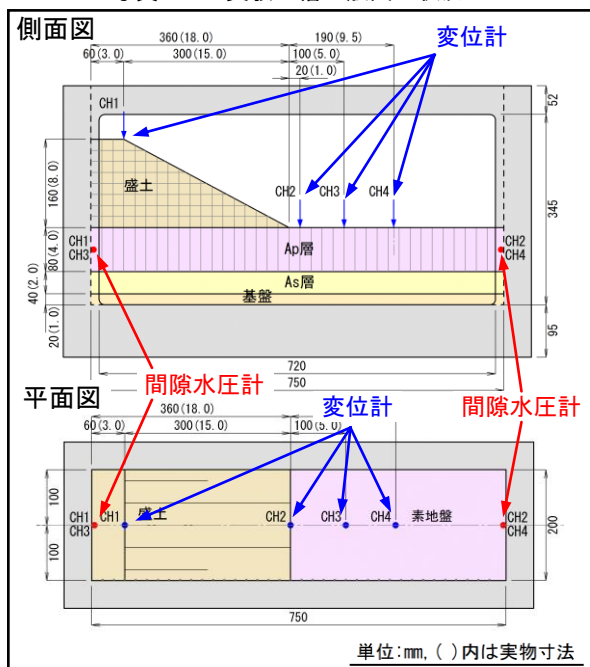


図 3.2 実験に用いる土層断面図

4 遠心載荷

実験は、現地の条件を勘案して、盛土施工後から将来3年後を目安として約14年間を再現させるように実施した。実験開始から急な載荷による模型の破壊を防ぐために10Gピッチで段階的に遠心載荷による荷重を増加させ、約20分で50Gまで上昇させた。50G到達後は、48時間(50G換算で約13.7年)連続載荷を行った。

実験の状況や沈下量及び間隙水圧の経時変化を図4.1に示し、以下に実験結果の概要を示す。

4.1 沈下量の経時変化

総沈下量(盛土圧縮量+泥炭沈下量)の経過を以下にまとめる。なお、()内の数字は50G換算による値を示す。

実験開始から10Gピッチ増加毎に1cm(50cm)沈下の進行が見られた。50G到達時点での沈下量は4.3cm(215cm)となった。50G到達後は年間0.1cm程度(5cm)の沈下の進行が見られ、48時間経過後(13.7年)の沈下量は、5.5cm(275cm)を計測した。

実験で求めた沈下量は、盛土の圧縮沈下が1.7cm(85cm)、泥炭の圧密沈下量が3.8cm(190cm)で総沈下量は5.5cm(275cm)となった。

4.2 間隙水圧の経時変化

10Gピッチで荷重を増加させる毎に盛土下の過剰間隙水圧が上昇し、その直後に消散が始まることを確認された。50G場到達後は徐々に過剰間隙水圧が消散する傾向が見られた。これは荷重による泥炭層(Ap)の圧密によるものと想定される。

4.3 側方変位

遠心載荷後の写真を写真4.1に示す。沈下及び側方変位の傾向としては、①鉛直方向への沈下が発生し、圧密作用による泥炭の強度増加が発生する。②盛土荷重が徐々に強度の弱い方向へ作用し、泥炭が側方流動する傾向をみせる。③泥炭の側方流動に連動して盛土法面がはらみ出す傾向をみせることが確認された。

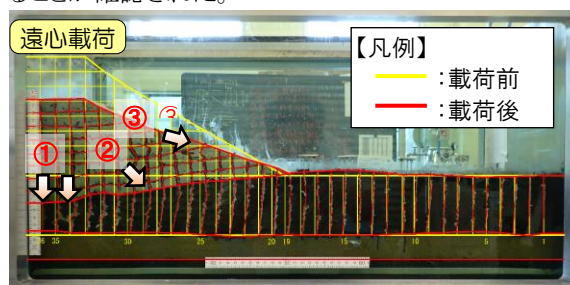


写真 4.1 遠心載荷後写真

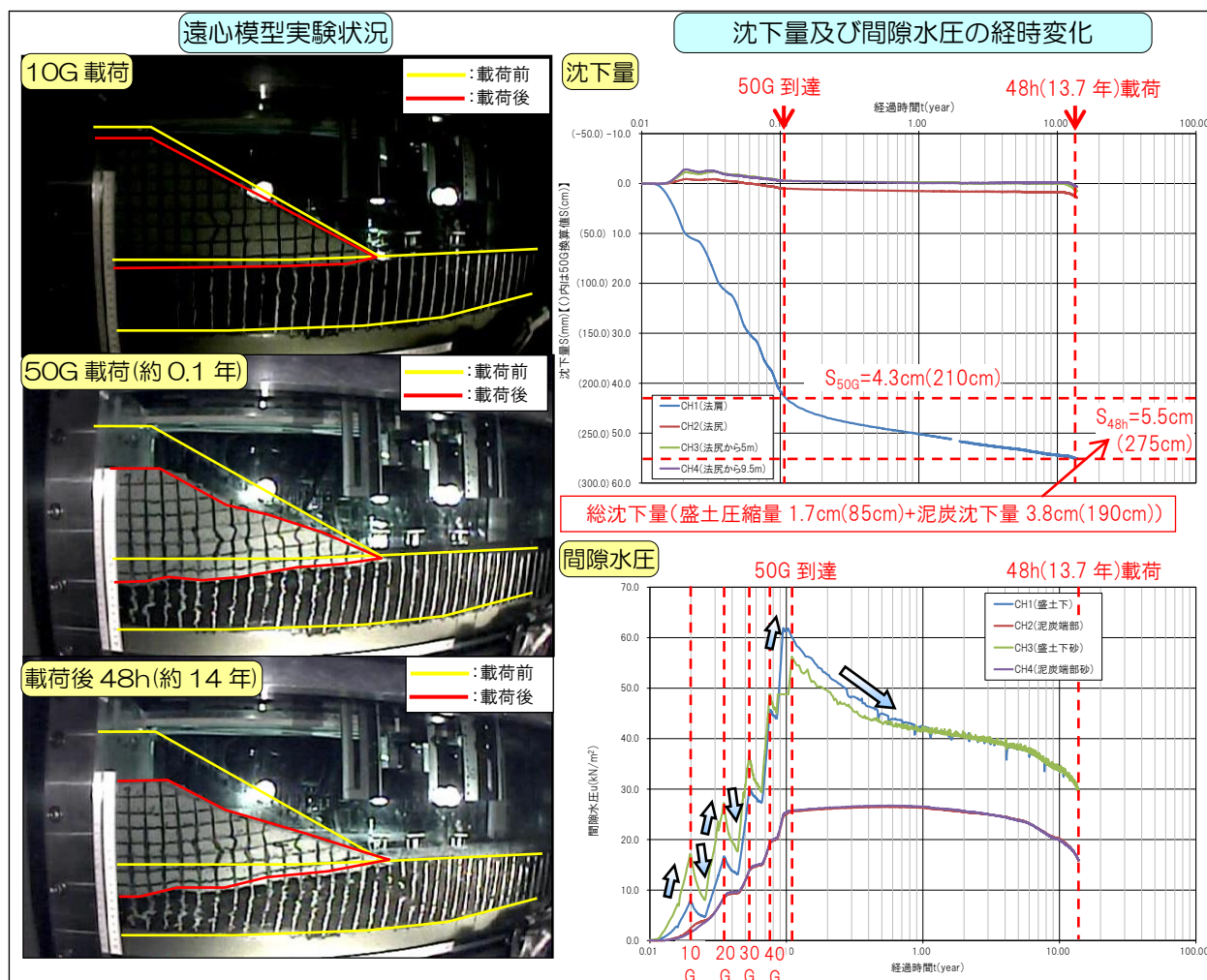


図 4.1 沈下量及び間隙水圧の経時変化

5 考察

5.1 沈下量

現地では、盛土施工完了後 2 年～9 年後の期間で堤防天端の測量が実施されている。現地の測量結果による沈下の形状を FEM 解析により再現して、将来の沈下量予測の精度向上を試みた。なお、FEM 解析による再現はパラメータを任意に変動させてトライアル計算を行ったものだが、本稿では省略する。

図 5.1 に FEM 解析値と実測値、本実験で得られた沈下量の比較を示す。横軸は、測量開始時を 0 とする。測量結果の存在する 7 年時の値で比較を行ったところ、実測値 16.8cm に対し、実験値が 12.7cm (再現率 76%)、解析値が 14.3cm (再現率 85%) となり、3 者の相関性が比較的良好な結果となった。

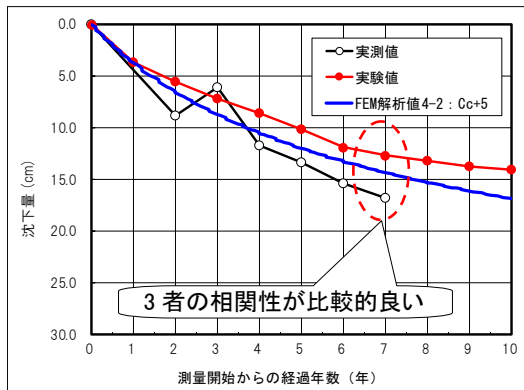


図 5.1 FEM 解析による変形図

この結果を基に 50 年後の沈下量を予測した結果を図 5.2 に示す。実測値については双曲線法、実験値については、双曲線法と logt 法を用いた。現時点 (9 年) から、50 年後の沈下量の比較の結果、実測値は 15.1cm、実験値の予測値が 20 cm 程度、解析値の予測値が 15cm 程度と、ほぼ同様の沈下量となった。

5.2 変形挙動

遠心载荷実験、FEM 解析、現地状況を図 5.3 に整理した。遠心载荷実験では、遠心载荷中の地盤の圧密に伴い、盛土直下の泥炭が強度増加することにより、泥炭層 (Ap) が側方流動して盛土ははらみ

出すことが確認されていた。FEM 解析でも同様の傾向が見られ、①泥炭の圧密沈下、②泥炭の側方流動、盛土法面のはらみ出す傾向が確認された。現地についても、同様の傾向が確認されていることから、遠心模型実験及び FEM 解析結果と現地が概ね同様の挙動を示すことが確認できた。

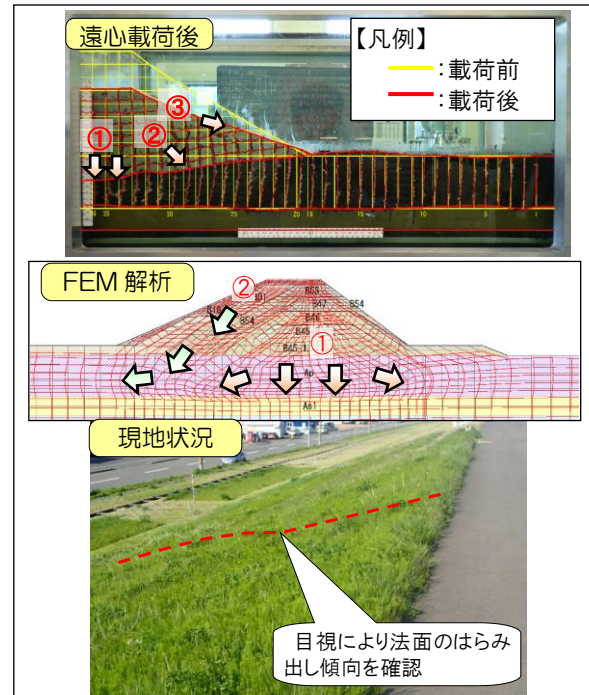


図 5.3 現地堤防法面状況

6 おわりに

本稿は、泥炭性軟弱地盤上に盛土した河川堤防の変形挙動について、遠心模型実験による再現を試みたものである。結果として、遠心模型実験による結果と実現象の再現が一致し、将来予測が可能となった一方で、模擬泥炭及び脱気・排水等の工学的条件については、改善の余地があるものと考えられた。今後、遠心模型実験を実施する際は、上記について改良を試みたい。

[参考文献]

- 1) 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」/H29.3
- 2) 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所「遠心力载荷装置パンフレット」

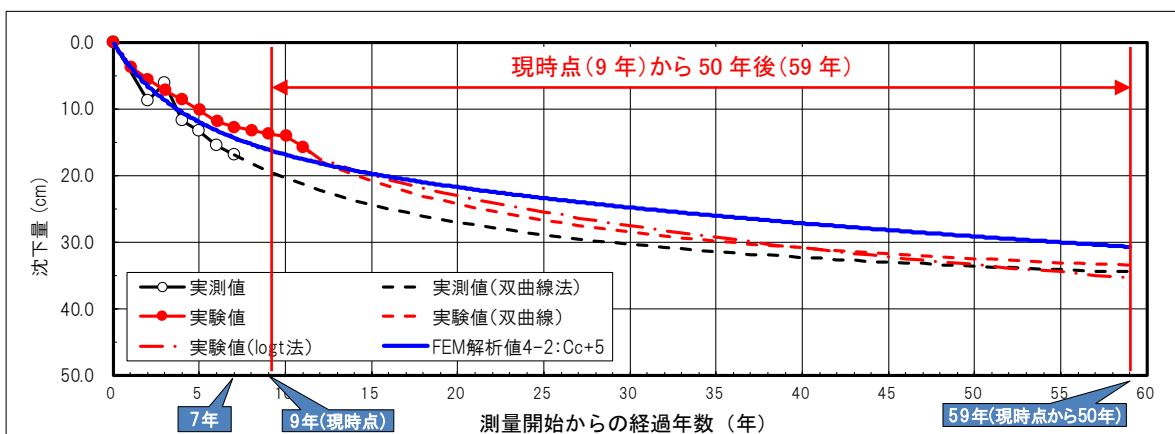


図 5.2 沈下量及び間隙水圧の経時変化