

盛土拡幅が既設盛土および周辺地盤に与える影響とその対策工

森 拓 雄 高 橋 真 一
鳥 井 原 誠

Ground deformation caused by widening embankment and measures to prevent it

Takuo Mori Shinichi Takahashi
Makoto Toriihara

Abstract

An increasing number of embankments are being renewed. The authors have studied the effects of widening embankments on the pre-existing embankments and neighboring structures, and measures to prevent deformations. This paper describes results of centrifuge model tests that simulate deformation prevention measures and their numerical analysis. An embankment was built on a normal consolidated soft clay foundation as an existing embankment. This embankment was widened after the original one's consolidation. Two methods were tested as deformation prevention measures. Geo-textile was spread on the ground surface. Laggings were driven and were tied by steel rods at the ends of the original and widened slop. The results showed that both measures reduced deformation, such as settlement and lateral movement, and the numerical analysis accurately simulated the centrifuge test.

概 要

近年、土木構造物のリニューアル工事が盛んになってきており、道路や鉄道あるいは宅地などの既設盛土に、さらに盛土を追加する事例が増加傾向にある。そこで、拡幅盛土による既設盛土への影響（沈下、側方変位など）を、遠心模型実験を用いて調査し、さらに、その対策について検討を行なった。遠心力場で、粘土地盤に既設盛土の造成、続いて盛土拡幅を行ない、軟弱地盤の挙動を検討した。その結果、拡幅盛土荷重によって既設盛土がとも下がり沈下をすることを確認した。これに対し、対策工として、拡幅盛土下部にシートを敷設する方法、矢板とタイロッドを組み合わせた方法を適用すると、その両者で変状抑制効果が認められた。また、数値シミュレーションも合わせて行ない、遠心実験を再現することができた。

1. はじめに

近年、土木構造物のリニューアル工事が盛んになってきており、道路や鉄道あるいは宅地などの既設盛土に、さらに盛土を付加する拡幅工事が増加傾向にある。これまで、遠心載荷装置を用いて、軟弱地盤上に盛土を造成した場合の粘性土地盤の挙動¹⁾や、地盤改良²⁾あるいは矢板打設などによる変形対策工法に関する数多くの研究がなされている。しかし、既設の盛土に、拡幅盛土を付加した場合の、軟弱地盤の挙動に関する研究は少ない。そこで今回、拡幅盛土に関する遠心載荷模型実験およびその数値シミュレーションを行った。さらに、対策工法の効果についても、遠心載荷模型実験および数値シミュレーションを実施し、無対策の場合と比較した。対策工として、Table 1およびFig. 1に示す、盛土の拡幅部分にシートを敷設する方法、既設盛土および拡幅盛土法尻に矢板を打設しタイロッドで結束する方法、の2つについて検討した。

Table 1 実験ケース
Model Condition

実験ケース	モデルの仕様
1	無対策
2-1	対策工 ; シート敷設
2-2	対策工 ; 矢板+タイロッド

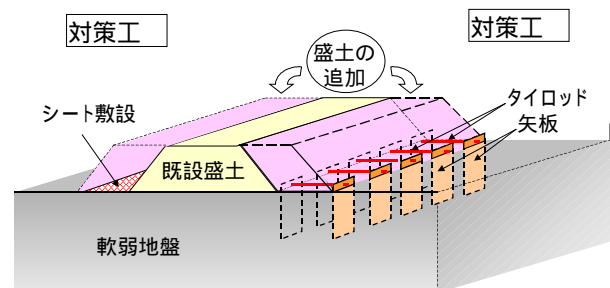


Fig. 1 拡幅盛土による既設盛土の変状防止対策
Geo-textile Reinforcement
& Lagging with Steel Rod

2. 実験概要

モデルは、Fig. 2に示すように横断面を対象とした。土槽に、液性限界の1.5倍にあたる含水比43%に調整した粘性土（カオリン系工業用粘土; Table 2）を投入して、圧密圧力60 kN/m²で予備圧密を行い、さらに、遠心加速度50Gで6時間の自重圧密を行った。粘性土の厚さは26cmで、実物に換算すると13mに相当する。自重圧密終了後、一旦、遠心载荷装置を停止させ、Photo 1に示す盛土装置を設置した。再び装置を運転し、遠心加速度を50Gで維持したまま、粘土地盤上に既設および拡幅盛土（高さ8cm、実物換算4m）を造成した。対策工を施すモデルについては、シート敷設は地盤の自重圧密終了時に、矢板打設とタイロッドによる結束は既設盛土造成終了時の遠心装置停止時に行なった。計測は変位計、間隙水圧計、土圧計のほか画像センサーを用いた。画像センサーはPhoto 1に示した地盤内に設置した標点の移動量を、土槽側面のアクリル板越しにCCDカメラの映像でリアルタイムに座標値に変換し、地盤の挙動を調査できる。

3. 対策工のモデル化

3.1 シート敷設

シートは模型用に縮尺した厚さ0.6mmのジオグリッドを使用した。粘土地盤の自重圧密終了後、遠心载荷装置を停止させ、Photo 2に示すように拡幅盛土施工予定位置にのみシートを敷設した。再び、遠心载荷装置を連続運転し、既設盛土、続いて拡幅盛土の施工を行なった。なお、拡幅盛土の施工は、既設盛土による沈下の収束が確認できた4時間後に行なった。

3.2 矢板とタイロッドの併用

矢板モデルは、遠心力場で型鋼矢板の剛性に相当する、厚さ5mmのアルミ板を使用した。根入れ長は、後述する無対策の実験結果(Fig. 12)をもとに、すべりの位置を通るように13cmとし、また、延長方向に対しては、矢板幅3cm - ブランク2cmの「歯抜け」施工とした。自重圧密・既設盛土による圧密終了後、一旦、遠心载荷装置を停止させ、Photo 2に示すように、既設盛土法尻および拡幅する盛土の法尻にあたる位置に専用ガイドを用いて、矢板の打設を行なった。続いて、矢板をタイロッドで結束し、再び、遠心载荷を行いながら、拡幅盛土の施工を行なった。計測は、3.1と同様に画像センサーを用いた変位計測のほか、矢板およびタイロッドに貼ったひずみゲージで、曲げひずみおよび軸ひずみを計測した。

4. 実験結果

4.1 盛土造成による軟弱地盤の挙動（無対策）

4.1.1 既設盛土の造成

約20秒（実物換算で35時間）で盛土の造成を行った。

Fig.3, 4に、盛土開始からの5分間の鉛直変位と水平変位の経時変化を示す。鉛直変位は盛土開始直後から隆起し始め、法尻付近が大きく、2.0mm程度であった。水平変位も盛土開始とともに増加し、盛土完了後も増加し続けて

Table 2 粘土試料の性質

Property of Clay

土粒子の密度(g/cm ³)	s	2.649
塑性限界(%)	P	18.8
液性限界(%)	L	28.9
塑性指数	I _p	10.1
圧縮指数	C _c	0.18

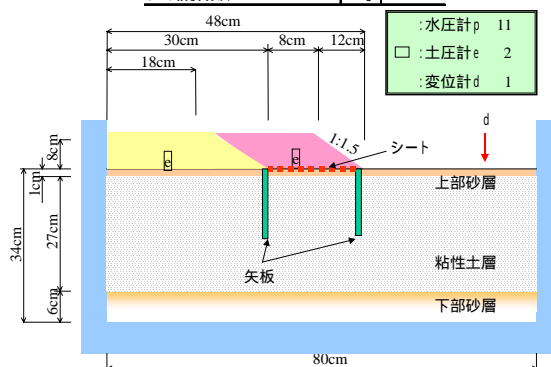


Fig. 2 模型断面

Model Cross Section

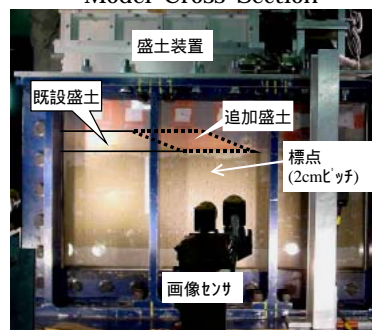


Photo 1 盛土作製装置および画像センサー
Embankment Device
& Visual Deformation Transducer

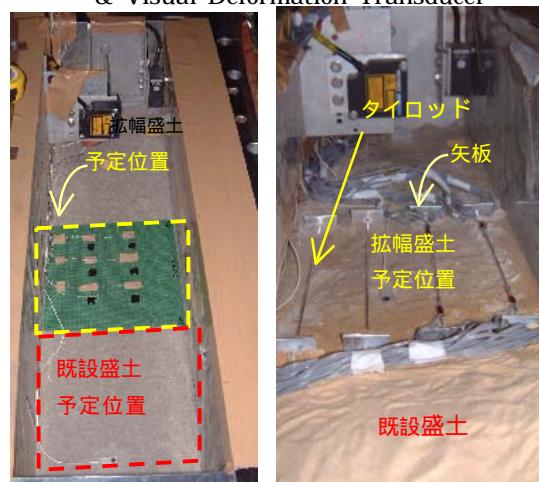


Photo 2 拡幅盛土による既設盛土の変状防止対策
Deformation Reduction Measures by
Widening Embankment

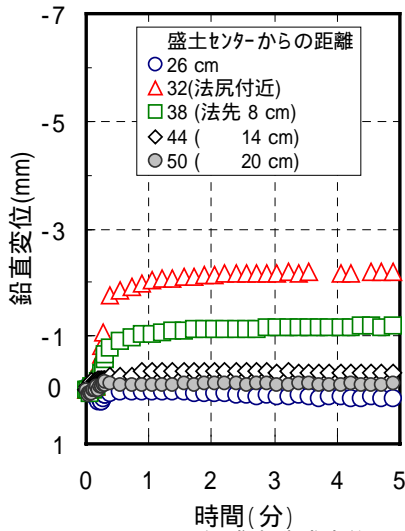


Fig. 3 既設盛土造成直後の鉛直変位

Time History of Vertical Deformation After Adding to Embankment

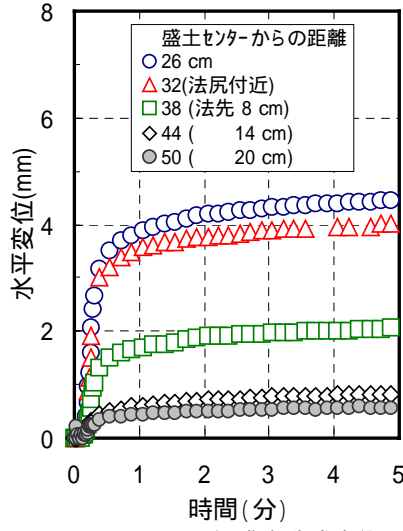


Fig. 4 既設盛土造成直後の水平変位

Time History of Horizontal Deformation After Adding to Embankment

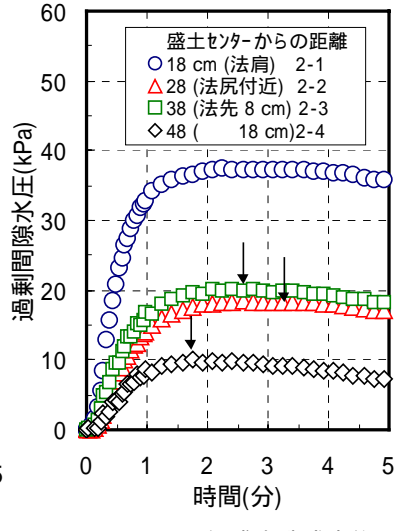


Fig. 5 既設盛土造成直後の過剰間隙水圧

Time History of Excess Pore Pressure After Dumping to Embankment

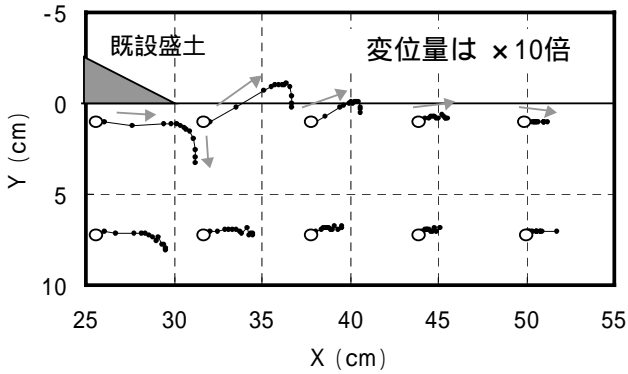


Fig. 6 既設盛土造成にともなう軟弱地盤の変位 Ground Locus by Dumping Embankment

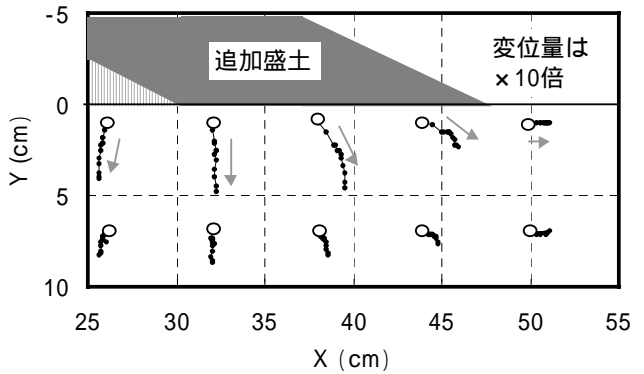


Fig. 8 拡幅盛土造成にともなう軟弱地盤の変位 Ground Locus by Adding Embankment

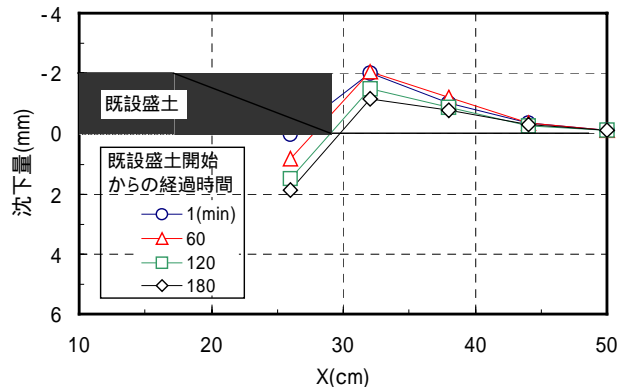


Fig. 7 既設盛土造成にともなう沈下分布(粘性土層天端) Settlement Distribution by Dumping Embankment

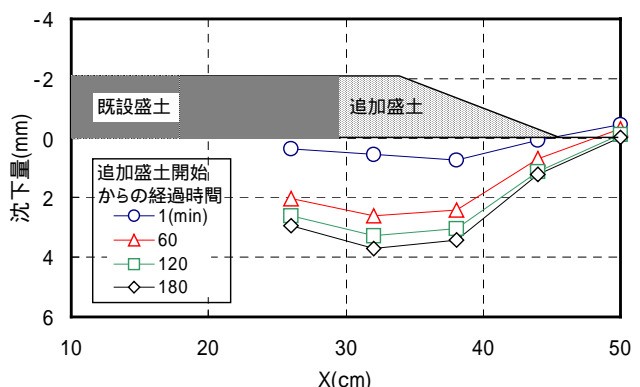


Fig. 9 拡幅盛土造成にともなう沈下分布(粘性土層天端) Settlement Distribution by Widening Embankment

いる。

Fig. 5には、過剰間隙水圧の経時変化を示す。過剰間隙水圧は、盛土終了後も上昇し続けるものの、盛土開始

から約1~3分でピークを示し、その後は消散する傾向にある。隆起が発生している部分に関して、ピークを示す時間は、法尻から遠ざかるほど早い。

Fig. 6に標点の軌跡を示す。盛土開始とともに水平変位が鉛直変位を卓越して発生している。これは、せん断変形に伴う側方流動が発生したものと考えられる。Fig. 7には粘土地盤天端の沈下分布を示したが、法先2cm付近で急激に隆起している。

4.1.2 拡幅盛土の造成

既設盛土造成にともなう沈下が収束することを確認できた約6時間経過後に拡幅盛土の造成を行った。Fig. 8に地盤内の標点の軌跡を示す。拡幅盛土部分から放射状に変位が発生している。既設盛土の法面部分（拡幅盛土の左側）では、既設盛土方向（左側）への水平変位が発生しており、拡幅盛土の既設盛土への影響が観測された。Fig. 9には、粘土地盤天端の沈下分布を示したが、 $X = 30 \sim 40\text{cm}$ 付近を中心に、沈下量が多くなっており、既設盛土の法面部では沈下が小さい。

Fig. 10には遠心実験終了後、既設盛土中央直下（サンプルA）および拡幅盛土の法先から30cm離れた地点（サンプルB）の2ヶ所で粘土地盤のサンプリングを行ない、一軸圧縮強度試験および簡易ベーンせん断試験（Photo 3；直径25mm、一枚の羽の大きさ7.5mm × 6mmが8枚）を行った結果を示す。サンプルAのほうが、盛土による上載荷重の影響で一軸、ベーンとも強度が大きく、その傾向は、深度が浅くなるほど明確になっている。

4.2 シート敷設の効果

Fig. 11に、拡幅盛土法肩直下で粘性土地盤の天端に当たる部分の、拡幅盛土開始直後からの、画像センサーによる鉛直変位の経時変化を示す。約20秒で盛土の造成を行ったが、盛土高の上昇とともに、沈下が発生し、約4時間で収束した。無対策とシートを敷設した場合を比較すると、シートを敷設した場合は無対策の約60%程度であった。

一方、水平変位は、Fig. 12に拡幅盛土法肩直下の深度分布を示したが、無対策の場合は2.6mmの水平変位が発生したのに対して、シートを敷設した場合は0.6mmしか発生しなかった。Fig. 13には沈下の平面分布を示すが、法先で、無対策の場合は隆起が発生したのに対し、シートを敷設すると発生しなかった。このことから、シートを敷設することでせん断変形を抑制する効果が期待できることが分かる。

4.3 矢板とタイロッドの併用

地中変位に関して、Fig. 11に沈下量の経時変化を示した。無対策と比較して、盛土造成時の沈下量は差が見られないが、圧密終了時の沈下量は無対策の約70%程度であった。また、水平変位は、歯抜け部分中央で最大値を示していると考えられるが、Fig. 12に示す遠心载荷中の水平変位は0.3mm程度で、実験終了後に矢板の変位を計測した結果でも、ほとんど変位は見られなかった。Fig. 13に沈下分布を示したが、沈下量は、シート工法の場合よりも大きい。これは矢板 + タイロッド工法の縁切り効果

により、拡幅盛土荷重による沈下が、拡幅盛土直下に集中するためと考えられる。

Fig. 14にタイロッドの軸ひずみの経時変化を示す。拡幅盛土の造成とともに、張力が増加し、盛土完了後は漸増している。Fig. 15には矢板の曲げひずみの深度分布を示す。拡幅盛土法尻矢板は、拡幅盛土開始直後、土圧が作用し、さらにそれに抵抗するためタイロッドに張力が発生している様子が分かる。ピークは矢板上部より4cm付近で発生している。一方、既設盛土法尻の矢板曲げひずみも、盛土の施工とともに増加し、盛土完了直後は、



Photo 3 簡易ベーンせん断試験器
Portable Vane Shear Meter

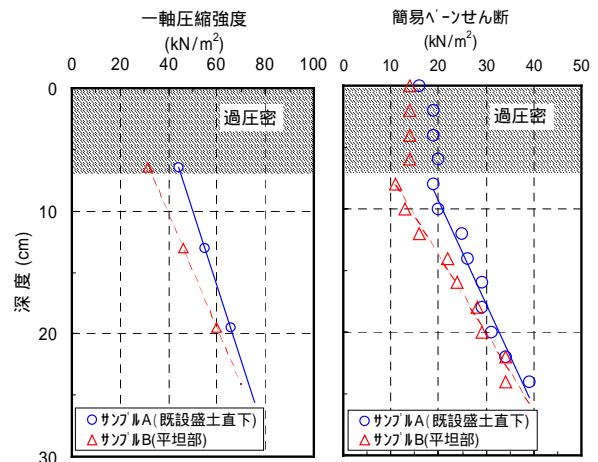


Fig. 10 盛土後の強度
Ground Strength after Embankment
盛土開始からの時間 (分)

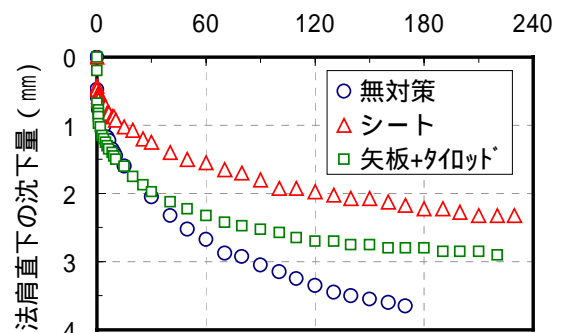


Fig. 11 各ケースでの法肩の沈下
Settlement at End of Sloop

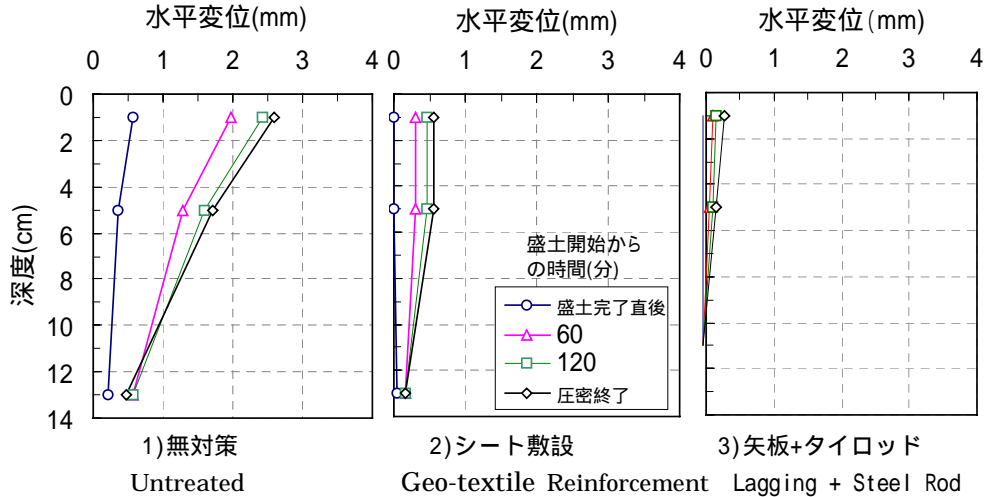


Fig. 12 軟弱地盤の水平変位

Vertical Distribution of Horizontal Ground Deformation

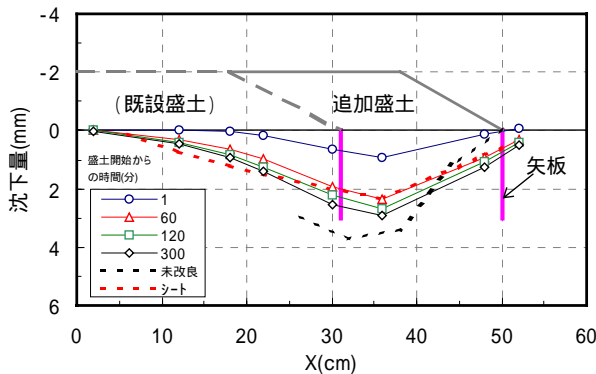


Fig. 13 変位防止対策工の効果 (沈下分布)

Effect of Measures (Settlement Distribution)

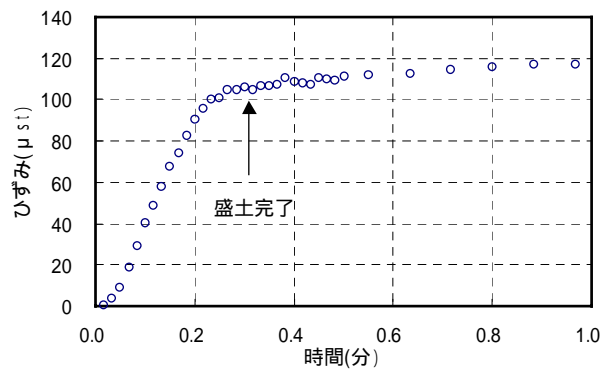


Fig. 14 タイロッドの軸ひずみ経時変化

Axial Strain of Steel Rod

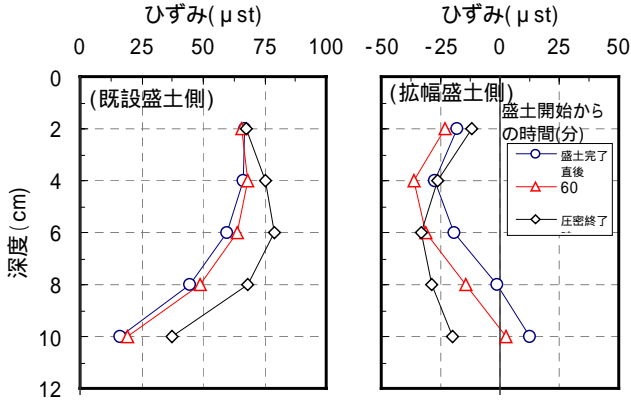


Fig. 15 矢板の曲げひずみ (計測結果)

Bedding Strain of Lagging

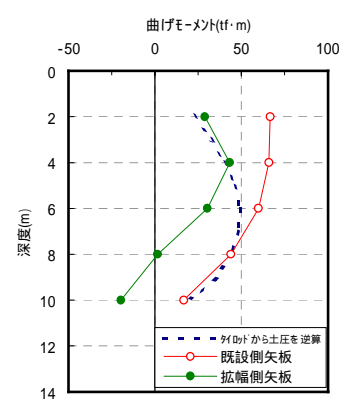


Fig. 16 矢板の曲げモーメント

Bedding Moment of Lagging

深度が浅いほどひずみ大きい。これは拡幅盛土法尻側の矢板が受ける土圧にタイロッドが抵抗しているためで、矢板が支持層にまで達していないくても、「控え矢板」としての機能を果たしていると考えられる。Fig. 16にタイロッドの張力から土圧を逆算して求めた矢板の曲げモーメントと、矢板の曲げひずみから求めた曲げモーメントの比較を示す。既設盛土側・拡幅盛土側両方の矢板とも、タイロッドの張力を考慮して求めた曲げモーメントと比較的一致している。

5. 数値シミュレーション

実験で有効な変位抑止効果が認められた対策工 (矢板+タイロッド) に関して数値解析を行い、その挙動を確認すると共に、根入れ長さの効果について考察を行った。

地盤モデルは、粘性土層は弾塑性モデル (関口・太田モデルDAC SAR⁷⁾), 粘土層上部のサンドマットおよび盛土は弾性体である。載荷盛土は遠心模型実験の盛土施工工程にあわせて既設盛土と拡幅盛土を要素追加し、盛

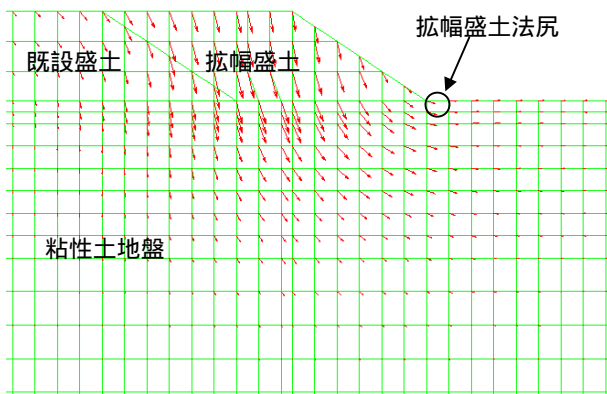


Fig. 17 盛土に伴う変位 (無対策)
Deformation by Widening Embankment

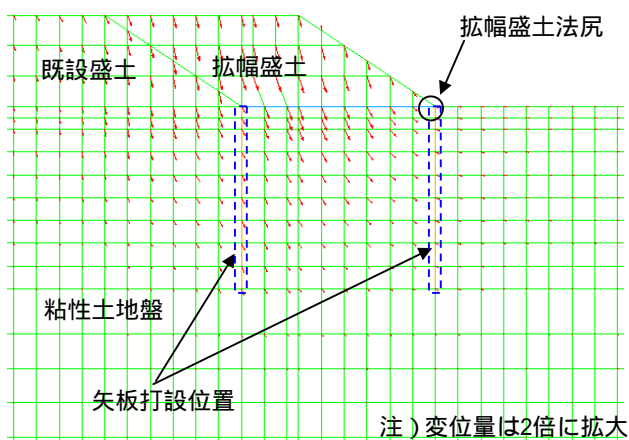


Fig. 18 拡幅盛土に伴う変形(矢板+タイロッド)
Distribution of Deformation by
Widening Embankment

土自重を与える方法で模擬した。

Fig. 17は、無対策における拡幅盛土載荷以後の変位ベクトルである。最大変位は法肩付近で示し、水平変位は小さく沈下大きい。既設盛土域では拡幅盛土荷重による沈下は生じているものの水平変位は小さい。これに対して拡幅盛土法尻部では盛土荷重が小さいため沈下量は小さいものの水平変位が大きい。

Fig. 18は、対策時の拡幅盛土にともなう変形である。無対策に比べ水平変位、沈下ともに全体的に小さくなっており、矢板打設の効果が認められる。最大変位量は、遠心実験と同じく拡幅盛土法肩直下付近で発生している。水平変位は無対策10cm、対策7cmを示し、実験結果で得られた対策効果をほぼ表わしている。

Fig. 19は、矢板打設長さを変化させた解析を行い、矢板打設長さとの関係を示したものである。水平変位量は、矢板長さに応じて減少するが深いほどその効果の割合が低下する傾向にある。また、沈下量は、浅い打設長さでは効果が現れず、解析条件では7m以深の打設がより有効となっている。変位抑制目標に応じた改良仕様を適用することで品質目標を考慮した最適な対策工法の適用が可能であることが確認された。

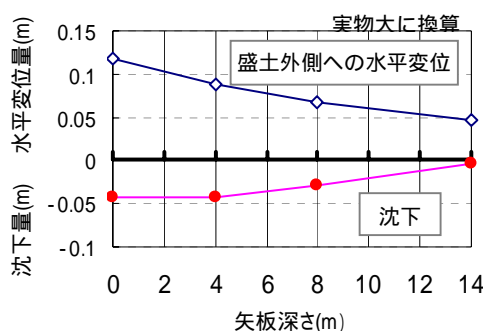


Fig. 19 矢板根入り長さと変位抑止効果
Effect of Lagging

6. まとめ

今回、地中内の変位を観測することで、拡幅盛土の造成が既設盛土に影響を与えることが確認できた。また、拡幅盛土によって変位を防止する対策工として、2つの方法を検討した結果、シート敷設、矢板+タイロッドの両者とも、せん断変形を防止し、拡幅盛土の鉛直変位を低減する効果が確認できた。特に矢板+タイロッドは、「縁切り効果」により、既設盛土および周辺地盤への影響を少なくできる。また、矢板の根入れを支持層に到達させなくても、あるいは、延長方向に対して歯抜け施工を行っても、対策効果が得られることが確認できた。今後、経済性を考慮し、最も有効な対策工の組合わせを検討するとともに、簡便な設計法の確立を行う必要がある。

参考文献

- 1) 長沼, 他: 遠心力載荷装置を用いた盛土の建設, 第18回土質工学研究発表会, pp.843-844, (1983)
- 2) 北詰, 他: 低改良率で改良された杭式深層混合処理地盤の鉛直支持力, 港湾技術研究所報告, 第38巻3号, pp.181-197, (1999)
- 3) 森, 高橋, 鳥井原: 盛土の沈下・リバウンドを模擬した遠心模型実験, 第36回地盤工学研究発表会, pp.1441-1442, (2001)
- 4) 森, 高橋, 鳥井原: 軟弱地盤上の盛土拡幅を模擬した遠心模型実験, 第37回地盤工学研究発表会, pp.1305-1306, (2002)
- 5) 梅崎, 他: 矢板を用いた地盤変状防止工に関する模型実験, 地盤工学会「土と基礎」, pp.47-52, (1992. 5)
- 6) 森, 高橋, 鳥井原: 盛土拡幅にともなう地盤変状を抑制する対策工の遠心模型実験, 第38回地盤工学研究発表会, pp.1303-1304, (2003)
- 7) Iizuka, A and Ohta, H: A determination procedure of input parameter in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.71-87, (1987)