

格子状補強枠を有するシートを用いた盛土構造物の液状化対策

パレスシート工法による不同沈下の軽減

岡本道孝・小原隆志・北本幸義

筒状織物内にモルタルを充填した格子状補強枠によって高い剛性を実現した地盤の表層安定処理シート（パレスシート工法，NETIS No. KK-090002-A）を開発し，その用途展開について検討を進めている。このシートは軟弱地盤における路床補強や支持力対策に適用されてきたが，その地盤補強効果は液状化によって生ずる不同沈下の抑制にも寄与できるものと期待される。本報では，この格子状補強枠を有するシートを液状化地盤上に建設される盛土の補強に用いた際の対策効果に関して報告する。

キーワード：液状化，不同沈下，ジオシンセティクス，表層安定処理，遠心模型実験

1. はじめに

軟弱地盤上での覆土工事では，覆土に先立ち，基礎地盤の安定性や作業性の確保を目的としてジオシンセティクスを用いた表層安定処理が実施されることがある。特に軟弱な基礎地盤で不同沈下によるシートの破断などが懸念される場合は，シート上に竹枠を格子状で組み覆土荷重の分散を図る工法（竹組シートもしくはバンブーネット工法）が古くから利用されてきた¹⁾。本報で紹介する格子状補強枠を用いたシート（以下，格子状補強シートとする）による表層安定処理工法²⁾は，この竹組シート工法に着想を得つつ，更なる発展を目指したものであり，竹材の代わりに格子状に配置した筒状織物（ジャケット）にモルタルを充填して格子枠を形成することを特徴としている（図-1）。この工法の補強原理は，ジャケットと土木シートによる荷重分散効果，格子枠内に施工された粒状材料のせん断変形の拘束効果³⁾として考えられており，これま

で仮設道路の路床⁴⁾や大型クレーンの作業ヤード⁵⁾などへの適用実績がある。

格子状補強シートは，土木シート，ジャケットを地盤上に人力で敷設し，直径10 cm程度のジャケット内にモルタルを充填して施工する（図-2）。注入モルタルは専用品もあるが，市中の工場から購入したモルタルに流動化剤などを後添加して製造することもできる。日当たり施工量は，基礎地盤上の作業性や注入モルタル量に応じて計画する必要があるが，これまでの実績によればシートの敷設からモルタルの注入まで200～500 m²/日である。シート上部の盛土は，注入したモルタルが十分な強度を発現する注入3日後に開始することを標準としている。また，特殊機械を使用せずに施工できることも当工法の特長である。

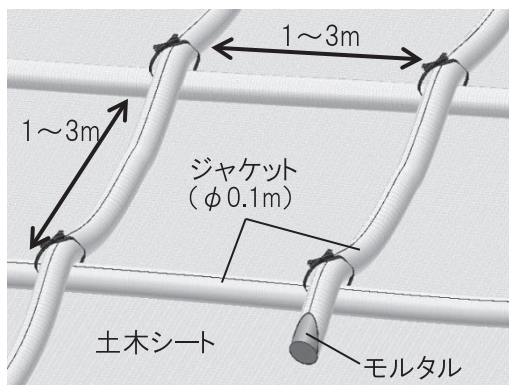


図-1 格子状補強シート

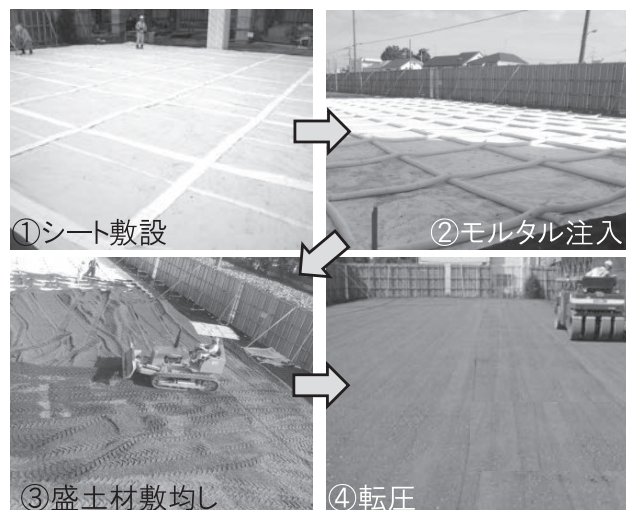


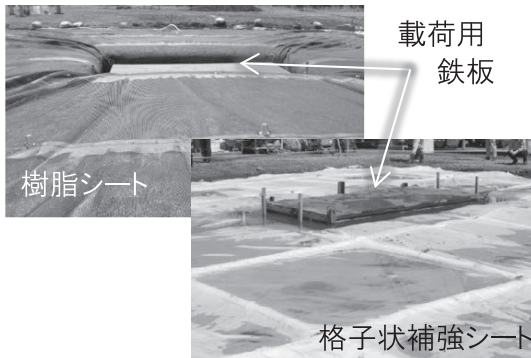
図-2 格子状補強シートの施工手順

2. 液状化対策効果の検討

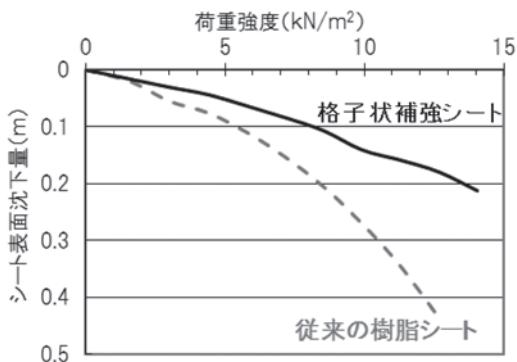
図一3は超軟弱地盤（ベーンせん断強さ 1 kN/m^2 ）上での荷重実験の状況で、一般的な樹脂シートと格子状補強シートの補強効果の比較を行ったものである⁶⁾。荷重～沈下関係を図一4に示す。この結果から格子状補強シートでは格子枠の荷重分散効果によって沈下量が低減していることがわかる。このような超軟弱地盤では覆土に伴う不同沈下によってシートが破断するなどの問題が発生することがあり、格子状補強シートはこのような現象の防止を主目的として開発されたが、この補強効果は液状化に起因する不同沈下対策にも適用可能と考えられる。そこで液状化現象に対する格子状補強シートの補強効果を検証するため、遠心模型実験とFEMによる変形解析を実施した。

(1) 遠心模型実験⁷⁾

地盤の力学挙動は応力レベルに依存するため、小さな模型を用いた実験で確認される現象は必ずしも実現象と一致しないことが知られている。ここでは詳細な説明を省略するが、遠心模型実験は、簡単に言えば実物の n 分の1縮尺模型に重力の n 倍の遠心加速度を作用させることで、実物と等価な応力レベルでの実験を可能とする方法である。

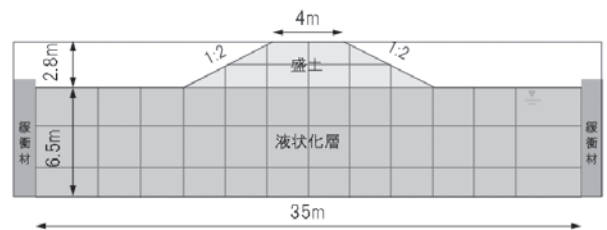


図一3 超軟弱地盤上での荷重実験状況



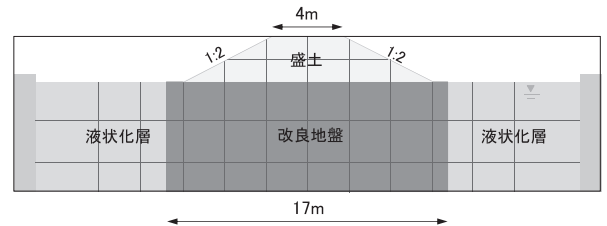
図一4 荷重～沈下関係

実験模型の概要を図一5に示す。実験では、高さ2.8 mの盛土が厚さ6.5 mの緩い砂地盤（相対密度 $D_r=55\%$ ）上に建設された状況を想定した。寸法は実物換算値であり、実際には全てこの1/50の大きさで模型を作製している。無対策のCase1に加え、図一6に示す4種類の液状化対策に関する実験を行った。Case2では基礎地盤の全面改良を、Case3では盛土法尻付近の部分改良を実施した。地盤改良として締固め砂杭工法を想定し、改良地盤は相対密度 D_r を93%とした。Case4では盛土底部に不同沈下対策として格子状補強シートを配置した。また、Case5ではCase3とCase4を複合させた対策工を設置した。これまでは、格子状

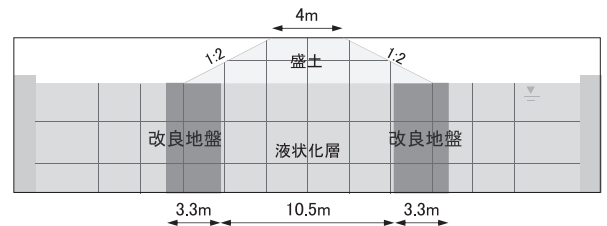


図一5 遠心模型実験概要 (Case1: 無対策)

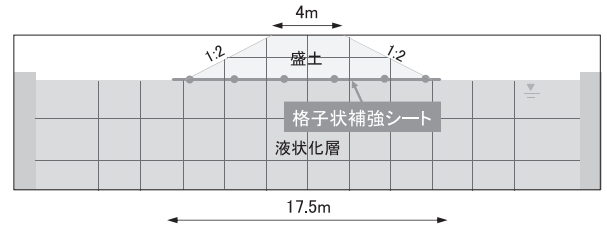
CASE2



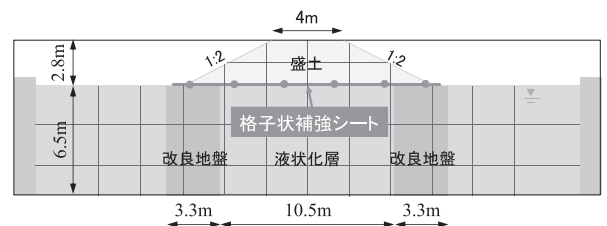
CASE3



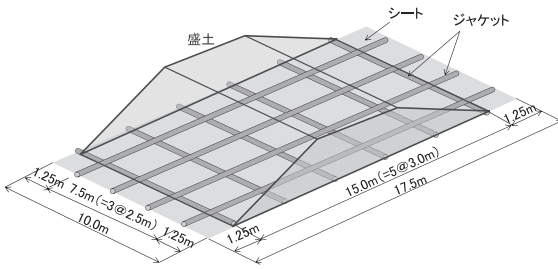
CASE4



CASE5



図一6 液状化対策ケース



図一七 格子状補強シート (遠心模型実験)

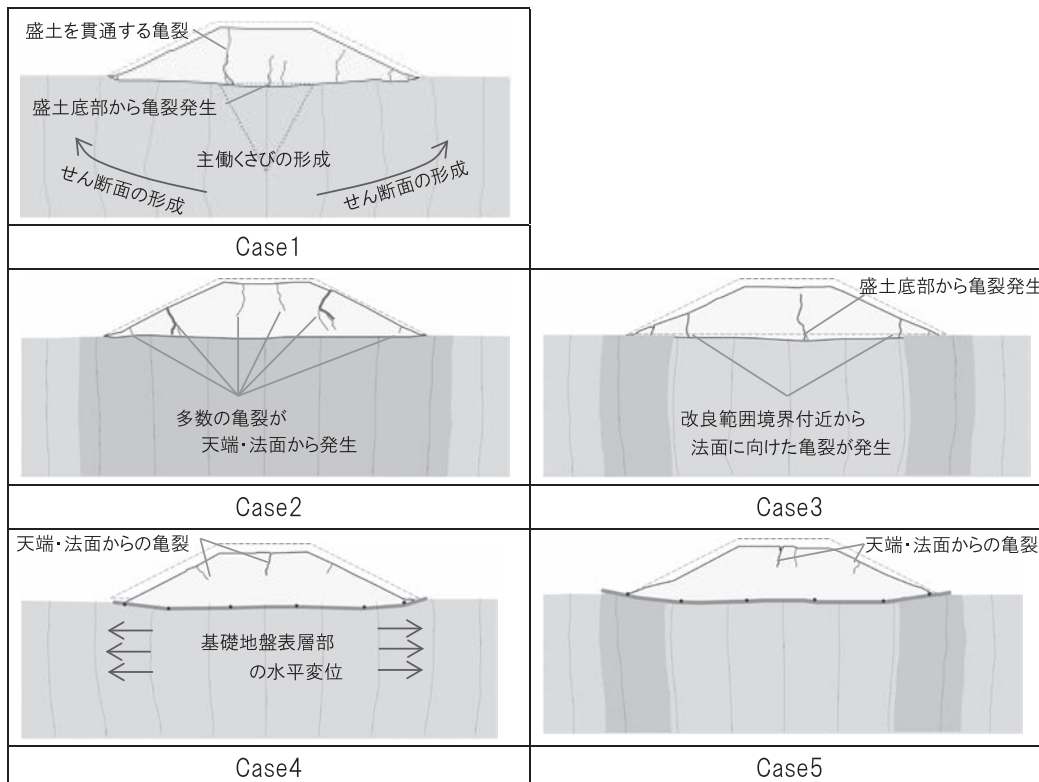
補強シートの格子間隔を1～2mとした実績が多いが、当実験では2.5m×3.0mの格子枠を採用した(図一七)。シートの引張剛性とジャケットの曲げ剛性に関する相似則を満足するため、模型のシートにはポリプロピレンフィルムを、模型ジャケットには、テフロン丸棒を用いた。これらの模型に50Gの遠心加速度を作用させた後に、最大加速度200gal、周波数3Hzの正弦波振動を17秒間作用させ、液状化に伴う基礎地盤と盛土の変状を観察した。

図一八に加振後の模型地盤のスケッチを示す。基礎地盤に対して液状化対策を実施しなかったCase1では基礎地盤の不同沈下に伴い、盛土内に多数の亀裂が形成され、その一部は盛土底部から天端まで貫通している。これに次いで盛土内の亀裂が多いのが、盛土基礎地盤全面を改良したCase2である。Case2では盛土の沈下が全試験ケースで最小となったが、加振中に盛土天端で観測された加速度も最大であり、多数の亀

裂は大きな慣性力の作用が原因と考えられる。このため多くの亀裂は盛土表面から発生している。また、改良域を盛土法尻付近のみとしたCase3では、盛土中央部の比較的規模の大きな亀裂に加え、改良域境界の不同沈下によって、そこから盛土法面に向けて貫通する亀裂が発生した。これらと対照的なのが盛土底部に格子状補強シートを敷設したCase4と5である。盛土底部に格子状補強シートを敷設したCase4では、盛土天端の沈下は大きくなったが、盛土内部に発生した亀裂の量はCase1やCase2より少ない。シートの補強効果によって、不同沈下を原因とする損傷が抑制されたためと考えられる。このことが最も端的に表れているのがCase5であり、Case3で観察された改良範囲端部の不同沈下が原因と考えられる亀裂の発生が格子状補強シートによって防止されていることが分かる。

(2) FEMによる変形解析

遠心模型実験によって確認された格子状補強シートの液状化対策効果を検証するとともに、設計計算における格子状補強シートのモデル化方法の妥当性を確認することを目的として、FEMによる変形解析によって、遠心模型実験結果の再現を試みた⁸⁾。図一九に盛土内のせん断ひずみ分布を示す。無対策のCase1では、遠心模型実験と同様にひずみの局所化領域が盛土断面を貫通するように形成された。格子状補強シート



図一八 地盤変状の観察結果

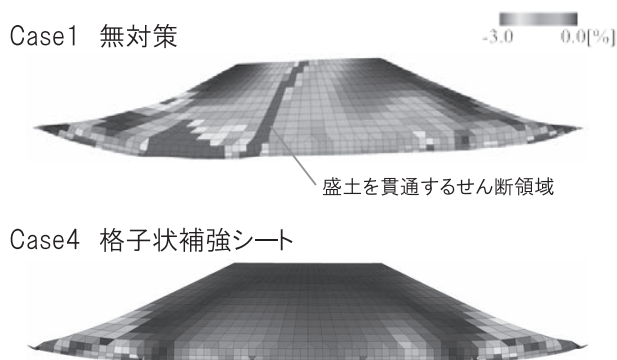


図-9 変形解析によるせん断ひずみ分布の評価結果 (圧縮が正)

によって対策したCase4では、ひずみ量は無対策のケースよりも小さなレベルに留まった。また発生領域は盛土底部に限定されており、遠心模型実験と同様、盛土の損傷は軽微に留まるとの結果が得られた。この解析手法を用いた実際の盛土構造を対象とした予測解析でも、液状化による不同沈下を抑制可能との結果が得られている⁹⁾。なお、格子状補強シートの設計法については、更なる合理化と簡便化を目指した検討を進めている。

3. 格子状補強シート適用のメリット

重要構造物を液状化地盤上に建設する場合、締固め砂杭や固化系地盤改良によって基礎地盤を全面的に改良することが多い。この方法は効果が確実な一方で、道路や堤防といった延長の長い施設で厚い液状化層を対象とする場合に膨大なコストを要する。

これまで述べたように、液状化やそれに伴う沈下を防ぐ対策ではないものの、格子状補強シートを用いた表層安定処理によって地震時の盛土の損傷が低減されることがわかった。盛土の致命的損傷が回避されれば、一定の治水機能や避難路が確保され、災害の程度を軽減できると考えられる。減災という観点での施設への要求性能を整理できれば、格子状補強シートによる対策によって対策費用を大幅に低減するような選択も可能となる。また、部分的な地盤改良工と併用することで、格子状補強シート単独での対策と基礎地盤の全面改良による対策の中間的な効果を目指すことも可能であり、要求性能のグレードに応じた多様な対策も提供できる。

4. おわりに

東日本大震災では多くの社会基盤が未曾有の被害を

受けた。防潮堤をはじめ幾つかの防災施設が期待された機能を発揮できなかった事実から、ハードによる対策では完全には防御できない規模の災害が確実に存在することが改めて認識させられ、特にそれ以降、巨大災害に対する備えとして「減災」という言葉が使われるようになった。減災対策に求められる機能についての具体的な議論の進展を期待するとともに、対策の推進に貢献していきたいと考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) 実用軟弱地盤対策技術総覧編集委員会：実用 軟弱地盤対策技術総覧，pp.1278-1281，1993
- 2) 北本幸義，柴田健一：基礎の目の棋譜—格子状補強棒を有するシート工法の開発軌跡—，土と基礎，Vol.56，No.2，pp.32-33，2007.2
- 3) 岡本道孝，大野進太郎，吉田輝，北本幸義，小原隆志，岡村昭彦：格子状補強シート上に施工された碎石層の支持力について，第48回地盤工学研究発表会，348，pp.695-696，2013.7
- 4) 岡村昭彦，倉田正博，北本幸義，吉田輝：格子ジャケットを用いたシート工法による軟弱地盤上の仮設道路施工，ジオシンセティクス論文集，Vol.23，pp.107-111，2008.10.
- 5) 真弓昭弘，戸田雅美，守山康彦，辻正博，小林正和，小原隆志，岡本道孝，大野進太郎：格子状補強シートを用いたクレーン支持力対策—軌道高架化工事における耕作地の活用事例—，土木学会第68回年次学術講演会，pp.59-60，2013.9
- 6) 吉田輝，北本幸義，黒沼出，大津啓介，柴田健一，柄崎和孝，後藤順一，八木伊三郎：格子状補強棒を有するシート工法の表層処理効果，第40回地盤工学研究発表会，972，pp.1941-1942，2005.7
- 7) 小原隆志，吉田輝，岡本道孝，中島悠介，北本幸義：格子状補強棒を有するシートによる土構造物の液状化対策，ジオシンセティクス論文集，Vol.29，pp.121-126，2014.10
- 8) 小原隆志，岡本道孝，京川裕之，吉田輝，北本幸義：格子状補強シートによる液状化対策工のモデル化手法，第50回地盤工学研究発表会，829，pp.1657-1658，2015.9
- 9) 大野進太郎，森川誠司，藤崎勝利，小原隆志，中島悠介，澤田宏宏：格子状補強シートによる液状化地盤の不同沈下対策（その2）FLIPによるFEM解析，第49回地盤工学研究発表会，682，pp.1363-1364.2014.7.

【筆者紹介】



岡本 道孝 (おかもと みちたか)
鹿島建設㈱
技術研究所 土質・地盤グループ
主任研究員



小原 隆志 (おばら たかし)
鹿島建設㈱
技術研究所 土質・地盤グループ
研究員



北本 幸義 (きたもと ゆきよし)
鹿島建設㈱
技術研究所
主席研究員