

技術報文

農業農村整備におけるジオシンセティックスの活用

神戸大学大学院農学研究科 澤田 豊・河端 俊典

1. はじめに

安定した農業生産を支えるためには、ダムや水路などの農業水利施設を用いた灌漑排水技術が不可欠である。農業水利施設の多くは、戦後の食糧増産や高度経済成長期に整備され、老朽化により、更新時期を迎えている。例えば、受益面積 100ha 以上の基幹的水路は、およそ 33%が標準的耐用年数を超過している¹⁾。また、全国に約 20 万箇所存在するため池では、経年的な老朽化が進み、機能面および防災面において深刻な問題を抱えている。2011 年の東日本大震災では、福島県のため池を中心に、決壊を含む甚大な被害が発生した。施設の改修や更新時に、耐震性を考慮することは、防災・減災の観点からも極めて重要である。

著者らが所属する研究室では、農業用管路やため池の耐震性向上を目的として、ジオシンセティックスを用いた改修技術を提案し、その補強効果ならびに力学挙動に関する研究を実施してきた。本報では、最近の取組みとして、3 つの研究課題を紹介させていただく。

2. 液状化地盤における圧力管路屈曲部の力学挙動とジオグリッドによる補強効果に関する研究

農業用圧力管路の特徴として、多くの曲りが存在し、高い内水圧が作用している。このことで屈曲部には不平衡力（以下、スラスト力と呼ぶ）が作用する。スラスト力が背後地盤の受働抵抗力より大きくなると、曲管の移動および隣接管路との離脱が発生し、漏水の原因となる。こうした場合、スラスト対策を講じる必要がある。従来、スラスト対策としてコンクリートブロックが用いられてきた。しかしながら、重量の大きいコンクリートブロックは、地震時に管路本体と異なった挙動を示すことから、ウィークポイントとなる。北海道南西沖地震では、地盤が液状化し、曲管が 60～80cm 程度移動した事が報告されている²⁾。また東北地方太平洋沖地震では、液状化にともなう付帯構造物の浮上や曲管部周辺での抜け出しなどが多数報告されている³⁾。

著者らは、管路屈曲部の耐震性を向上させるため、図-1 に示すような曲管にジオグリッドを設置した軽量スラスト防護工法を提案した。模型実験ならびに実規模管路内圧負荷実験を実施し、静的載荷条件下におけるスラスト

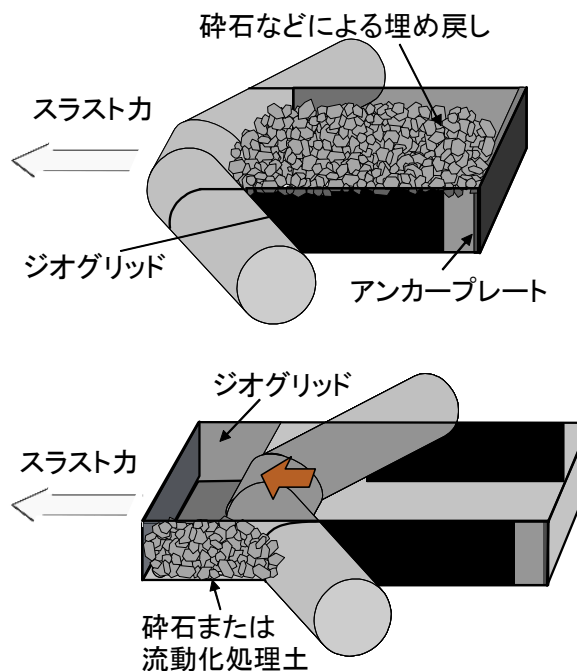


図-1 軽量化スラスト防護工法の模式図

ト防護工法としての機能を検証した^{4),5)}。さらに、周辺地盤の破壊メカニズムを詳細に検討し、当工法における付加抵抗力の算定方法を示した⁶⁾。また、地震時の液状化地盤での有効性を検証するため、振動実験を実施した。その結果、曲管背面およびジオグリッド周囲を砕

石で埋め戻すことにより、耐震性が大幅に向上することが明らかとなった⁷⁾。一連の研究開発に関しては、既報をご参照いただきたい⁸⁾。

先に述べた通り、管路屈曲部は地震時のウィークポイントとなり、液状化時には、被害がさらに拡大する可能性がある。ジオグリッドを用いたスラスト防護工法の液状化地盤における検討は、上の振動実験のみであり、詳細な力学挙動の解明には至っていない現状にある。そこで著者らの研究室では、液状化地盤における管路の力学挙動を詳細に検討するために、模型地盤に上向き浸透流を与える方法で液状化状態を再現する実験装置を開発した⁹⁾。図-2に示すように、上向き浸透流を供給する水槽と土槽内の水位差を調整することにより、液状化程度を制御することができる。また、水位差を保つことにより、長時間の液状化を再現することができる。上向き浸透流を発生させた状態で、模型管を水平方向に載荷することで、スラスト力を受ける液状化地盤中の曲管を模擬することができる。

図-3に実験結果の一例を示す。無補強のケース、管周辺を砕石で埋め戻したケース、砕石で埋め戻し、その周囲にジオグリッドを配置したケースの3つの条件下での水平抵抗力を比較すると、砕石の周囲にジオグリッドを配置したケースの抵抗力が、他の2ケースよりも著しく大きいことがわかる。図-4に示すように、ジオグリッドを用いた場合、管の後方地盤も載荷方向に移動しており、ジオグリッドで囲まれた領域が一体化していることが確認できる。さらに、ジオグリッドで囲まれた領域は載荷前よりも

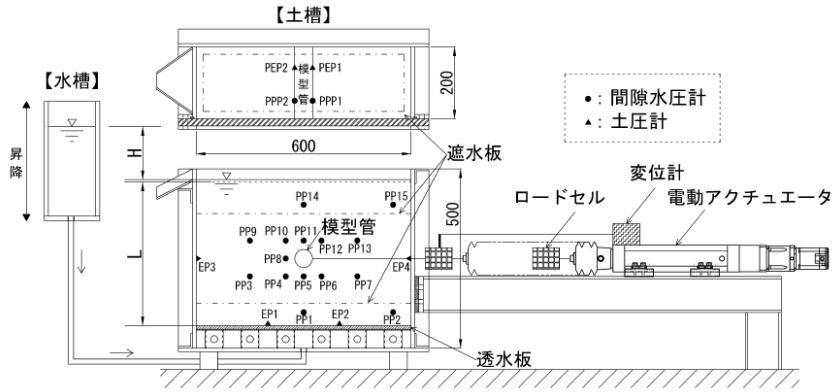


図-2 液状化地盤内における管の水平載荷実験装置

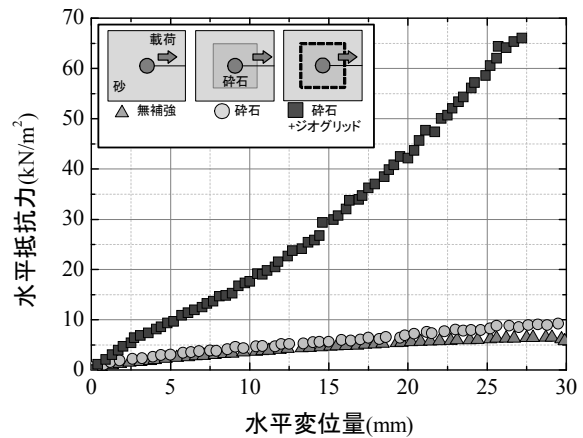


図-3 水平変位量と水平抵抗力の関係

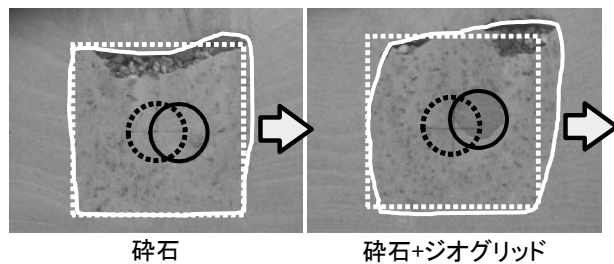


図-4 載荷前後の模型管周辺地盤の様子 (点線：載荷前，実線：載荷後)

載荷後の方が明らかに大きく、ジオグリッドにテンションが発生していることが予想される。小型の模型実験であるため、結果をそのまま実物大に置き換えることはできないが、液状化地盤におけるジオグリッドの有効性は明白である。今後は中型土槽を用いた模型実験を行い、ジオグリッドの補強効果を定量的に検討したい。

3. 竹材を用いた小規模斜面の補強に関する研究¹⁰⁾

いにしえより竹は軽量で加工が容易であることから、建築資材や生活資材として用いられてきた。近年、代替材料の普及や安価なタケノコの輸入により、我が国の竹産業は衰退し、放置される竹林が増加傾向にある。竹の生長は早く、密生することから、他の樹木の成育を妨げる。竹林の荒廃と土砂災害の関連性も指摘されており、適切な整備が求められている。伐採された竹はバイオマス燃料など、新たな用途として活用されている。著者らは、伐採された竹を畦や農道などの小規模斜面の補強材として用いることを考え、その補強効果を検討するため、模型実験を行った。

模型斜面の概要を図-5に示す。含水比調整された6-7混合珪砂を用いて、高さ730mm（うち基盤層200mm）、勾配1:1となるように、模型斜面を作製した。実験には10分割（幅約25mm）の割竹を使用した。竹の敷設箇所、1層辺りの本数、曲げ剛性を変えた条件で、斜面法肩の幅200mmを鉛直載荷する実験

を行った（表-1）。なお、曲げ剛性は竹の採取位置により異なり、根元ほど大きく、先端ほど小さい傾向を示す。

表-1より竹材を敷設したCase-A~Gの最大鉛直荷重は無補強より大きく、1

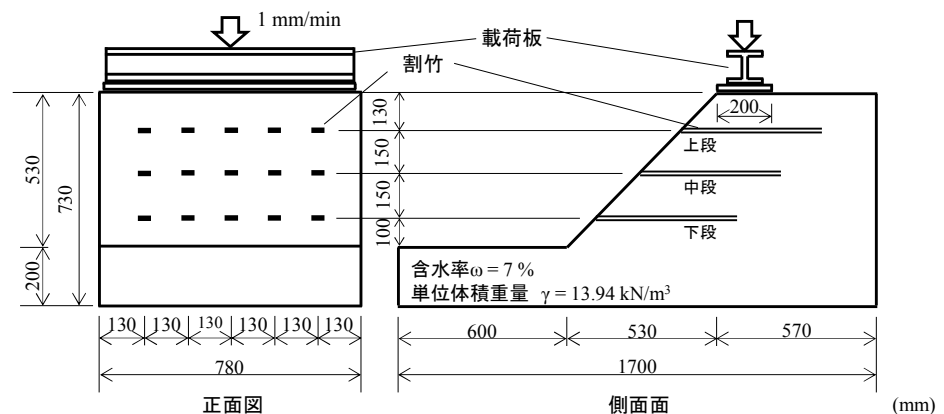


図-5 竹が敷設された模型斜面の載荷実験概要

表-1 鉛直載荷実験の実験条件および結果一覧

ケース	敷設箇所	1層辺りの本数 (本/m)	曲げ剛性 (N·m ²)	最大荷重 (kN/m ²)	滑り面形状	節部の引抜け	竹の変形
Case-A	無補強	—	—	47.0	④	—	—
Case-B	上中下3段	6.4	7.6	69.6	①の後②	未検証	未検証
Case-C	上段のみ	6.4	7.6	68.9	①④ほぼ同時	有り	有り
Case-D	中段のみ	6.4	7.6	56.1	②	無し	無し
Case-E	上段のみ	14.1	7.6	83.1	①	無し	無し
Case-F	上段のみ	6.4	3.9	56.2	③	有り	有り
Case-G	上段のみ	6.4	9.9	70.0	①	無し	無し

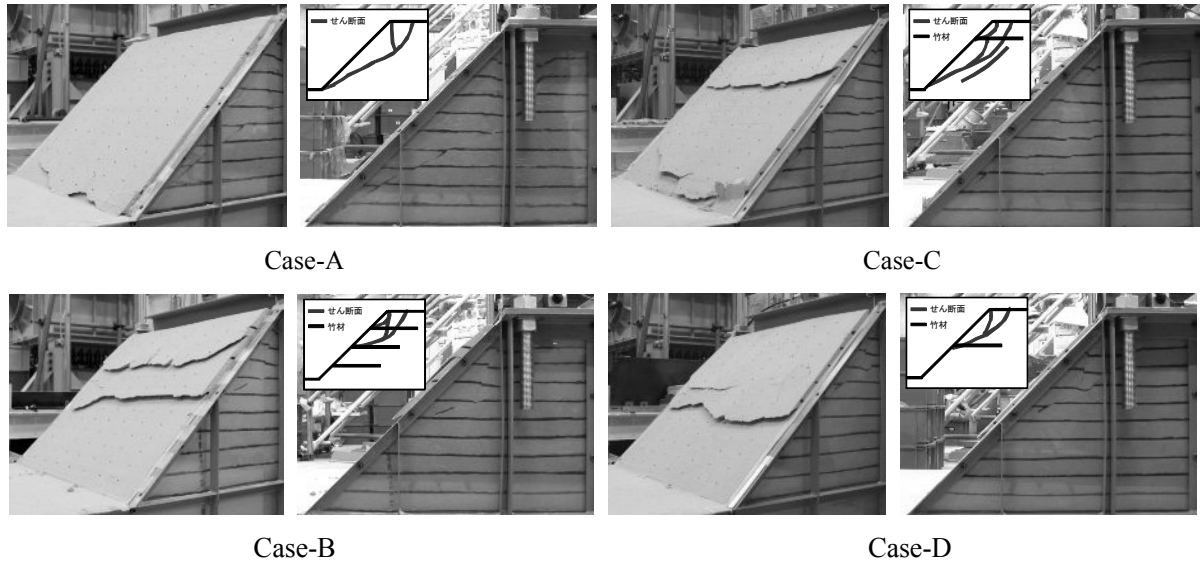


図-6 載荷後の斜面の様子

層辺りの本数が最も多い Case_E では、無補強よりも 1.7 倍以上大きいことがわかる。Case-B と Case-C の比較より、上段の竹が中断や下段の竹よりも補強効果を発揮することがわかる。Case-C と Case-E の比較より、1 層辺りの本数が増えると、補強効果が高まることがわかる。さらに、Case-F の結果より、曲げ剛性の小さい先端付近から採取された竹を用いた場合、補強効果が低下することがわかる。

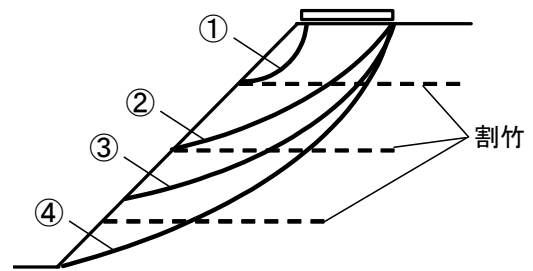


図-7 滑り面形状の模式図

実験終了後の斜面の様子から、竹の設置条件の違いにより、滑り面形状が異なることがわかる(図-6)。各ケースの滑り面形状と最大鉛直荷重の関係から判断すると、図-7 の①に示されるような上部の敷設位置に滑り面が現れる場合、補強効果が比較的高いことがわかる。これは下方への滑り面の形成を竹が抑制したことが要因であると考えられる。

以上より、割竹を斜面に敷設することで補強効果が得られることがわかった。また、ある程度上部に敷設すること、1 層辺りの敷設本数を増やすこと、根本付近の曲げ剛性の高い箇所を用いることにより補強効果が高まることがわかった。現場で活用するためには、耐震性についても十分に検討する必要がある。

4. ベントナイト系遮水シートにより改修されたため池堤体の耐震性と力学挙動に関する研究

ため池改修では、刃金土と呼ばれる粘性土を遮水材として用いる場合が一般的である。近年、良質な粘性土が枯渇しており、代替工法としてベントナイト系遮水シートが用いられるケースが増えてきている。図-8 に示すように、ベンチカットされた既設の堤体に階段状にシートを敷設する。刃金土に比べて軽量で運搬コストの低下が期待できるほか、供給量や品質も安定している。しかしながら、遮水シート工法で改修されたため池堤体の耐震性は検証されておらず、設計手法も確立していないのが現状である。著者らは兵庫県、防災科学技術研究所ならびに神戸大学工学

研究科と共同で、兵庫県三木市にある実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）を用いて、ベントナイト系遮水シートにより改修されたため池堤体の耐震安全性を検証するため、図-9 に示すような実規模ため池堤体を対象に加振実験を実施した。前刃金工法と遮水シート工法の2種類の改修ため池堤体を作製し、上流側に水を湛水した後、同時に加振した。レベル2地震動を想定した400galの地震動を与えたところ、決壊には至らなかったものの、遮水シート工法の堤体天端には大きなクラックが発生する等の損傷が確認された。当実験の詳細については本文では省略させていただく。当実験では、各工法それぞれ1断面の検証であり、シートの敷設方法や覆土の大きさなどが耐震性能に及ぼす影響については明らかになっていない。遮水シートによるため池改修工法の設計手法を構築するために、今後更なる検討を行いたい。



図-8 ベントナイトシート敷設状況

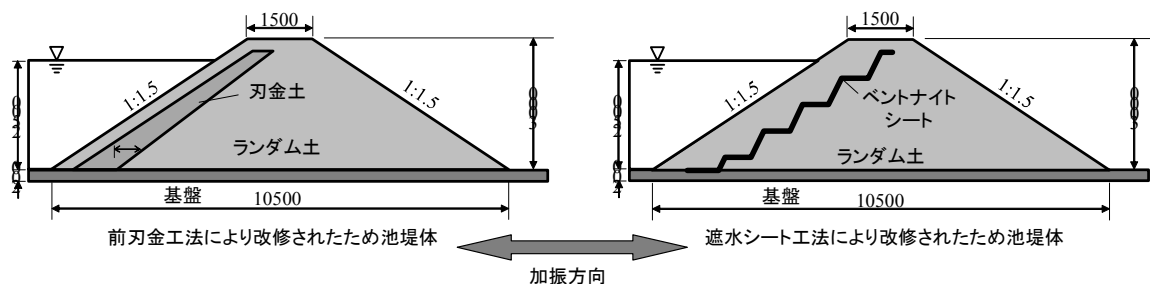


図-9 E-ディフェンスで実施された改修ため池堤体の模式図

5. おわりに

本報では、農業農村整備におけるジオシンセティックスを活用した研究として、ジオグリッドによる圧力管曲部の耐震化技術、竹材の斜面補強としての有効利用、ならびにベントナイト系遮水シートを用いたため池改修、の3つのテーマを紹介させていただいた。今後も、低コストかつ耐震性の高い農業水利施設の更新技術確立に向け、ジオシンセティックスを含めた土木資材を有効に活用していきたい。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局：農業生産基盤の整備状況について、http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h26_4/pdf/siryou6.pdf, 2015.
- 2) Mohri, Y., Yasunaka, M. and Tani, S.: Damage to buried pipeline due to liquefaction induced performance at the ground by the Hokkaido-Nansei-oki earthquake in 1993, *Proceedings of First International Conference on earthquake Geotechnical Engineering*, IS-Tokyo, pp.31-36, 1995.

- 3) 有吉充, 毛利栄征, 浅野勇, 上野和広: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による国営隈戸川農業水利事業における農業用パイプラインの被災と復旧, 農村工学研究所技報, No.213, pp.201-215, 2012.
- 4) 河端俊典, 澤田豊, 内田一徳, 平井貴雄, 斉藤喜久雄: ジオグリッドを用いた圧力管路曲管部スラスト防護工法に関する実験, ジオシンセティックス学会論文集, Vol.19, pp.59-64, 2004.
- 5) 河端俊典, 澤田豊, 泉明良, 柏木歩, 花澤貴文, ジオグリッドを用いた軽量スラスト防護工法の現場実証実験, ジオシンセティックス論文集, Vol.24, pp.165-170, 2009.
- 6) 澤田豊, 河端俊典, 毛利栄征, 内田一徳: ジオグリッドの伸び特性を考慮した圧力管曲部軽量スラスト防護工法の水平抵抗力算定手法, ジオシンセティックス論文集, Vol.22, pp.253-258, 2007.
- 7) 河端俊典, 澤田豊, 毛利栄征, 泉明良, 有吉充, 平井貴雄, 斉藤喜久雄: ジオグリッドを用いた曲管部軽量スラスト防護工法の耐震性の検討, ジオシンセティックス論文集, Vol.23, pp.133-138, 2008.
- 8) 河端俊典, 澤田豊, 毛利栄征, ジオグリッドによる圧力管屈曲部の耐震化工法の研究開発, ジオシンセティックス技術情報, Vol.27, No.2, p.28-35, 2011.
- 9) 井谷昌功, 藤田信夫, 澤田豊, 有吉充, 毛利栄征, 河端俊典, 液状化地盤における埋設管の水平抵抗力に関する模型実験, 農業農村工学会論文集, No.295, pp.77-83, 2015.
- 10) 澤田豊, 甲賀洋輔, 真木貴也, 横田木綿, 河端俊典, 竹材を利用した斜面補強に関する実験的, 地盤工学研究発表会発表講演集, pp.551-552, 2014.