

技術報文

ジオコンポジットを用いた道路陥没の対策工法の検討

埋設管 ジオテキスタイル 地盤災害

熊本大学大学院 ○椋木 俊文

熊本大学大学院 羊 嘉曦

熊本大学大学院 大谷 順

1. はじめに

下水管渠の耐用年数は約30～35年とされており、敷設経過から30年以上経過した管渠においては、道路陥没が今後頻発することを示唆している¹⁾²⁾。実際に都市部では下水道破損に起因する道路陥没が生じており、そのメカニズム解明の研究が着目されてきた³⁾⁴⁾。例えば、下水管渠破損部からの繰返し給排水がもたらす道路下部の地盤侵食の評価に関する報告や、破損部から地盤への水の流入により下水管渠周辺の地盤がゆるみ土砂が下水管渠内へと排砂され報告がある⁵⁾⁶⁾。そしてこれらが繰返し作用することにより空洞が拡大する⁷⁾⁸⁾⁹⁾ことなどが報告されている。以上のことから、道路陥没対策では土砂の流出を防ぐことが重要視されており、路盤材としての強度と耐侵食性能が要求されている。著者らは、補強土効果をもつジオグリッド（以下GG）に地盤内で水分散効果を期待できる不織布（以下GT）を貼り付けたジオコンポジット¹⁰⁾による補強効果に関する基礎研究を進めてきた、本報では、ジオコンポジット材料（以下GC）の引抜きに伴う地盤内の補強効果について考察することで、道路陥没対策工法の提案を検討する。

2. 実験概要

(1) 実験材料

1) ジオシンセティックス

図-1および図-2は、補強材料と侵食抑制材料として適用したジオグリッド（GG）と不織布（GT）の写真であり、表1は各材料の諸元である。GGは、引張部材を交点部で強固に結合あるいは一体とし、規則的な格子構造をもつ合成高分子からなる格子を形成するシートであり、縦リブと横リブから成る。今回使用したGGは、ポリプロピレンを原料とし、目合い11mm×11mmのものを用いた。GTは、織機や編機を使わないで、繊維集合体を科学手段による機械的な作用で結合させて布状にしたものである。製造法によって乾式法と湿式法に大別されるが、土木用のGTは乾式法でつくられている¹¹⁾。目合いの特長から、排水機能、ろ過機能を期待して排水による土質安定や、のり面の侵食抑制に使用される、今回使用した不織布は、ポリエステルを原料とし、目合い407.6g/m³のものを用いた。GC材料として、上述

したGGとGTを併せて独自にGCを作製した。なおGGの横リブの摩擦効果が片面のみ発揮されるようにGTとGGとの間に空間が出来ないように接着剤で接着した。

2) 模型地盤

本研究では地盤材料に豊浦標準砂を使用し、乾燥させた豊浦標準砂を $425\mu\text{m}$ のふるいを用いた空中落下法にて相対密度が約85%の密地盤になるようにも模型地盤を作製した。図-3(a), (b)は、それぞれ使用した実験装置の写真と見取り図である。地盤は高さ1.5mから空中落下法により作製したが、補強材を敷設する位置においていったん空中落下を中断し、補強材を水平に敷設した。その後、空中落下を継続し地盤高さを15cmに調整した。

3) 模擬空洞を含む模型地盤

実際問題を想定して空洞形成がGC材料にまで形成された場合、その部分には地盤との摩擦効果はない。よって、空洞部分とGC材料が接する面積をパラメータとして、表-2（ケース④⑤⑥⑦）に示すような3種類の空洞ケースを準備した。この空洞の準備過程では、やや硬い紙を使って模型地盤の深さ方向に2cm、GC材の幅と同じモデルを作成し、これをGC材下部に作製した。作製方法は、所定の位置まで地盤を作製したのち、空洞モデルを地盤内に挿入し、モデル内の土をスプーンを使って取り除いた。GGだけの実験では、グリッドの格子部分から土が入り込むため、今回は空洞部分に柔らかい薄い紙を敷設し、空洞部分に土が入らないように配慮した。

(2) 実験方法

1) 実験ケース

表-2は、本実験で計画した9種類の実験ケースを示している。各ケースの特徴は、

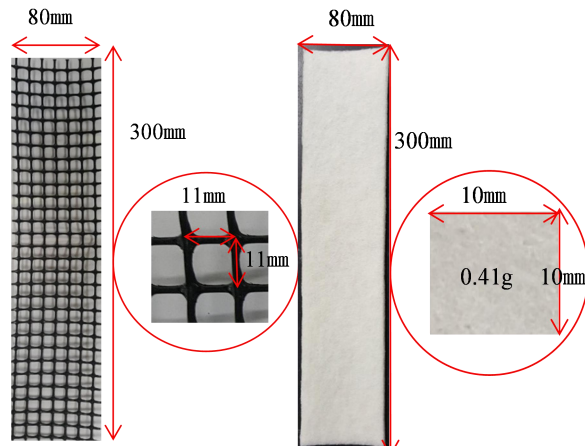


図-1 ジオグリッド

図-2 不織布

表-1 使用した補強材の諸元

項目	ジオグリッド	不織布
素材	ポリプロピレン	ポリエステル
厚さ	1.5(mm)	8.5(mm)
目合い	11(mm)×11(mm)	407.6(g/m ³)
材料強度	10kN/m	

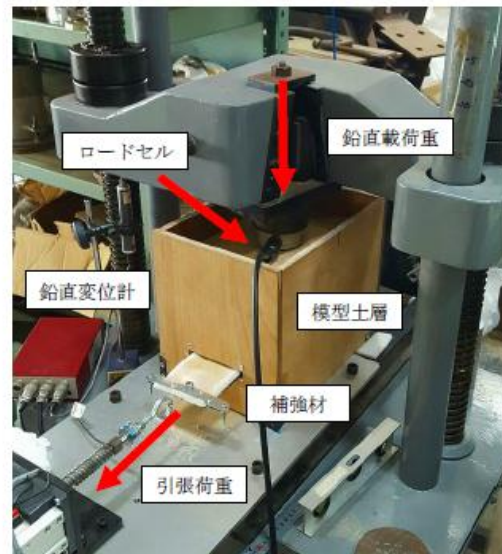


図-3(a) 引張—鉛直載荷実験装置

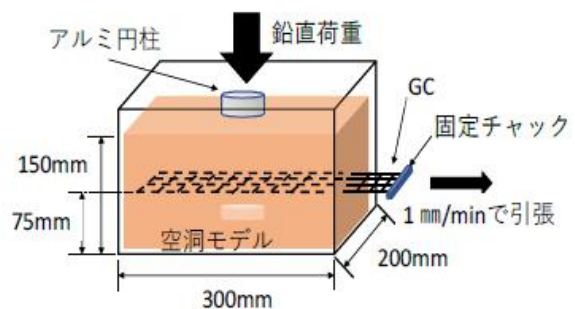


図-3(b) 実験装置概要図

①は無補強地盤、②はジオグリッド敷設のみ、③ではGG敷設後に引張荷重を与える。④では③の条件においてGG下部に空洞を作製、⑤は空洞のみ作製した。⑥ではGGと同じ幅の正方形空洞を作製し、⑦は⑥のケースの1.5倍の空洞を作製、⑧はGG上部にGTを接着、⑨ではGG下部にGTを接着している。

2) 実験手順

実験ケース②では、GGを敷設しただけであり、GGと模型地盤の間には摩擦効果は働かせていない。これ以外の補強材を敷設したケースでは、最大引張荷重が観測されるまで引抜きを行い、模型地盤内に補強効果を発揮させている。図-3(b)に示すようにジオシンセティックス供試体端部はチャックで挟まれており、これとアクチュエータを接続して1mm/min.の速度で補強材を引き抜いた。その後、地盤の天面にアルミの円柱(半径40mm 高さ20mm)をセットし、さらにその上にロードセルをセットし、万能試験機より1mm/min.で鉛直荷重板を沈下させ、その反力を測定し、地盤の補強状況を評価した。

表-2 実験ケース

ケース	GGの有無	GGの引張	穴の有無	計測・引張
①	×	-	×	-
②	○	×	×	-
③	○	○	×	○
④	○	○	○ (円形 A=19.6cm ²)	○
⑤	×	-	○	-
⑥	○	○	(正方形 A=64cm ²)	○
⑦	○	○	○ (長方形 A=96cm ²)	○
⑧	○(GC GT-GG)	○	×	○
⑨	○(GC GG-GT)	○	×	○

GC: Geocomposite, GG: Geogrid A: 空洞部と補強材の接触面積

3. 補強材下部に空洞を想定した場合の補強土効果

(1) 無補強地盤と無補強+空洞がある場合の鉛直載荷

無補強地盤において空洞の有無の違い(ケース①と⑤の比較)による鉛直荷重を評価した。図-4は、ケース①とケース⑤に関する鉛直荷重と載荷盤の変位を示している、無補強条件でも最大値鉛直荷重は0.11kNが観測され、載荷板と同じ面積の空洞を作製したケース⑤の地盤では、0.8kNが測定された、

(2) ジオグリッドの敷設による補強土効果

図-5は、GGの敷設効果を評価した結果である(ケース①、②、③)。ここではGGを敷設のみした場合とGGに引き抜き荷重を与えた場合と比較することによって模型地盤内への補強土効果を評価している。最大鉛直荷重比は、無補強地盤における鉛直荷重を基準として、敷設のみでは1.32倍、引き抜き荷重を与えた場合は、2.05倍の鉛直荷重が得られた。この実験においては、引抜き作用によって得られた補強土効果は、敷設のみと比較して1.53倍の補強土効果が得られている。

(3) 模擬空洞に対するジオグリッド敷設の有効性

図-6は、空洞がない場合における引張荷重(ケース③)と空洞が存在する場合の引張荷重(ケース④、⑥、⑦)を比較した結果である。ケース④、⑥、⑦の違いは、模擬空洞部分とGGの接触面積の違いであり、ケース⑥を基準とした時の接触面積は0.31倍がケース④、1.5倍がケース⑦である。図-7は、図-6と同ケースの鉛直荷重の変化である。引抜き荷重の勾

配は、模擬空洞がないケースの引張荷重の勾配が大きくなるという見込みとは異なる結果が得られているものの、空洞面積が最も大きいケースの引張荷重の最大値が他のケースと比較して最も小さい結果が得られている。一方、図-6に示した最大鉛直荷重の挙動を比較すると、空洞面積がGG幅と同じ正方形面積とその1.5倍の空洞面積では、補強効果に差がないことが示唆される結果が得られている。

図-8の横軸は、敷設したGGの幅と同じ幅の正方形模擬空洞との接触面積(8 x 8 = 64 cm²)を基準として、GGの敷設方向に接触面積の増加を意味している。各ケースとも最大引き抜き荷重が得られる軌跡はほぼ同じである。また最大鉛直荷重の場合も同様のことから、空洞形成が広範囲に至る場合、ジオシンセティクス材料自身の材料強度に依存するハンモック効果に対し、ジオシンセティクス材に作用する土被り圧がどの程度までが許容範囲であるかを議論する必要がある。

(4) ジオコンポジットの補強土効果

下水道破損部からの漏水現象までを考慮したとき、水分散効果を有する材料として期待されるGTをジオグリッドの上面か下面に敷設することによって、補強土効果が変化すると考えられる。そこで、ケース③のGG敷設地盤と、ケース⑧のGC敷設(上:GT、下:GG)とケース⑨のGC敷設(上:GG、下:GT)の条件に対し、それぞれ引抜き荷重と鉛直荷重を比較した。図-8に上述3ケースの引抜き荷重を、図-9に鉛直荷重を示す。まず引抜きの荷重について、ピーク値の値はGG単体とほとんど変わらないことが分かる。しかし、最大引抜き荷重に達するまでGG敷設地盤の方が時間を要していることがわかる。このこ

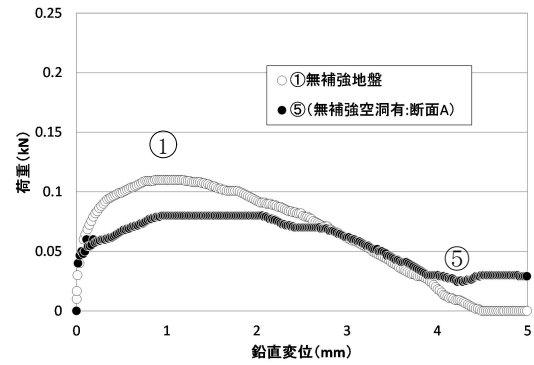


図-4 無補強地盤に対する鉛直載荷実験結果

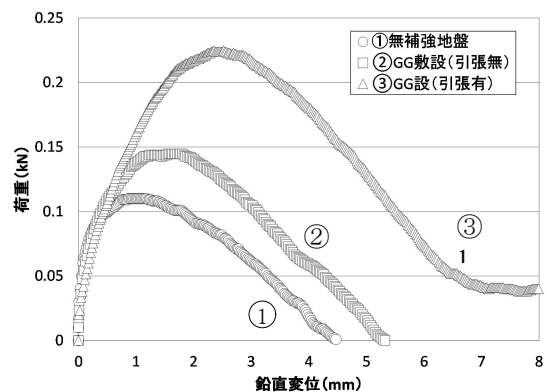


図-5 鉛直載荷重の測定によるジオグリッド(GG)敷設による補強土効果

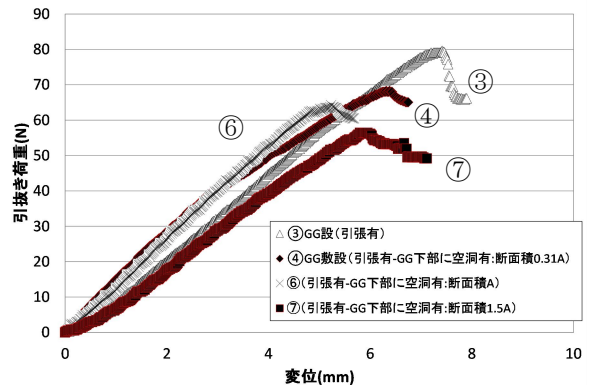


図-6 異なる模擬空洞接触面積における引抜き荷重

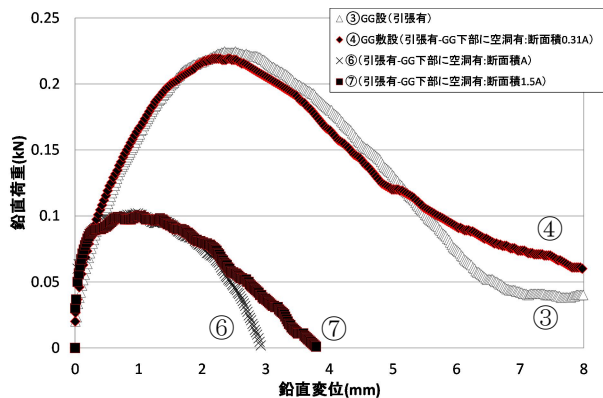


図-7 異なる模擬空洞接触面積における鉛直荷重

とからGCはGGとほぼ同等の摩擦力を発揮し、かつGTが、GG単体よりも地盤との接触面積が大きい分、GCの摩擦力が粘り強い挙動を発揮するということが言える。

次に鉛直荷重について、GCの2ケースはどちらもGG敷設よりも大きな鉛直荷重が観察されている。著者らは、図-9の結果に基づくと、③のケースが最大鉛直荷重を発揮すると想定したが、実験を繰り返してもこの傾向が変わらないことを確認した。このことから、鉛直荷重に対するGTの伸びに対する耐力が発揮されたと考えられる。次にケース⑧と⑨に注目すると、上にGGを敷設しているケース⑨の方が1.12倍大きな荷重を示している。この差異は、ケース⑨の方がGTと比較してGGによる補強土効果が得られていることを示唆している。GCの設置を考慮すると、GGがGC上面（模型地盤表面側）に設置すると、150mm分の土被り圧があるのに対し、GC下面側の設置では75mm分の地盤しかなく、GT側（模型地盤表面側）は、GTによる補強効果がないことから、図-10に示されたように、GGが上面に設置された方が補強効果が出ることを確認されたと考えられる。実際現象を考慮したとき、GTは空洞が形成される側に敷設し、水分分散効果を発揮させる一方、GGはGTとは反対側の地盤を補強する効果を発揮させることが期待できる。以上のことから、GCの敷設は、空洞形成側にGTを敷設し、その上にGGを敷設し、両材料に張力を与え、地盤内補強土効果を発揮させる方法が有効であると提案できる。

5. おわりに

本研究では、ジオグリッド（GG）単体における模擬空洞に対する補強土効果について検討とGGと不織布（GT）を併用したジオコンポジット（GC）を敷設した場合の補強土効果

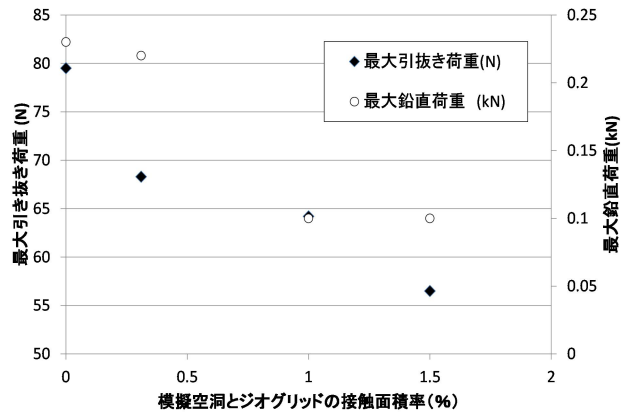


図-8 接触面積率と最大引抜き荷重および最大鉛直荷重

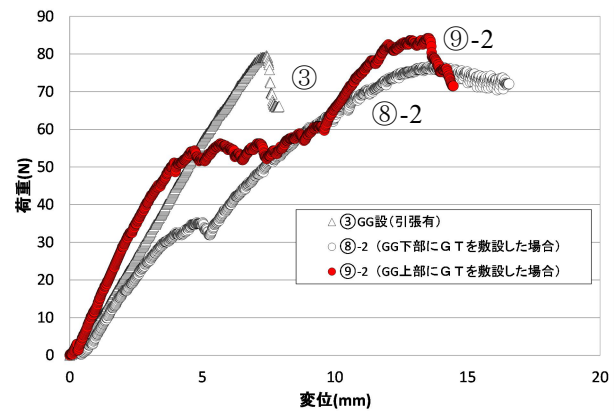


図-9 ジオコンポジット敷設における引抜き荷重

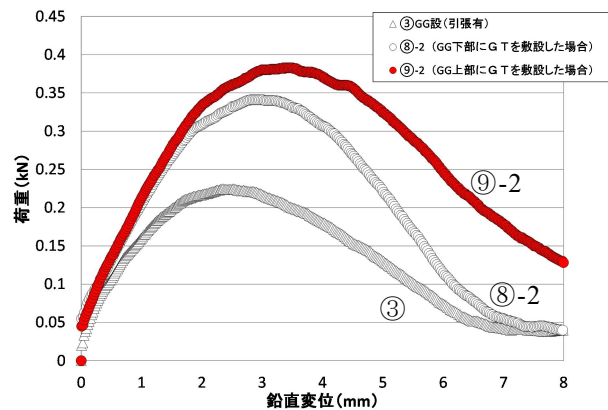


図-10 ジオコンポジット敷設における鉛直荷重

について、GGとGTの組み合わせ方による補強効果の発揮の違いについて検討した。以下に得られた知見を列挙する。

- 1) 模擬空洞に対する GG の補強土効果について、模擬空洞の大きさは鉛直荷重と比較して引抜き荷重の方に影響をもたらすことが分かった。
- 2) GC の敷設条件では、引抜き荷重は GG と同等の荷重を發揮し、鉛直荷重では、1.5 倍以上の補強土効果をもたらすことが分かった。
- 3) 実際現象を考慮したとき、GT は空洞が形成される側に敷設し、水分分散効果を發揮させる一方、GG は不織布とは反対側の地盤を補強する効果を發揮させることが期待できるため、地表面側に設置することがよい。

参考文献

- 1) 宮本豊尚, 深谷渉, 横田敏宏, 太田信弘: 下水道管路に起因する道路陥没の発生傾向と陥没発生危険個所の推定, 下水道協会誌, Vol.50, No.607, pp.99-107, 2013.
- 2) 深谷渉, 野田康江, 川島弘靖, 平出亮輔: 下水道管路起因の道路陥没, 地盤工学会誌, Vol.67, No.739, pp.8-11, 2019.
- 3) 松宮洋介: 下水道管路に起因する道路陥没, 季刊誌管路更正, No.13, pp.26-35, 2010.
- 4) 桑野玲子: 陥没を引き起こす地盤内空洞, 地盤工学会誌, Vo. 67, No.739, pp.1-3, 2019.
- 5) 桑野玲子, 佐藤真理, 瀬良良子: 地盤陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に向けた基礎的研究, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.218-219, 2010.
- 6) 桑野玲子, 堀井俊孝, 山内慶太, 小橋秀俊: 老朽下水管破損部からの土砂流出に伴う地盤内空度・ゆるみ形成過程に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.349-361, 2010.
- 7) T.Mukunoki, N.Kumano, J.Otani, and R.Kuwano: Visualization Of Three Dimensional Failure In Sand Due To Water Inflow And Soil Drainage From Defective Underground Pipe Using X-Ray Ct, Soiland Foundations, Vol.49, No.6, pp.959-968, 2009.
- 8) T.Mukunoki, N.Kumano, and J.Otani: Failure Of Sands Due To Water-Inflow And Soil-Drainage Cycle With Different Inflow Rate Through A Defective Underground Pipe, Proceeding of the 4thJapan-Korea geotechnical Engineering Workshop, pp.35-42, 2011.
- 9) 熊野直子, 椋木俊文, 大谷順: 管渠の破損条件と水の流入出条件に着目した下水道管渠周辺地盤のゆるみ・空洞進展特性の解明, 地盤工学ジャーナル, 11 巻 4 号 p. 295-304, 2016.
- 10) 国際ジオシンセティックス学会日本支部: ジオシンセティックス入門, 2001.
- 11) 社団法人 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説-二分冊の 2-, pp.1058-1068, 2009.