Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-05

ジオグリッドを用いた浅埋設パイプラインの矢板引抜きに伴う力学挙動

戸田，茉優
宮崎，礼丈
澤田，豊
河端，俊典

(Citation)
ジオシンセティックス論文集,35:179-184

(Issue Date)
2020-12

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100476413

ジオシンセティックス論文集
第35巻(2020.12)

ジオグリッドを用いた浅埋設パイプラインの矢板引抜きに伴う力学挙動

戸田茉優[1]・宮崎礼丈[2]・澤田　豊[3]・河端俊典[4]

パイプライン敷設時，土留めを行う矢板施工では，埋戻し後の矢板引抜きによる埋設管への影響により，埋設管の変形や損傷等の被害が問題となっている．施工コスト削減を目的として，近年ジオグリッドを用いてパイプラインを浅く埋設することがあるが，施工時の埋設管への影響については未解明な点が多い．本研究では，パイプラインが浅く埋設された場合に矢板引抜きがたわみ性管に与える影響を解明するために，模型実験を行った．実験結果より，ジオグリッドと砕石を用いたケースでは，管側部の水平土圧が保たれることにより埋設管の変形が抑制されることが明らかとなった．しかしながら，矢板引抜きによって埋設管の支持角が減少し，管底に土圧が集中する可能性があることがわかった．

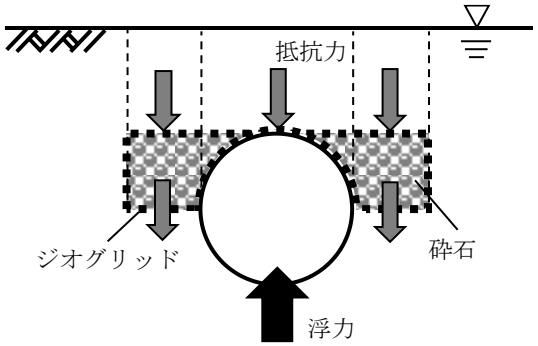
キーワード：埋設パイプライン，ジオグリッド，矢板，模型実験

１．はじめに

パイプラインを敷設する際，地盤条件や用地確保の問題等から，土留めを行う矢板施工が採用されることが多い．矢板施工では，埋戻し後の矢板引抜きにより地盤内に空隙が生じ，周辺地盤の変形や応力変化が引き起こされる．このため，コンクリート管の損傷やたわみ性管の過度な変形等の被害が数多く報告されている[1)2)]．矢板施工を考慮した埋設管の力学挙動に関する研究として，毛利ら[1)]は，大口径可とう性パイプラインの現場実験から，埋設管の変形量の 8 割以上が矢板引抜き時に生じることを報告している．東田ら[2),3),4)]は，剛性管に作用する土圧を明らかにするため，現場実験および遠心模型実験を実施し，矢板引抜きにより管頂部と管底部への土圧集中が引き起こされることを明らかにしている．また，吉村ら[5)]は，たわみ性管を用いた遠心模型実験を実施し，矢板引抜きにより管頂の土圧が増加し，水平方向にたわみが進行することを報告している．

さらに，パイプライン敷設時，施工コスト削減や水理的制約等から，パイプラインを浅い土被りで埋設する場合，地下水による管路浮上の恐れがある．その際，管直上部の埋戻し土による鉛直荷重に加え，**図−1** に示すように，ジオグリッド等を用いて管側部の地盤を一体化し浮上抵抗力を得る施工方法がある[6)]．浅埋設パイプラインの浮上抵抗力に関する研究として，毛利ら[7)]は，実規模の浮上実験を実施し，ジオグリッドを用いた浮上防止工法は，砕石やソイルセメントとの併用で極めて大きな浮上防止効果を発揮することを明らかにした．さらに，毛利ら[8)]は，液状化地盤における浅埋設パイプラインの耐震性について振動台実験を行い，ジオグリッドと砕石で管周辺の埋戻し地盤を一体化することにより，埋設管の浮上抵抗力を高めることを報告している．このように，浮上に対する安全性についての検討は数多く報告されているものの，矢板引抜き時の浅埋設パイプラインの挙動について検討された研究例は見当たらない．

本研究では，パイプラインが浅く埋設された場合において，矢板引抜きがたわみ性管に与える影響を明らかにするため，浮上防止方法を変えた矢板引抜き模型実験を実施した．



図−1　ジオグリッドによる埋戻し地盤の一体化

[1]学生会員，神戸大学大学院農学研究科　食料共生システム学専攻，学生（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）
[2]非会員，神戸大学大学院農学研究科　食料共生システム学専攻，学生（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）
[3]正会員，神戸大学大学院農学研究科　食料共生システム学専攻，准教授（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）
[4]正会員，神戸大学大学院農学研究科　食料共生システム学専攻，教授（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台1-1）

２．実験方法

(1) 実験概要

図-2 に実験装置の模式図を示す．実験土槽の寸法は幅 1200 mm，奥行き 495 mm，高さ 850 mm である．模型管として，外径 165 mm の硬質塩化ビニル管を用いた．模型管の諸元を**表-1** に示す．土槽壁面の摩擦の影響を考慮し，模型管は，本管とその両端のダミー管から構成されている．本管内面周方向には，**図-3** に示すように，変位計を鉛直，水平，管頂から時計回りに 45°，135° 方向の 4 方向に設置し，さらに，ひずみゲージを 15° 毎に管頂より等間隔で計 24 枚貼付した．模型地盤には 6-7 混合珪砂を用い，各層毎の重量を管理し，締固め法により，相対密度 70%（ρ_d =1.504g/cm^3）の地盤を作製した．基床厚は 330 mm(=2*D*)，土被りは 165 mm(=1*D*)とした．珪砂の物理特性を**表-2** に示す．また，管周辺の埋戻し材として，珪砂の他に平均粒径 7.1 mm の砕石を使用した．珪砂及び砕石の粒径加積曲線を**図-4** に示す．ジオグリッドはポリエチレン製で，目合い 5 mm×5 mm，引張強度 3.5 kN/m のものを使用した．

模型矢板には，厚さ 15 mm のアルミ板を使用した．模型矢板はワイヤを介して土槽両端に設置したモーターに接続されており，向かって右側より 1 枚ずつ鉛直上向きに変位させ，5 mm/s の一定速度で引抜きを行った．

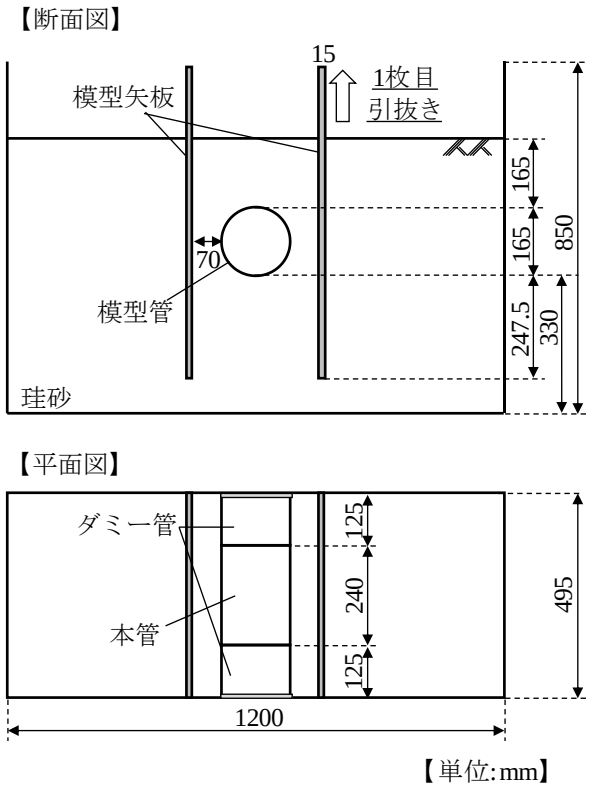


図-2　実験概要図

表-1　模型管諸元

材料	硬質塩化ビニル
外径 *D* (mm)	165
管厚 *t* (mm)	2.5
環剛性 EI/D_2^3 (kN/m^2)	0.92

E: 弾性係数，$I=t^3/12$，D_2:管厚中心直径(=*D*-*t*)

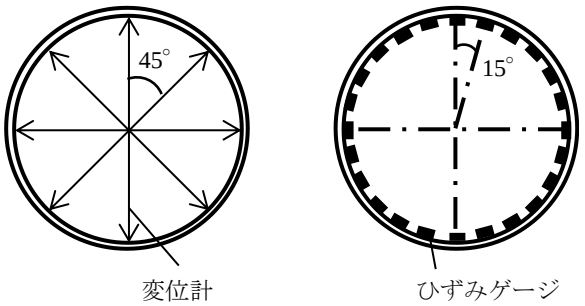


図-3　計測項目

(2) 実験ケース

図-5に実験ケースの基本形状を示す．埋設方法として，無補強のCase-S，補強範囲を砕石で埋戻したCase-G，管に沿わせてジオグリッドを敷設した

表-2　珪砂の物理特性

土粒子密度(g/cm^3)	2.63
最大乾燥密度(g/cm^3)	1.63
最小乾燥密度(g/cm^3)	1.28
均等係数	1.94
曲率係数	0.89

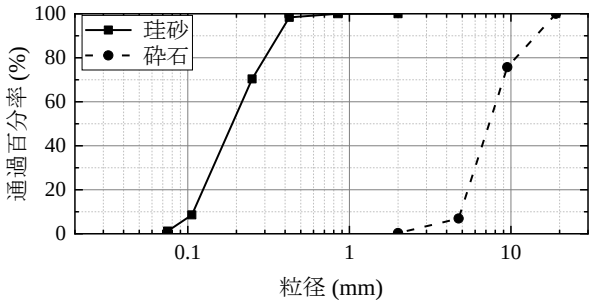


図-4　粒径加積曲線

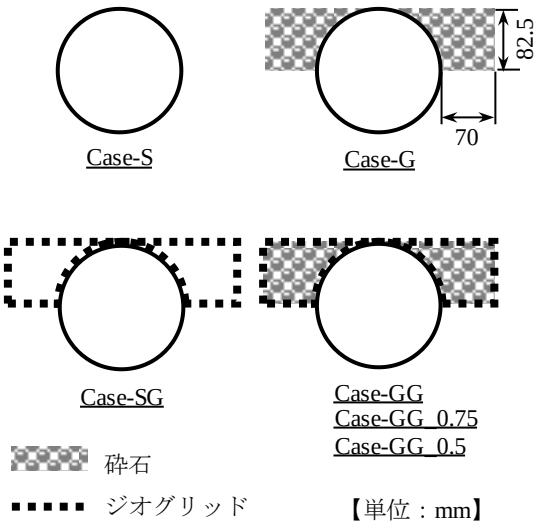


図-5　実験ケース

Case-SG，管に沿わせてジオグリッドを敷設し，グリッド内を砕石で埋戻したCase-GGの4種類がある．さらに，Case-GGにおけるグリッドの引張剛性を1とし，同じ埋設方法にて引張剛性を0.75，0.5に変化させ，計6ケースの実験を実施した．ジオグリッドの引張剛性は，ジオグリッドの一部を切断することで低下させ，剛性の違いは，切断する割合を変化させた．補強範囲は，高さを管頂からスプリングラインまで（82.5 mm），幅を管側から矢板までの距離（70 mm）とした．

３．結果と考察

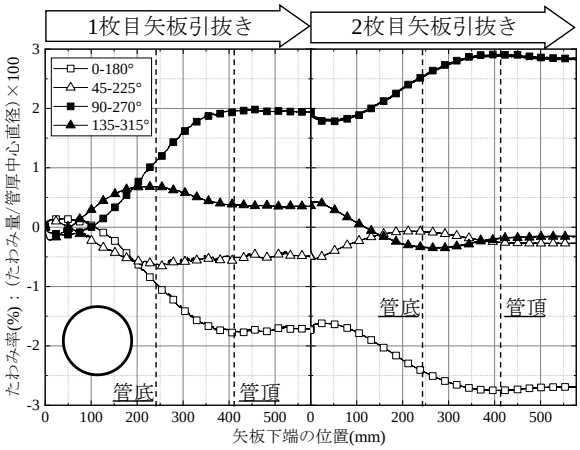
(1) 対策方法の違いによる検討(S，G，SG，GG)

a) 管のたわみ

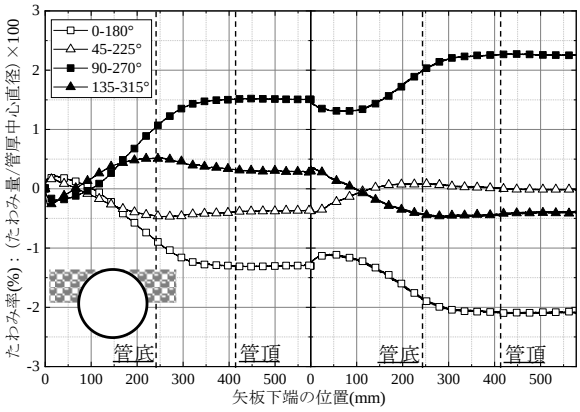
図-6にCase-S，G，SG，GGでの，各矢板引抜き時のたわみ率変化を示す．たわみ率は，管厚中心直径に対するたわみ量の比率であり，1枚目矢板引抜き開始時を初期値とし，管径が増加する方が正となっている．**図-6**より，全てのケースにおいて，各矢板引抜きとともに水平たわみの増加，鉛直たわみの減少が見られ，最終的には横長に変形していることがわかる．また，矢板下端が管頂通過後，たわみ量は一定値を示していることから，管の変形が生じるのは，矢板引抜き開始時から矢板が管周辺を通過するまでの間であることがわかる．

1枚目矢板引抜き時，**図-6(a)(b)**より，ジオグリッドを敷設していないCase-S，Gは，矢板下端が管底通過時に135°方向のたわみがピークを迎え，その後減少している．**図-6(c)(d)**より，ジオグリッドを敷設したCase-SG，GGの135°方向のたわみは，矢板下端が管底通過後に減少せず，一定値を示している．1枚目引抜き終了時，水平たわみに対する135°方向たわみの割合は，Case-S，Gで2割程度であるのに対し，Case-SGでは7割，GGでは8割となっており，斜め方向のたわみが顕著である．すなわち，Case-S，Gでは，1枚目引抜き後に横長に変形するが，Case-SG，GGでは，斜め方向に傾いて変形することがわかる．2枚目矢板引抜き時，各ケースとも，矢板引抜きに伴って45°，135°方向のたわみはゼロ近傍の値を示しており，最終的に斜め方向の傾きは生じていない．

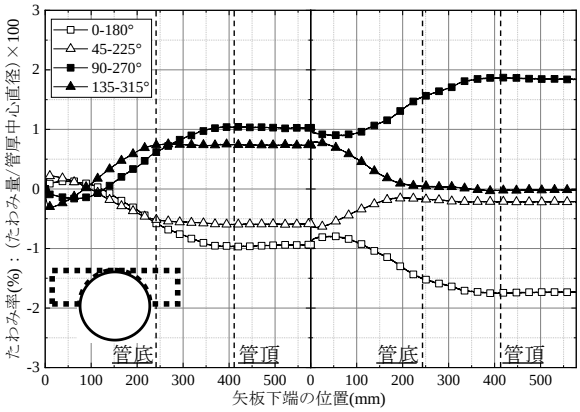
矢板引抜き中の埋設管の変形は，引抜き跡の空隙内に周辺地盤粒子が流入し，地盤が緩み，管に作用する土圧が減少することで生じる．1枚目引抜き時，引抜き初期段階では，管底斜め下部の地盤が緩むため，管は引抜き側へ傾いた変形となる（**図-7**）．引抜きが進行すると，管側部の地盤が緩み，管は水平方向に変形する．ジオグリッドを敷設した場合，管側周辺地盤の緩みが抑制され，水平土圧が維持されるため，それまでに生じていた斜め方向の変形が残留する．2枚目引抜き時は，1枚目引抜きと同様に，引抜き側へ傾きを伴いながら変形するため，1枚目に生じた傾きは 相殺されると考えられる．



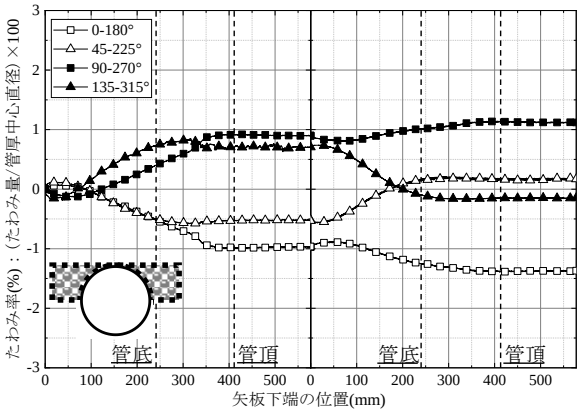
(a)　Case-S



(b)　Case-G



(c)　Case-SG



(d)　Case-GG

図-6　矢板引抜きに伴うたわみ率変化

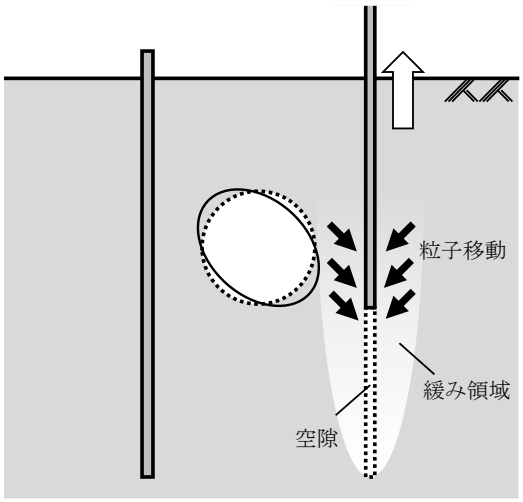


図-7　埋設管の変形の状況

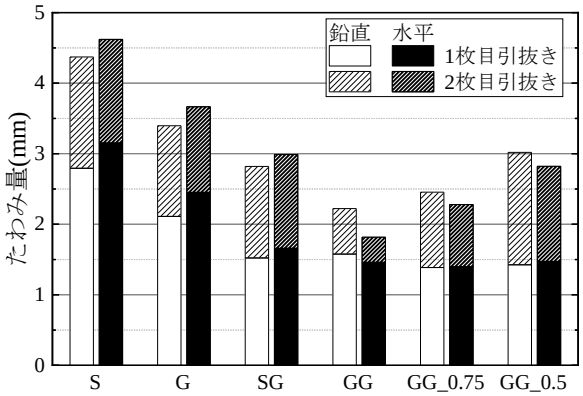


図-8　鉛直，水平たわみ量

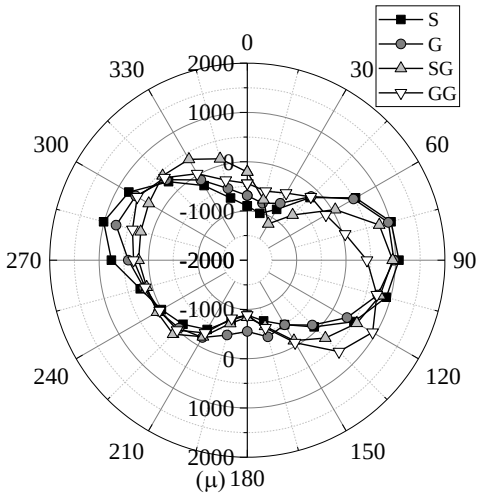
図-8に各矢板引抜き終了時の鉛直，水平たわみ量の絶対値を示す．たわみ量を比較すると，ジオグリッドで砕石を一体化したCase-GGのたわみ量が最も小さく，無補強のCase-Sと比較すると，鉛直たわみは5割，水平たわみは4割の値に留まっている．これより，ジオグリッドによる砕石の一体化は浮上防止効果に加え，埋設管の変形抑制にも効果があるといえる．また，無補強のCase-Sより砕石で埋戻したGのたわみが小さいのは，珪砂よりも砕石の受働抵抗が大きいためである．さらに，Case-S，G，SGでは，鉛直たわみよりも水平たわみの方が大きいが，Case-GGでは水平たわみよりも鉛直たわみが大きいことがわかる．これは，Case-S，Gはもとより，Case-SGでは，グリッド内部の珪砂が目合いを通過し，空隙へ移動することで管側部の水平土圧が減少するが，Case-GGでは，グリッド内部の砕石の流亡が生じず，管側部の水平土圧が保たれたためと考えられる．

b) 管に発生するひずみ

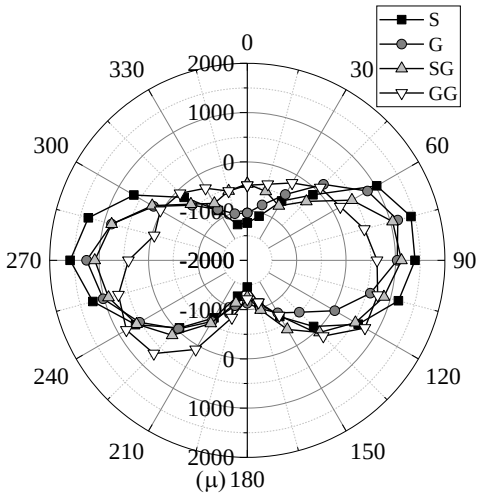
図-9に各矢板引抜き終了時の管内面円周方向ひずみ分布を示す．ひずみの値は，1枚目矢板引抜き開始時を初期値とし，引張ひずみを正としている．

1枚目引抜き後，Case-SとGは同様のひずみ分布を示し，90，285°に引張ひずみ，15，180°に圧縮ひずみが生じており，横長であるものの，やや引抜き側（右側）への傾きが見られる．Case-SGは，引抜きと反対側のひずみは小さく，30°に圧縮ひずみが生じており，S，Gよりも引抜き側へ傾いた分布形状となっている． Case-GGでは，管側部のひずみは小さく，120°の引張ひずみが顕著であり，斜め方向の変形をよく表している．

2枚目引抜き後，全てのケースで左右対称の分布形状となっており，引抜きによる傾きは見られない．Case-SとGは，管頂・管底部が圧縮ひずみで管側部が引張ひずみとなり，矢板引抜きによる管頂部への土圧の集中，水平土圧の減少による影響が確認できる．Case-SG では，S，Gと比較して管頂部のひずみが小さい．これは，管上部のジオグリッドの敷設により，管頂への土圧集中が低減された影響と考えられる．Case-GGは120，240°方向の引張ひずみが顕著であり，補強範囲である管頂からスプリングラインにかけてのひずみは小さく，スプリングラインから管底部までの変形が大きい．これより，ジオグリッドによる砕石の一体化によって補強範囲に作用する水平土圧は維持されており，管の変形はスプリングライン以下の砂の緩みによるものといえる．また，



(a)　1枚目引抜き後



(b)　2枚目引抜き後

図-9　円周方向ひずみ分布(S,G,SG,GG)

他のケースと同様に，180°方向に圧縮ひずみの集中が見られる．これより，ジオグリッドによる砕石の一体化は，管の変形抑制効果と管頂への土圧集中の低減は期待できるものの，他のケース同様，矢板引抜きによって基床部における埋設管の支持角が小さくなり，管底部への土圧集中が引き起こされる可能性があると考えられる（図-10）．

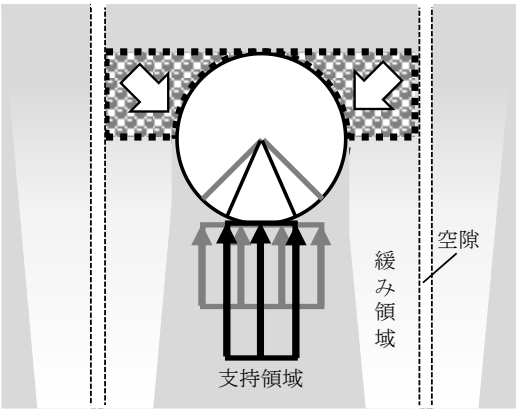


図-10　ジオグリッドによる砕石の一体化

(2) ジオグリッドの引張剛性の違いによる検討（GG, GG_0.75, GG_0.5）

a) 管のたわみ

図-8 より，Case-GG，GG_0.75，GG_0.5 の各矢板引抜き後の鉛直・水平たわみ量を比較すると，最終たわみ量は，引張剛性が小さくなるほど大きくなっている．また，1 枚目引抜き時の鉛直，水平たわみ量はほぼ同じ値であり，2 枚目引抜き中にたわみ量の差が生じていることがわかる．

図-11 に Case-GG，GG_0.75，GG_0.5 における，各矢板引抜き時のたわみ率変化を示す．1 枚目引抜き時，各剛性において，鉛直・水平たわみの変化は同様の挙動を示しており，矢板下端が管頂付近通過時まで鉛直・水平たわみの減少・増加が見られ，その後一定値を示している．また，引張剛性が小さいほど，斜め方向のたわみが小さくなる傾向がある．2 枚目引抜き時，鉛直・水平たわみ量に関して，GG_0.5は，引抜き初期から他の2ケースとのたわみ量に差がでており，GG と GG_0.75 のたわみ量の差は，矢板下端が管周辺を通過する際に生じていることがわかる．

b) 管に発生するひずみ

図-12 に各矢板引抜き終了時の管内面円周方向ひずみ分布を示す．1 枚目引抜き後，ひずみ分布は各ケースとも似た形状を示すが，Case-GG は，120-300°方向に傾いた分布で，GG_0.5 は，やや水平方向の分布に推移していることが確認できる．

2 枚目引抜き後，管の右半分のひずみにジオグリッドの引張剛性の差異は見られないが，引抜き側である左半分の分布形状が大きく異なっている．グリッド剛性が小さくなるほど，Case-GG で 240°に集中していた分布が水平よりの分布に推移し，ひずみの値も大きくなっている．

1 枚目引抜き時に引張剛性の違いが見られなかった理由の一つとして，ジオグリッドを敷設する際のゆるみにより，1 枚目引抜き段階では張力が不十分であった可能性が考えられる．ジオグリッドの引張剛性と補強効果の関係性には，更なる検討が必要である．

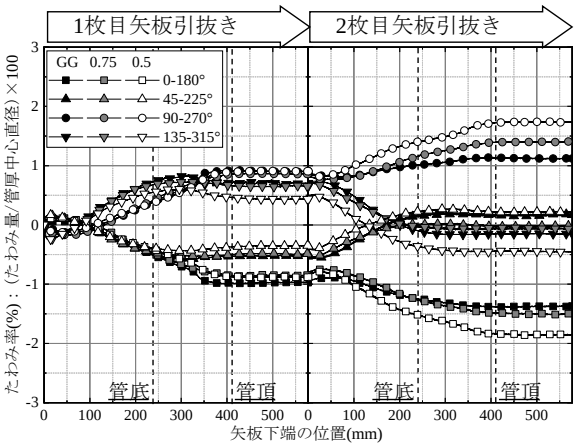
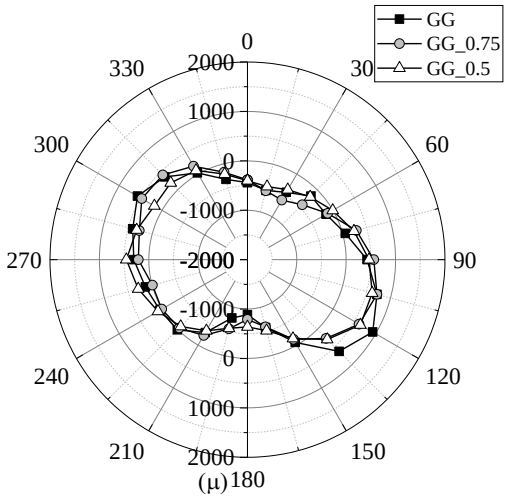
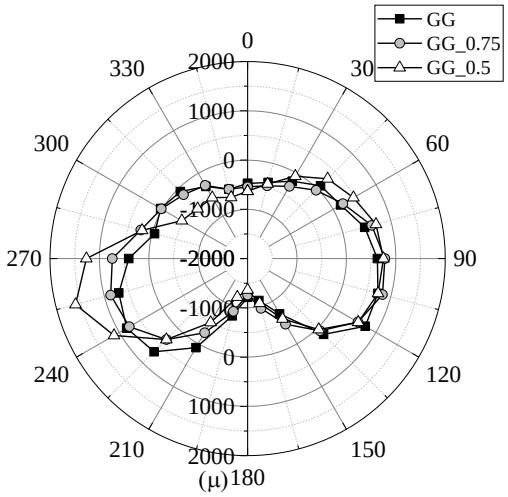


図-11　矢板引抜きに伴うたわみ率変化



(a)　1 枚目引抜き後



(b)　2 枚目引抜き後

図-12　円周方向ひずみ分布(GG,GG_0.75,GG_0.5)

４．まとめ

本研究では，矢板引抜きが浅埋設パイプラインに与える影響を明らかにするため，浮上防止方法を変えた矢板引抜き模型実験を実施した．以下に得られた知見を示す．

1) ジオグリッドで管側部の砕石を拘束した場合，矢板引抜きによる管側の水平土圧低下が抑制され，埋設管の変形量は小さくなる．
2) 管上部にジオグリッドを敷設することにより，管頂部への土圧集中が緩和される．しかしながら，矢板引抜きによって管下部の支持角が減少し，管底への土圧集中の可能性が考えられる．
3) ジオグリッドの引張剛性が小さくなると，砕石の一体化効果が低下し，埋設管の変形量が大きくなる．

参考文献

1) 毛利栄征，中島賢二郎：大口径可とう性パイプの変形と沈下について，農業土木学会論文集，第142号，pp.9-18，1989.
2) 東田　淳，三笠正人：開削工法で埋設された剛性管に働く土圧―矢板引抜き時の土圧集中―，土と基礎，Vol.32，No.12，pp15-22，1984.
3) 東田　淳，堀田清美，篠崎　亘，三笠正人：遠心力鉄筋コンクリート管（コンクリート支承）に加わる土圧と管の強度について，土木学会論文報告集，No.310，pp.97-112，1981.
4) 東田　淳，三笠正人：遠心力模型実験による剛性埋設管の土圧の検討，土木学会論文集，No.376/Ⅲ-6，pp.171-180，1986.
5) 吉村　洋，東田　淳，李　黎明：遠心模型によるたわみ性埋設管の土圧・変形挙動の検討，土木学会論文集，No.561/Ⅲ-38，pp.245-255，1997.
6) 社団法人農業農村整備情報総合センター：パイプラインの浅埋設工法―ジオテキスタイルによる地中構造物の浅埋設工法―　設計・施工・積算指針（案），2007.
7) 毛利栄征，河端俊典，藤田信夫：浅埋設パイプラインの限界埋設深に関する研究，農業土木学会論文集，No.208，pp.127-135，2000.
8) 毛利栄征，河端俊典，Ling, H.I.：浅埋設パイプラインの振動台実験，第10回日本地震工学シンポジウム，pp.1913-1916，1998.

MECHANICAL BEHAVIOR OF SHALLOWLY BURIED PIPELINE USING GEOGRIDS DURING SHEET-PILE EXTRACTION

Mayu TODA, Noritake MIYAZAKI, Yutaka SAWADA and Toshinori KAWABATA

Sheet-piles are used in order to install pipelines. Sheet-pile extraction causes pipe damages such as excessive deformation and cracks. In recent years, it is required that pipelines be buried shallowly because of reduction of construction cost. There are few studies on the influence of construction on the shallowly buried pipe using geogrid. In the present study, model experiments were conducted in order to clarify the influence of sheet-pile extraction on shallowly buried pipe using geogrid. Test results showed that the pipe deformation was small in the case of using geogrid and gravel. However, the reduction of bedding due to the sheet-pile extraction may cause the concentration of earth pressure on the bottom of the pipe.

KEYWORDS: Buried Pipeline, Geogrid, Sheet-pile, Model Experiment