

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15090

研究課題名（和文）地震時挙動の解明に基づく蛇籠型受圧体を用いた埋設管屈曲部スラスト力防護対策の確立

研究課題名（英文）Technical establishment of thrust protection for buried bend using gabion based on the clarification of seismic behavior

研究代表者

荒木 裕行（Araki, Hiroyuki）

香川大学・創造工学部・講師

研究者番号：30780837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：上水道管等の埋設管の屈曲部にはスラスト力と呼ばれる水平力が生じる特徴があり、液状化等により周囲の地盤の抵抗力が低下すると埋設管接続部の離脱や水平変位が生じる可能性がある。本研究では、申請者が考案している蛇籠型受圧体を埋設管側部に設置するスラスト力防護対策を対象とし、主として周囲の地盤が液状化した際の埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動について検討を行った。その結果、蛇籠型受圧体を設置すると近傍地盤の過剰間隙水圧の消散を促進する効果が認められ、スラスト力の大きさに問わず埋設管の水平変位が抑制されること、この変位抑制効果は蛇籠型受圧体の配置により向上できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

蛇籠は土木分野においてしばしば用いられる構造体であるものの、液状化地盤内に埋設して抵抗部材として利用する試みは一般的ではない。本研究で実施した蛇籠型受圧体および埋設管の地震時挙動の評価では、蛇籠型受圧体および埋設管屈曲部の三次元形状に加えて液状化が関与する複雑な境界条件を考慮する必要があり、地盤工学的にも新規性のあるデータを取得することができたといえる。また、本研究を通じて明らかとなった、液状化地盤内における蛇籠型受圧体の地震時挙動や埋設管に対する抵抗力の付加効果は、蛇籠型受圧体を用いたスラスト力防護対策の設計手法を構築する上で重要な基礎データとなり得る。

研究成果の概要（英文）：A horizontal force called thrust force acts on the bend of buried pipelines, such as water supply pipelines. Thus, if necessary, a thrust-protection method is applied to the bend to prevent damage to the buried pipeline. In this study, the thrust-protection method using a gabion composed of a geogrid basket and gravel was targeted. Several model tests were conducted to evaluate the seismic behavior of the pipe and the gabion and the effect of pipe displacement suppression in the liquefiable ground. The results revealed that the gabion prevents liquefaction of the surrounding ground; the horizontal displacement of the pipe was reduced by installing the gabion regardless of the value of the thrust force; the effect of pipe displacement suppression could be controlled by the layout of the gabion.

研究分野：地盤工学

キーワード：埋設管 スラスト力 蛇籠 液状化 振動台実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

上水道管等の埋設管の屈曲部にはスラスト力と呼ばれる水平力が生じる特徴があり、周囲の地盤の抵抗力が不足すると埋設管接続部の離脱や水平変位が生じる可能性がある。スラスト力に対する抵抗力を増強し埋設管の変位を抑制するため、必要に応じてスラスト力防護対策が施される。一般的なスラスト力防護対策としては防護コンクリートを打設する手法が挙げられるが(図-1a)、地震によって周辺地盤が液状化した場合には十分な抵抗力が得られず、さらに屈曲部の自重増加に伴う沈下や慣性力の増大が生じる可能性があるため、埋設管の変位を抑制できない可能性がある。

申請者は蛇籠型受圧体を用いた新たなスラスト力防護対策(図-1b)を考案している。これは、礫とジオテキスタイルで作製した蛇籠型受圧体を埋設管の側部に設置する手法であり、屈曲部の自重を増加させないことから、自重による沈下や慣性力を増大させる懸念は小さい。既往検討を通じて、本対策が埋設管の変位を抑制する効果を有することは既に明らかになっている。しかしながら、地震によって周囲の地盤が液状化した状況下での埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動や対策効果等は明らかになっておらず、本手法の確立にはこれらの把握が必要である。

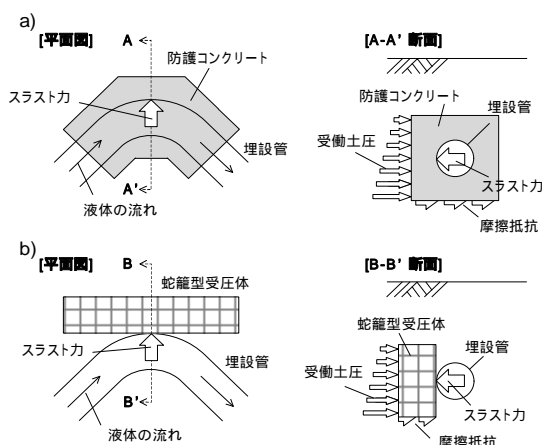


図-1 スラスト力防護工の平面模式図
(a)防護コンクリート、b)蛇籠型受圧体)

2. 研究の目的

本研究では、蛇籠型受圧体を埋設管の側部に設置するスラスト力防護対策を対象とし、本対策手法の確立のために必要な事項の解明を行う。本対策で用いる蛇籠型受圧体には、受働土圧等による抵抗力の付加と周辺地盤が液状化した際の過剰間隙水圧の消散促進を期待しており、これらの効果の結果として埋設管の変位が抑制されると想定している。既往検討では、静的に液状化を模擬した模型地盤内で特定のスラスト力が作用する条件に絞り、蛇籠型受圧体の寸法や鉛直方向の配置等と対策効果の関係について明らかにした。しかしながら、蛇籠型受圧体によって付加される抵抗力の定量評価や、埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動に基づいた蛇籠型受圧体の水圧消散促進効果および変位抑制効果の評価には至っていない。そこで本研究では、これらの事項について模型実験を通じて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では模型実験を主軸として検討を行った。実施した模型実験は、埋設管が受ける抵抗力を評価するための静的模型実験と、埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動を評価するための振動台模型実験の2種類に大別される。

(1) 静的模型実験

静的模型実験は土槽内に砂質土で模型地盤を作製し、地盤中の埋設管模型に対して水平力を与えるものである(図-2)。模型地盤には三河珪砂5号を用い、乾燥密度が 1.296 g/cm^3 となるよう締め固めた後、水で飽和した。スラスト力が作用する埋設管屈曲部の2次元断面に着目して埋設管模型は直径50mmの直管で模擬し、地表面から100mmの位置に埋設した。埋設管模型の側面部には、図-2に示すようにロードセルと間隙水圧計が埋め込んであり、地盤から受ける抵抗力を計測することができる。

蛇籠型受圧体模型は、縦横目合い4mmのポリプロピレン製ネットで作製した籠の中に、粒径4.75~29mmの礫を詰めたものを用いた。蛇籠型受圧体模型の寸法は幅50mm、高さ100mmである。蛇籠型受圧体はその一部が埋設管よりも下部に位置するように埋設し、なおかつ蛇籠型受圧体の重心高さにスラスト力を作用させることで、蛇籠型受圧体の回転挙動が抑制されて変位抑制効果が高まることが明らかになっている。本研究ではこれに倣い、蛇籠型受圧体の高さ方向の下部1/4が埋設管より深く位置するように掘削し、蛇籠型受圧体の高さ方向の中央部に埋設管の中心が位置するように設置した。

実験では、埋設管模型に接続した载荷軸によ

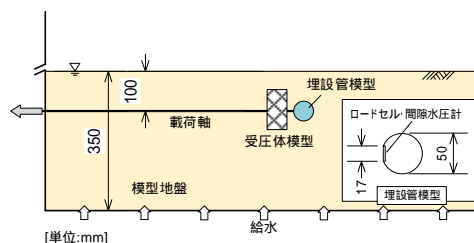


図-2 静的模型実験の概要図

り強制的に水平変位を与え、この時に埋設管のロードセルと間隙水圧計により地盤から受ける水平抵抗を計測した。

(2) 振動台模型実験

振動台模型実験は土槽内に砂質土で模型地盤を作製し、埋設管あるいは蛇籠型受圧体に対して模擬スラスト力を与えながら土槽を加振することで、模型地盤を強制的に液状化させるものである(図-3)。

模型地盤は豊浦砂を用い、相対密度が40%となるよう水中落下法により作製した。埋設管模型は直径50mmの直管模型と90度の屈曲角を有する屈曲管模型の2種類を用い、いずれを用いたケースでも地表面から100mmの位置に埋設した。蛇籠型受圧体模型は静的模型実験と同様の手法で作製したのを用い、蛇籠型受圧体と埋設管模型との鉛直方向の位置関係も静的模型実験と同様とした。また、4.(1)で述べるとおり、蛇籠型受圧体と埋設管模型とは接近していた方が抵抗力を高めることができることから、蛇籠型受圧体は埋設管模型に接した状態で設置した。

加振は目標加速度 1.0 m/s^2 、周波数 5.0 Hz 、波数30波の正弦波を用い、加振中に地盤内に生じる過剰間隙水圧と埋設管の水平変位を計測した。

4. 研究成果

(1) 蛇籠型受圧体によって付加される抵抗力の定量評価

埋設管が受ける水平抵抗 ρ' と埋設管の変位 d_p の関係を図-4に示す。Case SG3, SG4, SG6はいずれも蛇籠型受圧体を設置したケースであるが、埋設管模型と蛇籠型受圧体の水平方向の離隔距離が異なり、それぞれ15mm, 50mm, 100mmである。また、Case SN2は埋設管模型のみを設置した無対策のケースである。実験では ρ' が減少傾向を示した時点で載荷終了としたが、Case SG6については載荷装置の都合上変位量が100mmを超えた時点で載荷終了とした。

無対策のケースと比べると、初期離隔距離の大小によらず蛇籠型受圧体を設置することで抵抗力の最大値は増加した。Case SG6については載荷を途中で止めたため ρ' の最大値を得られていない可能性が高いことに留意する必要があるが、本条件下では蛇籠型受圧体を用いることで埋設管は無対策時の2倍以上の抵抗力を得ることができる。また、 ρ' が最大となる時の埋設管の水平変位は、初期離隔距離と概ね等しいことから、埋設管が蛇籠型受圧体に接近した時に管が受ける抵抗力が最大となるといえる。

埋設管の水平載荷時における模型地盤の変状を把握するため、模型地盤の側面を撮影した画像を基に地盤内の最大せん断ひずみを求めた。対策ケースについて、埋設管の水平変位が20mm程度となった時点の最大せん断ひずみ分布を図-5に示す。Case SG3では蛇籠型受圧体自体が15mm程度水平移動し、蛇籠型受圧体底部から地表面にかけて最大せん断ひずみが高まっている。Case SG4では埋設管模型から蛇籠型受圧体にかけて局所的に最大せん断ひずみが増加したほか、蛇籠型受圧体の受働領域でも広く最大せん断ひずみが増大している。埋設管の受働側地盤を経て蛇籠型受圧体に埋設管から受けたスラスト力が伝わっているといえる。一方でCase SG6では主として蛇籠型受圧体と埋設管の間において最大せん断ひずみが増大しており、蛇籠型受圧体の受働領域では明確なひずみが生じていない。つまり、埋設管の

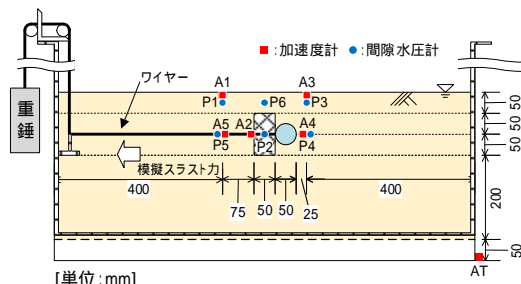


図-3 振動台実験の概要図

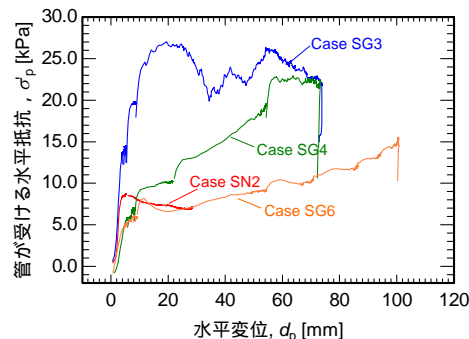


図-4 埋設管模型の水平変位と水平抵抗

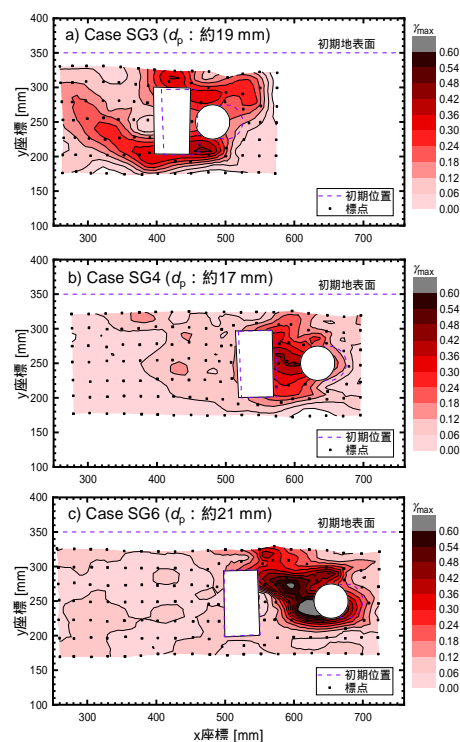


図-5 地盤内の最大せん断ひずみ分布

変位が 20 mm 程度の時点では蛇籠型受圧体にはスラスト力が十分に伝達されておらず、受圧体の埋設管側にある地盤が主としてスラスト力に抵抗していることから、無対策に近いといえる。したがって、本研究で用いたような寸法の蛇籠型受圧体を用いた場合、蛇籠型受圧体は埋設管との水平離隔距離が極端に広いと埋設管と蛇籠型受圧体との間の地盤でせん断変形が先行して生じるため、抵抗力の増大効果を早期に得るためには蛇籠型受圧体を埋設管の受働領域内の地盤に設置する必要がある。

蛇籠型受圧体は施工や製作の簡略化・省力化を考慮して直方体形状を想定しているが、図-1bに示すように蛇籠型受圧体をスラスト力に直交するように配置した場合、屈曲部（B-B'断面）から離れるにつれて埋設管と蛇籠型受圧体の間に隙間が生じる。前述の結果に基づけば、隙間が生じている部分であっても、埋設管の受働領域であれば抵抗力の増強に寄与できるものと考えられる。

(2) 蛇籠型受圧体の地震時挙動と水圧消散促進効果

地震によって液状化した地盤内における蛇籠型受圧体の地震時挙動および過剰間隙水圧の消散促進効果について検討するため、蛇籠型受圧体のみを地盤内に埋設した振動台実験を行った。蛇籠型受圧体を設置した Case G-0 と設置していない Case N の過剰間隙水圧比の時刻歴変化を図-6 に示す。過剰間隙水圧比は、過剰間隙水圧を加振前の有効上載圧で除した値であり、1.0 になると有効応力がゼロ、すなわち液状化している状態を意味する。Case N では加振後においても過剰間隙水圧比が 10 秒間程度継続しているが、Case G-0 では 4 秒程度に短縮されている。また、Case G-0 では加振中においても過剰間隙水圧比の瞬間的な低下が確認できる。これらの現象は、蛇籠型受圧体による過剰間隙水圧の消散促進効果といえる。

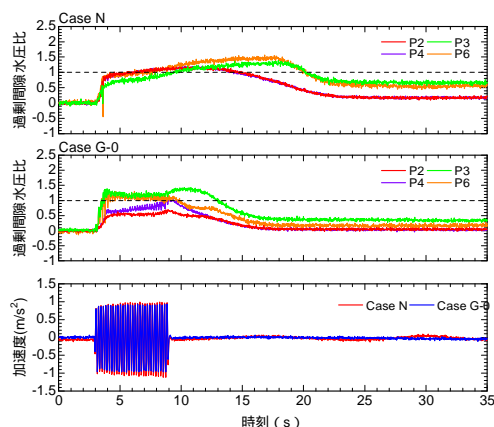


図-6 蛇籠型受圧体のみを設置した場合の時刻歴変化図

次に、地盤内に埋設した蛇籠型受圧体に対して、模擬スラスト力を水平方向に荷重しながら加振を行う振動台実験を行った。代表的なケースの過剰間隙水圧比および蛇籠型受圧体の水平変位の時刻歴変化を図-7 示す。Case G-5.0、G-10.0 で与えた単位奥行き当たりの模擬スラスト力は、それぞれ 122.5 N/m、245.0 N/m であり、蛇籠型受圧体に直接荷重を行った。模擬スラスト力が荷重されたケースでは、蛇籠型受圧体周辺において過剰間隙水圧比が高い状態が継続しているが、これは蛇籠型受圧体が地盤内を移動したことに伴う地盤条件の変化や、蛇籠型受圧体から離れた領域からの過剰間隙水圧の伝播等が原因と考えられる。ただし、いずれのケースでも加振中において過剰間隙水圧の瞬間的な低下が確認でき、模擬スラスト力が荷重されたとしても一定レベルの水圧消散促進効果は保持できていると考えられる。

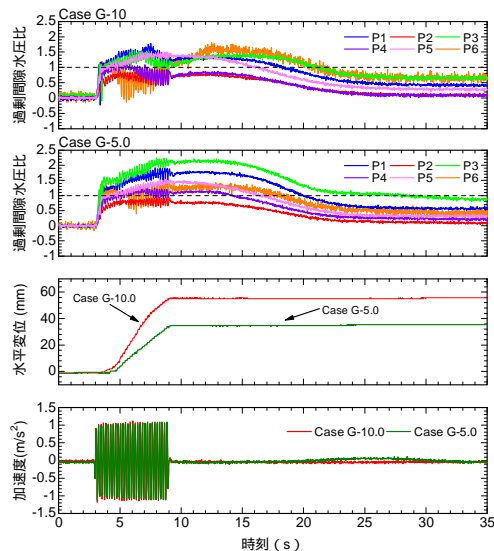


図-7 模擬スラスト力を与えた蛇籠型受圧体の時刻歴変化図

(3) 埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動と変位抑制効果

地震により液状化した地盤内における、模擬スラスト力が作用した埋設管の地震時挙動、および対策効果について検討する。代表的な実験ケースについて、地盤の過剰間隙水圧比、埋設管の水平変位の時刻歴変化図を図-8 に示す。Case P-12.5 は無対策のケース、Case PG-12.5 は蛇籠型受圧体を設置したケースである。埋設管模型には直径 50 mm の直管を用い、埋設管模型には模擬スラスト力として 306 N/m の水平力を与えた状態で加振を行った。

Case P-12.5 では、埋設管の水平変位は加振開始直後から増加し、加振終了後 3~4 秒程度まで増加し続けた。これに対して蛇籠型受圧体を設置した Case PG-12.5 では、加振開始後 3 秒程度まで水平変位が抑制され、さらに加振終了後には水平変位に変化が生じなかった。対策ケースにおける埋設管の残留水平変位は無対策ケースの約半分に抑制された。

異なる模擬スラスト力条件での実験結果も加えて、模擬スラスト力と残留水平変位の関係として整理したものを図-9 に示す。埋設管模型（直管）だけの無対策ケースや、蛇籠型受圧体のみを設置したケースにおける残留水平変位は、模擬スラスト力の増加に対して概ね線形的に増

加した。これに対して、蛇籠型受圧体を追加した対策ケースでの残留水平変位は、スラスト力の大きさによらず無対策ケースの半分程度であった。つまり、スラスト力が変化しても概ね一定の変位抑制効果を有するといえる。

以上の検討では、境界条件の単純化を念頭におき、埋設管の屈曲部断面をモデル化した直管を用いた検討を行ってきた。しかしながら、実際にスラスト力が作用するのは図-1bに示すような屈曲部であり、屈曲管に対して蛇籠型受圧体を適用した際の対策効果についても検討する必要がある。そこで、直径 50 mm、屈曲角度 90° の屈曲管モデルと、幅 50 mm、高さ 100 mm、奥行き 150 mm の蛇籠型受圧体モデルを用い、模擬スラスト力は 183 N/m として振動台実験を実施した。その結果、無対策のケースでは埋設管は Case P-12.5 (図-8) とよく似た挙動を示し、残留水平変位は 86 mm となった。これに対して、蛇籠型受圧体を屈曲部のスラスト力作用側地盤に 1 個設置した場合、蛇籠型受圧体を屈曲部に接続する直管部に沿って 2 個設置した場合、屈曲部 1 個と直管部 2 個の計 3 個を設置した場合を設定し、その対策効果を検討した。屈曲管の残留水平変位を図-9 に併せて示す。いずれの対策ケースにおいても、蛇籠型受圧体を設置することで残留水平変位が抑制されることを確認した。屈曲部に 1 個設置した場合と直管部に 2 個設置した場合ではほぼ同程度の変位であったが、計 3 個を設置すると残留変位は大幅に抑制されることが明らかとなった。したがって、本対策の設計にあたっては、想定されるスラスト力に対して抵抗でき、なおかつ許容水平変位が満足できるよう、受圧体の寸法や受圧体の配置を変化させることで対策効果を制御することが可能といえる。

(4) まとめ

蛇籠型受圧体を用いたスラスト力防護対策

の確立に向けて、蛇籠型受圧体によって増加する抵抗力の定量評価や、埋設管と蛇籠型受圧体の地震時挙動に基づいた蛇籠型受圧体の水圧消散促進効果および変位抑制効果の評価を行った。以下に結果をまとめる。

蛇籠型受圧体を設置することで埋設管が受ける抵抗力は増大し、埋設管が蛇籠型受圧体に接近したとき抵抗力は最大値となった。蛇籠型受圧体と埋設管との水平離隔距離が極端に広いと埋設管と蛇籠型受圧体の間の地盤で先行してせん断変形が生じるため、抵抗力の増大効果を早期に得るためには蛇籠型受圧体を埋設管の受働領域内に設置する必要がある。

蛇籠型受圧体を設置することで、近傍地盤における加振終了後の過剰間隙水圧の消散時間の短縮や、加振中の過剰間隙水圧の低下など、明確な水圧消散促進効果を確認できた。また、蛇籠型受圧体に模擬スラスト力が作用させると、蛇籠型受圧体が地盤内を移動するため、加振終了後の水圧消散時間の短縮効果は不明瞭になったが、加振中には過剰間隙水圧の低下は確認できたことから、一定レベルの水圧消散促進効果は保持できていると考えられる。

直管の埋設管モデルに模擬スラスト力を作用させ、加振により地盤を液化させた場合、蛇籠型受圧体を設置することで埋設管の水平変位を大幅に抑制できること、この変位抑制効果は模擬スラスト力を変化させても概ね一定であることが明らかとなった。また、屈曲管の埋設管モデルを用いた場合においても変位抑制効果を確認できたが、蛇籠型受圧体の配置によりその効果を制御可能であることが明らかとなった。したがって、想定スラスト力と許容水平変位を満足できるよう、蛇籠型受圧体の配置や寸法をパラメータとして設計を行うことが可能といえる。

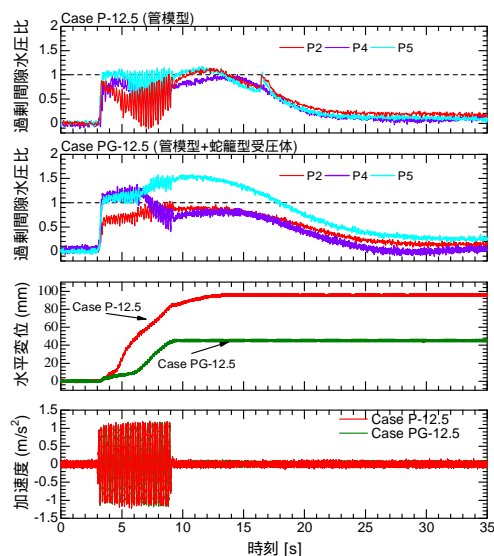


図-8 埋設管に蛇籠型受圧体を設置した時の時刻歴変化図

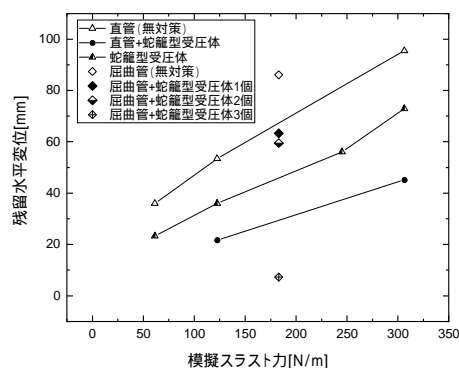


図-9 模擬スラスト力と埋設管の最終水平変位の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Araki Hiroyuki, Hirakawa Daiki	4. 巻 Vol.20, No.81
2. 論文標題 RESISTANCE FORCE AND GROUND BEHAVIOR IN THRUST PROTECTION FOR BURIED PIPES USING GEOGRID GABION	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2021.81.Gx172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平川大貴, 荒木裕行
2. 発表標題 蛇籠型受圧体による埋設管屈曲部の地震時水平変位の抑制
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐倉拓歩, 川崎佑斗, 平川大貴, 荒木裕行
2. 発表標題 蛇籠型受圧体を用いた内圧管の地震時水平変位の抑制効果
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木裕行, 平川大貴, 楠瀬日梨, 長森幸太郎
2. 発表標題 スラスト力防護対策としての蛇籠型受圧体と埋設管の水平離隔距離に関する模型実験
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎佑斗, 荒木裕行, 平川大貴, 萩野皓介
2. 発表標題 埋設管のスラスト力防護工に用いる蛇籠型受圧体に関する振動台実験
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎佑斗, 荒木裕行, 平川大貴, 萩野皓介
2. 発表標題 埋設管のスラスト力防護工に用いる蛇籠型受圧体の地震時における排水挙動
3. 学会等名 土木学会全国大会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関