

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01495

研究課題名(和文) 農業用継手管路屈曲部の力学挙動の解明ならびにその耐震性強化・長寿命化の確立

研究課題名(英文) A study on mechanical behavior of buried pipe bends for improving its seismic resistance and extending the service life

研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA, Toshinori)

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：20335425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災や過去の被災例から判断して、パイプラインの弱点は屈曲部近傍に集中している。圧力管路屈曲部のスラスト対策として、重量物であるコンクリートブロックを用いる工法が一般的であるが、管路の耐震性を向上させるためには、より軽量なスラスト対策工法を開発する必要がある。本研究では、管路屈曲部の水平変位時の力学挙動の解明とジオグリッドならびに砕石を用いた新たな対策工法の考案およびその実用化に向け、各種模型実験を実施した。実験結果より当提案工法の液状化地盤内での有効性を検証するとともに当工法により付加される水平抵抗力の算定手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

営農に不可欠な灌漑用水を、ダムなどの貯水施設から末端圃場まで適確に運ぶために、国内には45,000kmにおよぶ幹線水路網がある。しかしながら、近年の巨大地震や水路施設の老朽化により、その耐震化や長寿命化が急務となっている。また、東日本大震災や過去の被災例から判断して、パイプラインの弱点は屈曲部近傍に集中することは明白である。このような背景の中、当研究課題では、農業用パイプライン屈曲部の力学挙動を解明するとともに耐震性の高い屈曲部構造を考案およびその有効性を検証したことから、本研究は、将来における我が国の農業農村整備事業に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Judging from the damage cases in the Great East Japan Earthquake or past large earthquakes, bends of buried pipelines tend to be weak points during earthquakes. Generally, heavy concrete blocks have been used as a thrust restraint, whereas a more lightweight thrust restraint is required to improve the seismic resistance of pipeline. In this study, various type model experiments have been conducted in order to reveal mechanical behavior of buried bends against lateral movement and establish the new method in which gravel and geogrid are used. As a result, the new thrust restraint has been verified to be effective in liquefied ground and the estimation method for the lateral resistance by the new method has been proposed.

研究分野：農業土木

キーワード：パイプライン 屈曲部 スラスト防護工法 耐震性 長寿命化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に構築された我が国の社会資本ストックの老朽化が顕在化している中、南海トラフ地震をはじめ巨大地震に対する注意喚起が高まっている。農業用幹水路は約 45,000km に達しており、それら施設の効率のよい更新ならびに耐震性の具備が急務である。過去の地震によるパイプラインの被災事例からは、パイプラインの屈曲部での被災が際立っており、屈曲部の耐震性向上が極めて重要である。圧力管屈曲部には、スラスト対策としてブロックを用いているが、このスラストブロックに代わる耐震性の高い新たなスラスト防護工法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、曲管部の水平移動時の基本的な力学挙動を解明したうえで、スラストブロックに代わる耐震性の高い新たなスラスト防護工法の開発を目指す。曲管部の基本的な挙動解明として、具体的には、(1) 曲管部の曲がり角度と摩擦特性がその水平抵抗力に及ぼす影響を解明することが挙げられる。また、新たな防護工法として、補強盛土で利用されるジオグリッドを曲管部に覆い、その内部を碎石で埋め戻す工法に着目した

(Fig.1)。当提案スラスト防護工法の開発にあたっては、(2) 当工法の液状化地盤での耐震性の検証、(3) 碎石の最適配置の解明、(4) 当工法により得られる水平抵抗力の算定、を行うことが必要となる。

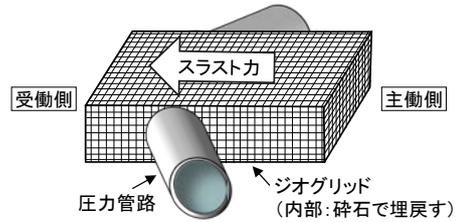


Fig. 1 ジオグリッドと碎石を用いたスラスト対策工法

3. 研究の方法

本研究では、上記に示す 4 つの解明事項に対して、(1) 曲管の水平変位挙動に関する水平載荷模型実験、(2) 当対策工法の耐震性に関する 1G 場振動台実験、(3) 碎石基礎のスラスト対策効果に関する遠心力載荷模型実験、(4) 当対策工法の水平抵抗力算定に向けた水平載荷実験、の 4 つの模型実験を実施した。それぞれの具体的な実験手法について、以下に述べる。

(1) 曲管の水平変位挙動に関する水平載荷模型実験

曲管の屈曲角度と表面摩擦が管の水平変位挙動に与える影響を検討するために、Fig. 2 に示す 1000mm×1100mm（高さ 580 mm）の実験土槽を用い、曲管の水平載荷実験（以下、実験 1）を実施した。模型地盤は、乾燥 6・7 混合珪砂で作製し、相対密度は 15, 85% とした。外径 70 mm のアルミニウム製曲管は、屈曲角度 30, 45, 90° とし、また、管表面の摩擦は 60 番の紙ヤスリを管表面に貼付することで変化させた。土被りは  $H/D=2.0$  とした。ここで、H: 土被り (mm), D: 模型管外径 (mm) である。実験時は、模型管を 0.1 mm/s で水平変位させ、管の水平荷重や水平変位量について計測した。

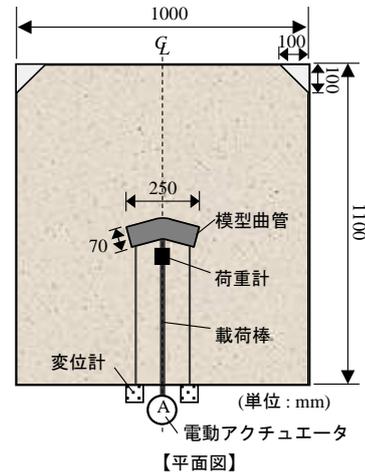


Fig. 2 実験土槽概要（実験 1）

(2) 当対策工法の耐震性に関する 1G 場振動台実験

液状化時における対策工法の有効性、特にジオグリッドでの周辺地盤と管路の一体化による効果を検討するために、振動台実験（以下、実験 2）を実施した。実験では Fig. 3 に示す高さ 580 mm の実験土槽を使用した。模型地盤は、6・7 混合珪砂で相対密度 65, 75% の飽和地盤とし、対策工内および管周辺は平均粒径 7 mm の碎石で埋戻した。Fig. 4 に模型寸法を示す。模型管には実験 1 で用いた屈曲角度 30° の曲管を使用し、重錘 (6kg) を用いて一定荷重を负荷した。ジオグリッドには、目合い 10 mm のポリエチレン製ものを使用した。加振は 5Hz の正弦波とし、加振時間は 24 秒とした。模型に対して最大加速度が 200, 300, 400, 600 gal の 4 段階の加振を順に与え、加振時の管の水平変位量等を計測した。

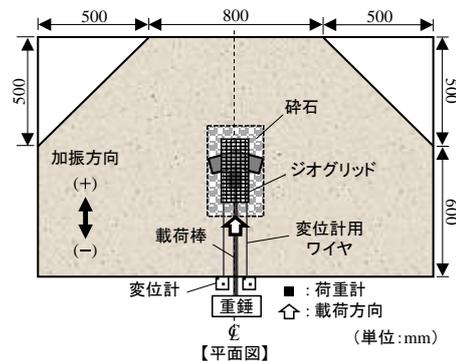


Fig. 3 実験土槽概要（実験 2）

(3) 碎石基礎のスラスト対策効果に関する遠心力載荷模型実験

当対策工法の合理的な設置範囲を検討する上で、スラスト対策として有効な碎石の埋戻し範囲を明確にする必要がある。本実験では、30G の遠心力により 1800

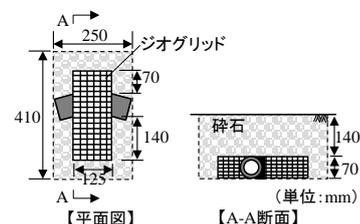


Fig. 4 模型寸法（実験 2）

mm の管路を想定した応力場での加振実験（以下、実験 3）を実施し、スラスト対策としての砕石基礎の有効性とその埋戻し範囲について検討した。Fig. 5 に実験模型の概略図を示す。模型地盤は、D 値 93% の笠間土、相対密度 60% の 5 号珪砂、5 mm 単粒砕石を用いて作製し、メトロゾ水溶液を用いて飽和させた。砕石の埋戻し条件は Fig. 6 で示す 4 種類とした。外径 60 mm の模型直管に 7 kg および 14 kg の一定荷重を負荷した状態で、4 回加振した。加振条件は原型スケールで最大加速度 200, 400, 600, 800 gal 相当の 5 Hz, 60s の正弦波とした。

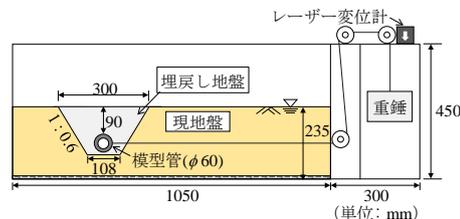


Fig. 5 実験土槽概要 (実験 3)

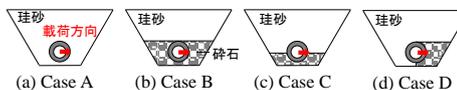


Fig. 6 実験ケース (実験 3)

#### (4)当対策工法の水平抵抗力算定に向けた水平荷重模型実験

まず、当対策工法の寸法と水平抵抗力の関係を明らかにするために、対策工の寸法を変化させた場合での水平荷重模型実験（以下、実験 4-1）を実施した。本実験には Fig.2 の土槽を用い、相対密度 80% の乾燥 6・7 混合珪砂で模型地盤を作製した。Fig. 7 の示すスラスト対策工には、実験 2 と同様のジオグリッド及び砕石を用いた。また、模型管には実験 1 で使用した屈曲角度 30° の曲管を使用した。土被りは、 $H/D = 1.0, 2.0$  とし、変位速度は 0.1 mm/s とした。Fig. 7 に示す寸法  $L_1$  を 100, 125, 150 mm に変化させ、水平抵抗力や周辺地盤の破壊形状の違いを検討した。

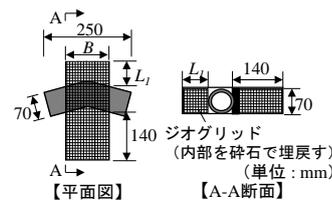


Fig. 7 模型寸法 (実験 4-1)

続いて、当スラスト対策工法と、同形状のコンクリートブロック模型について水平荷重実験（以下、実験 4-2）を実施し、ブロック模型により得られる基本抵抗力をもとに当対策工法による水平抵抗力の算定を行った。コンクリートブロックの水平抵抗力は既往研究<sup>1)</sup>により定式化されている。剛体であるブロックに対し、以下の式 (Eq. 1) のように、ジオグリッドの曲げ、伸び変形による低減係数を乗じることで、当対策工法の水平抵抗力算定を試みた。

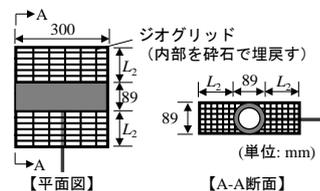


Fig. 8 模型寸法 (実験 4-2)

$$R_T = \alpha \cdot \beta \cdot R_B \dots \dots \dots \text{(Eq. 1)}$$

ここで、 $R_T$ : 当対策工法により得られる水平抵抗力、 $R_B$ : ブロックにより得られる水平抵抗力、 $\alpha$ : ジオグリッドの曲げ変形による低減係数、 $\beta$ : ジオグリッドの伸び変形による低減係数である。地盤材料等は実験 4-1 と同様である。模型管には外径 89mm の塩化ビニル製の模型管を使用し、また、ブロック模型は合板を用いて作製した。Fig. 8 に示す対策工の長さ  $L_2$  を 1.0D, 0.75D, 0.5D に変化させ、また  $L_2 = 1.0D$  の対策工法のケースについては、ジオグリッドの剛性を 1/2, 1/4 に変化させたケースも実施した。土被りは  $H/D = 1.0$  とした。模型管およびブロック模型を 0.1 mm/s で水平変位させ、水平荷重や水平変位量について計測した。

#### 4. 研究成果

##### (1)曲管の水平変位挙動に関する水平荷重模型実験

Fig. 9 に、相対密度 85%、屈曲角度 45, 90°での変位と抵抗力の関係を示す。屈曲角度および管面摩擦の増大に伴い水平抵抗力はやや増加する傾向がみられるものの、わずかであることが明らかとなった。また地表面に現れたせん断面から管背面地盤のせん断領域について検討したところ、地盤の破壊面 3 次元的に拡大することがわかった。

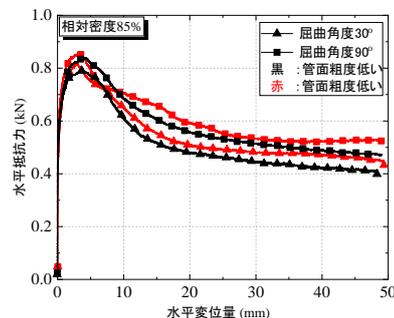


Fig.9 変位と抵抗力の関係 (実験 1)

##### (2)当対策工法の耐震性に関する 1G 場振動台実験

Fig. 10 に各加振時における管の水平変位量の変化を示す。実験結果から、ジオグリッドで管と管周辺地盤を一体化することで、加振時にも管の変位が抑制されることが明らかになった。また、ジオグリッドによる

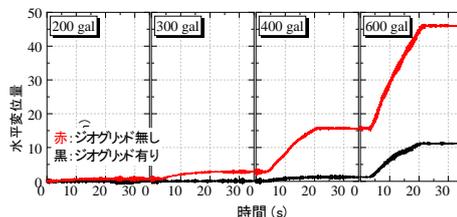


Fig. 10 管の水平変位量 (実験 2)

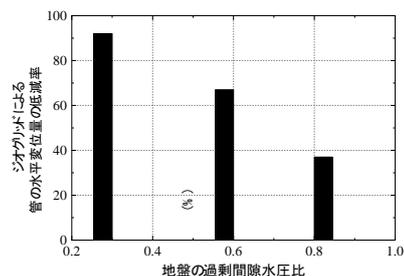


Fig. 11 ジオグリッドによる水平変位量低減率 (実験 2)

変位量低減率について、地盤の過剰間隙水圧比との関係を Fig. 11 に示す。この結果から、地盤の過剰間隙水圧比の上昇によりジオグリッドによる変位量低減効果は低下するものの、地盤が液状化した場合（過剰間隙水圧比 0.8 の場合）においても、ある程度効果は維持されることが示された。

### (3) 碎石基礎のスラスト対策効果に関する遠心力载荷模型実験

Fig. 12 に加振毎の変位量の推移を示す。碎石を用いたすべてのケースで、変位量は Case A より小さく、碎石によるスラスト対策の有効性を確認することができた。また、碎石の埋戻し範囲については、Case Dの方が Case C よりも優れた変位抑制効果を示したことから、管路受働側での碎石の埋戻し範囲を確保することが、管路の安定性向上に繋がることがわかった。また、Fig. 13 に示す管路の軌跡から、Case B や Case D のように、受働側地盤の管底から管頂までの範囲を碎石で埋戻した場合には、管の水平変位に対する浮上量が抑制されることがわかった。

### (4) 当対策工法の水平抵抗力算定に向けた水平载荷模型実験

Fig. 14 に、実験 4-1 における  $L_1 = 105 \text{ mm}$ ,  $H/D = 2.0$  での変位と付加抵抗力の関係を示す。実験結果から、付加抵抗力はピーク値を示すまで寸法の影響は明確ではなく、本対策工法により期待される表面摩擦等の発現が、ジオグリッドの伸びにより遅れる可能性があることがわかった。また、载荷後の地盤形状から、対策工受働側に発生するせん断領域は、管からではなく対策工末端から発生することがわかった。

Fig. 15 に、実験 4-2 における  $L_2 = 1.0D$  での変位と抵抗力の関係を示す。当対策工法の抵抗力は、ブロック模型での抵抗力よりやや小さい。各ケースのピーク抵抗力で比較すると、当対策工法の抵抗力はブロック模型の 95.6% となることがわかった。これは、载荷に伴うジオグリッドの曲げ変形の影響とみられることから、低減係数  $\alpha$  は 0.956 とした。また、Fig. 15 より、ジオグリッドの剛性によるピーク抵抗力へ影響は殆ど見られないことがわかる。このことから、低減係数  $\beta$  は 1.0 とした。以上の低減係数と、既往研究<sup>(1)</sup>から求められるコンクリートブロックの抵抗力算定値を式 (Eq. 1) に代入し、当対策工法でのピーク抵抗力を計算した。計算結果と実験結果を比較すると、計算値は実測値とおおむね一致しており、ブロックの水平抵抗力と低減係数を用いて、当対策工法の水平抵抗力を推定できることがわかった。

### 引用文献：

(1) Jadid, R., Abedin, M. Z., Shahriar, A. R. and Arif, M. Z., Analytical Model for Pullout Capacity of a Vertical Concrete Anchor Block Embedded at Shallow Depth in Cohesionless Soil, *International Journal of Geomechanics*, 18(7), 2018, 06018017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001212](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001212)

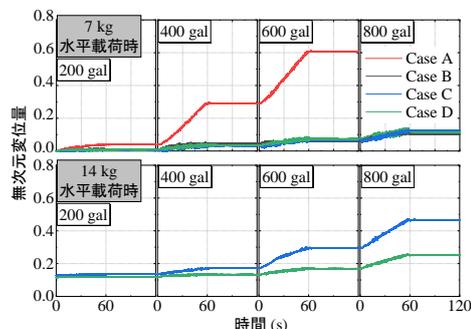


Fig.12 水平変位量の推移 (実験 3)

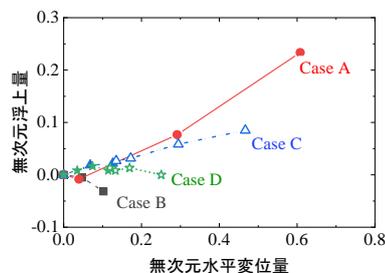


Fig. 13 管の軌跡 (実験 3)

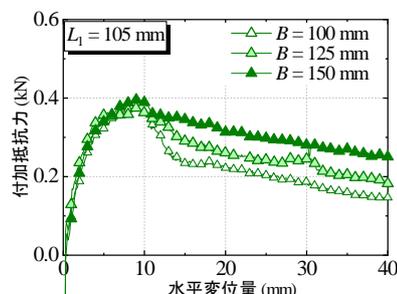


Fig. 14  $L_1 = 105 \text{ mm}$  での付加抵抗力 ( $H/D = 2.0$ , 実験 4-1)

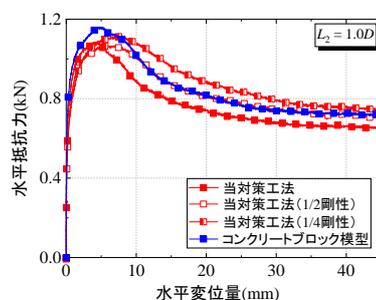


Fig. 15 変位と抵抗力の関係 ( $L_2 = 1.0D$ , 実験 4-2)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoko Ohta, Yutaka Sawada, Kohei Ono, Hoe I. Ling, and Toshinori Kawabata	4. 巻 -
2. 論文標題 Model Experiments on Influence of the Bending Angles on Lateral Resistance Acting on Buried Pipe Bends	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 28th International Society of Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 589-593
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 太田遥子, 澤田豊, 小野耕平, 河村未奈, 河端俊典	4. 巻 33
2. 論文標題 ジオグリッドを用いた埋設管スラスト防護工法の形状寸法が付加抵抗力に与える影響について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mina Kawamura, Yutaka Sawada, Yoko Ohta, Kohei Ono and Toshinori Kawabata	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Angle and Interface Friction of Buried Pipe Bend on Lateral Resistance Force	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2378-2382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoko Ohta, Yutaka Sawada, Mina Kawamura, Kohei Ono and Toshinori Kawabata	4. 巻 -
2. 論文標題 Shaking table tests for buried pipe bends with thrust restraints using geogrid and gravel in liquefied ground	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2373-2377
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 太田遥子, 河村未奈, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 軽量スラスト防護工法の形状寸法効果に関する一考察
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部第75回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河村未奈, 太田遥子, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 圧力管路屈曲部の角度が水平スラスト抵抗力に与える影響
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部第75回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 喜多田恵, 太田遥子, 河村未奈, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 ジオグリッドと砕石を用いた圧力管路屈曲部スラスト対策工法に関する1G場小型振動実験（耐震性の検討）
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 太田遥子, 河村未奈, 喜多田恵, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 ジオグリッドと砕石を用いた圧力管路屈曲部スラスト対策工法に関する1G場小型振動実験（液状化地盤での有効性の検討）
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 屈曲角度および表面摩擦が異なる曲管の水平載荷実験
2. 発表標題 河村未奈, 太田遥子, 澤田豊, 河端俊典
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 廣川慎, 寺田健司, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 埋設管の屈曲角度が水平抵抗力に与える影響に関する3次元個別要素法解析
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 寺田健司, 廣川慎, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 ジオグリッドを用いた埋設管屈曲部のスラスト防護工法に関する個別要素法シミュレーション
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田遥子, 喜多田恵, 澤田豊, 有吉充, 泉明良, 井上一哉, 毛利栄征, 河端俊典
2. 発表標題 碎石による圧力管路屈曲部のスラスト対策に関する遠心振動実験
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 喜多田 恵, 太田 遥子, 澤田 豊, 河端 俊典
2. 発表標題 圧力管路屈曲部スラスト防護工法の水平抵抗力の推定
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸大学大学院農学研究科土地環境学研究室 <a href="http://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-soilenv/">http://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-soilenv/</a>
---

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
研究分担者	井上 一哉  (INOUE Kazuya)  (00362765)	神戸大学・農学研究科・准教授    (14501)	
研究分担者	有吉 充  (ARIYOSHI Mitsuru)  (10414442)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工 学研究部門・主任研究員   (82111)	
研究分担者	澤田 豊  (SAWADA Yutaka)  (60631629)	神戸大学・農学研究科・准教授   (14501)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	毛利 栄征  (MOHRI Yoshiyuki)  (90373224)	茨城大学・農学部・教授     (12101)	