

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15344

研究課題名(和文) 断面内剛性による埋設とう性管および不とう性管の耐力評価手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of proof-stress evaluation method for buried flexible and inflexible pipes using the rigidity in the cross-section

研究代表者

兵頭 正浩 (HYODO, Masahiro)

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：60611803

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)：本研究では、埋設環境におけるとう性管および不とう性管に局所荷重を付与した際の変形挙動について評価を実施した。得られた結果は下記のとおりである。1) 評価対象とするRC管は、製造業者や規格変遷があるため、断面内剛性および剛性低下特性は、各社によって異なることが明らかとなった。2) 地上部では、とう性管と不とう性管の挙動は、同様の傾向を示したが、埋設状況では周辺地盤の影響を受けることから、挙動が異なることが明らかになった。3) FEM解析における現地盤や基礎材に応じた反力係数や締固め度合いを考慮した解析条件を設定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土圧の作用環境下において、管内面から鉛直方向の局所荷重を付与した際の管体の挙動および地盤の挙動を評価することができた。また、埋設管に用いられるとう性管および不とう性管などの管種においても評価を実施することができたことから、我が国のみならず世界各国で課題となっている埋設管の定量的な耐力評価手法開発に寄与するデータの蓄積がなされた。今後も継続した研究活動を続けることで、水資源の安定した配・排水機能を維持、事故などを防止できることから、適切な管理運用につながる事が考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we evaluated the deformation behavior of a flexible and a non-flexible pipe under a local load in a buried environment. The results obtained are as follows. 1) It has been clarified that the RC pipes to be evaluated have different manufacturers and specifications, so the rigidity in the cross section and the property of decreasing rigidity differ depending on each company. 2) In the above-ground part, the behavior of the flexible pipe and that of the non-flexible pipe showed the same tendency, but it was clarified that the behavior was different because of the influence of the peripheral ground. 3) It was possible to set the analysis conditions considering the coefficient of reaction force and the degree of compaction according to the original ground and the base material in the FEM analysis.

研究分野：農業土木

キーワード：埋設管 耐力評価 農業および下水道分野 管体挙動 とう性管 不とう性管

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、老朽化した農業水利施設の機能保全を図るために、ストックマネジメントの取り組みが進められている。この背景としては、今後 10 年のうちに標準耐用年数を超過する施設の割合が資産ベースで全施設の 37% に及ぶこと、平成 25 年度における施設の突発事故件数が 1000 件を超えるなどの突発事故の増加傾向にあること、さらには阪神淡路大震災や東日本大震災などの大規模地震の発生などによる多くの対策を講じる必要があることなどが挙げられる(例えば、農業水利施設におけるストックマネジメントの取組について、農林水産省、2016)。そのため、これらの様々な環境条件下に置かれている農業水利施設の保全を効率的に図るためには、画一的な管理マニュアルではすべてを網羅することができないため、使用環境や地域営農特性に応じた個別的な施設管理マニュアルの整備が必要となる。本研究で対象とする農業用パイプラインの「農業水利施設の機能保全の手引き(パイプライン)」(平成 21 年 3 月)では、機能診断調査・評価の結果を踏まえて、施設のパフォーマンス低下要因、パフォーマンス低下の状態・程度を把握し、可能な範囲でパフォーマンス低下予測を実施した上で機能保全計画を作成することを基本としているが、具体的な対策工法の検討にあたっては、機能保全計画策定の実施フローのベースになる、設計のために必要な情報としての現有耐力などパフォーマンス低下の状態・程度が不明確なまま進められているのが現状である。その理由は、変状の現象・状態の多くが複数の原因からなり、また地中埋設であることから直接に視認することが難しく、耐力を評価することに困難を極めているためである。この課題の解決に向けて、超音波や衝撃弾性波を用いる非破壊試験で間接的に管路の劣化程度を推定に関する研究が進められており、優れた研究成果を挙げつつある。しかし、間接的に管路の劣化程度を推定することから環境因子による影響も危惧されている。そこで、申請者は非破壊試験で直接的に管路の耐力を評価する内面載荷法を検討している。内面載荷法は、管の内側に内面載荷装置を設置し、管内面から載荷し、図 1 に示すように管体を変形させる手法である。管の上下方向に載荷した場合は、左右方向の直径が縮小し(鉛直載荷・水平変位)する。つまり、測定対象とする管の荷重と変形量の関係を明らかにすることができる。この荷重と変形量の傾きを耐力の評価指標として用いることを提案している(埋設管の現有耐力評価手法としての内面載荷法の提案、兵頭ら、2015)。

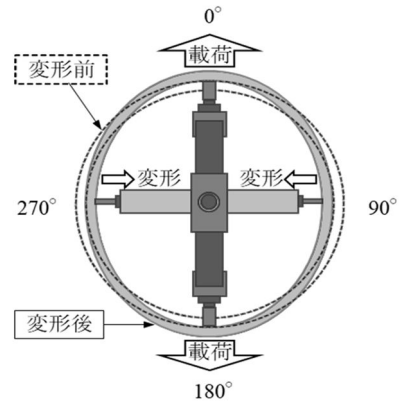


図 1 管内に設置した内面載荷装置

2. 研究の目的

本研究課題では、農業用パイプラインのパフォーマンス照査型の設計・施工を実務として実施する上で必要不可欠となる既設管の状態(製造業者および製造年度、劣化状況、埋設環境)が現有耐力について与える影響を明確化することを目的とする。対象とする管種は RC 管であり、対象とする口径は $\phi 400\text{mm}$ である。図 2 に埋設管に作用する土圧のイメージを示す。現地盤や基礎材に応じた反力係数や締固め度合いが安全側に設定されているが、施工条件等の影響でこれらすべてが均一な値を示すことは考えにくい。つまり、周辺地盤と管路躯体による現有耐力を評価するためには鉛直方向(鉛直土圧、基礎反力)と水平方向(水平土圧)をそれぞれ評価する必要がある。本目的を達成するために、既設管の状態(製造年度 RC 管躯体のみの評価と、埋設状態での RC 管躯体の状態を評価する必要があることから、詳細条件を考慮したうえで、二段階において管の剛性を評価した。

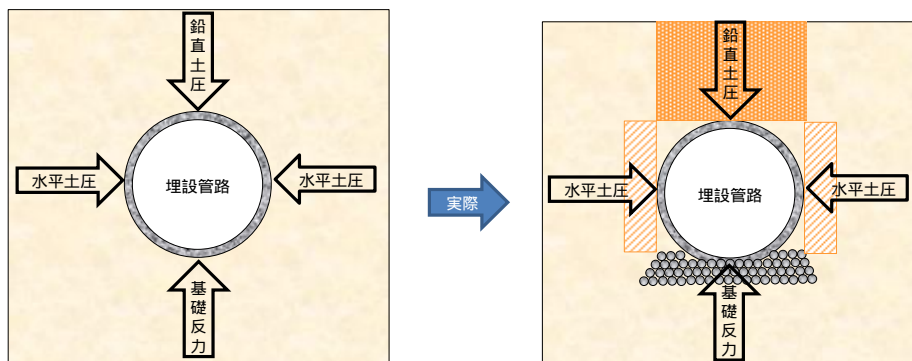


図 2 埋設管に掛かる作用圧力の影響(イメージ図)

(1) 管路躯体のみを対象とし、製造業者および規格変遷を伴う製造年度と、両者の違いが劣化状況に与える影響について明らかにすることを目的とする。評価方法は、条件の異なる RC 管内部から内面載荷装置で載荷した際の変位を測定し、その測定値を比較した。

(2) 管路躯体と周辺地盤、つまり埋設状況にある管を、内面載荷法で評価した際の周辺地盤と管路躯体の挙動を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) コンクリートの配合、鉄筋径や養生方法などは、製造業者によってそれぞれ異なることから、各社製品の特性を明確にしなければ、評価結果を適切に判定できないことが考えられる。つまり、農業用や下水道用に用いられる RC 管の剛性低下度合いを評価するためには、過去の規格で製作された RC 管や、製造業者による物性の相違を考慮したうえで結果を評価する必要がある。そこで本研究では、現 JIS 規格で製作した RC 管と旧 JIS 規格 (昭和 31 年) を参考に作製した RC 管の物性値およびねじれを伴わない断面で剛性(以下、断面内剛性)を比較するとともに、各製造業社の RC 管に関する断面内剛性の評価を実施した。本研究で使用した供試管 (RC 管、外圧 1 種、B 形) とし、A 社、B 社、C 社の 3 社の RC 管を評価対象とした。供試管数は、現 JIS 規格で作製した A 社、B 社、C 社の RC 管を各 2 本、旧 JIS 規格を参考に製作した C 社の RC 管を 2 本の合計 8 本である。寸法およびコンクリートの物性値は実測値であり、鉄筋の物性値は規格値である (表 1)。供試管の損傷は、JIS A 5372 (鉄筋コンクリート製品 推奨仕様 3 - 2 遠心力鉄筋コンクリート) に記載されているひび割れ荷重 $F_c = 21.6\text{kN/m}$ (52.5kN/本) を基準として、JSWAS A-1「遠心力鉄筋コンクリート管下水道用」の外圧試験に従って付与した。付与した荷重値は表 2 に示す。供試管に荷重を付与した後は、供試管を外圧試験機から取り出して、受口部が浮いた状態で内面載荷法により荷重 - 変形量を測定した。測定後は、外圧試験機で供試管に荷重を付与し、内面載荷法によって荷重 - 変形量を測定した。供試管にひび割れが発生するまで、この作業を繰り返し、ひび割れ発生前後における荷重 - 変形量の関係を測定した。なお、同一供試管で荷重 - 変形量の履歴を評価することが目的であるため、外圧試験機と供試管の接触面は、各荷重条件において同じ位置となるようにした。

表 1 RC 管の物性値

管種	物性	A 社	B 社	C 社	
		現 JIS	現 JIS	現 JIS	旧 JIS
寸法	内径 (mm)	400	400	400	
	厚さ (mm)	35	35	35	
	長さ (mm)	2430	2430	2430	
コンクリート	弾性係数 (MPa)	-	-	29,786	24,396
	圧縮強度 (MPa)	-	-	51.6	39.1
	ポアソン比	-	0.17	0.19	0.17
鉄筋	弾性係数 (MPa)	-	200,000	210,000	210,000
	降伏強度 (MPa)	-	235	688	688

- : データ入手困難のため不明, ※1 : 実測値, ※2 : 規格値

(2) 地盤内での管の挙動については、東田ら (1981) がコンクリート支承上に設置された RC 管に作用する土圧並びに管の変形と応力状態を明らかにするため、現場埋設実験と FEM 解析を行い、管頂部への土圧集中の原因とその対策について検討する。また、有吉ら (2018) は、PVC 管などの低剛性埋設管の内圧および外圧に対する挙動を検討するため模型実験を実施し、PVC 管の変形はモーメントに加えて軸力によるものも大きくなることを明らかにしている。しかし、地盤によって拘束された埋設管の内面から局所的な荷重を加えた際の管の変形挙動を評価した事例は他にみられない。そこで本研究では、地盤による拘束が埋設管の断面内剛性に与える影響を評価するために、健全な RC 管を現行の設計基準 (農林水産省農村振興局整備部設計課、2009) に従って埋設し、内面載荷法を適用した際の不同性状管の地盤内挙動を実験的に評価した。供試管は RC 管 (外圧 1 種、B 形) を用いた。RC 管の物性値を表 2 に示す。コンクリートの圧縮強度は、同一材料にて作製した円柱供試体 3 本の平均値であり、弾性係数はこの圧縮強度を用いて、日本建築学会 (1999) の鉄筋コンクリート構造計算規準に示される弾性係数の推定式にて求

めた。測定位置は、土地改良事業設計基準・設計「農道」に準拠する農道および私道下を想定した土被り 1.0m が確保されている範囲の三か所の横断面とした（以後、図 3 の载荷断面を左から断面 A、B、C と呼称する）。地上・埋設試験において断面 A、B、C のいずれかへの内面载荷を行う際は、同時に A、B、C の三断面の周方向ひずみ測定をすることとし、RC 管の断面内変形挙動の管軸方向の変化も評価した。これは、内面载荷荷法で管に生じる 3 次元的なひずみ分布から応力伝達特性を評価し、一断面あたりの評価可能範囲を検討することを目的としている。

表 2 RC 管の諸元

項目	物性	
寸法	口径 (mm)	φ400
	管厚 (mm)	35
	有効長 (mm)	2,430
コンクリート	圧縮強度 (MPa)	42.6
	弾性係数 (MPa)	29,886

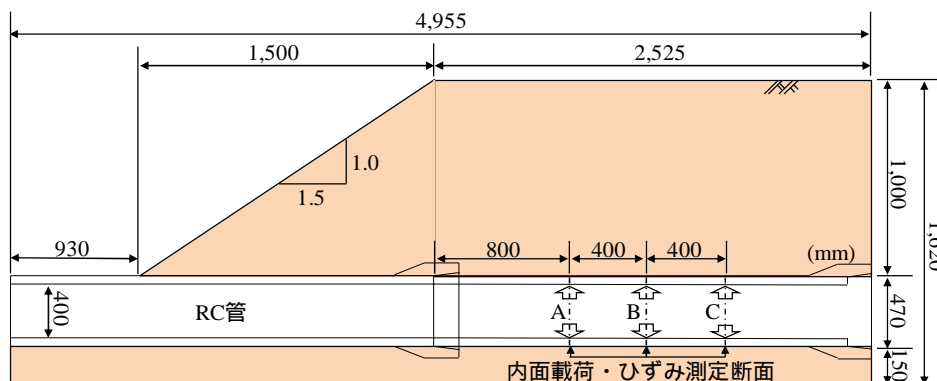


図 3 埋設試験の概略図

4. 研究成果

(1) 現・旧 JIS 規格で製作した健全管の断面内剛性評価

現 JIS 規格の RC 管と、旧 JIS 規格に従って新たに製作した健全 RC 管の 30 μ m 変形時に要した荷重と測定位置の関係を図 4 に示す。0cm 位置においては、おおむね同様の値を示したが、40cm 位置以降では、現 JIS 規格のほうが旧 JIS 規格よりも高い値を示すことを確認した。これは、膨張材の添加によるケミカルプレストレス効果によって管体の弾性係数が、高まったことに起因したと考えられた。現 JIS 規格で用いたコンクリートの弾性係数は 29.8GPa で、旧 JIS 規格では 24.4GPa と 20% 程度の違いを確認でき、本研究結果においては、30 μ m の変形に必要なとなる荷重値の合計が、現 JIS 規格では 37,168N、旧 JIS 規格では 26,604N となり、約 28% 程度異なっていることが確認できた。つまり、規格の相違（弾性係数の相違）によって所定変形量に必要なとなる荷重が異なることがわかった。また、0cm 位置および 240cm 位置において、所定変形量に必要なとなる荷重は、40~200cm 位置の荷重より低い値を示すことを確認した。これは、差口部（0cm 位置）と受口部（240cm 位置）が自由端となるため、材料の連続性に伴う拘束力が片側方向のみに生じたことが理由として挙げられる。管口を除く 40~200cm 位置は、現 JIS 管では 5,579~6,309N、旧 JIS 管では 4,131~4,605N となることを確認し、所定変形量に必要なとなる荷重は、おおむね一定に至る区間となることがわかった。本結果から、現 JIS 管、旧 JIS 管は、所定変形量に必要なとなる荷重は異なるが、測定位置における変動の傾向はおおむね同様となることがわかった。

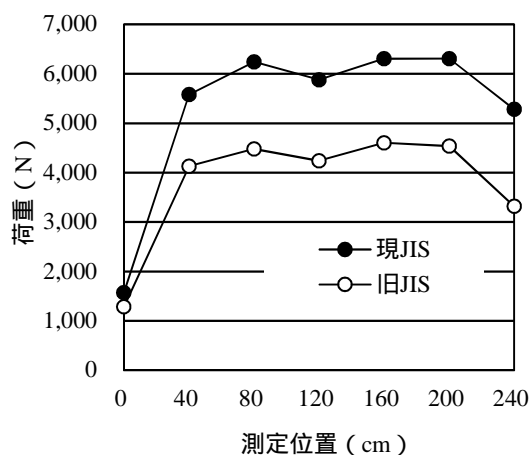


図 4 現・旧 JIS 管における 30 μ m 変形時に要した荷重と測定位置の関係

製造業者の異なるひび割れ管の断面内剛性評価

現 JIS 規格で製作した 3 社（A 社、B 社、C 社）の、初期ひび割れ発生前後における 30 μ m 変形時に要した荷重と測定位置の関係を図 5~7 に示す。なお、図中の破線は、ひび割れ発生時の

荷重と測定位置の関係を示したものである。まず A 社 (図 5) では、4/3Fc でひび割れが発生したため、健全状態の 0/3Fc と比較する。0/3Fc において 40~240cm (5/3Fc の 0cm 値が欠損しているため 0cm は除外した) の合計値は 28,888N となり、4/3Fc では 18,633N となった。健全状態とひび割れ発生状態で荷重値の合計を比較すると、35%程度低下することを確認した。また、ひび割れ発生後の 5/3Fc では 13,329N となり、ひび割れ発生時の 4/3Fc と比較すると 28%程度低下した。続いて、B 社 (図 6) では 4.5/3Fc でひび割れが発生したため、健全状態の 0/3Fc と比較する。0/3Fc において 40~240cm の合計値は 34,337N となり、4.5/3Fc では 28,811N となった。健全状態とひび割れ発生状態で荷重値の合計を比較すると、16%程度低下することを確認した。また、ひび割れ発生後の 5/3Fc では 26,124N となり、ひび割れ発生時の 4.5/3Fc と比較すると 9%程度低下した。最後に、C 社 (図 7) では 3.5/3Fc でひび割れが発生したため、健全状態の 0/3Fc と比較する。0/3Fc において 40~240cm の合計値は 35,595N となり、3.5/3Fc では 27,807N となった。健全状態とひび割れ発生状態で荷重値の合計を比較すると、22%程度低下することを確認した。また、ひび割れ発生後の 4/3Fc では 24,625N となり、ひび割れ発生時の 3.5/3Fc と比較すると 11%程度低下した。以上より、健全状態からひび割れ発生状態における所定変形量に必要な荷重の低下特性は、製造業社によって異なることが明らかになった。

(2) 埋設 RC 管における荷重 - 変形量の関係

地上試験および埋設試験で測定した RC 管の荷重 - 変形量の関係を載荷断面 B について図 8 に示す。地上試験における RC 管の荷重 - 変形量の傾きは、245N/μm となった。このとき、荷重 - 変形量の近似直線の決定係数は、 $R^2 = 0.991$ を示していた。管の中央部 (断面 B) から管軸方向に 40cm の範囲では、断面内剛性がおおむね一定となることを確認した。この理由として、管口 (差口および受口) を除く区間での RC 管の断面内剛性は、材料の連続性に伴う載荷断面への拘束力が両側方向ともにおおむね等しくなることが挙げられる。同様に、埋設試験における RC 管の荷重 - 変形量の関係は線形性を有し、近似直線の決定係数が $R^2 = 0.997$ となることを確認した。この理由としては、地盤の剛性に対して RC 管の剛性が極めて高く、管の弾性変形に追従して地盤も反力係数を一定に保ったまま変形したことが考えられる。よって、埋設した RC 管における荷重 - 変形量の関係は、土圧の作用しない地上試験における結果と同様に、強い線形関係を有することがわかった。このとき、荷重 - 変形量の傾きは 267N/μm (断面 B) となり、地上試験の結果と比較すると、断面内剛性がおおむね一定となった。ただし、地上試験と埋設試験における荷重 - 変形量の傾きの差は、9.0%程度になることが確認された。

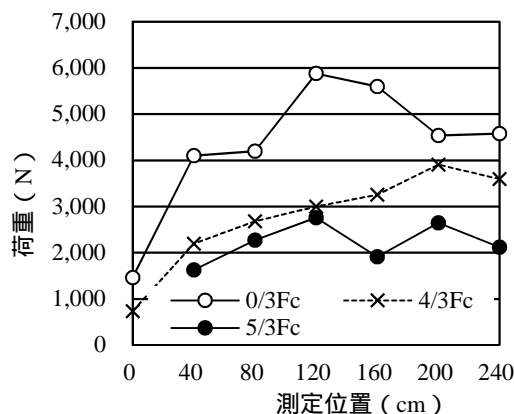


図 5 初期ひび割れ発生前後における荷重と測定位置の関係 (A 社)

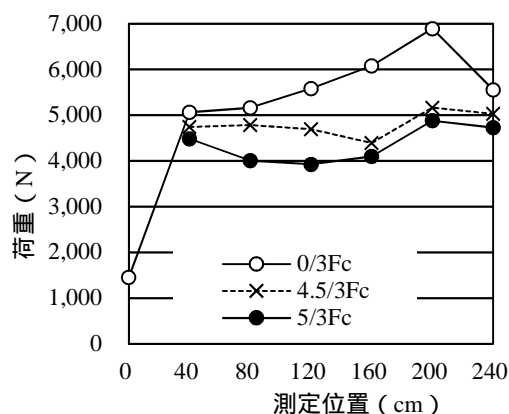


図 6 初期ひび割れ発生前後における荷重と測定位置の関係 (B 社)

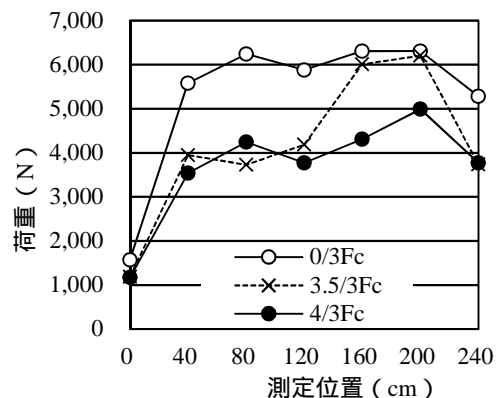


図 7 初期ひび割れ発生前後における荷重と測定位置の関係 (C 社)

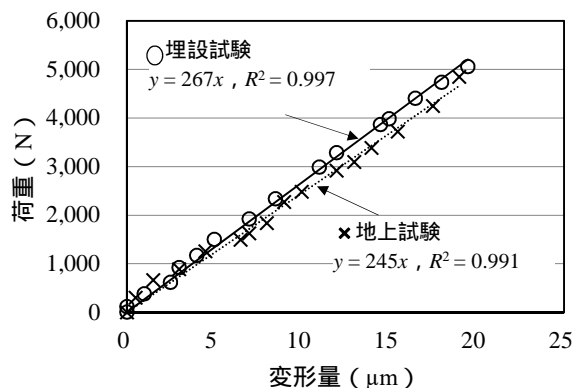


図 8 断面 B での荷重 - 変形量の関係

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 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 大山幸輝, 兵頭正浩, 緒方英彦, 石井将幸	4. 巻 86 (1)
2. 論文標題 内面載荷法により管内面から局所荷重を受けた遠心力鉄筋コンクリート管に対する数値解析モデルの検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_117-I_127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11408/jsidre.86.l_117	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 -

1. 著者名 兵頭正浩, 大山幸輝, 畑中哲夫, 岸本圭司, 緒方英彦	4. 巻 18
2. 論文標題 自動化内面載荷装置を用いたPVC管およびRC管の耐力評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集	6. 最初と最後の頁 35-40
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 兵頭正浩, 緒方英彦, 石井将幸, 岸本圭司, 畑中哲夫, 奥田忠弘	4. 巻 305
2. 論文標題 ひび割れ荷重を付与したRC管に対する断面内剛性の評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _185- _190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11408/jsidre.85.l_185	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 -

1. 著者名 兵頭正浩, 大山幸輝, 井川秀樹, 石井将幸, 下庄里奈, 緒方英彦	4. 巻 306
2. 論文標題 製造年度および製造業者が異なるRC管における軸方向の断面剛性評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _19- _25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11408/jsidre.86.l_19	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ooyama, K., Hyodo, M., Ogata, H., Ishii, M
2. 発表標題 Improving the Analysis Accuracy for Deformation by the Internal Loading Method Applied to Centrifugal Reinforced Concrete Pipe
3. 学会等名 International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山幸輝, 兵頭正浩, 緒方英彦, 石井将幸
2. 発表標題 経年したRC 管に対する内面載荷法の適用性及び載荷面積の評価
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兵頭正浩, 大山幸輝, 畑中哲夫, 岸本圭司, 緒方英彦
2. 発表標題 自動化した内面載荷装置で測定したPVC およびRC 管の断面内剛性
3. 学会等名 農業農村工学会全国大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兵頭正浩, 大山幸輝, 畑中哲夫, 岸本圭司, 緒方英彦
2. 発表標題 自動化内面載荷装置を用いたPVC管およびRC管の耐力評価
3. 学会等名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山幸輝, 宮里昭太郎, 兵頭正浩, 緒方英彦, 畑中哲夫, 金子武司
2. 発表標題 RC管に内面載荷法を適用する際の繰返し載荷による 取得データの安定性に関する考察
3. 学会等名 農業農村工学会中国四国支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山幸輝, 兵頭正浩, 緒方英彦, 石井将幸
2. 発表標題 管内面から局所荷重を受けたRC管に対する挙動解析
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会全国大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kouki Ooyama, Masahiro Hyodo, Hidehiko Ogata, Masayuki Ishii
2. 発表標題 Analysis by Internal Loading Method of Locally Loaded Centrifugal Reinforced Concrete Pipe
3. 学会等名 Asian Conference on Engineering and Natural Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 Pipe evaluation method, measurement device, and pipe evaluation system	発明者 兵頭正浩、緒方英彦、河村直樹、野中資博、石井将幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、Patent No.US10,458,881 B2	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----