

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04932

研究課題名（和文）設計図自動復元システムを援用したRC橋梁の重大事故に対するテイルリスク評価

研究課題名（英文）Tail Risk Assessment for Serious Failure of RC Bridges with Automatic Design Drawing Restoration System

研究代表者

岡崎 慎一郎 (Okazaki, Shinichiro)

香川大学・創造工学部・准教授

研究者番号：30510507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 16,500,000円

研究成果の概要（和文）：財源や人材が豊富ではなく、維持管理が十分なされていない地方自治体の鉄筋コンクリート橋梁では、落橋等の重大事故発生のリスクが高まっている。申請者はこれまで四国内の橋梁事故調査を行い、設計図面が残存しない等の設計情報の不十分さと、塩害や中性化による鉄筋腐食等の材料劣化の局所化が、重大事故のリスクに与える影響が大きいことを把握している。したがって、橋梁の重大事故に対するリスクの低減のための対策が求められている。本研究では既存RC橋梁を対象に、これらの要因がもたらす重大事故に対するテイルリスクの評価を行うとともに、不足した設計情報を低コストにて補完できる、RC橋梁の設計図の自動復元システム構築する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、まれにしか生じないが、落橋などの大きな被災が生じうるテイルリスクの評価に対する枠組みを構築することにある。リスク評価において重要となる橋梁の設計図は残存しているケースが少ないため、これを低価格で容易に復元できるシステムと、テイルリスクを簡便に評価できる枠組みの構築は、人員と予算が不足する地方自治体にとっては有用なものであり、社会的に意義が大きいと考えている。

研究成果の概要（英文）：The risk of serious failure, such as bridge collapses has been increased for reinforced concrete bridges in local governments where financial resources and human resources are not abundant and maintenance is not sufficient. The applicant has investigated bridge accidents in Shikoku and found that inadequate design information, such as the lack of design drawings, and localized material degradation, such as corrosion of steel bars due to salt damage and neutralization, have a significant impact on the risk of serious accidents. Therefore, strategies are required to reduce the risk of serious accidents on bridges. In this study, the tail risk against serious failures caused by these factors is evaluated for existing RC bridges, and an automatic restoration system for RC bridge drawing is constructed to supplement the missing design information at low cost.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：テイルリスク 機械学習 洗掘 2次元イメージング 破壊力学 設計図自動復元システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

財源や人材が豊富ではなく、維持管理が十分なされていない地方自治体の鉄筋コンクリート橋梁(以下 RC 橋梁)では、落橋等の重大事故発生リスクが高まっている。申請者はこれまで四国内の橋梁事故調査を行い、設計図面が残存しない等の設計情報の不十分さと、塩害や中性化による鉄筋腐食等の材料劣化の局所化が、重大事故のリスクに与える影響が大きいことを把握している。橋梁の重大事故に対するリスクの低減のための対策が求められている。

2. 研究の目的

本研究では既存 RC 橋梁を対象に、これらの要因がもたらす重大事故に対するテイルリスクの評価を行うとともに、不足した設計情報を低コストにて補完できる、RC 橋梁の設計図の自動復元システム構築する。最終的には地方自治体での維持管理業務における、テイルリスク評価の試験運用を行うものである。

3. 研究の方法

- (1)設計図面が残存しない RC および PC 橋梁上部工の設計図自動復元システムを構築する。
- (2)機械学習を援用したデータ駆動型アプローチにより、四国内橋梁の劣化回帰モデルおよび、劣化に対する要因分析を行う。
- (3)四国地方の橋梁において考えうる大事故シナリオを構築するとともに、大事故発生に対するリスクを評価する。
- (4)エスノグラフィ的視座による劣化過程を追跡するため、今回は塩害を対象とし、鉄筋コンクリートの劣化進行の特徴を詳細に調査するための機器を開発した。
- (5)破壊力学に基づくコンクリートの損傷解析により、鉄筋腐食によるコンクリート橋の損傷過程をシミュレートする。
- (6)被災時における重大事故に対するテイルリスクを評価する枠組みを構築する。

4. 研究成果

実績は以下のとおりである。

(1)RC および PC 橋梁上部工の設計図自動復元システムを完成させた。床版部の設計について、道路橋示方書で規定されている式を用いて曲げモーメントを算出し、最小必要鉄筋量を求める。桁部の設計について、ギヨンマソネの版理論を用いて荷重分配を算出する。断面力は橋軸直角方向の荷重分配によって求めた荷重を用いて、橋軸方向に載荷し、橋梁構造の影響線の値を用いて算出する。そして、床版と同様に必要鉄筋量を算出し、配筋を推測するものである。図 1 にシステムの GUI を示す。また、設計図が存在する橋梁群を対象に自動復元システムを適用した。RC 橋の復元結果を図 2 に、PC 橋の復元結果を表 1 に示す。高精度に復元できることを確認した。

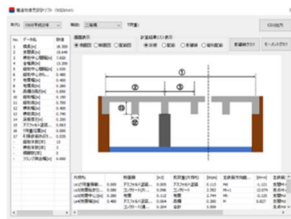


図 1 自動復元システムの GUI

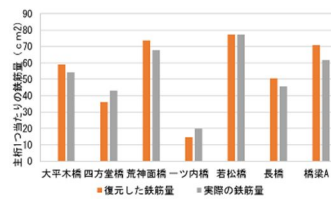


図 2 RC 橋の復元例

表 1 PC 橋の復元例

橋梁名	鋼材種類	鋼材本数 (設計図)	鋼材本数 (復元)
A橋梁	12 5	9	9
B橋梁	12 5	11	11
C橋梁	12 5	6	6
D橋梁	7 9.3	7	7
E橋梁	12A12.7	4	5

(2)機械学習を援用したデータ駆動型アプローチにより、四国内橋梁の劣化回帰モデルおよび、劣化に対する要因分析を行った。橋梁の点検データは、説明変数が多い一方で非常にスパースであるという特徴がある。種々の機械学習アルゴリズムにより点検データの回帰を試みた結果、ガウス過程回帰モデルが最も適していることを確認した(図 3)。また、使用材料、海岸線からの距離や支間長、年平均気温、年平均降水量などの観点から劣化要因分析を行った。(図 4, 図 5)。

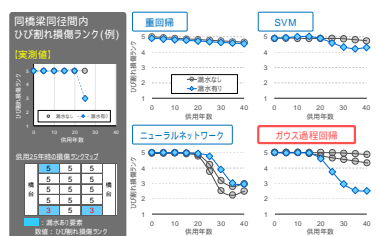


図 3 各種アルゴリズムによる検討

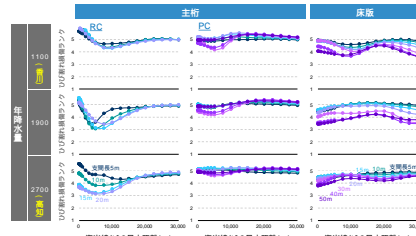


図 4 劣化の支配要因分析 1

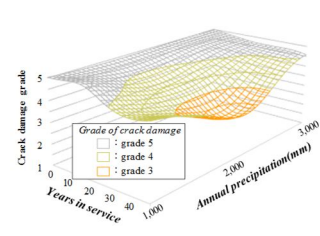


図 5 劣化の支配要因分析 2

(3)四国地方の橋梁において考える大事故シナリオを構築するとともに、大事故発生に対するリスクを評価した。四国地方における橋梁の橋落シナリオで主なものは豪雨による橋脚洗掘に起因することが判明した。降雨による水位予測および橋梁被災予測に関するデータ駆動型モデルを構築した。特に、学習データの不均衡さが回帰モデルの精度に大きな影響を与えることが判明したため、SMOTE アルゴリズム(Chawla,2002)を援用して、平均二乗誤差のきわめて小さいモデルを構築した。

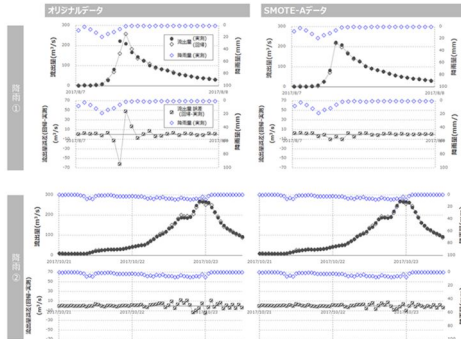


図 6 水位予測モデル

表 2 洗堀被災モデルの検証結果

	母集団	判別数(橋脚数)			正答率 (%)
		被災(d)	安全(s)	合計	
SVM	:被災歴有り	87	4	91	95.604
	:被災歴無し	9	66	75	88.000
	合計	-	-	166	91.802
交差確認	:被災歴有り	83	8	91	91.209
	:被災歴無し	16	59	75	78.667
	合計	-	-	166	84.938

(4)エスノグラフィック的視座による劣化過程を追跡するため、今回は塩害を対象とし、鉄筋コンクリートの劣化進行の特徴を詳細に調査するためのシステムを開発した(図7)。本システムは、近赤外分光法に基づいており、よるコンクリートの表面塩化物イオン濃度の2次元イメージングが可能である(図8)。屋外でも計測可能であることを実証した(図9)。

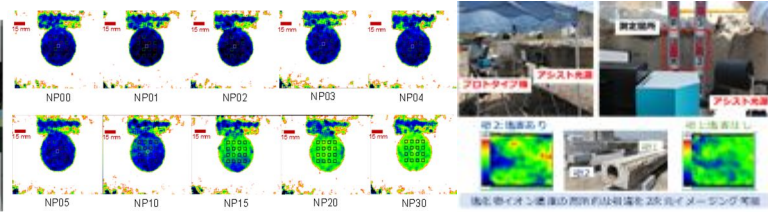
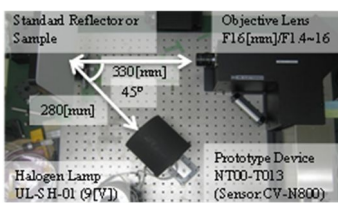


図 7 開発したシステム 図 8 塩化物の2次元イメージング結果 図 9 屋外測定結果

(5)破壊力学に基づくコンクリートの損傷解析により、鉄筋腐食による橋梁全体をシミュレートし、橋梁を構成する部材の精緻な破壊現象の再現の検討を行った。破壊力学に基づいた損傷解析により、モデルの要素の寸法に解析結果が依存しないシミュレーションが可能となった。異形鉄筋の節の形状を考慮し、解像度の高い破壊性状の把握が可能となった。また、鉄筋の腐食膨張に対するシミュレーションを行い、電食試験を高い精度で再現可能であることを確認した。

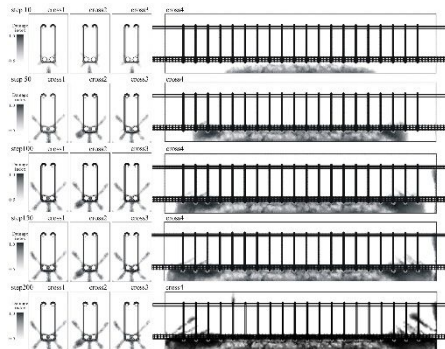


図 10 鉄筋腐食による損傷分布(解析)

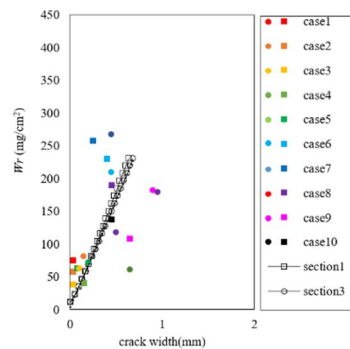


図 11 電食結果と解析値の比較

(6)被災時における重大事故に対するテイルリスクを評価する枠組みを構築した。この設計図自動復元システムにより諸元不明な橋梁に対する内部情報を得ることができた。また、この橋梁劣化回帰モデルに対して、およびにより得られた破壊進行性状に関して得られた知見を導入することでモデルの高精度化を行うとともに、ガウス過程回帰モデルを用いた確率分布を算定する枠組みを構築した。また、まれにしか生じないが大きな被害が想定される豪雨災害に対しては、このにおける水位予測モデルと洗堀被害モデルを、橋梁劣化回帰モデルに実装させ、テイルリスク算定の枠組みを構築した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shinichiro Okazaki and Manabu Matshima	4. 巻 9(3)
2. 論文標題 Development of a simple and effective bridge inspection method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering and Science Invention	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	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 Okazaki Yuriiko, Okazaki Shinichiro, Asamoto Shingo, Chun Pang jo	4. 巻 -
2. 論文標題 Applicability of machine learning to a crack model in concrete bridges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1111/mice.12532">https://doi.org/10.1111/mice.12532</a>	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 Pang-joChun, IsaoUjike, KoheiMishima, MasahiroKusumoto, ShinichiroOkazaki	4. 巻 253
2. 論文標題 Random forest-based evaluation technique for internal damage in reinforced concrete featuring multiple nondestructive testing results	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 -
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 KURUMATANI Mao, OKAZAKI Shinichiro, YAMAMOTO Yoshihito, UEDA Naoshi, OGURA Hiroki	4. 巻 75
2. 論文標題 SIMULTANEOUS EXPERIMENTS OF RC BEAMS FOR THE QUANTIFICATION OF UNCERTAINTY	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))	6. 最初と最後の頁 I_411 ~ I_420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejam.75.2_I_411">https://doi.org/10.2208/jscejam.75.2_I_411</a>	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 KURUMATANI Mao, OKAZAKI Shinichiro, YAMAMOTO Yoshihito, UEDA Naoshi, OGURA Hiroki	4. 巻 75
2. 論文標題 SIMULTANEOUS EXPERIMENTS OF RC BEAMS FOR THE QUANTIFICATION OF UNCERTAINTY	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))	6. 最初と最後の頁 I_411 ~ I_420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejam.75.2_I_411">https://doi.org/10.2208/jscejam.75.2_I_411</a>	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 Yoshihiro Kabeyama, Sunao Fujimura and Shinichiro Okazaki	4. 巻 17(18)
2. 論文標題 SIMULATION OF THE COLLAPSE PROCESS OF INFRASTRUCTURE USING GENERALPURPOSE PHYSICS ENGINE	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 191-196
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 Kenji WADA, Shinichiro OKAZAKI, Ichiro ISHIMARU	4. 巻 58(6)
2. 論文標題 Visualization of Chemical Composition and Chloride Ion Distribution by Novel NIR Imaging Spectroscopic System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)	6. 最初と最後の頁 644-650
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 無
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 我部山 喜弘, 藤村 素直, 大熊 千紗都, 岡崎 慎一郎, 車谷 麻緒	4. 巻 72(2)
2. 論文標題 デジタル画像相関法による鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ発生挙動の把握	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_875-I_880
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 榊原 洋子, 我部山 喜弘, 岡崎 慎一郎, 金崎 浩司, 濱田 一志, 和田 健司, 石丸 伊知郎, 西藤 翼	4. 巻 72(2)
2. 論文標題 コンクリート構造物の表面塩化物イオンの二次元イメージングシステムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_157-I_162
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 岡崎 百合子, 岡崎 慎一郎, 浅本 晋吾, 全 邦釘	4. 巻 41(1)
2. 論文標題 コンクリート橋梁のひび割れ損傷に対する回帰モデルに適した機械学習アルゴリズムの選択	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 581-586
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 岡崎 慎一郎, 金崎 浩司, 和田 健司, 石丸 伊知郎	4. 巻 41(1)
2. 論文標題 近赤外分光イメージングによるコンクリート構造物の塩化物イオン計測システムの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1913-1918
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 無
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 車谷 麻緒, 安藏 尚, 相馬 悠人, 岡崎 慎一郎	4. 巻 20190007
2. 論文標題 損傷モデルによる3次元腐食ひび割れ進展解析に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 20190007
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 OKAZAKI Yuriko, OKAZAKI Shinichiro, CHUN Pang-jo, ASAMOTO Shingo, OKUBO Kazuaki	4. 巻 74
2. 論文標題 CRACK PROPAGATION MODEL OF CONCRETE BRIDGES IN SHIKOKU BASED DATA DRIVEN APPROACH	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F4 (Construction and Management)	6. 最初と最後の頁 I_107 ~ I_118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejcm.74.I_107">https://doi.org/10.2208/jscejcm.74.I_107</a>	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 Chisato Okuma, Shinichiro Okazaki, Hidenori Yoshida and Mao Kurumatani	4. 巻 2018
2. 論文標題 Simulation of crack propagation owing to deformed bar corrosion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Sixth International on Life- Cycle Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 1909-1914
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 Chisato Okuma, Shinichiro Okazaki and Hidenori Yoshida	4. 巻 2018
2. 論文標題 Study of the applicability of the polarization resistance method in analysis and experimental measurement of electric conductivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Sixth International on Life- Cycle Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 2403-2409
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 無
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 大熊千紗都, 岩瀬大真, 岡崎慎一郎, 吉田秀典	4. 巻 18
2. 論文標題 鉄筋腐食の不均一性が非破壊による分極抵抗測定値与える影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 -
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 OKUMA Chisato, OKAZAKI Shinichiro, YOSHIDA Hidenori, KURUMATANI Mao	4. 巻 74
2. 論文標題 CORROSION CRACK PROPAGATION ANALYSIS OF REINFORCED CON- CRETE BY DAMAGE MODEL BASED ON FRACTURE MECHANICS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_67 ~ I_72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejoe.74.I_67">https://doi.org/10.2208/jscejoe.74.I_67</a>	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 大熊千紗都, 岡崎慎一郎, 吉田秀典	4. 巻 40(1)
2. 論文標題 不均一に腐食した鉄筋コンクリートを対象とした分極抵抗法における電流分散性状および腐食診断精度の把握	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1731-1736
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 OKAZAKI Yuriko, OKAZAKI Shinichiro, CHUN Pang-jo, ASAMOTO Shingo	4. 巻 40(2)
2. 論文標題 データ駆動型アプローチによるコンクリート橋梁のひび割れ発生・進展の回帰モデルの構築および要因分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1381-1386
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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 岡崎慎一郎
2. 発表標題 鉄筋コンクリート橋梁上部構造の自動復元設計システムの開発
3. 学会等名 土木学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年



1. 発表者名 岡崎慎一郎
2. 発表標題 機械学習に基づく四国内橋梁上部工のひび割れ発生要因分析
3. 学会等名 土木学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 岡崎慎一郎
2. 発表標題 データ駆動型アプローチによる四国内橋梁のひび割れ発生・進展の要因分析
3. 学会等名 土木学会全国大会
4. 発表年 2018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