

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21246072

研究課題名（和文） 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能評価に関する技術学術体系の構築

研究課題名（英文） Establishment of system of science and technology on evaluation of performance of concrete structures with material deterioration

研究代表者

下村 匠（SHIMOMURA TAKUMI）

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：40242002

研究成果の概要（和文）：

鉄筋腐食、アルカリシリカ反応、凍害などにより劣化した鉄筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート構造物の耐荷性能について、室内試験、実構造物の載荷試験、非線形有限要素解析により検討した。構造物中の材料の劣化が構造物の耐荷性能に及ぼす影響に関する実験事実とそのメカニズムについて、多くの新しい知見を得た。劣化した既存構造物の残存性能を現地調査と数値解析により推定する方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

Structural performance of reinforced and prestressed concrete structures which had been deteriorated by reinforcement corrosion, alkali-silica reaction and frost damage were investigated through laboratory test, loading test of actual structures and nonlinear finite analysis. Number of experimental facts and mechanisms about influences of material deterioration in structures on the structural performance were found in this study. Evaluation method of residual structural performance of deteriorated existing structures based on on-site investigation and numerical simulation was proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|------------|------------|
| 2009 年度 | 22,600,000 | 6,780,000 | 29,380,000 |
| 2010 年度 | 7,100,000 | 2,130,000 | 9,230,000 |
| 2011 年度 | 5,800,000 | 1,740,000 | 7,540,000 |
| 総計 | 35,500,000 | 10,650,000 | 46,150,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：コンクリート

1. 研究開始当初の背景

本研究のテーマである「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能」は古くからある研究テーマであるが、近年改めて着目されるようになった背景として、合理的な性能設計への気運の高まり、既存構造物の維持管理問題の重要性の増大が挙げられる。

1990 年代半ば、コンクリート構造物の設計・施工・維持管理に関する技術体系を司る考え方として、性能設計の概念が登場した。

この設計概念を理想的に実現するには、既存技術の再構成では不可能で、構成要素である個々の技術の進歩が不可欠である。そのうちのひとつに、材料劣化が生じた構造物の構造性能を評価する技術がある。すなわち、コンクリート中の鉄筋腐食、凍害、ASR など、供用中の構造物中の材料の劣化が生じた場合、構造物の剛性、耐力、じん性などの力学性能がどのようになるかを定量評価することが、構造物の「耐久性」や「耐用年数」を性能設

計の体系において合理的に取り扱う上で避けて通れないとの認識が生まれた。

一方、現在のわが国は、戦後の高度経済成長期に建設された膨大な社会基盤構造物がいつせいに老朽化の時期を迎えつつあり、これらの維持管理をいかに効果的に行っていくかが、構造物管理者、構造技術者にとって早急に解決しなければならない問題となっている。建設当初の予想を超えた質的・量的な劣化が生じた構造物も多々あり、それらの現時点での保有構造物性能を評価し、適切な維持管理対策を施すことは喫緊の課題である。

これらの背景のもと、1990年代半ばから鉄筋腐食をはじめとした環境作用による構造物中の材料の経時的な劣化が構造物の力学性能に及ぼす影響に関する研究がにわかに活気を帯びた。それらは同時期に進行した数値解析技術の発達、材料科学分野における分析技術の高度化、構造物の非破壊検査技術の充実等の影響を受け、さまざまなアプローチが試みられた。しかしながら、このテーマは元来、材料と構造、実験と解析、基礎研究と応用研究のすべてに関連する分野横断的な性格を有しているため、幅広い範囲の研究が見られたものの、共通の指標で整理されていないなど、分野全体としての一貫性を欠いていた。そのため、個々の研究の貴重なデータや知見が有効に利用されないことや、ユニークな研究が引き継がれないことがあった。

そのような中、研究代表者、分担者らは2004年から土木学会コンクリート委員会内に「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能研究小委員会（JSCE331委員会）」を立ち上げ、本テーマに、集中的、体系的、組織的に取り組む努力を行ってきた。

今回科学研究費を受けて行う研究は、JSCE331委員会の知的、人的資産を継承し、さらに3年間集中的に、要素となる個々の研究の推進、ならびに全体の技術学術体系の完成度を高め、この分野の持続的な発展を進めるものである。

2. 研究の目的

(1)基本となる実験事実の認定

鉄筋腐食、ASR、凍結融解等の材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能問題を科学的方法論の俎上に載せるための前提として、実験条件と実験結果の間の再現性、および介在するばらつきについて明らかにする。これは、メカニズムの解明、モデル化、仮説の検証の拠り所（ベンチマーク）となるものである。

(2)劣化構造物の構成モデルと解析手法の開発

共通試験結果をキャリブレーション用データとして用いることで、従来よりも優れた精度と適用性を持ち、客観的根拠を有した、劣

化構造物中の材料構成モデルおよび部材・構造物解析法を開発する。劣化の量、質、評価目標とする構造性能の種類、精度に応じた適切な解析法と構成モデルを提案する。

(3)実構造物の性能評価のための検査法の確立

構造性能の評価に用いる入力値を実構造物から取得するという観点から、各種測定法、非破壊試験法を検討する。必ずしも高度な測定技術を志向するのではなく、性能評価のために過不足のないデータを容易に確実に取得する方法を確立する。

(4)耐久信頼性評価法の発展

本研究の実験結果、解析手法開発の成果に立脚し、実効性のある、構造性能を指標とした構造物の残存寿命予測システムを構築する。

(5)成果の統合と体系化

各研究課題とその成果は独立したのではなく、お互い補完し合いひとつのシステムを形成している。成果を体系的に取りまとめるとともに、実構造物を対象にした、劣化状況の調査→劣化状態のモデル化→数値解析→構造性能の評価→耐久信頼性（構造信頼性の経時変化）の一連の流れのケーススタディを行うことで、システムの有効性を立証する。

3. 研究の方法

(1)劣化構造物の構造性能に関する室内試験

本研究の前段階であるJSCE331委員会でも実施した、電食により鉄筋腐食を導入した小型の単鉄筋RCはり供試体の曲げ耐荷性状の共通試験（ベンチマークテスト）を進展させ、他の劣化現象を含む広範な実験条件における室内試験を実施した。

(2)劣化した実構造物の載荷試験

研究代表者、分担者が各研究機関地元の地方公共団体などの構造物管理者の協力を得て、劣化した実構造物の劣化状況の詳細な調査、および実構造物より切り出した試験体の載荷試験による残存構造性能の調査を行った。

(3)劣化構造物の力学性状に関する数値解析

(1)(2)の試験結果を非線形有限要素解析により再現した。構造物からどのように解析の入力情報を取得するかについても検討した。

4. 研究成果

(1)塩害劣化した実RC構造物の載荷試験とその数値解析

日本海沿岸で80年間供用され、塩害による鋼材腐食が進行していた鉄筋コンクリート橋梁から試験桁を切り出し、破壊試験を行った。対象とした橋梁には、重ね継手が配置されており、継手が有効に機能した桁では、耐力低下は腐食率と同程度だったが、継手の定着性能が低下していた桁では、腐食量に比

べて耐力低下が大きかった（図1、図2）。有限要素解析を実施し、実験との比較を行ったところ、定着・付着が確保されている場合には、軸方向の平均な腐食量を考慮することで構造性能を適切に評価できることが確認された。一方、腐食の進行によって、定着や付着の性能低下が顕著な場合には、鉄筋一本一本の付着・定着性能を適切に評価しなければ、部材全体の構造性能が予測できないことが明らかとなった。

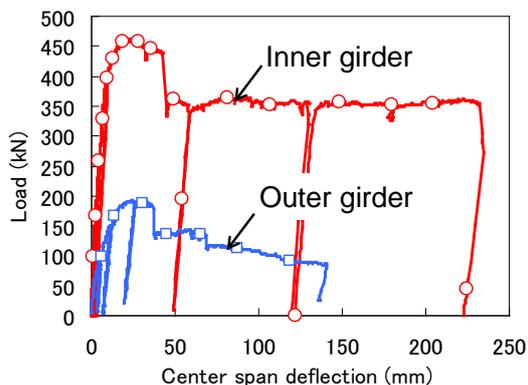


図1 実構造部の載荷試験結果（Inner girder：劣化程度小、Outer girder：劣化程度大）



図2 継手部の破壊

(2) 断面修復後に再劣化した RC 橋梁の耐荷性状に関する再現実験

(1)において重ね継手の定着不良が生じた原因として、引張側に継手が設けられていたからなのか、重ね継手部分において鉄筋腐食が生じたからなのか、継手部分を断面修復したからなのか、修復後に再腐食したからなのかが考えられた。そこで、重ね継手を含む試験体を作製し、これらの要因の影響を系統的に検討した。その結果、主たる原因は断面修復後に再腐食したことが明らかとなった。また、重ね継手部分のかぶりコンクリートが鉄筋腐食により損傷した場合、継手の引張伝達性能は低下するが、断面修復することにより回復できることが明らかとなった。

(3) プレテンション PC 実橋の載荷試験

新潟県の沿岸部において自転車道の橋梁として供用され塩害による鋼材腐食、腐食ひ

び割れが著しいプレテンション PC 桁の、劣化状況調査と載荷試験による残存耐荷性能調査を行った。その結果、プレテンション PC 部材では、個々の緊張材の径は細いため、腐食により消失しているものも多数みられ、それらがプレストレスの損失、曲げ耐力の低下に大きく影響していること、腐食による鋼材損失により破壊モードが鋼材破断となる場合があることが明らかとなった。また、鋼材腐食による静的耐力の低下を適切に考慮すれば、現行の疲労強度算定式により疲労強度が安全側に評価できることが示された。

(4) 鋼材が腐食したプレテンション PC 部材の室内実験

(3)の載荷試験結果を数値計算で再現するために、プレテンション PC はり試験体を作成し、実験室において劣化促進試験を行い、載荷試験により緊張材の腐食と残存プレストレス、曲げ耐力の関係を検討した。その結果、鋼材の引張強度、ヤング係数は腐食の不均一性のために平均腐食量から推定されるよりも低下すること、残存プレストレスは鋼材の剛性低下率から算定できること、部材の曲げひび割れ発生荷重は残存プレストレスに加え、腐食ひび割れによるコンクリートのみかけの曲げ強度の低下の影響を考慮する必要があることを明らかにした。

(5) シースが腐食したポストテンション PC 部材の耐荷性能

電食により鋼材を腐食させたポストテンション方式 PC はり試験体の曲げ載荷実験を行い、シースの腐食に伴う付着劣化と PC 鋼材の腐食が耐荷性状に及ぼす影響について明らかにした。また、非線形数値解析により、耐荷メカニズムを詳細に分析した。

(6) 融雪剤による塩害が生じた PC 床板橋の耐荷性能

融雪剤の影響により著しい鋼材腐食が生じた PC 床板橋について有限要素法を用いて構造性能の評価を行い、上部工全体系では構造の冗長性や劣化桁の偏在が構造性能に影響を及ぼすことを明らかにした。

(7) 鉄筋の腐食分布を考慮した RC 部材の曲げ耐力算定

鉄筋腐食を生じた RC 曲げ部材のかぶりのはつり調査位置で鉄筋径を直接測定することを想定し、得られた数点の鉄筋径から部材中の引張主筋の断面積の分布特性を推定して曲げ耐荷力を算定する手法を提案し、曲げ耐荷力の実験値を安全側に評価できることを示した。

(8) 鉄筋腐食の空間的分布

腐食の空間的なばらつきの参考データとすることを目的とし、日本海沿岸で約 10 年間空气中に暴露された鉄筋の形状を 3D スキャナで測定した。この結果、水の存在によって腐食の程度は大きく異なり、腐食生成物に

よって鉄筋の太さが2倍前後にまで膨張する場合があることを確認した。

(9) 鉄筋腐食によって劣化した RC 部材の HPFRCC を用いた補修

鉄筋腐食によって劣化した鉄筋コンクリート部材を対象として、複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(以下 HPFRCC)を用いた補修工法を提案した。鉄筋の質量減少率が10%までの RC 部材に、HPFRCC を用いて断面修復を行った結果、健全な状態の耐力が回復でき、また、HPFRCC が高い防食性能を持つことを確認できた。

(10) 超高強度材料と普通コンクリートとの界面部での鉄筋腐食性状

塩化物イオンを含有する既設コンクリートと補修材(超高強度材料)との界面部に配置した鉄筋の腐食性状を確認したところ、電気抵抗が極めて高い材料であれば、異種材料であってもマクロセル腐食が生じやすい環境を生成していないことを確認した。このことは、補修材料の材料開発の発展性に寄与する可能性がある。

(11) 凍害と塩害の複合劣化を受けた RC はりの曲げ耐力性能

凍害と塩害の複合劣化を受けた RC はりの曲げ耐力性能について実験的に検討した。また、厳しい凍害環境下にある萬世橋(青森県五戸町)の詳細調査を行った。

(12) ASR と鋼材腐食による複合劣化が生じた RC はりの曲げ耐力挙動

複合劣化を生じた供試体は、ASR 単独の劣化を生じた供試体と比較して、ASR や鋼材腐食の影響によりひび割れの分散性が低下することや、ケミカルプレストレスの影響によりせん断ひび割れの発生を抑制することから、曲げスパン部に変形が集中し、最大荷重時の変位が低下する挙動が見られた。

(13) シラン系およびけい酸塩系表面含浸材の併用による劣化抑制効果

シラン系、けい酸塩系表面含浸材を単独で使用するのではなく、けい酸塩系表面含浸材の塗布後にシラン系含浸材を塗布することで、劣化抑制効果を向上させることができ、劣化の進行を遅延させることができることを明らかにした。

(14) 構造物の現地調査と非線形有限要素解析による既存構造物の残存性能に関する一般化評価法の提案

本研究の知見に基づき、劣化した既存構造物の残存性能の推定手法を提案した。構造物の調査から得た情報をもとに、非線形有限要素法を用いた構造性能評価の入力データを作成する流れ、解析上の留意点を取りまとめた。解析事例により、方法の特徴、有効性、課題を論じた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

- ① 下村 匠: 厳しい塩害環境下にさらされた能生川橋の載荷試験, コンクリートテクノ, Vol.28, No.11, pp.9-15, 2009
- ② 村松真伍, 小林 豊, 下村 匠: 鉄筋腐食の空間的不均一性が鉄筋コンクリート部材の耐力性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1345-1350, 2009.7
- ③ 小林 豊, 村松真伍, 下村 匠: コンクリートの初期欠陥が鉄筋腐食による部材の力学性能低下に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1351-1356, 2009.7
- ④ 吉田郁政, 本城勇介, 秋山充良: SMCS を用いた既設構造物のための信頼性解析の問題点と精度評価, 応用力学論文集, Vol.12, pp.79-88, 2009
- ⑤ 吉田郁政, 秋山充良, 鈴木修一, 山上雅人: Sequential Monte Carlo Simulation を用いた維持管理のための信頼性評価手法, 土木学会論文集 A, Vol.65, pp.758-775, 2009
- ⑥ 田中泰司, 山口貴幸, 下村 匠: 塩害劣化による鉄筋腐食が進行した鉄筋コンクリート橋桁の耐力試験と数値解析による評価, 土木学会論文集 E, Vol.66/No.4, pp.466-482, 2010.11
- ⑦ 田中泰司, 山口貴幸, 下村 匠: 塩害により腐食劣化した鉄筋コンクリート橋梁桁の構造性能に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1055-1060, 2010.7
- ⑧ 関友則, 櫻井哲哉, 下村 匠: 鉄筋コンクリートのひび割れ幅の経時変化における乾燥収縮の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.211-216, 2010.7
- ⑨ 山口貴幸, 下村 匠, 田中泰司: 厳しい塩害環境下に約 80 年間晒され劣化した実橋 RC 桁の載荷試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1405-1410, 2010.7
- ⑩ 陸 賢, 田中泰司, 山口貴幸, 下村 匠: 鋼材が腐食したプレテンション PC 梁の載荷試験, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.39-44, 2011.10
- ⑪ 田中泰司, 陸 賢, 山口貴幸, 下村 匠: 塩害劣化したプレテンション PC 桁の疲労破壊性状, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.277-282, 2011.10
- ⑫ 神津和大, 斎藤成彦, 衣笠泰広: 鋼材腐食の生じた PC はりの曲げ耐力性状に関する研究, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.271-276, 2011.10
- ⑬ 山口貴幸, 伊阪陵代, 下村 匠, 田中泰司:

- 断面修復後に再劣化した RC 橋梁の耐荷性状に関する再現実験, 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, 第 11 巻, pp.213-218, 2011.11
- ⑭ 上原子晶久, 子田康弘, 岩城一郎: 融雪剤散布により劣化した PC 上部工の有限要素解析, 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, 第 11 巻, pp. 537-544, 2011.11
- ⑮ 中元佑一, 山本貴士, 高谷 哲, 宮川豊章: 引張主筋の腐食分布を考慮した RC 曲げ部材の曲げ耐力算定手法, 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, 第 11 巻, pp. 205-212, 2011.11
- ⑯ 鶴田浩章, 原川卓真: シラン系およびけい酸塩系表面含浸材の併用による劣化抑制効果に関する検討, 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, 第 11 巻, pp. 361-366, 2011.11
- ⑰ 浅野翔也, 前田徳一, 大橋亮介, 小林孝一: 鉄筋腐食によって劣化した RC 部材の HPRCC を用いた補修工法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1357-1362, 2011
- ⑱ 大橋亮介, 前田徳一, 浅野翔也, 小林孝一: 塩害劣化した RC 部材への耐荷力の回復を目的とした HPRCC と繊維ネットの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp. 1249-1254, 2011
- ⑲ 本馬幸治, Thynn THTUT, 下村 匠: 乾湿を受ける実環境下におけるコンクリート中の水分量に及ぼす表面含浸材の効果とそのモデル化, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1631-1636, 2011.7
- ⑳ D. Nuralinah, K. Kamiura and T. Shimomura: Analysis of chloride ingress into concrete subjected to airborne salt measured by wind tunnel test, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.33, No.1, pp.869-874, 2011.7
- [学会発表] (計 20 件)
- ① 下村 匠, 田中泰司, 山口貴幸: 塩害により劣化した橋齢 80 年の実橋 RC 桁の載荷試験, コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会シンポジウム, pp.513-518, 2009.10
- ② 宮里心一, 星野章仁: 331 委員会の共通試験を活用したマクロセル腐食が生じた梁の構造性能評価, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9
- ③ 陸 賢, 下村 匠, 加藤絵万, 岩波光保, 川端雄一郎: 塩害により著しく劣化した RC 桁の耐荷性状, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, 2010.9
- ④ S. Miyazato, T. Shimomura, T. Yamamoto and Y. Kato: Report on a research project by JSCE-331, the 2nd International Conference on the structure degradation in coastal zones (MEDACHS'10), April, 2010
- ⑤ T. Shimomura, S. Miyazato, T. Yamamoto, S. Saito, Y. Kato and H. Tsuruta: Systematic research on structural performance of deteriorated concrete structures in Japan, 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure (SLD 2010), October, 2010
- ⑥ T. Yamamoto, M. Oyado, Y. Mikata and T. Shimomura: Benchmark test on load-carrying behavior of RC member with reinforcing steel corroded by using common experimental procedure, 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure (SLD 2010), October, 2010
- ⑦ M. Oyado, T. Yamamoto and T. Shimomura: Investigation on variability of cross sectional area of electrically corroded reinforcing bar, 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure (SLD 2010), October, 2010
- ⑧ T. Yamamoto, M. Oyado, Y. Mikata, K. Kobayashi and T. Shimomura: Systematic Laboratory Test on Structural Performance of Corroded Reinforced Concrete and Its Utilization in Practice, Joint fib-RILEM Workshop on Modelling of Corroding Concrete Structures, November, 2010
- ⑨ Y. Tanaka, T. Shimomura and T. Yamaguchi: Loading Test of RC Beam Bridge Built 80 Years ago in Japanese Coastal Area, Joint fib-RILEM Workshop on Modelling of Corroding Concrete Structures, November, 2010
- ⑩ T. Shimomura, S. Saito, R. Takahashi and A. Shiba: Modelling and Nonlinear FE Analysis of Deteriorated Existing Concrete Structures Based on Inspection, Joint fib-RILEM Workshop on Modelling of Corroding Concrete Structures, November, 2010
- ⑪ M. Akiyama, Dan M. Frangopol, I. Yoshida, H. Tsuruta and T. Shimomura: Probabilistic Approach to Service Life Prediction of Concrete Structures Subjected to Load and Environmental Actions, Joint fib-RILEM Workshop on Modelling of Corroding Concrete Structures, November, 2010
- ⑫ 陸 賢, 田中泰司, 山口貴幸, 下村 匠: 鋼材腐食したプレテンション PC はりの曲げ載荷実験, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9
- ⑬ 下村 匠, 福地大樹: 実構造物におけるコンクリート表面塩分濃度の空間分布に関する検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9
- ⑭ 宮里心一: 電食により鉄筋断面が半減した

- コンクリート梁の力学性状, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9
- ⑮ 迫井裕樹, 阿波 稔, 上原子晶久, 佐藤宇泰, 渡邊浩平: 複合劣化を受けた RC はりの曲げ耐荷性能に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9
- ⑯ 島津祥徳, 田中秀明, 三方康弘, 井上晋: ASR と鋼材腐食による複合劣化が生じた RC はりの曲げ耐荷挙動に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9
- ⑰ K. Kobayashi, Y. Asano, K. Rokugo: Application of HPFRCC as a Patching Repair Material for RC Members Exposed to Chloride Attack, Proceedings of the 2nd RILEM conference on strain hardening cementitious composites (SHCC2-Rio), Dec. 2011
- ⑱ 渡邊浩平, 佐藤宇泰, 太田晃博, 迫井裕樹, 阿波 稔: 複合劣化を受けた RC の付着強度特性, 平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, V-14, CD-ROM, 2012
- ⑲ 市川達朗, 渡邊浩平, 迫井裕樹, 阿波 稔: 萬世橋の耐久性調査, 平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, V-9, CD-ROM, 2012
- ⑳ 加納崇壯, 国枝 稔, 上田尚史, 中村 光: 超高強度材料と普通コンクリートとの界面部での鉄筋腐食性状に関する基礎的研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 2012

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

下村 匠 (SHIMOMURA TAKUMI)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号: 40242002

(2)研究分担者

田中 泰司 (TANAKA YASUSHI)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 40377221
宮里 心一 (MIYAZATO SHIN-ICHI)
金沢工業大学・工学部・教授
研究者番号: 60302949
山本 貴士 (YAMAMOTO TAKASHI)

京都大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号: 70335199

三方 康弘 (MIKATA YASUHIRO)

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号: 60434784

小林 孝一 (KOBAYASHI KOICHI)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号: 20283624

(2009: 連携研究者)

久保 善司 (KUBO YOSHIMORI)

金沢大学・工学部・准教授

研究者番号: 50324108

(2010, 2011: 連携研究者)

上原子 晶久 (KAMIHARAKO AKIHISA)

弘前大学・理工学部・助教

研究者番号: 70333713

阿波 稔 (ABA MINORU)

八戸工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 10295959

国枝 稔 (KUNIEDA MINORU)

名古屋大学大学院・工学系研究科・准教授

研究者番号: 60303509

加藤 絵万 (KATO EMA)

独立行政法人港湾空港技術研究所・研究員

研究者番号: 90371765

(2010, 2011: 連携研究者)

大屋戸 理明 (OOYADO MICHIAKI)

公益財団法人鉄道総合技術研究所・研究員

研究者番号: 10425910

(2009: 連携研究者)

加藤 佳孝 (KATO YOSHITAKA)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 80272516

(2011: 連携研究者)

斉藤 成彦 (SAITO SHIGEHICO)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号: 00324179

高橋 良輔 (TAKAHASHI RYOSUKE)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号: 10371783

鶴田 浩章 (TSURUTA HIROAKI)

関西大学・工学部・准教授

研究者番号: 90253484

秋山 充良 (AKIYAMA MITSUYOSHI)

東北大学大学院・工学研究科・准教授

研究者番号: 00302191

(2009, 2011: 連携研究者)