

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26249065

研究課題名(和文) 統合型情報プラットフォームとマルチスケール解析の高次元融合による構造物の性能評価

研究課題名(英文) Performance assessment of concrete structures by coupling an integrated information platform and multi-scale analysis

研究代表者

石田 哲也 (ISHIDA, Tetsuya)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：60312972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、設計・施工、検査、維持管理に至るコンクリート構造物の情報を扱うデータベースとそれぞれの入力情報を与えるモデルを構築し、セメント系材料と鉄筋コンクリート構造物の性能を評価する数値解析システムと組み合わせることで、様々な条件や履歴を有する構造物の状態・応答・性能を高精度に追跡することを可能とした。併せて、構造物の機能・性能を把握するうえで本質的に重要なデータ群の吟味選別を行い、良質なデータベースの整備と数値解析手法の高度化、更に設計・施工・検査・点検・維持管理技術向上に資するフィードバックを実施した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop an information database and numerical model which covers design, construction, inspection, and maintenance of concrete structures, and by coupling them with a multi-scale integrated numerical system, we are able to simulate thermodynamic and mechanical behaviors and performances of cementitious materials and reinforced concrete structures under various environmental conditions and history. In addition, in this research, important information has been extracted from various database so that high quality data base and improvement of the numerical simulation tool can be realized to give an appropriate feedback to design, construction, inspection, maintenance of concrete structures.

研究分野：工学

キーワード：マルチスケール統合解析 コンクリート構造物 設計 施工 維持管理 データベース

1. 研究開始当初の背景

近年、国内外で構造物の性能評価や寿命予測を行う技術開発が活発化している。インフラの老朽化や劣化が大きな社会問題となっていることから、実構造物に対して適用可能な予測手法の開発は喫緊の課題であると言える。ただし数値解析を用いた予測手法の多くは、明確な初期・境界条件下での挙動検証に留まっていることが多く、様々な固有の条件・履歴を持つ現地一品生産品である構造物群の評価に至っていない。さらに構造物から如何なるデータを取得し蓄積すれば良いのかについても知見が定まっていない現状にある。構造物の機能・性能に直結する情報を戦略的に取得し、それらの情報群をフル活用することが可能な一般化材料物理モデルと数値解析システムの開発を同時に行っていくことが、予測技術を実務設計・照査、施工計画、維持管理に実装・反映させるうえで必要不可欠である。また近年、ビックデータの取得とそれによる維持管理の合理化が重点研究課題として認識されつつあるが、本質的に重要なデータを取りこぼしては、社会基盤施設の安全・安心を担保することが出来ない。いわば構造物のアキレス腱ともいえる重要な情報群を明らかにし、それらを蓄積することが、強く求められる状況にある。

2. 研究の目的

本研究は、設計・施工、検査、維持管理に至るコンクリート構造物の情報を一元的に取り扱う統合型情報プラットフォームを構築し、材料と構造の状態・性能を司る数値解析システムとの高次元融合を実現することで、様々な条件や履歴を有する構造物の状態・応答・性能を高精度に追跡することを目的とする。併せて、構造物の機能・性能を把握するうえで本質的に重要なデータ群の吟味選別を行い、良質なデータベースの整備と数値解析手法の高度化、更に設計・施工・検査・点検・維持管理技術向上に資するフィードバックを行う。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、以下の研究項目と研究方法を設定した。

- (1) 点検データの分析および重要度の高いデータの抽出
劣化した構造物の性能を評価するうえで、重要度の高いデータを抽出するために、道路管理者が保有する点検データをもとに、統計学および数値解析の適用に資するデータベースを整備する。本データベースを用いて、コンクリート構造物の劣化に与える内的・外的要因の定量評価を試みる。
- (2) マルチスケール型環境作用モデルの構築
マルチスケール統合解析を用いて、コンクリート材料の状態と構造の応答・損傷を精度よく追跡するためには、構造物と

環境のインターフェースで交換される物質・エネルギー交換モデルが必要不可欠である。さらに海岸近くで供用される構造物に対しては、気象・波浪条件に応じて発生する飛来塩分の輸送問題と、構造物への付着・浸透現象を一般的に扱うモデルが必要である。本研究項目では、マルチスケール型の環境作用モデルの構築を試みる。

- (3) 既設構造物の三次元デジタル情報の取得と数値解析手法との融合
既存構造物の性能評価を効率的かつ精度よく実施するために、近年発展の著しいデジタル情報技術を活用して、数値解析システムとの融合を試みる。具体的には、三次元点群データに基づき構造物の三次元 FEM データを作成し、実際の構造物の性能評価を行う。
- (4) 設計・施工情報に基づく実構造物の性能評価と、モニタリング情報を活用したシステムの検証
開発手法の妥当性を検証するために、新たに建設される構造物を対象として、数値解析による計算結果が妥当か否か比較検討を行う。

4. 研究成果

3. 研究の方法で列挙した項目ごとに成果を以下にまとめる。

- (1) 点検データの分析および重要度の高いデータの抽出

厳しい寒冷環境に置かれた東北地方に置かれた橋梁点検データ(約 2,600 橋、約 150,000 サンプル) に対して生存時間解析を適用し、PC 桁および RC 床版の劣化に与えるリスク因子の定量評価を行った。統計手法の一種である生存時間解析のうち、特に Kaplan-Meier 法および Cox 回帰分析を橋梁点検データに適用した。生存時間解析とは、基準となるある時点からイベントの発生までの時間について、各種の分析を加える統計手法であり、特に、医学・薬学分野において多数の応用事例が存在するが、インフラを対象とした先行研究は少ない。

数万に及ぶ点検データを Kaplan-Meier 法で分析することによって、劣化モデルやハザード関数などの仮定を設けることなく、RC 床版の生存曲線を得ることに成功した(図 1)。ここでは死亡イベントとして、RC 床版下面に漏水・遊離石灰が認められた時点と定義した。さらに COX 回帰分析によって、東北地方で供用される RC 床版を対象とした場合、冬季および春季の降水量、路面縦断・横断勾配、凍結防止剤散布量、および排水・防水の有無などが、劣化損傷に与える大きな要因として統計的に抽出された。点検データベースに対して生存時間解析を適用するという新たな手法を提案するとともに、多数の構造物群の情報を格納したデータベースから重要な知見を抽出することに成功し、有用な工学

的成果を得たものである。本研究成果に対しては、その新規性と工学的有用性が高く評価され、平成 28 年度の土木学会論文賞が授与されている。

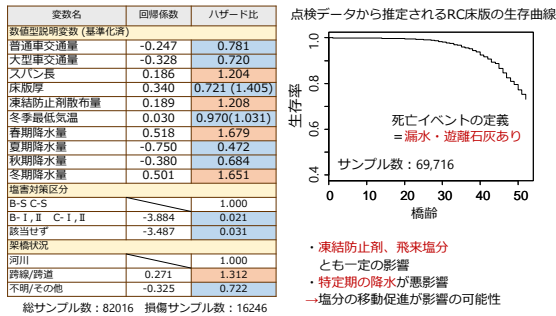


図1 生存時間解析により推定されるRC床版の生存曲線と劣化に与えるリスク要因

(2) マルチスケール型環境作用モデルの構築

個々の構造物の施工条件や供用中の環境条件を任意に、かつ出来るだけ簡易に反映すべく、構造物と外部環境間での物質・エネルギー交換モデルの構築を行った。具体的には、様々な気象条件（降雨、気温、湿度、日射）のもとでの、水分逸散、水分浸透、気体拡散、ひずみの変化といった指標に着目して、室内・野外実験との検証を行いながらモデルを構築した。さらに、海岸で発生する飛来塩分の発生・輸送・浸透を、波浪・風況や降雨の影響を加味して予測するモデルの構築を行い、統合プラットフォームに実装した（図2）。

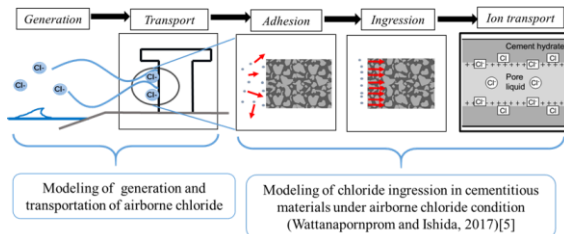


図2 飛来塩分の発生・輸送・付着・浸透を扱う数値解析モデルの概要

本システムでは、風向・風速および波浪条件に基づき、海岸で発生し構造物まで輸送される飛来塩分量を評価し、降雨の影響を加味したコンクリート表面における一般物質流束モデルと組み合わせて解くことで、数か月から数十年にわたるコンクリートの塩分浸透挙動を予測可能なシステムを構築することに成功した。また、新潟県に設置した暴露試験場に、配合・養生・結合材の種類を変化させたモルタル供試体と、環境作用を把握するためのモルタルチップおよび土研式塩分捕集器を設置し、モデルの総合的な検証を実施した。その結果、異なる季節における飛来塩分の発生・輸送現象を精度よく追跡できることを確認するとともに、1974年に建設され、長期供用されている実PC橋梁内部の塩分分布を、公開されている気象・波浪データベースのみから予測することに成功した（図3）。コンクリート構造物の耐久設計の高度化

や信頼性向上に資する重要な成果を得ることができた。

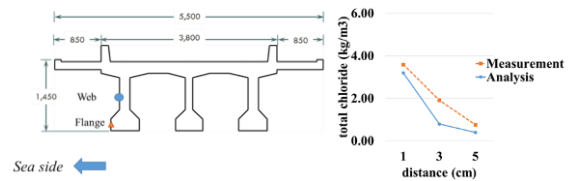


図3 長期供用を経た実PC橋梁（大川橋梁）内部の塩化物イオン分布に関する測定値と解析値の比較

(3) 既設構造物の三次元デジタル情報の取得と数値解析手法との融合

MMS（モバイルマッピングシステム）に搭載したレーザースキャナから取得される点群データ等を用いて、実橋梁構造物の数値解析システムによる耐震性能評価を試行した。

はじめに、書面の設計情報に基づき、半自動で有限要素メッシュを作成するプログラムの開発と、段階施工を取り扱い可能とするプログラム構築、また実際の環境条件に即した複雑な境界条件を入力可能なインターフェースの整備を実施した。続いて、レーザースキャナから得られた三次元点群データをCADデータに変換し、それを3次元FEMデータに変換した（図4）。実際に存在するPC連続箱桁と橋脚から構成される全体系を対象とし、本モデルに対してL2地震作用下での時刻歴応答解析を行うことに成功した。3次元の幾何学非線形と材料非線形の両者を考慮した高度な耐震診断を可能とするとともに、仮想的な検討としてスターラップの量を変化させた計算も実施し、耐震補強の効果についても定量的な検討を行うことができた。このように、空間情報と数値解析手法の融合事例を示すことができた一方で、構造物内部の情報（配筋・鉄筋量や中空断面の幾何学情報等）を如何に効率よくモデル化するかが今後の課題であることも明らかとなった。

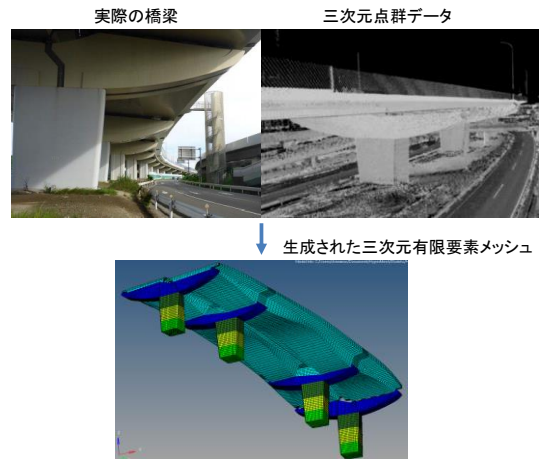


図4 3次元点群データから生成された有限要素法モデル

(4) 設計・施工情報に基づく実構造物の性能評価と、モニタリング情報を活用したシステムの検証

本研究で構築した技術を総合化して、新規に建設される実構造物を対象に、コンクリート構造物の性能評価を多角的に行った。

具体的には、新気仙大橋の RC 床版を対象として、初期の強度発現、構造物内部のひずみ、たわみ、ひび割れ等を取り上げ、解析結果との比較を行った。はじめに、風雨や日射が作用する実環境下での挙動を追跡可能か否かについて確認するために、小型供試体を用いた検討を行った。項目(2)で構築したモデルを用いることで、降雨や風の影響を考慮してシミュレーションを実施し、異なる配合、使用材料に対して実際の挙動を追跡できることを確認した。

続いて、RC 床版を模擬した模型供試体内部のひずみを時系列で追跡可能であることを確認したのちに、実橋梁(新気仙大橋)のひび割れ解析を実施した。ここで、RC 床版の拘束条件を正確に再現するために、鋼桁筋のリップ等の詳細までをすべてモデル化し、解析を実施した(図5)。

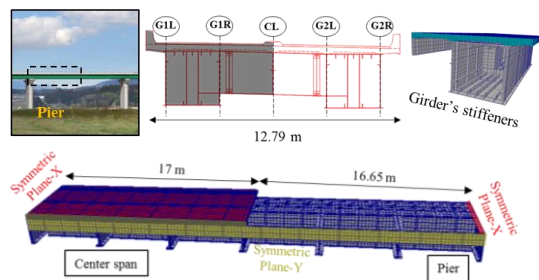


図5 実橋梁のフルスケール解析モデル

本解析を通じて、配合や混和材の有無、養生の相違などでひび割れの進展、分布が異なることが評価可能となった。また得られた解析結果について、実構造物に設置したひずみゲージとの比較により、妥当であることを確認した。構造物の長期性能を左右する、温度および収縮によるひび割れ発生・進展に与える影響を、数値解析モデルにより定量的に評価できたことは、実務における設計、施工、材料選択に対して有用な知見を与えるものであり、高い工学上の成果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計36件)

- ① Rungrawee Wattanapornprom and Tetsuya Ishida, Comprehensive numerical system for predicting airborne chloride generation and its ingress in concrete under actual environmental conditions, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有

有, Vol. 16, 2018, 18-35

DOI: 10.3151/jact.16.18

- ② Yasushi TANAKA, Tetsuya ISHIDA, Ichiro IWAKI, Kazunori SATO, Multiple Protection Design for Durable Concrete Bridge Deck in Cold Regions, Journal of JSCE, 査読有, Vol. 5, 2017, 68-77
DOI: 10.2208/journalofjsce.5.1_68
- ③ Rungrawee Wattanapornprom and Tetsuya Ishida, Modeling of Chloride Penetration into Concrete under Airborne Chloride Environmental Conditions Combined with Washout Effects, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有, 2017, Vol. 15, 126-142
DOI: 10.3151/jact.15.126
- ④ Tetsuya ISHIDA, Mitsuhiro KAWABATA, Akira MARUYAMA, Satoshi TSUCHIYA, Management system of preventive maintenance and repair for reinforced concrete subway tunnels, Structural Concrete, 査読有, Vol. 1, 2017, 1-11
DOI: 10.1002/suco.201700004
- ⑤ 日下部達哉, 石田哲也, 松岡茂, 土屋智史, マルチスケール統合解析システムを用いた覆工コンクリートのひび割れ解析と影響因子の定量評価, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 39巻, 2017, 535-540
- ⑥ 高畑東志明, 橋本和明, 林和彦, 石田哲也, 赤外線サーモグラフィ法を用いた損傷抽出結果に基づく橋梁コンクリートの劣化定量分析, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 39巻, 2017, 1843-1848
- ⑦ 吉田祐麻, 渡邊賢三, 温品達也, 石田哲也, せき板表面の撥水性と粗度がコンクリートの表面気泡に与える影響に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 39巻, 2017, 2155-2160
- ⑧ 細井雄介, Rungrawee Wattanapornprom, 石田哲也, 高橋佑弥, 2つの手法を用いた27か月間の現地飛来塩分測定と測定結果に基づく飛来塩分発生・輸送モデルの検証, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 39巻 733-738
- ⑨ 橋爪謙治, 橋本和明, 全邦釘, 中畑和之, 石田哲也, 排水性舗装におけるポットホール発生リスクに関する定量分析, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), 査読有, 72巻, 2016, 115-123
DOI: 10.2208/jscejpe.72.1_115
- ⑩ 橋爪謙治, 橋本和明, 松田靖博, 石田哲也, 高谷哲, 赤外線サーモグラフィ法を用いた四国地方における橋梁コンクリートに発生する剥離領域の劣化定量分析, 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, 査読有, 16巻, 2016, 9-14

- ⑪ 木ノ村幸士, 石田哲也, 常温環境におけるフライアッシュ混合セメントの複合水和発熱モデルの高度化検討, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 38巻, 2016, 99-104
- ⑫ 米田大樹, 石田哲也, 打設管理記録を活用したマルチスケール統合解析システムによる実構造物のひび割れ評価, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 38巻, 2016, 477-482
- ⑬ 鈴木雄大, 小林薫, 石田哲也, 4辺固定スラブの収縮ひび割れ発生に関する簡易的評価法の検討, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 38巻, 2016, 489-494
- ⑭ 温品達也, 渡邊賢三, 坂井吾郎, 石田哲也, 種々の結合材を用いたコンクリートに対する長期特殊シート養生の効果, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 38巻, 2016, 747-752
- ⑮ 鈴木三馨, 石田哲也, コンクリートの比抵抗の相違を考慮した鋼材腐食解析手法による進展期末の推定, コンクリート工学年次論文報告集, 査読有, 38巻, 2016, 879-884
- ⑯ Yuya Takahashi and Tetsuya Ishida, Modeling of Chloride Resistance in Cement Hydrates by Focusing on Nanopores, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有, Vol. 14, 2016, 728-738
DOI: 10.3151/jact.14.728
- ⑰ 榊原直樹, 岩城孝之, 田中泰司, 子田康弘, 石田哲也, 岩城一郎, フライアッシュコンクリート床版の各種耐久性評価, 橋梁と基礎, 査読無, 50巻, 2016, 13-18
- ⑱ 山崎崇央, 石田哲也, 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集F4, 査読有, 71巻, 2015, 11-22
- ⑲ 小柳翔平, 高橋佑弥, 石田哲也, 高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを混和したセメント硬化体の材料物性・塩分浸透性状の経時変化に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 37巻, 2015, 109-114
<https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jci2015/1012/public/pdf?type=in>
- ⑳ 鈴木雄大, 小林薫, 石田哲也, RC ラーメン高架橋スラブを模擬した梁付4辺固定スラブの収縮特性に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 37巻, 2015, 427-432
- ㉑ 木ノ村幸士, 石田哲也, 水分の移動・平衡に着目した低水結合材比モルタルの物性変化, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 37巻, 2015, 505-510
- ㉒ 温品達也, 渡邊賢三, 坂田昇, 石田哲也, 熱可塑性樹脂シートによる長期間の水分逸散抑制養生の効果, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 37

巻, 2015, 1897-1902

[学会発表] (計28件)

- ① 石井博典, 樫村康介, 石田哲也, 田中泰司, 細田暁, 佐川孝広, 阿部千枝, 佐藤和徳, 新気仙大橋の高耐久 RC 床版についての検討 その1 (配合検討と ASR 反応性試験), 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. 9. 11-13, 九州大学伊都キャンパス (福岡県・福岡市)
- ② 樫村康介, 石井博典, 石田哲也, 田中泰司, 細田暁, 佐川孝広, 阿部千枝, 佐藤和徳, 新気仙大橋の高耐久 RC 床版についての検討 その5 (現場施工および品質管理), 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. 9. 11-13, 九州大学伊都キャンパス (福岡県・福岡市)
- ③ 吉田祐麻, 芦澤良一, 渡邊賢三, 坂井吾郎, 温品達也, 石田哲也, 養生の異なるコンクリートを対象とした電気泳動法による遮塩性評価の課題に関する一考察, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. 9. 11-13, 九州大学伊都キャンパス (福岡県・福岡市)
- ④ 永易慎二, 橋本和明, 松田靖博, 林和彦, 石田哲也, 橋梁コンクリートの表層領域に生じる劣化進行と初期欠陥に関する研究, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. 9. 11-13, 九州大学伊都キャンパス (福岡県・福岡市)
- ⑤ Tetsuya ISHIDA, Numerical Simulation of Early-Age Deformation and Cracking of RC Structures with Full-3D Multi-scale and Multi-Physical Integrated Analysis, Service-Life Prediction of Concrete, 3rd Meeting: The Corvallis Workshops in association with Cement and Concrete Research (招待講演), 2017. 7. 16-19, Oregon (USA)
- ⑥ Tetsuya ISHIDA, Multi-scale modeling of Structural Concrete for Performance Based Design, 14th NCB International Seminar on Cement and Building Materials (招待講演), 2015. 12. 1-4, New Delhi (India)
- ⑦ Tetsuya ISHIDA, Information Management to realize sustainable infrastructure stock, 10th SSMS International Conference (招待講演), 2015. 10. 25-28, Bandung (Indonesia)
- ⑧ 田辺詩織, 石田哲也, 土屋智史, マルチスケール統合モデルによる覆工コンクリートの若材齢ひび割れ解析と影響因子の定量評価, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑨ 高橋 佑弥, 小柳 翔平, 石田 哲也, 渡邊賢三, 混和材種類と複数の養生方法を組み合わせたモルタル供試体の塩分浸透暴露試験, 土木学会第 70 回年次学術講演

- 会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑩ 坂井 吾郎, 温品 達也, 藤岡 彩永佳, 渡邊 賢三, 石田 哲也, コンクリート基礎構造物における熱可塑性樹脂シートによる養生効果, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑪ 細井 雄介, 石田 哲也, 温品 達也, 熱可塑性樹脂シート養生による型枠近傍のブリーディング抑制機構, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑫ 石田 哲也, 坂田 昇, 藤岡 彩永佳, 村田 和也, 矢野 英伸, セメントの種類が異なる実規模試験体による熱可塑性樹脂シートを用いた養生効果の検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑬ 藤岡 彩永佳, 温品 達也, 村田 和也, 石田 哲也, 坂田 昇, 異なる物質透過性試験を用いた熱可塑性樹脂シートの養生効果に関する検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑭ 木ノ村 幸士, 石田 哲也, 低水結合材比モルタルの圧縮強度増進性状と温度時間関数の適用について, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9. 16-18, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- ⑮ T. Ishida, Y. Takahashi and R. Wattanapornprom, Numerical simulation of chloride migration in concrete structure under harsh environmental conditions, International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS) (招待講演), 2015. 6. 1-3, 長崎ブリックホール(長崎県・長崎市)
- ⑯ Y. Elakneswaran and T. Ishida, Chemical degradation of cementitious materials in various sulfate environments, IALCCE2014, 2014. 11. 16-19, RIHGA Royal Hotel and Waseda University (東京都・新宿区)
- ⑰ Tetsuya Ishida, Yuya Takahashi and Rungrawee Wattanapornprom, Numerical Simulation of Chloride Migration in Concrete Structures under Harsh Environmental Conditions, CONMOD2014, 2014. 10. 12-14, Beijing (China)
- ⑱ 石田哲也, 坂田昇, 渡邊賢三, 温品達也, 矢野英伸, 熱可塑性樹脂シート養生によるコンクリートの表面改質, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014. 9. 10-12, 大阪大学 (大阪府・豊中市)
- ⑲ 温品達也, 坂田昇, 矢野英伸, 石田哲也, 長期間の水分逸散制養生による表層品質

向上効果, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014. 9. 10-12, 大阪大学 (大阪府・豊中市)

- ⑳ 大野直也, 米田大樹, 石田哲也, コンクリートの時間依存挙動に与える結合材種類の影響, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014. 9. 10-12, 大阪大学 (大阪府・豊中市)
- ㉑ Yogarajah Elakneswaran, Tetsuya Ishida, Shohei Koyanagi, Experimental and Modelling Investigations on Cement Paste Exposed to Leaching External Sulfate Attack, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014. 9. 10-12, 大阪大学 (大阪府・豊中市)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 構造物情報提供システム
 発明者: 前川宏一, 石田 哲也, 土橋浩, 津野和宏, 菅野晶夫, 矢野裕司, 尾暮敏
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特許 6284240 号
 出願年月日: 2015 年 2 月 3 日
 取得年月日: 2018 年 2 月 9 日
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 哲也 (ISHIDA, Tetsuya)
 東京大学・大学院工学系研究科 (工学部)・教授
 研究者番号: 60312972

(2) 研究分担者

半井 健一郎 (NAKARAI, Kenichiro)
 広島大学・工学研究院・准教授
 研究者番号: 10359656

中村 秀明 (NAKAMURA, Hideaki)
 山口大学・大学院創成科学研究科・教授
 研究者番号: 20207905

岩城 一郎 (IWAKI, Ichiro)
 日本大学・工学部・教授
 研究者番号: 20282113

細田 暁 (HOSODA, Akira)
 横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授
 研究者番号: 50374153

田村 隆弘 (TAMURA, Takahiro)
 徳山工業高等専門学校・その他部局等・教授
 研究者番号: 60171899