

## 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25年 6月19日現在

機関番号：82114

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360174

研究課題名（和文）

国土安全確保のためのマルチ構造物モニタリングシステムの開発に関する研究

研究課題名（英文）Development of Multiple Monitoring Systems of Civil Structures for Safety Assurance of Japan

研究代表者

魚本 健人（UOMOTO TAKETO）

（独）土木研究所・理事長

研究者番号：80114396

研究成果の概要（和文）：コンクリート構造物を適切に維持管理し継続的に使用するためには、構造物が現在保有している性能を的確に評価し対策を施すことが肝要である。そのため設計図書や構造計算書が残されていない既設構造物の復元設計高度化の問題点とその解決方法を提案した。その結果、非破壊検査を応用することで復元設計の高度化が実現できる可能性を示した。また混和材混入による劣化因子浸透後の水和物変化を分析し、そのメカニズムを明らかにするとともに今後の劣化診断手法の開発に利用可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：In order to utilize and maintain the existing concrete structures for long period of time, it is important to evaluate the performance of the structure and take appropriate countermeasures. To deal with the problem, “redesign method” was studied to get the detailed information of old existing structures without any design documents left. The results show that the details of the old existing structure can be estimated by utilizing both “redesign method” and non-destructive inspections with enough accuracy. Also, to determine the deterioration of the structure, chemical analyses were performed on hydrates of the used cement containing different types of mineral admixtures. The changes of the hydrates after the penetration of harmful ions were investigated and the mechanism of the changes were clarified which can be used to estimate the cause and degree of deterioration by non-destructive inspection.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2011年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：維持・管理

## 1. 研究開始当初の背景

我が国においては既に、1995年の阪神淡路大震災や2007年の新潟中越地震に代表される多くの地震に見られるように、多くの建物、構造物は著しい被害を受け、その損失は数十兆円にもものぼる。また、1999年に発生した福岡トンネルのライニングコンクリー

トの剥落事故や、道路橋、鉄道橋の鉄筋腐食に伴う劣化損傷事故などに代表されるような材料の劣化が原因となる事故も多数発生している。一方、この10年を見ると、我が国では2006年の台風23号に代表される多くの台風による水害、地盤崩壊、地すべりなどによる被害も多発している。海外において

も、2004年に発生したスマトラ沖地震による津波、2005年に米国で大きな被害をもたらしたハリケーン「カタリナ」、2008年に発生した四川大地震など、地震や台風などによる被害は著しいものである。さらに、2006年カナダのケベック州で発生した鉄筋コンクリート橋の落下、2007年に発生した米国ミネアポリスで起こった鋼トラス橋の崩壊に見られるような材料の疲労劣化、腐食劣化などが原因となるこの種の事故は我が国においてもいつ発生してもおかしくない。

従来設計・施工された構造物（鋼およびコンクリート構造物）の大半は「許容応力度法」によっている。このため、想定外の荷重や変形を構造物が受けた場合の破壊箇所および破壊形式は必ずしもキチンと把握されていない。結果的に、各種の劣化が発生した場合や予想外の過大な荷重や変形を受けた場合に、構造物が局部破壊にとどまらず全体崩壊になる可能性を秘めている。この種の問題は、研究者による検討はほとんど実施されておらず、構造物の維持管理を担当している技術者が細々と行っているのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、設計時において想定しなかった外力や変形が発生した場合を想定し、既存構造物が大崩壊を起こすと想定される危険部位を特定し、モニタリングを実施する手法の開発を目的とする。現存する構造物の多くは設計・施工図書が完備されておらず、安全性をチェックすることは困難である。幸いなことに戦後作られた多くの構造物はそれぞれの時代に作成された各種基準類を用いて設計がなされている。即ち、現存する構造物の非破壊検査とこの基準類を利用した復元設計を行えば、ある程度予想することが可能である。そこで本研究では対象とする構造物の建設時期、外形寸法等をもとにした復元設計を行うことを前提とする。たとえば復元設計を用いることで昭和56年に建設されたスパン16mのホロースラブ橋なども当時の道路橋示方書を利用して配筋図などを復元することが可能である。実際には実構造物のコンクリート強度や配筋状態などを非破壊検査で確認する必要があるが、その検査手法はすでに研究代表者らが明らかにしており、部分的には学協会で規準として確立しているので研究上の妨げとはならない。

既存構造物の場合に問題となるのは、材料的な劣化の進行具合とその構造性能に与える影響を把握することである。そこで、現状における劣化の進行具合と劣化予測ならびに構造性能についての確認手法については本研究で明らかとする必要がある。そこで将来の耐久性に関する予測が必要となるが、特に実構造物でどのような材料が使用されて

いたかを明らかにすることが重要である。そこで本研究ではいくつかの手法の組み合わせにより劣化の進行と生成物との関係を明らかとする。

## 3. 研究の方法

(1) 復元設計の高度化検討のための必要事項の整理と検証～復元設計と安全性評価～

### ①既設 RC・PC 橋梁上部工

検討の対象とする橋梁上部工は、RC単純中空床版橋と、ポストテンション方式3径間連続PC箱桁橋である。復元設計は、橋歴版の情報よりRCは道路橋示方書昭和53年度版に、PCは昭和43年制定プレストレストコンクリート道路橋示方書に準拠して行った。

RC上部工は、活荷重をTL-20又はTL-43とし、衝撃係数を $i = 7/(20+L)$ とする。また、対象橋梁の形式が中空床版橋であり、本来外観からでは中空部分の面積は分からないが、今回は既知な値であると仮定して計算を進める。以上の条件を用いて曲げモーメント、せん断力を求め、そこから必要鉄筋量を算出し配筋を行う。なお、版の異法性について、等方性の曲げモーメントの影響を与えるオルゼンの図表を使用して近似を行った。

またPC上部工は、橋梁の目視情報から橋内部のPC鋼材、配筋状況を再現する復元設計手法の提案を行い、橋梁の健全度評価を行う際に必要不可欠となる配筋量、断面耐力を復元設計によって再現し、復元設計の精度と復元設計の問題点の抽出を行った。さらに、平成5年に公布された車両制限令の改訂により最大車両総重量が20tから25tに引き上げられたことを受け、最大車両総重量の変遷による対象橋の安全性評価を行った。なお、本研究では復元設計の精度と問題点の抽出を明確に行うため、設計図面と計算書が保管されている既存PC道路橋を対象とし、比較検討を行っている。

### ②既設 RC 橋脚

今回対象とした橋梁は、5径間連続箱桁橋（中央径間ヒンズ付き）で、橋長が600m、支間長55.0+130.0+230.0+130.0+55.0m、昭和46年に架設され、地域区分:A地域で、地盤種別はI種である。

### ③既設共同溝

対象とする共同溝は、東京都江東区の有明南地区供給管共同溝（平成2年）で延長東西2本、総延長1,152mのBOXカルバートである。今回は1連BOXカルバート断面の復元設計を行った。ここでは、昭和62年制定の共同溝設計指針に準拠し許容応力度設計法で復元設計を行い、現設計基準による照査については2007年制定の土木学会コンクリート標準示方書「設計編」に準拠し限界状態設計法（終局状態・使用状態）にて行った。また限界状態設計法における一般荷重には、許

容応力度設計法の設計荷重を用いた。なお復元設計では、設計荷重による断面力を求め、最小必要鉄筋量を算定するが、経済性を考慮し、鉄筋はD19を125mmピッチで配置することとした。また、材料強度は建設当時の特記使用書に記載された値を用いた。

(2) 非破壊試験による鉄筋探査精度の検証

①鉄筋探査計によるコンクリート内部の鉄筋検出精度に与える影響

電磁誘導法では磁性体のみ反応するという性質から、かぶりコンクリートを発泡スチロール板で模擬し実験を行った。試験体寸法は600×900mmでかぶり厚さは50、75、100mmの3種類とし、それぞれ鉄筋間隔を100、150、200mmとした。なお、使用する鉄筋の種類はD6～D38mmの11種類とし、発泡スチロール板に貼り付け測定を行った。

電磁波レーダ法では、比誘電率の設定が必要であるため、コンクリート試験体を作製し測定を行った。

②電磁波レーダ法で用いられる鉄筋径法の比誘電率分布補正方法の提案

鉄筋探査手法の一つである電磁波レーダ法の探査精度は、かぶりコンクリートの比誘電率に大きく依存するが、この比誘電率は、コンクリートの粗骨材量、水セメント比、あるいは含水率等の影響を受けると考えられている。現在、かぶりコンクリートの比誘電率評価については、鉄筋径法や双曲線法などが提案されており、一般的に使用されている。しかし、かぶりが大きい場合や湿潤環境下において鉄筋探査精度が低下する問題が生じている。そこで本研究では、電磁波レーダの測定誤差を再確認するとともに、鉄筋径法における比誘電率分布の補正を行うことで鉄筋探査精度を向上させる方法について検討した。実験で使用した供試体のかぶりは50mm、75mm、80.9mm、100mmとし、アンテナ周波数1600MHzを有する電磁波レーダにより計測を行った。

(3) 劣化した構造物の合理的検査手法の提案と検証

①可視域・近赤外分光法を用いたコンクリート表面の塩化物有無の検証

ここでは、950nm-1650nmの近赤外域の波長と、370nm-780nmの可視域の波長を利用し、分光法によって供試体表面のスペクトル値を測定した。また供試体表面の塩化物量は、JCI-SC400の硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法<sup>3)</sup>に基づいて分析した。

供試体のセメントには普通ポルトランドセメントを用い、W/Cが55%、セメント細骨材比が1:3のモルタル供試体とした。供試体への塩化物混入は供試体作成後に行うが、飽和度50%、100%の塩水を利用し、浸漬と乾燥を繰り返したものの、霧吹きによってモルタル表面へ吹き付けたものの2方法で行った。

②赤外線法を用いたコンクリート表面付近の塩分濃度評価

供試体の加熱方法は、アクティブ法とパッシブ法の2種類で検討した。アクティブ法での投光器使用においては、供試体表面から30cmの位置に熱源を設置し、5分照射後、30分間温度計測を行った。なお温度計測の際には計測面以外全て断熱材で覆った。パッシブ法では、9:00~21:00の12時間屋外で温度計測を行った。なお全ての温度計測において、赤外線カメラと計測面は正対となるよう配慮した。なお供試体に混入する塩分量は、0~40kg/m<sup>3</sup>の7種類とした。供試体への塩分混入は、練り混ぜ水に塩化ナトリウムを融解させた塩水を使用することにより行った。

(4) 使用材料の同定

粉末X線回折装置を用いて混和材の混入による水和物と劣化因子による水和物の変化を継続的に計測し、そのメカニズムの理解を検討した。

#### 4. 研究成果

(1) 復元設計の高度化における成果

①既設RC・PC橋梁上部工

RC上部工の場合、外観からの情報だけを用いて設計図・計算書を完全に復元することは極めて困難であった。しかし、一部分の鉄筋径や鉄筋かぶりなど特定の情報が分かれば、信頼性の高い復元が可能である。対象橋梁における安全性評価を行った結果、この橋梁の上部工において終局限界状態、疲労限界状態における曲げモーメント・せん断力に対して十分な耐力を保持し、対象橋梁の安全性を確認することができた。

PC上部工の場合、対象橋外観からの目視情報と架設工法・当時頻繁に採用されていた材料と設計法を推測し復元設計を行った。これらの情報を基にすることで、PC鋼材量を概ね近い値で復元できると考える。使用鉄筋量においては、PC鋼材が上下縁に配置されている正曲げ作用モーメント、負曲げ作用モーメントが最大となる範囲では、PC鋼材が水平方向に配置されているため、せん断力に及ぼす影響をほぼ無視できることから必要鉄筋量・使用鉄筋量を容易に推測し復元しやすい傾向があると考えられる。しかし、PC鋼材が上縁から下縁・下縁から上縁に配置される部材領域においては、許容応力度による拘束条件のみではPC鋼材の配置は一意的には確定されない。つまり、PC鋼材が曲げ上げ・曲げ下げされ作用モーメントがほぼ0に近い範囲においては、実際の設計と復元設計との有効高さに大きな相違が生じる可能性があるため、対象橋外観からの目視情報のみでは十分に復元することは困難であると考えられる。よって、復元設計の精度を向上させるためには、PC鋼材が上縁から下縁・下縁から

上縁に配置される部材領域では PC 鋼材の配置間隔と曲げ上げ角度・曲げ下げ角度等の配置状況を非破壊検査等により事前調査を行い把握する必要があると推測する。

### ②既設 RC 橋脚

橋脚下端における必要鉄筋量を精度良く復元することができた。ただし、配置鉄筋については、使用する鉄筋の最大径、配置間隔および配置段数が当時の設計者の意向により決定される部分もあるので、実際の設計図書と一致させることは困難であることがわかった。よって、非破壊検査手法等と併用することで、より正確で効率の良い復元設計ができると考えられる。また、安全性評価を行った結果、今回の解析結果において現在の示方書における地震動が作用しても、対象橋梁は安全であることを確認することができた。

### ③既設共同溝

今回、断面力算定時に手計算と解析ソフトの結果に有効数字の影響がどの程度生じるか検討し、さらに許容応力度設計法で設計された共同溝が限界状態設計法において不適格構造物にならないか照査した。手計算による計算結果は、解析ソフトによる計算した結果と大きく異なることはないが、特に隅各部においては、ハンチ部の影響があり、他の部位に比べ鉄筋の応力度に差が大きく生じることに留意すべきである。また今回の復元対象とした共同溝においては、限界状態設計法で照査しても要求性能を満足することも分かった。なお、今回の研究では手計算による影響を明確にすることを主目的としているが、共同溝の復元設計の場合、a)断面厚さが不明なこと、b)かぶりは耐久性から決定する最小かぶりが適用されていること、c)最小必要鉄筋量は実際の鉄筋種類と鉄筋間隔の検査の必要性があることなどに留意する必要がある。

#### (2) 非破壊検査精度に関する成果

##### ①鉄筋探査計によるコンクリート内部の鉄筋検出精度

鉄筋位置の計測では、電磁誘導法、電磁波レーダ法ともに、日本非破壊検査協会が規定している機器の測定誤差（基準誤差）内で検出可能であることが分かった。また、電磁誘導法によるかぶり厚計測では、かぶり厚さ 75、100mm の場合、基準値（かぶり厚さの 5%）内で検出できることが分かった。ただし、かぶり厚さ 50mm の場合については、鉄筋径が D13 を超えると基準誤差を逸脱する結果となった。電磁誘導法による鉄筋径の計測では、鉄筋間隔が小さく、かつ鉄筋径が大きくなるにつれて検出精度が低下することが分かった。電磁波レーダ法によるかぶり厚さの計測では、すべての条件で基準誤差を逸脱する結果となった。また鉄筋径が大きくなるほどその検出精度は低下することも分かった。

##### ②電磁波レーダ法で用いられる鉄筋径法の比誘電率分布補正方法

ここでは、鉄筋径法で仮定している比誘電率分布の補正方法について提案した。表面水分計による含水率と比誘電率分布式における a との関連性については明確にできなかったものの、a が「c-b」に影響を受けることが分かった。解析される「c-b」を用いて a の値を補正すればかぶり誤差を ±5mm 以内に収めることができるが、なぜ「c-b」が影響するかは物理的根拠を明確にする追加実験の必要性がある。なお、鉄筋径法におけるかぶりの求め方は、まず式 (1) に示すような比誘電率分布を仮定する。

$$\sqrt{\varepsilon} = \frac{x}{a + c - b} + b \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon$  : 比誘電率、 $x$  : コンクリート表面から深さ方向の距離 (mm)

a、b、c : パラメータ（解析プログラムより既知）で、a は  $x=0$  のときの接線の傾き、b は  $x=0$  のとき（コンクリート表面）の比誘電率 c は  $x=\infty$  のときの比誘電率である。なお補正方法の検討は、計測データすべてに対して鉄筋かぶり誤差が 0 になるような a を逆算して、式 (2) 示す関係に整理することで行った。

$$a = (c-b)/A \quad (2)$$

図 4.1 に c-b と A の関係について整理したものを示す。なお図中には回帰式も併せて示すが、両者には比較的良い相関性があることが分かる。「c-b」はコンクリート内部で一定となる比誘電率 c と表面の比誘電率 b との差になるが、この値が大きくなると A の値が小さくなり、比誘電率が比較的表面に近いところで一定となることになる。なお図 4.2 には、図 4.1 に示す回帰式と式 (2) で求められた a の値を用いて補正したかぶり深さと補正前のものを示す。補正前では ±10mm の精度であったが、補正後では ±5mm 以内の精度で評価できることが分かった。

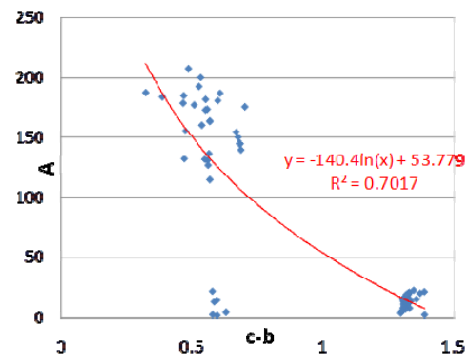


図 4.1 パラメータ A と c - b の相関式

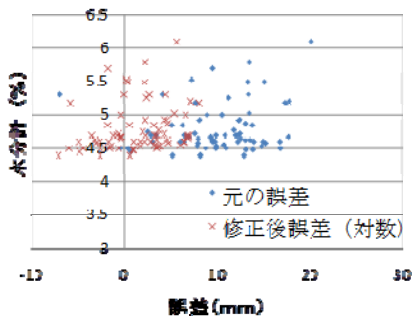


図 4.2 修正前と修正後の誤差の比較

(3) 劣化した構造物の合理的検査手法の研究成果

①可視域・近赤外分光法を用いたコンクリート表面の塩化物有無の検証結果

図 4.3 に示すように可視光域である 435nm、470nm、550nm 付近に少量のピークが存在したことから、塩化物の有無の違いを屋外でより汎用的に可視化することができるモノクロカメラで試みた。また、カメラには  $450 \pm 50\text{nm}$  と  $550 \pm 50\text{nm}$  の波長を透過させるフィルター (BPB45、BPB55) を使用し、特定の波長域に絞って計測できるようにした。光源は 350nm~800nm の光を安定して出すことができるキセノンライトを使用した。

図 4.4 には一例として、乾湿 100% の供試体を撮影した画像の濃度分布を示す。図より同一の供試体でもフィルターあるなし、およびフィルターの種類によって濃度分布が異なることがわかる。また、どのフィルター条件でも表面に塩化物が存在する乾湿 100% の供試体の方の階調が高くなっていることがわかる。特に BPB45 で撮影したものがモルタルとの階調の差が大きいことがわかった。モノクロカメラの画像情報は輝度値で表される為、階調が高い=反射率が高いと言える。そのため、モノクロカメラでも塩分のない供試体と塩分混入供試体を判別できる可能性があることが分かった。

②赤外線法を用いたコンクリート表面付近の塩分濃度評価結果

一例として図 4.5 に投光器を用いた場合の積算温度と塩分濃度の関係を示す。図より、塩分濃度が高いほど積算温度が低い傾向にあり、放熱しやすいことが分かる。なお本研究では、3 種類の加熱方法によってモルタル中に含まれる塩分濃度の違いを赤外線法により把握した。その結果、3 種類の加熱方法ともに、放熱状態における表面温度の積算値は塩分濃度が高いほど小さくなることから、放熱しやすくなるため、表面塩分濃度の分布を赤外線法で相対的に評価できる可能性があることが分かった。なお推測ではあるが、モルタルの塩分濃度が高くなると放熱しやすくなるのは、モルタル中の空隙が塩分によって満たされ、見掛け上、緻密化したことに

よるものと考えられる。すなわち空気は熱遮断性があり、空隙が多いものほど熱の移動が妨げられるためである。

(4) 使用材料検討

混和材の有無により水和物が異なり、炭酸化や塩害による生成物も異なることを確認した。

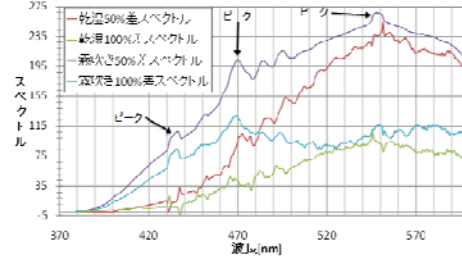


図 4.3 塩分無し供試体との差スペクトル

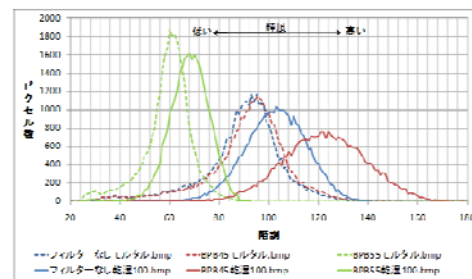


図 4.4 RGB 値の分布

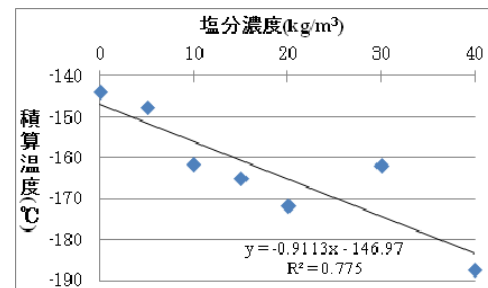


図 4.5 積算温度と塩分濃度 (投光器使用)

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1) Takeshi IYODA, Kimihiro INOKUCHI and Taketo UOMOTO : EFFECT ON SLAG HYDRATION OF BLAST-FURNACE SLAG CEMENT IN DIFFERENT CURING CONDITIONS, 13th International congress on the chemistry of cement, SPAIN 2011
- 2) 松崎晋一郎, 豊村恵理, 伊代田岳史 : 高炉セメントの塩化物イオン固定化特性に関する一検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, pp.797-802, 2011
- 3) Taketo UOMOTO : Importance of engineering judgment against unexpected hazards, ACF2012 The 5th International

Conference of Asian Concrete Federation  
4) T. Uomoto, J. Murakoshi, Y. Kimura, M. Takahashi and T. Hanai : Importance of Non-destructive Inspection to Maintain Existing Civil Structures , 11th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia

5) Uomoto Taketo : IMPORTANCE OF MAINTENANCE TO UTILIZE EXISTING STRUCTURES , International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011

〔学会発表〕(計 21 件)

1) 押田直之, 魚本健人, 水吐則行 : 既設 RC 橋梁上部工における復元設計と安全性評価に関する基礎研究, 第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2008. 3

2) 勝木太, 魚本健人, 八木翼, 水吐則行 : PC 道路橋上部工の復元設計と安全性評価に関する研究, 第 17 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, 2008. 11

3) 梶田侑吾, 魚本健人 : 既設 RC 橋梁橋脚における復元設計と安全性評価に関する基礎研究, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2009. 3

4) 勝木太, 中崎明行, 魚本健人 : 鉄筋探査計を用いた PC ダクトの検出精度に関する基礎研究, 第 19 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, 2010. 10

5) 濱田大輝, 山本 啓, 勝木太 : 鉄筋探査計によるコンクリート内部の鉄筋検出精度に与える影響, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2011. 3

6) 毛塚貴洋, 勝木太, 魚本健人 : 既設 RC 共同溝の復元設計に関する基礎的研究, 第 66 回土木学会年次学術講演会, 2011. 9

7) 白戸駿久, 勝木太 : 可視域・近赤外分光法を用いたコンクリート表面の塩化物有無の判別に関する一考察, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2012. 3

8) 山崎悟, 勝木太 : 電磁波レーダ法で用いられる鉄筋径法の比誘電率分布補正に関する基礎的研究, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2012. 3

9) 高嶋卓, 勝木太 : 赤外線法を用いたコンクリート表面付近の塩分濃度評価に関する検討, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

10) 大沼拓也, 勝木太 : コンクリート内部の含水状態が鉄筋探査精度に与える影響, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

11) 佐藤嘉宏, 合田雄亮, 二ノ宮康平, 穴見健吾 : 疲労強度評価のための溶接継手前部の応力評価測定位置の検討, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

12) 伊藤祐哉, 穴見健吾 : 面外ガセット溶接継手の長寿命域における疲労挙動, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2012. 3

13) 落合良介, 武佑志, 穴見健吾 : 低温相変態溶接棒による溶接ルート部の疲労強度向上, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

14) 濱田勝大, 村上拓, 伊代田岳史 : 養生湿度の変化が高炉スラグ微粉末の水和反応に及ぼす影響, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2011. 3

15) 高橋佑輔, 村上拓, 伊代田岳史 : 環境負荷低減型三成分系セメントの強度特性および ASR 抑制効果, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-38, CD-ROM, 2011

16) 村上拓, 高橋佑輔, 伊代田岳史 : 各種混和材の含有量を調整した三成分系セメントの耐久性に関する研究, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-39, CD-ROM, 2011

17) 伊代田岳史, 高橋佑輔, 村上拓, 豊村恵理 : 高炉スラグ微粉末の特徴を最大限に活かした三成分系セメントの提案に向けた一考察, 第 66 回セメント技術大会, pp. 284-285, 2012

18) 豊村恵理, 伊代田岳史 : 高炉スラグ微粉末の置換率が炭酸化メカニズムにおよぼす影響, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

19) 松崎晋一郎, 伊代田岳史 : 高炉スラグ微粉末の置換率が塩化物イオンの拡散性状に与える影響, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2011

20) 小宮山祐人, 伊代田岳史 : 各種混和材を添加したセメントの塩分固定化特性の把握, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

21) 原沢蓉子, 細川佳史, 伊代田岳史 : 非常状態電気泳動試験の通電時間が拡散係数に与える影響, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2013. 3

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

魚本 健人 (UOMOTO TAKETO)

(独) 土木研究所・理事長

研究者番号 : 80114396

### (2) 研究分担者

勝木 太 (KATSUKI FUTOSHI)

芝浦工業大学・工学部土木工学科・教授

研究者番号 : 90296830

伊代田 岳史 (IYODA TAKESHI)

芝浦工業大学・工学部土木工学科・准教授

研究者番号 : 20549349

穴見 健吾 (ANAMI KENGO)

芝浦工業大学・工学部土木工学科・教授

研究者番号 : 30272678