

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360193

研究課題名（和文）フレッシュコンクリートの施工性能に関する現場対応型照査・検査システムの構築

研究課題名（英文）System for verification and examination of construction placement related performance evaluation of fresh concrete using at construction site

研究代表者

橋本 親典 (HASHIMOTO CHIKANORI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：10180829

研究成果の概要（和文）：フレッシュコンクリートの施工性能を現場で対応可能な照査システムおよび検査システムを構築するために、具体的な試験方法として、加振ボックス充てん試験方法とタンピング試験方法を作成した。検証実験として徳島大学を含む7研究機関において単位セメント量を同一にした6種類の配合のコンクリートで試験を実施した。その結果、両試験は照査方法の試験として用いることができ、タンピング試験におけるコンクリートのスランピングの目視観察が検査方法として可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to develop the practical system for verification and examination of construction placement related performance evaluation of fresh concrete using at construction site, we proposed the two experimental methods for verification and examination of construction placement. One is the test method for dynamic pass-ability through obstacle for fresh concrete using box shaped container. The other is the test method for flow-ability and cohesion evaluation of fresh concrete by tamping test using apparatus of slump test. Our group and six research laboratories in Japan carried out the common experiment using the six mix proportions of concrete with same unit content of cement so as to inspect the propriety of the indexes inquired by these methods,. As a result, it is considered that the two test methods are proper for verification test and the test method for flowability and cohesion evaluation of fresh concrete by tamping test is proper for examination test of construction placement related performance evaluation of fresh concrete.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

研究分野：コンクリート工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：フレッシュコンクリート，施工性能，照査システム，検査システム，ボックス充てん試験，タンピング試験，流動解析

## 1. 研究開始当初の背景

高品質かつ高耐久なコンクリート構造物の構築を実現するには、バイブレータなどで十分に締め固めることを前提として、施工が可能なスランプが得られる範囲でできるだ

け単位水量の少ない硬練りのコンクリートを適用することが基本である。しかし、ポンプ施工の普及による単位水量の増加や、作業員の技能低下による締め固め不良などに伴い、コンクリートが早期に劣化する例も少なく

なく、社会的な問題となっている。また、近年の耐震基準見直しなど、コンクリート構造物にはより一層の高性能化が求められるようになり、同時に、長距離のポンプ圧送、密な配筋や複雑な形状へのコンクリート打設が要求される場合も増えてきている。

このような現状に対し、土木学会コンクリート委員会は2007年3月に「施工性能に基づくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」を発刊した。この指針(案)では、コンクリートの性能として強度、耐久性に加えて、施工性能の照査を行うことを基本とし、環境条件や構造・部材条件に応じてコンクリートの施工性能が適切に設定できるようにしている。本指針の特徴としては、施工性能を流動性と材料分離抵抗から決定される指標とし、流動性はスランプの経過変化を考慮して打込みにおいて必要な最小スランプとし、材料分離抵抗性は配合上の粉体量に依存するとした点である。これによって、これまで、量化が困難であった施工性能を配合設計時に照査できることになった。

しかしながら、検査に関しては、必ずしも施工性能を直接評価する方法は提案されていない。また、照査方法も、スランプ試験のみであり、施工現場を想定した流動性の評価ではなく、今後の検討課題も多いのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究の到達目的は、フレッシュコンクリートの施工性能を現場で対応できる簡易な試験方法で、照査と検査をすることができるシステムを構築することである。スランプロスによって時間的・空間的に変化する流動性と材料分離抵抗性を、実験室のみならず現場の荷卸し時点においても照査・検査できるシステムの構築を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究課題を遂行するにあたり、研究当初は、粒状体-流体連成3次元モデルを用いた流動シミュレーションを可能とするシステムの構築を目指した。

しかしながら、3次元の流動シミュレーションモデルをフレッシュコンクリートに適用するには多くの課題があり、最終年度において、ボックス充てん試験内のフレッシュコンクリートの流動解析ができる程度であった。

そこで、この流動解析による照査・検査システムと異なり、実際の試験室レベルの実験による施工性能の照査・検査システムを検討することとした。この結果を流動シミュレーション可能とする流動解析システムの構築を試みこととした。

したがって、具体的な研究方法としては、

以下の2つを平行して実施した。

(1) 試験室レベルによるフレッシュコンクリートの施工性能の照査・検査システムの開発  
フレッシュコンクリートの施工性能の照査・検査システムのために行う実験方法として、既往の研究成果を調査し結果、「フレッシュコンクリートの加振ボックス充てん試験方法(案)」と「フレッシュコンクリートのタンピング試験方法(案)」を作成し、この2つの試験方法の有効性・実用性について、実験的検討を行った。この2つの試験方法は、「4. 研究成果」の最後に<試験方法原案>として記載する。試験装置は、図-1と図-2に示す。

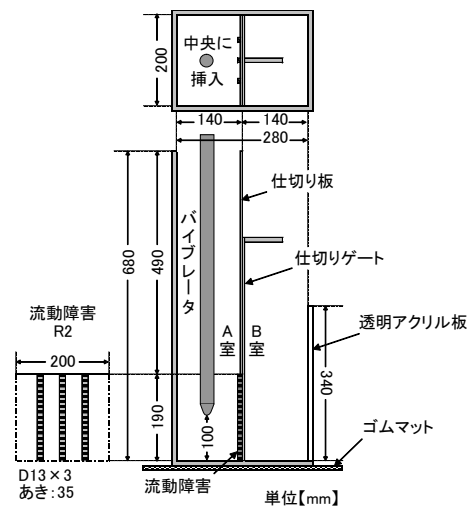


図-1 加振ボックス充てん試験におけるバイブレータの挿入位置

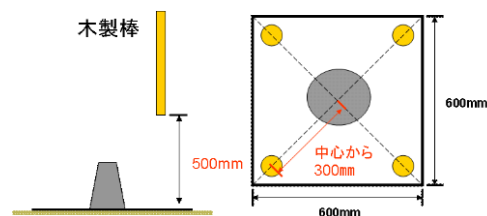


図-2 タンピング試験時の木製棒の落下位置

試験は、7つの研究機関(大学および民間建設会社の技術研究所等)で共通実験を実施した。試験方法に関しては、既往の研究をもとに試験方法を検討し、それらを共通試験に使用した。加振ボックス充てん試験では棒状内部振動機の挿入位置や流動障害の種類、到達時間の計測位置や洗い分析の実施位置、タンピング試験では規定のタンピング回数と計測方法を決定し、共通実験用の試験方法とした。

コンクリート材料は、7研究機関の各地域の材料を使用し、配合も7研究機関の各地域の生コン工場で実際に使用されているスランプの配合を使用した8配合水準で実施した。

スランプの設定は、2007年3月に発刊されたコンクリートライブラリー126号「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針（案）」（以降、施工性能指針案と称す）における施工時に型枠内で振動を必要とするスランプ8cmと、それよりやや大きい15cmを対象とした。また、本試験方法の配合照査・検査方法への適応を目指して、施工性能指針案をもとに同一スランプで配合条件の異なる配合についての検討も行った。施工性能指針案の材料分離抵抗性、振動締固め性に関する単位セメント量の照査図（打込みのスランプと単位セメント量の関係図）もとに、7研究機関の各地域の生コン工場で実際に使用されているスランプの配合を基準とし、それらに対して材料分離抵抗性を確保するための単位セメント量の上限值と下限值となるように、単位セメント量の多い配合と少ない配合を設定し、各スランプで3配合の計6配合で検討した。

(2) 粒状体-流体連成3次元モデルを用いた加振ボックス充てん試験装置内を流動するフレッシュコンクリートの流動解析

用いた解析モデルは、粒状体-流体連成3次元モデルである。流体モデルは、モルタルではなく、空気として取り扱った。土木学会規準「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間げき通過性試験方法（案）（JSCE-F 511-2010）」のBOX形充てん容器を基にモデル化した。A室の初期充てん高さは実験の68cmより32cm大きくした。加振ボックス充てん試験とは異なり、A室において0cmから21cmまで沈下する時間（s）を求め、振動充てん時間とする。

骨材は粒径20mmから5mmをモデル化した。モデル骨材の数は、実際の粗骨材の粒度分布から決定した。初期充てん状況を図-3に示す。

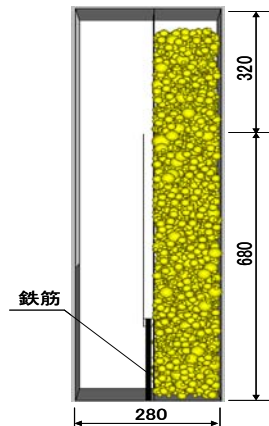


図-3 初期充てん状況

#### 4. 研究成果

共通試験の結果の一例を、図-4に示す。

間げき通過速度は、加振ボックス充てん試験から求められる指標であり、スランプフロー変形速度は、タンピング試験から求められる指標である。指標の算定方法は、後述する<試験方法原案>に記載する。

スランプフロー変形速度が大きいコンクリートは、間げき通過速度も大きくなる。タンピングによって変形しやすいコンクリー

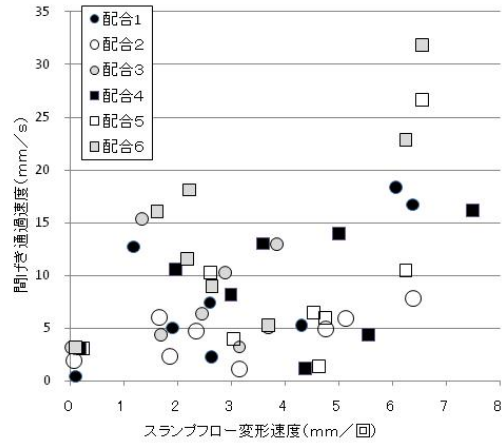


図-4 6配合の共通試験結果の一例

トは、鉄筋の間げきを通過するときの抵抗も小さく円滑に粗骨材粒子を回転させコンクリートを通過させることができると考えられる。その結果、両者の指標にはある程度の相関性が存在すると考えられる。

施工性能の照査方法に用いる試験方法は、設定した施工性能を満足するコンクリートの配合選定、使用材料の選定、生コン工場の選定等のために用いられる。よって、照査方法としての試験は、原則として試験室レベルで実施するものである。加振ボックス充てん試験、タンピング試験のどちらも照査方法の試験として用いることが可能であることが明らかになった。

施工性能の検査方法としては、通常の検査とは本質的に異なる施工における不具合の発生リスク低減する目的でタンピング試験におけるコンクリートのスランピングの目視観察が検査方法として可能である。

#### <試験方法原案>

##### フレッシュコンクリートの加振ボックス充てん試験方法（案）

Test method for dynamic pass-ability through obstacle for fresh concrete with box shaped container

1. 適用範囲 この規準は、ボックス形の充てん装置およびパイプレータを用いたフレッシュコンクリートの間げき通過性を試験する方法について規定する。
2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規準に引用されることによって、この規準の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

JSCE-F 511 高流動コンクリートの充てん装置を用いた間げき通過性試験方法（案）

JIS A 1112 フレッシュコンクリートの洗い分析試験方法

JIS A 1115 フレッシュコンクリートの試験採取方法

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

### 3. 試験用器具

a) ボックス形容器 JSCE-F 511に記載されている充てん装置のうちボックス形容器<sup>(1)</sup>を使用し、流動障害には障害R2 (D13×3)を用いる。

注<sup>(1)</sup>加振時の試料高さを外部から容易に計測するために、ボックス形容器のB室の仕切り板と相対する壁面は透明な材質とする。

b) バイブレータ モータ部に振動部を直結した棒状バイブレータを用いる。寸法と能力は適切なもの<sup>(2)</sup>を用いる。

注<sup>(2)</sup>本試験はバイブレータの性能の影響を受ける。振動部の直径は28mm程度、周波数は200Hz程度とする。

c) 防振用マット ボックス形容器の下に敷くためのもので、容器自体が振動しないような材質や形状<sup>(3)</sup>とする。

注<sup>(3)</sup>材質はゴムとし、厚さは概ね15mm以上で、両面に直交した溝や、表面に特殊な突起などが付いている防振性に優れた形状を有するものが望ましい。ボックス形容器下面の寸法よりも大きいものとする。

d) ストップウォッチ 1/10秒まで計測できるものとする。

4. 試料 試料は、JIS A 1115の規定によって採取するか、JIS A 1138の規定によって作る。

5. 試験方法 試験は、次による。

a) ボックス形容器を防振用マットの上に鉛直に設置し、上面が水平となるようにする。

b) ボックス形容器に仕切りゲートおよび流動障害を取り付けた仕切り板を差し込み、内面、仕切りゲート、仕切り板および流動障害を湿布で拭く。

c) 仕切りゲートを閉じた状態でハンドスコープなどを用いてA室に試料を3～4層程度に分けてつめる<sup>(4)</sup>。

d) 上面を軽くならし、バイブレータをA室中央に静かに挿入する。挿入深さがバイブレータの先端が底面から100mmとなるようにする<sup>(5)</sup>。

e) 仕切り板を引き上げる<sup>(6)</sup>。

f) バイブレータによる加振を開始する<sup>(7)</sup>。

g) 加振を開始した直後から、B室の仕切り板と相対する壁面において、両端部の試料高さが両方とも190mmおよび300mm<sup>(8)</sup>に達した時間をストップウォッチを用いて1/10秒まで測り、それぞれ190mm到達時間、300mm到達時間とする。

h) B室の試料高さが300mmに達したら加振を停止し、バイブレータを静かに引き抜く。

i) A室下部およびB室上部の試料を採取し、JIS A 1112の規定によって、それぞれの位置における単位粗骨材量を求める<sup>(9)</sup>。

注<sup>(4)</sup>スランプが小さくつめにくい場合には、

突き棒で軽く突く、容器を揺動させるなどして大きな空隙を作らないようにする。

注<sup>(5)</sup>挿入深さがわかるように、バイブレータに印をつけておく。

注<sup>(6)</sup>配合条件により仕切り板を引き上げた際に試料がB室に流出した場合、流出状況を観察し、流出停止後に加振を開始する。

注<sup>(7)</sup>コンクリートのB室への流動に伴い、バイブレータの位置が移動しないように保持する。

注<sup>(8)</sup>B室の対象とする透明な壁面において、所定の高さの位置に予め印をつけておき、試料の到達を目視によって判定する。

注<sup>(9)</sup>試験方法はJIS A 1112に準拠するが、試料の採取量は2リットル程度とする。B室上部の試料に材料分離が生じていても、その部分を除去せずに採取する。

6. 結果の計算 結果の計算は、次による。

a) A室およびB室の粗骨材量変化率は、次式により算出する。

$$\delta_A = \frac{G_A}{G_0} \times 100 \quad \delta_B = \frac{G_B}{G_0} \times 100$$

ここに、 $\delta_A$ : A室の粗骨材量変化率(%),  $G_A$ : A室から採取した試料の単位粗骨材量(kg/m<sup>3</sup>),  $G_0$ : 配合における単位粗骨材量(kg/m<sup>3</sup>),  $\delta_B$ : B室の粗骨材量変化率(%),  $G_B$ : B室から採取した試料の単位粗骨材量(kg/m<sup>3</sup>)

b) 間げき通過速度は、次式により算出する。

$$V_{pass} = \frac{110}{t_{300} - t_{190}}$$

ここに、 $V_{pass}$ : 間げき通過速度(mm/s),  $t_{300}$ : 300mm到達時間(s),  $t_{190}$ : 190mm到達時間(s)

備考 110は、試料の高さ300mmと190mmの差(mm)である。

7. 報告 報告は、次の事項のうち必要なものについて行う。

a) バイブレータの寸法および性能(直径、周波数、メーカー、形式)

b) コンクリートの配合

c) コンクリートの温度

d) 190mm到達時間および300mm到達時間

e) A室およびB室の粗骨材量変化率

f) 間げき通過速度

g) 試験日、気温、湿度

### フレッシュコンクリートのタンピング試験方法(案)

Test method for flow-ability and cohesion evaluation of fresh concrete by tamping test using the apparatus of slump test

1. 適用範囲 この規準は、タンピングを用いてフレッシュコンクリートの流動性および分離抵抗性を試験する方法について規定する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規準に引用されることによって、この規準の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法

JIS A 1150 コンクリートのスランプフロー試験方法

JIS A 1115 フレッシュコンクリートの試料採取方法

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

JIS B 7512 鋼製巻尺

JIS B 7516 金属製直尺

3. 試験用器具

a) スランプコーンおよび平板 JIS A 1101 に規定するスランプコーンおよび平板<sup>(1)</sup>を用いる。

注<sup>(1)</sup>平板の厚さはJIS A 1101 に規定されていないものの、本試験においてはある程度の平板の剛性が必要であり、その厚さは3mm程度あることが望ましい。平板の寸法、厚さ、重量を測定しておく。

b) 木製棒 質量を1.2kgとする。寸法は適切なものとする<sup>(2)</sup>。

注<sup>(2)</sup>円柱状で、直径30mm程度とする。

c) その他の器具 メジャー<sup>(3)</sup>、ストップウォッチ<sup>(4)</sup>

注<sup>(3)</sup>使用するメジャーはJIS B 7512 のコンベックスルールまたはJIS B 7516 の金属製直尺とし、1mmまで読み取れるものとする。

注<sup>(4)</sup>ストップウォッチは1/10秒まで計測できるものとする。

4. 試料 試料は、JIS A 1115 の規定によって採取するか、JIS A 1138 の規定によって作る。

5. 試験方法 試験は、次による。

a) 砂を10~20mm程度の厚さで敷き均す<sup>(5)</sup>。

b) 敷き均した砂の上に平板を設置する。

c) JIS A 1101 にしたがって、平板の中心位置においてスランプ試験を行う。

d) スランプ試験終了後の試料に対して、タンピングを、木製棒を500mmの高さから平板の四隅のタンピング位置<sup>(6)</sup>に1回ずつ順に落下させることで行う。

e) 指定するタンピング回数時および終了時において、その時の試料に対して、JIS A 1101 におけるスランプ、JIS A 1150 におけるスランプフロー、試料の状態<sup>(7)</sup>を測定する。指定するタンピング回数は、8、16、24、32回とし、スランプフローが350mmに達した時点で終了とする<sup>(8)</sup>。

f) タンピング試験の試験開始から終了まで

の時間を測定する。

注<sup>(5)</sup>砂の種類は、コンクリートに使用する細骨材とし、その状態は表乾状態に近いものとする。試験時に砂が平板の周囲に移動することを防ぐために、平板よりも広く砂を敷いたり、角材などで砂の周囲を覆ったりすることも有効である。

注<sup>(6)</sup>木製棒を落下させる平板の位置は、平板の中心から四隅方向へ300mm離れた位置とする。

注<sup>(7)</sup>特に、試料上部の円形部の有無、試料周囲のひび割れ、崩れの状態を記録しておく。必要に応じて写真により記録してもよい。

注<sup>(8)</sup>指定するタンピング回数を全て行わなくてもスランプフローが350mmに達した時点で試験終了とする。タンピング回数が32回時でスランプフローが350mmに達しなかった場合は、引き続き350mmに達するまでタンピングを行う。その際のタンピング回数間隔は4回または8回とする。スランプフローが広がりやすい場合には、当初からタンピング回数間隔を4回とする。

6. 結果の計算 結果の計算は、次による。

a) スランプフロー変形速度は、次式により算出する。

$$K_{sf} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i S_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n S_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

ここに、 $K_{sf}$ ：スランプフロー変形速度(mm/回)、 $n$ ：測定した回数(回)、 $x_i$ ： $i$ 回目の測定時におけるタンピング回数(回)、 $S_i$ ： $i$ 回目の測定時におけるスランプフロー(mm)

7. 報告 報告は、次の事項のうち必要なものについて行う。

a) 平板の寸法

b) コンクリートの配合

c) コンクリートの温度

d) 指定するタンピング回数時および終了時のスランプ、スランプフロー、試料の状態

e) スランプフロー変形速度

f) 試験開始から終了までの時間

g) 試験日、気温、湿度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① 岸上裕哉, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: フライアッシュⅡ種とⅣ種がフレッシュコンクリートの変形性と間隙通過性に与える影響, シンポジウム論文, コンクリート技術シリーズ, No. 94, 2011年(登録)



- 決定), 査読有
- ② 橋本親典, 岡野智久, 渡辺健, 石丸啓輔: ボックス形充てん試験装置の鉄筋障害が振動充てん性に与える影響に関する実験的研究, シンポジウム論文, コンクリート技術シリーズ, No. 94, 2011年(登載決定). 査読有
- ③ 岸上裕哉, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: タンピング試験による変形性と加振ボックス充てん試験による間隙通過性の相互関係に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 2009年(登載決定), 査読有
- ④ 橋本紳一郎, 江本幸雄, 橋本親典, 伊達重之: スランプロスの大きさがコンクリートの施工性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, 1295~1300, 2010年, 査読有
- ⑤ 千賀年浩, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: 混和材置換によるフレッシュコンクリートの振動充てん性に関する定量的評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, 1187~1192, 2010年, 査読有
- ⑥ 進藤義勝, 宗金昌典, 上田隆雄, 渡辺健: フライアッシュコンクリートの自己治癒効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, 137~142, 2010年, 査読有
- ⑦ Toshihiro Senga, Chikanori Hashimoto, Hiroyuki Mizuguchi and Takeshi Watanabe: EXPERIMENTAL STUDY ON THE CONSTRUCTION PLACEMENT RELATED PERFORMANCE EVALUATION OF FLY ASH CONCRETE WITH VIBRATION FILLING TIME, 4th International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, pp. 1497--1502, Nagoya, Aug. 2009, reviewed
- ⑧ 御領園悠司, 渡辺健, 橋本親典, 伊藤祐二: 高強度および超高強度コンクリートを対象とした二次製品用コンクリートの振動充填性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, 1657~1662, 2009年, 査読有
- ⑨ 橋本親典, 渡辺健, 水口裕之, 伊藤祐二: 振動充てん時間を用いたフライアッシュコンクリートの施工性能の評価に関する基礎的研究, セメント・コンクリート研究討論会論文報告集(論文), Vol. 35, 19~24, 2008年, 査読有
- ⑩ 御領園悠司, 渡辺健, 橋本親典, 高橋克則: 変形性評価試験による鉄鋼スラグ水和固化体の圧送性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 2, 241~246, 2008年, 査読有

[学会発表] (計4件)

- ① 笹田宏紀, 橋本親典, 上野勝利, 渡辺健: 粒状体-流体連成3次元解析モデルを用いた加振BOX試験装置内を流動するフレッシュコンクリートの数値解析に関する一考察, 第17回土木学会四国支部技術研究発表会, 2011年5月14日, 香川大学工学部.
- ② 福嶋慎吾, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: ICタグを用いた生コンクリートのトレーサビリティの実用化に関する基礎的研究, 第63回土木学会年次学術講演会講演会, 2008年9月10日, 東北大学工学部.
- ③ 橋本親典, 石田清嗣, 渡辺健, 石丸啓輔: BOX形充てん装置の振動充てん時間によるフレッシュコンクリートの施工性能の評価, 第14回土木学会四国支部技術研究発表会, 2008年5月17日, 高知工科大学.
- ④ 千賀年浩, 伊達重之, 渡辺健, 橋本親典: FAの産地と添加量が2次製品用コンクリートの振動締固めに及ぼす影響, 第14回土木学会四国支部技術研究発表会, 2008年5月17日, 高知工科大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

橋本 親典 (HASHIMOTO CHIKANORI)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号: 10180829

### (2) 研究分担者

水口 裕之 (MIZUGUCHI HIROYUKI)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授<2008~2009年度まで>  
研究者番号: 00035651  
上田 隆雄 (UEDA TAKAO)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号: 20284309  
上野 勝利 (UENO KATSUTOSHI)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授  
研究者番号: 70232767  
渡辺 健 (WATANABE TAKESHI)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授  
研究者番号: 50332812  
石丸 啓輔 (ISHIMASRU KEISUKE)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・技術職員  
研究者番号: 00380121

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: 10180829