

資源環境保全を目指した副産微粉コンクリートの総合的物性評価に関する研究

1.材料施工ー15.地球環境・資源

資源環境保全，コンクリート，微粒分，基礎物性

準会員 ○石田 慎平^{*1} 正会員 田村 雅紀^{*2}

1. 研究背景

人間はライフサイクルを通じて大量の資源とエネルギーを様々な形で消費し、大量の廃棄物を排出し環境問題を生じさせている。国内の総物資投入量は2003年度で20億t程度でありその半分の10億t程度が建設材料として使用されている。今後、高度経済成長期に建設された建物の多くが使用限度を迎え、解体・除却されるため、解体コンクリート塊が大幅に増加する。再生骨材のJIS規格も制定されたが普及段階にあるわけではない。また、実際に再生骨材を製造すると再生粗骨材、再生細骨材以外に、セメント系微粒分が大量に発生し、再資源化の方法が提案されているが^{1),2),3)}、最終処分場の問題もあり早急な対策が求められる。また砕石・砕砂についても製造時に発生する微粒分の扱いの問題はJIS規格の制定に伴い、更に重要な課題となっている。

本研究は、既往の研究¹⁾をふまえ、コンクリートに混和する微粒分の拡大利用を図るために、セメント、微粒分などの各種材料要因を調整し、最終的にコンクリートのフレッシュ性状、力学特性、耐久性を評価し、微粉・骨材産地を同一としたファミリー型で使用する構造用コンクリートの総合的な物性評価を行う。

なお、本報告は耐久性試験ほか、全体の研究計画の途中段階のものがあるため、その一部を示す。

2. 研究概要

2.1 使用材料と実験方法

表1に研究1～3の使用材料、表2に実験要因および水準、表3に試験項目と内容をそして、図1に研究概念図を示す。研究1はFBセメントを用い、微粉、細骨材、粗骨材が同一種類である材料を単身で用いて微粒分を1～9%まで変化させて製造したコンクリー

トの研究¹⁾であり、ファミリー型として物性を評価し、微粒分が少ないシリーズについてはブリージングの発生に起因し凍結融解抵抗性が低下した場合があった。本研究では、研究1の対策を図るために、研究2では「空気量対策」、「微粉量対策」を実施し、高炉セメントB種、普通ポルトランドセメントを追加し、空気量を7%混和した場合、セメント種による影響、石灰石微粉量1,3,9,15%とした微粉量の影響を評価した。研究3では「環境配慮推進対策」として、高炉B種を用い、微粉量15%混和して普通ポルトランドセメントの使用量削減の効果をコンクリートのフレッシュ性状、力学特性、耐久性試験により評価した。なお、細骨材は石灰石、隆砂、粗骨材は石灰石砕石を用いた。写真1に主な使用材料を示す。

2.2 コンクリートのフレッシュ性状（研究2，3）

図2にコンクリート全試験体のブリージング性状を示す。微粉混入によりブリージング量が抑えられる

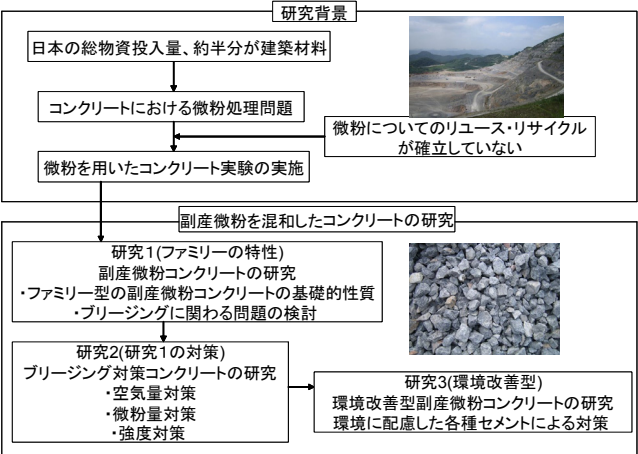


図1 研究概念図

表1 使用材料

材料	記号	種類	内容
セメント	FB	フライッシュ	密度 3.04(g/cm ³)
	BB	高炉 B 種	密度 3.04(g/cm ³)
	N	普通ポルト	密度 3.16(g/cm ³)
微粉	L	石灰石微粉	S3370(cm ² /g)
			表密(2.71g/cm ³)
細骨材	B	陸砂	表密(2.58 g/cm ³)
			吸水率(1.13%)
	L	石灰石砕砂	表密(2.26 g/cm ³)
			吸水量(1.13%)
粗骨材	B	硬質砂岩砕石	表密(2.67g/cm ³)
			吸水率(0.75%) 実績率(62.9%)
	L	石灰石砕石	表密(2.70 g/cm ³)
			吸水率(0.25%) 実績率(60.5%)

表2 実験要因と水準

項目	要因
セメント種類	N,FB,BB
骨材種類	B(標準) L(石灰石)
水セメント比	45,55%
単位水量	170,175 kg/m ³
単位粗骨材かさ容積	0.55 一定
微粉量	1,3,9,15%
化学混和剤	C×0~2.0%
(備考) 上記により、コンクリートの強度対策、セメント種類対策、微粉量対策、環境配慮対策の影響を検討した	

表3 試験項目と内容

試験項目	試験方法
材料物性	密度、比表面積等 (JIS A5005)
フレッシュ性状	空気量(JIS A1228) スランプ(JIS A1101) ブリージング(JISA1123)
力学特性	圧縮強度(JISA1108) 割裂引張強度(JISA1113) 静弾性係数(JISA1153)
破壊特性	破壊臨海ひずみ評価
耐久性	凍結融解抵抗性試験 JISA1148 長さ変化率 JISA1129 促進中性化試験 JISA1152,1153

傾向があり、微粉を 15%混和した場合、ブリージングが遅延して発生する傾向も見られた。分散した微粒分の周辺に自由水が一時的に形成される核化が生じていると考えられ一定量以上は保持されず放出することで遅延したブリージングが生じると考えられる。

2.3 コンクリートの基礎力学特性（研究 2， 3）

(1) 圧縮強度と静動弾性係数

図 3 にコンクリート全試験体の圧縮強度と静動弾性係数を示す。同一水セメント比において、標準 B に対し微粉を 9%以上混和しても強度低下は起きなかった。また材齢 7 日では BB 種などは強度発現が遅いが材齢が増すにつれセメント種に関わらず微粉を混和しても強度に影響はない。なお微粉 3%の試験体で B1S より強度低下したものは、ブリージングによる影響が出たものと考えられる。

(2) 破壊特性

図 4 に体積ひずみと破壊臨界点の評価、図 5 に圧縮強度と軸方向ひずみ・ポアソン比の関係、図 6 に破壊臨界点の評価を示す。これまでの結果より、微粉を混和することで、ブリージング水を微粒周辺に一時的に留める核化構造が生じることがわかったが、その結果、ブリージング水量と生成時間ならびに均質性の低下に伴う強度低下の問題等を引き起こすことも考えられた。ポアソン比との関係より、微粒分が少ない 3 % の場合の方が、ポアソン比が増大する減少もあり、逆に 15%へと多くなる方が横ひずみが進展しにくい傾向もみられ、微粉混和の効果が確認できる。この結果、圧縮強度が低下することも確認された。なお、破壊臨界ひずみについては、微粉量 9%,15%の試験体は 3 %

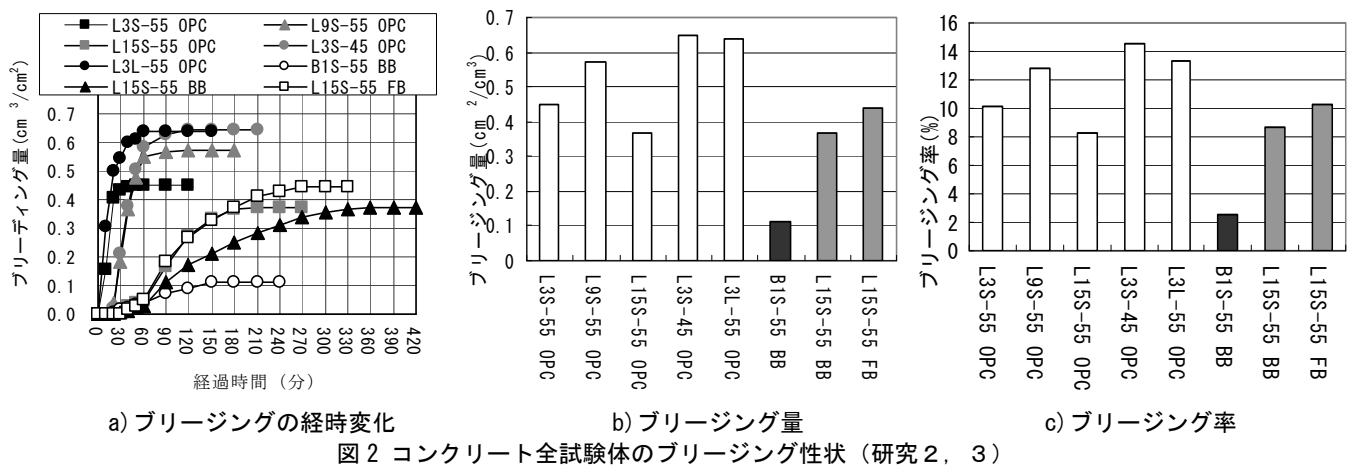


図 2 コンクリート全試験体のブリージング性状（研究 2， 3）

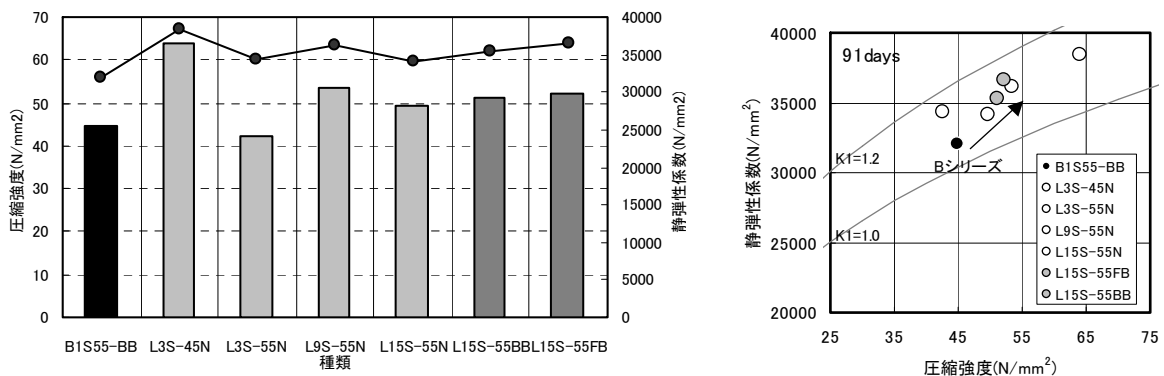


図 3 圧縮強度と静弾性係数（左：試験体ごとの材齢 91 日特性値、右：構造体コンクリートの材齢 91 日物性評価）

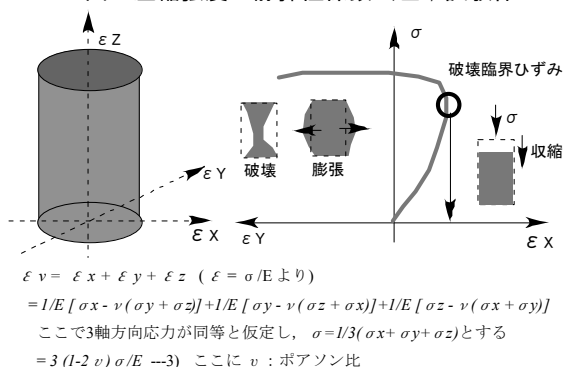


図 4 体積ひずみと破壊臨界点の評価

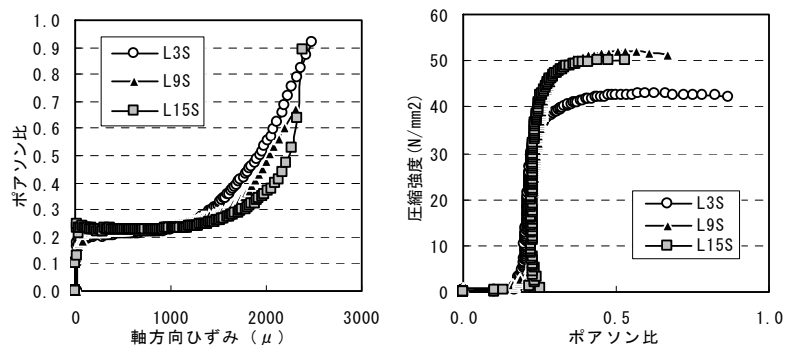


図 5 圧縮強度と軸方向ひずみ・ポアソン比の関係

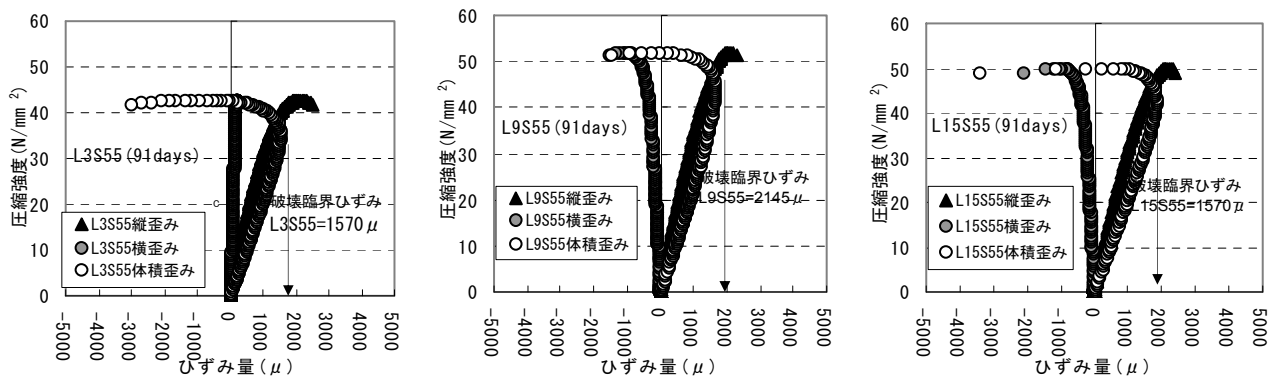


図6 微粉量を変化させた場合の破壊臨界ひずみの特性（左より、3%、9%、15

試験体に対して、破壊臨界ひずみが同等以上であることから、骨材種類によりブリージングが生じやすいシリーズに関しては、微粉 15%程度まで混和してもブリージングを抑制する効果で微粉混和による強度低下の影響は相殺されるといえる。

2.5 コンクリートの耐久性状（研究2，3）

(1) 凍結融解抵抗性

図7および図8に研究2，3の相対動弾性係数と質量減少率の関係を示す。微粉を一定量以上混和することで、ブリージングが抑制され耐凍害性が向上する。その特性はセメント種によらず効果が得られることがわかった。これは前述した微粉の核化によりコンクリート内部の自由水がマトリックス中に分散され、骨材界面への自由水空隙化の集中が低減できたためと考えられる。

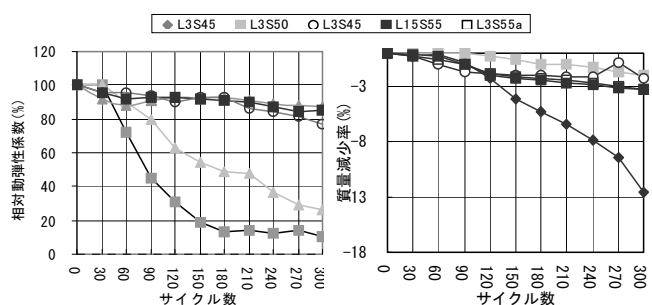
(2) 中性化抵抗性

図9に促進中性化試験における中性化深さと中性化速度の関係を示す。OPCシリーズでは、水セメント比依存に従い、水セメント比45%が最も中性化抵抗性が高い。55%の場合、微粉を3%入れたものに比べ、9%が抵抗性が高く、15%はやや小さくなった。また、BB、FBの混合セメントの場合、一般的にいわれるように中性化抵抗性はさほど改善されない結果となった。

(3) 乾燥収縮性状

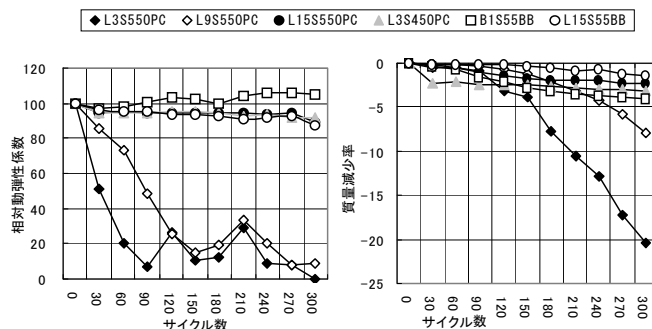
図10にコンクリートの水分逸散量と収縮ひずみの関係概念図を、図11に乾燥収縮性状の結果を示す。

コンクリートは乾燥収縮を起こす段階において、マトリックス中の自由水、結水、構造水のうち、毛細管空隙以上の自由水を中心とした水分が逸散することで最初に重量変化が生じる。続いて、毛細管空隙以下のミクロンレベルの空隙より水分が逸散するようになると、微細部分の体積変化に作用する水素結合力の影響により空隙径が変化し、その結果、収縮ひずみとして試験体の体積変化に影響を及ぼすようになる。ここでは、微粉の混和、セメント種類により、水分の組成構造（自由水、結水、構造水）が相違することから、乾燥期間に変化する水分逸散量とひずみの生成特性に影響が現れる。



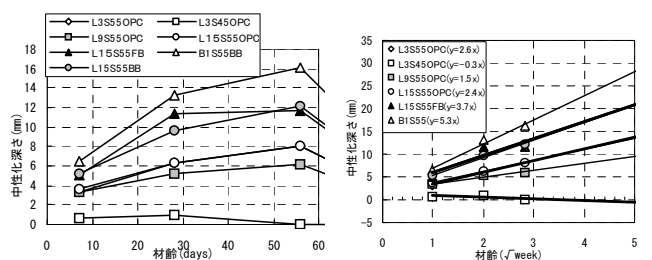
a) 相対動弾性係数 b) 質量減少率

図7 研究2-凍結融解試験



a) 相対動弾性係数 b) 質量減少率

図8 研究3-凍結融解試験



a) 中性化深さ b) 中性化速度係数

図9 促進中性化試験

長さ変化率試験の結果、空気量対策を施したシリーズ、微粉量対策を施したシリーズ、強度対策を施したシリーズともに式1)に示す日本建築学会の乾燥収縮予測式よりも、ひずみが小さい形で生じており、対策コンクリートとしての特性と効果が確認されるといえる。特に、BBセメントを用いて微粉量15%を使用した環

境推進対策を施したものは、長さ変化率が小さく抑えられており、耐久性状有効である。

水分逸散量と長さ変化率に関しては、標準のBシリーズが微粉が少ないために、毛細管空隙径以上の蒸発性水分が多く生じる組織になっていると考えられ、特に初期の水分逸散量が多いことが確認される。そして最終的な乾燥収縮量も大きくでている。これに対し、微粉量を15%混和した、OPC, BB については、水分逸散量が少ない蒸発性の低いゲル+毛細管空隙が多く形成されていると考えられる。これは微粉を混和した結果、微粉による水膜粒子の核化が分散化して生じ、長さ変化および質量減少率の抑制される効果に繋がり、研究1と同様に耐久性上有効に作用する可能性がある。なお、乾燥収縮予測式を踏まえ、これらの微細な空隙構造の特性を踏まえ、初期の収縮速度の影響を踏まえた定式化が可能であるか検討する意義がある。

2.6 コンクリートへの微粉利用による総合的性能評価

JIS などの各種規格における骨材微粉量は1~10%の幅があり、将来的には骨材の10%程度を微粉で置換することで、①最終処分量の減量、②天然骨材利用量の削減を図る効果は期待できる。また、微粉を入れることでコンクリート内部空隙構造が変化し、その結果、蒸発性・非蒸発性の空隙量に差が生じ、最終的に収縮量に影響することが考えられた。この性状はブリー

ージング量とも密接に関係しているため、今後はブリーージング量の発生メカニズムを使用材料構成を踏まえた上で考えることで更なる改質の方向性が見えてくるものと考えられる。また環境配慮型のセメント種FB, BB も内部組織変化を効果的に生じさせることから、セメント種を踏まえた上で微粉をコンクリート材料として有効利用する発展的価値があるといえる。

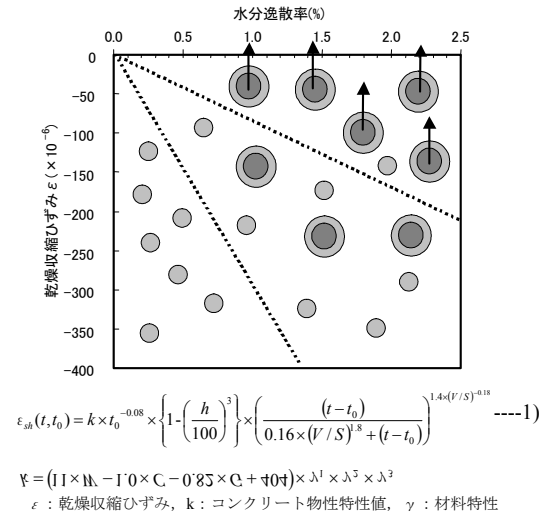


図10 水分逸散量概念図

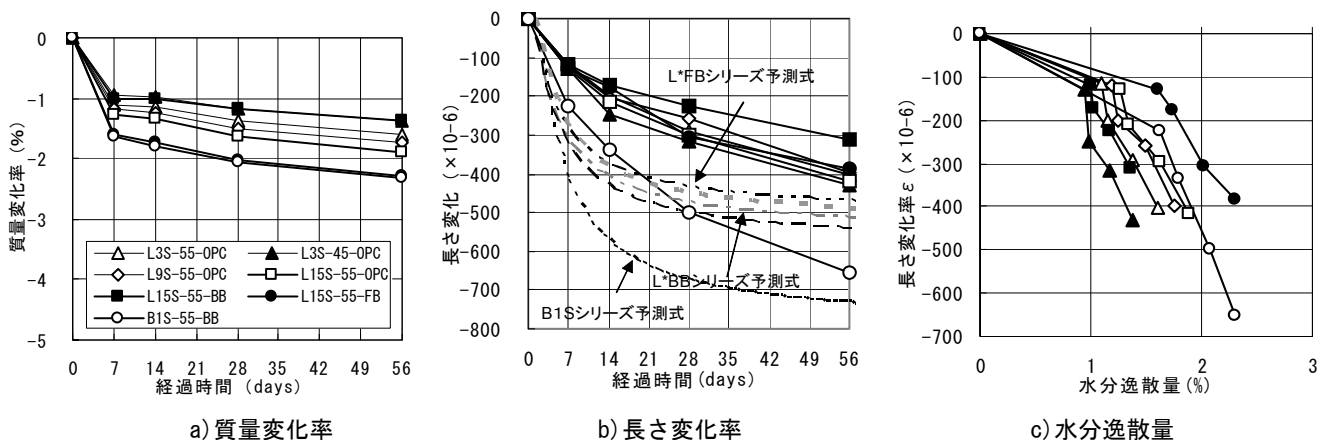


図11 乾燥収縮性状

3. 結論

本研究により以下の結論が得られた。

- 1) フレッシュ性状は、微粉、骨材が同一種類であることの影響が大きく、ブリーージングにその特性が現れる。微粉混和による水膜の核化が形成されている場合、その改善効果が期待できる。
- 2) 微粉混和により力学特性は概ね向上するが、微粉が9%, 15%程度混和されるとブリーージングの改善と微粉による強度低下のバランスで性能改善効果が得られる境界があることが確認された。
- 3) 耐凍害性はブリーージング量の低減に微粉の混和が有効に作用した場合、改善される傾向にある。
- 4) 中性化抵抗性は、セメント種と微粉量の影響が確認され、混合セメントの場合、性能低下をするが微粉

混和により改善される場合もある。

- 5) 乾燥収縮は、微粉混和により水分逸散量への影響を調整可能であり、ひずみ量へも変化を与えられる。
- 6) 継続中の実験を経て、以後、コンクリートの総合的物性評価を行う。

参考文献

- 1) 田村, 浅見ほか, 資源環境の保全をめざした二次副産材を導入するコンクリート材料の発展的利用に関する研究, 学会梗概, 2009
- 2) コンクリート塊から発生する微粉末の有効利用, セメント協会, 199
- 3) JCI規格, コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案), 1998

謝辞

本研究の一部は、建築学会・原子力RC工事研究小委員会・基礎研究WG、工学院大学都市減災センター(中課題3)による。

*1 工学院大学工学部建築都市デザイン学科4年

*2 工学院大学工学部建築都市デザイン学科准教授・博士(工学)