

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560523

研究課題名(和文) 種々の副産粉体を外割大量混合した構造体コンクリートの構造性能・耐久性能

研究課題名(英文) Structural Properties and Durability of Concrete Containing Large Quantity of By-products Powders

研究代表者

小山 智幸(KOYAMA TOMOYUKI)

九州大学 人間環境学研究院 都市・建築学部門 准教授

研究者番号：50215430

研究成果の概要(和文):

フライアッシュ、砕石粉、各種非反応性スラグ、焼却灰など、発生量が増大している種々の副産粉体を、コンクリートの性能を向上させながら大量に有効利用する方法を確立することを目的とし、既に得られた実験室レベルの成果をもとに、構造部材レベルにおける構造性能と設計方法ならびに耐久性能を総合的に検証した。結果、本コンクリートは構造体コンクリートとして使用できること、及びその調合設計、構造設計ならびに耐久設計の方法を明らかにした。

研究成果の概要(英文):

Aim of this study was to establish the utilization method of industrial by-product powders, such as fly ash, crushed stone powder, some kinds of slag and waste incineration ash, to concrete. In our method powders were mixed with constant cement content per unit volume of concrete, so the performance of concrete, for example compressive strength, ductility and durability, became higher than the similar mix proportion concrete without such powders. From the results by the analyses and the experiments using real size specimens, it was proved that this concrete could be used as the members of concrete structure, and the design methods for mixture, structural and durability were shown clearly.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：(1)副産粉体 (2)コンクリート (3)有効利用 (4)外割 (5)構造性能 (6)耐久性能

1. 研究開始当初の背景

フライアッシュ、砕石粉、各種非反応性スラグ、焼却灰などの無機粉体をはじめとする種々の副産物は、発生量が増大しているにもかかわらず、有効な利用方法が必ずしも確立

されていないものが多い。環境保全の観点から、また処分場の残余年数が逼迫している現状を考慮すると、安易な埋立ては最早許されず、有効かつ実用的な利用技術の確立が早急に求められている。これら副産粉体のコンク

リートへの混合は有効な手段であるが、安易な混合は重要な社会基盤であるコンクリート構造物の性能低下を招くこととなる。本研究は、副産粉体を構造体コンクリートに、その性能を損なうことなく、むしろ向上させながら混合する技術を確立することを目的としている。

副産物の例として、石炭火力発電所で発生するフライアッシュは発生量が2004年度には1,000万トンに達しており、現在大半がセメント原料として利用されているが、セメント生産量の低下に伴って埋め立て量が増大する方向にある。コンクリートに混合する場合は、通常、フライアッシュの混合量だけ単位セメント量を減じる内割調合が採用され、流動性の向上や水和発熱の低減などに効果があるが、セメント量が少なくなりすぎると強度や耐久性に悪影響を及ぼす。これに対し、応募者は、単位セメント量を一定とし、セメントに対して副産粉体を外割で混合することにより、無混合のコンクリート（以下単味コンクリート）と比較して、圧縮強度や、中性化および塩害などに対する耐久性が向上することを示してきた。例えばフライアッシュを外割混合したコンクリートにおける圧縮強度の向上は初期材齢からみられ、ポゾラン反応以外の要因が影響していることは明らかである。応募者はこのような圧縮強度の向上は、硬化体組織の緻密化により生じることを見だしている。すなわち、セメント単味のコンクリートも、外割で非反応性の粉体を混合したコンクリートも、水和反応を生じて練り混ぜ水が占めていた空間を充填するのはセメントのみであるため、硬化体中の空隙の総量はいずれの材齢においても等しくなる。しかし、粉体を外割混合したコンクリートでは、粉体の存在により、空隙一つ一つのサイズが小さくなり、強度に悪影響を及ぼすといわれる直径50nm以上の空隙が減少するため、強度が大きくなる。組織の緻密化は当然のことながら外部からの物質の侵入を妨げ、中性化や外来塩分による塩害に対する耐久性の向上につながる。

ここで、本効果は外割混合する粉体の化学的活性により生じるものではなく、粉体が物理的に空隙を細分化することにより生じているため、フライアッシュ以外の、全く反応性をもたない粉体においても同じ効果が期待できる。すなわち、本理論は副産物である多くの非反応性粉体に適用可能であり、応募時点で砕石粉や石灰石粉に対して効果を確認している。一方で、上記非反応性粉体を外割混合したコンクリート（以下、本コンクリート）では、構造体コンクリートとして重要な以下の特性を有することがわかっていた。すなわち、

- ・自己収縮は単位セメント量が等しい単味コンクリートより若干大きめとなるが、セメント単味で同じ圧縮強度のコンクリートと比較すると小さい。一方、乾燥収縮は単味コンクリートより小さい。したがって凝結以降のコンクリートの収縮を比較すると、初期は副産粉体を混合したコンクリートの方が大きく、材齢の経過とともに逆転し、以降は無混合の場合の収縮が大きくなる。
- ・圧縮強度の向上は、変形能力の向上により生じている。即ち、本コンクリートは強度が大きくなるほど変形能力が大きくなる。実験でも高強度の割には破壊時の爆裂的傾向は顕著ではなかった。このことは通常のコンクリートが高強度になるほど脆性的になることと比較して大きな利点といえる。

以上の成果をもとに本研究では、上記メカニズムをさらに詳細に検討し、また構造部材レベルにおける検証実験を総合的に行い、本コンクリートを構造体コンクリートとして使用するための技術を確立することとした。

2. 研究の目的

本研究は、フライアッシュ、砕石粉、各種非反応性スラグ、焼却灰など、発生量が増大している種々の副産粉体を、コンクリートの性能を向上させながら大量に有効利用する方法を確立することを目的とし、既に得られた実験室レベルの成果をもとに、構造部材レベルにおける構造性能ならびに耐久性能を総合的に検証し、本コンクリートを構造体コンクリートとして実用化するための技術を確立する。本研究は無機粉体をコンクリートの性能低下が許容できる範囲内で混合するのではなく、むしろコンクリートの性能を向上させる資源として文字通り有効利用することに特色がある。この場合、粉体の化学的活性を期待していないため、水硬性を有しない種々の粉体に適用でき、多くの副産物の有効利用が可能となる。またその性能向上効果を利用して、例えば再生骨材など、種々の低品位材料の使用によるコンクリートの性能低下を抑制し、これらの普及を拡大することが可能となる。

- ・本コンクリートの収縮性状とひび割れ性状の関係、ならびにこれらに及ぼす粉体種類や調合の関係を検証し、副産粉体を外割混合したコンクリートのひび割れ性状を明確化する。
- ・実大レベルの試験体を作成し、上記ひび割れ性状の他、中性化、汚れに対する抵抗性を長期にわたり検証する。多くはすでに促進試験で単位セメント量の同じ単味コン

クリートよりも優れていることを確認しており、これと併せると本研究の期間（3年間）でおおよその傾向が確認できると予想されるが、終了後も継続して測定を行う。

- ・副産粉体を外割混合したコンクリートの応力ひずみ特性と破壊性状を検証する。これにより本コンクリートが強度の割に変形能力が大きいことや爆裂的な脆い破壊を生じないことをメカニズムを含めて確認するとともに、構成則に反映させる。さらに本コンクリートのような力学挙動を示す材料を用いた構造部材の利点ならびに、問題点を明確化する。
- ・本コンクリートを用いて実大はり部材を作成し、曲げ挙動、ならびに曲げせん断挙動を明らかにする。同様に実大柱部材を作成し、軸力下におけるせん断挙動を明らかにする。これらの結果を基に、本コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の構造設計に必要な材料特性の明確化と、具体的なパラメータを特定する。

3. 研究の方法

平成20年度は、副産粉体の外割混合量とひびわれ性状の関数の詳細な検討を行うこととした。また、副産粉体を用いた実大コンクリート部材を作成し、副産粉体を外割混合したコンクリートの耐久性能に関する実験を開始する。具体的には、長期にわたる中性化と鉄筋腐食、ひび割れ、表面の汚れを対象とし、混合量との関係を検討し、通常のコンクリートと比較する。また、構造性能に関しては、実大はり部材を作成し、曲げ挙動、曲げせん断挙動に関する測定を行う。同様に実大柱部材を作成し、軸力下におけるせん断挙動に関する測定を行う。さらにクリープ特性の検討を開始するなど、最終的には本コンクリートを用いた場合のヤング係数比などの力学パラメータを特定する。

平成21年度以降は初年度に作成した実大試験体を用いた各種検討を継続し、耐久性能及び構造性能を把握することにより、本コンクリートを構造体コンクリートとして実用化するための技術を確立する。

平成20年度

(1) 副産粉体の外割混合量とひび割れ性状の関数の詳細な検討

担当：小山田（研究分担者）、陶山（研究分担者）

- ・副産物を外割混合したコンクリート試験体の凝結時から材齢3ヶ月程度までの自己収縮を測定し、粉体種類や混合量との関係を検証する。
- ・副産物を外割混合したコンクリート試験体の乾燥収縮を測定し、質量変化との関係、ならびにこれらに及ぼす粉体種類や混合

量の関係を検証する。

- ・上記コンクリートを拘束型枠に打設し、拘束ひび割れ性状を測定する。自己収縮のみ、乾燥収縮のみ、ならびに両者が生じた場合において検討を行う。
- ・上記の収縮性状とひび割れ性状の関係、ならびにこれらに及ぼす粉体種類や調合の関係を検証し、副産粉体を外割混合したコンクリートのひび割れ性状に関する検討を開始する。

(2) 実大部材における副産粉体を外割混合したコンクリートの耐久性状の確認

担当：小山（代表者）、伊藤（連携研究者）、田中（研究協力者、生コン製造業）、船本（研究協力者、九州電力）

- ・(1)の結果も反映しながら種々の調合で実部材レベルの試験体を打設し、長期にわたりひび割れ性状を確認する実験を開始する。
- ・同様に実大試験体を使用して表面の汚れ性の検討を行う。SEM分析などにより汚れの原因の特定を行う。また、色彩色差計による汚れと表面粗さ測定器による表面性状とを比較し、本コンクリートが汚れにくいコンクリートであることを定量的に確認する。
- ・同様に、種々の調合の実大試験体を使用して、本コンクリートが中性化しにくいことを長期にわたり検証する実験を開始する。

(3) 実大部材における力学挙動の把握と構造設計への反映

担当：小山（研究代表者）、孫（連携研究者）

- ・副産粉体を外割混合したコンクリートの応力ひずみ特性と破壊性状を把握する。試験体にAEセンサを設置して、どの応力レベルから破壊が顕著に生じているのか検証を行う。研究目的欄に示した図1の傾向から、微小破壊が生じる応力レベルが単味コンクリートとかなり異なる可能性がある。試験体としてコンクリート以外に、モルタルやペーストを用いて骨材界面の影響についても検討を行う。これらを通じて本コンクリートの力学挙動を明確化するとともに、本コンクリートが強度の割に変形能力が大きいことや、爆裂的な脆い破壊を生じないことを検証する。
- ・上記結果を構成則に反映させるとともに、本コンクリートのような力学挙動を示す材料を用いた構造部材の利点ならびに、問題点の整理を開始する。
- ・本コンクリートのクリープ特性に関する実験を開始する。実験は粉体種類と混合量を変化させて行い、最終的には本コンクリートを用いた場合のヤング係数比を特定す

る。

- ・本コンクリートを用いて実大はり部材を作成し、曲げ挙動、ならびに曲げせん断挙動に関する測定を行う。
- ・本コンクリートを用いて実大柱部材を作成し、軸力下におけるせん断挙動に関する測定を行う。
- ・上記の結果を基に、本コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の構造設計に必要な材料特性の明確化と、具体的なパラメータの特定について、検討を開始する。

平成21年度以降（各項目の担当者は平成20年度に同じ）

(1) 副産粉体の外割混合量とひび割れ性状の關係の詳細な検討

- ・副産物を外割混合したコンクリートの自己収縮に関して必要に応じ追加実験を行う。
- ・初年度に作成した副産物を外割混合したコンクリート試験体の乾燥収縮測定を継続して行う。
- ・初年度に作成したコンクリート試験体の拘束ひび割れ性状を継続して測定する。
- ・上記の収縮性状とひび割れ性状の關係、ならびにこれらに及ぼす粉体種類や調合の關係を検証し、副産粉体を外割混合したコンクリートのひび割れ性状を明確化する。

(2) 実大部材における副産粉体を外割混合したコンクリートの耐久性状の確認

- ・初年度に打設した実部材レベルの試験体を用いたひび割れ性の検証を継続して行う。
- ・同様に表面の汚れ性の検討を継続して行い、本コンクリートが汚れにくいコンクリートであることを定量的に確認する。
- ・同様に中性化の検証実験を継続する。

(3) 実大部材における力学挙動の把握と構造設計への反映

- ・副産粉体を外割混合したコンクリートの応力ひずみ特性と破壊性状に関する成果を構成則に反映させ、本コンクリートのような力学挙動を示す材料を用いた構造部材の利点、ならびに問題点を整理する。
- ・本コンクリートのクリープ特性に関する実験を継続し、最終的には本コンクリートを用いた場合のヤング係数比を特定する。
- ・本コンクリートを用いた実大はり部材の曲げ挙動、ならびに曲げせん断挙動に関する測定を継続して行い、これらを把握する。
- ・本コンクリートを用いた実大柱部材の軸力下におけるせん断挙動に関する測定を継続し、これを把握する。
- ・上記の結果を基に、本コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の構造設計に必要な材料特性を明確化し、具体的なパラメータを特定する。

4. 研究成果

(1) 副産粉体の外割混合量とひび割れ性状の關係の詳細な検討

- ・副産物を外割混合したコンクリートの収縮性状を検討し、粉大量が大きくなると自己収縮は増大するが、乾燥収縮は低減されることを定量的に確認した。

(2) 実大部材における副産粉体を外割混合したコンクリートの耐久性状の確認

- ・初年度に打設した実部材レベルの試験体を用いたひび割れ性、表面の汚れ性の検討を継続して行い、本コンクリートがひび割れや汚れが生じにくいことを定量的に確認した。
- ・本コンクリートが中性化しにくいことを実証した(図1)。また、促進中性化試験を行う場合には、中性化のみではなくフライアッシュのボゾラン反応も促進させるべきであること、およびその考えに基づく試験方法を提案した。
- ・本コンクリートがアルカリシリカ反応を生じにくいことを促進試験、ならびに長期の曝露試験により実証した。
- ・実大部材を用いた上記検討結果、本コンクリートを用いた構造体の耐久設計方法を明らかにした。

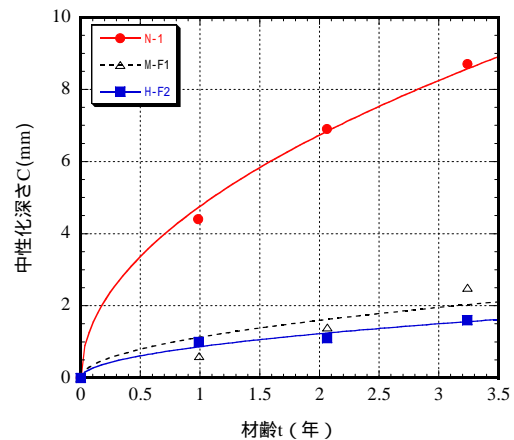


図1 中性化性状

(フライアッシュを外割混合したコンクリート(M-F1, H-F2)は、無混合(N-1)よりも中性化しにくい)

(3) 実大部材における力学挙動の把握と構造設計への反映

- ・副産粉体を外割混合したコンクリートの応力ひずみ特性と破壊性状を明らかにした。本コンクリートの力学挙動を明確化するとともに、本コンクリートが強度の割に変形能力が大きいことや、爆裂的な脆い破壊を生じないことを確認した。
- ・上記結果を構成則に反映させるとともに、本コンクリートのような力学挙動を示す

材料を用いた構造部材の利点ならびに、問題点を整理始した。

- ・本コンクリートを用いて実大はり部材を作成し、曲げ挙動、ならびに曲げせん断挙動に関する測定を行った(図2)。
- ・本コンクリートを用いて実大柱部材を作成し、軸力下におけるせん断挙動に関する測定を行った。
- ・上記の結果をもとに、本コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の構造設計に必要な材料特性の明確化と、具体的なパラメータの特定について、検討を行った。
- ・本コンクリートを用いた実大の柱ならびに梁部材の曲げあるいは軸力下におけるせん断挙動等を検証し、従来の設計体系を準用することにより、設計が可能であることを確認した。

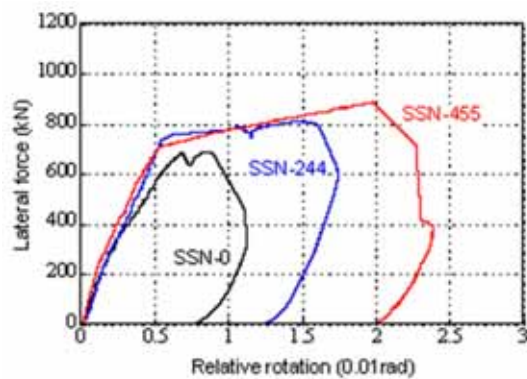


図2 単位フライアッシュ量が梁のせん断力変形角関係(短梁)に及ぼす影響(フライアッシュ無混合のコンクリート梁(SSN-0)に対し、混合量が多くなると(SSN-244, SSN-455, 数字は混合量 kg/m^3)変形能力が大きくなっている)

- (4)外割混合による強度向上のメカニズムの検討
- ・外割混合による強度向上のメカニズムを、粉体工学の適用と空隙構造理論により定量的に説明することに成功した。

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6件)

Tomoyuki Koyama, Yasunori Matsufuji, Shizuo Harada, Toshio Yonezawa, Kyoichi Tanaka, Etsutaka Maeda and Fumio Oshida, DETERIORATION PROCESS OF CONCRETE IN WEAK SULFURIC ACID SOIL, Proceedings of 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure 2010, Vol.1, pp.213-220, 2010, (査読あり)
Toshio Yonezawa, Yasunori Matsufuji,

Shizuo Harada, Tomoyuki Koyama, Etsutaka Maeda, Kyoichi Tanaka and Fumio Oshida, NEUTRALISATION OF CONCRETE UNDER WEAK SULFURIC ACID ENVIRONMENT, Proceedings of 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure 2010, Vol.1, pp.99-106, 2010, (査読あり)

谷昌典, 孫玉平, 小山智幸, 小山田英弘, フライアッシュを外割混合したコンクリートを用いたRC柱部材の力学性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.73-78, 2010, (査読あり)

陶山裕樹, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 粉体混和材を外割混合したコンクリートの強度式の検討, 都市・建築学研究, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第18号, pp.61-68, 2010, (査読あり)

T.Koyama, Y.P. Sun, T. Fujinaga, H. Koyamada and F.Ogata, Mechanical Properties of Concrete Beam Made of a Large Amount of Fine Fly Ash, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, 8pages(CD-ROM), 2008, (査読あり)

小山智幸, 松藤泰典, 伊藤是清, 小山田英弘, フライアッシュを大量混合したコンクリートの実大模擬部材試験体による検証, 日本建築学会技術報告集, 第14巻, 第28号, pp.383-388, 2008, (査読あり)

[学会発表](計19件)

松本侑也, 小山智幸, 小山田英弘, 原田志津男, 伊藤是清, 陶山裕樹, 暑中期に打設される重要構造物マスコンクリートに関する研究 その2 長期強度, 2011年3月6日, 日本建築学会九州支部研究報告会, 鹿児島大学

小山智幸, 小山田英弘, 原田志津男, 伊藤是清, 陶山裕樹, 松本侑也, 暑中期に打設される重要構造物マスコンクリートに関する研究 その3 中性化性状, 2011年3月6日, 日本建築学会九州支部研究報告会, 鹿児島大学

伊藤是清, 小山智幸, 原田志津男, 松藤泰典, フライアッシュ外割コンクリートの各種環境下における耐久性に関する研究 その1 弱酸性の硫酸環境における長期曝露実験1, 2011年3月6日, 日本建築学会九州支部研究報告会, 鹿児島大学

陶山裕樹, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 副産物系無機粉体を外割混合したコンクリートの強度発現に関する研究 その6 粒子の凝集を考慮した細孔構造形成の検討, 2011年3月6日, 日本建築学会九州支部研究報告会, 鹿児島大学

伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰

典, 屋外曝露によるフライアッシュを外割混合したコンクリートのアルカリ骨材反応試験報告 曝露 3 年までの試験結果, 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

津平公彦, 佐藤長太郎, 小山智幸, フライアッシュスラリーを外割混合したコンクリートのアルカリシリカ反応抑制効果に関する実験, 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

小山智幸, 小山田英弘, 原田志津男, 伊藤是清, 陶山裕樹, 暑中期に打設される重要構造物マスコンクリートに関する研究 その 1 実験概要および強度発現性状, 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

陶山裕樹, 小山智幸, 小山田英弘, 原田志津男, 伊藤是清, 暑中期に打設される重要構造物マスコンクリートに関する研究 その 2 ポロシティおよび中性化, 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学
荒川裕彦, 井上卓馬, 杉田ようこ, 谷昌典, 藤永隆, 孫玉平, 小山智幸, 小山田英弘, 石炭灰を外割混合したコンクリートを用いた RC 柱部材の耐震性能に関する研究 (その 1 実験概要), 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

杉田ようこ, 荒川裕彦, 井上卓馬, 谷昌典, 藤永隆, 孫玉平, 小山智幸, 小山田英弘, 石炭灰を外割混合したコンクリートを用いた RC 柱部材の耐震性能に関する研究 (その 2 実験結果), 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

井上卓馬, 荒川裕彦, 杉田ようこ, 谷昌典, 藤永隆, 孫玉平, 小山智幸, 小山田英弘, 石炭灰を外割混合したコンクリートを用いた RC 柱部材の耐震性能に関する研究 (その 3 耐力及び復元力特性評価), 2010 年 9 月 9-11 日, 日本建築学会大会, 富山大学

小山智幸, 暑中コンクリートの性状と施工上の留意点, シンポジウム「暑中コンクリート工事に関する技術の現状と夏期対策」, 2010 年 6 月 23 日, ヴィアール大阪
伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 屋外曝露によるフライアッシュ外割混合したコンクリートのアルカリ骨材反応試験報告 材齢 3 年目における試験結果, 2010 年 3 月 7 日, 日本建築学会, 長崎総合科学大学

陶山裕樹, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 無機粉体を外割大量混合したコンクリートの強度性状に関する研究 その 6 粉体量による強度変化, 2009 年 8 月 28 日, 日本建築学会, 仙台学院大学

伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 無機粉体スラリーの流動性向上効果に

関する研究 その 3 スラリー化に伴う実積率の変化, 2009 年 8 月 28 日, 日本建築学会, 仙台学院大学

野田亮太, 伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, フライアッシュを外割混合したコンクリートの促進中性化の評価に関する研究, 2009 年 8 月 28 日, 日本建築学会, 仙台学院大学

陶山裕樹, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, 副産物系無機粉体を外割混合したコンクリートの強度発現に関する研究 その 5 粉体の混合量による強度変化, 2009 年 3 月 8 日, 日本建築学会, 琉球大学

野田亮太, 伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, フライアッシュコンクリートの促進中性化試験に関する検討, 2009 年 3 月 8 日, 日本建築学会, 琉球大学

野田亮太, 伊藤是清, 小山智幸, 小山田英弘, 松藤泰典, フライアッシュコンクリートの促進中性化試験に関する検討, 2009 年 3 月 8 日, 日本建築学会, 琉球大学

〔図書〕(計 1 件)

陶山裕樹, 各種粉体の外割混合によるコンクリートの強度向上メカニズムに関する研究, 九州大学学位論文(人環博甲第 245 号), 全 113 ページ, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山 智幸 (KOYAMA TOMOYUKI)
九州大学・大学院人間環境学研究院 都市・建築学部門・准教授
研究者番号: 50215430

(2) 研究分担者

小山田 英弘 (KOYAMADA HIDEHIRO)
九州大学・大学院人間環境学研究院 都市・建築学部門・助教
研究者番号: 80233625
陶山 裕樹 (SUYAMA HIROKI)
長崎総合科学大学・工学部建築学科・助教
研究者番号: 20507876

(3) 連携研究者

孫 玉平 (SUN YUPIN)
神戸大学・工学部・教授
研究者番号: 00243915
伊藤 是清 (ITO KOREKIYO)
東海大学産業工学部建築学科・講師
研究者番号: 50380663

(4) 研究協力者

船本憲治 (FUNAMOTO KENJI)
九州電力株式会社
田中利光 (TANAKA TOSHIMITSU)
株式会社梅谷コンクリート