

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23560547

研究課題名(和文)セメント無使用(クリンカーフリー)高強度コンクリートの開発

研究課題名(英文)Development of high strength concrete without Portland cement

研究代表者

藤原 浩己(Fujiwara, Hiromi)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30323314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円

研究成果の概要(和文)：環境負荷低減を目的とし、ポルトランドセメントを使用せず、産業副産物・廃棄物を主体とした高強度コンクリートについて、使用材料の選定、構成割合の検討などを中心に、フレッシュ・硬化性状および耐久性について検討した。

その結果、セメントを使わなくても、材料の選定次第では100N/mm²を超える強度発現性を有する硬化体を製造可能であること、極力高価な材料の使用を抑えても60N/mm²以上の圧縮強度を発現可能であること、十分な耐凍害性付与のためには硬化体の気泡組織の構成を考慮する必要があること、材料構成によりフレッシュ時にダイラタンシー性を示す場合、粉体材料の粒度構成により制御可能であることを把握した。

研究成果の概要(英文)：This research is regarded about environmental loading reduction type high strength concrete using large amount of blast furnace slug fine powder and fly ash as the main reactive material. And we tried to improvement about harden concrete properties of freezing and thawing resistance, and fresh properties of fluidity with some experiments.

Results of these experiments, we got better combinations of powder materials, and mix proportions of concrete to product the high strength concrete over 100 N/mm², and to be able to product over 60 N/mm² high strength concrete without expensive material such as silica fume. We improved properties of freezing and thawing resistance, decreasing entrapped air volume with deformer, and increasing entrained air with AE agent, then air content volume ratio up to about 6%. About fresh properties, we adjusted the gradation of use powder materials, then we discovered method to control dilatancy characteristics of the concrete.

研究分野：建設材料，コンクリート工学

キーワード：環境負荷低減 高強度コンクリート 耐凍害性 高炉スラグ微粉末 フライアッシュ 産業副産物

1. 研究開始当初の背景

2005年時点で日本の温室効果ガス総排出量の約4%の約5400万トンがセメント産業から排出されているとの推計がある。

これはポルトランドセメント製造における主原料である石灰石(CaCO₃)の熱分解によるCO₂の排出および焼成に使用する化石燃料の燃焼によるものである。

CO₂排出量削減を目指し、現在、高炉セメントやフライアッシュセメントなどの混合セメントの利用量増加を推進している。しかし、京都議定書以降のCO₂削減目標値および昨今政府方針として出された削減目標25%を満足するためには、この方策だけでは不十分と思われる。

また、過去にポルトランドセメントを使用しない高硫酸塩セメントやジオポリマーが提案されているが、いずれも耐久性等の問題で実用化には至っていない。

一方、近年コンクリート用混和材料の技術的な発展は著しいものがあり、ポルトランドセメントを用いたコンクリートでは、きわめて緻密な組織を実現することで、200N/mm²程度の超高強度発現を可能としている。

研究代表者らは、近年の進んだ混和材料技術を用い、ポルトランドセメントを使用せず、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなどの産業副産物や火山灰などの天然ポゾランを用いて十分な実用性を有するコンクリートが製造可能ではないかと考え、研究に着手した結果、60N/mm²以上の高強度を発現するコンクリートが実現可能であることを見出した。

もし、このような技術が進み、施工性、耐久性などの十分な実用性を有したコンクリートがポルトランドセメントを使用することなく製造できる技術を確立することができれば、建設事業におけるCO₂排出量を大幅に低減できるものと考えられる。

なお、このようなクリンカー由来の材料を使用しないコンクリートを、ここではクリンカーフリーコンクリート(Clinker Free Concrete、CFC)と称する。

2. 研究の目的

ポルトランドセメントを使用せず、各種産業副産物、廃棄物、天然ポゾランなどを積極活用したコンクリート硬化体の実用化をめざし、研究計画立案時において、以下の項目を明らかとすることを研究目的とした。

(1)各種産業副産物、廃棄物、天然ポゾラン等の使用材料および材料構成と強度特性の関係を明らかにする。

特にこれまで有効活用されていなかった低品質な材料について取り上げ、CFCの構成材料への適用性を検討する。

(2)各種産業副産物、廃棄物、天然ポゾラン等の使用材料および材料構成とフレッシュ性状の関係を明らかにする。

本研究対象とするCFCは60N/mm²程度の高強度発現性を付与するため、高粉体量かつ低水

結合材比となることから、大幅な粘度の増大が予想される。このため、練混ぜ時間が長くなること、フレッシュコンクリートとしてダイランシー性状が顕著に現れることなど、施工に適用する際の問題点が見出されており、その改善について検討する。

(3)CFCの各種耐久性を明らかにする。

CFCはこれまでのコンクリートにおける種々の問題点を改善する可能性を有しているため、収縮特性、温度特性、アルカリシリカ反応性、耐塩害性、耐中性化特性などを検討し、CFCの適用可能性を検討する。

(4)コンクリート構造体としての性能を明らかにする。

実施工への適用を検討するため、構造物などをモデル化した部材試験を行い、従来のコンクリート構造物との比較を実施する。

3. 研究の方法

(1)各種材料種類および材料構成と強度性状の関係

これまで有効活用されていなかったJIS種フライアッシュ、廃石膏ボード粉、生コンスラッジ等の産業廃棄物、火山灰などの天然ポゾランを利用し、これら低品質材料の組合せおよび材料構成が、圧縮強度発現性に及ぼす影響について把握・検討する。

(2)各種材料種類および材料構成とフレッシュ性状の関係

(1)と同様の材料を用いて、これら低品質材料を主とした材料構成が、圧縮強度発現性に及ぼす影響について把握・検討する。また、(1)の結果と併せて、良好な強度発現性およびフレッシュ性状を示す材料構成について検討し、最適化を図る。

(3)CFCの耐久性の評価および改善

(1)および(2)の検討で得られた良好な強度特性およびフレッシュ性状を有するCFCについて、収縮特性、温度特性、アルカリ骨材反応性、耐塩害性、耐凍害性、中性化などの耐久性について検討し、問題点の抽出を行う。

(4)CFCのコンクリート構造体としての性能評価
本研究成果で得られるCFCによるレディミクストコンクリートによる構造物、コンクリート製品工場を対象に、製造試験、部材・製品の変形・破壊性状試験などを実施し、性能の評価を行う。

なお、(3)を検討している段階で大きな問題が生じ、助成期間内に解決すべき課題として注力したため、(4)については本助成期間では実施しなかった。

4. 研究成果

(1)各種材料の種類および材料構成と強度性状の関係

主材料の選定：

一般的にコンクリート材料として利用されている高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを主たる結合材料とし、これら種類お

よび構成割合が圧縮強度発現性に及ぼす影響について検討した。併せて、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの潜在水硬性およびポゾラン反応を促し、硬化体とするために必要となるアルカリ刺激材料の種類とその影響について検討した。その結果、材料の種類および構成割合により圧縮強度発現性が大きく異なることがわかった。特に、フライアッシュについては、JIS規格の種品よりも精製時に省エネルギーであり低品質品とされる分級工程を省略したフライアッシュ原粉を利用した場合に、良好な強度発現性を示す条件を見いだした。また、一般のセメント・コンクリートにおいて水和反応が概ね終了する条件であるとされる60℃温水浸漬で7日間養生した場合、フライアッシュの混和割合が大きいほど圧縮強度発現性は向上することがわかった。

また、フライアッシュにおいて、精製過程において、JIS種品よりエネルギー負荷が低いと考えられるJIS種品についてもその適用性を検討するため、稼働している石炭火力発電所から入手を試みたが、一部の発電所ではJIS規格品として出荷可能であるものの、コンクリート用混和材料としての需要はこれまでの研究成果および適用事例の多さから、そのほとんどがJIS種品であること、石炭火力発電所の精製工程もJIS種品精製に適した設備となっていることなどから、実用上は種品以外を製品として安定的に入手することが困難であることがわかった。また、電気集塵機で捕集したままの分級処理前のフライアッシュ原粉については、そのほとんどがセメント原料としてセメント工場へ出荷され、すでに有効活用されていることも確認した。このため、入手性の高いポゾラン材料としてはフライアッシュのJIS種品相当が適切であることを再確認した。

アルカリ刺激材についての検討：

本テーマにおいては着手以来、アルカリ刺激材には高い反応性が期待できるとして多孔質高比表面積消石灰を利用してきた。しかし、これは製造工程のエネルギー負荷が高く、より低負荷となる材料を選定する必要があった。候補として、特号消石灰、1号消石灰、生コン工場から排出されるスラッジケーキを乾燥・粉砕した乾燥スラッジ粉末、建築解体現場起源の廃石膏ボードを乾燥・粉砕した廃石膏ボード粉末および市販の普通ポルトランドセメントを取り上げた。その結果、廃石膏ボード粉末はアルカリ度が低いため、多量にフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を含む場合、その反応に必要な十分な水酸化カルシウムを含有・生成しなかったため、硬化せず不相当とした。乾燥スラッジ粉末は、その処法によりアルカリ刺激材として性能に差が生まれるが、有効に活用可能であることがわかった。

これらの結果から、本課題のアルカリ刺激材としては、特号消石灰、1号消石灰、生コ

ンスラッジ乾燥粉末、および普通ポルトランドセメントであるとし、以降の各種性状の検討対象とした。

これらを用いてフレッシュ性状について検討した結果、各種アルカリ刺激材の混和によりダイランシー性状を示しやすいものがあり、目標とする流動性を得るために必要な練混ぜ時間が長くなる場合があることを示した。

また、硬化性状については、水粉体比を20%程度とし、各種アルカリ刺激材を10%混和した場合、普通ポルトランドセメントの場合を除き、20℃水中養生材齢28日においても圧縮強度は60N/mm²を超えなかった。一方、材齢1日の圧縮強度は消石灰や乾燥スラッジ粉末を混和した方が大きく、普通ポルトランドセメントを添加した場合の2~3倍の圧縮強度を示した。これは、主材料とする高炉スラグ微粉末やフライアッシュの反応に必要な水酸化カルシウムの含有・析出過程の違いが原因と考えられる。消石灰は水酸化カルシウムそのものであり、練混ぜ水と混ざることにより少量溶解し水酸化物イオンを含む高アルカリ水を生成し高炉スラグ微粉末やフライアッシュの反応に寄与する。乾燥スラッジ粉末は、セメントの水和反応がやや進行した状態で乾燥・粉砕処理しているため、セメントの水和反応過程で生成される水酸化カルシウム生成された状態で存在すると考えられる。これらが若材齢における高炉スラグ微粉末などの反応に寄与すると思われる。一方、普通ポルトランドセメントをアルカリ刺激材とした場合、接水時に水和反応を生じ、その過程で水酸化カルシウムを生成するため、高炉スラグ微粉末などの反応が活発になるにはやや時間がかかると考えられ、この結果、若材齢での強度発現性が劣ると考えられる。材齢28日程度では順次セメントの水和が進行し、エーライトから水酸化カルシウムが溶出するが、これは高炉スラグ微粉末やフライアッシュ反応で消費されるため飽和しにくく、水酸化カルシウムの生成が継続し、高強度発現に至ると考えられる。

また、硬化特性としては、乾燥収縮ひずみは乾燥材齢182日において平均 300×10^{-6} 程度であり、比較的小さい。自己収縮ひずみは、粉末度の高い消石灰を混和すると大きくなり、1号消石灰では若材齢時に自己収縮が大きくなるが、その後収縮ひずみが小さくなるなど特異な変化を示した。促進中性化試験では、圧縮強度が60N/mm²程度発現している条件でも、一般的な普通コンクリート(圧縮強度40N/mm²程度)と同程度の中性化深さを示す配合があった。耐凍害性は、十分な圧縮強度および連行空気量が確保できていないため一様に低く、圧縮強度が70N/mm²を示す配合であっても、早期に劣化を示した。

(2)強度発現性および耐凍害性向上のための粉体構成の検討

各種性状改善のため、フライアッシュ混和

割合を全結合材質量の25%とし、AE剤の使用により微細空気泡を連行することを検討した。その結果、フレッシュ性状において、アルカリ刺激材の種類にかかわらずいずれもダイランシー性状を示し、ワーカビリティは低くなった。また、空気量が4~5%、凍結融解試験開始時の圧縮強度が60N/mm²程度であるにもかかわらず、十分な耐凍害性を得るに至らなかった。硬化組織の細孔量分布・累積細孔量なども検討したが、この現象に対する明確な原因は見いだせなかった。このため、空気泡の存在状態を判断する目安となる気泡間隔係数について検討する必要があるとし、追加検討した。

また、強度発現性向上を目的とし、アルカリ刺激材を総粉体質量の内割で10%、水粉体比を20%とし(表1)、フライアッシュを使用のためAE剤による空気連行性に難があるとし、耐久性の面も考慮し、目標圧縮強度を材齢28日20 水中養生で60N/mm²とした。

この条件では、フレッシュ性状において市販の高強度コンクリート用高性能減水剤を用いることで流動性においてスランプフローは60~70cmとなるが、アルカリ刺激材として高比表面積の消石灰や乾燥スラッジ粉末を使用すると、目標とした流動性を得るための練混ぜ時間が大幅に長くなること、また練り上がったコンクリートがダイランシー性状を示し、作業性に難があることがわかった。圧縮強度は20 水中養生材齢28日において50~70N/mm²程度となり目標に達したが、耐凍害性が低く(図1)、さらなる改善を要することがわかった。そこで、基本的な材料構成を大きく変えず、AE剤と消泡剤を併用し粗大気泡を除去し、微細気泡を連行することにより耐凍害性の改善を試みた。空気量を3.5~4.0%とし(表2および表3の配合B)、アルカリ刺激材に乾燥スラッジ粉末(SD)または普通ポルトランドセメントを使用した条件で圧縮強度は70N/mm²程度を発現し、特に乾燥スラッジ粉末を用いた場合は十分とはいえないが、耐凍害性が大幅に改善することがわかった。(図2中のMix Type BのSD2配合)

さらなる耐凍害性の改善のため、水結合材比を20%、目標圧縮強度を60N/mm²程度とし、AE剤と消泡剤を併用して粗大な空気泡を除去しつつ、微細気泡を中心とした連行空気量を6%程度まで高めた場合(表2および表3の配合C)について検討した。その結果、アルカリ刺激材を全粉体質量の15%と増加し、消石灰を使用した配合では不十分であるものの、普通ポルトランドセメントおよび乾燥スラッジ粉末を使用した配合では、300サイクル終了時点での相対動弾性係数は80%を維持し、十分な耐凍害性を示すことがわかった(図2)。

以上より、圧縮強度発現性の面から水結合材比を20%とし、消泡剤とAE剤を併用し粗大気泡を除去した上で微細な気泡を連行し、空気量を一般のコンクリートの4.5%より大きい6.0%程度とし、アルカリ刺激材として乾燥

表1 粉体構成および圧縮強度試験結果

配合番号	アルカリ刺激材	W/P (%)	粉体材料構成質量比(%)				
			OPC	FA2	BS4	AG	刺激材
No.1	TK	20	0	40	40	10	10
No.2	CHs						
No.3	CH1						
No.4	SD						
No.5	OPC						
No.6	HAC						

配合番号	アルカリ刺激材	圧縮強度(N/mm ²)			静弾性係数(kN/mm ²)
		1日	7日	28日	
No.1	TK	12	40	56	35.5
No.2	CHs	11	39	53	35.7
No.3	CH1	20	34	49	32.0
No.4	SD	19	42	52	39.4
No.5	OPC	6	55	67	38.3
No.6	HAC	6	56	70	37.6

TK:多孔質高比表面積消石灰、CHs:特号消石灰、CH1:1号消石灰、SD:乾燥スラッジ粉末、OPC:普通ポルトランドセメント、HAC:試作高エーライト含有セメント

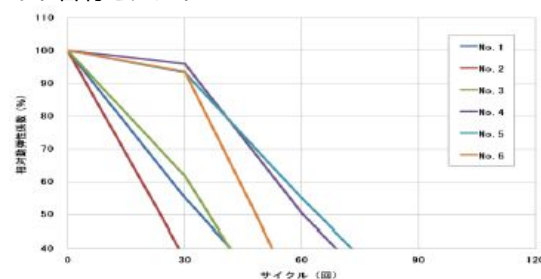


図1 耐凍害性

表2 配合条件

配合タイプ	W/P	細骨材粉体比	粗骨材絶対容積	目標空気量
A	0.20	0.32	0.375 m ³ /m ³	4.5±1.0%
B	0.20	0.32	0.375 m ³ /m ³	3.5±1.0%
C	0.20	0.32	0.300 m ³ /m ³	6.0±1.0%

表3 粉体材料の構成

配合タイプ	使用材料(質量比%)					
	FA2	BS4	BS8	LS	AG	アルカ
A,B,C	25	50	---	---	10	15(CHs)
	25	50	---	---	10	15(CH1)
	25	50	---	---	10	15(SD)
	25	50	---	---	10	15(OPC)

表4 フレッシュ性状

配合名 タイプ -アルカ	練混ぜ 時間 (sec.)	化学混和剤添加率 (P × mass %)			フレッシュコンクリート性状		
		SP	AE	DF	スランプ 70- /スランプ*	空気 (%)	温度 (°C)
A-CHs	360	0.9	0.8	-	590 mm	3.6	18
A-CH1	210	0.9	0.8	-	530 mm	4.8	18
A-SD1	900	4.0	0.8	-	600 mm	4.7	17
A-OPC	300	0.8	0.7	-	600 mm	5.2	19
B-CHs	510	2.4	0.8	0.8	495 mm	3.5	32
B-CH1	480	2.0	0.8	0.8	365 mm	3.5	29
B-SD2	1200	6.0	0.8	1.0	4.0 cm*	3.4	34
B-OPC	480	2.0	0.8	0.8	700 mm	4	31
C-CHs	480	0.8	5.0	0.8	4.5 cm*	5.6	25
C-CH1	480	0.9	6.0	0.8	6.5 cm*	6.1	25
C-SD3	480	1.3	4.5	0.8	720 mm	5.8	23
C-OPC	480	0.65	4.5	0.8	7.0 cm*	6.9	25

スラッジ粉末または普通ポルトランドセメントを粉体質量の15%使用することで十分な圧縮強度と耐凍害性を有するコンクリート硬化体が製造可能となった。

(3) フレッシュ性状の改善に関する検討

(2)の検討において圧縮強度発現性と耐凍害性の改善が認められた粉体構成を元とし、使用した高炉スラグ微粉末4000の一部を同程度の粉末度の石灰石微粉末での置換や、全量を高粉末度の高炉スラグ微粉末8000に置換することにより、ダイラタンシー性状の発現を抑制する方法について検討を行った。その結果、元とした配合に対して高炉スラグ微粉末4000の一部を石灰石微粉末で置換した配合では、いずれのアルカリ刺激材においてもダイラタンシー性がわずかに抑制できることがわかった。また、高炉スラグ微粉末4000を8000に全量置換した配合ではダイラタンシー性は大きく現れ、粉末度の高い粉体材料が多くなるとペースト部分の粘度も大幅に増加するため、作業性は悪化すると考えられる。

なお、本フレッシュ性状の評価のため、コンクリートの凝結時間測定に使用するプロクター貫入抵抗試験装置を利用し、先端断面積 1cm^2 の貫入針を1秒で25mmの深さまで観入した際に生じる貫入抵抗値を測定することで、ダイラタンシー性状の大小を数値として簡便に評価する試験方法を提案した。

(4) 高温履歴と硬化特性に関する検討

CFCでは主材料としてのセメントは使用しないため、セメント使用コンクリートでは避けられている60℃を超える高温環境においても製造・養生が可能となると考えられる。

そこで検討を進めると、CFCはセメントを使用しないため、早期材齢での強度発現性は一般的な環境温度では期待できないが、熱履歴を経ることで従来のコンクリート以上の強度発現性を示すことを把握した。さらに、一般的な促進養生としての温度環境(60℃程度)を超えた高温環境に材料や練り混ぜ直後に暴露することで熱履歴を与え、高温加熱による初期強度発現性の改善方法を検討した。その結果、供試体作製直後に70℃に保持した恒温槽内で2時間の加熱養生を行うことにより、粉体材料の構成割合次第では材齢1日で3~4N/mm²以上の曲げ強度を発現することがわかった。またこの場合、フライアッシュよりも高炉スラグ微粉末の混合割合が大きいほど、初期強度発現性が改善することがわかった。またさらなる強度発現性向上を目指し、加温時間を3.5時間としたが、前述の加温時間2時間の場合より曲げ強度は低下した。これは、アルカリ刺激材料として使用した石灰系膨張材の影響で、温度上昇中では順次進行する水和反応による生成物が、高温環境に長時間置かれると、徐々に分解すると考えられ、このため硬化体中の組織が脆弱化し強度低下する現象として現れたと考えられる。

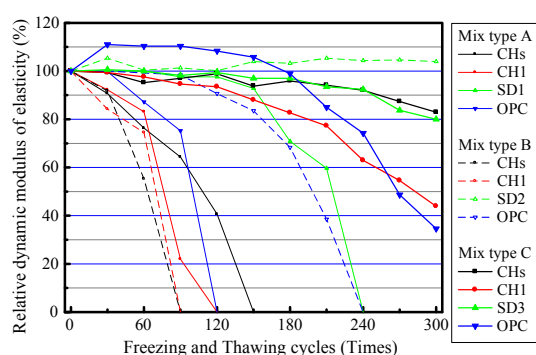


図2 改善された耐凍害性

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12件)

吉川幸毅、藤原浩己、丸岡正知：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの諸性状に関する研究、土木学会第70回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM)、2015年、査読無

Hiromi Fujiwara、Masanori Maruoka、Chihiro Sadatyama、Masatoshi Nemoto、Koki Yoshikawa：Study on Properties of Environment-friendly Concrete Containing Large Amount of Industrial by-products、IOP Conference Series: Material Science and Engineering 96(2015)012008、pp.1-10、2015年、査読有

Kaname Saitoh、Hiromi Fujiwara、Masanori Maruoka：Study on properties of low environmental load concrete containing large amount of industrial by-products and accelerating admixture、Proceeding of Fifth International Conference on Construction Materials、pp.1-15、2015、査読有

山路麻未、藤原浩己、丸岡正知、定山千尋：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの諸性状に関する研究、第42回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、2015年、査読無

定山千尋、藤原浩己、丸岡正知、山路麻未：高炉スラグ微粉末を多量混和したコンクリートの各種性状改善に関する実験的研究、第42回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、2015年、査読無

鈴木成、藤原浩己、丸岡正知、岩田正幸：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの基礎性状に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol.36、pp.628-633、2014年、査読有

鈴木成、藤原浩己、丸岡正知：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの耐久性状に関する研究、第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、2014年、査読無

榎本朱梨、藤原浩己、丸岡正知、定山千尋：高炉スラグ微粉末を多量混和したコンクリ

ートの基本的性状、第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、2014年、査読無

岩田正幸、藤原浩已、丸岡正知、竹井智哉：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの基本性状に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、pp.1546-1551、2012、査読有

フライアッシュ原粉および高炉スラグ細骨材を用いた環境負荷低減コンクリートの基本特性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、pp.1595-1600、2011、査読有

岩田正幸、藤原浩已、丸岡正知、高聖錫：天然ポゾランである黄土を使用したクリンカーフリーモルタルの基本性状に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、pp.1871-1876、2011、査読有

藤原浩已、丸岡正知、鯉淵清、竹井智哉：クリンカーフリーコンクリートの転圧コンクリート舗装(RCCP)への適用に関する研究、セメント・コンクリート論文集、Vol.65、pp.517-522、2011、査読有

〔学会発表〕(計 6件)

吉川幸毅：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの諸性状に関する研究、土木学会第70回年次学術講演会、2015年09月18日、岡山大学(岡山県岡山市)

山路麻未：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの諸性状に関する研究、第42回土木学会関東支部技術研究発表会、2015年3月5日、東海大学(神奈川県平塚市)

定山千尋：高炉スラグ微粉末を多量混和したコンクリートの各種性状改善に関する実験的研究、第42回土木学会関東支部技術研究発表会、2015年3月5日、東海大学(神奈川県平塚市)

鈴木成：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの基礎性状に関する研究、第36回コンクリート工学年次大会、2014年7月10日、サンポート高松(香川県高松市)

鈴木成：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの耐久性状に関する研究、第41回土木学会関東支部技術研究発表会、2014年3月13日、長岡科学技術大学(新潟県長岡市)

榎本朱梨：高炉スラグ微粉末を多量混和したコンクリートの基本的性状、第41回土木学会関東支部技術研究発表会、2014年3月13日、長岡科学技術大学(新潟県長岡市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 浩已 (FUJIWARA, Hiromi)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30323314

(2) 研究分担者

丸岡 正知 (MARUOKA, Masanori)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50323316

(3) 研究協力者

齋藤 賢 (SAITOH, Kaname)
日本シーカ、テクノロジーセンター、グループマネージャー
二戸 信和 (NITO, Nobukazu)
デイ・シイ、技術部