

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03803

研究課題名（和文）カーボンマイナス・リサイクラブル・ハイパフォーマンス・コンクリート

研究課題名（英文）Carbon positive recyclable high-performance concrete

研究代表者

野口 貴文（Noguchi, Takafumi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：80208321

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,700,000円

研究成果の概要（和文）：ポルトランドセメントを使用せず、副産物・廃棄物を改質した粉体、天然未利用資源である非晶質粉体、アルカリ刺激剤、収縮低減剤などを用いて、最高で100MPa程度の強度を発現するとともに、収縮ひび割れが生じにくいコンクリートの研究開発を行った。また、そのコンクリートの耐久性、リサイクル性を検証するとともに、コンクリートの製造段階・使用段階・廃棄段階における二酸化炭素排出量を評価し、高い塩分浸透抵抗性、および骨材のアルカリシリカ反応に対する高い抑制効果を有するとともに、廃棄後には全量セメント原料への再生利用が可能であり、ライフサイクル全体での二酸化炭素排出量がマイナスとなるコンクリートを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会資本の整備において必要不可欠と考えられるコンクリートが将来も使用され続けるためには、環境面における配慮（低CO2排出、低廃棄物排出、高耐久性）、安全・安心面での配慮（高強度、高耐久性）、経済面での配慮（低価格、高耐久性）がなされている必要があるが、本研究では、これら3つの要求を満足するコンクリートを開発した。また、これまでに大量の資源が投入されてきたコンクリートを二酸化炭素の吸着のための材料と捉え直すとともに、セメントおよびコンクリートの製造時に排出される廃棄物質・排気ガスも、カーボンマイナスに寄与するための材料として有効活用するための道を示した。

研究成果の概要（英文）：A maximum strength of about 100MPa is achieved by using modified powders of by-products and wastes, amorphous powders that are naturally unused resources, alkali stimulants, shrinkage reducing agents, etc. without using Portland cement. At the same time, we researched and developed concrete that is less likely to shrink and crack. In addition, we will verify the durability and recyclability of the concrete, evaluate the carbon dioxide emissions at the concrete manufacturing stage, use stage, and disposal stage, and have high salt permeation resistance and high suppression of the alkali-silica reaction of the aggregate. We have developed concrete that can be recycled as a raw material for cement after disposal, and has a negative carbon dioxide emission over the entire life cycle.

研究分野：建築材料学

キーワード：カーボンマイナス リサイクル コンクリート 強度 収縮 中性化

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは、建築物・土木構造物を構築するためには、必要不可欠の建設材料であり、将来もその役割は変わることはないと考えられる。しかしながら、セメント製造時には原料である石灰石（炭酸カルシウム）の燃焼・分解によって大量の二酸化炭素を放出するために、一般的には環境に優しくない建設材料であると見なされてきた。そのため昨今では環境配慮型コンクリートの研究が盛んである。産業副産物の有効利用などによる低炭素志向型の研究が中心であるが、本研究の出発点はコンクリートという建設材料において、カーボンニュートラルを超えた「カーボンマイナス」が可能かという問いにある。

木材がカーボンニュートラル建材と言われる由縁は、樹木の生育過程において大気中の二酸化炭素を吸収・固定するからである。しかし、セメント硬化体も大気中の二酸化炭素と反応し徐々に炭酸カルシウムに戻っていく。長期スパンで考えると、セメントを用いた建材もカーボンニュートラルに資する建材と考えられる。

少量のアルカリ刺激剤によって水和反応を示す材料をセメントの代替材として用いた「ゼロセメントコンクリート」を申請者らは開発したが、さらに、二酸化炭素を吸着させた様々な材料を使うことで、コンクリートを「カーボンマイナス」とする可能性もあると考えられ、そのために必要となる廃棄物・産業副産物・天然未利用資源の利用、および廃ガス中の炭酸ガスの利用に関する重要な知見が明らかになりつつある。

コンクリートが構造物の建設材料として実際に使用されるためには、低炭素化に資するだけでなく、社会に安全・安心を提供するためや循環型社会形成に資するために、コンクリートには強度・高耐久性・リサイクル性も要求される。加えて、建設労働人口の減少が見込まれる中で高品質の構造物を構築するためには、施工し易さや施工時に欠陥を生じないことが求められ、自己充填性を有することが望ましい。

すなわち、社会資本の整備において必要不可欠と考えられるコンクリートが将来も使用され続けるためには、環境面における配慮（低CO₂排出、低廃棄物排出、高耐久性）、安全・安心面での配慮（高強度、高耐久性）、経済面での配慮（低価格、高耐久性）がなされている必要があり、これら三つの要求を満足するコンクリートの開発は喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究ではポルトランドセメントを用いずに、最高で100MPa強度のコンクリートを製造する技術開発を目指し、その耐久性能や完全リサイクル性を検証し、ライフサイクル全体を考慮して「カーボンマイナス・リサイクラブル・ハイパフォーマンス・コンクリート」を開発することを目的とする。

本研究では、これまでに大量の資源が投入されたコンクリートを長寿命化対象のストックとみなすだけでなく、新たなコンクリート製造のための二酸化炭素を吸着してきた原材料ストックと捉え直す。また、セメントおよびコンクリートの製造時に排出される廃棄物質・排気ガスも、カーボンマイナスに寄与するための材料として有効活用し、その他の産業副産物や日本列島の地質の特徴に由来する天然未利用資源を用いてコンクリートを高性能化する。

すなわちコンクリートの解体廃棄物は、セメント工場から排出されるCO₂を吹き込み炭酸化した改質再生骨材として利用し、同時に副産される微粉末も同様に炭酸カルシウム化して混和材として用いる。現場で余って返却される戻りコンクリートから回収される強アルカリ性廃棄物であるスラッジの用途は二つあり、一つは微粉末化してスラッジの潜在水硬性を活性化させるアルカリ刺激剤として利用し、もう一つは炭酸ナノバブルをスラッジ水に吹き込み炭酸カルシウムの結晶として析出させ、スラッジなどの反応によって生じる水和物が析出する核となる混和材として利用する。産業副産物であるフェロニッケルスラッジ細骨材は単位水量や粘性の低下などの流動性改善、および内部養生効果による強度発現などの高性能化に寄与させる。南九州に膨大な埋蔵量を誇る火砕流堆積物（シラス）は粒径が幅広く、大小の軽石が含まれる不純物であるが、簡易な動力により結晶質・軽石・火山ガラスに選別される。結晶質は良質な天然の細骨材となり、軽石は内部養生効果の期待される吸水率の高い骨材、火山ガラスを微粉末化するとシリカフェームやフライアッシュに替わる高性能な天然ポゾラン混和材として利用する。火山地帯である日本には、反応性を示す非晶質シリカや非晶質アルミナを多く含む天然ポゾラン（火山灰やシラスなど）が堆積しており、骨材としてはアルカリシリカ反応性を示し無害でないと判定される火山岩類にも類似の反応性鉱物が含まれているため、それらを天然ポゾランとして利用する。

3. 研究の方法

本研究ではゼロセメントコンクリートで得た知見を基に、極限まで固体の充填率を高め、僅かな量の高性能バインダーで固体を連結するコンクリートの材料・調合・強度・耐久性・リサイクル性をライフサイクルの各段階に合わせ次の八つのフェーズで検証する。

フェーズ1：構成材料／各種微粉末・各種骨材の製造および性質の確認→改良

まずは一般的な方法によりコンクリートの構成材料を製造し物性を確認する。粉体については、反応に寄与する非晶質シリカ、非晶質アルミナを把握する化学分析や、充填状態に関連する粒度分布、化学混和剤の吸着特性を分析し、内部養生効果を期待する骨材については蒸気吸着特性を確認する。結果から改良方法などの必要があれば検討する。

フェーズ2：コンクリート製造・施工①／粒度分布・充填率などと流動性の関係を明確化

- 反応する粉体（アルカリ活性材・ポズラン混和材）、反応しない粉体、骨材について充填シミュレーションや実験により求めた充填率と実際のモルタル・コンクリートの流動性試験の結果から、調査計画の基礎となる関係性を明らかにする。
- フェーズ3：コンクリート製造・施工②／コンクリートの硬化過程
アルカリ活性化材料（高炉スラグ微粉末）と組み合わせるアルカリ刺激剤（石膏、石灰、膨張剤）の反応、さらにその他の粉体も加える結合材全体としての水和発熱、生成物、収縮・膨張特性について検討し、反応メカニズムを明らかにする。
- フェーズ4：コンクリート製造・施工③／硬化後の力学特性
フェーズ2、3の結果とコンクリートとしての強度試験結果から、調合強度の基礎となる使用材料の組合せ・調合（同一充填率における水粉体比や単位水量、単位粉体量など）と強度の関係性を明らかにする。
- フェーズ5：コンクリート製造・施工④／収縮特性
反応メカニズムと関連し、経年劣化にも影響を与える収縮特性について明らかにする。
- フェーズ6：使用段階／硬化後の耐久性
強度と耐久特性（中性化・クリープ特性・塩分浸透抵抗性・凍結融解抵抗性・水和生成物の長期安定性、全てに関連する空隙構造）および鉄筋腐食の関係について明らかにする。
- フェーズ7：最終段階／リサイクル性の確認
コンクリート構造物としての解体時に、廃棄物とならないようセメント原料もしくは再生骨材としてのリサイクル化が可能か確認する。フェーズ1における化学分析やフェーズ3において解明される反応メカニズムから、硬化体の化学組成などはある程度特定されているため、これまでのリサイクル研究の知見を用いて評価・確認する。
- フェーズ8：ライフサイクル／環境性能評価
ライフサイクルの各段階を通じた二酸化炭素排出量や吸着量を定量的に評価する。

4. 研究成果

4. 1 三成分 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 系の強度設計の考え方

(1) 使用材料と実験概要

使用材料を表 1.1 に示す。結合材に含まれる非晶質 SiO₂-Al₂O₃-CaO の含有量を表 1.2 に示す。なお、非晶質 3 成分は原材料中の結晶相を XRD で定量分析を行い、結晶相の化学組成を算出し、3 成分含有量を計算する。XRF で測定した 3 成分の総量から結晶相の 3 成分を差し引くことで、非晶質 3 成分含有量を求めた。各シリーズの調合を表 1.3 に示す。シリーズIでは W/P=45% のペースト試験により 3 成分組成比 16 点における圧縮強度を検討し、シリーズIIでは全体像を把握するために W/P=45% のモルタル試験において 3 成分 4 点を選定し、硬化体の諸特性について検討を行った。シリーズIII、IVでは W/P の影響および収縮低減剤による抑制効果を検討するために、複数水準の W/P のモルタル試験において 3 成分 1 点を選定した。

(2) 結果と考察

材齢 28 日の圧縮強度と 3 成分の関係を図 1.1 に示す。赤くなるほど圧縮強度が高くなり、青くなるほど圧縮強度が低くなる。最も高い 28 日圧縮強度が得られたのは調合 16 で、28.63MPa であった。全体として、28 日圧縮強度には CaO 含有量が非常に重要な影響を与え、CaO 含有量が増加するにつれて圧縮強度が向上した。CaO 含有量が少ない（20%）場合、SiO₂/Al₂O₃ のモル比が高いほど、圧縮強度が向上する傾向にある。CaO の含有量が多い場合、SiO₂/Al₂O₃ のモル比を変えても圧縮強度の変化は大きくないことを示している。

SiO₂、Al₂O₃、CaO の混合割合と圧縮強度の関係を調べた結果、SiO₂、Al₂O₃、CaO の混合割合と圧縮強度との関係は式(1)式で示される。

$$\ln \frac{f_{cm}}{f_{cm}(t)} = a \cdot \frac{1}{t} + b \quad (1)$$

f_{cm} : 28 日の圧縮強度(MPa)

a 及び b : ゼロセメントの活性、SiO₂、Al₂O₃、CaO 含有量に依存

ゼロセメントの硬化時間に応じた圧縮強度の変化を予測するための予測モデルは、式(1)を変形して式(2)となる。

$$f_{cm}(t) = \frac{f_{cm}}{e^{\frac{a}{t}+b}} \quad (2)$$

b が大きいと 28 日圧縮強度と最終圧縮強度の比率が大きくなる。一方、 b を固定値とした場合、 a が大きいほど式(1)の左辺が大きくなる。つまり、 a が大きいほど反応速度が遅くなり、初期の圧縮強度の増加が少なく、後期の圧縮強度の増加が大きくなる。

表 1.1 表 1.1

| 記号 | 材料 | |
|--------|----------------|----------------------------------|
| W | 上水道水 | |
| B4 | 高炉スラグ微粉末(石膏なし) | 2.91g/cm ³ |
| MK | メタカオリオン | 2.50g/cm ³ |
| SF | シリカフェューム | 2.26g/cm ³ |
| Al(OH) | 水酸化アルミニウム | 2.42g/cm ³ |
| CaO-1 | 生石灰 | CaO:98.8% |
| CaO-2 | 生石灰 | CaO:97.0%, 3.34g/cm ³ |
| S | 珪砂 5号 | 2.65g/cm ³ |
| SP | 高強度用高性能減水剤 | ポリカルボン酸エーテル系 |
| SR | 収縮低減剤 | 低級アルコール |

表 1.2

| | B4 | MK | SF | Al(OH) | CaO |
|--------------------------------|------|------|------|--------|-----|
| SiO ₂ | 32.2 | 47.3 | 93.6 | 0 | 0 |
| Al ₂ O ₃ | 12.9 | 46.0 | 0 | 65.4 | 0 |
| CaO | 45.5 | 0 | 0 | 0 | 100 |

表 1.3

| Series | ID | W/P (%) | W (kg/m ³) | P (kg/m ³) | S (kg/m ³) | SP (P×%) |
|--------|-------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|
| I | X-I-45 | 45 | 図 1 に示す 16 点のベスト | | | |
| II | 2-II-45 | 45 | 304 | 675 | 995 | 1.5 |
| | 6-II-45 | 45 | 304 | 675 | 966 | 2.5 |
| | 11-II-45 | 45 | 304 | 675 | 966 | 1.5 |
| | 16-II-45 | 45 | 304 | 675 | 1046 | 0.15 |
| III | 2-III-45 | 45 | 304 | 675 | 995 | 1.0 |
| | 2-III-45-SR | 45 | 304 | 675 | 995 | 1.0 |
| | 2-III-28 | 28 | 304 | 1084 | 596 | 4.56 |
| IV | 2-IV-55 | 55 | 304 | 553 | 1117 | 1.0 |
| | 2-IV-45 | 45 | 304 | 675 | 995 | 1.0 |
| | 2-IV-45-SR | 45 | 304 | 675 | 995 | 1.0 |
| | 2-IV-35 | 35 | 354 | 1011 | 665 | 2.0 |

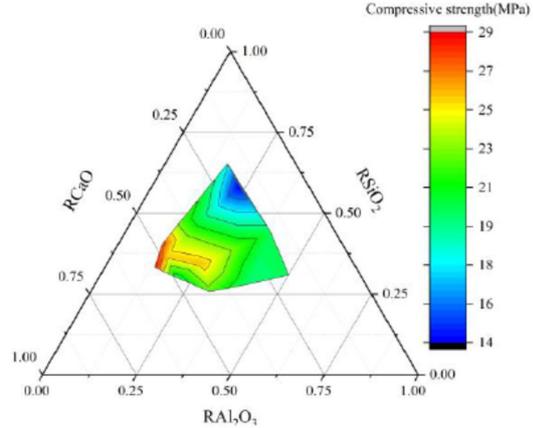


図 1.1

4. 2 圧縮強度・静弾性係数・中性化抵抗性

養生条件は 20°C封かん養生（以下、封かん養生）および標準水中養生（以下、水中養生）とし、シリーズIIIでは脱型後から 20°C、R.H.60%での養生（以下、気中養生）も実施した。水中養生および気中養生供試体の脱型は材齢 7 日を基本としたが、2-III-28 と 11-II-45 については材齢 7 日時点で硬化していなかったため、それぞれ材齢 28 日と材齢 14 日に実施した。図 2.1 にシリーズIIの圧縮強度を示す。CaO の割合が最も高い 16-II-45 の圧縮強度が高い結果となった。また、材齢 91 日までは封かん養生と水中養生の強度差は僅かであったが、6-II-45 と 16-II-45 は以降の材齢では水中養生の圧縮強度が高くなる傾向がみられた。図 2.2 にシリーズIIの圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。W/C が 45%、s/mor が 43.3%のセメントを使用したモルタルの結果を図中に示す。調合、水中養生または封かん養生の養生条件によらず圧縮強度が高いほど静弾性係数が高く、セメントを使用したモルタルと同じ傾向にあると考えられる。図 2.3 にシリーズIIIおよび 2-II-45 の圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。W/P と養生条件によらず、これらの関係は概ね同じ傾向にあったが、気中養生の一部で圧縮強度に対する静弾性係数が小さくなる傾向が見られた。なお、SR の使用による大きな強度低下はなかった。

図 2.4 に中性化深さを示す。なお、2-III-28 の前養生は材齢 28 日まで封かん養生、材齢 56 日まで気中養生とし、試験体は各調合で 1 体とした。いずれも促進 1 週での中性化深さが 5mm 以上となり、促進材齢の増加に伴い中性化深さも増大した。6-II-45 と 11-II-45 は促進 26 週で試験体の割裂面の全てが呈色しない結果となり測定ができなかった。シリーズIIIの促進前の中性化深さが 2mm 程であり、前養生の気中養生中に中性化が進行したと推察される。これらの結果より、いずれの調合においても中性化抵抗性は低いことが分かった。

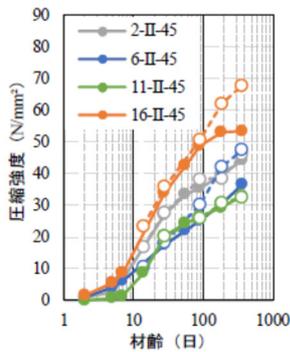


図 2.1

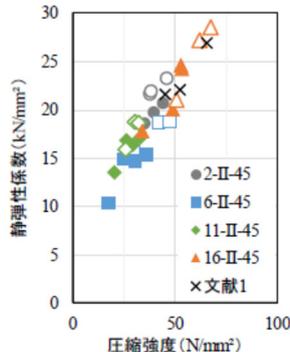


図 2.2

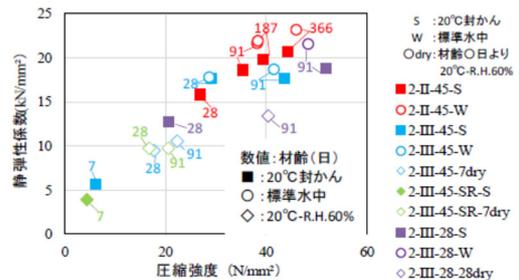


図 2.3

4. 3 自己収縮ひずみ・乾燥収縮ひずみ

図 3.1 に自己収縮ひずみを示す。シリーズ II のモルタルの自己収縮ひずみは調合によって差がみられた。メタカオリンを使用した 2-II-45、11-II-45 は材齢 100 日付近からの収縮ひずみの増大は鈍化した。一方、シリカフェームが粉体の約 4 割を占める 6-II-45 と高炉スラグ微粉末が粉体構成の主である 16-II-45 の自己収縮ひずみは増大する傾向にあった。4. 2 の圧縮強度試験の結果より、自己収縮ひずみが増大した両調合は材齢 91 日以降では封かん養生に比べて水中養生の圧縮強度が高くなる傾向がみられている。すなわち長期材齢において水中養生による圧縮強度の増大が見られた調合は、長期材齢における自己収縮ひずみも増大しており、硬化体の形成が長期にわたって徐々に進行していることが推察された。

次に、W/P が小さい 2-III-28 の材齢 150 日での自己収縮ひずみはおよそ 2700×10^{-6} となり、セメントを使用したモルタルと同様に W/P が小さいほうが自己収縮ひずみは大きい結果となった。特徴的な挙動として、材齢 10 日まではほとんどひずみに変化が生じず、材齢 20 日から材齢 25 日にかけて約 650×10^{-6} 収縮した。それ以降の収縮の進行は鈍化し材齢 20 日以前の傾向と同程度となった。図 3.2 に乾燥収縮ひずみを示す。調合が同じ 2-II-45 と 2-III-45 の乾燥収縮ひずみは同程度であることが確認された。材齢 1 年ほどで乾燥収縮ひずみの増大は鈍化した。16-II-45 は材齢 400 日を超えても収縮ひずみの増大は継続していた。いずれの調合において、自己収縮ひずみよりも乾燥収縮ひずみが大きく、封かん条件または乾燥条件によらず、収縮ひずみが大きいことが分かった。自己収縮の試験結果を図 3.3 に乾燥収縮の試験結果を図 3.4 に示す。試験結果より、材齢 28 日時点での自己収縮量が W/B が小さいほど大きくなった。これは W/B が小さいと自己収縮量が増大するという従来の OPC モルタルの研究報告と同様の結果となった。ただし、W/B45 の材齢 28 日の自己収縮量は、同材齢の W/B=40% の OPC モルタルと比較しても大きい値となり、本試験体の自己収縮が OPC と比較して大きくなる傾向が確認された。乾燥収縮では従来の OPC の W/C が大きいほど収縮量が大きくなる傾向とは異なり、W/B が小さいほど収縮が大きい結果となった。これは、本試験体は気中においても、化学収縮や自己収縮の影響が大きいことが考えられる。なお、自己収縮、乾燥収縮において収縮低減剤による収縮低減効果を確認できた。

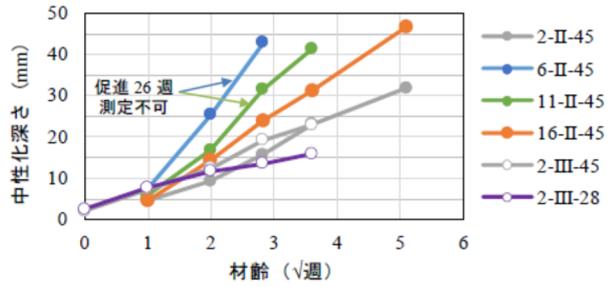


図 2.4

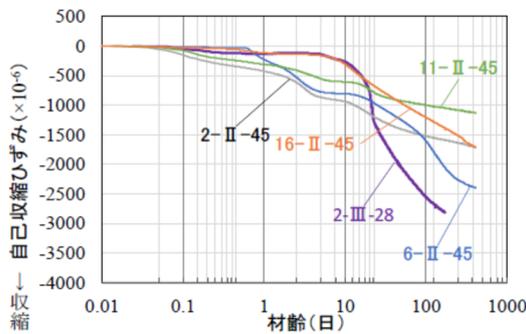


図 3.1

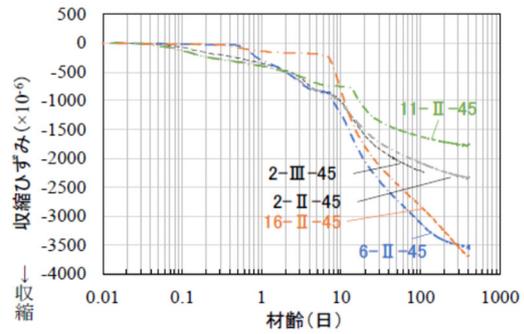


図 3.2

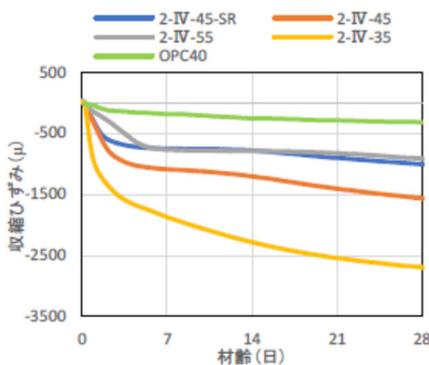


図 3.3

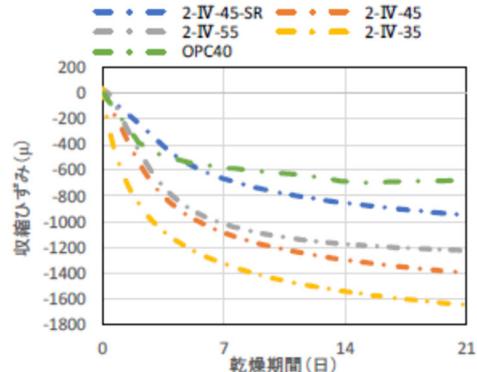


図 3.4

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 廖高宇、野口貴文、友寄篤、陳慶開 | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 BFとFAの混合比が異なるジオポリマーの圧縮強度と空隙構造の関係 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 1979-1984 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Wei Wang, Takafumi Noguchi | 4. 巻 252 |
| 2. 論文標題 Alkali-silica reaction (ASR) in the alkali-activated cement (AAC) system: A state-of-the-art review | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Construction and Building Materials | 6. 最初と最後の頁 0-0 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.conbuildmat.2020.119105 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Tomoyose, A., Noguchi, T., Sodeyama, K. Higashi | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Concrete with high-purity volcanic glass fine powder manufactured from pyroclastic deposit | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 SN Applied Sciences | 6. 最初と最後の頁 0-0 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42452-020-2614-6 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 友寄篤、野口貴文、袖山研一、東和朗 | 4. 巻 73 |
| 2. 論文標題 火山ガラス微粉末の粉末度と置換率が強度発現に及ぼす影響 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集 | 6. 最初と最後の頁 465-470 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 友寄篤、野口貴文、袖山研一、東和朗 | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 コンクリート用火山ガラス微粉末の粉末度に応じた分散と凝集がセメント混合ペーストの拘束水比と変形係数に与える影響 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 191-196 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 楠元宏治、野口貴文、友寄篤、袖山研一 | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 コンクリート用火山ガラス微粉末の混合によるセメント使用量削減効果の考察及び長期強度発現とそのメカニズムに関する考察 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 197-202 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------|
| 1. 著者名 廖高宇、野口貴文、友寄篤、陳慶開 | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 BFとFAの混合比が異なるジオポリマーの圧縮強度と空隙構造の関係 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 印刷中 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 友寄篤、野口貴文、袖山研一、東和朗、大森寛人、楠元宏治 |
| 2. 発表標題 コンクリート用火山ガラス微粉末の基本特性 その1 C/W-F関係式とフロー管理の検討 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大森寛人、野口貴文、友寄篤、楠元宏治、袖山研一、東和朗 |
| 2. 発表標題 コンクリート用火山ガラス微粉末の基本特性 その2 置換率が充填率、拘束水比、変形係数に与える影響 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 楠元宏治、友寄篤、野口貴文、大森寛人、袖山研一、東和朗 |
| 2. 発表標題 コンクリート用火山ガラス微粉末の基本特性 その3 火山ガラス微粉末を用いたコンクリートの強度発現と細孔径分布の関係 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 廖高宇、友寄篤、野口貴文、兼松学、浅葉拓也、小宮克仁、松田拓、坂本遼、北垣亮馬 |
| 2. 発表標題 セメントフリー・ハイパフォーマンスコンクリートの開発に向けた基礎的研究 その1 三成分Ca0-Al2O3-SiO2系の強度設計の考え方 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 飛鷹晶子、坂本遼、松田拓、友寄篤、浅葉拓也、西尾悠平、北垣亮馬、兼松学、野口貴文 |
| 2. 発表標題 セメントフリー・ハイパフォーマンスコンクリートの開発に向けた基礎的研究 その2 流動性・圧縮強度・静弾性係数・中性化抵抗性 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂本遼、松田拓、友寄篤、浅葉拓也、文野光、西尾悠平、北垣亮馬、兼松学、野口貴文 |
| 2. 発表標題 セメントフリー・ハイパフォーマンスコンクリートの開発に向けた基礎的研究 その3 自己収縮ひずみ・乾燥収縮ひずみ |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 浅葉拓也、坂本遼、小宮克仁、西尾悠平、松田拓、友寄篤、北垣亮馬、兼松学、野口貴文 |
| 2. 発表標題 セメントフリー・ハイパフォーマンスコンクリートの開発に向けた基礎的研究 その4 収縮ひび割れのメカニズム・抑制方法 |
| 3. 学会等名 日本建築学会大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 兼松 学 (Kanematsu Manabu) (00312976) | 東京理科大学・理工学部建築学科・教授 (32660) | |
| 研究分担者 | 北垣 亮馬 (Kitagaki Ryoma) (20456148) | 北海道大学・工学研究院・准教授 (10101) | |
| 研究分担者 | 松田 拓 (Matsuda Taku) (40602214) | 三井住友建設株式会社(技術本部)・技術本部・建設基盤技術部長 (92649) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|