

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04349

研究課題名（和文）高炉スラグ微粉末及びフライアッシュセメントコンクリートの反応促進技術の開発

研究課題名（英文）Development of Reaction Acceleration Technology for Blast Furnace Slag and Fly Ash Cement Concrete

研究代表者

胡桃沢 清文 (Kurumisawa, Kiyofumi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40374574

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：CO₂排出削減を行うためにセメントの混合材の大量使用を可能とする反応促進剤の開発を行うことを目的とした。その結果、水酸化カルシウムを活性化剤とした高炉スラグ微粉末やフライアッシュの初期反応を硫酸ナトリウムの添加によって促進することを可能とした。また、セメントと混和した場合においても硫酸ナトリウムの添加が反応を促進し強度発現が高いことを明らかにした。一方、硫酸ナトリウムの添加は初期の反応を促進し強度発現を促進したが、材齢28日以降の強度増進はそれほど高くなかった。これは初期に反応生成物が多く生成したためであると考えられる。初期反応の促進はイオン移動度と溶解度に依存していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建設業界におけるCO₂排出削減のためにセメントの利用を低減させるために高炉スラグやフライアッシュによるセメントの置換がさらに必要であり、それを実現するためには初期の強度発現を改善することが必要であり、本研究では反応促進剤として硫酸ナトリウムの添加が有効であることが明らかになった。また、その促進メカニズムはイオン移動度が高い陰イオンが有効であり、さらに無機塩の溶解度が重要であることを明らかにした。今後この知見を活かしてさらに有効な促進剤の開発が望まれる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to develop a reaction accelerator that enables the use of large quantities of supplemental materials to replace cement in order to reduce CO₂ emissions. As a result, the initial reaction of blast furnace slag and fly ash with calcium hydroxide as an activator was accelerated by the addition of sodium sulfate. It was also clarified that the addition of sodium sulfate promoted the reaction and strength development of the hardened cement paste when it was mixed with cement. On the other hand, the addition of sodium sulfate promoted the initial reaction and strength development, but the strength development after 28 days of age was not so high. This may be due to the formation of a large amount of reaction products in the early stage. It was found that the acceleration of the initial reaction was dependent on ion mobility and solubility.

研究分野：建築材料

キーワード：反応促進 高炉スラグ微粉末 フライアッシュ CO₂排出 無機塩 硫酸ナトリウム

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは建築物として広く利用されており、安価で耐久性もあり今後も広く利用される建築材料である。しかしながらコンクリート製造時には多くのセメントを使用することからセメント製造時のCO₂排出は避けられない。そこでセメントの一部を高炉スラグ微粉末フライアッシュで置換した混合セメントコンクリートのさらなる利用が求められている。しかし、混合セメントコンクリートは長期的にはセメントコンクリートと同等の性能を示すが、初期の強度発現はセメントと比べると低く、施工期間が長期化することが懸念される。そのため高炉スラグ微粉末やフライアッシュの初期反応を活性化させる混和剤の開発が求められている。そこで本研究では「高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの初期反応を活性化させ耐久性を担保可能な混和剤の開発を行うことができるか。」が研究課題である。セメントの初期反応を活性化させる混和剤はすでに市販されているが高炉スラグ微粉末やフライアッシュに関する混和剤は全くなく、これを開発することはCO₂廃出削減のみならず、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの有効利用及び施工期間の短縮を図ることができ非常に重要な課題である。

2. 研究の目的

高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和したセメントコンクリートの初期の強度発現がセメントのみと比べると低く、施工が長期化することが懸念されている。そこで本研究では高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの初期反応を活性化させる混和剤の開発を行い、促進剤を添加したコンクリートの長期耐久性に関する検討を行うことを目的とする。高炉スラグ微粉末及びフライアッシュのみの初期反応を活性化させる混和剤の開発を行うことは新規性があり、それをういたコンクリートの耐久性に関する研究はほとんど行われていない。また、反応性の評価は発熱量による測定や圧縮強度試験によって行われてきたが、本研究では経時的な反応性の評価を超音波伝播速度測定によって明らかにする。

3. 研究の方法

3.1 試験体

高炉スラグ硬化体作製のために、T高炉スラグ微粉末(BFS:密度:2.91g/cm³,比表面積4020cm²/g)と特級試薬である水酸化カルシウムを用いた。それぞれ重量比で8:2にて混和し、水粉体比を0.5とし、砂を粉体質量の3倍として練り混ぜを行った。砂はセメント強さ試験用標準砂(絶乾比重2.64,吸水率0.42%)を使用した。既往の研究と同様に混和剤として高炉スラグ微粉末及び水酸化カルシウムの総重量に対して亜硝酸カルシウム一水和物(CN)、硫酸ナトリウム(NS)、塩化カルシウム(CC)、チオ硫酸ナトリウム(NS₂)を粉体100gに対して0.05molをそれぞれ添加した。ただし、水和物に関しては水和物量を水分として計算し加えた。以下、混和剤無添加をControl、CNを加えた試料をCN、NSを加えた試料をNS、CCを加えた試料をCC、NS₂を加えた試料をNS₂と表記する。モルタルの練混ぜはミキサーを用いて砂と粉体のみの空練り30秒、加水後に3分間行った。なお、砂を混和しないペースト試料も同様に作製した。圧縮強度試験と超音波速度伝播試験用の試験体は20℃の環境下においてφ50×100mmのモールド缶に打設し、材齢2日にて脱型し所定の材齢まで20℃封緘養生を行った。また、拡散試験用の試験体はφ50×50mmの円柱試験体、乾燥収縮用の試験体は40×40×160mmの直方体試験体にゲージプラグを埋め込み作製を行った。

3.2 測定概要

(1) 圧縮強度試験及び超音波速度試験

所定の材齢に達したモルタル円柱試験体(φ50×100mm)は、一軸圧縮強度試験に用い3本の平均値を圧縮強度として決定した。また、超音波伝播速度測定を同様の試験体にて行い、試験体長さや伝播時間から超音波伝播速度(UPV)を算出した。なお、振動子の周波数は50kHz、試験体の上下面にグリスを塗布し、振動子を密着させ測定を行った。

(2) 拡散性能試験

拡散試験は、材齢28日において、直径50mmの円形の暴露面以外をエポキシ樹脂によって覆い、エポキシ樹脂硬化後に0.5mol/Lの塩化ナトリウム(NaCl)水溶液または0.05mol/Lのヨウ化セシウム(CsI)溶液に浸漬し、浸漬期間終了後にその断面における元素分布を電子線マイクロアナライザー(EPMA)によって加速電圧15keV、試料電流5nA、測定間隔0.1mmにて測定を行った。見かけの拡散係数はClとIの元素に着目し、それぞれの濃度分布がFickの第2法則の厳密解に従うとして算出した。ここでCsI水溶液は、塩化カルシウムを使用した試験体の拡散係数を算出するために用いた。

(3) 乾燥収縮試験

乾燥収縮測定では、材齢3日にて脱型後20℃封緘養生を材齢7日まで行い、材齢7日から温度20℃、相対湿度60%の環境下にてダイヤルゲージ法にて測定を行った。なお、材齢7日の試験体を基準として収縮量および質量変化を決定した。

(4) 水銀圧入法

空隙構造を測定するために水銀圧入法を用いた。試験体はペースト試料を5mm以下に粗粉碎し、多量のアセトンに浸漬し水和反応を停止後40℃の乾燥炉において乾燥を行った。

(5) XRD 測定

構成鉱物を同定するために硬化ペースト試験体の XRD 測定を行った。円柱試験体を 5 mm 以下に粉碎しアセトン浸漬を行い、その後 40℃にて乾燥を行った。さらに遊星ボールミルによって粉末を作製した。XRD 測定条件は管電圧 40kV、管電流 40mA、サンプリング間隔 0.02° 刻みで走査速度 2° /min によって測定を行い、内部標準として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (コランダム) を 10mass% 添加した。

4. 研究成果

4. 1 機械的特性

Fig. 1 に高炉スラグ固化体の圧縮強度試験の結果を示す。無混和の試験体と NS2 の試験体はほぼ同程度の強度発現であったが、その他の無機塩を加えた試験体では初期から強度発現が促進された。このことから既往の研究と同様に無機塩の種類によって硬化を促進する程度が異なることが示された。材齢 28 日においては無機塩を加えた強度発現のあった試験体では無混和に比べて 1.5 倍程度の強度であった。

Fig. 2 に超音波伝播速度の経時変化を示す。こちらは無機塩を加えた試験体ではすべて同様の速度であり、無混和の試験体よりも 10% 程度高い値であった。これは圧縮強度と異なる傾向であったため各材齢におけるモルタルの密度の測定結果と比較を行った。密度は無機塩の有無や種類によらず大きな差がないことが確認された。したがって強度発現が無混和の試験体と同程度である NS2 の試料の強度発現が向上しない理由については不明であり、今後詳細な検討が必要である。

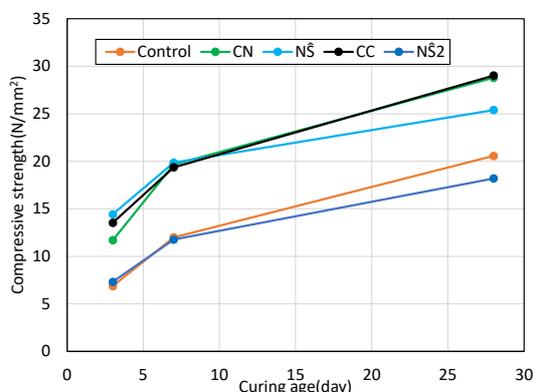


Fig.1 Compressive strength of BFS composite

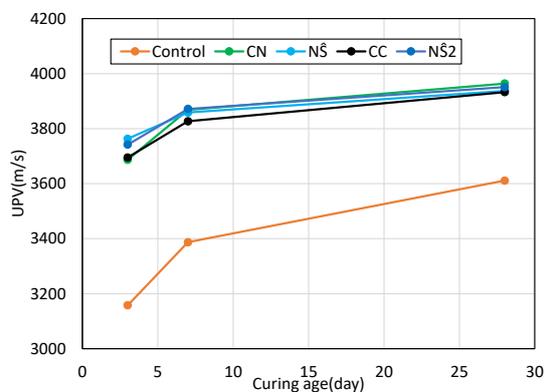


Fig.2 UPV of BFS composite

4. 2 拡散性能

Fig. 3 左に NaCl 水溶液に浸漬した Cl の見かけの拡散係数の測定結果を示す。NS を除く試料において浸漬した期間に関わらず無混和の試験体に対して拡散係数が高くなった。浸漬期間 13 週においては、CN の試料は無混和の試験体と比較して 2 倍の拡散係数であった。また、高炉スラグ微粉末を 70% 置換したセメントモルタルの拡散係数は $10^{-13}(\text{m}^2/\text{s})$ 程度の報告もあることから CN の試料は高い拡散係数を示している。なお、ナトリウムの拡散は確認できなかった。また、浸漬期間を 13 週とした場合の拡散係数は、4 週浸漬の試験体よりも低下した。これは既往の研究において指摘されているように空隙内における生成物の沈殿が生じ、拡散係数が低くなったと考えられる。

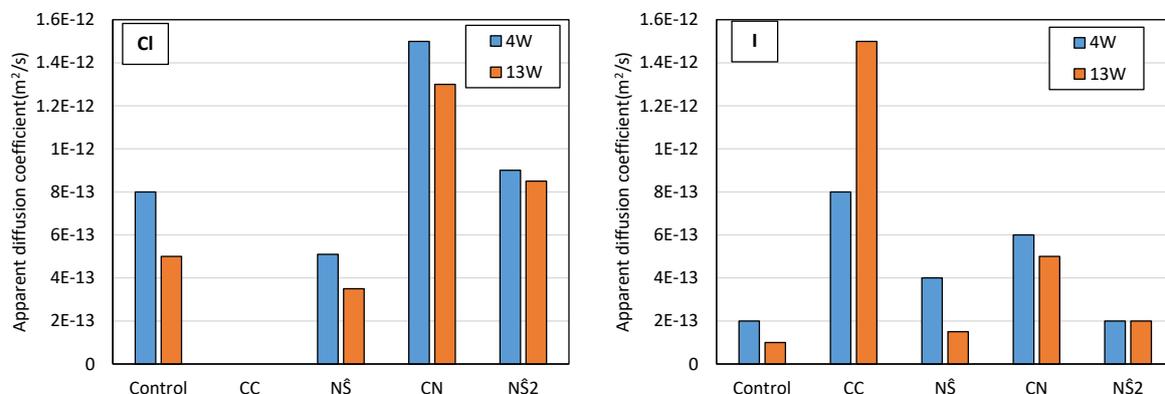


Fig.3 Apparent diffusion coefficient of chloride and iodine in BFS composite

Fig. 3 右に CsI 水溶液に浸漬した試験体のヨウ素の見かけの拡散係数の結果を示す。こちらも Cl の拡散係数の結果と同様にほとんどの試験体において無混和のものより無機塩を加えた試験体において高い拡散係数であることが示された。特に CC の試験体では、無混和の試験体に対して 4 週浸漬では 4 倍、13 週浸漬では 10 倍の拡散係数であった。さらに一般的に浸漬期間が長いほど拡散係数は低下する傾向にあることが報告されているが、CC の試験体では 13 週浸漬の方

が高い拡散係数であった。

拡散性能には空隙構造が大きく寄与することが知られているが、Fig. 1 に示す材齢 28 日の強度を見ると NS2 を除く試料において無混和の試料よりも高い強度であるため緻密な構造を形成していると考えられる。また、Fig. 4 に示すように MIP による総空隙量は無混和の試験体が 0.35 (mL/g) と最も高いため、空隙率は拡散係数に顕著な影響を及ぼしていないと考えられる。また、無機塩を加えた試験体は、100nm 以下の空隙がほとんどであるのに対して、無混和の試験体は 100nm 以上の粗大な空隙を多く含んでいる。そのため粗大な空隙が多い場合においても拡散係数が低いことを示している。

ここで Fig. 5 に空隙率と 13 週浸漬の見かけの拡散係数の関係を示す。この図からも空隙率の高い試料ほど拡散係数が低い結果となっており、空隙率が拡散に及ぼす影響は低いことがわかる。一方、拡散係数に影響する要因として陰イオンの吸着量が考えられる。セメント系材料においてはアルミネート系の水和物が陰イオンを化学吸着することがよく知られており、本研究においては無機塩を添加することによってそれらの水和物が浸漬前にすでに多く生成している。Fig. 6 に示す XRD の測定結果より CC ではフリーデル氏塩、CN では亜硝酸型のモノサルフェート、NS ではエトリンガイト、NS2 では U-phase の生成が確認できている。これらは浸漬前の無混和の試験体においてはほとんど検出されていない。したがって無機塩を混和した試料では溶液浸漬後にフリーデル氏塩や Kuzel 塩が生成されないため、イオンの吸着量が無混和の試験体と比べて低く、これが陰イオンの拡散に大きく影響を及ぼしたと考えられる。特に CN 試料においては亜硝酸型の AFm は安定的であると報告されていることから化学吸着が生じず、高い拡散係数を示したと考えられる。以上のことから強度発現が同等であっても加える無機塩の種類によって拡散性能が異なり、拡散性能に関しては無機塩を加えることが性能を低下させる可能性があることが示された。

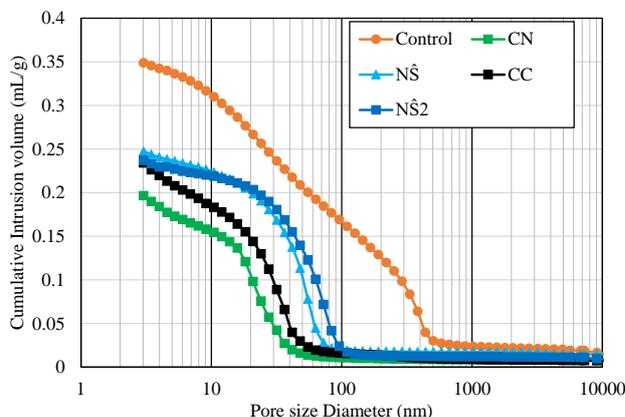


Fig.4 PSD of BFS composite

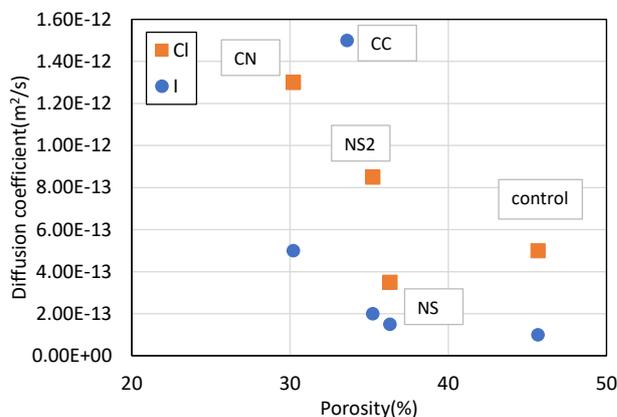


Fig.5 Porosity and diffusion coefficient

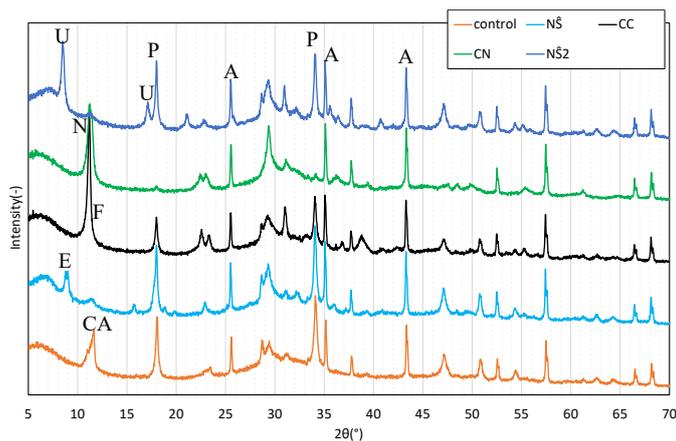


Fig. 6 XRD results of BFS composite at 28days (A: α - Al_2O_3 , P:Portlandite, E:Ettringite, N: NO_2 -AFm, CA: C_4AH_{13} , F:Friedel's salt, U:U-phase)

4. 3 乾燥収縮挙動

Fig. 7 に固化体の乾燥収縮量の測定結果を示す。無混和の試験体に対して、CN と CC の試験体は初期に大きく収縮が生じその後緩やかに収縮している。一方、NS と NS2 の試験体では初期は収縮量が低い値であるが、長期にわたって収縮量が増加していることが示された。しかしながら NS の試料では 9 か月後においても乾燥収縮量がかなり低減できることが示され、無混和の試験体に比べて 50%低減している。既往の研究において高炉スラグ微粉末を 70%置換した高炉セメントモルタルの乾燥収縮量は、本研究における NS 試料と同程度であり、高炉スラグ微粉末と水酸化カルシウムによって作製した固化体は乾燥収縮量が多いことが示された。無混和の試験

体の収縮量は、高炉スラグ微粉末を水酸化カルシウムによって活性化させた既往の研究の値と同程度であった。また、高炉セメントモルタルにおいては、乾燥期間 60 日以降はほとんど乾燥収縮量が変化していない結果であったが、本研究において作製した固化体は乾燥期間 270 日においても収縮が継続している傾向が見られた。

Fig. 8 に乾燥収縮試験中の試験体の質量変化を示す。無混和の試験体に対して無機塩を混和した試料では質量減少が少ないことがわかる。しかしながら乾燥収縮と同様に CN と CC の試験体では初期の質量減少が大きいのにに対して、NS と NS2 の試験体では初期の質量減少が少なく長期にわたって質量減少が生じていることがわかる。先述の拡散性能においても示したように、XRD の測定結果から CC ではフリーデル氏塩、CN では亜硝酸型のモノサルフェート、NS ではエトリンサイト、NS2 では U-phase の生成が確認できている。したがって初期における収縮の抑制はエトリンサイトや U-phase の存在によるものと考えられ、CC や CN における初期の乾燥収縮の増大はフリーデル氏塩や亜硝酸型のモノサルフェートの乾燥による水分の逸散の影響が大きいと考えられる。また、長期にわたって NS や NS2 の収縮が増大するのはエトリンサイトや U-phase などの水和物からの水分逸散によるものと考えられる。

ここで Fig. 9 に乾燥収縮と質量変化の関係を示す。すべての試験体において水分逸散とともに乾燥収縮も増加しているが、NS や NS2 においては材齢 6 か月から水分逸散はほとんど生じていないにも関わらず乾燥収縮が増加している。これは相変化が生じることによって生じていると考えられるが、詳細については検討を行う必要がある。

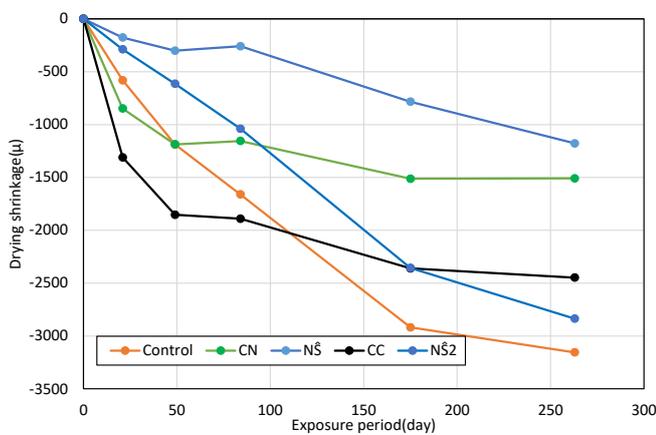


Fig. 7 Drying shrinkage of BFS composite

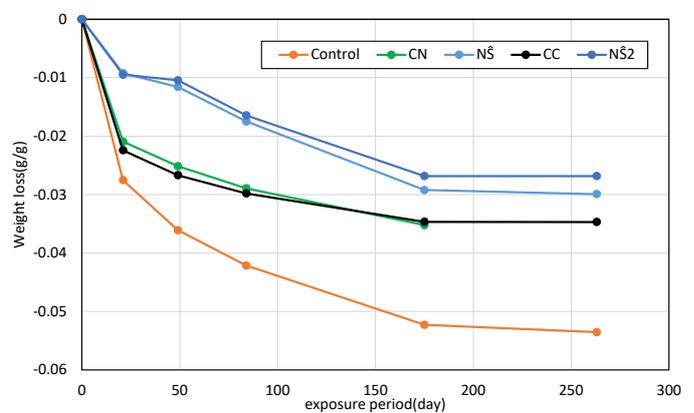


Fig. 8 Weight loss of BFS composite

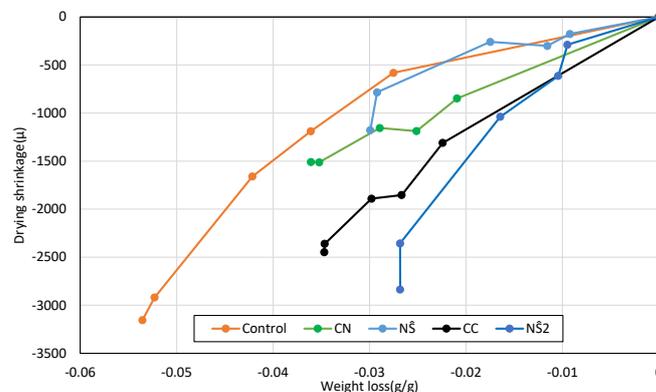


Fig. 9 Plot of weight loss and drying shrinkage of BFS composite

以上、本研究で得られた成果を下記にまとめる。

(1) 高炉スラグ固化体の強度発現は加えた無機塩の種類によって異なり、NS2 の試験体を除いて無混和のものよりも促進されることが示された。一方、超音波速度は無機塩の種類によらず同様の傾向を示し、無混和のものよりも高い値を示した。

(2) みかけの拡散係数は加えた無機塩の種類によって異なる傾向を示し、いずれの試験体においても拡散係数が無混和のものよりも高くなる傾向であった。これは無機塩の添加によってアルミネート系の水和物が内部に生成されたため、陰イオンの吸着量が低下したものと推察された。

(3) 乾燥収縮量は加えた無機塩の種類によって異なる傾向を示し、硫酸塩系の試験体では初期の収縮量が無混和のものよりも低減された。一方、亜硝酸塩と塩化カルシウムでは初期に収縮量が増加したが、その後は大きく増加しないことを示し、生成された水和物の種類が収縮に影響を与えることが示された。

以上の結果より、高炉スラグ固化体の諸物性は加える無機塩によって異なるため、適切な無機塩を選定し固化体を作製する必要があることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Zhai Qi, Kurumisawa Kiyofumi	4. 巻 338
2. 論文標題 Mechanisms of inorganic salts on Ca(OH) ₂ -activated ground granulated blast-furnace slag curing under different temperatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 127637 ~ 127637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2022.127637	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 Zhai Qi, Kurumisawa Kiyofumi	4. 巻 133
2. 論文標題 Effects of cation in sulfate chloride and nitrite on Ca(OH) ₂ activated ground granulated blast-furnace slag	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 104648 ~ 104648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2022.104648	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 KURUMISAWA Kiyofumi	4. 巻 75
2. 論文標題 EFFECT OF INORGANIC SALTS ON PROPERTIES OF BLAST FURNACE SLAG COMPOSITE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 174 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.75.174	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KONDO Yuki, KURUMISAWA Kiyofumi	4. 巻 76
2. 論文標題 CHLORIDE ADSORPTION AND DIFFUSIVITY OF BLAST FURNANCE SLAG CEMENT USING CALCIUM NITRITE	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 187 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.76.187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhai Qi, Kurumisawa Kiyofumi	4. 巻 124
2. 論文標題 Effect of accelerators on Ca(OH) ₂ activated ground granulated blast-furnace slag at low curing temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 104272 ~ 104272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2021.104272	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 Zhai Qi, Kurumisawa Kiyofumi, Moon Juhyuk	4. 巻 408
2. 論文標題 A comparative study of alkanolamines and inorganic additives on the microstructure development of blast furnace slag blended cement at low curing temperature	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 133779 ~ 133779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2023.133779	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 該当する

1. 著者名 Qi Zhai, Zuo Yibing, Kurumisawa Kiyofumi, Lang Aoran	4. 巻 141
2. 論文標題 Effect of curing temperatures and additional activators on chloride ingress and its induced mineralogical alteration of ground granulated blast furnace slag activated by Ca(OH) ₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 105153 ~ 105153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2023.105153	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 該当する

1. 著者名 KURUMISAWA Kiyofumi	4. 巻 77
2. 論文標題 EFFECT OF TEMPERATURE ON REACTION OF BLAST FURNACE SLAG CEMENT WITH CALCIUM NITRITE	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 189 ~ 196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.77.189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 HANAOKA Atsuhiko、KURUMISAWA Kiyofumi	4. 巻 77
2. 論文標題 複数のセメント種を用いたセメント硬化体に及ぼす凍結融解作用の実験的検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Cement Science and Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 369 ~ 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.77.369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Zhai Qi、胡桃澤 清文
2. 発表標題 Impact of curing temperature and additional activators on the hydration of Ca(OH) ₂ activated GGBFS
3. 学会等名 第76回セメント技術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤 勇樹、胡桃澤 清文
2. 発表標題 亜硝酸カルシウムを用いた高炉セメント硬化体の塩分吸着及び拡散性能
3. 学会等名 第76回セメント技術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qi Zhai, Kiyofumi Kurumisawa
2. 発表標題 The coupling effects of curing temperature and additional activators on the strength development of Ca (OH) ₂ activated blast furnace slag
3. 学会等名 International conference on regeneration and conservation of structures (ICRCS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 Effect of accelerators on diffusivity and drying shrinkage of BFS composite
3. 学会等名 International conference on regeneration and conservation of structures (ICRCS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 亜硝酸カルシウムを添加したコンクリートの物性
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 郎 傲然、胡桃澤 清文
2. 発表標題 フライアッシュ-Ca(OH) ₂ 固化体の強度発現に及ぼす無機塩類の影響
3. 学会等名 資源・素材学会 (札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 高炉スラグ固化体の拡散性能に及ぼす無機塩の影響
3. 学会等名 第75回セメント技術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Yamada, ZHAI QI、Hiroaki Omatsu、Kiyofumi Kurumisawa
2. 発表標題 Effect of some salts on strength development of BFS paste
3. 学会等名 第75回セメント技術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 いくつかの無機塩が高炉スラグ固化体の乾燥収縮に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 NMR、XAFS、TEMおよびプロトンNMRによるメタカオリンジオポリマーの微細構造分析
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Qi Zhai and Kiyofumi Kurumisawa
2. 発表標題 Chloride ingress resistance of Ca(OH) ₂ activated GGBFS: Impact of curing temperature and additional activators
3. 学会等名 The 16th International Congress on the Chemistry of Cement
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 花岡 温広、胡桃澤清文
2. 発表標題 いくつかのセメント種を用いたセメント硬化体に及ぼす凍結融解作用の実験的検討
3. 学会等名 第77回セメント技術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 胡桃澤清文
2. 発表標題 亜硝酸カルシウムを使用した高炉セメント硬化体の温度依存性
3. 学会等名 第77回セメント技術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Qi Zhai、Kiyofumi Kurumisawa
2. 発表標題 Impact of triethanolamine (TEA) on the hydration of ground granulated blast furnace (GGBFS) blended cement
3. 学会等名 第77回セメント技術大会
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------