

25 太陽光パネルに由来する廃ガラスのコンクリート材料としての利用に関する実験的研究 ～アルカリシリカ反応の抑制効果について～

1934041 鈴木彩賀 1934043 高橋奈歩

1. はじめに

近年、太陽光パネル(以下、PVパネル)の急速な導入に伴い、年間約 200トン、2030年以降には最大で年間約80万トンの大量廃棄が見込まれている。特にPVパネルに使用された廃ガラスの処理方法が問題となっている¹⁾。昨年度の研究²⁾では、廃ガラスを再利用した新材料の可能性を模索するため、粉碎した廃ガラスを微粉末、細骨材の一部として添加した基礎的研究を行った(図-1)。しかし、廃ガラスはアルカリシリカ反応(以下、ASR)の発生要因となるシリカ成分を含んでいるため、コンクリートへの悪影響が懸念されている。ASRの抑制対策としては、高炉スラグ微粉末の添加が有効であることが報告されている³⁾。

そこで今年度の研究では、ASR抑制効果を検証するため、廃ガラスと高炉スラグ微粉末を配合した12種類の調査を行い、基礎的実験を行う。特にASR試験では、デンマーク法、ASTM法を用いて検証を行う。

2. 実験概要

モルタルの調査を表-1に示す。各調査において水結合比は50%、結合材細骨材比は1:3とした。ノーマルモルタルのベース調査は「N」、結合材の一部にガラス微粉末を置換した「GP」、セメントを高炉スラグ微粉末に置換した「B」、そして、ガラス微粉末と高炉スラグ微粉末の両方を置換した「W」を設定した。ガラス細骨材の置換率は、ASRの試験項目を検討するため0%、40%、100%の3種類とし、0シリーズ、40シリーズ、100シリーズとした。本研究では、JIS R 5201に基づいてガラスの一次原料を粉碎し、ガラス材料の選定と材料特性評価を行った。また、モルタル供試体を作成し、フロー試験、凝結時間試験、圧縮強度試験、およびASR促進試験を行った。圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じ、φ50の円柱供試体を用いた。供試体は打ち込み後、24時間で脱枠し、所定の材齢まで水中養生を行った。また、ASR試験は全て角柱供試体を用いた。デンマーク法では、50℃の飽和NaClに28日水中養生し、3カ月間測定した。ASTM法では80℃のNaOH溶液に浸し2週間経過観測した。また、SEM観察は、JIS K 0050に準じ、含有物質の構結合を分析することで、結合材の水和反応の進行に伴う化合物の組成変相成性成変成性について解析する。

3. 実験結果および考察

3-1 フレッシュ性形状

表-2にフロー値を示す。すべての調査においてフローコーンを抜いた直後の0打フローは差がなかったが、15打フローでは、ガラス細骨材の割合が増えるに従って若干フロー値が大きくなる傾向が見られた。これは、ガラス細骨材の吸水率が極めて小さいため、練り混ぜ時の吸水量が珪砂に比較して少ないことが、モルタル流動性の向上に寄与したと考えられる。図-2に凝結時間試験結果を示す。各シリーズのGPは、Nと比較して凝結開始時間、終結時間ともに遅延した。これは、セメントに比べGPの反応が緩やかになるため、水和反応が進みにくかったと考えられる。またGS使用の影響については、各Nシリーズの混和材を使用しない調査では大きな変化が確認されなかった。一方、混和材使用の調査ではGSの割合が高くなるに伴い、凝結時間が早まる傾向が見られた。



a) ガラス微粉末 b) ガラス細骨材

図-1 ガラス使用材料²⁾

表-1 モルタル調査表(単位kg/m³)

| | 記号 | 水 | 結合材 | | | 細骨材 | |
|------------|--------|-----|--------------|--------|----------|------|------|
| | | | 普通ポルトランドセメント | ガラス微粉末 | 高炉スラグ微粉末 | 珪砂 | ガラス砂 |
| GS 0% | 0-N | 240 | 480 | 0 | 0 | 1440 | 0 |
| | 0-GP | | 384 | 96 | 0 | 1440 | 0 |
| | 0-B | | 288 | 0 | 192 | 1440 | 0 |
| | 0-W | | 192 | 96 | 192 | 1440 | 0 |
| GS 40% | 40-N | 240 | 480 | 0 | 0 | 864 | 576 |
| | 40-GP | | 384 | 96 | 0 | 864 | 576 |
| | 40-B | | 288 | 0 | 192 | 864 | 576 |
| | 40-W | | 192 | 96 | 192 | 864 | 576 |
| GS 100% | 100-N | 240 | 480 | 0 | 0 | 0 | 1440 |
| | 100-GP | | 384 | 96 | 0 | 0 | 1440 |
| | 100-B | | 288 | 0 | 192 | 0 | 1440 |
| | 100-W | | 192 | 96 | 192 | 0 | 1440 |

表-2 フロー値

| 大分類 | 番号 | 0打フロー | 15打フロー |
|---------|----------|---------|---------|
| | | (mm×mm) | (mm×mm) |
| 0シリーズ | 0 - N | 101×100 | 119×118 |
| | 0 - GP | 100×100 | 119×116 |
| GS 0% | 0 - B | 101×100 | 120×115 |
| | 0 - W | 101×100 | 118×117 |
| 40シリーズ | 40 - N | 101×100 | 117×117 |
| | 40 - GP | 102×101 | 122×121 |
| | 40 - B | 100×100 | 118×117 |
| | 40 - W | 100×100 | 123×122 |
| 100シリーズ | 100 - N | 100×100 | 123×120 |
| | 100 - GP | 100×100 | 126×126 |
| | 100 - B | 100×100 | 128×124 |
| GS 100% | 100 - W | 100×100 | 127×126 |

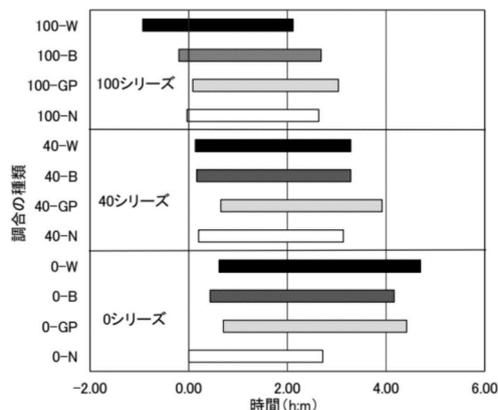


図-2 凝結時間の試験結果

3-2 圧縮強度試験

図-3に材齢91日までの圧縮強度試験の結果を示す。材齢28日で、すべての調合で設計基準強度の40N/mm²を超える結果となった。GSの割合が高いBは、一部で0シリーズの強度が高い配合もあるが、基本的には0<40<100シリーズの順に強度が増加している。これは、ガラス細骨材の周りにガラス微粒分が付着しているため、微粒分のポズラン反応によって強度が出たのではないかと考えられる。また、各シリーズで比較すると、Bの調合で材齢28日以降の強度が高くなる結果となった。高炉スラグ微粉末の潜在水硬性によって、材齢28日以降の強度が増加したものと推測される。また、各シリーズのNとGPを比較すると、GPは材齢7日ではNの60~80%程度の強度であったが、長期強度(材齢91日)では0シリーズを除いて強度差が小さくなっている。

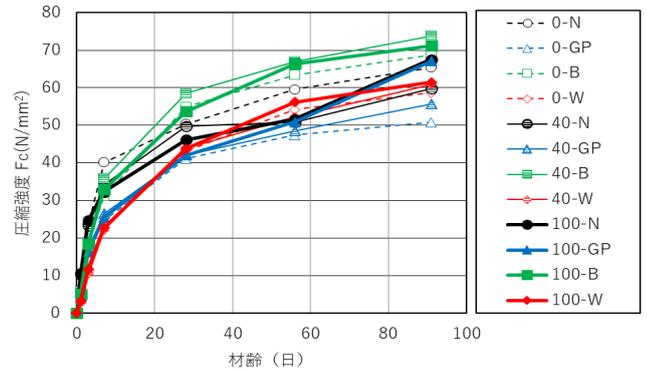
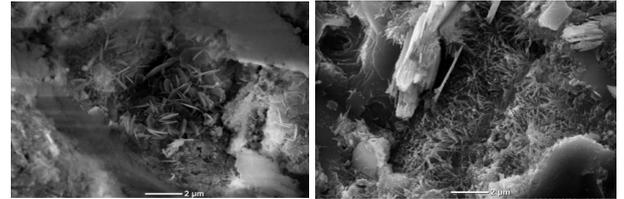


図-3 圧縮強度の試験結果

3-3 SEM観察

図-4に材齢28日目のNとGPのSEM画像を示す。X線回折の結果をもとに試料表面の構造を拡大し、三次元的な画像を観察することで、各種材料や水和生成物の形態を分析した。水和反応により生成された結晶が繋がって内部の空隙を埋めていることが確認できた。



N 28日目

GP 28日目

図-4 SEM画像

3-4 ASR促進試験

1) ASTM法

図-5にASTM法の結果を示す。各シリーズでNが最も膨張率が高く、Wが最も低い結果となった。100シリーズでは、混和材を使用しないNは試験材齢28日で膨張率が6.54%と高くなった。しかし、100-Bでは膨張率を0.47%に、100-GPでは0.21%まで抑えることができた。さらに100-Wでは0.17%の膨張率に抑えられていることから、GPと高炉スラグ微粉末を単独使用または併用することで、ASRを効果的に抑制することが確認できた。これは、混和材使用によりセメント量を減らし、セメントペースト内のアルカリ濃度を低下させたことが主な要因であると考えられる。

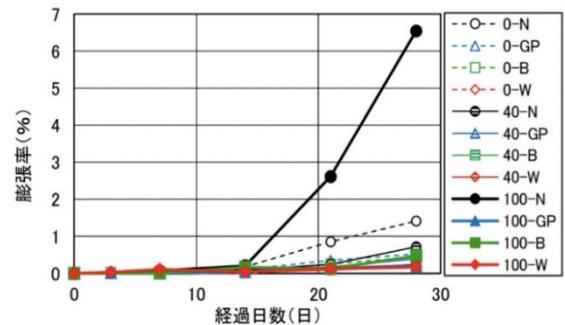


図-5 ASTM法の試験結果

2) デンマーク法

図-6にデンマーク法の結果を示す。浸漬開始91日目まで大きな変化はなかった。初期材齢である28日目までは微量な膨張が見受けられたが長期材齢になるほど安定している。これは、3か月間ASRを促進したがASRによる膨張率には影響がないと推測される。今後も継続して実験を行う予定である。

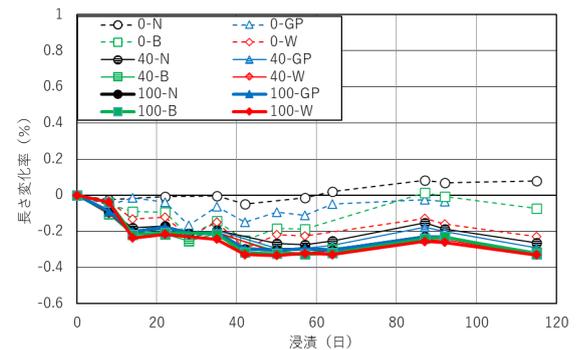


図-6 デンマーク法の試験結果

4.まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1)フロー試験では、GSの割合が高くなるに従い、15打のフロー値が若干大きくなったが流動性に影響はないと思われる。
- 2)凝結時間試験では、GPを使用した調合は凝結時間が遅れ、GSを使用した調合は凝結時間が早まった。
- 3)圧縮強度試験では、GPの調合は初期強度が上がりにくい材齢28日以降は設計基準強度を上回っている。また、GPは材齢7日ではNの60~80%程度の強度であったが、長期強度では0シリーズを除いて強度差が小さくなっている。
- 4)SEM観察では、水和反応により生成された結晶が繋がってセメント表面に付着していることが確認できた。
- 5)ASTM法では、結果からGPと高炉スラグ微粉末を単独使用または併用することで、ASRを効果的に抑制することができた。またデンマーク法では、浸漬試験の途中結果では膨張は見られなかった。今後も実験を継続する予定である。

参考文献

- 1)川畑勇輝、李春鶴、塩盛弘一郎、原田秀樹：異なる成分の太陽光パネル廃ガラスを用いたモルタルの性能評価に関する研究、第75回セメント技術大会(東京)、pp.96-97, 2021. 5. 26
- 2)鳥居和之、杉山彰徳、山戸博晃、酒井賢太：廃棄ガラス起源リサイクル砂のアルカリシリカ反応性に関する研究、「材料」(Journal of the Society of Materials Science, Japan), vol.55, No.10, pp.905-910, Oct.2006
- 3)白木淳奈、高橋明日香：太陽光パネルに由来する廃ガラスのコンクリート材料としての利用に関する実験的研究、金城学院大学、2021年度卒業論文