

太陽光モジュールガラスを混和材として利用したセメント硬化体の基礎物性評価

東北大学大学院
東北大学大学院
西松建設（株）

学生会員 ○志藤 暢哉
正会員 宮本 慎太郎 皆川 浩 久田 真
正会員 平野 孝行 椎名 貴快

1. はじめに

近年，再生可能エネルギーが注目され，太陽光発電施設の建設が急速に進んだ．施設に設置された太陽電池モジュールは 2030 年頃をピークとして寿命を迎える と推定されており，この時期に集中して多量の廃棄物 が排出されると予想されている．また，排出される廃 棄物は埋立処分を行うよりもリサイクルを行った方が 費用対効果は大きいと報告されている¹⁾．

太陽電池モジュール全体の約 36%（質量比）を占め る太陽光モジュールガラスに着目すると，ガラスの主 成分にはシリカが多量に含まれていると考えられるた め，ポゾラン材料として利用できる可能性がある．

本研究では，太陽光モジュールガラスを建設材料と して有効利活用することを目指し，粒径 75 μ m 以下に粒 度調整した太陽光モジュールガラス（以下，ガラス粉 末）を混和材として利用した際のセメント硬化体の基 礎物性評価を行った．

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

使用材料は，普通ポルトランドセメント（C，密度 3.15g/cm³），水道水（W），山砂（S，表乾密度 2.59g/cm³） およびガラス粉末（GP，密度 2.46g/cm³）とし，セメン トペースト（W/(C+GP)=35%）およびモルタル（W/ (C+GP)=50%，S/C=2.4）の 2 種類を作製した．表－1 に ガラス粉末の化学組成を一般的なポゾラン材料のフラ イアッシュ（FA，JIS I 種灰）と比較して示した．また ガラス粉末をセメントに内割置換で添加した際の物性 を確認するため，(1) 無置換，(2) セメントの 5%質量置 換，(3) 10%質量置換の計 3 水準とし，養生方法は 28 日 間の水中養生とした．表－2 に各水準の配合を示す．

2.2 測定項目

ガラス粉末の化学成分および結晶構造に関しては， 蛍光 X 線分析（XRF）および粉末 X 線回折（XRD）に

表－1 化学組成

粉体	ig.loss	化学成分 (mass%)							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
GP	0.31	71.1	1.8	0.1	9.2	3.7	0.2	12.4	0.9
FA	1.6	57.8	23.0	6.1	4.9	1.5	1.0	0.8	0.7

備考) FA(フライアッシュ JIS I 種灰)の成分値は製造会社の公表値に基づく

表－2 本研究で使用了た配合

供試体 記号	W/(C+GP) (%)	S/C	GP 置換 率(%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	GP	S
P-N	35	—	0	524	1498	0	—
P-N-G5			5		1423	75	
P-N-G10			10		1348	150	
M-N	50	2.4	0	287	573	0	1376
M-N-G5			5		545	29	
M-N-G10			10		516	57	

より特定した．材齢 28 日の供試体は，圧縮強度試験の ほか，TG-DTA を用いたポルトランダイト量（以下， CH 量，測定範囲：450～550℃）および強熱減量（測定 範囲：105～1,050℃）の測定，サリチル酸－アセトネー メタノールを溶液に用いた選択溶解法²⁾によるガラス 粉末の反応率の測定に使用した．なお，圧縮強度試験 には ϕ 50×H100mm の円柱供試体を用い，試験方法は JIS A 1108 に準拠した．TG-DTA 測定用および選択溶解法 用の試料は，圧縮強度試験終了後の試験片を採取し， 105℃の乾燥炉で 2 日間乾燥させた後にメノウ乳鉢を用 いて粉砕した試料とした．

3. 実験結果および考察

XRD により取得したガラス粉末のチャート（図－1） に着目すると，ガラス粉末は非晶質特有のブロードな ハローを示しており，蛍光 X 線分析の結果（表－1）を 考慮すると，ガラス粉末は主に非晶質シリカにより構 成されていると推測される．

図－2 に材齢 28 日の圧縮強度，表－3 に強熱減量と CH 量，表－4 に選択溶解法による溶解残渣とガラスの 反応率の結果を示す．なお，セメント硬化体中の CH 量 は酸化物換算で示した．

キーワード 太陽電池モジュール 廃ガラス 混和材

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

圧縮強度（図－2）は、ガラス粉末を 5%置換した場合、ペーストおよびモルタルともに無置換の配合と同程度であった。一方、ガラス粉末を 10%置換した場合、ペーストでは若干の強度低下がみられたが、水粉体比の大きいモルタルでは約 20%の顕著な強度低下が確認された。つまり、本研究の材齢内では、ガラス粉末のセメント質量に対する置換率が 5%までであれば圧縮強度への影響はほとんどないと考えられる。

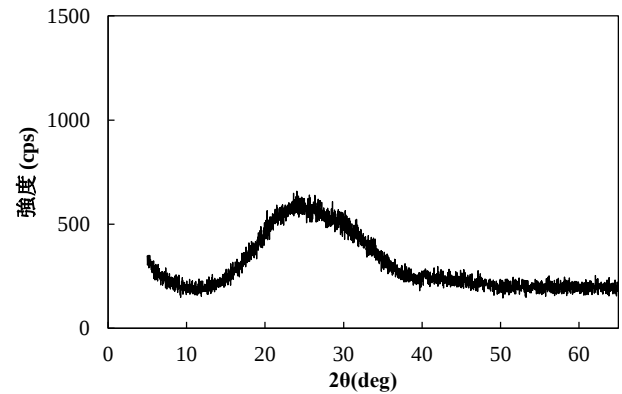
次に、強熱減量と CH 量（表－3）について、強熱減量は、ガラス粉末の置換率によらず概ね同程度の値であった。一方、CH 量は、ガラス粉末の置換量に応じて減少する傾向が認められた。ここで、ガラス粉末の反応率（表－4）に着目すると、ガラス粉末の置換率によらず 5%程度を上限とした反応が確認された。したがって、CH 量が減少した要因は、ガラス粉末をセメントの内割で置換したことが原因であると考えられるが、強熱減量に明確な差がないことから、例えば、ガラス粉末近傍の CH の中にガラス粉末から溶解した Si 等の成分が取り込まれて、CH 以外の水和物が析出した可能性も考えられる。

以上をまとめると、材齢 28 日時点において、ガラス粉末の置換率が 5%までは圧縮強度への影響がほとんどないが、置換率 10%では、ガラス粉末の反応による圧縮強度の増加よりも置換率の増加に伴う実質的な水セメント比の増加の影響が大きいと推察される。また、ガラス粉末の反応率および CH 量の減少から、ガラス粉末表面からシリケートイオンが溶出し、結果としてクリンカー鉱物の水和が促進された可能性も考えられるため、これらを詳細に検討していく必要がある。

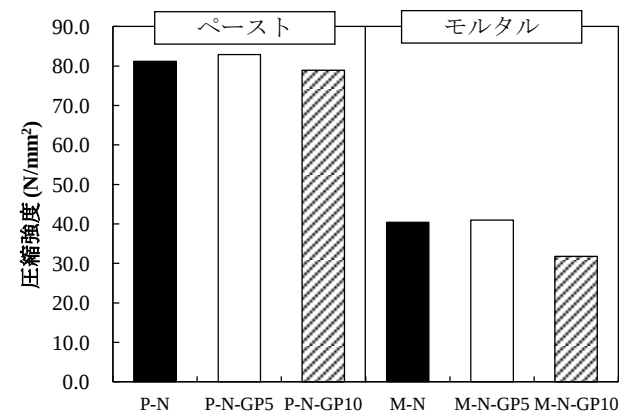
4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 75 μ m 以下に粒度調整した太陽光モジュールガラスをセメントに対して 5 %内割で置換した場合、材齢 28 日における圧縮強度は無置換と同程度であった。一方、10 %内割置換では強度低下が認められた。
- (2) ガラス粉末を内割置換したセメントペーストにおけるガラス粉末の反応率は約 5 %（材齢 28 日時点）であり、CH 量はガラス粉末の置換率増加とともに減少傾向を示した。ただし、強熱減量はガラス粉末の置換率による変化がなかったため、CH 以外の水和物が析出している可能性が示唆された。



図－1 太陽光モジュールガラスの粉末 X 線回折



図－2 材齢 28 日における圧縮強度

表－3 材齢 28 日における強熱減量と CH 量

供試体記号	強熱減量 (%)	CH 量 (mol/g)
P-N	15.46	2.80×10^{-3}
P-N-GP5	15.26	2.56×10^{-3}
P-N-GP10	15.47	2.43×10^{-3}

表－4 溶解残渣とガラス粉末の反応率

供試体記号	溶解残渣 (%)	ガラス粉末の反応率 (%)
ガラス粉末	99.7	—
P-N	25.2	—
P-N-GP5	28.7	5.2
P-N-GP10	32.2	5.0

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費挑戦的萌芽研究（課題番号：15K14010）によって行われたものである。また、本研究を実施するにあたり、宮城県庁の高橋禎一様に多大なるご協力頂きました。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 環境省：太陽発電施設のリサイクル等の推進に向けたガイドライン（第一版），平成 28 年 3 月
- 2) 近藤連一，大沢栄也：高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究，窯業協会誌，Vol. 77(2)，p.39-46，1969