

コンクリート用混和材としての太陽光モジュールガラス廃材の適用性に関する検討

東北大学 学生会員 ○貝塚 勇介
 東北大学 正会員 宮本 慎太郎 皆川 浩 久田 真
 西松建設(株) 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ており、その一つである太陽光発電の普及が急速に進んでいる。発電に用いられる太陽光パネルは2030年頃をピークに廃棄量が急増すると予測¹⁾されており、リサイクルによる廃棄物量の削減が求められている。

ここで、太陽光パネル全体の約36%の重量を占めている太陽光モジュールガラスに着目すると、組成の大半が非晶質シリカであるため、混和材として利用できる可能性が考えられる。以上の背景から、筆者ら²⁾は、粉碎した太陽光モジュールガラスを混和材として用いたモルタルの圧縮強度を測定した。その結果、太陽光モジュールガラスのセメントへの置換率が10%程度までの場合は圧縮強度に及ぼす影響が小さいことを確認した。本研究では既報²⁾に引き続き、より長期の材齢における圧縮強度と空隙率、硬化体中のCH量を評価した。また、太陽光モジュールガラスによる置換率を増加させた場合の挙動の変化に着目するため、置換率を既報よりも大きい20%で配合設計したモルタル試料を新しく作製し、圧縮強度および空隙率について評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

本研究では、市販の普通ポルトランドセメント（以下N、密度：3.16 g/cm³）、標準砂（以下Ss、密度：2.64 g/cm³）、混和材として太陽光モジュールガラス（以下SMG、密度：2.49 g/cm³、比表面積：4000 cm²/gに調整）を使用し、モルタルを作製した。SMGをセメントに置換した際の物性を評価するため、置換率を質量比で0、5、10、15、20%として計5水準を設けた。配合を表-1に示す。練混ぜはJIS R 5201に準拠して行い、 $\phi 5 \times 10$ cmの円柱供試体を作製した。試し練りをした際、SMGを置換した水準はブリーディングが認められ、さらに気体の発生に起因すると

表-1 配合

水準	W/B (%)	置換率 (%)	単位量(kg/m ³)			
			W	C	SMG	S
N	50%	0	257	513	0	1539
GS5		5	256	486	26	1536
GS10		10	255	460	51	1532
GS15		15	254	433	76	1529
GS20		20	254	407	102	1525

考えられるモルタルの膨張が生じたため、これが収束するまで練返しを実施した後に打込みを実施した。供試体は試験材齢に達するまで水中養生を施した。

2.2 試験方法

(1) 圧縮強度試験

材齢7、14、28、56、91日において圧縮強度を測定した。なお、本研究では $\phi 5 \times 10$ cmの円柱供試体を圧縮強度試験に供した。

(2) アルキメデス法による空隙率の測定

材齢7、14、28、56、91日において $\phi 5 \times 10$ cmの供試体中央部から $\phi 5 \times 2$ cmの試料をモルタルカッターで切り出した。さらに、試料を飽和状態にするために、試料をデシケータ内で水没させた後、真空ポンプでデシケータ内を24時間減圧環境下にした。この試料の表乾質量(W_1)、水中質量(W_2)を測定した。さらに、試料を105℃の乾燥炉で十分に乾燥させた後、試料の質量を絶乾質量(W_3)として測定した。そして式(1)により、試料の空隙率を算出した。

$$\varepsilon = \frac{(W_1 - W_2)\rho_w}{(W_1 - W_3)\rho_w} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 ε ：空隙率（%）、 ρ_w ：水の密度（g/cm³）である。

(3) 熱分析によるポルトランダイト量の測定

材齢28、56、91日の供試体は十分に乾燥させた後、メノウ乳鉢を用いて十分に粉碎し、示差熱-熱重量同時測定(TG-DTA)を用いてポルトランダイト量(以

キーワード 太陽光モジュールガラス ポゾラン反応 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 東北大学大学院土木工学専攻 TEL 022-795-7427

下 CH 量) を測定した。このとき、 $400 - 500^{\circ}\text{C}$ の範囲における試料の質量減少を CH 量に換算し、供試体重量に占める割合を算出した。

3. 実験結果・考察

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を図-1 に示す。SMG を置換した水準の圧縮強度は、材齢 7 日では無置換(N)の水準よりも小さかったが、その後の材齢では強度増進が認められた。特に SMG を 5, 10 %置換した水準は無置換の水準に近い圧縮強度を示した。一方で、SMG を 15, 20 %置換した水準は材齢 56 日までは他の水準と比較して圧縮強度は小さいが、材齢 56 日から 91 日にかけて大幅に強度が増進した。また、材齢 91 日における SMG を 20 %置換した水準の圧縮強度は、無置換の水準の約 90 %の値を示した。このことから、SMG をセメントに 20 %程度置換した場合でも、長期材齢になれば圧縮強度への影響は比較的小さくなると思われる。

(2) 空隙率

空隙率の測定結果を図-2 に示す。SMG を置換した水準の空隙率は N と比較して大きく、置換率が大きい水準ほど空隙率も大きい傾向が認められた。本研究では SMG をセメントに一部置換しているため、SMG を置換した水準では単位体積当たりのセメント量が小さくなり、SMG を置換した水準では空隙率が大きくなる傾向を示したと考えられる。

(3) CH 量

CH 量の測定結果を図-3 に示す。測定 CH 量は、TG-DTA の測定結果から算出した CH 量の値である。予測 CH 量は、各材齢の無置換の水準における測定 CH 量に各水準の単位結合材量に対する単位セメント量の割合を乗じて算出した値であり、SMG を置換した水準でポズラン反応が全く生じないと仮定した場合の CH 量の予測値である。図中の線は、予測 CH 量=測定 CH 量の線であり、この線より下に点がプロットされた水準は測定 CH 量が予測 CH 量より小さいことを示している。予測 CH 量と測定 CH 量を比較すると、SMG を置換した水準において測定 CH 量は予測 CH 量より小さい傾向にあった。このことから、SMG を置換した水準ではポズラン反応が進行したことで CH が消費された可能性が考えられる。

4. 結論

比表面積 $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ に微粉碎した SMG をセメント

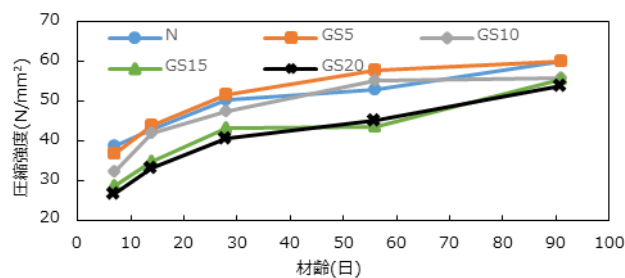


図-1 圧縮強度

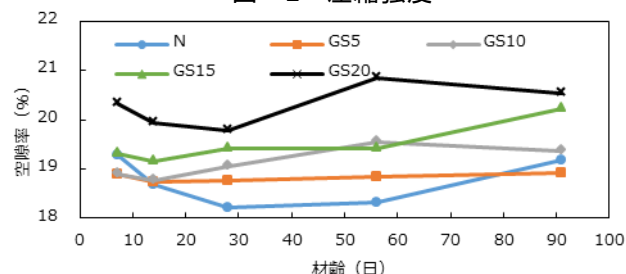


図-2 空隙率

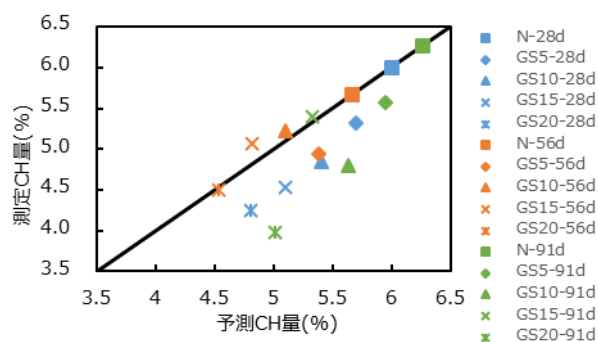


図-3 CH 量

に一部置換したモルタルにおいて、置換率 5, 10 %の水準では無置換の水準に近い圧縮強度を示した。置換率 15, 20 %の水準では材齢 56 日以前は他の水準と比較して小さい圧縮強度を示したが、材齢 91 日では強度が増進し、他の水準に近い圧縮強度を示した。このことから、SMG をセメントに置換した場合、10 %以下の置換率では圧縮強度への影響は比較的小いと言える。また、置換率を 20 %まで増加させた場合も材齢 91 日以降の長期材齢では圧縮強度への影響は小さいと考えられる。さらに、SMG を置換した水準では測定 CH 量が予測 CH 量より小さいことから、SMG がポズラン反応性を持つ可能性が示唆された。

謝辞

本研究の実施に際し、宮城県の高橋禎様にご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 環境省: 太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン (第一版), 2016
- 2) 貝塚ら: 太陽光モジュールガラス微粉末をモルタルに混和した時の圧縮強度と空隙率に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2019