

副産物を高含有した低炭素コンクリートの施工性に関する一検討

戸田建設(株) 正会員 ○川口 泰弘*1 正会員 林 光芳*1
 正会員 田中 徹*2 正会員 斉藤 隆幸*1
 西松建設(株) 正会員 佐藤 幸三*3 正会員 原田 耕司*3
 正会員 椎名 貴快*3

1. はじめに

近年、地球環境に関する問題が深刻化してきている。地球温暖化への対応はもはや避けて通ることが許されず、温暖化抑制のために、二酸化炭素の排出を厳しく抑制しなくてはならない。二酸化炭素排出抑制を初めとして、あらゆる産業において環境に対する十分な配慮が強く求められている。建設産業においても例外ではない。その中でもコンクリート材料として広く使用されているセメントは、その製造過程において膨大な量の二酸化炭素が排出される。このような背景から、コンクリート中のセメント使用量をいかに減らすかが大きな課題であり、セメントの代替材料として副産物である高炉スラグ微粉末などの混和材料の有効利用が挙げられる。しかし、セメントに対する混和材料の置換率が高くなると、混和剤の使用量が極端に少なくなり、その結果、フレッシュ性状の経時保持性が著しく低下するため、施工性に大きな影響を及ぼす。

そこで、高炉スラグ微粉末をセメントに対して JIS 上限の 70% に高置換したスランプコン配合を対象に、スラグ用に改良した AE 減水剤を用いて、フレッシュ性状の経時保持性確認を目的にした実験をおこなった。

また高炉スラグ微粉末をセメントに対して 90% 置換し、更に骨材をすべてスラグ骨材に換えたフローコン配合についても実験をおこなった。

表-1 使用材料

項目	記号	諸元
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm ³
高炉スラグ微粉末	BFS	密度 2.89 g/cm ³ 、比表面積 4,180 cm ² /g
細骨材	S	静岡県掛川産山砂：密度 2.59 g/cm ³
スラグ細骨材	BS	密度：2.69 g/cm ³
粗骨材	G	東京都青梅産硬質砂岩砕石：密度 2.65 g/cm ³
スラグ粗骨材	BG	密度：2.62 g/cm ³
混和剤	Ad1	AE 減水剤標準形（I 種）（市販品）
	Ad2	スラグ用混和剤（改良品）
	Ad3	高性能 AE 減水剤（市販品）

本稿では、これらの実験の結果について報告する。

2. 試験方法

表-1 にコンクリートの使用材料の諸元を、表-2 にコンクリートの配合を示す。No.1 は普通コンクリート（スラグ置換率 0%）、No.2 と No.3 はスラグ置換率 70% のスランプコンクリートで、前者は一般的な AE 減水剤を使用、後者はスラグ専用に改良設計したスラグ用混和剤を使用した。なお、単位水量は 163kg/m³ 一定とし、W/B=50% である。

No.4 はスラグ置換率 90% のフローコンクリート

で骨材はすべてスラグ骨材を使用している。単位水量 160 kg/m³、W/B=35% とし、高性能 AE 減水剤を使用した。

試験は No.1~3 は練上がり直後のスランプが 10.0cm±2.5cm、No.4 では練上がり直後のスランプフローが 350~450mm、空気量がそれぞれ

表-2 配合表

No.	BS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	W	単位量(kg/m ³)				Ad C×%		
					C	S	G	Ad1	Ad2		
										OPC	BFS
1	普通	0	46.0	163	326	0	821	986	1.0	—	
2	従来品	70	50.0		45.5	98	228		803	0.2	—
3	開発品				—	1.15					
No.	置換率	W/B	s/a	W	OPC	BFS	BS	BG	Ad3	C×%	
4	フローコン	90	35.0	47.9	160	46	441	829	865	1.90	

キーワード 副産物、高炉スラグ微粉末、低炭素、フレッシュ性状

連絡先 *1 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設(株) 土木工事技術部 TEL 03-3535-1675

*2 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設(株) 環境ソリューション部 TEL 03-3535-1613

*3 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設(株) 技術研究所 TEL 03-3502-0249

れ $4.5 \pm 1.5\%$ になるように配合および AE 剤添加率を調整した。また施工性を確認するため、経時変化として練上がり直後から 0 分、30 分、60 分後にフレッシュ性状確認試験（スランプ試験（JIS A 1101）、スランプフロー試験（JIS A 1150）、空気量試験（JIS A 1128））を実施した。さらに耐久性試験として、No.1~3 は圧縮強度試験（JIS A 1108）および促進中性化試験（JIS A 1152）、凝結時間試験（JIS A 1147）を行った。No.4 については圧縮強度試験、凝結時間試験（JIS A 1147）、ブリーディング試験（JIS A 1123）を行った。

3. 実験結果及び考察

スランプコンクリート配合について（No.1~3）

(1) フレッシュコンクリート性状試験

図-1 に No.1~3 配合のスランプの経時変化を示す。スランプは 30 分後で No.1 は -4.0cm 程度、No.2 は -5.0cm 程度、60 分後で No.1 は -5.0cm 程度、No.2 は -9.0cm 程度大幅にスランプロスしている。一方、No.3 は 30 分後で -1.6cm 、60 分後で -4.1cm となり、No.1 や No.2 に比べて、スラグ用混和剤を用いた方が経時保持性に優れていることがわかった。また、空気量については、60 分後のロスが、No.1 では 4.8% から -1.0% に低下したのに対して、No.3 では 4.5% から -0.7% となり同程度であった。

(2) 凝結時間試験

図-2 に凝結試験の結果を示す。なお、図中の時間表記は凝結の始発と終結の時間を示している。

No.2 は、No.1 に比べて凝結時間が遅延し、凝結の終結までに約 4 時間を要した。No.3 についても、No.2 と概ね同等の結果を得られた。なお、凝結の遅延理由として、スラグ置換率が高く、初期強度に寄与するセメント鉱物が不足していることが要因と考えられる。

(3) 圧縮強度試験

図-3 に各配合の圧縮強度試験の結果を示す。スラグ置換率が 70% の No.3 は従来の混和剤を使用した No.2 と概ね等しい強度発現特性を示した。また、スラグ置換率 0%（No.1）と置換率 70%（No.2, 3）の結果を比較すると、材齢 3 日では No.2, 3 の値が No.1 の 40% 程度であったが、材齢 28 日では約 60% まで上昇しており、No.2, 3 は材齢とともに高炉スラグの潜在水硬性による効果で強度の発現が増加傾向にあることを示していた。なお、No.3 は材齢 3 日で 10N/mm^2 を越え、材齢 28 日で 30N/mm^2 程度であり、現場施工に適用可能なレベルと考える。ただし、強度発現は温度依存性があるため、現場での温度管理や養生が重要となる。



写真-1 No.3 練上がり直後のスランプ状態

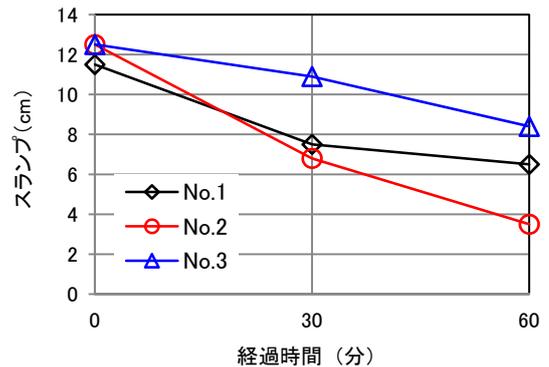


図-1 スランプの経時変化

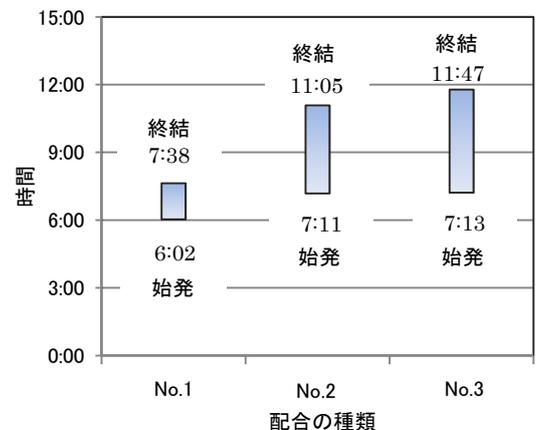


図-2 凝結試験結果

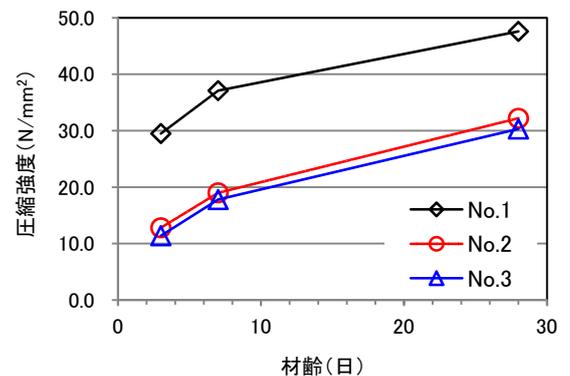


図-3 圧縮強度試験結果

(4) 促進中性化試験

促進中性化試験の結果を図-4 に示す。試験の結果、No.2 と No.3 の暴露材齢3週での中性化速度は同等であり、No.1 に比べて約 2.4 倍速いことがわかった。これはスラグ置換によって水酸化カルシウムの生成量が少なく、中性化抵抗性が低いためと考えられる。

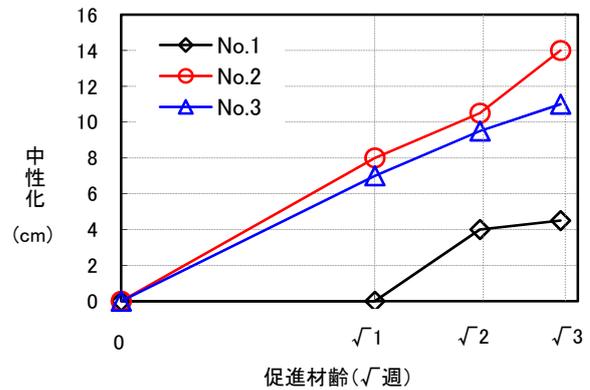


図-4 促進中性化試験結果

フローコンクリート配合について (No.4)

(1) フレッシュコンクリート性状試験

写真-2, 3 に 0 分後, 60 分後の No.4 フローコンクリートの経時変化状況を示す。

練り上がり直後のスランプフローは 462mm×454mm, 60 分後には 450mm×438mm となりフロー値の低下は 14mm とほぼ性状を保ったままであった。性状はコーンを抜き取った時に下から崩れ広がっていくのではなく、一瞬コンクリートが立った後に上のほうから広がりながら崩れていく感じであった。60 分後にコンクリートをスコップで練返すと始めは重く、硬く感じるが、何度か練返すうちに性状は復元していった。また空気量は練り上がり直後で 3.0%, 60 分後で 3.5% となった。



写真-2 フローコンクリート性状確認 (0 分後)

(2) 凝結時間試験

凝結時間試験の結果、始発時間が 23 h 48 min, 終結時間が 33 h 16 min となった。一般的なコンクリートに比べて始発時間がかなり遅延しているとともに、始発から終結までおよそ 9 時間を要した。スラグ骨材を用いたコンクリートの凝結性状は、単位水量が多めでブリーディングを生じやすい。実際にブリーディング試験の結果をしてみるとブリーディングの発生量はかなり多いことがわかった。このことが影響してスランプコンクリートの場合よりも凝結時間が遅くなったと考えられる。また性状を維持させるための高性能 AE 減水剤の添加量が想定よりも多くなってしまったため、その影響での凝結時間の遅延も考えられる。



写真-3 フローコンクリート性状確認 (60 分後)

(3) 圧縮強度試験

図-5 に圧縮強度試験結果を示す。参考として置換率 70% 普通セメントのコンクリート, 置換率 70% 早強セメントのコンクリートの試験結果を示す。No.4 では 3 日強度 12.6N/mm², 7 日強度 25.6 N/mm², 28 日強度 35.2 N/mm² となった。前述の凝結時間試験の結果では始発, 終結の時間が大幅に遅れていたが, 圧縮強度は強度が発現され, 28 日には目標呼び強度 30N/mm² を満足している。

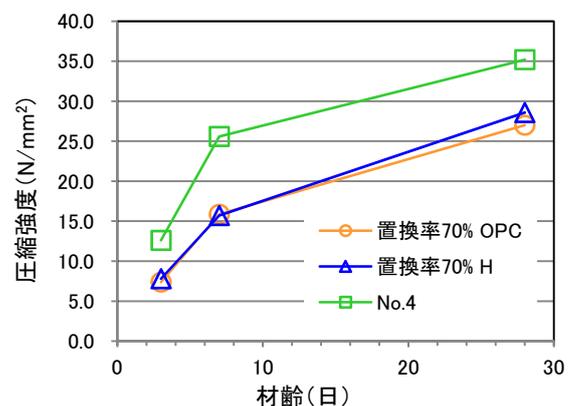


図-5 圧縮強度試験結果

(4) ブリーディング試験

図-6 にブリーディング試験結果を示す。同時に参考として置換率 70% 普通セメントのコンクリート，置換率 70% 早強セメントのコンクリートの試験結果を示す。No.4 配合コンクリートではブリーディング率が 9% と大きな値を示した。これはスラグ骨材が一般にガラス質で保水性が小さく，粒子密度が普通骨材よりも大きいことに加え，粒子自体も角張っていることも影響していると考えられる。

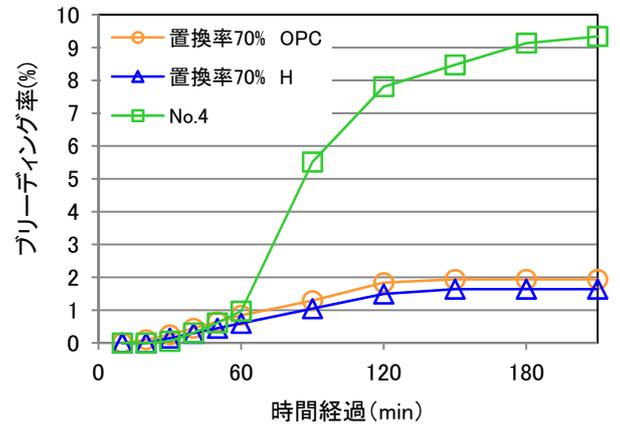


図-6 ブリーディング試験結果

4. まとめ

実験結果より No.3 の置換率 70% のスランプコンクリートは改良を加えたスラグ用混和剤を用いることで，施工面で重要なフレッシュ性状の経時保持性が改善し，強度発現特性や中性化抵抗性は従来の混和剤を用いた場合と同等であった。また，本実験のスラグ配合を使用することで置換率 70% のスランプコンクリートにおいて二酸化炭素排出量を 66% 削減¹⁾できると試算できた。

一方 No.4 の置換率 90% のフローコンクリートは凝結時間が遅れているものの，圧縮強度については 28 日で目標強度の 30N/mm² を満足することができた。現在この置換率 90% のフローコンクリートにて耐久性の試験（促進中性化試験，凍結融解試験，長さ変化試験，塩分浸漬試験，曝露試験等）を計画・実施中である。更に実施工を想定して打設温度・養生温度・養生条件の違いによる強度特性の変化を測定していく予定である。

参考文献) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コンクリートライブラリー125，2005。