

自己養生型高炉スラグコンクリートの開発

技術本部 技術研究所 中瀬博一
 技術本部 技術研究所 鈴木雅博
 技術本部 技術研究所 遠藤俊之
 技術本部 技術研究所 椎野碧

1. はじめに

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート（以降 BSPC）は、環境負荷低減に寄与し、塩分浸透抵抗性に優れるなどの特長があり、塩害の恐れがある地域における PC 構造物などへの適用実績がある。一方、BSPC は強度発現および耐久性の確保の観点から脱枠後の初期材齢時に湿潤養生が必要とされるため、プレキャスト部材に適用する場合には養生水槽等の設備が必要となり、用地の確保や水温管理の問題が生じる。このため、これまで超高強度コンクリートの自己収縮低減を主な目的とされてきた自己養生法を BSPC に応用し、脱枠後の湿潤養生を必要とせず、湿潤養生を行った場合と同等以上の強度発現および各種耐久性を有する自己養生型高炉スラグコンクリートを開発した。本報では、強度発現性および各種耐久性についての検討結果を報告する。

2. 実験概要

自己養生法によるコンクリートの湿潤養生のモデルを図-1に示す。本報では、飽水状態の多孔質な細骨材を自己養生材として一般細骨材に置換して使用し、その内包水によりコンクリート構造体の内部からの湿潤養生を試みた。

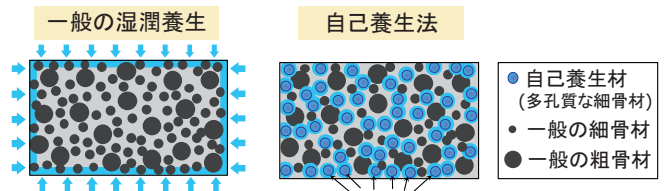
2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。自己養生材として多孔質な細骨材 SC1～SC3 をプレウェットングして用いた。以降、各種材料の略記号は表-1によるものとする。

2.2 実験の要因と水準および試験方法

実験の要因と水準およびコンクリートの試験方法を表-2に示す。実験は STEP1～STEP3 の 3 ステップで行った。STEP1 では結合材質量の 50% を高炉スラグで置換した実績配合（配合 BFS）を基準配合とし、SC1～SC3 の 3 種の自己養生材で細骨材容積の 30、50、70% を置換（SC3 は 30、50% のみ）した場合の強度発現および収縮ひずみへの影響を検討した。STEP2 では自己養生材の置換率を 30% に固定して、水結合材比（W/B）を 32.5、36.0、42.0% の 3 水準とした場合の圧縮強度データをもとに、適用を想定した PC 床版の配合を決定した。STEP3 では STEP2 で決定した自己養生型高炉スラグコンクリート配合（SC1-BFS）について、凍結融解試験、凍害スケール試験および塩分浸透試験を行った。

いずれの配合も 20±3℃ の室内で小型ミキサを用いて練混ぜ、供試体を成形後に最高温度 45℃ で加熱養生を行い、翌日の脱枠の後には 20℃ 60% R.H. の室内で気中養生とした。ただし、基準とした BFS 配合では、従来と同様に脱枠後 3 日間の湿潤養生（20℃ 水中養生）を行った後に気中養生とした場合（BFS-W3）についても検討した。



養生水：部材表面付近に浸透 養生水：部材内部全体に均等に分布

図-1 自己養生法によるコンクリートの湿潤養生モデル

表-1 使用材料

使用材料	記号	種類、性質
セメント	HC	早強セメント，比表面積：4570cm ² /g
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末，比表面積：6010cm ² /g
細骨材	S	砕砂，表乾密度：2.65g/cm ³ ，吸水率：1.67%，
細骨材（自己養生材）	SC1	人工軽量骨材，表乾密度：1.87g/cm ³ ，吸水率：15.0%
	SC2	人工軽量骨材，表乾密度：2.00g/cm ³ ，吸水率：18.0%
	SC3	多孔質セラミック，7 日浸水後の密度：2.26g/cm ³ ，7 日含水率：8.97%
粗骨材	G	砕石，表乾密度：2.92g/cm ³ ，吸水率：0.67%，
混和剤	SP, AE	高性能減水剤，AE 剤

表-2 実験の要因と水準および試験方法

STEP	要因	水準	試験方法
1	自己養生材の種類および置換率の影響（強度，収縮ひずみ）	W/B=32.5% に固定 ・自己養生材：3 種 置換率 30、50、70% (SC3 は 30、50%)	・スランブ：JIS A1101 ・空気量：JIS A1128 ・コンクリート温度：JIS A1108 ・圧縮強度：JIS A1108
2	水結合材比と強度発現の関係（配合決定）	W/B：3 水準： 32.5、37.0、42.0%	・静弾性係数：JIS A1149 ・凍結融解：JIS A1148 (A 法)
3	耐久性の検討（凍結融解，塩分浸透，スケールング）	自己養生型配合と BFS 配合、HC 単味配合の比較	・凍害スケールング：ASTM-C672 ・塩分浸透：JSCE-G572

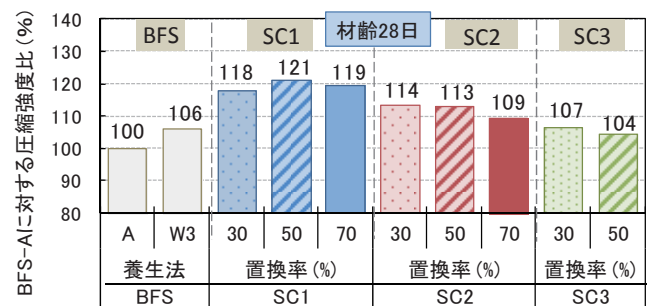


図-2 自己養生材種類および置換率と強度発現の関係

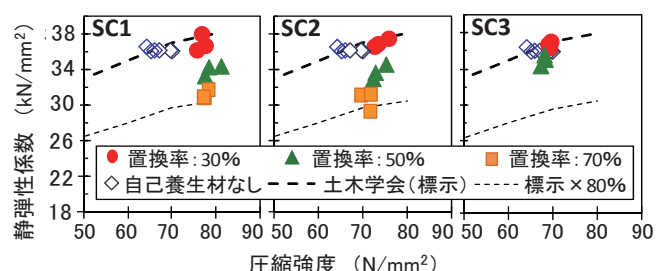


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

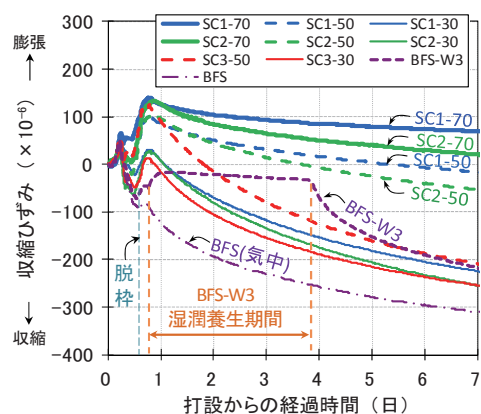


図-4 収縮ひずみ計測結果

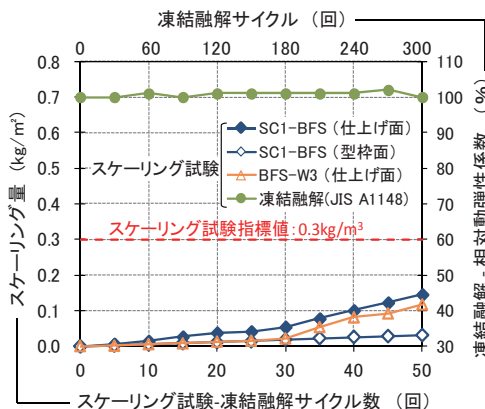


図-6 凍結融解およびスケールング試験結果

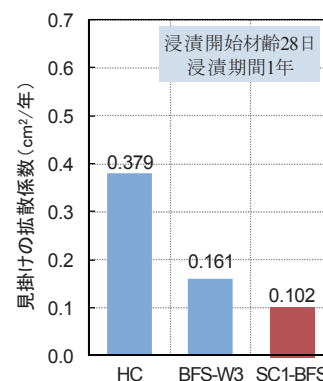


図-7 塩分浸透性試験結果

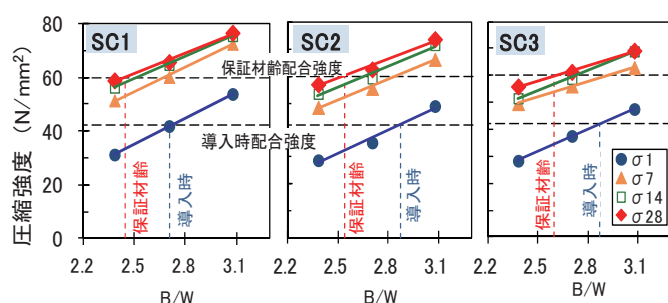


図-5 結合材水比(B/W)と圧縮強度の関係

3. 実験結果

3.1 自己養生材の置換率の検討 (STEP1)

自己養生材の種類および置換率と材齢 28 日の圧縮強度の関係を、基準配合 BFS を気中養生した場合 (BFS-A) に対する強度比率で表したものを図-2 に示す。BFS-A に対し、湿潤養生を 3 日間行った BFS-W3 は 6% 大きな強度発現を示し、自己養生材 SC1~SC3 を用いた配合は、SC1 で 18~21%、SC2 で 9~14%、SC3 では 4~7% 大きな強度発現を示した。これより、自己養生材を用いることにより、自己養生材の種類および置換率にかかわらず、BFS-A に比べ大きく、BFS-W3 と同等以上の強度発現が得られることが明らかとなった。

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3 に示す。SC1~SC3 のいずれの場合も、置換率が 30 Vol.% の場合は土木学会コンクリート標準示方書に記載の圧縮強度と静弾性係数の関係式 (標示式) と同等の値を示したが、置換率が大きくなるに従い静弾性係数は小さくなり、標示式を下回る傾向であった。

収縮ひずみの計測結果を図-4 に示す。ここでの収縮ひずみは、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体の中心部に埋設したひずみ計により計測された自己収縮と乾燥収縮を合算値である。自己養生材 SC1~SC3 を用いた配合では、脱枠後に膨張側の挙動を示した後に収縮に転じる傾向が認められ、初期の膨張ひずみは置換率が大きいほど大きくなる傾向であった。

以上の検討の結果、強度発現および収縮ひずみの観点からは、自己養生材による置換率はいずれも問題とならない結果であったが、静弾性係数に関しては置換率を 30% とするのが望ましい結果であったため、STEP2 以降では自己養生材による置換率を 30% として検討した。

3.2 結合材水比と強度発現の関係 (STEP2)

結合材水比(B/W)と圧縮強度の関係を図-5 に示す。B/W と圧縮強度は、いずれの自己養生材を用いた場合でも高い相関性を示した。この結果より、適用を想定したプレキャスト PC 床版に対応する W/B を算定した結果、SC1 では 36.0%、SC2 および SC3 では 34.0% となった。これより、STEP3 では最も強度発現に優れる SC1 (配合名 SC1-BFS) を採用した。

3.3 耐久性の検討結果 (STEP3)

凍結融解試験および凍害スケールング試験結果を図-5 に示す。凍結融解試験では自己養生型配合の SC1-BFS は 300 サイクルにおいても相対動弾性係数は 100 であり、優れた耐凍害性を示した。また、凍害スケールング試験では、型枠面、仕上げ面いずれも既往の研究を参考に設定した指標値である 0.3 kg/m^3 を下回り、優れた凍害スケールング抵抗性を有していることが確認された。

塩分浸透性試験結果を図-7 に示す。自己養生型配合の SC1-BFS 配合は BFS-W3 および早強セメント単味の HC に比べ塩分拡散係数が小さく、塩分浸透抵抗性が高い結果となり、自己養生型高炉スラグコンクリートは湿潤養生を行わない場合でも優れた塩分浸透抵抗性を有することが確認された。

4. まとめ

高炉スラグコンクリートは飽水させた多孔質な細骨材を自己養生材として一般の細骨材に 30% 置換して使用することにより、内包水によるコンクリート内部からの湿潤養生効果が期待でき、外部から湿潤養生を行った場合と同等以上の強度発現および各種耐久性が得られることが確認された。このため、脱枠後の湿潤養生が困難な場合でも、自己養生型の高炉スラグコンクリートとすることで、湿潤養生を行うことなく高品質なプレキャストコンクリート部材の製造が可能であると考えられる。

Key Words: 自己養生, 高炉スラグ, プレキャスト部材



中瀬博一



鈴木雅博



遠藤俊之



椎野碧