早強性膨張材と高炉スラグ微粉末を併用したコンクリート製品の品質評価

株式会社ヤマウ　正会員　○田中　孝一
株式会社ヤマウ　正会員　濱中　聡生
太平洋マテリアル株式会社　正会員　金堀　雄伍
東海大学　正会員　伊達　重之

１．はじめに

コンクリート製品（以下，製品）に高炉スラグ微粉末を使用することにより，環境負荷低減に加えて水密性の向上，アルカリ骨材反応の抑制，塩化物イオン浸透に対する抵抗性など耐久性向上が期待できるが，一方で高炉スラグ微粉末を使用することで，自己収縮や乾燥収縮が大きくなる傾向にあり，収縮ひび割れの抵抗性を高める必要がある．この対策として高炉スラグ配合に早強性膨張材を用いて効果を検証した研究[1) 2)]が報告されている．

本報告では，高炉スラグ微粉末に石灰系の早強性膨張材を併用した場合と併用しない場合のコンクリートを蒸気養生の条件下にて，拘束膨張率及び圧縮強度の効果と影響について確認した．さらに実機にてボックスカルバートを製作し，製品の曲げ耐力試験にて要求品質を確認することで，早強性膨張材の有用性について評価した．

２．試験概要

２．１ 使用材料

セメントには普通ポルトランドセメント（N，密度：3.15g/cm^3），混和材には高炉スラグ微粉末 6000（Sg, 密度：2.91g/cm^3），細骨材には福岡県産除塩海砂（S，表乾密度：2.59g/cm^3），粗骨材には福岡県産砕石 2005（G1，表乾密度：2.75g/cm^3）及び同県産砕石 1305（G2, 表乾密度：2.73g/cm^3），混和剤にはポリカルボン酸系の高性能減水剤（AD）を使用した．膨張材には石灰系の早強性膨張材（EX，密度：3.17g/cm^3）を使用した．

２．２ コンクリートの配合条件

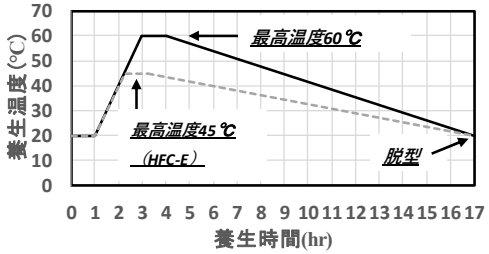
表－1 に，コンクリートの配合条件を示す．配合は，普通コンクリート（以下，NC），高流動コンクリート（以下，HFC）の 2 種類とした．EX の使用量は，25kg/m^3 を結合材（N+Sg）の内割置換とした．

表－1　コンクリートの配合条件

配合種類	W/B (%)	Sg/B (%)	s/a (%)	SLorSF (cm)	Air (%)	単位量（kg/m^3） W	N	Sg	EX	S	G1	G2	AD
NC	39	30	44	18±2.5	2.0 ± 1.5	165	296	127	－	772	1041	-	1.91
NC−E							279	119	25				1.90
HFC	35	40	47	60±10		170	291	195	－	785	-	938	3.17
HFC−E							277	184	25				3.16

２．３ 養生条件

図－1 に，1 次養生条件を示す．養生では，1 次養生を前置き 20℃にて 1 時間，昇温速度 20℃/hr, 最高温度を 60℃にて 1 時間保持とし，材齢 17 時間後に脱型を実施した．2 次養生を材齢 1 日及び 14 日まで環境温度 20℃, 湿度 65％で実施した. HFC-E では 1 次養生の最高温度を 60℃と 45℃の 2 条件とした．



図－1　1 次養生条件

２．４ 試験項目

拘束膨張及び収縮試験は JIS A 6202-B 法に準拠し材齢 1，2 日及び 7 日，圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠し材齢 17 時間及び 14 日とした．

３．試験結果

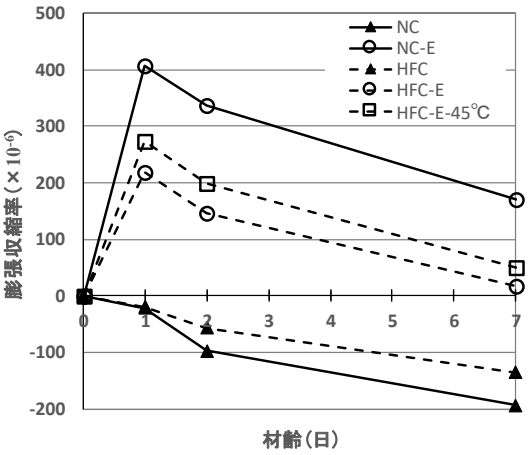
３．１ 拘束膨張及び収縮試験

図－2 に拘束膨張及び収縮試験の結果を示す．EX を使用していない場合は，NC と HFC では材齢 1 日から収縮側となり，EX を使用した場合は，NC-E と HFC-E では材齢 1 日から膨張側となった．EX の有無による膨張率の差は，普通コンクリートでは材齢 1 日で 428×10^{-6}, 材齢 7 日では 365×10^{-6}, 高流動コンクリートではそれぞれ 238×10^{-6},

キーワード　膨張材，高炉スラグ微粉末，コンクリート製品，収縮ひび割れ，蒸気養生
連絡先　〒811-1102　福岡県福岡市早良区東入部 5 丁目 15-7　ＴＥＬ092-872-3301

© Japan Society of Civil Engineers

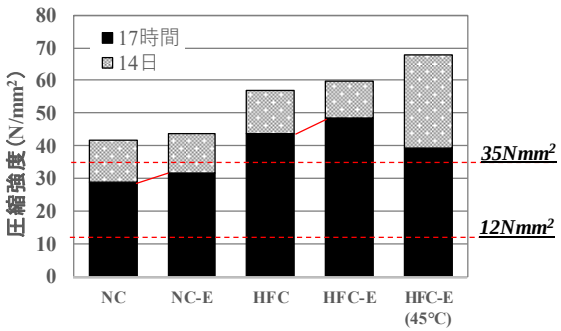
153×10^{-6} となり，EX と Sg を併用した普通及び高流動コンクリートとともに，収縮ひび割れの抵抗性を高められる効果が確認できた．また，HFC−E を養生温度 60℃と 45℃で比較した膨張率の差は，材齢 7 日まで同程度となり，この範囲における最高温度では膨張率へ与える影響は小さいと考えられる．



図－2　拘束膨張及び収縮試験結果

３．２ 圧縮強度

圧縮強度の品質目標値を材齢 17 時間では 12N/mm² 以上，材齢 14 日では 35N/mm² 以上とした．**図－3** に圧縮強度試験の結果を示す．養生温度 60℃のコンクリート配合に EX を使用した場合，NC-E 及び HFC-E とともに，材齢 17 時間にて強度が 1.1 倍程度高くなっており，早強性の効果が確認された．なお，HFC−E を養生温度 60℃と 45℃で比較した圧縮強度の結果，① 材齢 17 時間では，養生温度 60℃の方が 45℃より 1.2 倍程度強度が高くなった．② 材齢 14 日では，養生温度 45℃の方が 60℃より，1.1 倍程度強度が高くなった．③ 材齢 17 時間から 14 日までの強度推移では，養生温度 60℃では 11.4 N/mm²，45℃では 28.5 N/mm² となり，2.5 倍程度強度が増進した．どちらの養生温度においても，所定の強度を有していることが確認できた．



図－3　圧縮強度試験結果

４．製品の曲げ耐力試験

ボックスカルバートを用いた実機試験では，**表－1** に示す EX と Sg を併用した 2 種類のコンクリートを使用し，養生条件では 1 次養生を NC−E では養生温度 60℃，HFC−E では養生温度 45℃とし，2 次養生は材齢 14 日まで屋外ストックヤードにて実施した．**表－2** に製品の曲げ耐力試験の結果を示す．JIS A 5372 附属書 C 暗渠類－鉄筋コンクリートボックスカルバート 2 種に準拠し，推奨仕様 C-4 に規定されている RC-2 種 2000×2000 のひび割れ荷重規格値 155kN（77.5kN/m）の品質を確認した結果，曲げひび割れ耐力を有したことが確認できた．その後，ひび割れが確認されるまで試験を継続し，NC−E では規格値の 1.4 倍程度（220kN），HFC−E では規格値の 1.2 倍程度（183kN）でひび割れが発生した．以上のことから，EX を使用した製品においても，曲げひび割れ耐力の要求品質を満足することが確認できた．

表－2　製品の曲げ耐力試験結果

配合種類	JIS A 5372 による規格値	ひび割れ発生荷重値
NC−E	155kN 以上（77.5kN/m）	220kN
HFC−E		183kN

５．まとめ

石灰系の早強性膨張材と高炉スラグ微粉末を併用し，蒸気養生を使用した場合のコンクリートについて，以下の知見を得た．

(1)　普通及び高流動コンクリートとともに，材齢初期の膨張率と圧縮強度を増加させる効果が確認できた．

(2)　高流動コンクリートにおいては，養生温度を 60℃と 45℃とした場合，どちらも所定の膨張率と圧縮強度を有していることが確認できた．

(3)　コンクリート製品の実機試験において，所定の曲げひび割れ耐力を有していることが確認できた．

参考文献

1)　伊達重之ほか：高炉スラグ配合コンクリート二次製品の品質向上に関する研究，土木学会第 62 回年次学術講演会，5-239，pp.477−478，2007

2)　長谷川聖史ほか：蒸気養生を施した高炉スラグ配合コンクリートへの早強型膨張材の適用，土木学会第 62 回年次学術講演会，5-555，pp.1109−1110，2007

© Japan Society of Civil Engineers