

高炉スラグ微粉末混合コンクリートの耐久性の検証を目的とした曝露試験

オリエンタル白石(株) 正会員○吉村 徹

西日本高速道路(株) 非会員 鮫島 力

西日本高速道路(株) 正会員 西谷 朋晃

西日本高速道路総合サービス沖縄(株) 非会員 宜志富紹一

1. はじめに

沖縄自動車道・億首川橋のリニューアル工事では、全てのコンクリートに高炉スラグ微粉末 6000（以下、BFS6000）を混合している。本橋ではBFS6000を用いることで、塩化物イオンの浸透やアルカリ骨材反応を大幅に抑制している。この抑制効果は、電気泳動試験やカナダ法といった室内促進試験により確認しているが、得られた結果の妥当性を実環境下において検証するために、より腐食性環境にある許田高架橋の下で2009年から長期曝露試験を行っている。本稿では、これまで実施した2度の調査について結果の概要を報告する。

2. 曝露試験の概要

写真-1に曝露試験の状況を示す。現地曝露した試験体は、 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱試験体および縦700×横2000×幅400mmの試験体（以下、模擬試験体）である。曝露場所は、許田高架橋下り線側のP5-P6橋脚間としたが、選定の理由は、海岸部に近接し厳しい腐食性環境にある場所を選ぶことにより、コンクリートの耐久性評価をより早く検証できるよう配慮したためである。実施期間は、2009年から2019年の10年間の予定である。これまで、2012年（曝露3年）と2016年（曝露6年）に調査を実施しており、曝露3年調査の詳細については文献（1）を参照されたい。

図-1に試験項目の概要を示す。試験項目は、圧縮強度、中性化速度、塩化物イオン浸透性およびアルカリ骨材反応性である（試験a～試験e）。本試験では表-1に示す6種類の配合を用意しており、1回の調査において配合ごとに試験a～eを実施した。以下に試験a～eの概要をそれぞれ示す。

試験aでは、円柱試験体を試料とし、1配合あたり3本の圧縮強度試験を実施した。試験bでは、模擬試験体からコア（海側および山側）を採取し、中性化深さを測定した。試験cでは、試験b用に採取したコアから試験片を切出し、EPMAによる面分析を実施した。その後、試験片を試料として塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出した。試験dでは、模擬試験体内部に埋設したセンサの自然電位を遠隔計測し、腐食の進行度を評価した。センサは6体の模擬試験体の全てに1基ずつ埋設している。試験eでは、円柱試験体に埋め込んだゲージブラグの2点間距離（長さ変化率）を測定し、アルカリ骨材反応性の有無について調べた。コンクリートの呼び強度は3種類（60, 40, 36 N/mm²）を設定し、各強度に対してBFS6000を混

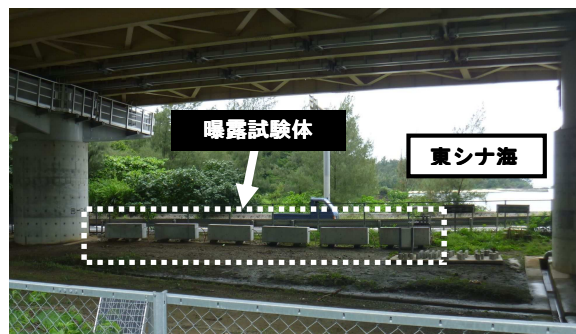


写真-1 沖縄自動車道・許田高架橋下での曝露試験状況

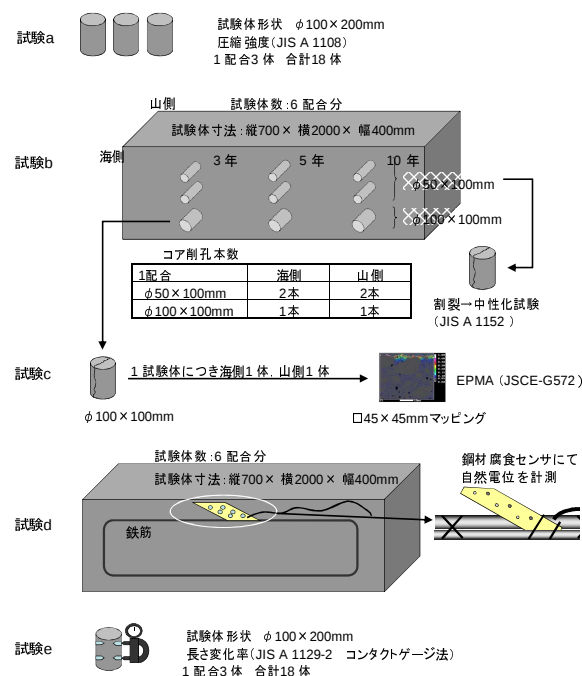


図-1 試験項目の概要（試験a～試験e）

表-1 試験体に適用した6つの配合

名称	呼び強度 (N/mm ²)	スラブ (cm)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)						
				水	セメント	BFS6000	粗骨材	細骨材	膨張材	高性能AE
60H (早強単味)	60	12	30.9	150	485	—	1154	722	—	4.85
60B (BFS6000)	60	12	31.9	150	235	235	1094	778	—	4.47
40N (普通単味)	40	18	40.0	170	405	—	964	762	20	2.76
40B (BFS6000)	40	18	40.0	162	183	202	964	791	20	1.82
36N (普通単味)	36	12	43.0	159	350	—	1023	783	20	2.41
36B (BFS6000)	36	12	43.0	153	158	178	1023	799	20	1.60

キーワード 耐久性、高炉スラグ微粉末、塩化物イオンの見掛けの拡散係数、遠隔モニタリング

連絡先 〒810-0001 福岡市中央区天神 4-2-31

オリエンタル白石(株)福岡支店 TEL. 092-761-6934

〒901-02101 沖縄県浦添市西原 4-41-1

西日本高速道路(株)九州支社 TEL. 098-870-5038

合した配合と、その比較用に単味配合を用意した（表－1）。

3. 調査結果

3.1 試験 a：圧縮強度

図－2 に圧縮強度の試験結果を示す。60H と 60B は曝露開始時における試験体の材齢が他と異なるが、全ての試験体で強度の増進が確認できた。6 年調査の結果、BFS6000 を混合した試験体は、同強度の単味配合の試験体に比べ 15～20%程の強度増加が確認できた。

3.2 試験 b：中性化速度試験

図－3 に中性化深さの測定結果を示す。試験 b では、36N と 36B の試験体で 1mm 程の中性化深さを示す結果であったが、それ以外では中性化深さは微小であった。BFS6000 を混合した試験体と単味配合の試験体に明確な差異は確認されなかった。

3.3 試験 c：塩化物イオン浸透性試験（その 1）

本調査では、浸せきによる塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験（JSCE-G572）を参考に、見掛けの拡散係数を算出した。図－4 に得られた結果を示す。図中には、コンクリート標準示方書で想定している水結合材と見掛けの拡散係数との関係式（1）を付記した。

$$\log D = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2 \quad \text{式 (1)}$$

高炉スラグ微粉末を用いた新潟で行われた曝露試験によれば、曝露 10 年の試験値から求めた見掛けの拡散係数は相当小さく、式（1）の第 3 項を－0.5 および－1.0 とした 2 次曲線の範囲に入ることが報告されている。図－4 に式（1）の第 3 項を－0.5 および－1.0 とした曲線も付記した。本調査で求めた塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、式（1）の第 3 項を－1.0 とした曲線に近い結果を示している。

3.4 試験 d：塩化物イオン浸透性試験（その 2）

本試験では、試験体に埋設したセンサの自然電位を遠隔計測できるシステムを構築している。図－5 にこれまでに回収したデータのうち、曝露 3 年目と曝露 6 年目に得られた測定値を示す。図より、BFS6000 を混合した試験体が単味配合に比べて貴電位側（非腐食側）へシフトしている。BFS6000 を混合した試験体は、単味配合の試験体に比べ、鋼材が腐食しにくい環境にあることが確認された。なお、使用したセンサは自然電位を腐食の判定基準としており、腐食の判定基準には ASTM C876 規格²⁾を用いて評価している。

3.5 試験 e：アルカリ骨材反応性試験

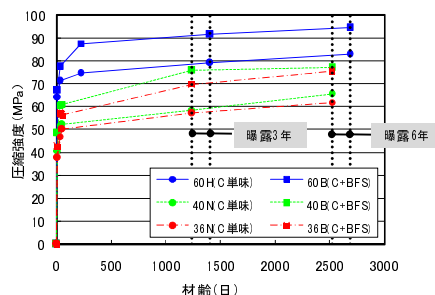
試験 e では、実施した 2 度の調査において、アルカリ骨材反応を示すような膨張量は確認されなかった。

4. まとめ

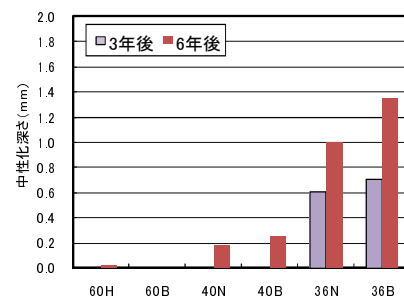
これまでの調査結果から、圧縮強度の長期的な増進が確認でき、BFS6000 を混合することで鋼材が腐食しにくい環境にあることが確認された。見掛けの拡散係数についても 3 年目より 6 年目の結果が小さくなる結果を示している。これは、材齢が進むにつれてコンクリート内部の緻密性が高まり、塩分浸透抵抗性が高まることが要因と考えられる。

参考文献

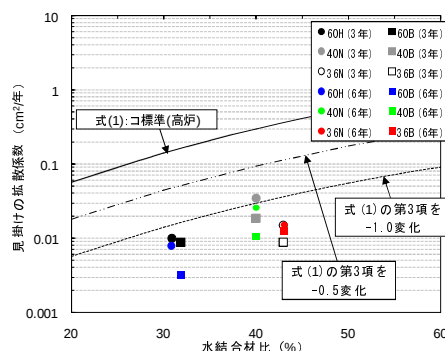
- 1) 吉村，二井谷，俵，枝木：高炉スラグ微粉末混合コンクリートの耐腐食性調査のための曝露試験と腐食電位の遠隔モニタリング，材料と環境，64，2015。
- 2) ASTM：AnnualBook of ASTM Standards, Section 4 Constrution,1995。



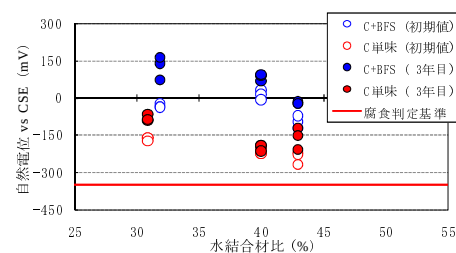
図－2 圧縮強度試験結果の比較



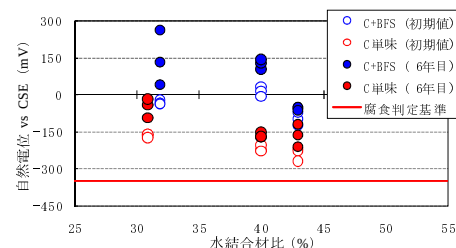
図－3 中性化深さの比較



図－4 見掛けの塩化物イオン拡散係数



(a) 曝露 3 年目



(b) 曝露 6 年目

図－5 センサより測定した自然電位