

高炉スラグ微粉末を大量使用したコンクリートの港湾の無筋ブロックへの適用性に関する検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○川端 雄一郎, 中村 董

1. はじめに

港湾工事の脱炭素化に向けて、低炭素な材料の積極活用が期待され、各種検討が進められている。港湾ではセメントに高炉セメント B 種が多く用いられているが、より低炭素なコンクリートの港湾構造物への現場実装が期待されている¹⁾。本稿では、高炉スラグ微粉末 (BFS) を大量使用 (70%以上) したコンクリートを港湾の無筋コンクリート部材に早期実装することを目的として、これらのコンクリートの港湾の無筋コンクリート部材への適用性について検討を行った。本稿では、室内試験およびブロックの載荷試験結果を報告するとともに、ケーソン式防波堤の無筋コンクリート部材に適用した場合の CO₂ 削減効果の試算結果を示す。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を、表-2 に示方配合を示す。本検討では、高炉スラグ微粉末で普通ポルトランドセメントを 70% および 85% 質量置換した 2 ケース (BFS70 (高炉セメント C 種相当), BFS85)、また比較として高炉セメント B 種 (BB) を用いた 1 ケースの計 3 ケースとした。BFS70, BFS85 では W/B を 50%, BB では 60% とした。なお、いずれの配合もスランプ 12 ± 2.5 cm, 空気量 4.5 ± 1.5% を満足した。室内試験では、コンクリートの練混ぜを温度 10, 20, 30 °C で行い、所定の材齢まで各温度で封緘養生を行い、圧縮強度試験を実施した。

また、同一配合で 2t 型消波ブロックを製造し、載荷試験 (2 体/1 ケース) を行った。載荷試験では、既往の研究²⁾を参考に、3 点ローラー支持とした。このとき、打設面側の脚部を折損させるため、ブロックを転置し、打設面側を支点とした上で、載荷点中心がブロックの中心よりも 78 mm 打設面側の脚部に偏心するよう設置した。なお、載荷試験時のコンクリートの圧縮強度は BB で 22.4 N/mm², BFS70 で 19.9 N/mm², BFS85 で 16.1 N/mm² であった。

3. 実験結果および考察

図-1 に圧縮強度の経時変化を示す。なお、温度 10 °C のケースでは材齢 1 日で脱型できなかった。図より、温度 10, 20 °C において、BFS70 は BB と同等の強度発現で、30 °C では BFS70 は BB よりも高い強度を示した。一方、BFS85 では、材齢 3 日以降の強度が他よりも低かった。材齢 28 日に着目すると、BB および BFS70 では全ての温度で 18 N/mm² 以上であった。一方、BFS85 では温度 30 °C 以外は 18 N/mm² に達しなかった。港湾の施設の技術上の基準・同解説では、無筋コンクリートの強度は一般に 18 ~ 21 N/mm² とされている。BFS70 は BB よりも W/B を 0.1 程度低下させることで、同等の強度発現を得られ、従来の製造サイクルが適用可能であることが分かった。一方、BFS85 では、BB と同様の強度発現および 28 日強度を得るためには、W/B をさらに低下させる必要がある。

載荷試験での荷重-変位関係を図-2 に示す。BB と BFS70 はほぼ同様の荷重-変位関係を示したが、BFS85 は剛性が低くなった。これはコンクリートのヤング係数が約 80% であったことが理由の一つと考えられる。最大荷重 (2 体平均) は BB で 379 kN, BFS70 で 402 kN, BFS85 で 340 kN であった。BFS85 の強度は BB の 72% であったことから、W/B を低下させて必要強度を確保すれば BB で製造したブロックと同程度の耐力が得られると推察される。

表-1 使用材料

材料	標記	
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³ , ブレーン比表面積: 3300cm ² /g)
	BB	高炉セメント B 種 (密度: 3.04g/cm ³ , ブレーン比表面積: 3850cm ² /g)
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末 (密度: 2.89g/cm ³ , ブレーン比表面積: 4290cm ² /g, 石膏入り)
細骨材	S	陸砂 (密度: 2.57g/cm ³ , 吸水率: 2.48%, FM: 2.73)
粗骨材	G	砕石 2005 (密度: 2.67g/cm ³ , 吸水率: 0.42%)

キーワード 高炉スラグ微粉末, CO₂ 排出量, 無筋コンクリート, 低炭素コンクリート
連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
港湾空港技術研究所 構造研究領域 構造新技術研究グループ TEL046-844-5059

表-2 示方配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	OPC	BB	BFS	S	G
BB	60.0	47	165	0	275	0	845	990
BFS70	50.0	47	165	99	0	231	820	964
BFS85	50.0	47	165	50	0	281	818	958

写真-1 にブロックの破壊形態を示す。多くの消波ブロックは打設面の脚付け根部で破壊（写真-1 (a)）したが、BFS70 では2体のうち1体が打設面の脚先端部で破壊に至った（写真-1 (b)）。破壊面を確認したところ、粗骨材が偏在している箇所が確認された。これは施工時のバイブレータの挿入箇所等でモルタルが多くなり、その部位を起点に破壊が進展したものと判断した。したがって、このような破壊形態は BFS を大量使用したことに起因するものではなく、施工に起因したものと推測された。実際、本稿で報告していないものの、他のブロックでも同様の破壊が生じた破面では粗骨材の偏在が確認された。

4. 港湾工事としてのCO₂削減効果

BB または BFS70 をケーソン式防波堤（図-3）の無筋コンクリート部材に適用した場合の CO₂ 削減効果を試算した。文献 3)を参考に各材料の CO₂ 排出原単位を設定し、コンクリートの CO₂ 排出量を算出したところ、BB で 139.1 kg-CO₂/m³、BFS70 で 97.0 kg-CO₂/m³ となった。防波堤工事の試算では、建設機械や作業船の稼働による燃料燃焼・生産、材料製造による CO₂ 排出量を算定対象とした。なお、どちらのケースでもケーソンのコンクリートには BB を用いることとし、材料の変更による機械稼働等への影響はないものとした。図-4 に各工種での試算結果を示す。試算の結果、対象のケーソン式防波堤のうち無筋コンクリート部材に BFS70 を使用することで、工事全体における CO₂ 排出量が BB 使用時から 16%（BB : 1179 kg-CO₂/m、BFS70 : 995 kg-CO₂/m）削減された。

5. おわりに

BFS を大量使用（70%以上）した低炭素コンクリートの港湾の無筋コンクリート部材への適用性について検討を行うとともに、ある防波堤ケーソン式防波堤を対象に低炭素コンクリートを適用した場合の CO₂ 削減効果を試算した。低炭素コンクリートは港湾の無筋コンクリート部材に比較的適用し易く、積極的な活用が期待できることから、コスト等の観点からも検討を行い、現場実装を早急に進めたい。

【参考文献】¹⁾国土交通省関東地方整備局港湾空港部：港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル, 2023.3, ²⁾川端雄一郎, 岩波光保, 加藤絵万：スラグ細骨材を大量混合したコンクリートの各種特性, 港湾空港技術研究所資料 No.1233, 2011, ³⁾中村堇, 川端雄一郎, 辰巳大介：港湾構造物の建設時における CO₂ 排出量算定に関する基礎的検討—工事实施前での CO₂ 排出量推定のための手法の整理と試算—, 港湾空港技術研究所資料 No.1399, 2022

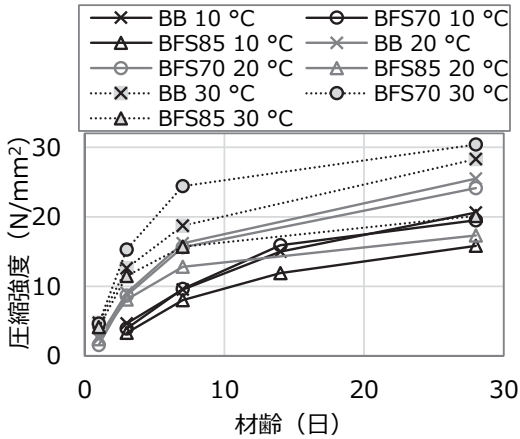


図-1 圧縮強度

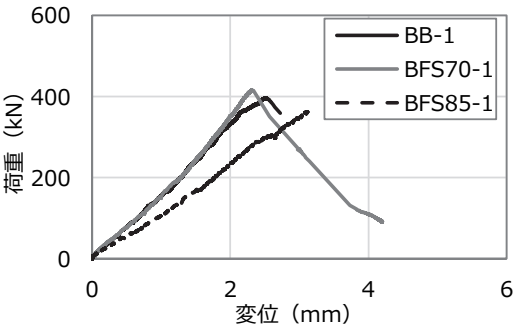


図-2 荷重-変位関係の一例



写真-1 ブロックの破壊形態

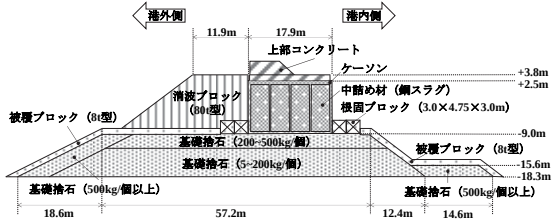


図-3 試算対象のケーソン式防波堤

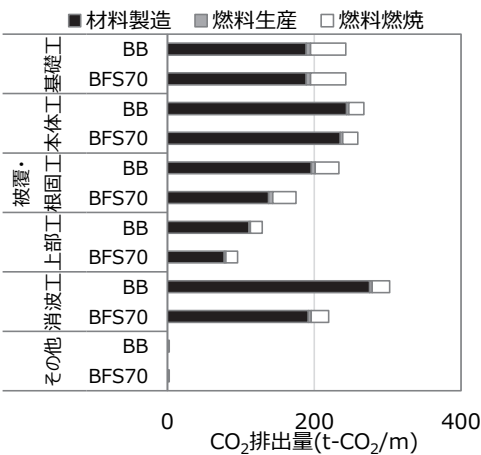


図-4 試算結果