

海洋環境下に長期間暴露した各種セメントを用いたコンクリートの力学的特性

三菱マテリアル(株) ○正会員 石中正人
(独)港湾空港技術研究所 正会員 審良善和
太平洋セメント(株) 正会員 三谷裕二
(株)トクヤマ 非会員 重永裕二

1.はじめに

海洋環境下に10年間暴露した各種セメントを用いたコンクリートの圧縮強度および静弾性係数について報告する。

2.実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントの種類を表-1 に示す。セメントは、各種ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末(BFS), JIS A 6201(コンクリート用フライアッシュ)の種および種に適合するフライアッシュ(FA)や石灰石微粉末(LS)を混合した10種類を用いた。また,その他の材料に、陸砂、硬質砂岩碎石およびAE減水剤を使用した。コンクリートの配合は、水セメント比(W/C)が、ポルトランドセメントでは40%,50%,60%,混合セメントでは50%とし、いずれも目標スランプを8cm、空気量を4.5%とした。

2.2 養生および暴露条件

試験に供する供試体は、材齢28日まで封かん養生した後、暴露した。暴露条件を表-2 に示す。海洋コンクリートにおける環境区分として、酒田感潮および久里浜感潮は干満帯、久里浜海浜は海上大気に分類される。東京屋外は、塩化物の影響をほとんど受けない環境である。

2.3 試験項目

暴露開始時および暴露材齢5年、10年において、φ10×20cmの円柱供試体の圧縮強度および静弾性係数とφ15×30cmの円柱供試体の表層部(5~15mm)と中心部(50mm以上)から採取した試料の細孔量を水銀圧入式ポロシメータにより測定した。なお、細孔量の結果は表層部と中心部の平均値を用いた。

3.実験結果

3.1 圧縮強度

暴露開始時(封かん養生28日)の圧縮強度に対する暴露後の圧縮強度比を図-1に示す。図中の数字は暴露開始時の圧縮強度を示す。暴露開始時の圧縮強度は、ポルトランドセメント(NC MC>LC)>BFS系((NBB MBB LBB)>FA系(FC FCN) LS系 NBFの順に高かった。これは封かん養生では水分の供給がなく、さらに若材齢であるため、ポルトランドセメント系の強度発現性が優れたと考えられる。酒田・久里浜感潮に暴露した場合では、LPを除く混合セメントでは、ポルトランドセメントに比べ、強度比が大きく、暴露後の強度が大きく増進した。BFS系では、ベースセメントに低熱系ポルトランドセメントを用いたMBBやLBBがNBBより強度発現性に優れた。また,FA系では、種より種のFAを用いたFCの方が強度発現性に優れた。一方、

表-1 セメントの種類

種類	記号	成分・構成等
普通ポルトランドセメント	NC	
中熱ポルトランドセメント	MC	C ₂ S=34%
低熱ポルトランドセメント	LC	C ₂ S=54%
NCベース BFS 混合セメント	NBB	NC:BFS=5:5
MCベース BFS 混合セメント	MBB	MC:BFS=5:5
LCベース BFS 混合セメント	LBB	LC:BFS=5:5
NCベース FA 種混合セメント	FC	NC:FA =7:3
NCベース FA 種混合セメント	FCN	NC:FA =7:3
NCベース LS 混合セメント	LP	NC:LS=7:3
NCベース FA 混合高炉セメント	NBF	NC:BFS:FA=2.5:5:2.5

BFS:高炉スラグ微粉末, FA:フライアッシュ,
LS:石灰石微粉末

表-2 暴露条件

場所		環境	記号
山形県酒田市	港内海中設置の架台上	感潮	酒田感潮
神奈川県 横須賀市	海水循環槽内(干満差1.5m)	感潮	久里浜感潮
	海岸線から10mの地点	海浜	久里浜海浜
東京都北区	建屋屋上	屋外	東京屋外

キーワード：低発熱セメント，海洋暴露，圧縮強度，静弾性係数，細孔量

連絡先：〒368-8504 埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬 2270 番地 三菱マテリアル㈱セメント研究所 TEL0494-23-7209

ポルトランドセメントでは、強度比が小さく、材齢5年から10年にかけて強度が低下しているケースも散見された。これは、ポルトランドセメントでは、海水によるエトリングタイトの生成および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶脱等の影響を受けた可能性がある。久里浜海浜・東京屋外に暴露した場合では、総じて、セメント種類間での強度比の差は小さかった。ただし、FA系の強度比は他のセメントに比べ大きかった。

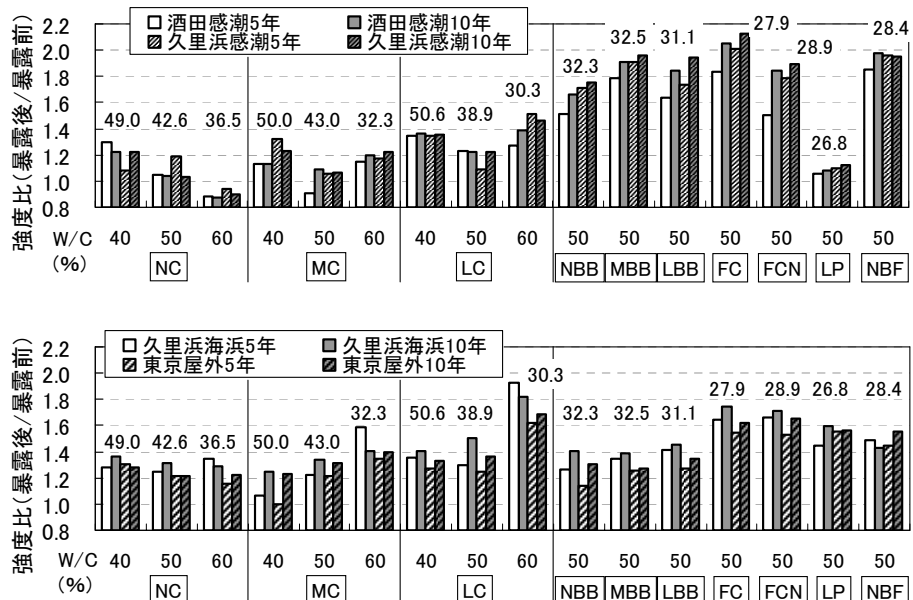


図-1 暴露開始時の圧縮強度に対する暴露後の圧縮強度比

3.2 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-2に示す。酒田・久里浜感潮では、セメント種類にかかわらず、圧縮強度と静弾性係数には高い相関性が認められた。一方、久里浜海浜・東京屋外では、酒田および久里浜感潮に比べ、静弾性係数は低く、特に、BFS系では顕著であった。この原因としては、明確でないが、水の供給が少なく、硬化体組織が脆弱であるため、乾湿繰返しや温度変化等の気象作用により微細なひび割れ等の欠陥が生じた可能性がある。

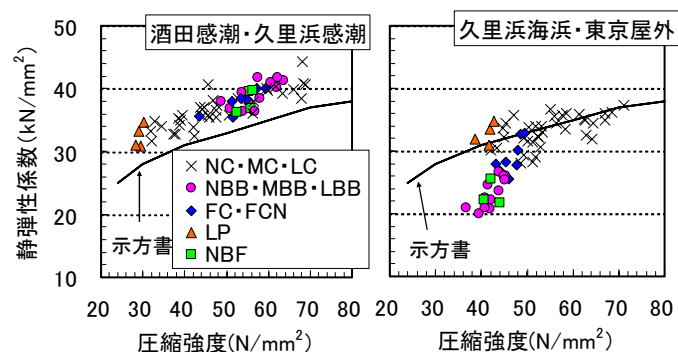


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

3.3 細孔量

50nm以上の総細孔量と圧縮強度の関係を図-3に示す。酒田・久里浜感潮では、総細孔量と圧縮強度には概ね相関性が認められた。一方、久里浜海浜・東京屋外の場合、ポルトランドセメントでは、総細孔量と圧縮強度には概ね相関性が認められたが、混合セメントでは、総細孔量が増加しているにもかかわらず、圧縮強度は40~50N/mm²の範囲に分布した。細孔量は総じて、久里浜海浜・東京屋外の方が酒田・久里浜感潮より多くなった。また、同一細孔量に対する圧縮強度発現性も暴露環境により異なった。これらは、水分の供給の多少が影響していると考えられる。

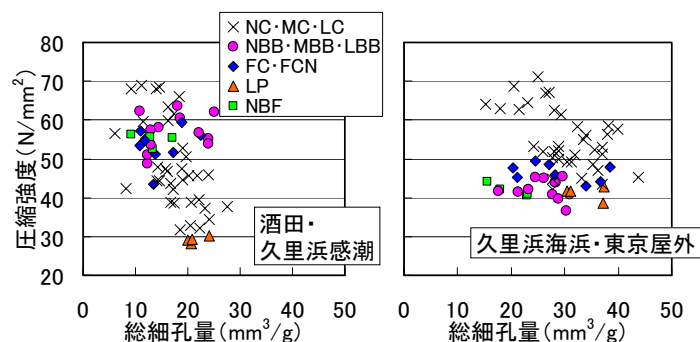


図-3 総細孔量(50nm以上)と圧縮強度の関係

4. まとめ

海洋環境下に10年間暴露した各種セメントを用いたコンクリートの暴露開始時からの強度増進は、感潮条件下に暴露した場合、ポルトランドセメントに比べ、BFS系およびFA系が優れ、海浜および屋外条件下に暴露した場合、セメント種類間で大差がなかった。ただし、BFS系およびFA系では、海浜および屋外条件下に暴露した場合、静弾性係数の低下が認められ、特に、BFS系で顕著であった。

謝 辞：本成果は、(社)セメント協会と(独)港湾空港技術研究所との共同研究として1998年度に開始したもので2009年3月に(社)セメント協会刊行のコンクリート専門委員会報告F-56「各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究」として取り纏めた一部である。関係各位のご協力に深く感謝致します。