都市型廃棄物を利用したセメントの性質

広島大学　正会員　田澤榮一　　広島大学工学部　学生会員　萩野千晶
広島大学　正会員　河合研至　　広島大学工学部　学生会員○川﨑　渉

1. はじめに

今日の急激な廃棄物の増加を背景に、都市型廃棄物を主原料に利用したセメント、エコセメント（Ecocement : Ecology と Cement を合成した造語）の開発が進んでいる。エコセメントは塩素含有量が大きい等のため、普通ポルトランドセメントとは異なった挙動を示すことが考えられ、現在ではその用途は限られている。そこで本研究では、エコセメントの性質を把握することを目的にいくつかの実験を行った。

2. 実験方法

実験は全て、同一条件でエコセメント（比表面積 4300cm²/g、以下 EC と称す）を普通ポルトランドセメント（比表面積 3220cm²/g、同様に OPC と称す）と比較検討するという形をとり、以下の試験を行った。

2.1 促進風化試験

セメントを気中に薄く広げて暴露し、風化を促進させた。暴露前、暴露 1 週間および暴露 4 週間後のセメントについて比重試験・凝結試験・強さ試験・強熱減量の各試験を行った。

2.2 細孔溶液の組成分析

細孔溶液高圧抽出装置により W/C=50%のセメントペースト中の細孔溶液を採取し、pH や Cl^-濃度などのイオン濃度の分析を行った。抽出する材齢は 4 日、7 日、14 日、21 日、および 28 日とした。

2.3 促進発錆試験

内部に鉄筋を配した W/C=40 および 55%のコンクリート供試体を用いて、通電を行うことにより鉄筋の腐食を促進させた。通電後に供試体を割裂して内部の鉄筋を取り出した。その後重量を測定し、通電前後の重量変化から腐食の進行状況を検討した。

3. 実験結果及び考察

3.1 促進風化試験結果

EC は暴露期間が長くなると、凝結時間が遅延し（図 1）、初期材齢における圧縮強度が低下した（図 2）。これは、OPC より強熱減量が増大し（図 3）、比重が小さくなった（図 4）ことからも明らかなように、OPC に比べ EC は風化の影響を受けやすいセメントであることが言える。これは EC の比表面積の大きさと反応性の高さが影響しているためではないかと思われる。比表面積が大きいと空気と触れやすく、その結果加水分解・炭酸化の反応が促進されたと考えられる。ただし、強度だけに関していえば、強度低下は初期材齢だけであり、材齢 28 日では未暴露のものと変わらない程度まで強度は上がっていることから、風化が促進したセメントを用いた場合でも適切な養生を行えば特に問題ないことが分かった。

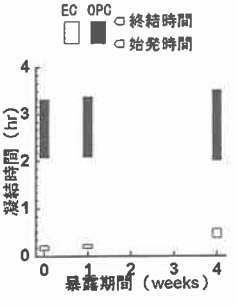

図 1　凝結試験結果

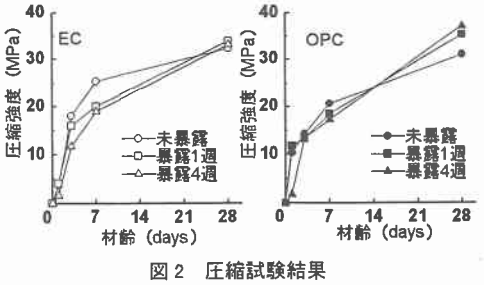

図 2　圧縮試験結果

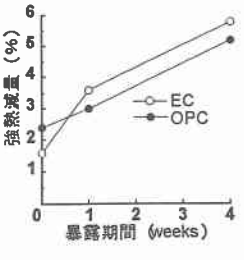

図 3　強熱減量結果

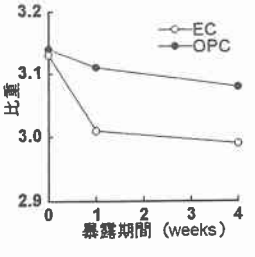

図 4　比重試験結果

3.2 細孔溶液の分析結果

細孔溶液の抽出量は、ECの材齢14日以降の抽出量がOPCに比べ極めて少なくなっている（図5）。これにより、間隙水中のCl^-の絶対量が少なくなるため、その影響が小さくなる。また、間隙水の連続性が保たれにくくなり、電気伝導度が小さくなる。この二点から、ECは発錆による悪影響を与え難いと考えられる。次にECのCl^-濃度についてであるが、OPCにくらべはるかに高い値になっている（図6）。これだけを見ると発錆に悪影響を及ぼしそうであるが、pHの値はECの方が、高アルカリ性を呈し（図7）、この点では発錆に有利となる。そこで、得られた結果を$[Cl^-]/[OH^-]$で整理しなおした（図8）。一説によると、鋼材の腐食し始める限界は$[Cl^-]/[OH^-]$で表され、この値が3以下であれば腐食に影響しないとする報告がある[1]。ECについての値は0.1前後の値を推移していることから、ECは当初懸念されたほど発錆を促進しないのではないかと考えられる。

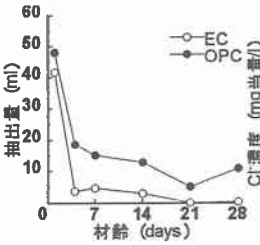

図5　細孔溶液抽出量

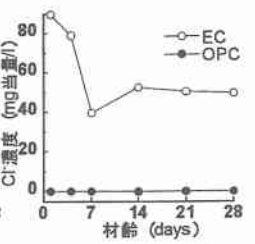

図6　細孔溶液のCl^-濃度

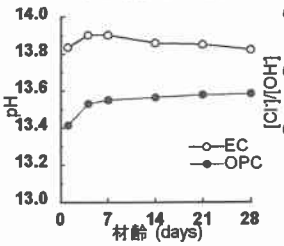

図7　細孔溶液のpH

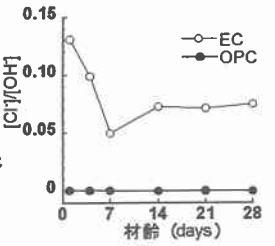

図8　$[Cl^-]/[OH^-]$

3.3 促進発錆試験結果

鉄筋の重量差から腐食減量を求めた（図9）。通電前の材齢7日、および28日にも測定したが、これらの値と通電後の値に差が見られなかった。また比較用として、コンクリート中に埋め込まない鉄筋についても同様に腐食減量値を求めたが、この値も考慮に入れると腐食減量値の約半分は腐食以外の原因や測定誤差によるものと考えられる。一方、通電は全供試体とも一定電圧を負荷したが電流値が異なったため、積算電流値と腐食減量の関係も示した（図10）。この図から、前節でも考察したようにECは電気伝達度が低いことが分かった。また、ECはグラフの傾きが大きく、Cl^-濃度が高いことと照合している。本実験でも、EC中の鉄筋はOPCに比べそれほど腐食が大きくないという結果になり、前節での考察と一致した。しかし、本実験は通電により強制的に発錆を促進させたものであり、自然環境下で発錆したものではない。今後の課題として、長期間気中あるいは海中で暴露したものについても検討し、この結果を裏付ける必要がある。

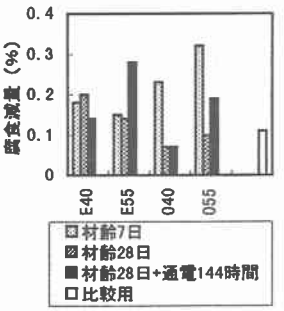

図9　鉄筋の腐食減量

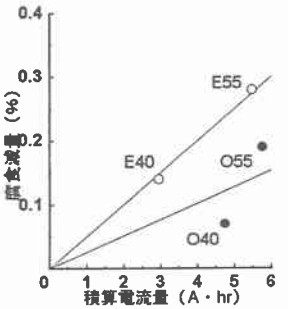

図10　積算電流－腐食減量関係

4. 結論

(1) エコセメントは、普通ポルトランドセメントに比べ風化の影響を受けやすいセメントであると考えられる。ただし強度に関しては、風化したセメントでも適切な養生を行えば特に問題ないことが分かった。

(2) 細孔溶液を分析した結果、エコセメントは普通ポルトランドセメントに比べかなり高いCl^-濃度であることが分かった。しかし、$[Cl^-]/[OH^-]$の値や、細孔溶液の抽出量を考慮すると、鉄筋腐食速度はOPCに比べそれほど大きくないと推察された。実際に通電により鉄筋に発錆促進を行った結果、普通ポルトランドセメントに比べ顕著な差は認められず、エコセメントは当初懸念されていたほど鉄筋腐食に悪影響を及ぼさないことが分かった。

【参考文献】1)白木・河合：孔隙水とコンクリートの劣化、耐久性診断委員会報告書、pp.37～53、1989.6