

## 低放射化コンクリートの耐久性に関する検討

(株) フジタ 技術センター 正会員 ○藤倉 裕介

(株) フジタ 技術センター 非会員 金野 正晴, 木村 健一

(株) フジタ 技術センター 非会員 西田 浩和, 片寄 哲務

## 1. はじめに

著者らは原子炉で使用されるコンクリートの全てをクリアランスレベル以下とするため、コンクリートが放射化した際に問題となる長半減期 RI の標的核種 (元素) である, Eu (ユーロピウム) や Co (コバルト) の含有量の少ない骨材, セメントや混和材により構成されるコンクリート (以下, 低放射化コンクリート) の開発を実施している. これまでに白色セメント, 石灰石骨材, 混和材として石灰石微粉末やシリカフュームを使用し, 残留放射能が普通コンクリートよりも 1/30~1/50 程度と小さいコンクリートを開発し, その基礎物性について報告してきた<sup>1), 2)</sup>. これらの配合では JIS 規格外のセメントを使用し, また混和材を多量にセメントと置換しており, 鉄筋コンクリート構造物に適用することを想定した場合, 鉄筋腐食といった早期劣化への影響を確認する必要がある. そこで, 本稿では特に白色セメントや混和材を使用した低放射化コンクリートの鉄筋コンクリート構造物への適用性を検討するため, これまでに提案してきた 1/10~1/30 低放射化コンクリートおよび混和材を使用した 1/50 低放射化コンクリートについて, 鉄筋を配置した試験体を作製し, CO<sub>2</sub> 濃度 5% の環境下および塩水浸漬と乾湿の繰り返しによる促進耐久性試験を実施した結果について報告する.

## 2. 試験概要

表-1 低放射化コンクリートの配合

| 記号   | W/C (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |      | ΣD/C 比※ |
|------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|---------|
|      |         | W                        | C   | LP  | SF  | S   | G    |         |
| N-1  | 50      | 175                      | 350 | —   | —   | 861 | 947  | 1/10    |
| L-1  | 50      | 175                      | 350 | —   | —   | 899 | 913  | 1/20    |
| WT-1 | 50      | 158                      | 316 | —   | —   | 855 | 1018 | 1/31    |
| WT-2 | 120     | 150                      | 133 | 140 | 100 | 810 | 961  | 1/51    |

C: セメント, 表中の記号 N は普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm<sup>3</sup>), L は低熱ポルトランドセメント (密度 3.22g/cm<sup>3</sup>), WT は白色セメント (密度 3.05g/cm<sup>3</sup>) を示す.  
LP: 石灰石微粉末 (密度 2.71g/cm<sup>3</sup>), SF: シリカフューム (密度 2.20g/cm<sup>3</sup>), S: 石灰石砕砂 (表乾密度 2.69g/cm<sup>3</sup>), G: 石灰石砕石 (表乾密度 2.70g/cm<sup>3</sup>)

※熱中性子束 ( $E_n < 0.4\text{eV}$ )  $2.0 \times 10^{15} \text{ ncm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  のみと仮定して計算した. 日本の原子炉に対するクリアランスレベルとしては, 2005.12.1 施行のものを使用し, <sup>55</sup>Fe, <sup>60</sup>Co, <sup>134</sup>Cs, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu で評価した. また, 普通コンクリートの ΣD/C を 18.8 としてその比を計算した.

本研究で検討した低放射化コンクリートの配合を表-1 に示す. 設計基準強度 33N/mm<sup>2</sup>, 粗骨材の最大寸法 20mm とし, スランプ 15±2.5cm, 空気量 4±1.5% とした. 所定のスランプと空気量が得られるよう, 高性能減水剤および空気量調整剤を使用した. 促進耐久性試験は, 表-1 に示す配合のコンクリートを 100 mm × 100 mm × 400mm の鋼製型枠に打ち込み, 試験体を作製して実施した. 試験体は, 無筋のコンクリート試験体(A), 図-1 の断面図に示すようにかぶり 20mm および 30mm で鉄筋 (D10) を配置した試験体(B), 断面の中央に鉄筋 (D16) を配置した試験体(C) を, 下記に示す促進試験ごとに 3 体ずつ作製した. 試験体はコンクリート打ち込み後, 材齢 1 日にて脱型し, 材齢 28 日まで 20℃ の水中にて養生を行った. 水中養生終了後, 試験体の打設面 (上面), 下面および端面 (100mm × 100mm の 2 面) をエポキシ樹脂で厚くコーティングした. 促進耐久性試験の項目および方法を以下に示す.

## (1) 促進中性化試験

JIS A 1153 に準じ, 試験体(A), (B), (C)について促進中性化試験を実施した. 試験体は材齢 28 日まで 20℃ の水中にて養生した後, コンクリート表面を所定の樹脂コーティングし, さらに気中 (温度 20℃, 湿度 60%) にて 28 日養生後, 温度 20℃, 湿度 60%, 二酸化炭素濃度 5% の条件下で試験を行った. 促進試験期間は, 0, 4, 8, 13 週とした. 中性化深さの測定は, フェノールフタレイン 1% アルコール溶液を噴霧して未着色部分を

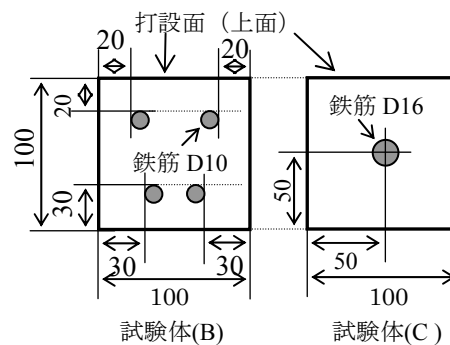


図-1 有筋試験体の断面図

キーワード: 低放射化コンクリート, クリアランスレベル, 白色セメント, 石灰石微粉末, シリカフューム

連絡先: 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株) フジタ技術センター基盤技術研究部 046-250-7095 [fujikura@fujita.co.jp](mailto:fujikura@fujita.co.jp)

中性化領域と判定し、中性化深さを求めた。また、深さ方向に 10mm ごとに 30mm まで試験体をスライスし、炉乾燥後に微粉碎し、粉末試料 10g を用いて土壤養分分析法にて pH を測定した。促進期間 13 週にてコンクリートをはつり、鉄筋の腐食状況を確認した。

## (2) 塩水浸漬および乾湿繰り返し試験

各試験体を 28 日間 20℃ 水中養生した後、促進試験を開始した。促進試験は 4 日間 50℃ の塩水（塩化物イオン濃度 3%）に浸漬した後、温度 50℃、湿度 60% の環境下で 3 日間乾燥させた試験（合計 7 日間）を 1 サイクルとし、促進試験のサイクルを 0, 1, 4, 8, 13 とした。各サイクル終了後、無筋試験体(A)を取り出し、コンクリート表面から深さ方向に 10mm ごとに 30mm まで試験体をスライスし、炉乾燥後に粉碎して粉末試料を作製した。粉碎試料は深さごとに JCI-SC4（硬化コンクリート中に含まれる全塩分の分析方法）に準じ、硝酸銀滴定法により全塩分量の測定を行った。また、土壤養分分析法にて pH を測定した。13 サイクルにて鉄筋の腐食状況を確認した。

## 3. 試験結果

図-2 に促進中性化試験の結果を示す。N-1, L-1, WT-1 では、促進材齢 13 週において中性化深さは 5mm 程度となった。一方、混和材を用いた WT-2 の配合では、促進材齢の増加に伴って中性化深さは増加し、促進材齢 13 週において約 20mm の中性化深さを示した。また、WT-2 では促進材齢 13 週における呈色域は濃い赤紫色を示さず、薄い桃色を示した。図-3 は、深さ 10mm ごとの粉碎試料を用いて土壤養分分析法にて得られた pH の WT-1 および WT-2 における結果を示す。混和材を使用した WT-2 の配合では促進開始時に pH = 11.46 を示し、促進材齢の経過に伴って pH は低下しており、フェノールフタレイン溶液の呈色域を pH = 10 程度以上とすると、中性化深さの結果と同様の傾向を示していることが分かる。N-1, L-1, では、WT-1 と同様に促進材齢の経過に伴って pH は低下せず、pH = 12.3 程度を示した。

次に促進サイクル数ごとに調べた全塩分濃度の分析結果を図-4 に示す。WT-1 や WT-2 では N-1 や L-1 と比較して塩分濃度が低い。特に WT-2 では、深さ 10mm 以深での塩分濃度が非常に低く、塩化物イオンのコンクリート内部への浸入に対する抵抗性が高いことが分かる。これは、シリカフェームを含む WT-2 の配合では、緻密な構造となっているために塩化物イオンの浸入が抑制されたものと推察される。土壤養分分析法にて粉碎試料の pH を調べた結果では、N-1, L-1, WT-1 では、促進サイクルの経過に伴って pH は低下せず、pH = 12.3 程度を示した。WT-2 では pH = 11.46 示し、促進サイクルの経過に伴う pH の低下はみられなかった。鉄筋の腐食については、13 サイクルにて全ての試験体において全く観察されなかった。

## 4. まとめ

本研究の範囲では、今回検討した配合の低放射化コンクリートは、所定のかぶりを有すれば、鉄筋コンクリート構造物に適用できることが確認された。なお、本報告は「資源エネルギー庁・平成 19 年度革新的実用原子力技術開発費補助事業」の成果の一部である。

## 参考文献

- 1) 金野正晴：低放射化コンクリートの開発の現状，コンクリート工学，Vol.42，No.6，pp.3-10，2004.6
- 2) 藤倉裕介ほか：低放射化コンクリートのマスコンクリート部材への適用性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，pp.433-438，2007.7

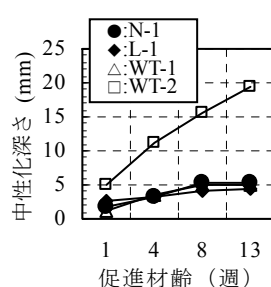


図-2 促進材齢と中性化深さの関係

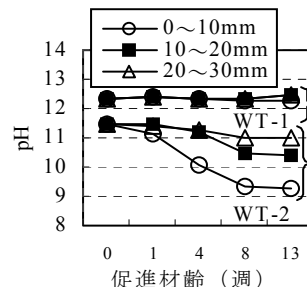


図-3 促進材齢と深さごとの pH の関係 (WT-1, 2)

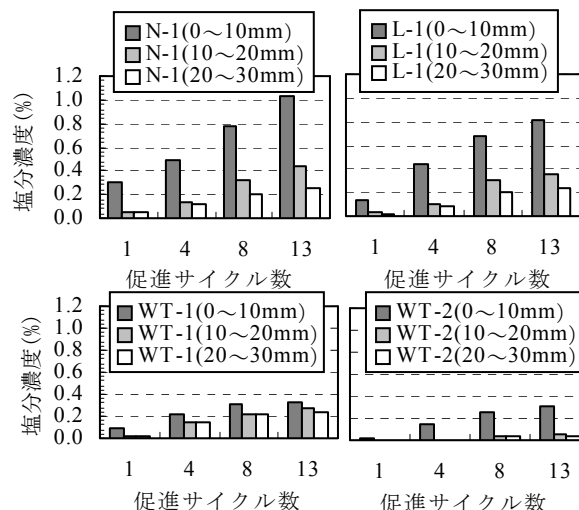


図-4 塩分濃度分析結果