

## 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に関する検討

(株)フジタ 正会員 ○藤倉裕介

(株)フジタ

金野正晴, 木村健一, 西田浩和, 片寄哲務

### 1. はじめに

原子炉周りの遮蔽コンクリート、鋼材、配管などの材料の多くは、残留放射能の存在により低レベルの放射性廃棄物となる。コンクリートの建設時の価格は約 1.2 万円/m<sup>3</sup> であるが、放射化されて放射性廃棄物となると、埋設コストだけで、L1 区分で約 2800 倍、L2 区分で約 460 倍、L3 区分で約 65 倍に化けると予想されている<sup>1)</sup>。これらに解体費、詰替費、被ばく対策の管理費などを加えると、莫大な費用となることが予想される。コンクリート部分の放射性廃棄物をクリアランスレベル以下にし、再利用可能なものにする、あるいは低い埋設区分に落とすことは、資源の有効利用、コスト低減の観点から有益である。

現在、低放射化コンクリートは、放射性医薬品製造用の小型陽子加速器において、部分的に適用されつつある<sup>2)</sup>。しかしながら、原子力施設となると、施設の規模が大きく、使用材料も多種多様であるため、生成される残留放射能も多様であり、低放射化設計に対応した基礎データの蓄積が望まれている。

このような背景から、著者らは残留放射能が普通コンクリートの 1/10~1/30 と小さい低放射化コンクリートの適用を目的として、各種材料の照射試験を行うとともに、コンクリートの基礎物性を把握するための実験を実施している。本稿では、低放射化コンクリートの試作および基本物性試験を実施した結果について報告するとともに、マスコンクリート部材への適用性について検討した結果について紹介する。

### 2. 使用材料

低放射化コンクリートを実用化した金野らの照射実験<sup>2)</sup>によると、長寿命の核種となる Eu や Co といった元素の含有量の少ない材料を選定することにより、普通コンクリートと比べて残留放射能の小さいコンクリートを製造できることが示されている。日本国内で供給可能な天然骨材としては、高純度石灰石が有力であり、セメントとしてはハイアルミナセメント、白色セメント、低熱ポルトランドセメントが候補である。今回、将来的にマスコンクリート部材に適用することを考慮し、低熱ポルトランドセメント+石灰石骨材の配合 A および白色セメントと石灰石骨材による配合 B による配合試験を実施し、各物性試験を行った。配合条件は、粗骨材の最大寸法を 20mm とし、設計基準強度 33 N/mm<sup>2</sup>、スランプ 12 ±2.5 cm、空気量 4 ±1%とした。

### 3. 低放射化コンクリートの試作と基礎物性

コンクリートの試験練り結果を表-1 に示す。表-2 には、計測途中ではあるが、長さ変化試験結果を示す。ちなみに自己収

表-1 低放射化コンクリートの配合表

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							SL (cm)	Air (%)	CT (°C)	T (°C)
			W	C	S	G	①	②	③				
A	50	50	175	350	899	913	-	-	0.875	12.5	4.6	20.7	20.0
B	50	46	158	316	855	1018	0.316	1.58	-	13.5	3.1	21.1	25.4

①空気量調整剤、②高性能減水剤、③AE 減水剤

縮は JCI 基準(JCI-SQA4 または JCI-SAS2)に準じて実施している。表-3 に各基礎物性試験結果を示す。表-4 には、照射条件として熱中性子束 2×10<sup>5</sup>ncm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>のみを考慮し、40 年間照射、6 年冷却後の放射能を計算で評価した主な放射性核種 3 つとその他の核種も含めた合計をクリアランスレベルに対する比で整理した結果を示す。配合 A (低熱+石灰石) では、普通ポルトランドセメントと安山岩骨材を用いた普通コンクリートに比べてΣD/C が約 1/10 に低減する。配合 B では、同様にΣD/C が約 1/30 まで低減する結果が得られていることが分る。低放射化のレベルとしては十分な性能が得られているが、施工性を加味したコンクリート配合の見直し、実構造物レベルでの放射化の評価が課題となる。

キーワード：原子炉、廃止措置、残留放射能、クリアランスレベル、低放射化コンクリート

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 TEL046-250-7095 [yfujikura@fujita.co.jp](mailto:yfujikura@fujita.co.jp)

表-2 低放射化コンクリートの長さ変化試験結果

		1日	3日	7日	14日	28日
A	自己収縮(μ)	39	63	79	92	116
	乾燥収縮(μ)*	-	-	63	-	154
B	自己収縮(μ)	36	47	86	112	146
	乾燥収縮(μ)*	-	-	159	-	261

\*乾燥収縮は乾燥開始以降の材齢を示す。

表-4 主な放射性核種の Di/Ci および Σ D/C

配合	<sup>60</sup> Co	<sup>152</sup> Eu	<sup>154</sup> Eu	Σ D/C
A	0.43	1.53	0.082	2.09
B	0.075	0.50	0.027	0.613
普通コン*	6.52	11.5	0.61	18.8

\*普通コンクリート（普通ポルトランドセメント+安山岩骨材）<sup>2)</sup>

表-5 解析に用いた熱物性値

材料	比熱 kJ/kg°C	熱伝導率 W/m°C	密度 kg/m <sup>3</sup>	熱伝達率 W/m <sup>2</sup> °C	
				露出面	合板型枠
コンクリート	1.15	2.7	実測値	12.0	8.0
地盤	0.800	1.7	2600	-	-

熱膨張係数 α = 0.00001 / °C

表-6 温度応力解析結果

配合	遮蔽壁表面 (節点 No.243)				遮蔽壁断面中央 (節点 No.231)			
	最高温度		最小ひび割れ指数		最高温度		最小ひび割れ指数	
	温度°C	材齢(日)	指数	材齢(日)	温度°C	材齢(日)	指数	材齢(日)
A	27.1	2.5	4.61	6.0	45.7	3.5	1.01	21
B	33.4	0.9	2.62	3.5	59.1	2.0	0.63	25

表-3 低放射化コンクリートの基礎物性

配合	A (平均値)	B (平均値)
単位容積質量	2,340 kg/m <sup>3</sup>	2,384 kg/m <sup>3</sup>
封緘 7日圧縮強度	18.8 N/mm <sup>2</sup>	34.4 N/mm <sup>2</sup>
封緘 7日ヤング係数	19,910 N/mm <sup>2</sup>	25,760 N/mm <sup>2</sup>
封緘 28日圧縮強度	41.6 N/mm <sup>2</sup>	42.7 N/mm <sup>2</sup>
封緘 28日ヤング係数	27,960 N/mm <sup>2</sup>	28,630 N/mm <sup>2</sup>
封緘 7日引張強度	2.27 N/mm <sup>2</sup>	3.18 N/mm <sup>2</sup>
封緘 28日引張強度	3.92 N/mm <sup>2</sup>	3.56 N/mm <sup>2</sup>
凝結試験	始発: 7時間 08分 終結: 9時間 46分	始発: 4時間 31分 終結: 6時間 11分
ブリージング量	0.502 cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>	0.091 cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>
ブリージング率	113.5 %	22.58 %

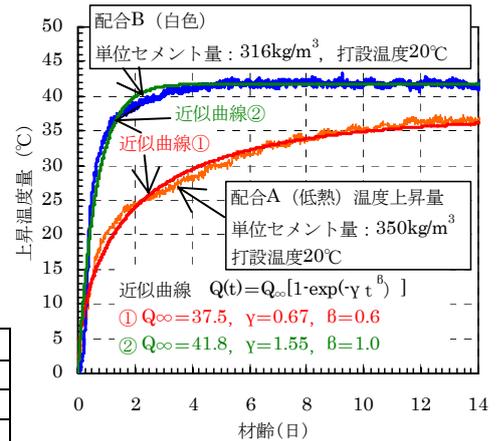


図-1 断熱温度上昇試験結果

4. 温度応力解析

配合 A, B のコンクリートについて、断熱温度上昇試験を実施（上部 φ 410, 下部 φ 300×420mm の金属製円錐台形容器を使用, 二槽空気循環式にて実施）し、原子炉遮蔽壁への適用を想定した 2 次元温度応力解析を実施した。断熱温度上昇試験の結果を図-1 に示し、原子炉遮蔽壁の解析モデルを図-2 に示す。（社）日本コンクリート工学協会により開発されたプログラム（JCMAC1 Ver.1.14）を使用し、温度解析は FEM 法、応力解析は CP 法を用いた。コンクリート打設温度、外気温度、地盤の初期温度は 20°C とし、熱物性値は表-5 に示す値を用いた。ベースマットの打設から 28 日後に遮蔽壁を打設した。力学特性は、実測値をもとに各係数を算定し、解析モデルの奥行き L を 10m, Ec/Er=6.4 と仮定して外部拘束係数を与えた。表-6 には解析結果の一例として、図-2 中の遮蔽壁部、黒丸印で示す 2 節点における最高温度と最小ひび割れ指数、そのときの材齢を示す。配合 A では低発熱セメントを使用しているため、マスコンクリートへの適用としては、十分な性能を示している。白色セメントを使用した配合 B では、最小ひび割れ指数が 1.0 を下回っており、薄い壁や 2 次製品への適用は可能であるが、マスコン部材への適用は現状では難しい。白色セメントの低発熱化、混和材を併用した配合を検討したい。

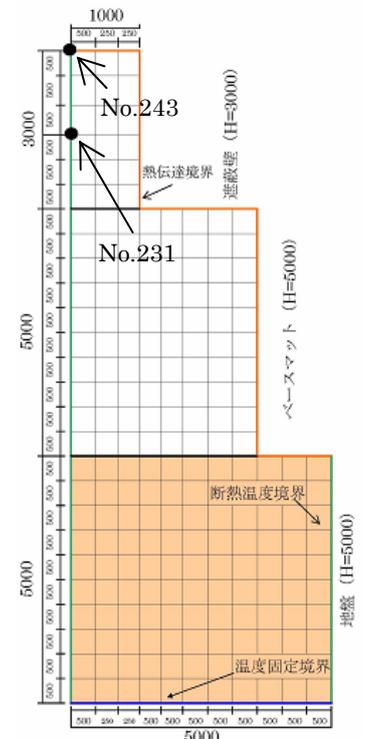


図-2 温度応力解析モデル

5. まとめ

今後は、さらに低放射化できる材料を選定し、配合試験を行い、高度化に取り組む予定である。なお、本報告は、「資源エネルギー庁・平成 17 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)経済産業省総合エネルギー調査会原子力部会廃止措置対策小委員会公開資料, 1997 2)金野正晴:低放射化コンクリートの開発の現況, コンクリート工学, Vol.42, No.6, pp.3-10, 2004.6