

放射性廃棄物処分施設の鉄筋コンクリートピットのひび割れ検討

(株) 大林組 フェロー○入矢桂史郎, 正会員 石田知子
日本原燃 (株) 正会員 伊藤裕紀
東電設計 (株) 正会員 谷 智之

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物処分施設のうち図-1 の余裕深度処分概念案では、内側に鉄筋コンクリート製ピットを、外側に低拡散性を有するセメント系材料を、その外部にベントナイト低透水性層を構築する人工バリアの構成となっている。この概念では、鉄筋コンクリート製ピットは、廃棄体設備としての物理的性能が主要件となるが、人工バリア全体が低透水性を要求される中でピットについても低透水性が好ましいと考えられる。ジャンカなど施工に起因した欠陥部のない鉄筋コンクリート構造物において透水性を支配するのはひび割れであり、低透水性を確保するにはひび割れの発生状態を予測し、それを基にした透水性評価を行うことが重要である。本検討は、上記の放射性処分施設を建設し、操業する過程において発生するひび割れについて、そのひび割れ幅および本数を予測したものである。なお、ひび割れの発生原因として、低透水性に最も大きな影響を及ぼす貫通ひび割れの原因となる「セメント水和熱」および「廃棄体荷重」、「充填材荷重」を考慮した。

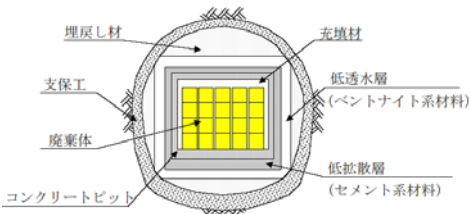


図-1 余裕深度処分概念¹⁾

2. 検討方法

ひび割れ検討は、図-2 に示す 1/4 断面の三次元のモデルを用いて、有限要素法による「施工段階を考慮した非定常熱伝導解析」と「施工段階ごとに荷重を考慮した非定常応力解析」により、実施した。この二種類の解析は弾性解析とし、クリープの影響は、有効弾性係数で考慮した。解析の結果として、温度分布、応力分布、および温度ひび割れ指数が求められる。この結果を基に、ひび割れ本数および幅を求める方法は以下の手順とした。

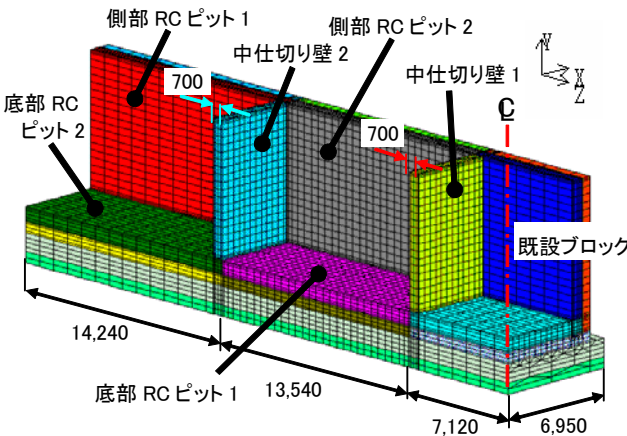


図-2 解析モデル

まず、ひび割れが発生する部位の判断はひび割れ指数により行い、ひび割れ指数が 2.0 を下回った場合には、ひび割れが発生するとした。また、ひび割れが発生した後のひび割れ幅は、土木学会コンクリート標準示方書施工編²⁾を用いて算出した。ひび割れ本数は、ひび割れが発生したと判定される部位において、応力解析から求められた「拘束ひずみ」がひび割れによってすべて開放されると考えて、その部位の最小ひび割れ指数となる点の拘束ひずみに部位の長さを乗じ拘束変形量を算出し、それをひび割れ幅で除して、ひび割れ本数とした。この方法では、ひび割れ指数が 1.5 から 2.0 の部位では、ひび割れが発生する可能性が小さくなることから、ひび割れ幅が小さくまた、ひび割れ本数が多いという結果となる。しかし、この方法がひび割れの判定としては最も保守的で

表-1 コンクリート配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプフ ロー (mm)	水セメント 比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)							
					水	セメント	フライ アッシュ	膨張材	石灰石 微粉末	細骨材	粗骨材	混和剤
20	65	45.0	2.5	51.5	160	229	107	20	249	831	783	1.15

キーワード 低レベル放射性廃棄物処分施設, 鉄筋コンクリート製ピット, ひび割れ, セメント水和熱, 廃棄体重量
連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室 TEL 042-495-0930

あることから、ここではこの方法とした。

3. 解析条件

本検討で考慮したコンクリートの配合を表-1 に示す。ひび割れ対策として、セメントには発熱量が小さい低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを 30%加えた混合セメントを使用し、流動性確保のための粉体には不活性の石灰石微粉末を、更に収縮低減効果を期待して膨張材を使用した。解析で考慮したコンクリートの熱特性値および力学特性値を表-2 に示す。なお、膨張材の効果は、温度降下時の線膨張係数を低減することで考慮した。

4. 試験結果

ひび割れの発生原因としてセメント水和熱による温度応力を考慮した場合の各部材断面中心の最高温度および最小ひび割れ指数の分布図を図-3 および図-4 に示す。

温度解析の結果、20℃で打込んだコンクリートは、底部 RC ピットの断面中心部で 32℃、側部 RC ピットでは 31℃程度まで上昇することから、温度上昇量は 11~12℃程度になると推定された。その後温度の低下に伴い引張応力が増加し、応力解析の結果では、各部材ともに断面中心で最小ひび割れ指数が 2.0 以下となる部位が存在した（図-4 参照）。したがって、貫通ひび割れが発生する可能性が考えられた。各部材に 1 本ひび割れが発生した場合のひび割れの発生予想イメージ図を図-5 に示す。

ひび割れの発生状態については、ひび割れ指数と鉄筋比によって異なり、例えば、図-5 に示した底部 RC ピットの Z 方向応力に対するひび割れについては、温度応力のみではひび割れ幅が 0.15mm、本数は 8 本程度発生すると予想された。更に廃棄体荷重および充填材荷重が作用した場合でも、ひび割れ幅は 0.15mm、本数は 8 本と同等となり、荷重条件が作用してもひび割れは顕著に増加しないことが明らかとなった。また、他の部材についてもひび割れ幅は小さく、いずれも 0.2mm 以下となった。

5. まとめ

鉄筋コンクリート製ピットについて、三次元モデルを用いた有限要素法による温度応力解析を行った結果、セメント水和熱に伴うひび割れ制御対策として、低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ、石灰石微粉末、膨張材および石灰石骨材を適用すれば、躯体を貫通するひび割れは発生するものの、そのひび割れ幅は 0.2mm 以下に制御できることが明らかとなった。

参考文献

1) 京谷修：放射性廃棄物処分施設の設計検討状況，土木学会平成 17 年度全国大会研究討論会コンクリート構造物の長期耐久性評価資料（2005）
2) (社)土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】（2002 年制定）4.2 解説図 4.2.2

表-2 コンクリートの熱特性値および力学特性値

項目	単位	条 件
温度解析	熱伝導率	w/m℃
	比熱	KJ/kg℃
	単位容積質量	kg/m³
	断熱温度上昇	℃
応力解析	圧縮強度	N/mm²
	引張強度	N/mm²
	有効ヤング係数	N/mm²
	ポアソン比	—
	線膨張係数	×10⁻⁶/℃
	自己収縮ひずみ	×10⁻⁶

熱伝導率: 2.31

比熱: 1.29

単位容積質量: 2383

断熱温度上昇: 実験値近似式
 $T(t) = 36.0 \times \left\{ 1 - \exp(-0.429 \times t^{0.972}) \right\}$
T(t): 材齢t日における断熱温度上昇量

圧縮強度: 実験値近似式
 $f'c(t) = \frac{t}{0.31805 + 0.012083t}$
f'c(t): 材齢t日における圧縮強度

引張強度: 実験値近似式
 $ft(t) = 0.1815 \times f'c(t)^{0.7215}$
ft(t): 材齢t日における引張強度

有効ヤング係数: 実験値近似式
 $Ee(t) = \varphi(t) \times 4335.2 \times f'c(t)^{0.5593}$
Ee(t): 材齢t日における有効ヤング係数
Φ(t): クリープの影響が大きいことによるヤング係数の補正係数
材齢3日まで; 0.73、材齢5日以降; 1.0

ポアソン比: 0.2

線膨張係数: 温度上昇時: 7.050
温度降下時: 3.752(膨張材の効果含む)

自己収縮ひずみ: 実験値 自己収縮ひずみ最終値: 103

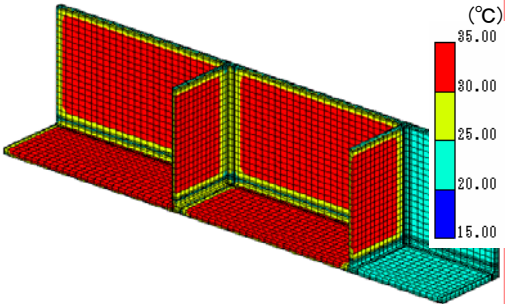


図-3 最高温度分布図

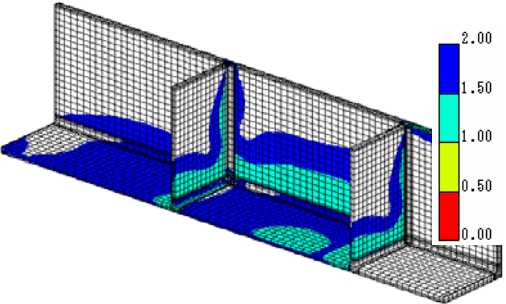


図-4 最小ひび割れ指数分布図

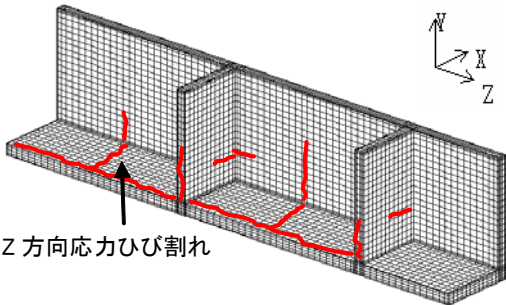


図-5 ひび割れ発生イメージ図