

地下空洞型処分施設性能確証試験におけるコンクリートピット等の施工確認試験に関する検討 ―コンクリート・モルタルのひび割れ予測評価に関する考察―

東電設計(株) 正会員 ○鈴木 康正 石橋 勝彦 小山 俊博
(財)原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 佐藤 敏文 寺田 賢二

1. はじめに

放射性廃棄物を対象とした地下空洞型処分施設に関する様々な事前検討を行うために、実規模大の施工となる地下空洞型処分施設性能確証試験が平成19年度より実施されて来ている。当試験では実施所で適用が予定されている低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを用いた配合で、人工バリアのセメント系部材を施工することにより、施工性や性能等の検討が行えるように計画されている。セメント系部材では、施工時に生じる可能性がある温度応力や自己収縮等によるひび割れが、施設の構造安定性や初期性能を評価する上で重要な着目事象の一つになる。本論文は、平成20年度に施工された底部低拡散材やコンクリートピット(以下、CP)を対象とした有限要素法によるひび割れ解析と、実際に打設された底部低拡散材、CPの温度・応力測定、およびひび割れ観察の結果を比較検討した結果を報告するものである。

2. ひび割れ解析方法・条件

ひび割れ解析は平成19年度に引続き3次元の有限要素法による非定常熱伝導解析と応力解析を組合わせた方法¹⁾により実施した。図-1に解析モデルを示す。解析は前年度までに施工された埋戻し材等には、平成20年度に施工された部材を実工程に合わせ順次追加する形で実施した。なお、底部低拡散材や底・奥・側部CPは各々1回の打設で施工されている。解析に用いた物性等を表-1に示す。これらの物性は主に室内試験の結果に基づき設定したものである。前年度までに施工された部材の物性は文献¹⁾を参照されたい。

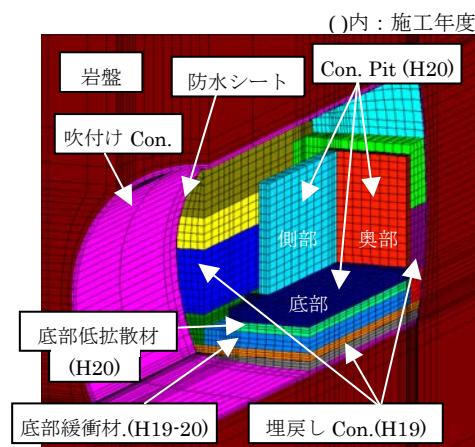


図-1 解析モデル

3. 解析結果と測定値の比較

解析結果と測定値の温度の比較を図-2に示す。打設直後の最高温度の解析結果は部材中央で5、6℃ほど測定値より高い。この原因として、解析では、断熱温度上昇試験から得られた発熱曲線を時間の関数に置き換えて適用しているが、低拡散材やCPは部材厚が比較的薄く(60～80cm)、断熱状態とはならなかったため、試験結果をそのまま適用すると最高温度を高め評価することが考えられた。測定値の最高温度に合うよう終局断熱温度上昇量(Q_{∞})を同定すると、低拡散材で31.5℃、CPで20.3℃となった。図-2にはこの Q_{∞} を用い

表-1 解析に用いた物性等

(a) 熱伝導解析条件				(b) 応力解析条件			
項目	緩衝材	低拡散材	CP	項目	緩衝材	低拡散材	CP
単位容積質量 (kg/m^3)	1993	2247	2365	圧縮強度: $f_c'(t)$ (N/mm^2)	—	$f_c'(t)=t/(0.3096+0.0113t)$	$f_c'(t)=t/(0.2966+0.0108t)$
比熱 ($\text{KJ/kg}^\circ\text{C}$)	0.73 ^{注1)}	1.336	1.149	引張強度: $f_{tk}(t)$ (N/mm^2)	—	$f_{tk}(t)=0.1512 \times f_c'(t)^{0.8497}$	$f_{tk}(t)=0.1884 \times f_c'(t)^{0.7908}$
熱伝導率 ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	1.409	1.831	1.956	ヤング係数: Ee (N/mm^2)	81.7 ^{注2)}	$Ee=\phi(t) \times 4814 \times f_c'(t)^{0.4355}$ ^{注4)}	$Ee=\phi(t) \times 6988 \times f_c'(t)^{0.4086}$
熱伝導率 ($\text{W/m}^2^\circ\text{C}$)	—	脱型前: 8	脱型後: 10	ポアソン比	0.4 ^{注3)}	0.2	0.2
断熱温度上昇特性	Q_{∞}	—	41.5	線膨張係数(μ/C)	1.0 ^{注1)}	計測値からの算定値 ^{注)}	計測値からの算定値 ^{注)}
$T=Q_{\infty}[1-\exp(-\alpha t^{\beta})]$	α	—	0.722	自己収縮: ϵ_{as}	—	自己収縮試験結果	自己収縮試験結果
	β	—	1.271				
外気温 ($^\circ\text{C}$)	坑内観測値						
打ち込み温度 ($^\circ\text{C}$)	—	打設時測定値	—				
初期温度	測定値	—	—				

注1)：日本原燃、人工バリア性能高度化に関する検討、H19.3

注2) 底部緩衝材の平板荷重試験の変形係数の平均値

注3) 日本原燃、現場施工総合確認試験のうちベントナイトの力学データ取得検討、H20.3

注4) ヤング係数の補正係数 $\phi(t)$ はコンクリート示方書に準拠。

キーワード 放射性廃棄物, セメント系材料, ひび割れ評価, 地下空洞型処分

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-6372-5929 FAX 03-6372-5190

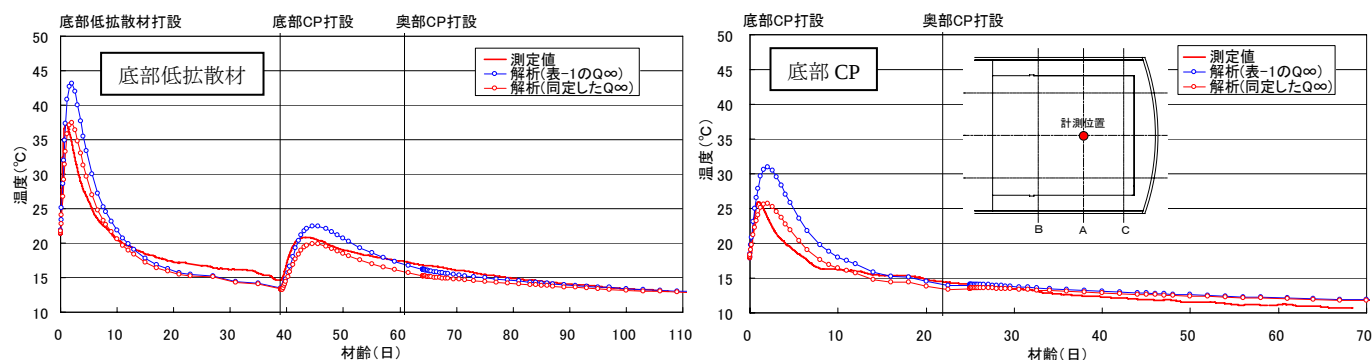


図-2 解析結果と測定値の比較 (部材厚中央の温度)

た解析結果も合わせて示している。表-2 は同定した Q_{∞} を用いた解析の底部低拡散材における最高温度を測定値と比較したものである。厚み方向中央で同定しているため、その位置での解析精度は良いが、上下面側では解析の温度は測定値より依然高い。部材厚が 1m 以下になると、全ての部位に等しい水和発熱を仮定した解析の精度が低下すること、より高精度の熱伝導解析には、部位ごとに異なる水和反応過程と水和発熱速度を特定する必要があることが指摘されている³⁾。今後、解析の精度向上を図る上で、熱伝導と温度に依存するセメントの水和発熱過程の連成を考慮した水和発熱モデルによる検討が有効と考えられる。

表-2 底部低拡散材の最高温度の比較

	計器位置		最高温度		差分
	平面位置	厚み方向 ^{注1)}	測定	解析	
			°C	°C	°C
底部低拡散材	部材左	上面側	32.0	35.1	3.1
		中央	37.5	37.4	-0.1
		下面側	33.9	36.0	2.1
	部材中央	上面側	31.2	35.1	3.9
		中央	37.4	37.4	0.0
		下面側	33.8	36.0	2.2
	部材右	上面側	31.5	35.1	3.6
		中央	37.9	37.4	-0.5
		下面側	34.0	36.0	2.0

注1: 上・下面側は上・下面より50mm内側

図-3 に一例として CP の拘束ひずみと有効応力について解析結果と測定値の比較を示す。打設直後では、温度上昇等に伴う膨張ひずみが拘束を受けるため、拘束ひずみ、応力共に圧縮(収縮)側に遷移し、その後の温度降下時では若干引張(膨張)側に遷移している。解析は拘束ひずみにおいて計測値と概ね一致しているものの、応力では打設直後の圧縮応力が測定値の 20 倍程度となっている。今後、若材齢時におけるコンクリート応力の測定精度の検証と、若材齢時の有効ヤング係数の評価を合わせて実施する必要があると考えられる。

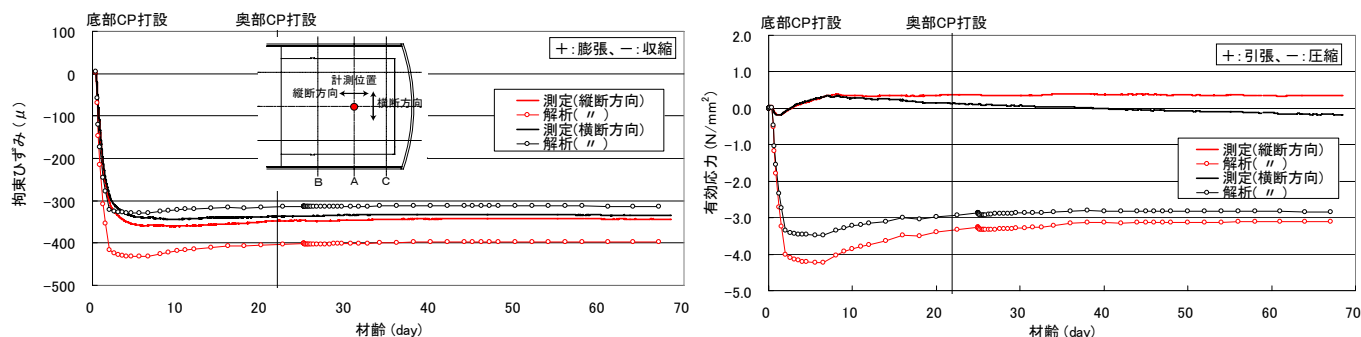


図-3 解析結果と測定値の比較 (底部 CP の部材厚中央の拘束ひずみと有効応力)

4. まとめ

解析結果の応力よりひび割れ指数を求めると、局所的ではあるがひび割れ発生確率が 90%以上となる部位があった。一方、ひび割れ観察の結果では、温度応力等によると推定されるひび割れは認められなかった。解析には上述した点で実挙動と差異があり、解析の精度向上を図るためには、水和発熱過程の温度依存性や若材齢時の有効ヤング係数の評価などが有効であると考えられる。なお、本報告は経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等委託費 (地下空洞型処分施設性能確証試験)」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 鈴木ほか：地下空洞型処分施設性能確証試験における底部・側部埋戻し材施工確認試験に関する検討（その4）ーコンクリートのひび割れ予測評価に関する考察ー，土木学会第 63 回年次講演会
- 2) 新井ほか：地下空洞型処分施設性能確証試験における底部低拡散材施工確認試験に関する検討，一挙動計測結果に基づく高流動モルタルの諸特性ー，土木学会第 64 回年次講演会
- 3) 原田修輔ほか：温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析，土木学会論文集 第 426 号/V-14, pp.167-176, 1991