

## 断熱温度上昇特性の打込み温度依存性を考慮した温度解析結果 —地下空洞型処分施設性能確認試験による—

東電設計(株) 正会員 ○石橋 勝彦 鈴木 康正 小田川 昌史 矢込 吉則  
(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 矢田 勤 秋山 吉弘

### 1. はじめに

地下空洞型処分施設性能確認試験では、実施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、初期性能、施工時施設挙動、ひび割れ予測等の検討を実施している。このうちひび割れ予測検討では、挙動計測と解析の結果を照査し、セメント系部材のひび割れ予測・評価の精度向上を目的とした検討を行っている。本報告では、温度解析で断熱温度上昇特性の打込み温度依存性を考慮した結果について報告する。

### 2. ひび割れ解析方法・条件

ひび割れ解析は3次元有限要素法による非定常熱伝導解析と応力解析を組み合わせた方法により実施している。図-1に解析モデルを示す。解析では、各々の部材・部位を実工程に合わせて順次追加している。断熱温度上昇特性を除く熱伝導解析条件を表-1に示す。埋戻し材の物性は文献<sup>1)</sup>を参照されたい。本報告で対象とする部材・部位は、底部コンクリートピット(以下、CP)と、手前部CPである。

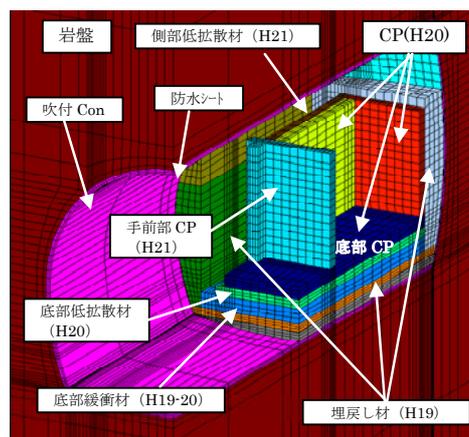


図-1 解析モデル

### 3. 断熱温度上昇特性値の設定

これまでの検討では、選定配合で打込み温度 20℃の断熱温度上昇試験を行い、この試験結果から熱伝導解析の断熱温度上昇特性を設定した。断熱温度上昇特性には打込み温度依存性があることが知られており、コンクリート打込み温度により断熱温度上昇曲線を補正した事例がある<sup>2)</sup>。そこで本試験では、同配合のコンクリートに対して異なる打込み温度での断熱温度上昇試験を行い、その試験結果を参照して施工時打込み温度に応じた断熱温度上昇特性値を取得して熱伝導解析への適用を図る。

表-1 熱伝導解析条件

項目	緩衝材	低拡散材	CP
単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	1993	2247	2365
比熱 (KJ/kg℃)	0.73 <sup>注1)</sup>	1.336	1.149
熱伝導率 (W/m℃)	1.409	1.831	1.956
熱伝達率 (W/m <sup>2</sup> ℃)	—	脱型前:8 脱型後:10	
外気温 (°C)	坑内観測値		
打込み温度 (°C)	—	打設時測定値	
初期温度 (°C)	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

#### (1) 断熱温度上昇試験結果

コンクリートピット配合での打込み温度 10℃, 20℃, 30℃の各断熱温度上昇試験結果を図-2に、各試験の断熱温度上昇特性値を表-2に示す。打込み温度 10℃では、他と比べて温度上昇速度は遅く、終局断熱温度上昇量が大きい。

表-2 断熱温度上昇特性値

配合区分	打込み温度 (°C)	T = K [1 - exp(-α t <sup>β</sup> )]		
		K	α	β
コンクリートピット	30	29.9	0.857	1.087
	20	30.3	0.614	1.102
	10	34.7	0.331	0.915

T: 温度上昇量(°C), t: 材齢(日)  
K: 終局断熱温度上昇量(°C)  
α, β: 温度上昇速度に関する定数

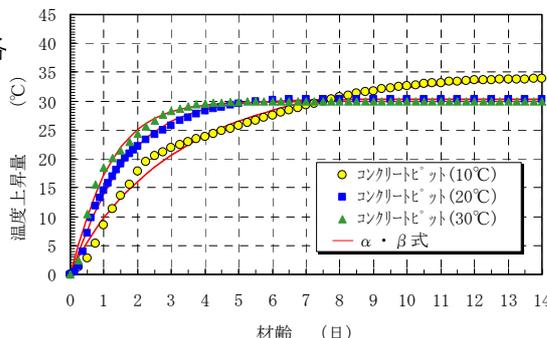


図-2 断熱温度上昇試験結果

#### (2) CPの打込み温度を考慮した断熱温度上昇特性

図-2に示す室内試験の各打込み温度での断熱温度上昇量を、試験施設の打込み温度で材齢ごとに線形補間した値を算出し、その値から試験施設の打込み温度に応じた断熱温度上昇特性値(K, α, β)を設定した。試験施設の各打込み温度は、底部CP17.9℃, 手前部CP24.3℃である。なお、断熱温度上昇試験での打込み温度には試験目標温度(10℃, 20℃, 30℃)との間に差があるため、特性値の算出に当たっては、試験開始時の

キーワード 余裕深度処分, 地下空洞型処分施設, セメント系部材, 温度解析, 断熱特性の温度依存性

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-6372-5224 FAX 03-6372-5190

測定値を適用した（測定値はそれぞれ 11.9℃, 23.2℃, 30.1℃）. 算出した各部位の断熱温度上昇特性値を図-3, 表-3 に示す. 図-3 には 20℃での断熱温度上昇試験結果を併示した. 手前部 CP での打込み温度における断熱温度上昇量と概ね同じ値である.

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-4 に示す. 図に示す温度は部材中心, 部材厚中央の値である. 図には, 打込み温度に応じた断熱温度上昇特性の解析結果(Case-1)と, 打込み温度 20℃での断熱温度上昇特性の解析結果(Case-2)を併示した. また, 表-4 には部材厚方向 3 箇所での最高温度を示した. Case-1 の解析結果は, 底部 CP, 手前部 CP とともに Case-2 より測定値に近い値を示す. 手前部 CP での測定値との差の低減は 0.2℃と小さい. これは, 図-3 に示すように各ケースの断熱温度上昇量の差が小さいためである.

一方, 底部 CP での測定値との差は 1.7~2.3℃低減し, 実際の打込み温度 (17.9℃) に即した断熱温度上昇特性を与えた効果が示されている. 底部 CP の解析では, 終局断熱温度上昇量 K を 30.3℃から 31.8℃と高くしたが, 解析結果における最高温度は逆に低くなる. 図-3 に示すように底部 CP の打ち込み温度における温度上昇速度は遅くなっており, 解析では温度上昇速度の低減により温度の上昇が抑制されたと推定される. 図-2 で示した断熱温度上昇試験結果において, 打込み温度 10℃と 20℃での温度上昇速度の差は, 20℃と 30℃での差と比べて大きい. 本検討結果によると, 断熱温度上昇特性の温度依存性, 特に低温時の温度上昇速度を試験により評価しておくことが解析誤差を低減する上で望ましい.

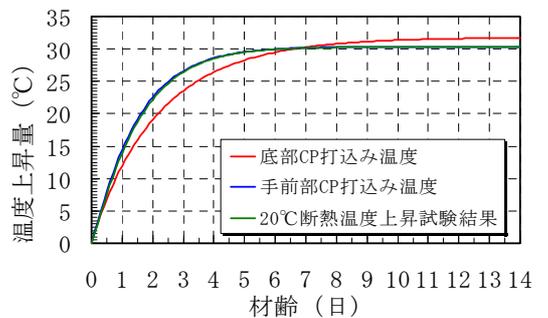


図-3 CP の断熱温度上昇量

表-3 CP の断熱温度上昇特性値

配合区分	部位	打込み温度 (°C)	T=K [1-exp(-α t <sup>β</sup> )]		
			K	α	β
コンクリートピット	底部CP	17.9	31.8	0.470	0.960
	手前部CP	24.3	30.3	0.644	1.075

T: 温度上昇量(°C), t: 材齢(日)  
K: 終局断熱温度上昇量(°C)  
α, β: 温度上昇速度に関する定数

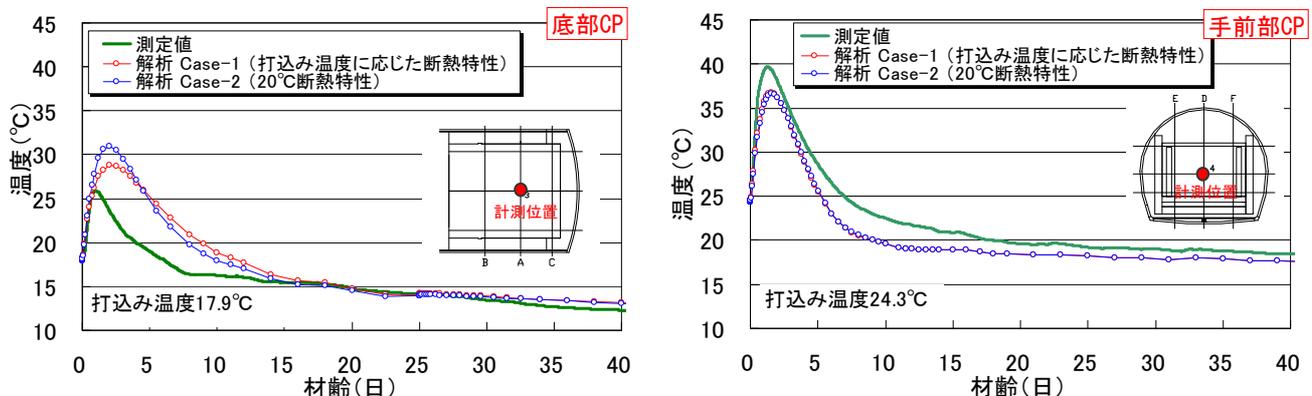


図-4 解析結果と測定値の比較 (部材厚中央の温度)

表-4 CP の最高温度の比較

部位	項目	上面側	部材中央	下面側	
		底部 CP	測定値	18.8	25.9
底部 CP	解析値(断熱特性)	24.8	28.8	27.4	
	打込み温度考慮	差分①	6.0	2.9	3.4
底部 CP	解析値(断熱特性 20°C)	26.5	31.0	29.0	
	差分②	7.7	5.1	5.0	
②-①		1.7	2.2	1.6	
手前部 CP	測定値	38.0	39.7	38.5	
	解析値(断熱特性)	34.9	36.8	34.9	
手前部 CP	打込み温度考慮	差分①	-3.1	-2.9	-3.6
	解析値(断熱特性 20°C)	34.7	36.6	34.7	
手前部 CP	差分②	-3.3	-3.1	-3.8	
	②-①	-0.2	-0.2	-0.2	

注) 差分: 解析値と測定値の差

4. まとめ

打込み温度を変えた断熱温度上昇試験を行うことで断熱温度上昇特性の温度依存性を評価し, これを考慮した解析を行うことにより温度解析の精度向上を図った. 実際の打込み温度に即した断熱温度上昇特性を与えることで温度予測の精度向上が見込まれるものの, その改善効果は限定的であった. 実際の打込み温度は, 練混ぜ水の水温や外気温などの影響を受け, 打設ごとに变化するため, 事前に断熱温度上昇特性の温度依存性を試験により評価しておくことが温度解析結果の確かさを担保する上で望ましい.

参考文献

- 1) 鈴木ほか: 地下空洞型処分施設性能確認試験における底部・側部埋戻し材施工確認試験に関する検討 (その 4) -コンクリートのひび割れ予測評価に関する考察-, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008
- 2) 財団法人ダム技術センター: 多目的ダムの建設 第 3 巻 設計 I 編 昭和 62 年版, pp. 209-211, 1987