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）－コンクリート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　新井 慶将　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　窪田 茂(現大成建設)　石橋 勝彦　寺田賢二
鹿島建設（株）　正会員　小林 裕　武地 真一
大成建設（株）　正会員　根木 政広
清水建設（株）　正会員　杉橋 直行

１．はじめに

発電所廃棄物の余裕深度処分などを対象とした地下空洞型処分施設の，施工性の評価や施工時の品質確認等の検討を行うために，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[1)]が実施されている．この試験では，底部・側部埋戻し材を，低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを使用した配合で施工することにより，低拡散材やコンクリートピットの配合・施工等に資する所見が得られるよう計画されている．ここでは，底部・側部埋戻し材を対象に行ったひび割れ評価の結果について報告する．

２．ひび割れ評価方法・条件

ひび割れ評価のための解析は，3 次元モデルを用いた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ものである．ひび割れ評価は，解析結果の応力から土木学会コンクリート標準示方書（以下コ示）に準拠してひび割れ指数[2)]を求め，ひび割れ発生の確率を予測するものである．また本試験では，埋戻し材の各所に埋設した計器により，温度や応力等の測定を行うとともに，施工完了後にはひび割れ観察を実施している．ひび割れ予測結果をこれらの測定・観察結果と照査することにより，予測精度に関する検討を行うことにしている．

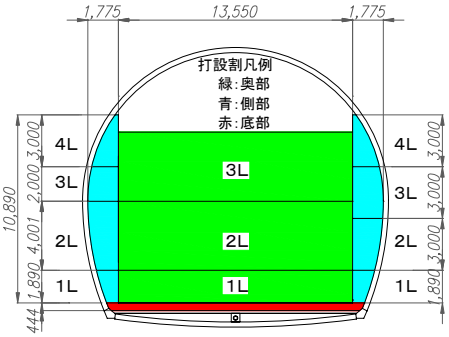


図-1　埋戻し材の打設割り

底部・側部埋戻し材の諸元・打設割りを図−1 に示す．コンクリート打設は，底部埋戻し材施工に始まり，側部 4 リフトを打設するまでの約 4 ヶ月間で行われた．解析に用いた物性等を表−1，表−2 に示す．側部 4 リフト以外の埋戻し材（スランプ型コンクリート）については，室内試験を実施しその特性を評価している．その他の物性については既往の検討等を参考に設定した．

３．ひび割れ評価結果

解析結果を図-2 に示す. 部材が薄い底部では最高温度は 28℃程度であり, 部材が厚い奥部・側部では 40℃, 35℃に達している. ひび割れ指数は概ね 1.45 以上であり, コ示に従えばひび割れ発生確率は 25%以下となる. なお，鉛直(Z)方向の温度応力は小さく，その方向のひび割れ指数は 1.75 以上であった．

表-1　熱伝導解析条件

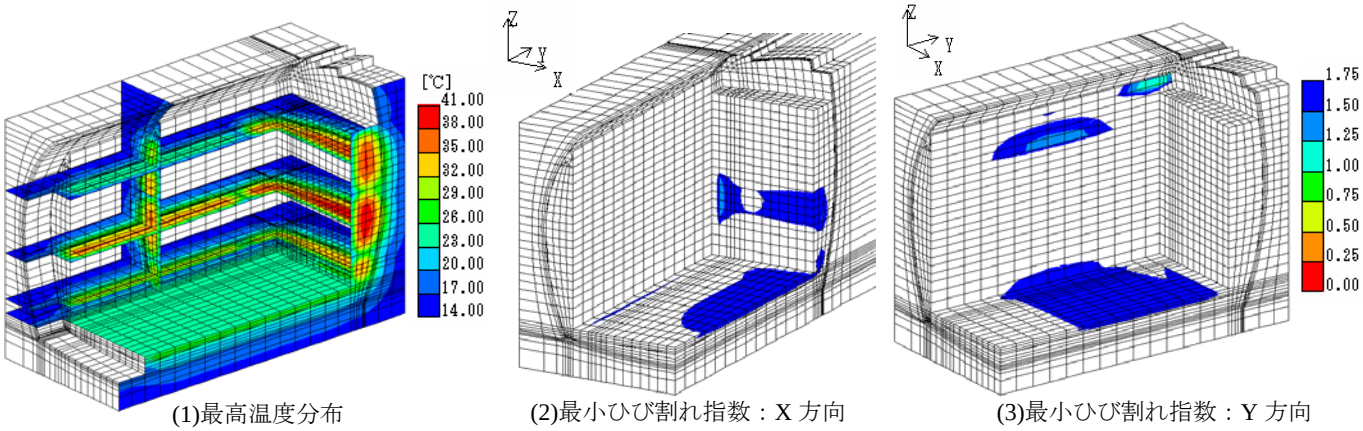
項　目		側部4L以外 スランプ型	側部4L 高流動	既設コンクリート	岩　盤
単位容積質量（kg/m^3）		2345	2715	2350 コ示より	1800
比熱（KJ/kg℃）		1.248	1.15	2.7 コ示より	0.8
熱伝導率（W/m℃）		1.99	2.7	1.15 コ示より	0.878
熱伝達率（W/m^2℃）		脱枠前：8 脱枠後：14		－	－
断熱温度上昇 $T=Q_\infty[1-\exp(-\alpha t^\beta)]$	Q_∞（℃）	29.6	34.76	－	－
	α	0.455	0.401	－	－
	β	0.909	0.882	－	－
外気温（℃）		T=a･sin(2π(x-b)/365+c a=-5.292，b=-71.449，c=16.230 2007/9/28～2008/01/10間は計測値使用			
打ち込み温度（℃）		施工実績値より		－	－
初期温度（℃）		－	－	14.9	14.9

注：石灰石を骨材としたコンクリートとした[3)]．

表-2　応力解析条件

項　目		側部4L以外 (スランプ型)	側部4L (高流動)	既設コンクリート	岩　盤
圧縮強度：fc'(t) (N/mm^2)		fc'(t)=t/(0.3833+0.0108t)	fc'(t)=t/(0.534+0.007t)	－	－
引張強度：ftk(t) (N/mm^2)		ftk(t)=0.5219×f'c(t)$^{0.503}$	ftk(t)=1.990×f'c(t)$^{0.16}$	－	－
ヤング係数：Ee (N/mm^2)		Ee=7840×f'c(t)$^{0.3825}$	Ee=10477×f'c(t)$^{0.33}$	21500	2000
ポアソン比		0.2	0.2	0.2	0.47
線膨張係数(μ/℃)		6.8(注)	6.8(注)	10	10
自己収縮 ε_{as} (μ) 収縮が負	材齢1日	-16	-60	－	－
	材齢3日	-20	－		
	材齢6日	-20	-83		
	材齢6日以降	$\varepsilon_{as}(t)=-a[1-\exp\{-b(t-c)^d\}]$	－		
		a=59.908，b=0.00037，c=17.486，d=2.247	-105		
			-135		
			-150		

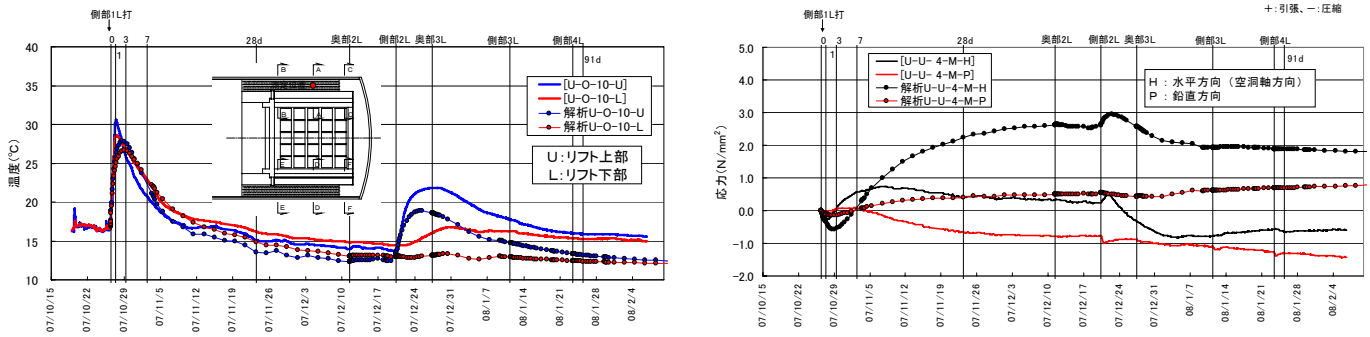
キーワード　放射性廃棄物，セメント系材料，ひび割れ評価，地下空洞型処分
連絡先　〒110-0015　東京都台東区東上野 3-3-3　ＴＥＬ　03-6372-5929　ＦＡＸ　03-6372-519



(1)最高温度分布　(2)最小ひび割れ指数：X 方向　(3)最小ひび割れ指数：Y 方向

図-2　解析結果

解析結果と測定値の比較の一例として左側部 1 リフト埋設計器について図−3 に示す．解析の温度の経時変化は概ね測定値の傾向を表現できているものの，当該リフト打設時の温度上昇の立ち上がりや，隣接リフト打設時の温度上昇の点で，解析結果に測定値との乖離が認められる．一方，コンクリート応力の点では，解析結果は測定値よりかなり大きく，ひび割れに関して保守側の評価を与える結果となっていることが分かる．



(1)コンクリート温度　(2)コンクリート応力

図-3　解析結果と測定値の比較

解析ではコンクリートのヤング係数として，室内試験に基づきヤング係数と材齢の関係を設定して用いているが，クリープの影響を考慮しておらず，このことが上記の差の主因と考えられる．水和の進行に伴う剛性変化とクリープに伴う応力緩和の両者を平均的に扱う方法として，コンクリートのヤング係数にクリープ等による剛性低下を考慮した有効ヤング係数を用いて，温度応力計算を行う方法が提案されている [2)]．当埋戻し材を対象としたクリープ試験の結果によれば，材齢 28 日載荷のクリープ係数は 1.0 に近く，若材齢時ではさらに大きなクリープ係数であったものと想定される．また，測定値より評価した有効ヤング係数は，材齢 3 日程度までは，室内試験から想定されるヤング係数の 30〜50%であり，材齢 3〜14 日では 80〜100%であった．以上より，解析の応力の精度を向上させるためには，今回の結果等を参考に，特に若材齢時の有効ヤング係数の適切な設定方法を検討する必要があると考える．

4．まとめ

今回実施したひび割れ評価解析では応力を過大に評価しているものの，ひび割れ指数は概ね 1.45 以上で，温度応力に起因すると考えられるひび割れが見つかっていないひび割れ観察結果と整合している．今後当評価の精度を向上させるためには，コンクリートの有効ヤング係数の適切な設定方法の検討が望まれる．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)　窪田ほか：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 1）―施工確認試験の概要―，土木学会第 63 回年次講演会投稿中
2)　土木学会：2002 年制定　コンクリート標準示方書　施工編
3)　コンクリート工学ハンドブック，pp.558，朝倉書店