

保温・湿潤養生台車を用いた覆工コンクリートの品質向上についての一考察（その2）

北海道電力(株) 正会員 松浦 正典 正会員 佐藤 渡
(株) 熊谷組 正会員 ○中村 滋 野呂 昌司

1. はじめに

北海道電力(株)の京極発電所放水路トンネルの覆工コンクリートの施工にあたり、保温湿潤養生台車（外気遮断養生台車及び湿潤養生台車）を開発し使用した。本報告は覆工コンクリートについて、現場試験及びコンクリート室内試験を元に、得られたデータを解析に反映・検証し、養生台車の養生効果を解析から検証したものである。

2. 養生台車概要

養生の基本的な考え方は、覆工後2日までは外気遮断養生、3～6日までは湿潤養生を確保することとし、養生台車の構造は覆工の3スパン分の設備とした。今回は、後方にミスト噴霧器を使用することで湿潤状態を継続する事としている。

セントルに最も近い養生台車（外気遮断養生台車）は、打設後の表面乾燥を防ぐことを目的としており、覆工コンクリートをパルーンで覆う構造である。次に使用する養生台車（湿潤養生台車）は湿潤養生を促進することを目的としている。養生台車と覆工面との間にマットが設置されており、水和熱による温度変化が安定した段階でこのマットを保水することにより覆工面を湿潤に保つ構造となっている。¹⁾

3. 現場試験状況

養生を行う場合と養生を行わない場合で、コンクリート内部の水和熱による温度上昇を測定した結果を図-1に示す。養生期間中のコンクリート温度は気中養生と比較して保温されていることが確認できた。また湿度計測により、養生なしの場合、湿度の平均値は30%であったのに対し、養生期間中コンクリートは相対湿度80%以上に保持されていた。また、坑内温度は18度ほど一定であった。

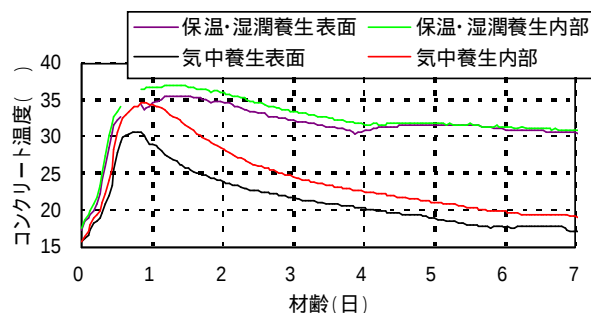


図-1 コンクリート温度経時変化

4. 室内乾燥収縮試験

現場で使用するフライアッシュコンクリートの室内乾燥収縮試験結果を表-1に示す。乾燥収縮量は材齢182日で827μとなり、現場で使用するコンクリートは土木学会式（コンクリート標準示方書2007準拠）で算出される乾燥収縮量の1.1～1.5倍大きい値であることを確認した。

表-1 室内乾燥収縮試験結果比較表

	材齢(日)	0	14(2週)	32(4週)	56(8週)	91(13週)	182(26週)
1	実測(μ)	0	322	517	632	819	827
2	土木学会式(μ)	0	288	404	491	566	659
3	1÷2	1.0	1.1	1.3	1.3	1.5	1.3

5. 検討モデル

解析で使用したモデルを図-2に示す。構造物対称性から1/4モデルとした。覆工コンクリート内径6400mm厚さ650mmである。表-2にコンクリート配合と解析物性値を示す。

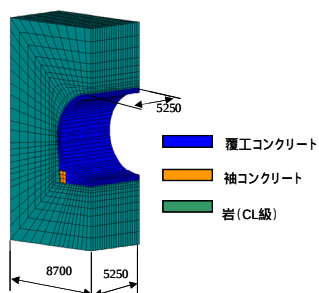


図-2 解析モデル

表-2 コンクリートの配合と解析物性値

	W/B	s/a	目標 SL (cm)	単位量 (kg/m³)					高性能 AE 減水剤 (C × %)
	(%)	(%)		W	C	Fa	S	G	
		47.5	47.9	18	168	284	70	842	940

	熱伝達率 (W/m²)	密度 (kg/m³)	比熱 (kJ/kg)	ポアソン比	線膨張係数 (μ /)	ヤング係数 (N/mm²)
	JCI2008指針に準拠					
覆工コンクリート	2.7	2400	1.15	0.2	10	19600
袖コンクリート	2.7	2400	1.15	0.2	10	1010
岩(CL級)	3.5	2650	0.8	0.25	10	

キーワード 覆工コンクリート 品質向上 外気遮断養生 湿潤養生

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 株式会社熊谷組土木事業本部

TEL 03-3235-8622 http://www.kumagaigumi.co.jp/tech/tech_s/doboku/d_sg_8.html

6. 解析条件検討

(1) 外気遮断養生台車と湿潤養生台車の熱伝達率

コンクリート内部の測定温度に対して、養生中の熱伝達率をパラメータとしたフィッティング解析を行い、各養生タイプ別の熱伝達率を求めた。ここで熱伝達率とは、材料表面とそれに接する気体との間の熱の移動しやすさをいう。図-3に温度解析結果を示す。外気遮断養生の熱伝達率を 6.0W/m^2 、湿潤養生の熱伝達率を 0.125W/m^2 に設定すると実測値と良好にフィッティングする結果を得た。通常コンクリートの表面から外気へ伝わる熱伝達率 $12.0 \sim 14.0\text{W/m}^2$ に対し、外気遮断養生台車の持つ熱伝達率は約半分の値である。また、湿潤養生台車は熱を逃がしにくく、コンクリートを保温する効果がある。

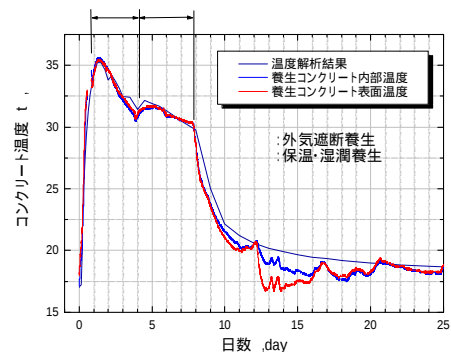


図-3 コンクリート温度経時変化と温度解析結果

(2) 乾燥収縮量の推定

現場条件におけるコンクリートの乾燥収縮量推定に、室内乾燥収縮試験結果を用いた。坑内の相対湿度 30%、単位水量 168kg/m^3 及び坑内温度 18 の現場条件から、土木学会式に代入して求めた乾燥収縮量を図-4の に示す。で求めた乾燥収縮量から現場で使用するコンクリートの乾燥収縮量を推定したものを表-3に示す。表-3の乾燥収縮量推定値を図-4上にプロット()し、これを基に乾燥収縮ひずみと有効材齢の関係式を式-1に示す。

$$\varepsilon'_{cs}(t, t_0) = \left[1 - \exp \left\{ 0.018(t - t_0)^{0.67} \right\} \right] \cdot 553 \quad \cdots \text{式-1}$$

ε'_{cs} : コンクリート材齢 t_0 から t までの収縮ひずみ
 t_0 : 乾燥開始時のコンクリートの有効材齢
 t : 乾燥中のコンクリートの有効材齢

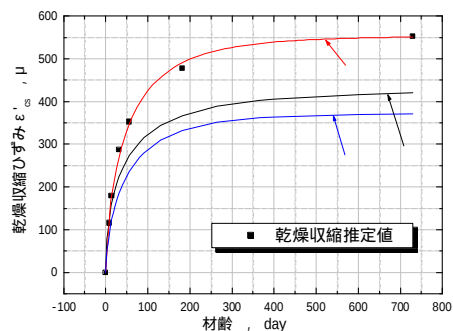


図-4 乾燥収縮ひずみの経時変化

表-3 現場条件を適用した乾燥収縮量推定値

材齢(日)	0	14	32	56	91	182	730
土木学会式(μ)	0	160	225	273	315	367	425
係数	1	1.1	1.3	1.3	1.5	1.3	1.3
乾燥収縮推定値	0	176	292	355	473	477	553

また、坑内の湿度測定結果から材齢 14 日までは乾燥収縮は起こり得ない十分な湿潤状態にあり、養生を行う場合の乾燥収縮ひずみ量を図-4の と仮定した。

(3) 地山拘束条件

原位置での平板載荷試験結果より、 $E=1010\text{N/mm}^2$ (CL 級)と定めた。²⁾

7. 温度応力解析結果

養生を行わない場合と養生を行う場合の履歴最小ひび割れ指数分布図を右図に示す(図-5、図-6)。養生を行わない場合と養生を行う場合を比較すると、ひび割れ指数が約 30% 向上することがわかった。また、全体的にひびわれ指数の低い分布範囲も小さくなっている。すなわち、覆工コンクリートの品質が大きく向上しているといえる。

8. まとめ

養生効果を解析から検証した結果、今回新たに 2 点の知見を得た。外気遮断養生台車は、脱型直後のコンクリートの乾燥を防止するだけでなく、コンクリート温度の上昇を抑制しつつ急激な温度低下を制御する役割を果たしている。一方、湿潤養生台車は、コンクリートを湿潤状態に保つだけにとどまらず、急激な温度変化を抑えて保温することにより温度応力の発生を抑制する。覆工コンクリートは、保温・湿潤養生台車が有する機能を発揮することで温度応力と乾燥収縮が抑制でき、品質が向上しているといえる。

【謝辞】 今回の報告に際しまして、ご協力頂いた関係各位に対しまして感謝の意を表します。

【参考文献】 1) システムチック養生台車による覆工コンクリートの品質向上、トンネルと地下、2008 vol.39 No.4 pp17 - pp26
 2) 京極発電所新設工事における放水路トンネルの岩盤評価と覆工設計、電力土木、2010 No.348 pp9 - pp13

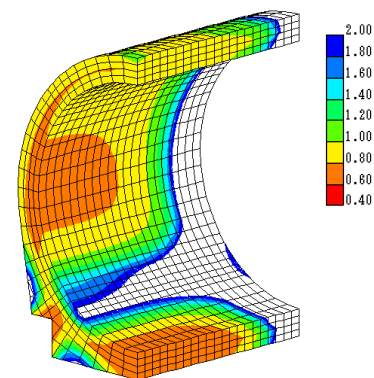


図-5 履歴最小ひび割れ指数分布(養生なし)

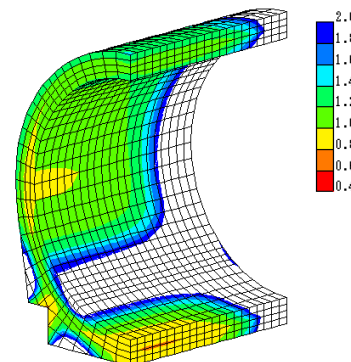


図-6 履歴最小ひび割れ指数分布(養生あり)