

低発熱・膨張型高流動コンクリートを用いたマスコンクリートへのパイプクーリング工法の適用

大成建設 土木技術研究所 正会員 ○臼井 達哉 正会員 坂本 淳 正会員 梁 俊
 大成建設 土木技術研究所 フェロー会員 新藤 竹文 大成建設 正会員 島屋 進
 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 正会員 前島 俊雄 山本 浩志

1. はじめに

LPガス国家備蓄波方基地プロパン貯槽工事では、地下水の圧力によって、高圧の液化プロパンガスを岩盤内に封じ込めて貯蔵する水封式地下岩盤貯蔵方式を用いている。この中で、LPガス岩盤貯槽と作業トンネル等の間を封鎖する本設のプラグコンクリートの施工前に、プラグコンクリートの配合、温度ひび割れ抑制のための温度規制方法を決定することを目的として、試験坑に同形状の2つのプラグコンクリート(No.1, No.2 プラグ)を試験施工した。プラグコンクリートの配合選定にあたっては、鉄筋他の埋設物、岩盤との境界部へコンクリートを確実に充填し、水密性を確保するために密実なコンクリートを打設することとした。このことから材料的対策として低発熱・膨張型高流動コンクリートを採用した。また、温度規制方法としてパイプクーリング工法を適用した。

本論文は、数々の対策を施した試験プラグコンクリートにおける躯体内部の温度・有効応力等の計測結果と解析値を比較し、温度応力解析の妥当性の評価を行ったものである。

2. 低発熱・膨張型高流動コンクリートの配合

表-1 選定された低発熱・膨張型高流動コンクリートの配合

Gmax (mm)	自己充てん性 ランク	水結合材比 (%)	水粉体容積比 (%)	スランブフロー (mm)	空気量 (%)	単位粗骨材容積比 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)											混和剤 高性能AE減水剤 AE助剤 増粘剤		
							水	低発熱セメント	低添加型膨張材	石灰石微粉末	高炉スラグ砕砂	砕砂	山砂	砕石1305	砕石2013					
20	1	55	86	700±50	4.5±1.5	0.280	175	303	15	282	164	435	187	612	153	5.70	0.072	0.3		

試験プラグに使用するコンクリートに高流動コンクリートの適用を検討するにあたって、埋設物周辺への確実な充てん性、構造物の重要性も考慮し、自己充てん性能ランク1相当の仕様¹⁾とすることとした。

選定されたコンクリート配合を表-1 に示す。まず、良好なフレッシュ性状、間隙通過性を得られるように配合選定を行った。その後、適切な膨張量が得られるように、拘束膨張試験(JISA6202 の付属書 2(参考), A 法)を実施し、収縮補償用コンクリートとしての標準範囲(材齢7日で $150 \sim 250 \times 10^{-6}$)に相当する膨張材添加量を選定した(図-1)。

3. パイプクーリング工法の適用

パイプクーリングの仕様は、既往の同種構造物の実績を参考に決定した。事前解析²⁾を行った後、No.1プラグコンクリートを打設し、温度、応力、ひずみの計測値から、各種解析条件の同定を行った。その後、No.2 プラグコンクリートを打設し、各種計測値から同定された解析条件の妥当性を検証した。パイプクーリングによるコンクリートの冷却では、最高上昇到達温度を抑制し、温度応力を低減することを目的とした1次クーリングと、コンタクトグラウトを実施する際にプラグコンクリートを岩盤温度以下に低下させることを目的とした2次クーリングを実施した。

(1)クーリングパイプの仕様

No.2 試験プラグコンクリートのクーリングパイプの配置を図-2 に示す。クーリングパイプの配置は、既往の同種構造物の実績を参考に決定し、配管ピッチを 0.8~1.0m を基本とした渦巻状の配置とした。事前に温度応力解析を実施し、最適なクーリング水の温

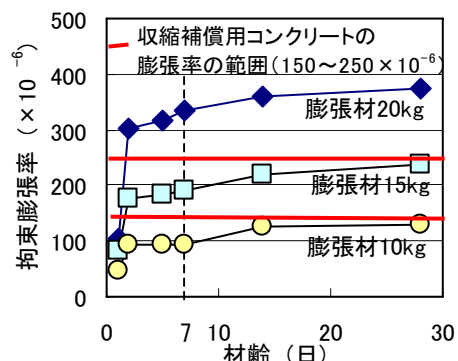


図-1 膨張材添加量の選定試験結果

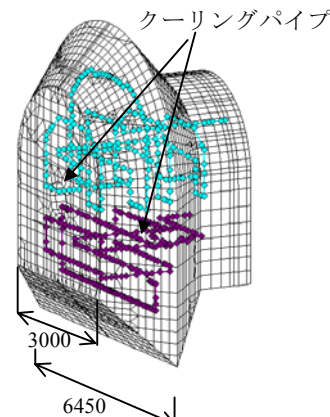


図-2 クーリングパイプ鳥瞰図

キーワード 高流動コンクリート, 膨張材, パイプクーリング, 温度ひび割れ制御

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7228

表-2 各材料の熱物性値

熱伝導率 (W/m ² °C)	コンクリート	2.6
	岩盤	1.7
比熱 (kJ/kg・°C)	コンクリート	1.26
	岩盤	0.88
熱伝達率 (W/m ² °C)	合板型枠	8
	中空部(鋼製配管)	14
	クーリングパイプ(1次)	595
	クーリングパイプ(2次)	322

度・通水量を決定し、1次クーリングは水温 15℃、水量 30 リットル/分、2 次クーリングは、水温 18℃、水量 15 リットル/分と設定した。

(2) 解析条件の同定

No.1 プラグコンクリートの計測結果から、解析条件の同定を行った。コンクリートの底部は、岩盤と剛結合条件とし、側面と上部は、岩盤との付着を考慮しなかった²⁾。コンクリート・岩盤の各種熱物性値を表-2 に示す。これらの熱物性値は、No.1 試験プラグコンクリートの温度計測結果と一致するように一般的な範囲内の値³⁾を参考に感度解析から求めた値である。なお、クーリング管の熱伝達率は、既往の研究成果³⁾をもとに設定した。コンクリートの断熱温度上昇量²⁾、各種硬化物性、コンクリートの自己膨張ひずみ等は、実測値をもとに決定した(図-3、図-4)。コンクリートのクリープ係数は、No.1 試験プラグの計測結果をもとに温度上昇時 2.6、温度下降時 0.3 とした。

(3) 同定された解析条件の検証

No.2 プラグコンクリートの計測結果から、同定された解析条件の検証を行った。各計測機器の配置図を図-5 に示す。解析値と計測値の温度比較を図-6 に示す。この結果から、1 次クーリング時の温度上昇・降下、1 次クーリング停止後の温度リバウンド、2 次クーリング時の温度降下ともに、解析値と計測値は良好に一致しており、計測値を再現できていることがわかる。次に、有効応力値の比較を図-7 に示す。この結果から、解析値と計測値は概ね一致しており、同定された解析条件が妥当であることが明らかになった。また、その他の各種計測結果等からプラグコンクリートの品質は良好に保たれていたことが確認された。

4. まとめ

本試験施工では、マスコンクリートの温度ひび割れ対策として低発熱・膨張型高流動コンクリート、パイプクーリング工法を適用した。その結果、特殊な境界条件下における温度・有効応力の計測結果と解析値は、良好に一致しており、パイプクーリングの周辺部の温度分布、コンクリートの応力分布を的確に評価することができた。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編],2002.3
- 2)山仲ら：プラグコンクリート温度応力検討時における岩盤拘束効果の評価，土木学会第 63 回年次学術講演会(投稿予定)
- 3)田辺ら：パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析，土木学会論文集，No343，pp.171-179，1984.3

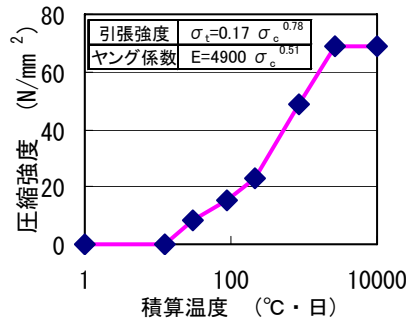


図-3 コンクリートの硬化物性

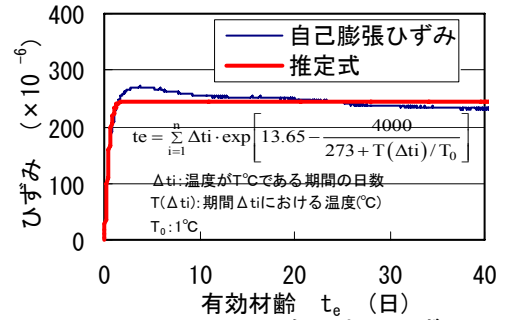


図-4 コンクリートの自己膨張ひずみ

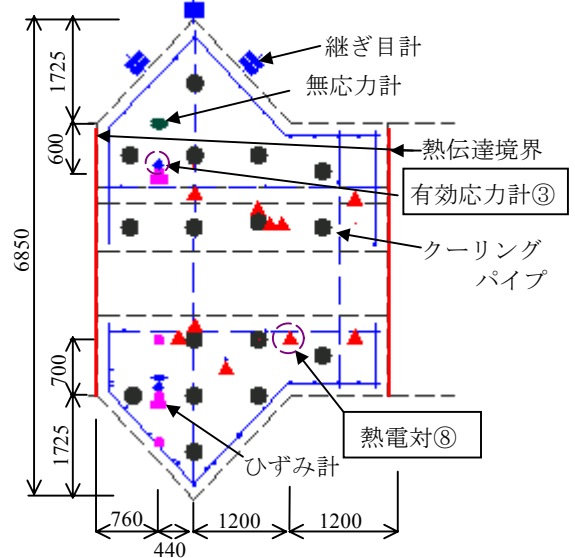


図-5 各計測計器の配置図

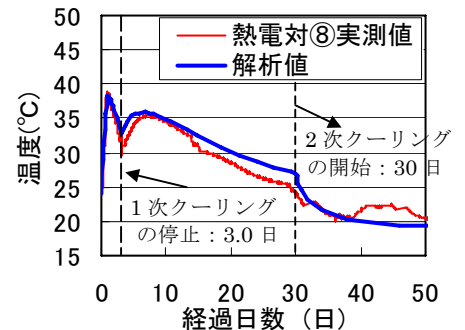


図-6 解析値と実測値の温度

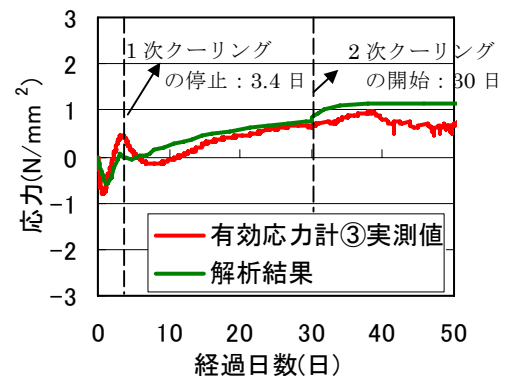


図-7 解析値と実測値の応力