

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

大成建設 正会員 ○山仲 俊一朗 正会員 下野 正人  
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

波方プロパン貯槽は、容量約 45 万 t の水封式地下岩盤 LNG 貯槽である。貯槽と作業坑および堅坑の境界に打設されるコンクリート(プラグコンクリート)は、水封式貯槽の中でも最も重要な構造物となる。そのため、本設のプラグコンクリートの打設に先行して、コンクリートの配合選定及び、温度ひび割れの抑制の為の温度規制方法の決定を目的として、現地に試験用のプラグコンクリートの打設を行った。温度規制方法の検討として、温度応力解析を用いて、温度上昇に伴う発生応力を予測し、ひび割れ指数によりプラグコンクリートの温度応力に対する健全性を評価した。コンクリートと岩盤の拘束効果が、発生する温度応力に大きな影響を与えるため、本研究ではコンクリートと岩盤の境界条件が発生する温度応力に与える影響を検討した。

2. 検討概要

本論文では、試験プラグの事前解析の解析パラメータの抽出段階での検討を報告する。試験プラグを対象に温度応力解析を行い、拘束条件の違いを比較し、発生応力について解析値と計測値との比較を行った。

3. 解析モデル

試験プラグコンクリートのモデル形状を図1に示す。岩盤とプラグコンクリートの境界条件は、プラグ周辺が完全に岩盤に拘束された場合(Case1)と、プラグ下方は自重により岩盤と密着するが、上方は温度収縮によりプラグと岩盤の間に隙間が生じると考えられるため、上方のみ引張に抵抗しないテンションカット要素をモデル化した場合(Case2)の2ケースについて検討を実施した。また、両ケース共に、打設後の温度上昇抑制による品質向上対策として実施したパイプクーリングの効果も考慮している。

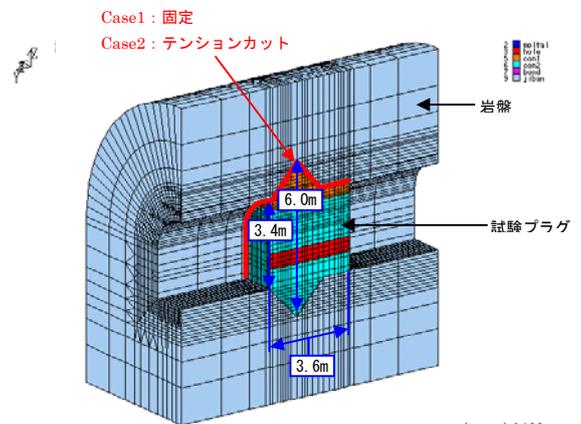
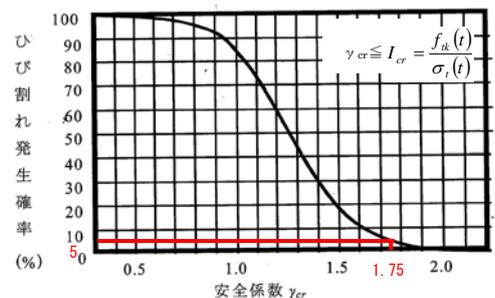


図1 解析モデル図

4. 評価方法

ひび割れ発生の有無をひび割れ指数により評価した。コンクリート標準示方書に従い、図2に示すようにひび割れ指数を定義した。プラグコンクリートはひび割れ指数 1.75 以下(ひび割れ発生確率 5%以上)の領域が連続しないことを管理目標とした。



$\gamma_{cr}$  : 安全係数  
 $I_{cr}$  : ひび割れ指数  
 $f_{tk}(t)$  : 材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_t(t)$  : 材齢 t 日におけるコンクリートの最大主引張応力(N/mm<sup>2</sup>)

図2 安全係数とひび割れ発生確率の関係

5. 解析条件

プラグ周辺の岩盤は、変形係数が高くプラグコンクリートに対しての拘束が大きいほうが設計として安全側となるため、現地試

表1 コンクリートの物性値および打設温度

密度	熱伝導率	比熱	熱膨張係数	ポアソン比	打設温度
kg/m <sup>3</sup>	W/m°C	kJ/kg・°C	/°C		°C
2350	2.7	1.16	1.0×10 <sup>-5</sup>	0.2	20

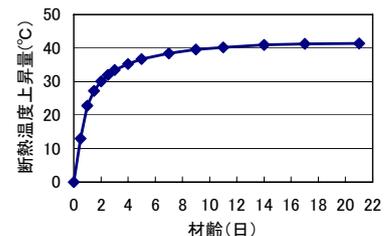


図3 断熱温度上昇特性

キーワード 岩盤地下備蓄、プラグコンクリート、温度応力、ひび割れ指数、岩盤拘束

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1丁目25-1 大成建設株式会社 土木設計部 TEL03-5381-5296

験で設定された岩盤等級の中で最も変形係数が高い Hv 級 ( $E=30.0\text{GPa}$ ) の岩盤の物性値を使用した。また、コンクリートには低発熱セメントを使用し、コンクリートの断熱温度上昇特性はセメントメーカー技術資料を参考に図 3 に示すように設定した。コンクリートの物性値および打設温度は表 1 に示す。坑内温度 ( $26.5^{\circ}\text{C}\sim 33^{\circ}\text{C}$ )、岩盤温度 ( $19^{\circ}\text{C}$ ) については、貯槽坑内の実測結果より設定した。積算温度と圧縮強度、圧縮強度に対する弾性係数および圧縮強度に対する引張強度の関係もセメントメーカー技術資料に従い図 4～図 6 に示す関係で設定した。

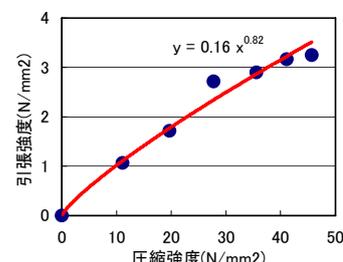
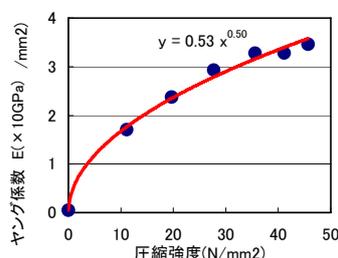
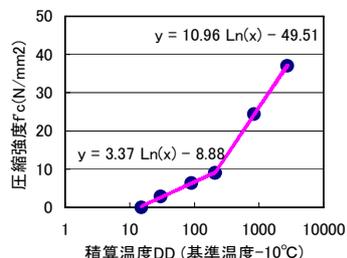


図 4 積算温度と圧縮強度の関係 図 5 圧縮強度とヤング係数の関係 図 6 圧縮強度と引張強度の関係

## 6. 結果

図 7 に Case1 のひび割れ指数分布を、図 8 に Case2 のひび割れ指数分布を示す。Case1 では、岩盤の拘束を受けて引張応力が増加し、ひび割れ指数が 1.75 以下の領域がプラグを貫通していることがわかる。一方で、Case2 は、プラグ中央下部において、ひび割れ指数が 1.75 以下の領域があるものの、その領域は連続していない。また、上部で発生する引張応力を比較すると、Case1 は、最大で  $3.5/\text{mm}^2$  であるのに対し、Case2 は  $0.68\text{N}/\text{mm}^2$  程度であり Case1 は Case2 の約 5 倍程度引張応力が大きくなる予測結果となった。一方で、試験プラグコンクリート打設後の計測値を確認すると、同様の計測位置での引張応力は、最大で  $0.85\text{N}/\text{mm}^2$  程度であった。つまり、Case2 の方が応力の大きさは実測と一致しており、実際の拘束条件に近いと考えられた。以上の結果をまとめると、Case1 では岩盤による外部拘束効果が影響し、温度上昇により発生する内部拘束も大きくなり、プラグコンクリート全体的にひび割れ指数が低下する結果となった。一方 Case2 のように、岩盤による過度な拘束を考慮しない場合は、内部拘束も低減し、全体的にひび割れ指数が低下する結果となった。

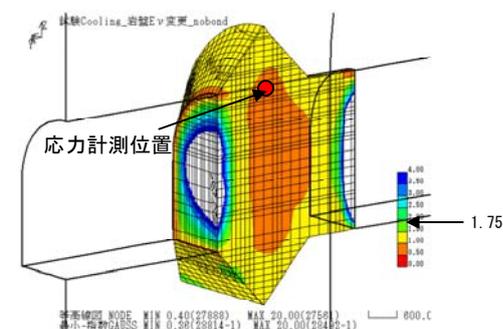


図 7 Case1 ひび割れ指数分布

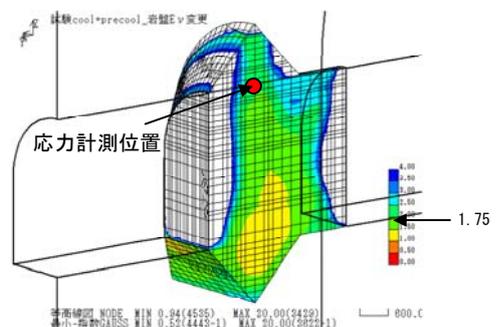


図 8 Case2 ひび割れ指数分布

## 7. まとめ

プラグコンクリートと岩盤との拘束条件に着目し、温度応力の発生状況の比較を行った。その結果、プラグ周辺が完全に岩盤に拘束された場合よりも、上部のみ引張に抵抗しないテンションカット要素をモデル化した場合のほうが、試験結果に一致することが分かった。一般的に温度応力解析では岩盤とコンクリートは拘束されているとして安全側に検討が行われるが、今回の検討のように岩盤とコンクリートの拘束を適切に評価することが、合理的なマスコン対策を実施する上では重要であると考えられる。試験プラグコンクリートの事後解析では、これらの拘束条件を反映すると共に、さらに膨張材の効果やパイプクーリングの仕様の変更、打設環境等のパラメータを実際の施工状況にフィッティングを行い、事前解析での解析と計測の誤差を改善し、試験プラグコンクリートの挙動評価を行っている<sup>1)</sup>。

## 参考文献

1) 低発熱・膨張型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, 白井ら, 土木学会第 63 回年次学術講演会(投稿予定)