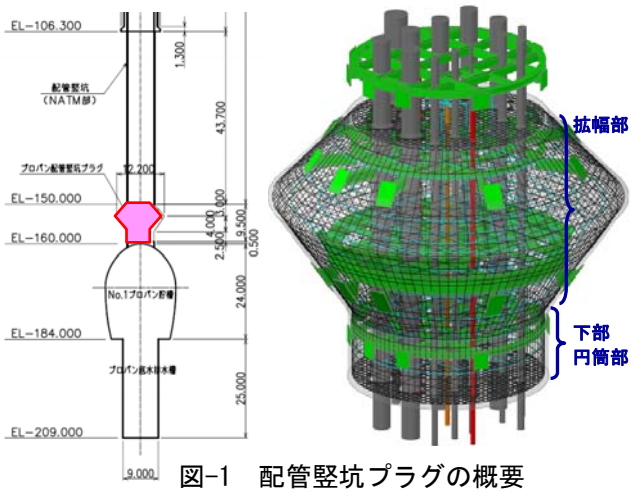
配管竪坑プラグコンクリートの温度ひび割れ対策
― 倉敷国家石油ガス備蓄基地（配管竪坑工事その５）―

リテックエンジニアリング株式会社　正会員　○新井 淳一，仲亀 裕昭
鹿島建設株式会社　正会員　秋田 伸，清水 大介，手塚 康成，森 孝之，柳井 修司
独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構　非会員　金戸 辰彦

１．はじめに

倉敷基地プロパン貯槽Ⅰ工事は，地下 160m～184m に液化プロパンガス（LPG）を 40 万ｔ貯蔵する水封式岩盤貯槽を構築するものである．このうち，配管竪坑は LPG 受入管等の金属管を設置して竪坑内も水封する構造であり，下端に金属管を含めたプラグコンクリートを構築するものである．このため，LPG の漏液・漏気および水封水の漏水を許容できないことから，非常に高い水密性と気密性が要求された．ここでは，水密性と気密性確保のための各種対策のうち，水和熱に起因する温度応力ひび割れの防止対策について報告する．



図−1　配管竪坑プラグの概要

２．配管竪坑プラグの概要

図−1 に配管竪坑プラグの概要を示す．プラグは，貯槽天端から 10m上を頂点として，上部３ｍ，下部４ｍ，両翼 2.7mのソロバン珠状に拡幅掘削を行い，この中に金属管，架台，鉄筋を設置して全高 9.5m 区間を**表−1** に示す配合の高流動コンクリート[1)]を充填して構築する．

表−1　高流動コンクリート配合例

設計基準強度 (N/mm²)	自己充填性のランク	スランプフロー (cm)	水結合材比 (%)	水粉体容積比 (%)	空気量 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m³/m³)	単位量(kg/m³) 水	低熱ポルトランドセメント	膨張材	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材 砕石2005	増粘剤 ※1	高性能AE減水剤 ※2
21	I	70	55	77	4.5	290	171	297	14	337	701	806	0.342	9.07 (1.4%)

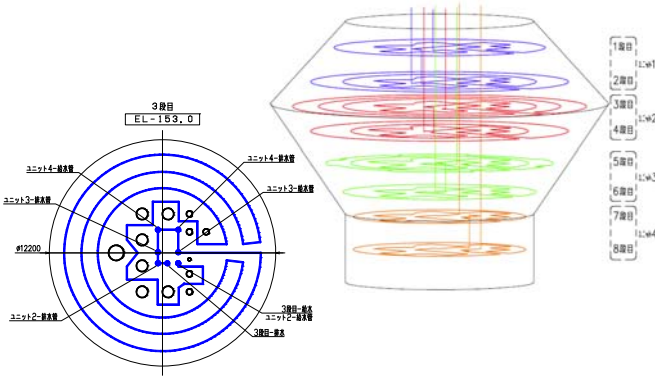
※1:主成分ｳｪﾗﾝｶﾞﾑ　※2:ポリカルボン酸系

表−2　設置間隔，打込み温度に着目した解析結果

クーリングパイプ設置間隔	コンクリート打込み温度	最小ひび割れ指数
1,000mm	25℃	1.39
1,000mm	20℃	1.97
750mm	30℃	1.65
750mm	25℃	1.94

３．ひび割れ制御を目的とした施工計画

水密性・気密性を確保するためには，プラグコンクリートと岩盤との一体性の確保とコンクリートの温度ひび割れの抑制が大命題となる．前者については，プラグコンクリートの温度が岩盤温度に擦りつく際の収縮変形によって生じる岩盤との隙間にコンタクトグラウトを充填して対処するが，工程の制約上，これを早期に実施する必要性が生じた．そのため，後者について，まずは，水和熱の温度ピークを可能な限り低下させ，その後は，工程に支障をきたさない範囲内で，いかにゆっくりと徐冷するかが課題となった（目標ひび割れ指数 1.75）．これらの課題を解決するため，躯体の内部にパイプを設置し，任意に温度調整した水を通水して，コンクリート温度をコントロールできるパイプクーリング工法を適用することとした．パイプクーリング工法の適用に当たって，以下の検討を行って施工計画を立案した．



図−2　クーリングパイプのレイアウト

キーワード　竪坑プラグ，高流動コンクリート，温度ひび割れ，パイプクーリング
連　絡　先　〒107-0052　東京都港区赤坂6-4-2 赤坂MS ビル リテックエンジニアリング（株）　TEL：03-6229-6851

① クーリングパイプの設置間隔を設定するために二次元有限要素法による温度応力解析を実施した．この結果，**表-2** に示すように20℃の打込み温度でひび割れ指数1.75を満足できる1,000mm間隔を基本として計画した．

② パイプ延長は，通水時の温度上昇を考慮して200mを目安として，**図-2** に示すような８段４系統で構成し，プラグ全体で均一な温度分布となるようにレイアウトして，通水方向や通水速度は各系統で任意に変更できるように設定した．

③ プラグ内に設置されている金属管内部に冷気を送風して，金属管自体もクーリングパイプとして利用 [2]するように設定した．また，圧送管に冷水を噴霧して，配管との摩擦によるコンクリートの打込み温度の上昇を抑制する設定とした．

④ コンクリート温度を管理するために，三次元有限要素法による温度応力解析を実施して，**図-3** に示すようにひび割れ指数1.75を満足できるコンクリート温度の管理基準を設けた．管理基準は，ピークカットを目的とした一次クーリングに上限値を，徐冷と岩盤温度への擦付けを目的とした二次クーリングに下限値を各々設定した．また，通水する水温を制御するために，チラーユニットを設置する計画とした．

４．施行および事後評価結果

コンクリートの打込みは2009年12月25日に総量622m^{3}を43時間40分かけて完了した [3]．**図-4** に水和発熱によるコンクリート温度が最も高くなると予想された位置における予測値と実測値を示す．筒先でのコンクリート温度は，**写真-1** に示す配管冷却の効果によって18℃以下に管理することができた．また，施工計画①～④に基づき，パイプクーリングを駆使した結果，ほぼ想定通りにコンクリート温度を管理することができた．コンクリートの温度履歴は，予測値に対して温度ピークに到達するまでの時間と温度が降下する時間がやや早い結果となったが．これらの現象を同定した事後解析では，**図-5** に示すように，最小ひび割れ指数は1.86であり，目標値1.75を十分に満足することができた．

５．まとめ

水封式岩盤貯槽におけるプラグコンクリートの施工において，温度ひび割れを制御するためにパイプクーリングによる対策を講じた．貯槽全体を対象とした水密性・気密性の検査も完了し，2013年3月現在でLPGの受入れも順調に実施されており，今回のひび割れ制御対策が適切であったことが確認できた．

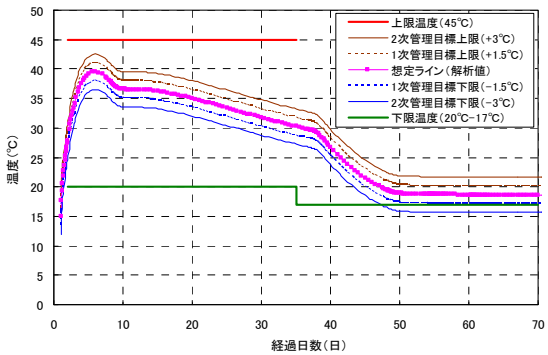


図-3　コンクリート温度の管理グラフ

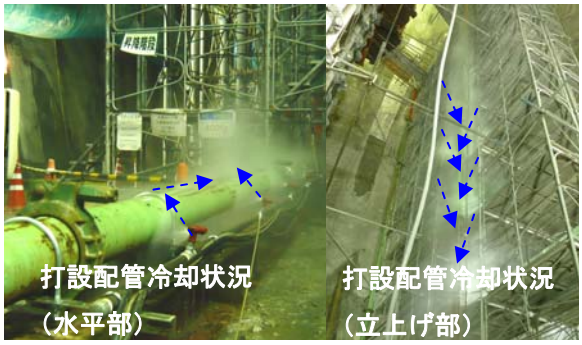


写真-1　配管冷却状況

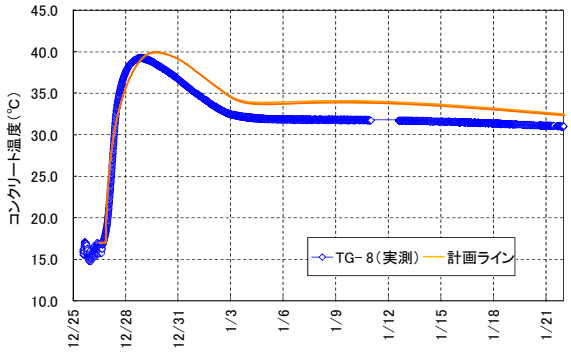


図-4　コンクリート温度計測結果

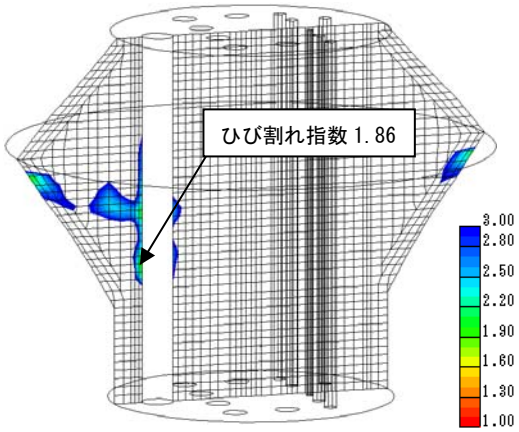


図-5　事後解析結果（ひび割れ指数）

参考文献 1)岸田ら：プラグコンクリートに用いた低発熱・低収縮コンクリートの諸特性，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，2013.9

2)井上ら：エポキシ樹脂被覆金属管を用いたエアクーリング，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，2013.9

3)柳井ら：配管竪坑プラグコンクリートの施工実績，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，2013.9