

V-568

マスコンクリートにおけるパイプクーリングの冷却特性に関する一考察

本州四国連絡橋公団 正会員 有馬 勇
 (株)熊谷組 土木技術部 正会員 佐藤 英明
 (株)熊谷組 大阪支店 正会員 中岡 史男
 (株)計測リサーチコンサルタント 正会員 下嶋 一幸

1. はじめに

パイプクーリングは、マッシブなコンクリート構造物における温度ひび割れを制御する有効な一手段であり、合衆国開拓局のHooverダムの建設時にコンクリートダムの温度規制法として一連の施工法が確立され、以来コンクリートダムの建設とともに発展してきた工法である。一方、パイプクーリングの冷却効果に関する研究は、近年では田辺らの一連の研究¹⁾や佐藤らの研究²⁾などにより設計手法としても大きな進展を見せているが、パイプクーリングが実施された実構造物の挙動についての研究報告は極めて少ない。

本報告は、現在本州四国連絡橋公団が建設中の明石海峡大橋4Aアンカレイジで実施したパイプ周辺の計測結果を踏まえ、実構造物におけるパイプクーリングの冷却特性に関して検討、考察を行ったものである。

2. 計測概要

明石海峡大橋4Aアンカレイジは、躯体部のコンクリート総量が約150,000m³のマッシブなコンクリート構造物である。図1に、4Aアンカレイジの全体概要を示す。各ブロックには各種計測器を設置し、情報化施工による温度ひび割れ制御³⁾を行っているが、ここではクーリングパイプ(以下、パイプと略す)周辺の挙動を把握するための詳細な計測を行ったL1ブロックの13リフトの計測結果に基づき検討を加えた。図2に、検討対象リフトのパイプ配管図および計測位置を示す。なお、パイプには、施工性・耐久性等を考慮してやや厚肉の電縫鋼管($\phi 114$ 、 $t=1.4$ mm)を使用した。

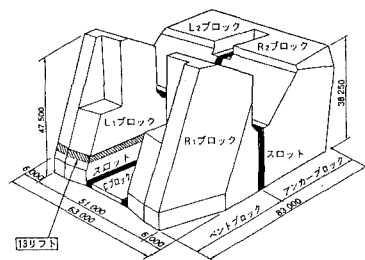


図1 明石海峡大橋4Aの全体概要

表1に、パイプクーリングの通水実績を示す。

3. 温度解析概要

設計、施工検討等で一般に用いられている二次元有限要素法による熱伝導解析の適応性を把握するために、図3に示すように計測位置に対応したパイプ周辺の解析モデルによる温度解析を行った。また、パイプクーリングによる熱収支は、パイプ位置の節点を特殊な熱伝達境界として取り扱う方法とした^{1)、2)}。なお、打設直後のコンクリート内部の温度状態はコンクリートの断熱温度上昇特性に大きく依存し、その評価結果によってはクーリング周りの熱挙動を的確に把握できないことも考えられるので、温度解析はコンクリートの発熱が概ね終了すると思われる二次クーリング時に限定して行うものとした。表2に、材料試験等に基づく温度解析条件を示す。

4. 実測値および解析値に基づく考察

図5に、二次クーリング時における上段パイプ位置およびパイプ間の位置でのコンクリート温度の実測値と解析

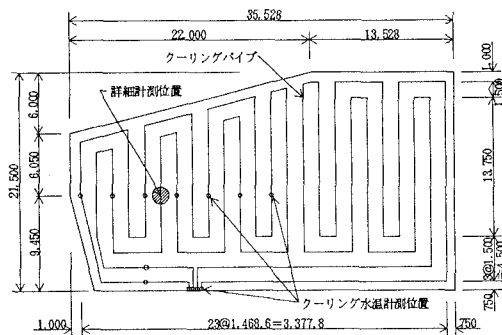


図2 L1ブロック13リフトのパイプ配管、計測位置図

表1 パイプクーリングの通水実績

区分	開始材令	通水水温	通水期間
一次クーリング	1.0 日	13.0 °C	3 日間
二次クーリング	60.0 日	20.0 °C	20 日間
		17.0 °C	20 日間
		14.0 °C	23 日間

注1) 開始材令は、コンクリート打設時からの材令。
 注2) 二次クーリングは、段階的に水温を低下させて通水する3段階クーリングを実施した。
 注3) 通水流量は、15ℓ/min。

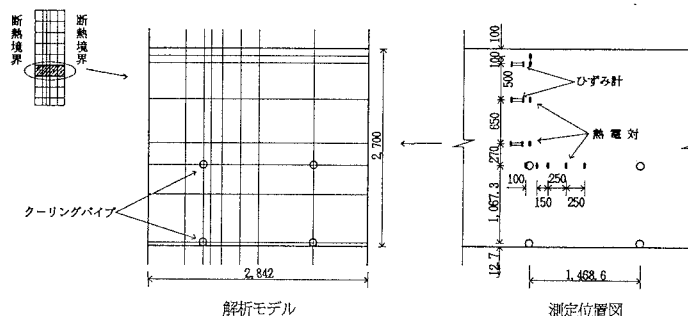


図3 解析モデルおよびリフト内計測位置

値の比較を示す。この結果、両者は極めて良く一致しており、パイプを特殊な熱伝達境界とした二次元有限要素法によれば、パイプクーリングによる熱除去効果の現象は高い精度で解析できることが分かる。

図6に、パイプの延長方向における水温の上昇量の分布の一例を、一次クーリング時の場合も併せて示す。これより、パイプ内の通水水温はほぼ直線的に上昇しており、特に、一次クーリングにおいてはコンクリートからの熱除去効果に場所的な相違は見られないことから、200mを越える配管長でも熱除去効果は十分に期待できることが把握できた。なお、二次クーリング時にパイプ出口近傍で通水水温が低下していく傾向は、出入口近傍の配管がコンクリート温度の低い躯体の側面近傍に敷設されているためと考えられる。

図7に、上段パイプの上部にパイプ直角方向に設置したひずみ計の二次クーリング時に発生する有効ひずみ履歴を示す。これより、二次クーリングによってパイプ近傍に発生する引張ひずみは最大でも25 μ 程度であり、また水温を切り換えた場合においても引張ひずみが増加する傾向は見られないことから、今回採用した通水水温を段階的に低下させて躯体を冷却する二次クーリング方法は、ひび割れ発生の制御として有効と思われる。

5. まとめ

本研究により、二次元有限要素法によるパイプクーリング効果の解析は十分な精度で実現象を表現できること、配管長は200m以上としても冷却効果は十分に期待できること、および段階的に通水水温を低下させる二次クーリング方法は有効であることが明らかとなった。

<参考文献>

- 1) 田辺、山川、渡辺：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、土木学会論文報告集 第343号、1984.3、など
- 2) 佐藤、佐谷：マスコンクリートにおけるパイプクーリング効果に関する研究、土木学会論文集 第372号/V-5、1986.8
- 3) 中岡、村瀬、有馬、佐藤：情報化施工によるマスコンクリートの温度ひび割れ制御、土木学会第48回年次学術講演会概要集 第6部、平成5年9月

表2 温度解析条件

密度	2,300 kgf/m ³
比熱	0.23 kcal/kgf°C
熱伝導率	1.50 kcal/mh°C
熱伝達率	湛水養生 1.5 kcal/mh°C グリーンカット 25.0 kcal/mh°C 散水養生 7.0 kcal/mh°C
打継面	パイプ-リソグ 339.0 kcal/mh°C

注) パイプ位置での熱伝達率は、田辺らの実験式¹⁾による。

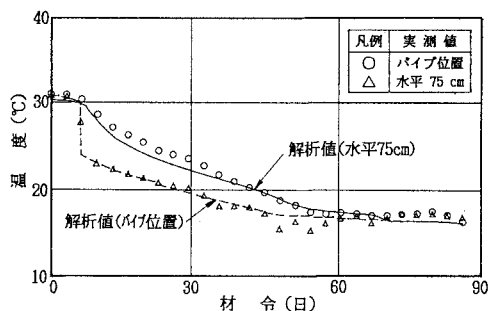


図5 パイプ近傍のコンクリート温度履歴

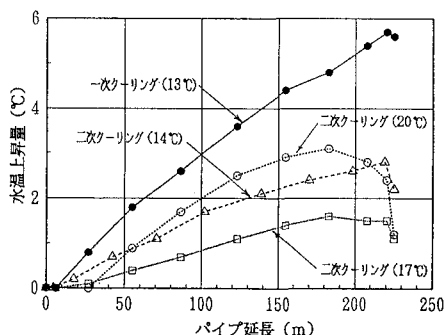


図6 パイプ延長方向の水温上昇量の一例

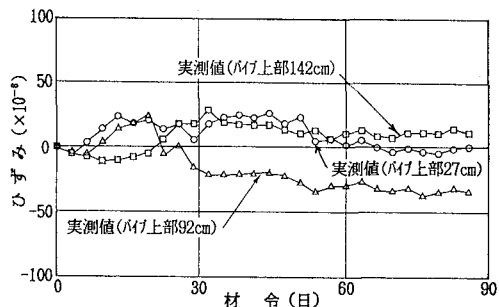


図7 パイプ近傍の有効ひずみ履歴