水門床版コンクリート(躯体厚 3m)の水平パイプクーリングの効果

(株)奥村組　　正会員　○山田　浩平　正会員　齋藤　隆弘　中村　方紀　フェロー会員　東　邦和
国土交通省　東北地方整備局　岩手河川国道事務所　　小原　昭彦

1. はじめに

水門工事の床版は躯体厚が数 m となり、本工事（一関遊水地大林排水施設）においても 3m の躯体厚となるため、内部の過大な発熱による不具合（ひび割れ等）が懸念される。このため、事前に FEM 温度応力解析によりパイプクーリングの効果を検討した上で実施工にパイプクーリングを適用した。本報告では、解析と実測両面からパイプクーリングの効果を検証した結果を報告する。

2. 施工および解析の概要

2.1 構造物の概要

構造物の床版は、①中央堰柱部、②端部堰柱部、③中間床版部、④水叩き部、⑤翼壁部に分けられ、このうち①～④については、部材厚が 3m となる。最初に施工した③中間床版部の寸法をもとに、温度応力解析を実施した。床版の配置図を図 1 に、図 2 に中間床版部の寸法およびパイプ配置図を示す。コンクリート配合は呼び強度 24N/mm²、セメント種は高炉 B 種、単位セメント量は 299kg/m³ である。示方配合を表 1 に示す。

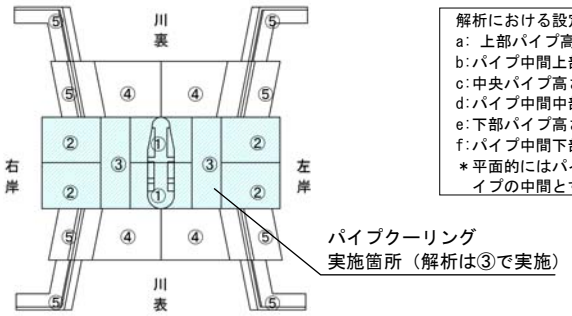


図 1　床版の配置図

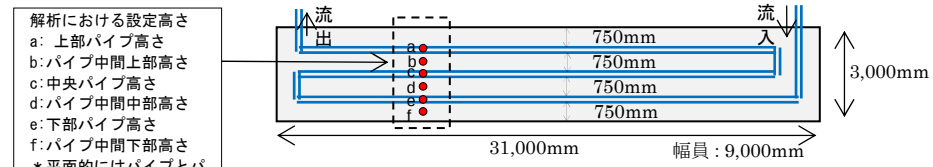


図 2　中間床版の寸法およびパイプ配置図
（縦断図、パイプのピッチは水平、垂直とも 750mm）

表 1　コンクリートの示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) 水	セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
54	44.4	161	299	394	416	1053	2.99

呼び強度 24N/mm²
スランプ　8cm
粗骨材の最大寸法　20mm
セメント種　BB

細骨材①　宮城県大郷町産山砂
細骨材②　岩手県一関市狐禅寺産砕砂
粗骨材　　岩手県一関市狐禅寺産砕石

2.2 パイプクーリングおよび解析の概要

図 2 に示すように厚さ 3m に対し、3 列・750mm ピッチにクーリングパイプを設置している。パイプはφ25mm のワインディングシース管で、同一鉛直断面の 3 本を繋いでいるので長さは約 100m となる。クーリング水としては、現場内で採取される地下水を使用した。解析では水温を 12℃に設定し、クーリング流量は 6L/min とした。解析プログラムはパイプ長さ方向の水温変化を考慮できる JCMAC3（日本コンクリート工学会）を使用した。クーリング水は下側パイプより流入させている。図 2 のパイプの配置をモデル化し、上記のクーリング水温、流量、配合を入力し解析を実施した。

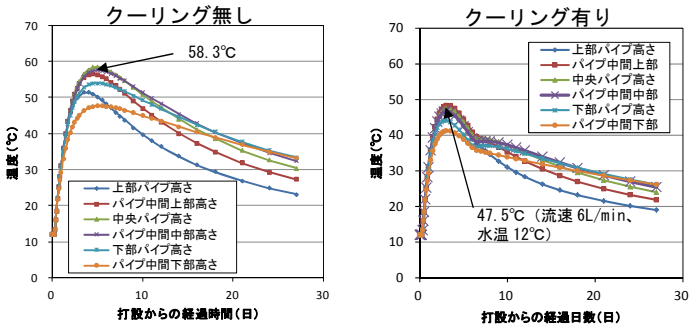


図 3　高さごとの内部温度変化（解析結果）

3.　事前解析結果

図 3 にコンクリート内部の高さ毎の温度変化（解析結果）を示す（解析の設定高さは図 2 参照）。右側がパイプクーリングを実施したケース、左側が実施しないケースである。パイプクーリングの実施により、中段部と下段部(b～e)では最大 10℃程度内部温度が低減されているが、上段部(a)では 4℃程度の低減となる。

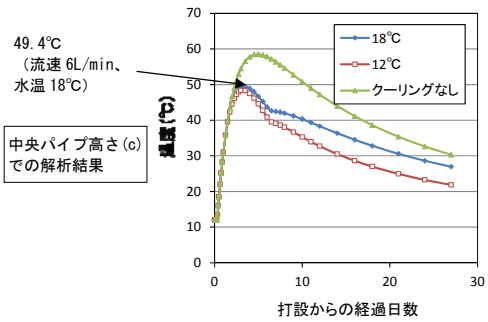


図 4　クーリング水の温度を変えた場合の温度変化（解析結果）

キーワード：水門工事，マスコンクリート，水平パイプクーリング，温度応力解析，ひび割れ指数
連絡先　〒981-8525　宮城県仙台市青葉区堤通雨宮町 2-25　TEL 022-273-9918　FAX 022-273-9817

図 4 にクーリング水の温度を変えた(12℃および 18℃)場合の、図 5 に流量を変えた（6L/min および 8L/min）場合のコンクリート内部の温度変化を示す。クーリング水の温度が 12℃の時のコンクリート内部温度の最大値は 47.5℃（10.8℃の低下）であるのに対し、18℃の時は 49.4℃（8.9℃の低下）となる。一方クーリング水の流量を 8L/min（水温 12℃） としたときの内部温度の最大値は 46.2℃（12.1℃の低下）となりクーリング水温・流量ともに若干ながらコンクリートの内部温度に影響を与えることがわかる。

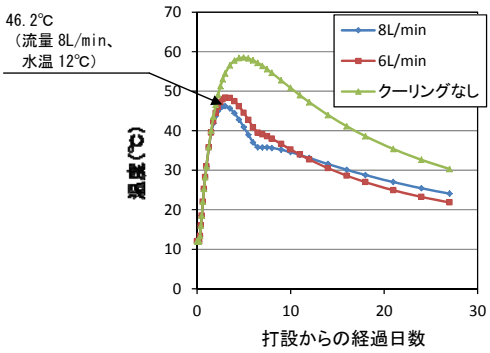
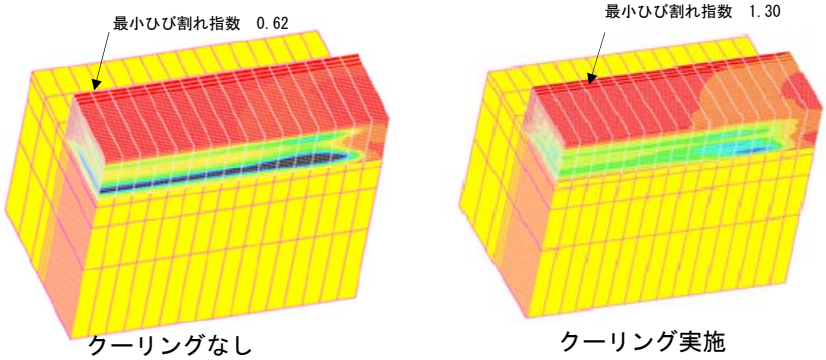


図 5 クーリング水の流量を変えた場合の温度変化（解析結果）



クーリングなし
（最小ひび割れ指数 0.62）

クーリング実施
（最小ひび割れ指数 1.30）

図 6 最少ひび割れ指数の分布（解析結果）

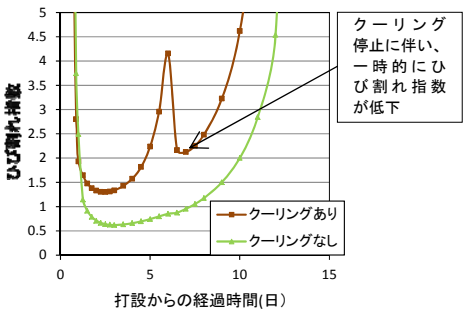


図 7 ひび割れ指数の経時変化（表面部）

図 6 に最小ひび割れ指数の分布、図 7 にひび割れ指数の経時変化を示す。パイプクーリングを実施しない場合、表面のコーナー部において、最小ひび割れ指数が 1.0 を下回る(0.62)箇所が見られたが、パイプクーリングの実施により最小ひび割れ指数は 1.0 を上回り（1.30）パイプクーリングによるひび割れ抑制効果が確認された。

4. 施工状況と温度実測結果について

写真 1 と写真 2 にクーリングパイプ配置状況を、図 8 に実施工時(クーリング実施時：2 回の平均値および非実施時)のコンクリート内部の温度履歴を示す。クーリングは打設翌朝から開始し、流量は 20L/min まで増やした。これは初回の施工時では 6L/min で実施したが､クーリング途中で水温が 40 度程度まで上昇し、十分なクーリング効果が得られなかったためである。パイプクーリングの実施により、内部温度はピークは打設後 3.1 日で 46.3℃ (非実施時の実測におけるピーク温度から約 10℃の低減）となり、解析による予測値とほぼ同等のクーリング効果が得られた。

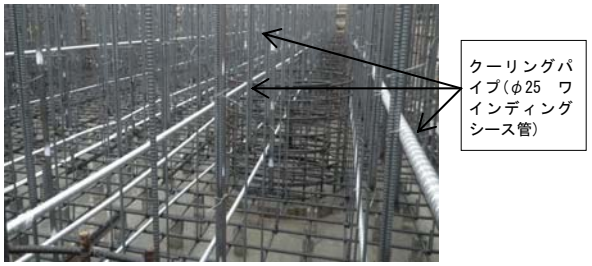


写真 1 クーリングパイプ配置状況

写真 2 クーリングパイプ配置状況（流入箇所）

5. おわりに

大規模コンクリート構造物でパイプクーリングを実施した際の内部温度低減効果について、解析・実測両面から確認し、解析・実測いずれの結果でも 10℃程度内部温度が低減し、パイプクーリングが温度ひび割れ抑制に寄与することを確認した。

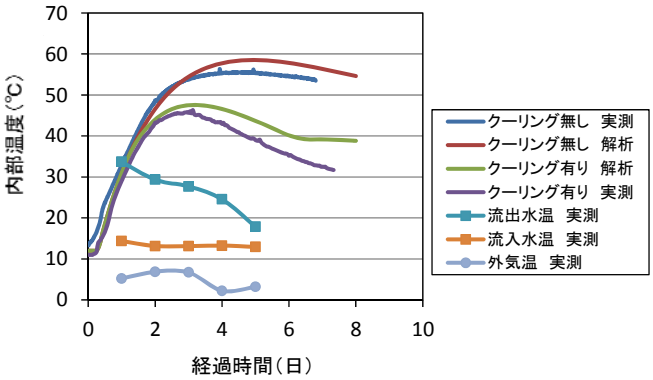


図 8 実施工時のコンクリート内部の温度履歴
（クーリング実施時は 2 回の平均値、
クーリング非実施時は 1 回のデータ）