

1

施工計画

パイプクーリングにおけるコンクリート温度管理について

東京土木施工管理技士会
あおみ建設株式会社
監理技術者
松江 敏彦[○]
Toshihiko Matsue

担当技術者
春木 幸二
Kouji Haruki

大阪支店土木部部长
柳川 恭広
Yasuhiro Yanagawa

1. はじめに

本工事は和歌山下津港海岸（海南地区）に整備される津波対策水門築造工事のうち、水門の底版を施工するものである。施工場所は和歌山市の南部に位置し、海南市との市境になる（図-1参照）。

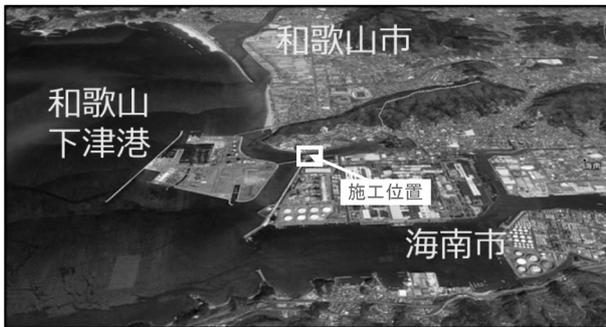


図-1 施工位置図

工事概要

- (1) 工事名：和歌山下津港海岸（海南地区）水門本体築造工事（第1工区）
- (2) 発注者：国土交通省 近畿地方整備局
- (3) 工事場所：和歌山県和歌山市毛見地先
- (4) 工期：平成25年5月23日～平成27年2月27日

(5) 工事内容

本体工：底版コンクリート 約1,600m³
(約530m³/ブロック)

本工事の底版の施工範囲は、底版①～⑨の9ブ

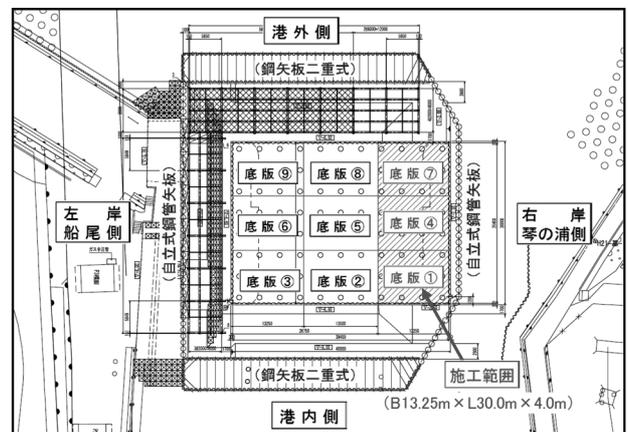


図-2 施工位置平面図

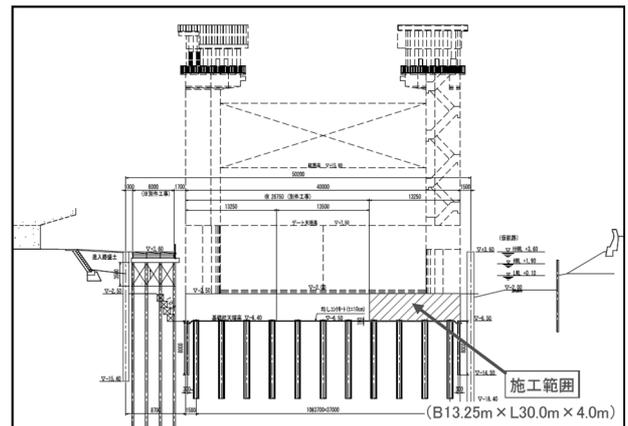


図-3 施工位置断面図

ロックうち底版①、④、⑦の3ブロックである（図-2、3参照）。

2. 現場における課題・問題点

本水門の底版形状は、幅30m×長さ40m×厚さ

4m(日本最大級クラス)でマスコンクリートとなるため、温度応力によるひび割れ(以下、温度ひび割れと略す)対策が施工上大きな課題であった。

(1) 当初計画の温度ひび割れ対策仕様

当初計画の温度ひび割れ抑制対策は、低熱セメント+膨張材+パイプクーリングであり、温度ひび割れ抑制対策として考えられる対策がすべて講じられていた。

【温度ひび割れ抑制対策仕様】

- ・低熱セメント 圧縮強度： $\sigma_{56} = 33\text{N/mm}^2$
セメント量： 370kg/m^3
- ・膨張材 添加量： 20kg/m^3
- ・パイプクーリング (表-1、図-4 参照)

表-1 パイプクーリングの条件

項目	内容
パイプ外径	$\phi 34\text{mm}$ 以上
通水温度	10°C
流水速度	20cm/秒
通水期間	各ブロック打設日より14日間

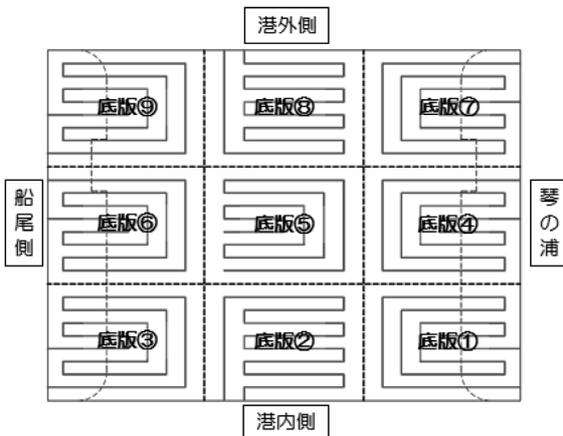


図-4 当初計画の温度ひび割れ抑制対策 (パイプクーリングの配置間隔1.1m 1段)

【要求性能】

『ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制御する』こととし、温度ひび割れ指数を1.0以上とすること。

また、ひび割れ幅は、「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008」を参考に算出し、算出した温度ひび割れ幅 w_c が許容ひび割れ幅 w_a を超えないようにすること。

(2) 実施工程での温度ひび割れ解析結果

実施工程にあわせコンクリートの温度ひび割れ

表-2 計画変更工程の温度ひび割れ解析照査結果

ブロック	最高温度 ($^\circ\text{C}$)	ひび割れ指数照査		ひび割れ幅照査		
		最小ひび割れ指数	判定	温度ひび割れ w_c 幅(mm)	許容ひび割れ w_a 幅(mm)	判定
底版①	59.2	0.93	NG	0.20 <	0.4	OK
底版④	51.7	0.70	NG	0.24 <	0.4	OK
底版⑦	59.4	0.86	NG	0.21 <	0.4	OK

解析を行ったところ、表-2に示すようにすべてのブロック(底版①、④、⑦)において最小ひび割れ指数が1.0未満となり、要求性能を満足しなかった。

3. 対応策

温度ひび割れ抑制対策の見直しは、パイプクーリングのパイプの配置変更による内部温度の上昇低減とコンクリート温度のリアルタイム計測による養生管理で対応することにした。

(1) パイプクーリングの配置変更

パイプクーリングの配置を水平方向は0.55m間隔、鉛直方向は2段配管(底版を約3等分)として温度ひび割れ解析を行った結果、表-3に示すように、すべてのブロックで要求性能を満足した。なお、パイプクーリング配置は、生コンの打込み作業に支障がないように最小配置間隔を0.5m以上となるように配慮した。

本工事で採用したパイプクーリング配置を図-5、6に示す。

表-3 温度ひび割れ解析結果

ブロック	最高温度 ($^\circ\text{C}$)	ひび割れ指数照査		ひび割れ幅照査		
		最小ひび割れ指数	判定	温度ひび割れ w_c 幅(mm)	許容ひび割れ w_a 幅(mm)	判定
底版①	43.1	1.14	OK	0.16 <	0.4	OK
底版④	36.2	1.04	OK	0.18 <	0.4	OK
底版⑦	44.9	1.06	OK	0.17 <	0.4	OK

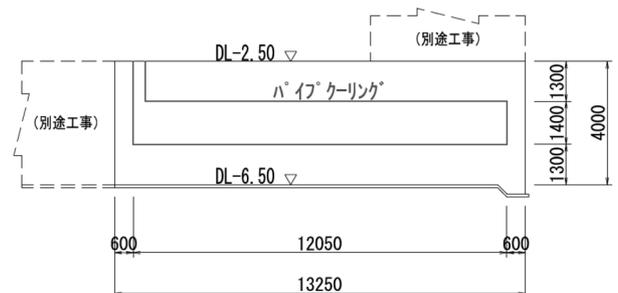


図-5 パイプクーリング断面配置図(2段)

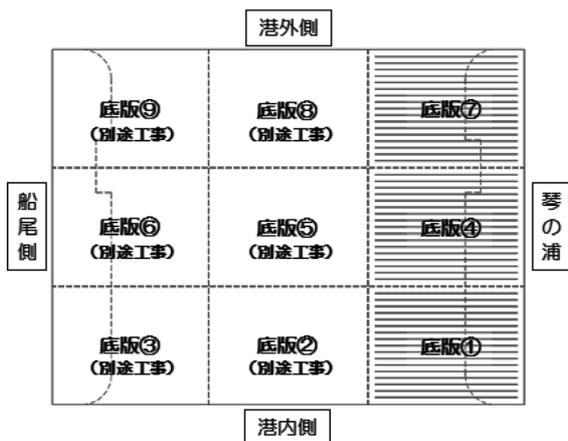


図-6 パイプクーリング平面配置図
(配置間隔0.55m)

(2) コンクリート温度のリアルタイム計測による養生管理

①温度計測

コンクリートの計測箇所は、コンクリート温度が最も高くなる底版の中心（内部）付近と温度ひび割れの発生が予測される表面（側面および天端）付近とし、同時にパイプクーリング水温（流入・流出）、外気温の計測も行うことにした。

なお、生コン打設時の影響により熱電対や配線の破損等に対応するため、予備を設置した。

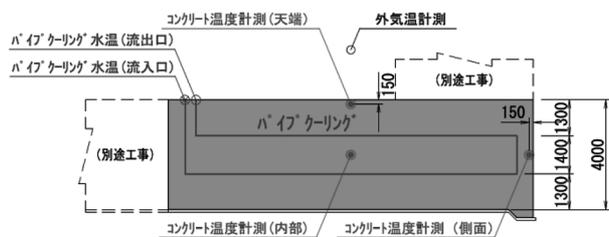


図-7 温度計測位置図

②養生管理方法

コンクリート温度はリアルタイムで監視し、内部温度が養生管理温度（解析値-3℃）を上回りそうな場合は、パイプクーリングの水温を下げ、下回りそうな場合は、パイプクーリングの水温を上げることにより、コンクリート温度管理をすることにした。

また、コンクリートの表面（天端）温度が養生管理温度を上回りそうな場合は、養生マットをはずし、下回りそうな場合は、養生マットを追加し

保温効果を高めることにした。

4. 実施結果

①パイプクーリング仕様と設備構成

パイプクーリング仕様と設備構成は以下のとおりとした。

○パイプクーリング（図-8参照）

- ・パイプ規格：機械構造用炭素鋼鋼管
- ・パイプ径：φ38.1mm×t1.6mm
- ・パイプ本数：17本(約30m/本)×3ブロック



図-8 パイプクーリング配置状況

○パイプクーリング循環設備（図-9参照）

パイプクーリング循環設備は、パイプクーリングを3ブロック同時に通水する期間があるため、その通水に必要な通水量（590ℓ/min）以上確保できる設備（通水能力670ℓ/min）として以下のものを用意した。

- ・原水槽（20m³） 1槽
- ・冷却水槽（16m³） 1槽
- ・チラーユニット 3台（予備1台含む）
- ・発電機（150KVA） 3台（予備1台含む）



図-9 パイプクーリング循環設備

今回のパイプクーリング循環設備に凍結防止の熱源機と故障対応の予備として発電機1台・チ

ラーユニット1台を準備したが、使用しなかった。

②温度計測結果

底版⑦で実施した結果を以下に示す。

底版⑦打設時の外気温は15℃でコンクリート温度は18℃であり、事前の温度ひび割れ解析条件とほぼ同じであった。打設翌日は、外気温が約20℃となり事前の温度ひび割れ解析の条件よりも約6℃高かったため、温度ひび割れ解析を再実施し、養生管理温度の見直しを行った。見直しした養生管理温度と温度計測結果を図-10に示す。

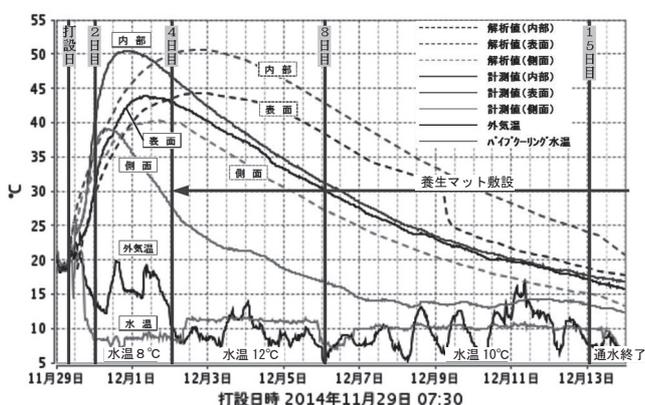


図-10 養生管理温度と温度計測結果 (底版⑦)

コンクリート温度と養生管理温度を比較すると、コンクリート最高温度発現時期は計測結果の方が1日程度早く差異があったが、最高温度はほぼ同じ値となった。

また、温度降下開始時期は計測結果の方が2～3日早く差異があったが、温度降下勾配はほぼ同じ程度であった。

③養生結果

パイプクーリングの通水は打設の翌日から開始した。通水初期はコンクリートの温度上昇が大きく、流出口付近の通水温度が解析条件より高くなることが予測されたこと。さらに、コンクリート温度が養生管理温度より高くなったことから、打設の翌日から2日間 (11月30日～12月1日) は、

通水温度を解析条件の10℃より2℃下げ、8℃に設定した。また、天端部は保温養生マットを敷設せずに湛水養生のみとし放熱を促進させた。

打設4日目から5日間 (12月2日～6日) は、コンクリートの内部温度が急激に下がり始めたため、通水温度を解析条件の10℃より2℃上げ、12℃に設定した。また、天端部は保温養生マットを敷設し保温養生を行った。

打設8日目 (12月7日) 以降はコンクリート温度の急激な変化はなく、解析結果とほぼ同じ勾配で温度が降下し安定してきたため、通水温度を解析条件と同じ10℃に設定し、計画通りに通水期間14日間 (12月13日まで) 通水した (図-8参照)。

なお、保温養生マットは土留め支保工の解体等で表面を傷めないように表面保護のため、2ヶ月程度敷設したままにした。

底版①、④についても同様に実施した。

コンクリートの養生管理は、コンクリート温度をリアルタイム計測した温度状況と解析結果を比較しながらパイプクーリングの水温調整や養生マットの設置、撤去等を行うことにより管理した。

これらの対策を実施することで、底版コンクリートは非常に密実性が高く、品質の良いコンクリートができたと思う。

5. おわりに

パイプクーリングの実施に際して、組立完了後に通水試験を実施し漏水がないことを確認した。

また、パイプクーリング付近の生コン打設時のバイブレータによる締固めおよび通水開始時の送水圧については細心の注意を払った。

本工事での計測結果および養生結果等を踏まえ、パイプクーリングを行う際の温度ひび割れ抑制対策の参考にしたい。