

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○高野和成 芳賀堯
国土交通省 神戸港湾空港技術調査事務所 技術開発課 河崎尚弘 藤倉永大 小山活史

1. はじめに

津波対策水門の底版部(幅 40m、奥行 30m、高さ 4m)や堰柱部(幅 5m、奥行 30m、高さ 10m)は、非常にマッシュなコンクリート構造物(コンクリート量 4,800m³)であり、温度応力によるひび割れの発生が懸念された。

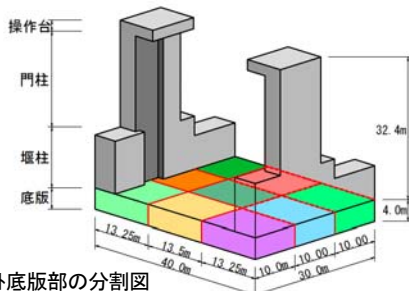


図-1 コンクリート底版部の分割図

計画水門は、湾内に整備される海岸保全施設であり、ひび割れが顕著になると塩害による劣化が懸念される。

ここでの検討は、コンクリート供給量の制約条件から分割方法を決定し、温度応力解析結果より、必要となる対策工の内容を報告する。

2. コンクリート打設の分割数

対象地区は、1日に供給できるコンクリート打設容量が 750m³であり、7ブロック以上の分割が求められた。この制約条件を踏まえ考えられるブロック割を以下に示す。

	パターン1(7ブロック)	パターン2(8ブロック)	パターン3(9ブロック)	パターン4(8ブロック)	パターン5(7ブロック)
底版正面図					
底版平面図					
構造的性	曲げ応力の大きい箇所で継目が生じる		構造上問題ない		
施工性	施工上問題ない		分割数は多くなるが、複数ブロックの同時施工が可能であり問題ない	せん断補強筋が配置された状態でレイタンス処理が必要になり、煩雑である	打継目面積が大きいため、作業時間が多く必要となる
経済性(比率)	1.008	1.000	1.002	1.005	1.018

比較した結果、構造的性・施工性に優れるパターン3を選定した。(経済性は、コンクリート・型枠・マスコン対策含んで比較)

3. 許容のひび割れ幅とひび割れ指数

ひび割れ幅は、「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」に準拠し、算出した温度ひび割れ幅が許容ひび割れ幅を超過しないことを要求性能とした。

温度ひび割れ指数の許容値は、「2007 年制定コンクリート標準示方書 設計編」の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を要求性能とし、1.0 以上とした。

4. 温度応力解析

4.1 解析条件

温度応力解析条件は右上表のとおりである。

打設可能容量	750m ³
ブロック割	9 分割
打設間隔	各ブロック 30 日間隔と実工程で実施
養生期間	側面合板 7 日間、上面散水 7 日間
外気温	30 日間隔は、30℃ 実工程(過去 10 年間の平均温度)
初期温度	外気温+5℃
解析モデル	三次元有限要素モデル
コンクリート熱伝導率	2.7(2.6~2.8 の中間値) w/m℃
コンクリート比熱	1.15(1.05~1.26 の中間値) kJ/kg℃
コンクリート密度	2.40 kg/m ³
ボアソン比	0.2(コンクリート), 0.25(地盤)
線膨張係数	高炉セメント 12, 低発熱セメント 10(×10 ⁻⁶ ℃)

4.2 無対策(高炉セメント B 種)の結果

無対策で検討した結果、最高温度が 90℃以上に達し、ひび割れ指数も 0.5 以下と許容値を大きく下回った。

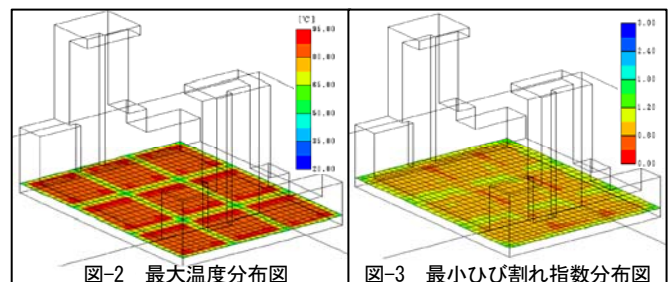


図-2 最大温度分布図

図-3 最小ひび割れ指数分布図

4.3 対策工の検討

温度ひび割れは、コンクリートの温度変化に伴う体積変化(膨張、収縮)が拘束されることにより発生する。したがって、対策は①体積変化を制御すること②体積変化に対する拘束を低減することが基本となる。これらを踏まえて考えられる対策を以下に整理した。

■体積変化を制御する方法

(1) 温度上昇を抑制する方法

- ・水和熱の小さいセメントの使用(低発熱セメント)※1
- ・混和材の使用(高性能 AE 低水材等)
- ・単位セメント量の低減
- ・養生方法の工夫(パイプクーリング) ※2

(2) 収縮ひずみを低減する方法

- ・膨張材の使用※3

(3) 体積変化を強制的に抑制する方法

- ・ひび割れ防止鉄筋の配置

■体積変化に対する拘束を低減する方法

- ・ひび割れ誘発目地の設置

上記対策工の中で、単位セメント量の低減は塩害劣化抑制に逆効果である。また、現況で密に鉄筋が配置されている中、ひび割れ防止鉄筋を配置することは、さらに過密配筋となり、施工や品質確保に問題が生じる。なお、ひび割れ誘発目地は、壁や版状の比較的薄い部材への適用が一般的であり、本施設に適用すると目地深さが数十

cm に及び、構造・耐久性などの点で問題となる。したがって、計画水門に選定できる対策工は、前項の※1～※3 の3 対策工(低発熱セメントは、混和材を含む)となる。

4.4 解析ケースと結果

解析ケースは、以下の 10 ケースを実施した。

No.	検討ケース	打設期間	セメント種類	水セメント比	膨張材の有無	パイプクーリングの有無	最小ひび割れ指数
1	無対策	各ブロック 30 日間 (コンクリート打設 1 日+養生期間 29 日)	高炉セメント B 種	55	無	無	0.33
2	低熱セメントのみ		低熱セメント	55	無	無	0.51
3	膨張材のみ		高炉セメント B 種	55	有	無	0.34
4	パイプクーリングのみ		高炉セメント B 種	55	無	有	0.52
5	低熱+膨張材		低熱セメント	55	有	無	0.52
6	低熱+パイプクーリング		低熱セメント	55	無	有	0.91
7	低熱+パイプクーリング+膨張材		低熱セメント	55	有	有	1.39
8	低熱+パイプクーリング+膨張材	12 月初旬～7 月下旬	高炉セメント B 種	48	有	有	0.50
9	低熱+パイプクーリング+膨張材	12 月初旬～7 月下旬	低熱セメント	49	有	有	0.77
10	低熱+パイプクーリング+膨張材	12 月初旬～7 月下旬	低熱セメント	49	有	有	1.12

検討の結果、コンクリート打設間隔を各ブロック 30 日間確保した場合でも 3 対策全てを実施しなければ、所定のひび割れ指数を満足しないことがわかった。さらに、工事着手時期を想定した実工程では打設間隔が短くなるため、3 対策全てを実施しても所定の安全性が確保できないことが判明した。今回、ひび割れ指数の最も厳しい地点は、底版上の堰柱部である。この要因は、先行打設した底版部によって外部拘束の影響を受けていることが考えられた。(No.9 と No.10 では堰柱部の打設間隔が異なる。)

ケース No.10 では外部拘束による影響を緩和するため、発生する応力を少なくする目的で先に打ち込んだコンクリートの温度が低下する前に次のブロックを打ち込むよう、堰柱部の打設間隔を 7 日間とした。その結果、所定のひび割れ指数を満足する結果となった。

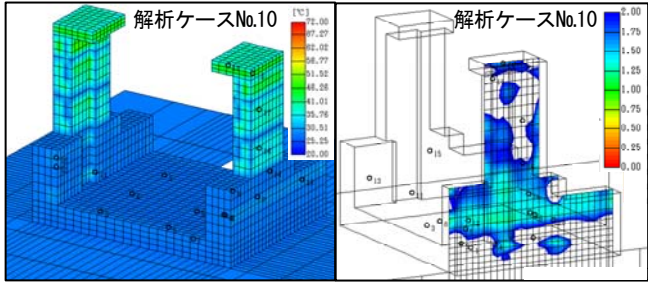


図-4 最高温度分布図

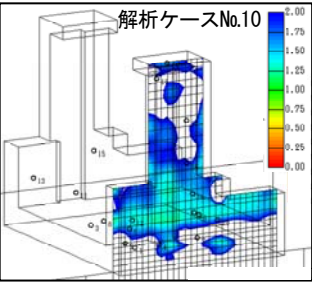


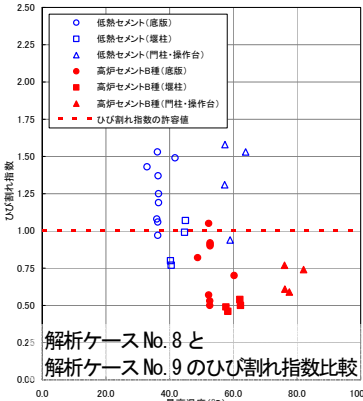
図-5 最小ひび割れ指数分布図

5. 各対策におけるパラメータスタディ

複数のケースを検討した結果、各対策に応じてパラメータスタディを作成し、各対策の効果を検証した。

図-6 では、低熱セメントと高炉セメント B 種でひび割れ指数を比較しており、セメントの種類によって 0.4～0.7 程度の差があることを確認した。図-7 では、パイプクーリングの有無で比較しており、各ブロックの平均値

が 1.01 改善されるという結果になり、対策工の中でも、高い効果が得られた。なお、図-8 では、パイプクーリングに使用するパイプ径別でひび割れ指数の変化を確認したものである。径を大きくすることで効果が期待できることを確認したが、大きな差はないことを把握した。



解析ケース No. 8 と
解析ケース No. 9 のひび割れ指数比較
図-6 セメントの種類に関する比較

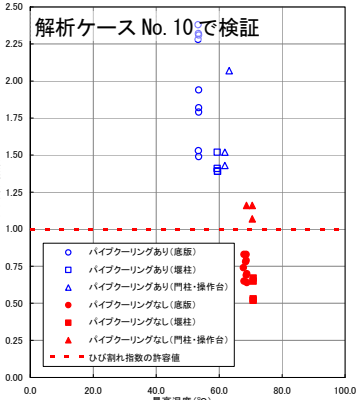


図-7 パイプクーリングの有無に関する比較
6. 水セメント比の設定

図-9 は、異なる水セメント比でひび割れ指数の変化を確認したものである。3%程度の差であれば、ひび割れ指数は大きく変わらない。しかし、塩水や飛来塩分の影響を受ける海洋環境下において耐久性を確保する観点から、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に記載あるケーソン等の構造物の最大水セメント比に準拠して 50%以下に設定した。

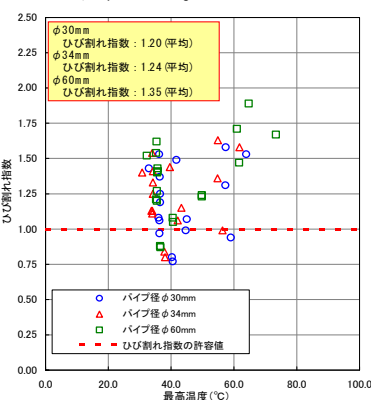


図-8 パイプクーリングのパイプ径別比較

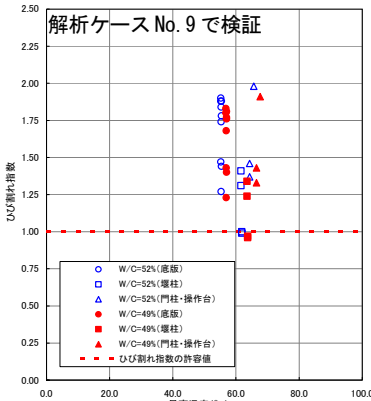


図-9 水セメント比に関する比較

7. 最後に

温度応力解析を実施した結果、対象施設のような大規模な構造物になれば、複数の対策工を併用しなければ所定のひび割れ指数を確保できないことを確認した。また、対策工の中では、パイプクーリングが最も効果的であり、外部拘束が原因でひび割れ指数が確保できない場合は、打設間隔を変更することも効果的であることを把握した。

＜決定した仕様＞	
コンクリート配合	33-12-20L
水セメント比	49%
単位セメント量	347 kg/m³
セメントの種類	低熱ポルトランドセメント
添加物	膨張材
養生	パイプクーリング(薄肉鋼管φ34)
通水期間	各ブロック打設開始より 7 日間

＜参考文献＞2007 年制定コンクリート標準示方書(土木学会)、マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008(日本コンクリート工学会)