

マスコンクリート構造物の温度ひびわれ 防止についての一考察

野 中 資 博*

Tsuguhiko NONAKA

A Consideration about the Protection against Thermal Carcks within
Mass Concrete Structure

1. ま え が き

マスコンクリート構造物に発生するひびわれの原因の主なものは、大別すると、温度変化（水和熱・外温の変化）によるものと、収縮（乾燥収縮・硬化収縮）の拘束によるもの¹⁾²⁾とがある。ここでは、そのひびわれの原因が温度変化であろうと考えられる実構造物を取りあげ、その構造物の温度場並びに温度応力場を F.E.M. を用いて解析することにより得られた結果から、温度場と温度ひびわれに対していくつかの検討を加えたものを示す。マスコンクリート構造物の温度場を F.E.M. を用いて解析した例としては、Raphael and Wilson³⁾によりダムを解析したものと、Wilson, et al⁴⁾により導水路を解析したもの等がある。いずれも、施工段階まで考慮に入れた解析であり、温度ひびわれ発生に最も関係する非定

常温度場を解析している。著者が用いた F.E.M. の手法もそれらのものに準拠して、その詳細は以前報告した⁵⁾。

2. ひびわれ発生の原因について

対象とした構造物は、あるダムの余水吐のピア部分である。図1、2にこの構造物の形状を示す。

まず、なぜ、このひびわれの原因が温度変化であると考えられるのかということを定性的に整理すると、

- i) このひびわれは1リフトを通じる貫通ひびわれである
- ii) このひびわれは長辺部分のほぼ中央付近に発生している
- iii) この構造物が温度ひびわれ発生傾向の多い、マスコン構造の中でも比較的薄肉の構造物である
- iv) ひびわれ発生位置がいわゆる最上リフトにあたる
- v) 使用されたセメントが水和熱発生量の比較的多い普通

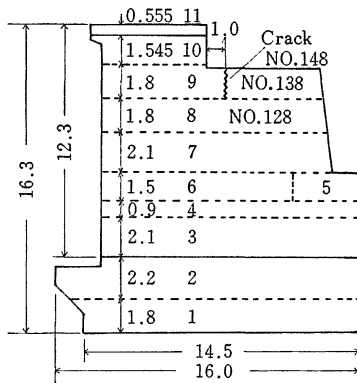


図1 Cブロック側面図 (単位: m)

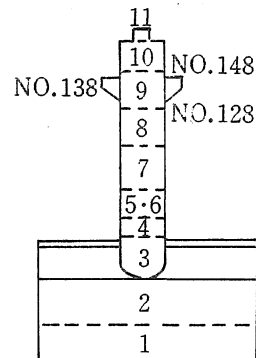


図2 Cブロック正面図

* 農業施設工学研究室

ポルトランドセメントである

vi) 施工時期が高温期から温度降下期である
vii) 下部リフトとの施工間隔が17日間もある
viii) ひびわれの発生時期が施工後20日以内である^{6),7)} 1),2) ということ等がある。ここで以上の事項は塚山, 小沢,³⁾ Raphael の報告を検討して得たものである。そこで、この定性的な検討を定量的に評価するために、前述の F.E.M. 解析を行ったのである。その結果は別途、詳細に報告している⁸⁾。結果のみ述べるならば、応力場的には、十分、ひびわれ発生の可能性を裏付けるものであった。

さて、ここで、一般に温度ひびわれ防止の目安としてよく述べられているものを整理していくつかあげてみる⁹⁾。

- i) 温度上昇の制限値を25°C程度とする
- ii) 打込み温度は20°C前後とする
- iii) 打ち継ぎの間隔は1週間程度とする
- iv) リフト高さを2m程度までとする
- v) 型枠の脱型は約2週間後とする

という事項等がある。

そこで、これらの事項について、前述の解析結果より検討してみると、

i) 温度上昇26°C, ii) 打込み温度21°C, iii) 打ち継ぎ間隔17日, iv) リフト高さ1.8m, v) 型枠脱型約20日となり、ほぼ、基準の上限値とみなせる。よって、このことよりも、ひびわれ発生の可能性がうかがわれる。¹⁰⁾ 又、塚山の式による温度上昇の極限值 T_{cr} も13°Cとなり、i) の26°Cは2倍の値を示していて、危険性は明白である。以上、この構造物のひびわれ発生の主要原因を再度、整理して述べてみると、

①使用されたセメントが普通ポルトランドセメントであり、水和熱発生が多い

②クーリングについて特に注意が払われてない

この2点に最も注目させられることになった。

3. 温度ひびわれ防止について

次に、ひびわれ防止のために、どのような手段があるかを、その温度場より検討してみる。温度ひびわれを防止するための可能な手段としては、温度場をなるべく均一にするような方法、例えば、プレクーリング、ポストクーリング、insulation、セメントの種類の変更等が考えられる。ここでは、セメントの種類の変更がないと仮定して、プレクーリングとして打込み温度を下げることに、ポストクーリングとして散水養生を行うこと、又、場合によっては、insulation を行うことを考えて、その評価を試みてみた。なお、ポストクーリングの効果は、簡略化して、表面熱伝達係数の値に反映されるということで処理を行っている。ここで、前述した様に、温度ひびわれ防止のための一般的な目安である、打込み温度は20°C前後、貫通ひびわれは温度差が30°C程度で発生、打ち継ぎ間隔は通常1週間程度ということを確認しておく。さて、図3、4、5が打込み温度と周囲への熱伝達の影響を解析した結果である。

まず、表面については、完全絶縁を除くと他は余り変化がない。中央部は周囲への熱伝達の影響を受けるが、最高温度上昇については、さほど変わらず、打込み温度を下げる以外には手段はない様である。温度降下の勾配についてであるが、勾配を小さくするには insulation すればよいのだけでも、insulation すれば当然、熱が内部に蓄積されることになり、比較的短い期間で次のリフトを打ったとすると、打込み時に急な温度勾配を生じる可能性があるので問題である。ポストクーリングについても、コンクリートは熱の流れが遅いことを考えると、表面の温度降下の勾配を大にし、さらに中央部との温度差を増加させることも考えられるので、注意しなければならない。以上のことをまとめてみると、この構造物については配合を変えないとするならば、プレクーリングとして、打込み温度を下げ、温度降下の勾配を小さくするために insulation を行い、ポストクーリングは

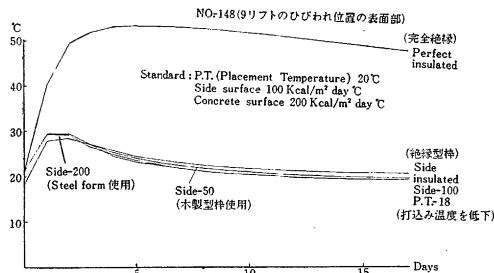


図3 表面部分温度の経日変化

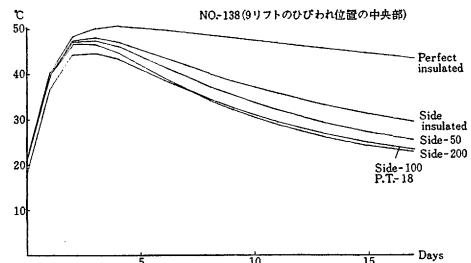


図4 中央部温度の経日変化

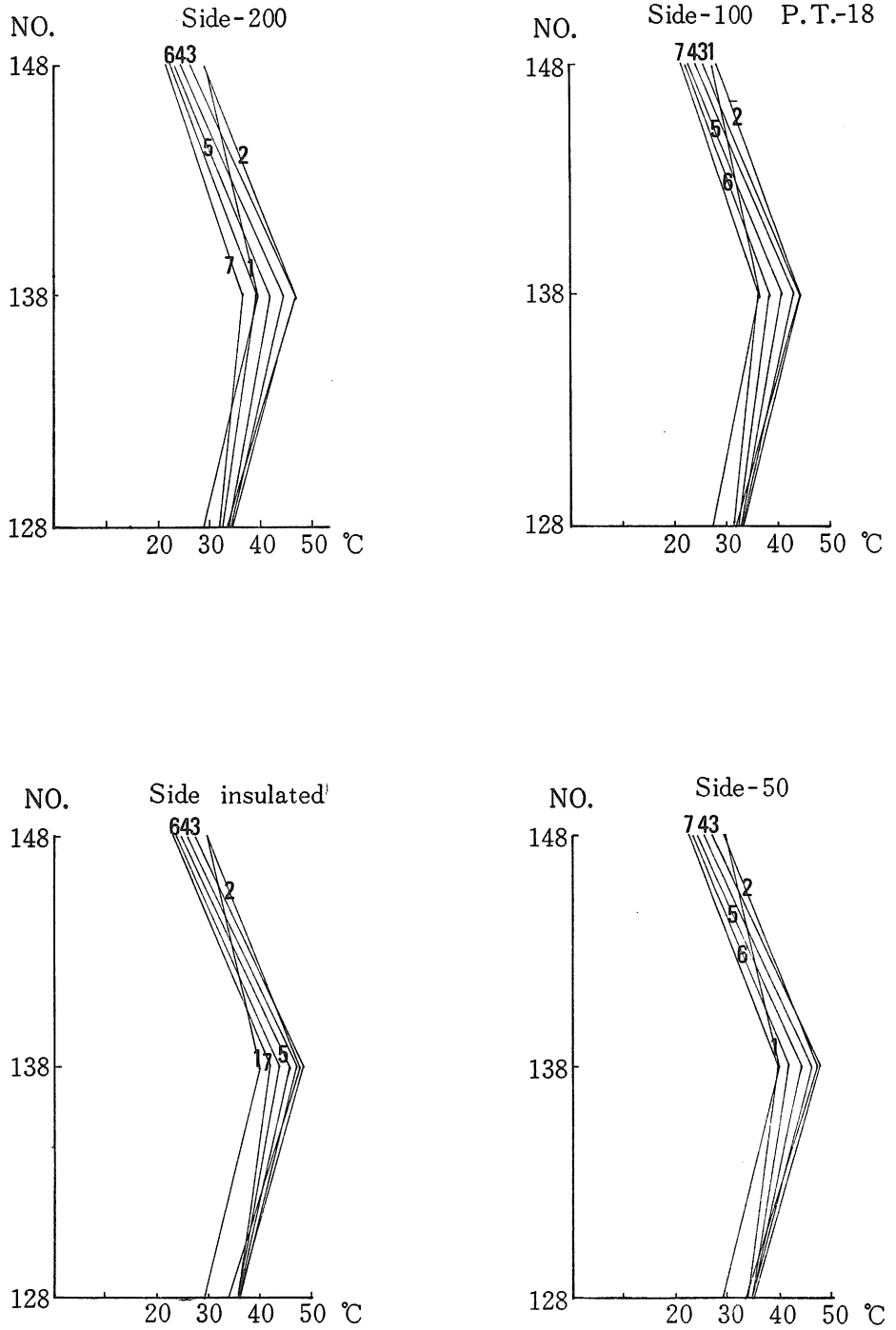


図5 各条件の場合の温度分布の経日変化

しない方がよいということになる。さて、これらを一般のマスコン構造に拡大してみると、温度ひびわれを避けるのに、温度場を均一にするには、結論として、よく述べられるように、(1)低発熱性セメントを使用し、(2)セメント量の少ない配合とし、(3)フライアッシュ等を混入し、断熱温度上昇の形を変え、(4)打込み温度を下げ、(5)適当な期間 insulation を行い、(6)ポストクーリングは温度場を不均一にしないような配慮が必要である、等となる。しかし、最も効果があると考えられるのは、最初の3つであり、後の3つは二次的な手段であるといえる。温度場よりの検討のみで、応力場との関係まで調べていないが、このように防止方法を計算により数値的に評価することは可能であるといえる。

4. ま と め

ここでは、以前報告した F. E. M. 解析法⁸⁾を用いて、実際にひびわれを起した構造物の温度場、温度応力場を解析した結果より、温度場の温度ひびわれに対する関係、並びに、ひびわれ防止方法の温度場からの評価も試みてみた。温度ひびわれを避ける方法は、今まで、経験的に述べられてきたことと同一になったが、解析的な裏付けが与えられたという意味では、十分意義があると考えられる。特に、“プレクーリング、ポストクーリングのような二次的な手段よりも、まず発熱量を最小にするという一次的な手段を考えるべきである”ということが注意されるべきである。さて、このようなマスコンクリート構造物の温度ひびわれを防止するには、ここで示したような事項についての事前の詳細な検討が必要であり、施工の計画にも配慮がなされるべきではないかと考えている。以後は、設計・施工段階において、温度ひびわれ発生に対する検討が反映できうるような使用がなされることを希望している。

5. あとがき

ここで解析対象にした構造物については、以前の報告⁸⁾では、2つの同形状の構造物があり、応力場的には、ひびわれを起したもものより、起していないものが大きいという逆の結果を得ていた。その後、この不合理な結果について考察を続けていたが、あの時点での解析は温度応力場についてのみであり、まえがきで述べた乾燥収縮による応力には触れていないことが逆転の原因ではないかと、現在、推測している。現象的には、これら2つものは同時進行であり、最終的には、重ね合せて考えなければならないと考えられる。よって、次の段階として、乾燥収縮の解析を行う必要があり、この解析結果は後日報告したいと思う。最後に、ここでの計算には、京都大学大型計算センターの FACOM M-190 を使用したことを付け加えておく。

参 考 文 献

1. 小沢章三：発電水力(57)：48-61, 1962.
2. 小沢章三：発電水力(59)：18-39, 1963.
3. RAPHAEL, J. M. and WILSON, E. L. : Contract Report No. 67-14 U. C. Berkeley Struc. Eng. Lab. 1967.
4. WILSON, E. L., BATHE, K. J. and PETERSON, F. E. : Nuc. Eng. Design 29 : 110-124, 1974.
5. 野中資博：農土論集(78)：24-30, 1978.
6. 塚山隆一、木挽勝次：セメント技術年報：326-332, 1965.
7. 塚山隆一：コンクリートジャーナル11(5)：26-30 1973.
8. 野中資博：コンクリート工学16(6)：89-95, 1978.
9. 高橋久雄、西川勝久、永井康淑：大林組技術研究所報(10)：133-138, 1975.
10. 塚山隆一：農業土木学会京都支部シンポジウム：15-25, 1977.

Summary

The temperature field of the structure really cracked was analysed by the F. E. M. which has already been applied practically. The results showed some relations between the temperature field and the thermal cracking. In addition, the model simulation study gave some suggestions for the method of crack protection. The results were the same which had been said experientially. The present analytical agreement with empirical procedures is worthy for protecting cracks.