

V-146

防波堤マスコンクリートの温度ひび割れ制御について

北海道大学大学院	学生員	塩永 亮介 ^{*1}
北見工業大学	正会員	桜井 宏 ^{*2}
北海道大学大学院	フェロー	佐伯 昇 ^{*3}
(株)西村組	正会員	吉田 稔 ^{*4}

1. はじめに

マスコンクリート構造物の温度ひび割れ発生の数値的な検討において、ひび割れ発生の防止または発生位置やひび割れ幅の制御が必要とされる構造物については、使用材料・施工方法・環境条件などに基づく温度変化、温度応力の算定を行い、それらから温度ひび割れ指数を求め、ひび割れ発生の可能性を評価する方法が主となっている。

解析対象構造物である防波堤マスコンクリートは、ひび割れ制御を考慮し設計・施工されかなりの品質向上が計られたが、いくつかのひび割れが生じていることがわかった。そこで本研究では、このコンクリート構造物の温度応力解析を行い、ひび割れ指数を求めることによって、ひび割れがどのように発生・伝播したかを実観察と比較し検討した。また新たな温度ひび割れ評価法として、ひずみエネルギー解放率によるひび割れの評価を行い、ひび割れ指数の解析結果と比較することによってその有効性を探る。さらに単位セメント量・打設温度・外部拘束係数を変化させ解析を行うことにより、ひび割れ抑制における理論上の効果を知る。

2. 解析モデルと解析手法

解析モデルとなる断面を図-1に示す。実際は複雑な形状であるため分割モデルにはせず、少々簡略化した全体モデルにした。温度及び温度応力の計測については、コンクリート内部に熱伝対・有効応力計を厚さ方向に3点、高さ方向に3点の計9カ所に埋め込み測定を行った。

解析においては既存のプログラムにより、温度は2次元の有限要素法、温度応力はCP法を用いて行った。断熱温度上昇量は実際に試験を行い求めた値である。また海岸構造物であるため、熱伝達境界では海風の影響を考慮し、熱伝達率において内湾側より外湾側の方を大きくして考えている。

3. 温度ひび割れ指数による評価

温度及び温度応力解析において、解析値と実測値がほぼ整合したのでその解析結果をもとに温度ひび割れ指数の算定を行った。図-2は打設コンクリートの上面から1800mm下の位置のひび割れ指数を示す。外湾側・内湾側・断面中央の3点で比較してみると、まず打設後2~4日後に外湾側表面付近では、ひび割れ指数が1程度になりひび割れ発生確率が高くなる。その後材令8日過ぎには、内湾側表面付近において発生確率が高くなり、断面内部では可能性的には材令20日過ぎになる。この他異なる3カ所の高さで指数を計算したがほぼ同じ結果が得られた。

現場のコンクリート躯体のひび割れ状況図を図-3に示す。この図は内湾側からみたひび割れ状況図であるが、打設後7~11日後にひび割れが観察されたことから、図-3の解析による結果がほぼ正しいと推測できる。外湾側のひび割れについては、ひび割れ発生が予想される時期が脱型前であったため計測はできなかったが、脱型時に既にひび割れが観察されたことより概ね正しいと思われる。

両側表面のひび割れ発生日に差が生じた原因は、風の影響による熱伝達率の違い、日射の影響による躯体表面付近の温度の違い、及び内湾側の型枠に多少保温効果があったということが挙げられる。

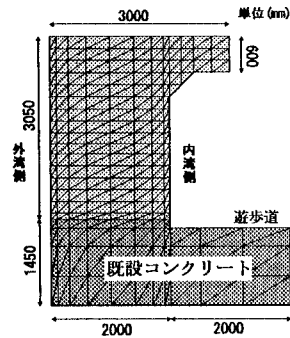


図-1 解析モデル

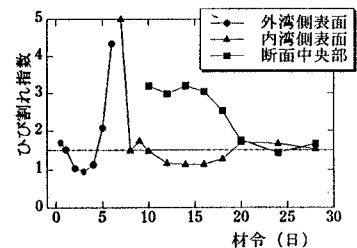


図-2 ひび割れ指数解析結果

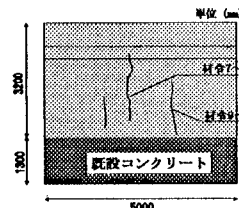


図-3 ひび割れ状況図(内湾側表面)

Key word : 防波堤マスコンクリート、ひび割れ制御、温度ひび割れ指数、ひずみエネルギー解放率

^{*1}〒060 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学部土木工学科 TEL 011-706-6178

^{*2}〒090 北見市公園町165 北見工業大学土木開発工学科 TEL 0157-24-1010(内線 9479)

^{*4}〒094 紋別市新港町2丁目 (株)西村組紋別支店工事事務所 TEL 01582-4-8958

4. ひずみエネルギー解放率による評価

ひずみエネルギー解放率は、コンクリート内部の潜在的な材料の欠陥（空隙・気泡・未水和セメントなど）に外力や温度勾配などの外的・内的要因が作用することによって、ひび割れが発生、伝播するという理論を用いている。その欠陥を極めて小さなひび割れと仮定し、そこにある一定以上のエネルギーが加わることによってひび割れが進行する。この時のエネルギー値をひずみエネルギー解放率の限界値としている。ひずみエネルギー解放率の算定式を下に示す。

$$G(t) = \frac{1 - \nu^2}{E(t)} \sigma(t)^2 a \pi$$

$E(t)$ ：材令 t 日におけるヤング係数

$\sigma(t)$ ：材令 t 日における温度応力（引張）

ν ：ポアソン比（ここでは $\nu=0.2$ ）

a ：骨材の最大半径（ここでは $a=2.0\text{cm}$ ）

この算定式をもとに、図-2のひび割れ指数の解析を行った位置と同じ点でのひずみエネルギー解放率の解析結果を図-4に表す。今回の場合、セメントの種類・セメント量・骨材寸法などにより、限界値を 0.005kgf/cm とした。すなわち、この限界値より大きな値をとるとひび割れ発生の可能性が生じるということである。ひび割れ指数による解析と比較してみると、多少危険側にひび割れ発生を評価しているものの、三つの位置ともおなじような結果と言える。

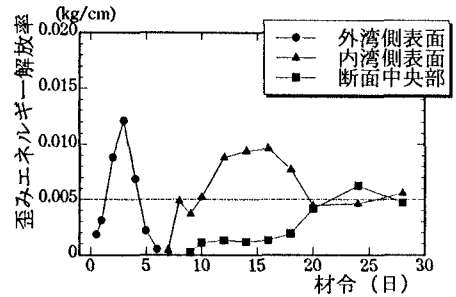


図-4 ひずみエネルギー解放率解析結果

5. ひび割れ制御に関わる各要因の影響

ひび割れを制御するには、使用材料・施工方法・養生法などにわたり様々な要因が考えられるが、ここでは三つのパラメータを取り出し、同じ断面・解析法によりひび割れ指数を算定し各因子が及ぼす影響をそれぞれ比較した。1.単位セメント量を下げた場合、2.打設温度を低くした場合、3.外部拘束を小さくした場合の比較を行った。表-1に解析で用いた各因子の値、図-5にひび割れ指数の解析結果を表す。

表-1.

Case 1	単位セメント量(kg/m3)	295	→	220
Case 2	打設温度(℃)	22.5	→	10.0
Case 3	外部拘束係数	R_M	0.01	→ 0.01
		R_{M1}	0.9	→ 0.1
		R_{M2}	1.0	→ 0.1

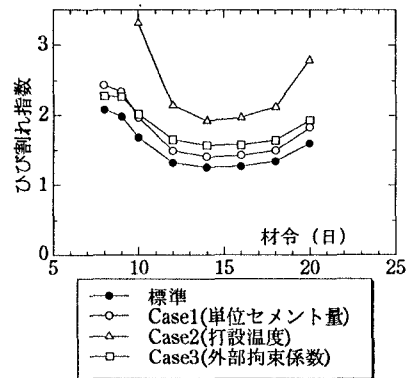


図-5 ひび割れ指数の比較

いずれのケースもひび割れ指数を上げ、ひび割れ発生確率を抑えるには有効であると思われる。単位セメント量は、 75kg/m^3

下げたことにより、ひび割れ指数は 0.2 程度上昇した。打設温度では、 12°C 程度下げたことによりかなりひび割れ発生確率は抑えられる。外部拘束を低減させた Case3 では、 0.5 程度上昇している。外部拘束係数については、実際の施工においてこの比較解析で設定した曲げ拘束係数 0.1 で施工するのは困難であると思われるので、ひび割れ指数の上昇幅が 0.5 程度以内の可能性はある。外部拘束係数はコンクリート躯体の長さや高さの比 (L/H) を変えるか、岩盤や既設コンクリートとの境界面で表面処理を行うことによってその値を低減することができる。

6. まとめ

対象構造物である防波堤において温度・温度応力解析、及びひび割れ指数の算定によりおおまかなひび割れの発生・伝播が推測できた。また、新たな温度ひび割れ評価法として、ひずみエネルギー解放率を用いることは有効であると思われる。しかし、材料や各物性値に伴うひずみエネルギー解放率の限界値の設定、さらにひび割れ発生確率やひび割れ幅との関連については今後の研究課題である。

ひび割れ制御に関しては、単位セメント量・打設温度・外部拘束係数を低減させることはひび割れ抑制において理論上有効である。