

V-185 マスコンクリートの温度応力ひびわれ評価手法の検討

電力中央研究所 正会員 山川 秀次

1. はじめに

マスコンクリート構造物の施工中に発生するひびわれを解析により精度良くの予測するためには、コンクリートの初期硬化過程における温度応力を適切に評価することが不可欠となるが、現状では初期硬化過程における構成則が必ずしも確立されていない。そこで、本報告では平面的な広がり有するベースマットコンクリートを対象として、初期硬化過程におけるヤング係数の取扱の差異により、コンクリート躯体に発生する引張応力と引張強度との比で表わされるひびわれ発生指数がどの程度変化するかを確認するとともに、新しくひびわれ裕度係数を定義し、この指数を用いた各材令における合理的なひびわれ発生に対する評価方法を検討した。

2. 数値解析の概要

数値解析で対象とした構造物は図-1に示す解析的に最も単純と考えられる岩盤上に直接打設する高さ1.5m、幅15mおよび奥行き15mのベースマットコンクリートであり、解析に用いた熱特性を表-1に示す。また、解析では2次元有限要素法を用いた1ケースの非定常熱伝導解析と3ケースの温度応力解析を行い、ヤング係数の取扱（標準養生、有効材令およびコンクリート躯体の中心温度が最高温度になる材令迄を標準養生の値の75%）によりひびわれ発生指数がどの程度変化するかを検討した。なお、本解析ではコンクリートの打設温度ならびに外気温をそれぞれ20℃と17℃と仮定し、コンクリートの引張強度を(1)式で表わされる

圧縮強度の10%とした。

$$\sigma_{CB} = \frac{10^2 t}{2.20 + 0.279t} \quad (\text{kgf/cm}^2) \cdots \cdots (1)$$

ここで、t：材令(日)

3. 解析結果ならびに考察

コンクリート躯体の水平方向中心位置における温度履歴を図-2に示す。この図よりコンクリートの最高温度は打設後材令約2.5日経過した時点で鉛直方向中心位置で生じ、その値は54.5℃となり、その材令における断熱温度上昇量の約85%に相当している。また、この温度解析結果と標準養生より得られたコンクリートのヤング係数を用いて図-3に示す温度応力解析結果が得られた。この図よりコンクリート躯体は打設直後から少なくとも材令2日前後まではすべての鉛直方向断面において圧縮応力となり、ひびわれが発生しないことになる。さらに、コンクリート躯体に発生する引張応力と引張強度との比で表わされるひびわれ発生指数が最も小さくなるのは鉛直方向中心位置であり、その値は材令21日で1.16となる。すなわち実際の現場における施工状況の差異やコンクリートの引張強度の変動等を考慮するとひびわれの発生する可能性もあることになる。

次に、ひびわれ発生指数の最も小さいコンクリート躯体の鉛直方向中心位置における応力履歴を比較したものが図-4であり、この図ではコンクリートのヤング係数として標準養生と有効材令を用いた解析ケースならびに初期材令におけるクリープ効果を考慮するためコンクリート躯体の中心位置における温度が最高温度を示

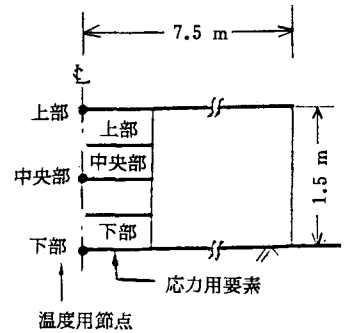


図-1 構造物の概要

表-1 コンクリートと岩盤の熱特性

項目	単位	コンクリート	岩盤
熱膨張係数	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	10	10
熱伝導率	$\text{Kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$	2.5	1.94
比熱	$\text{Kcal/Kg}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.31	0.25
比重	Kg/m^3	2287	2600
断熱温度上昇	$^{\circ}\text{C}$	$45.5(1 - e^{-0.88t})$	—
ヤング係数	Kg/cm^2	$\frac{10^2 t}{6.92 + 3.08t}$	50,000
ポアソン比	—	0.167	0.20
熱伝達率	$\text{Kcal/m}^2\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$	10	10

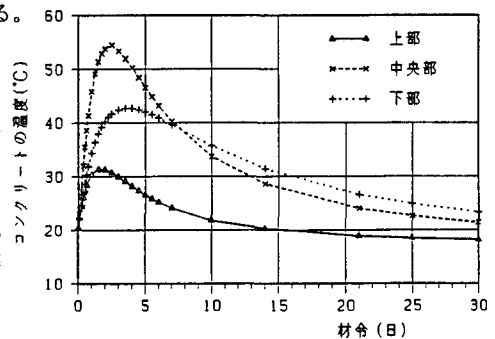


図-2 コンクリートの温度履歴

す迄の材令のヤング係数を(1)式の75%とした解析ケースとを比較している。その結果、コンクリートのヤング係数として有効材令を用いた温度応力解析結果の引張応力が他の解析ケースに比較して若干大きくなることから、有効材令を考慮した方がひびわれ発生指数が一見小さくなると考えられる。しかしながら、コンクリートのヤング係数に有効材令を考慮する以上、引張強度の発現に対しても有効材令を考慮する方が適切であると考えられることから、応力履歴の単純な比較からは、どの解析ケースのひびわれ発生指数が最も小さくなるかを判断出来なかった。そこで、各材令におけるひびわれ発生指数の比較一覧表を作成し、この点を検討した。その結果、コンクリートのヤング係数として初期硬化過程におけるクリープ効果を考慮した解析ケースのひびわれ発生指数が材令21日に最小値1.09となることが明らかにされたが、ひびわれ発生指数が圧縮応力に対して定義されていないこと、ならびにコンクリート躯体に発生する応力が圧縮側から引張側に変化する直後の材令におけるひびわれ発生指数が非常に大きな値となることから、コンクリート躯体の全履歴におけるひびわれ発生確率を表示する指標としては必ずしも適さないことが判った。そこで、以下の(2)式に示すひびわれ裕度係数を定義して、全履歴におけるコンクリート躯体のひびわれ発生に対する余裕度の検討を実施した。

$$S_{CR} = (F_t - \sigma) / F_t \cdots \cdots (2)$$

ここで、 F_t : 引張強度

σ : コンクリート躯体の応力

4. ひびわれ裕度係数による解析結果の検討

ひびわれ裕度係数を用いて、前述した3ケースの温度応力解析結果のひびわれ発生確率の検討を実施した(図-5参照)。図-5より、コンクリート躯体のひびわれ発生に対する余裕度が全履歴において連続的に表示されることが確認されただけでなく、工学的にも理解し易いと言う利点を持っていることが判る。例えば、ひびわれ裕度係数が0および1と言うのは、それぞれ引張応力と引張強度とが一致することおよびコンクリート躯体の発生応力が零であることを意味している。また、ひびわれ裕度係数が1を上回る場合には、コンクリート躯体の発生応力が圧縮応力となっていること、さらに負の場合にはコンクリート躯体に既にひびわれが発生していることを意味している。

5. まとめ

本報告で対象とした構造物の場合には、引張応力と引張強度との比で表わされるひびわれ発生指数は初期硬化過程におけるヤング係数の取扱いの差異により若干変化するだけであったが、初期硬化過程におけるコンクリートのクリープの仮定しだいでは、ひびわれ発生指数はかなり変化する場合もあり得るため、十分な配慮を必要とする。また、新しく定義したひびわれ裕度係数はひびわれ発生確率の評価手法として工学的にも理解し易いだけでなく、コンクリート躯体の全履歴におけるひびわれ発生確率を連続的に表示できると言う利点も併せ持っていることが明らかにされた。

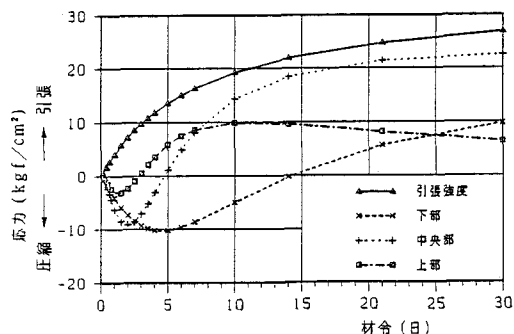


図-3 コンクリートの応力履歴(標準養生)

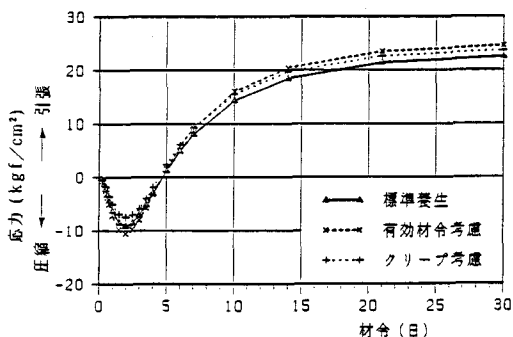


図-4 応力履歴(中心位置での比較)

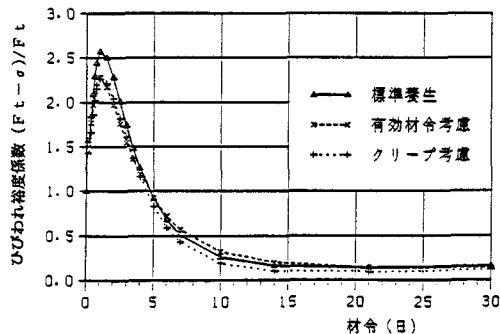


図-5 ひびわれ裕度係数履歴(中心位置での比較)