

岐阜大学 ○学生員 平田正成
 正会員 森本博昭
 正会員 小柳 治

1. はじめに

本研究は、温度ひびわれ対策を検討するうえで有効な手段となる、有限要素法による温度ひびわれの数値シミュレーション手法の確立を目的とし、一つのモデル供試体を対象とした数値シミュレーションと、解析結果の検証のために温度ひびわれ実験を実施し、両者の対応を比較、検討したものである。さらに本研究では、温度ひびわれの破壊源探査手法として、AEによる自動計測も合わせて試みた。

2. ひびわれ解析手法

温度ひびわれの数値シミュレーションは、初期応力法を用いて実施した。以下に、本手法の概要を述べる。まず、全ての温度変化が、時間刻みの初めに生じたものとし、弾性問題を解き、時間刻みの終わりにおける応力と変形の状態を求め、その温度応力とコンクリート引張強度を対比し、温度応力が引張強度を上回ればひびわれが発生するものとする。次に、ひびわれ要素の構成則として、ひびわれ面での引張応力とせん断応力の伝達は行なわれないものと仮定し、ひびわれ発生要素及び、既に発生している要素におけるひびわれ面での引張応力とせん断応力を打ち消すための応力を各要素毎に求める。これを初期応力として、再び弾性問題を解き、ひびわれ発生による応力の再配分量を決定し、この結果と初めに求めた解析結果と ϵ を重ね合わせ、ひびわれ発生後の応力と変形の状態を決定する。

3. 解析対象構造物ならびに解析条件

本研究で解析対象としたのは、図-1に示す様な35×35cmから成る正方形断面をもつ柱状供試体で、解析にあたっては、その形状から二次元平面での問題として扱い、また対称性を考慮し、断面の1/4を解析対象とし、有限要素法適用のため図-1に示す様に 196要素、450節点に分割した。養生条件として、型枠には発泡スチロールで表面を覆った12mm厚合板（熱伝導率0.2）を想定し、打設温度は40℃、外気温は 5℃、また、脱型時期は 1.5時間後とした。なお、本研究では数値シミュレーションと共に検証実験も行なうため、短時間で大きな温度応力が発生するよう、超早硬セメントを用いたセメントモルタルを用いて解析、実験を行なった。表-1に供試体に用いた超早硬セメントモルタルの示方配合を示す。また、表-2にこの示方配合をもとに求めた超早硬セメントモルタルの熱的、及び力学的性質を示す。

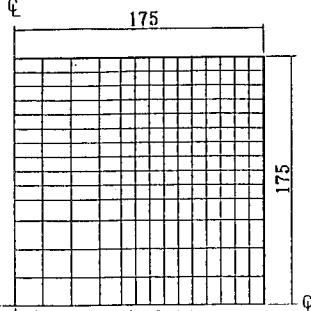


図-1 要素分割図(mm)

表-1 示方配合

W/C (%)	単位量 (kg/cm ³)			
	W	C	S	混和剤
45	332	736	1104	2.2

4. 検証実験

検証実験実施にあたり、超早硬セメントモルタルの示方配合、養生条件等は、解析で用いたものと同条件下で行なった。実験に用いた供試体高さは50cmで、供試体上部、及び下部は発泡スチロールを用い、断熱状態とした。実験では、供試体温度は打設後約 1.5時間で最高となり、中心部では95℃、表面部でも83℃に達した。またひびわれは、脱型後30～40分（打設後約2時間）後に供試体中央部に1本、長手方向に発生しているのを確認した。なお、本研究ではひびわれ深さ測定のため、ひびわれ部に染料を浸透させた後、供試体表面に約 2cm間隔で溝を掘り、そこに静的破壊剤を流し込むことにより表面のはつりを行なった。その結果、ひびわれ深さは約 1～1.5cmで、表面的なひびわれであることが分かった。なお、AE計測については、後述する。

表-2 熱的・力学的性質

断熱温度上昇：	$T=51.3(1-e^{-22.7t})$ $T=36.6(1-e^{-1.21t})$	$t < 0.457(\text{日})$ $t \geq 0.457(\text{日})$
発熱量：	$Q=48.5e^{-0.948t}$ $Q=1.85e^{-0.0504t}$	$t < 10.97(\text{時間})$ $t \geq 10.97(\text{時間})$
熱伝導率：	2.16	(kcal/mh℃)
比熱：	0.26	(kcal/kg℃)
圧縮強度：	$\sigma_c=8.241(\text{Int})^2+96.374\text{Int}+270.74$	(kg/cm ²)
弾性係数：	$E=103806e^{0.548t}$ $E=5000$	$t \geq 9.18 \times 10^{-3}$ $t < 9.18 \times 10^{-3}(\text{日})$ (kg/cm ²)
引張強度：	$\sigma_t=0.06336e^{1.075t}$	(kg/cm ²)

[t : 材令 (日)]

5. 解析結果と考察

図-2に示す温度応力の経時変化より、脱型に伴い表面では急激に引張応力が発生し、打設後 2.0時間で最高59.3kg/cm²に達する。そして、その応力によりひびわれが発生し、それにより応力が急激に減少し、その後は圧縮応力へ移行してゆく。一方中心では、脱型後圧縮応力が発生し、打設後 3.0時間で最高23.6kg/cm²

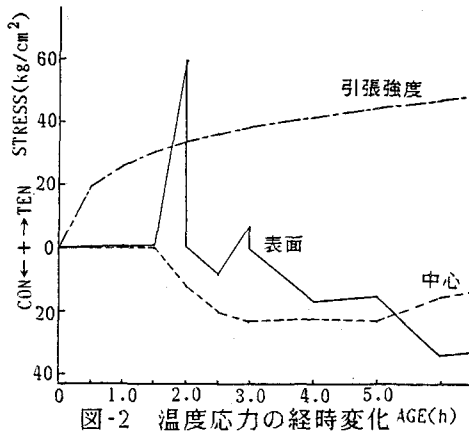


図-2 温度応力の経時変化 AGE(h)

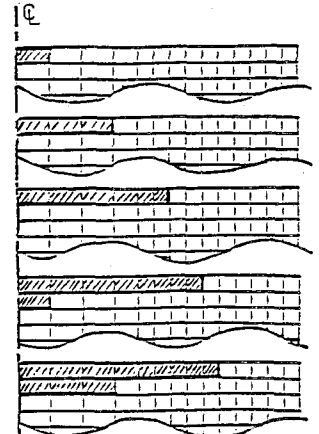


図-4 ひびわれ進展状況 2.0(h)

となるが、表面と中心との温度差の減少に伴い、値が減少して行く。図-3に示す中心から表面にかけての応力分布及び図-4に示すひびわれの進展状況より、ひびわれ発生によるひびわれ先端での著しい応力の増大や、ひびわれ発生による両横の要素での応力の減少はほとんどみられず、ひびわれの発生が近傍に与える影響は、ごくわずかであることが分かる。また、ひびわれは中央部から横方向に広がり、ひびわれ発生域は表面の約 70%に達するが、深さ方向にはほとんど進展せず、ごく表面的な(1~2cm)ひびわれに留まっている。ひびわれの発生時期も打設後 2.0時間で一時期に生じた後は全く進展しないことから、このひびわれは脱型がもたらした急激な温度変化による熱ショックによるものと思われる。次に、実験結果との比較を行なうと、ひびわれが中央部から発生し、ごく表面的なものに留まる点などは、実験結果と良く合致しているが、解析で得られた様な、広範囲にわたるひびわれは実験では生じていない。この点については、シミュレーションで得られた結果は、温度ひびわれが発生する区域を表わすもので、これにより現実に発生するひびわれ本数までは、決定することが困難であると考えられる。しかし、ひびわれ発生の可能性があるひびわれ危険域と、そのパターンを把握するという目的に対しては、十分な成果を得ることが可能であると考えられる。

6. AEによるひびわれの自動計測

本研究で試みた、AEによる温度ひびわれの自動計測は、供試体表面の4箇所に、AEを補足するためのピックアップ端子を取り付け、ひびわれと同時に発生するAEが、それぞれの端子へ到達した時刻と、その波形とをマイコンにより自動計測し、その結果から、ひびわれの発生源及び、AEの伝播速度を求めるものであるが、AE波の減衰が激しく、また外部からのノイズのため、AE波の正確な検出ができず、ひびわれ発生源の探査にはいたらなかった。しかし、AEによる温度ひびわれ探査の、基本的なシステムを完成することができた。

7. あとがき

有限要素法による温度ひびわれのシミュレーションを実施した結果、温度ひびわれ実験と良好な対応がみられた。一方、AEによる温度ひびわれ探査については、その基本的なシステムを完成することができた。

なお、本研究の遂行にあたり尽力いただいた、59年度岐阜大学卒業生武田智広氏に感謝の意を表します。

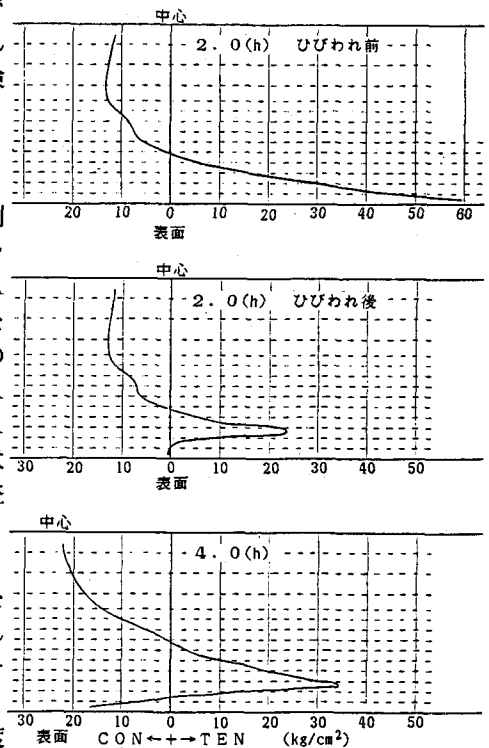


図-3 応力分布