

電力中央研究所 正員 阿部 博 俊
○ 原 口 晃
田 辺 忠 顕

1 予えびさ

最近、断面寸法の大きなコンクリート構造部材が頻繁に使用されるようになるにしたがって、コンクリートを安全かつ迅速に施工する必要性が増大している。この場合、コンクリート打設後セメントの水和熱によって内部温度が上昇し、これが最終温度まで冷却されるにつれて、引張応力が発生する。この引張応力はその下面が基礎岩盤なりし、旧コンクリート体等の拘束によって複雑に変化する。従来、この種の応力解析にはこの種の現象を単純化した解析が用いられていたため、十分に熱応力の発生過程が把握できていなかった。

本報告は、マスコンクリートについて温度分布、ひずみ分布を実測し、それらの結果に対して水和反応発熱過程、硬化過程を考慮した有限要素法による熱応力解析を行った結果、被拘束物と拘束物との打ち継ぎ面におけるある程度のスリッパを考慮に入れる必要のあることが判明したので、この境界面の解析的処理方法にGoodmanのジョイント要素を導入し、各種の考察を行ったものである。

2 解析に必要な諸定数

解析に用いたコンクリートの熱定数は表-1の配合を用いたコンクリートにより各々実験によって求め、その結果は表-2に示した。特に、水和反応による時間の経過による発熱率および、強度発現を忠実に実験によって求め解析に用いた。

3 解析方法

被拘束物と拘束物との打ち継ぎ面、すなわち岩盤とコンクリートブロッツとの境界、あるいはコンクリートリフト間の境界等における拘束の程度を種々に変化させる解析手法として、各種の方法が考えられる。ここではその中からR. E. Goodmanによって提案された次に示すジョイント要素を用いる方法を採用した。図-1に示す層と等、長さ L の単位巾を持つ要素を考慮する。X点におけるせん断すべりを W_s 、Y方向の相対変位を W_n 、作用している力を P_s 、 P_n とすると、要素内に与えられるなすみエネルギー中は

$$U = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left(\frac{1}{2} W_s P_s + \frac{1}{2} W_n P_n \right) dx = \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{W\}^T \{P\} dx \quad \text{----- (1)}$$

上下両面の相対変位 $\{W\}$ は

$$\{W\} = \begin{bmatrix} W_s^{\text{top}} - W_s^{\text{bottom}} \\ W_n^{\text{top}} - W_n^{\text{bottom}} \end{bmatrix} \quad \text{----- (2)}$$

面に作用する力 $\{P\}$ は

$$\{P\} = \begin{bmatrix} P_s & 0 \\ 0 & P_n \end{bmatrix} \{W\} \quad \text{----- (3)}$$

で与えられる。ただし、 P_s 、 P_n は単位長さの相対変位を起こすに必要な力で、それぞれ、X方向(すべり面に沿う方向)とY方向(面に垂直な方向)の力である。

(3)式を(1)式に代入すれば

$$U = \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{W\}^T [k] \{W\} dx \quad \text{----- (4)}$$

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (W/C)	細骨材率 (S/A)	単 位 量 (kg/m³)				
(mm)	(%)	(%)	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
25	60	44.4	315	189	805	1048	1.3

表-2 コンクリートの熱定数

熱伝導率 K (Kcal/m·h·°C)	熱膨張率 α (1/°C)	単位容積重量 ρ (kg/m³)	比 熱 C (Kcal/kg·°C)
1.77	0.00219	2356	0.343

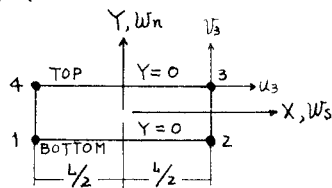


図-1

変位 u, v, w が要素内で linear に変化すると仮定すれば、結局のところ (5) 式の剛性マトリックスが導かれる。

$$[K] = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 2k_s & 0 & k_s & 0 & -k_s & 0 & 2k_s & 0 \\ 0 & 2k_m & 0 & k_m & 0 & -k_m & 0 & -2k_m \\ k_s & 0 & 2k_s & 0 & -2k_s & 0 & -k_s & 0 \\ 0 & k_m & 0 & 2k_m & 0 & -2k_m & 0 & -k_m \\ -k_s & 0 & -2k_s & 0 & 2k_s & 0 & k_s & 0 \\ 0 & -k_m & 0 & -2k_m & 0 & 2k_m & 0 & k_m \\ -2k_s & 0 & -k_s & 0 & k_s & 0 & 2k_s & 0 \\ 0 & -2k_m & 0 & -k_m & 0 & k_m & 0 & 2k_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

さらに、その摩擦係数をコンクリートの硬化を考慮して、時間の経過にともなって変化させて解析を行った。また、この解析の過程でクリープ解析の過程も導入した。解析に採用した材料にともなう摩擦係数の変化は、1日で $5 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、2日で $10 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、4日で $20 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、7日で $50 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ を採用した。このジョイント要素と入れる解析の物理的意味は、コンクリートがまだ十分硬化していない打設初期の粘性物体のような状態の時の温度上昇による膨張は、周囲の拘束物体との接触面に沿ってコンクリートが相対変位をしていることを表わしている。

3 マットコンクリートにおける実験結果と解析結果

3-1 ひずみ分布

拘束物体が岩盤の場合、カーボン型ひずみ計によって測定した熱膨張ひずみをも含めたひずみ変化の実測値と解析値の結果を図-2に示した。この結果実測ひずみ値がセーワ温度で温度膨張ひずみの70%に相当しているのに対し、岩盤との打ち継ぎ部を完全拘束した場合の計算値はわずか15~20%程度にすぎず、かなり大きな差異が見られる。一方打ち継ぎ部も初期硬化段階で相対変位を認めた場合、すなわちジョイント要素を採用した場合には計算値は実測値とかなり良く一致している事が示された。これは、初期硬化段階、すなわちまだコンクリートの強度の発現が不完全な状態で幾分スベリが生じている事を示していると思われる。しかしこれはコンクリートが硬化するにつれて減少し、最後には岩盤に完全に密着するものと考えられるが、このようは過程を解析過程に導入しはりと精度よりひずみ、応力が得られなことを示していると思われる。

3-2 応力分布

岩盤上にコンクリートを打設した場合の杖令の経過にともなうブロックおよび岩盤に発生する応力を図-3に示した。打設後2日~4日間ブロックおよび岩盤に発生する圧縮応力は完全拘束した場合の弾性解で最高 17 kg/cm^2 、ジョイント要素を採用し、かつクリープ解析も導入した場合では 5 kg/cm^2 であった。杖令1ヶ月程度ではブロック全体に引張応力が生じしかもブロック中心部に最も大きな引張応力が発生することを示された。この時の引張応力は完全拘束時の弾性解で 34 kg/cm^2 、ジョイント要素でクリープを考慮した時は 16 kg/cm^2 の値であった。したがってジョイント要素を採用することによって50%程度に減少している。

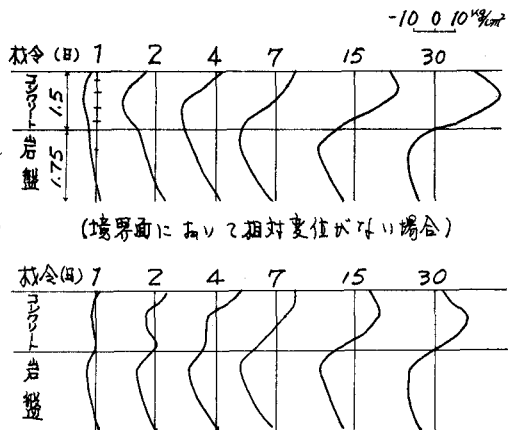


図-3 リフト打設時の応力分布

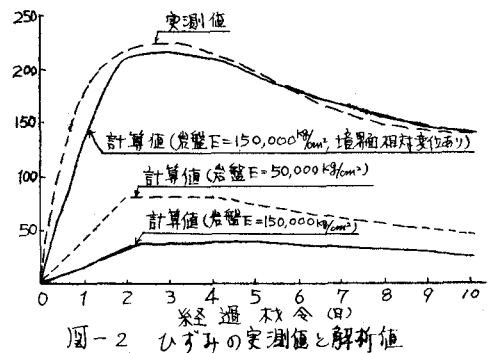


図-2 ひずみの実測値と解析値