

竹中技術研究所 正員 ○米澤敏男

〃 吉岡保彦

〃 神山行男

1 まえがき

筆者らは、前報で外的な拘束を受けるマスコンクリート部材に生ずる水和熱応力をクリープ解析するための方法を示し、この解析の妥当性を実験的に確認した。しかし実際のマスコンクリート部材では、外部拘束と内部拘束の両方による熱応力が生じており、ひび割れ発生の可能性を精度よく予測するためには、内外両方の拘束応力を解析する必要がある。ここでは内外の拘束応力を同時にクリープ解析するためのモデルによる解法と、解析例を示す。

2 解析方法

2-1 マスコンクリート部材のモデル化

図-1(a)に示すようなマットコンクリートによって拘束される厚肉の壁を例として考える。壁体内の温度分布は、水平、鉛直いずれの方向にもある分布を示すが、鉛直方向の分布は、水平方向の分布に比べ、比較的一様であるので、内部拘束応力は、水平方向の温度分布の変化量によるものを考える。そこで壁を鉛直方向に分割された n 個の要素に、マットをバネにおきかえると、図-1(b)に示したようなモデルを設定する事ができる。モデルの各要素に温度履歴を与えれば、内外の拘束応力を同時に解析できる。ここで計算している外部拘束応力は、壁の高さ方向に分布する応力の最大値、すなわち壁の底面において生ずるものを考えているのでありこのような近似は、ひび割れ発生の予測上安全であり妥当なものと言えよう。このモデル解法は、厚肉の壁体の水和熱応力解析のみでなく、層状打設されるマットコンクリートの熱応力解析や、厚肉の壁体の乾燥収縮による内部拘束応力解析等にも適用でき、拘束応力のクリープ解析に対してかなりの汎用性がある。例えば、プレストレスを導入する厚肉の壁について、 tendon をバネに、鉄筋をクリープしない要素におきかえれば、壁内の拘束応力分布の経時変化や鋼材緊張力の減退等をこのモデルで解析できる。これらについては、別の機会に報告する。

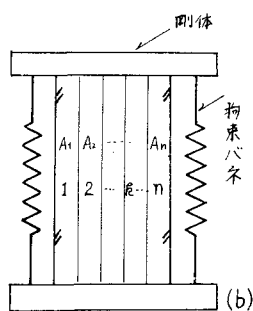
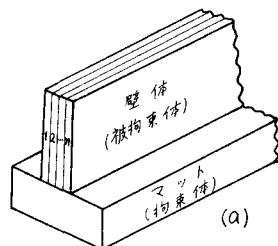


図-1 壁のモデル化

2-2 クリープ解析法

基本的にはクリープや物性の連続的な変化過程をステップバイステップで近似した増分法による。ある番目の要素のあるステップにおけるヤング率を E_k 、自由歪増分を $\Delta\epsilon_{ok}$ 、系の実歪増分を $\Delta\epsilon$ とすると、この要素の応力増分 $\Delta\sigma_k$ は次式で表わせる。 $\Delta\sigma_k = E_k \cdot (\Delta\epsilon - \Delta\epsilon_{ok})$ ----- (1) ここで自由歪増分 $\Delta\epsilon_{ok}$ は、温度、乾燥収縮、クリープによる歪増分の和である。バネの自由歪増分を、 $\Delta\epsilon_s$ (収縮を正) ヤング率を E_s 、とするとバネの応力増分 $\Delta\sigma_s$ は次のようになる。 $\Delta\sigma_s = E_s \cdot (\Delta\epsilon + \Delta\epsilon_s)$ ----- (2) 式-(1),(2)よりモデルのつり合い条件式は次式となる。 $\sum_{k=1}^n A_k \cdot E_k \cdot (\Delta\epsilon - \Delta\epsilon_{ok}) + A_s \cdot E_s \cdot (\Delta\epsilon + \Delta\epsilon_s) = 0$ ----- (3)

ここで A_k は要素の断面積、 A_s はバネの断面積。式-(3)より系の実歪増分 $\Delta\epsilon$ は次のようになる。

$$\Delta\epsilon = (\sum_{k=1}^n A_k \cdot E_k \cdot \Delta\epsilon_{ok} - A_s \cdot E_s \cdot \Delta\epsilon_s) / (\sum_{k=1}^n A_k \cdot E_k + A_s \cdot E_s) \text{ ----- (4)}$$

実歪の増分 $\Delta\epsilon$ が求まれば、各要素の応力増分、バネの応力増分は、式-(1),(2)より算定される。ところでこの計算では、要素の自由歪増分中のクリープ歪増分には、このステップで生ずる応力増分によるクリープ歪増分を含んでいない。そのため、一つ前のステップまでの応力増分によるクリープ歪増分を用いた解を第一近似解とし、この第一近似解によるクリープ歪増分を各要素のクリープ歪増分に加え、式-(1)~(4)の計算を再度行う。この過程を収束するまでくり返し、真

の応力増分を算定している。このくり返し計算の操作は、 $\Delta\sigma_1 \sim \Delta\sigma_n$ を未知数とする連立方程式をくり返し解法で解いているのと等価である。

2-3 クリープ係数の算定法 クリープ係数の算定には、次式で与えられる CEB-FIP の新しいコード²⁾(1978年)を基本的に用いる。 $\epsilon_c(t, t_0) = \frac{\sigma_0}{E_c} \varphi(t, t_0) \dots \dots \dots (5)$ $\varphi(t, t_0) = \beta_a + 0.4 \beta_a(t - t_0) + \varphi_f[\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] \dots \dots \dots (6)$ $\beta_a = 0.8(1 - \frac{f_c(t_0)}{f_{cm}}) \dots \dots \dots (7)$ f_{cm} はコンクリート最終圧縮強度、 $f_c(t_0)$ は載荷時のコンクリート強度。式(6)の第1項 β_a は急速初期変形であり、コードの表現では弾性歪に近いが、実際には24時間かけて進行するものであり Rüschi³⁾が示した進行度曲線を間数近似した次の式でこの項を取り扱う。 $\beta_a = 0.6(1 - \frac{f_c(t_0)}{f_{cm}})(1 + 0.48 \log t) \dots \dots \dots (8)$ 上式で係数を0.6と修正したのは、アチルゴムでシールして、1, 3, 7, 14, 28日で載荷して行った筆者らの実験結果による。変動応力の影響は重ね合せ法で評価し、変動温度の影響は、筆者らの実験結果その他から求めた次の温度間数を用いて評価する。

2-4 強度およびヤング率の算定法 強度およびヤング率の経時変化は、各要素の温度履歴から計算される換算材令 t_e (B)によって推定する。推定式は前報に示したものと同様である。

3 計算例と考察 厚さ1.3m、高さ3mの壁が、厚さ1.3m有効巾2mのマットに拘束される場合について解析する。コンクリートの打ち込み温度20℃。セメントは中熱セメントを用い単位セメント量は、312 kg/m³。塚山氏の推定式によれば、このコンクリートの断熱温度上昇式は、 $T = 36(1 - e^{-0.919t})$ となる。外気温は15℃。これらの条件から差分法で解析した温度履歴を壁の中央部と表面部について図-2に示す。計算された温度履歴およびこのコンクリートの四週圧縮強度402 kg/cm²を用いて壁の内外の拘束応力を解析した。壁の内部拘束応力分布の変化を図-3に、中央部と表面部の内部拘束応力、および内部と外部の拘束を加えた応力の経時変化を図-4に示す。図-3, 4で内部拘束応力は、温度上昇時に中央部で圧縮、表面部で引張となっている。温度が降下してくるにつれ、中央部は徐々に引張側へ表面部は圧縮側へ移行し、最終的に中央部に引張応力が表面部で圧縮応力が残る。これは筆者らが別に報告している実験でも確認されている。従来マスコンクリートの内部拘束応力について常に中央部で圧縮表面部で引張応力が存在するものと誤解されていたのは、コンクリートヤング率の経時的な発現と温度履歴との関係が十分に分析されていなかった事によるものと言える。内部拘束と外部拘束を加えた引張応力の最大値は、図-4からわかるようにこの例では引張強度を上回ることではなく、このような場合、一施水知熱によるひび割れは発生しないものと予測される。

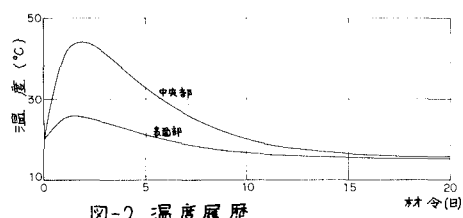


図-2 温度履歴

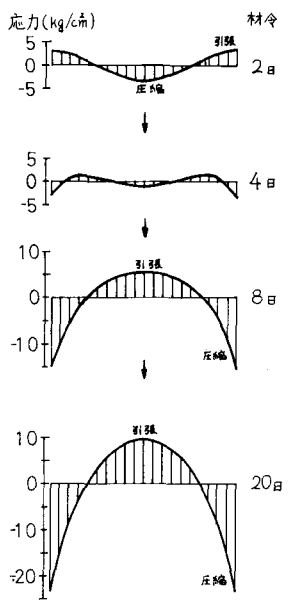


図-3 内部拘束応力分布の変化

4 あとがき 本解法によるマスコンクリート部材の拘束応力の算定結果とひび割れの予測は、別に報告するように実験結果と比較的よく対応しており、この解法が、今後マスコンクリート部材のひび割れ予測に十分に利用できるものと考えられる。

(参考文献) 1) 田中他「マッパなコンクリート部材に生ずるひび割れについて」第33回年次講演会 1978 2) CEB-FIP Model Code for Concrete Structures 1978 3) Rüschi 他「コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮」西島社 鹿島出版会 1977 4) 未発表 5) 佐藤他「高温下におけるコンクリートのクリープ」建築学会年次講演会 1976 6) 塚山「マッパな鉄筋コンクリートの温度上昇ならびに温度ひび割れに關する研究」学位論文 7) 中島他「マッパな部材に生ずる内部拘束応力について」第34回年次講演会 発表予定

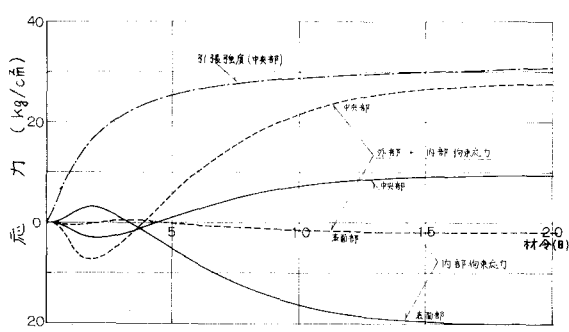


図-4 内部、外部拘束応力の経時変化