

型枠脱型にともなうマスコンクリートの温度応力

阪神高速道路公団 正員 加藤幹夫
 東洋技研コンサルタント 正員 島田 功
 同上 正員 ○豊川 臣

1. まえがき；水和熱によってコンクリートの温度が上昇し、外気温との温度差を生ずると表面からの放熱によって中心部と表面では温度差を生じ熱膨張の少ない表面部分に引張応力が働く。水和熱によって起るコンクリートの温度上昇、および時間経過は、セメント量、コンクリートのマス、放熱面積などによって異なるが、図-1に示すように、2~3mの厚さのコンクリートでは、2日位で最高温度に達し、その間の中心部の温度上昇はほぼ断熱状態である。したがって、内部と表面との温度差に基づく応力は若材令(2~3日)で最大となり、その後は減少していくものと考えられる。しかし、内部の温度が外気温に等しくなるのは20日位と想定され、早期に型枠を取外すと表面温度を急激に低下させることになり、この熱衝撃による応力が、さきにのべた応力に付加されることになり表面にひびわれを誘発しやすくなる。本報告では、型枠脱型にともなう温度履歴と応力の発現について実験ならびに解析結果をもとに検討したものである。

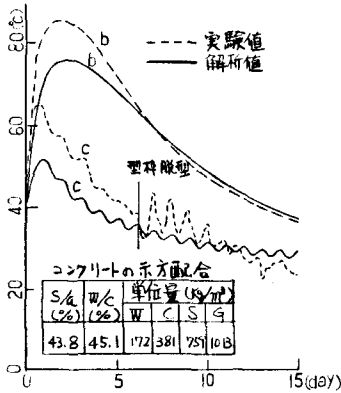


図-1 (a) 温度上昇履歴

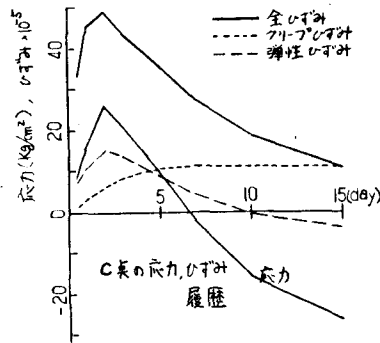


図-1 (b) 応力ひずみ履歴(解析値)

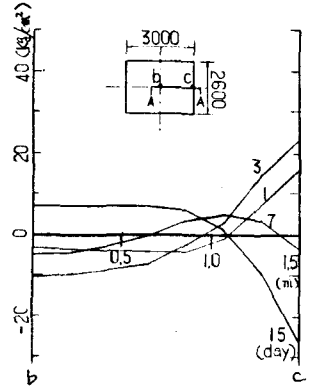


図-1 (c) 応力分布(A-A)

2. 実験結果；図-2は型枠を取外した時点でのコンクリート内部の温度変化を示したものである。ただし、脱型時の温度を基準にした変化量を示した。さらに図-3には、脱型時の表面温度と外気温との差を1℃に換算した時の表面温度の降下履歴を示した。なお、本実験は夏期におこなわれたものである。

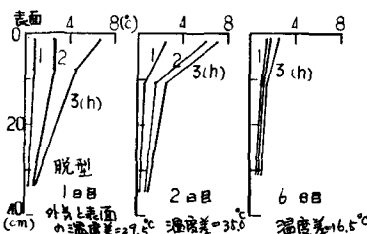


図-2 型枠脱型時の温度変化

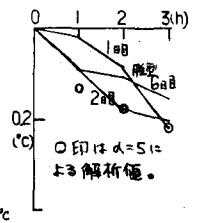


図-3 換算表面温度

M. KATO, I. SIMADA, S. TOYOKAWA

3. 解析結果；実験結果には、外気温の変化、水和熱の影響などが含まれ、脱型による影響を適確に把握しがたい面がある。そこで内部と温度差を有する外気に暴露した場合の解析をおこなった。図-4はコンクリート表面が 1°C 低い外気にさらされた場合の温度降下の状態を示したものである。解析は温度変化が表面近傍に限られることから一次元場とし、表-1に示すコンクリートの熱的性質を用いた差分法で追跡した。なお、熱拡散率を $0.002 \sim 0.003$ の範囲で変化させてみたが、その影響はほとんどみられなかった。図-5は、さきにのべた温度分布を深さ方向に与え、FEMで幅(a)を有する二次元場の応力を解析した結果である。脱型後1時間位までの表面応力は急激な増加が見られる。その後、幅(a)による差があらわれつつ漸増する。

表-1 解析条件	
コンクリート	熱伝導率 $1.5 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
	熱膨張率 $0.002 \text{ m/m}^{\circ}\text{C}$

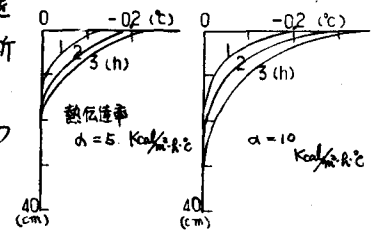


図-4 温度降下

図-6は、線膨張係数 $=10^{-5}$ 、ヤング率 $=20 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした、場合の応力分布を示したものである。

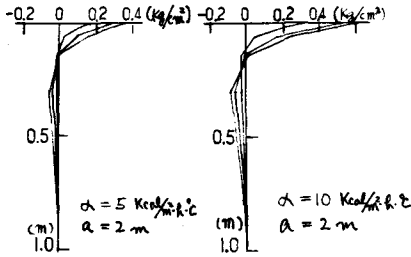


図-6 応力分布

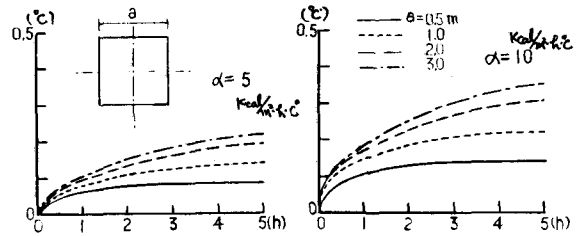


図-5 表面応力履歴

4. まとめ； 型枠を取外すことによる熱衝撃の影響について若干の検討をおこなった。その結果を要約すれば次のようになる。

(1) 表面近傍の温度変化には空気の熱伝達率が大きく影響する。実験結果は熱伝達率 $(\alpha) = 5 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ の結果とほぼ一致するが、一般に熱伝達率は風速との関係で表わされ、(例えば $\alpha = 5 + 3.5 \text{ W/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ 風速 (m/sec))、型枠を取外す場合、外気の状態を考慮した適切な脱型方法が望まれる。

(2) 型枠脱型時に外気と表面との温度差が 10°C 位あると2~3時間後に $5 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ の表面引張応力が発生するため、既存の温度応力を十分考慮して型枠の在置期間を決定しなければならない。

(3) 型枠脱型によって生ずる引張応力の範囲は、深い場合で表面から 15 cm 程度である。したがって、ひびわれが発生しても表面近傍に限られるであろう。実験では材令 $1 \sim 2 \text{ 日}$ に脱型すると約 1 m 間隔にひびわれが発生した。また、材令 6 日 の脱型時にも、木製型枠面(外気との温度差は約 15°C)にはひびわれが発生した(ただし、鋼製型枠面は外気との温度差が少なく(7℃)ひびわれは見られなかった)。型枠を脱型すると、表面から水分が急激に蒸発し収縮応力も複合される。したがって、マツシアな構造では、型枠在置期間を十分にとり、外気との温度差をできるだけ小さくしておく必要がある。