

コンクリート初期性状を考慮した床版の温度応力解析に関する一考察

石川島播磨重工業株式会社 正会員 ○塩永 亮介
 石川島播磨重工業株式会社 正会員 師山 裕
 石川島播磨重工業株式会社 正会員 倉田 幸宏
 駒井鉄工株式会社 正会員 高瀬 和男

1. はじめに

コンクリート床版の温度応力解析に関しては、既往の成果によりその温度やひずみ履歴はおおよそ実挙動を再現できることを示されてきた^{1),2)}。しかし応力評価の上で、解析値の妥当性を実験により直接的に検証するのは困難であるため、正確な物性値の設定が必要とされる。とくに初期材齢時のヤング係数は解析値に大きく影響を及ぼす条件である。現状ではコンクリート標準示方書（以下、コ示）に示す推定式が用いられるが、これは主にマスコンクリートを対象とした推定式とされ、床版等を対象とする場合、次のような問題点が指摘されている。

- ・ ヤング係数の推定式は、コンクリート温度 20℃ 一定の条件であり、内部発熱による温度依存性を考慮していない。
- ・ 発熱時の圧縮クリープを考慮するヤング係数の低減期間が長く、温度下降時の収縮側のクリープも考慮してしまう。

本稿では上記の問題より、床版構造の温度応力解析における物性条件を修正し、それが解析値に及ぼす影響を検証した。

2. 解析内容

(1) 評価手法

解析モデルを図-1に示す。床版は、設計基準強度が 40 N/mm² の早強コンクリートとした。応力評価位置は、先行打設床版の外部拘束を受けやすい新床版の打継ぎ目近傍の応力（橋軸直角方向）とし、材齢 7 日までの初期応力の評価とした。

(2) ヤング係数推定式の温度依存性

解析に用いるコンクリートのヤング係数 $E_c(t)$ は、コ示[施工編]³⁾に準じて、早強コンクリートの場合以下の式[1]を用いた。

$$E_c(t) = \phi(t) \times 4700 \times \sqrt{\left(\frac{t}{2.9 + 0.97 \cdot t} \right) \times f'_c(28) \times 1.07} \quad (\text{N/mm}^2) \quad [1]$$

ここで上式における材齢 t (日) は、コンクリートが 20℃ 一定の場合の材齢である。しかし、床版内部の実際の温度履歴は図-2 のようになり、この温度依存性を考慮するため各節点の積算温度から有効材齢 t_e (日) を用いる必要がある。有効材齢の算出にはコ示[構造性能照査編]⁴⁾に示す以下の式[2]を用いた。

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)} \right] \quad (\text{日}) \quad [2]$$

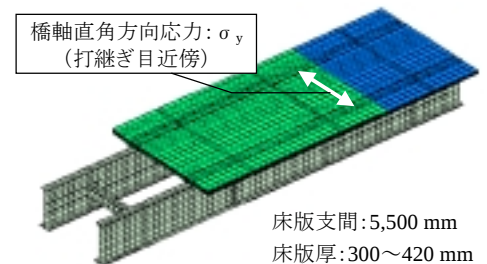


図-1. 床版解析モデル

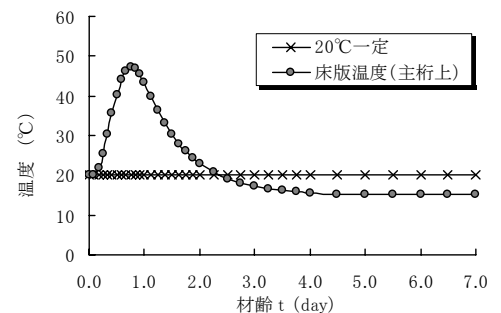


図-2. 床版内部の温度履歴

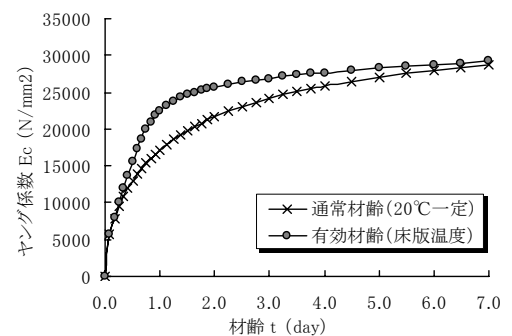


図-3. 有効材齢を考慮したヤング係数履歴

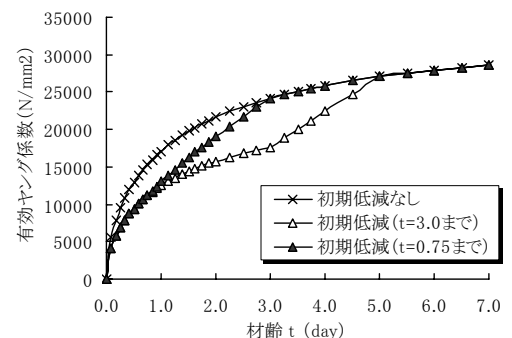


図-4. 初期クリープを考慮したヤング係数履歴

キーワード：温度応力解析、コンクリート床版、ヤング係数、有効材齢、初期クリープ

連絡先：〒235-8501 横浜市磯子区新中原町 1 TEL：045-759-2864 FAX：045-759-2208

ここに、 Δt_i はコンクリート温度が T () である期間を示す。
式[2]で算出される有効材齢を考慮したヤング係数履歴を図-3
に示す。初期の温度発熱時の発現性が大きくなることがわかる。
(3) 初期クリープを考慮したヤング係数の低減

温度応力解析では、発熱時の圧縮クリープを考慮し、初期材
齢のヤング係数を低減（式[1]中の $\phi(t)$ ）する。コ示[施工編]
では $\phi=0.73$ とする低減期間を材齢3日とし、材齢5日には ϕ
=1.0 に戻るとしている。本検討では図-1 に示す温度解析結果よ
り、発熱過程の材齢18hrまで $\phi=0.73$ とし、材齢3日には $\phi=1.0$
に戻るような低減法に修正した。従来の低減法と今回修正した
低減法による有効ヤング係数履歴を図-4 に示す。

3. 解析結果と考察

図-3 に示すヤング係数を用いた応力解析結果を図-5 に示す。
有効材齢を考慮したヤング係数を用いることで、材齢2日以降
の引張応力がやや大きく発生し、従来の解析値と比較し引張側
へ $\Delta \sigma_y = +0.26$ (N/mm²) 程度シフトする結果を得た。また、図-4
に示すヤング係数を用いた応力解析結果を図-6 に示す。従来の
ヤング係数の低減を材齢3日までとした場合の応力履歴に対
して、今回修正した応力履歴は引張側へ $\Delta \sigma_y = +0.20$ (N/mm²) 程度
シフトする結果を得た。

さらに両者を組み合わせた場合の応力解析結果を図-7 に示
す。有効材齢を考慮せず、初期クリープをコ示に準じた従来法
の応力解析結果 1.10 (N/mm²) に対し、修正後は 1.68 (N/mm²) と
なり、その差は $\Delta \sigma_y = +0.58$ (N/mm²) と大きい。よって従来のマ
スコンクリートと同様の物性条件で解析した場合では、床版で
想定される発生応力よりも小さめに評価していることが推察さ
れる。ただ、強度推定式に有効材齢を考慮することにより図-7
に示すように、引張強度の履歴も変化する。そのため、ひび割
れ発生の定量評価で用いられるひび割れ指数 I_c (=引張強度 / 引
張応力) で比較した（図-8）。従来法では指数は2.0 以上となり
ひび割れの可能性は少ないと示される箇所でも、修正後の指数
は1.5 程度と下がり、ひび割れ発生の確率はより高くなるとい
う結果となった。

4. まとめ

コンクリート床版を対象とした温度応力解析において、強度発現における温度依存性や初期クリープを考
慮する際の低減期間を修正した結果、従来のコ示[施工編]に準じたヤング係数推定式を用いた解析結果より
も応力的に厳しい値が得られた。より厳密に施工初期のひび割れ発生の評価を行う上では、解析条件の中で
このようなコンクリートの初期特性を正確に把握することが必要と思われ、今後実験による検証も含め検討
を進めていく予定である。

【参考文献】 1) 倉田・河西・高瀬・丸山：有限要素法解析による長支間場所打ち PC 床版の施工時における応力評価に関
する研究，構造工学論文集 Vol.49A pp.825-832, 2003.4 2) 塩永・藪野ほか：場所打ち PC 床版2主桁橋の床版コンクリート
初期ひずみ特性「佐分利川橋」，第57回土木学会年次学術講演会，CS4-017 pp.143-144, 2002.9 3) 土木学会：コンクリ
ート標準示方書[2002 年制定]施工編 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [2002 年制定] 構造成能照査編

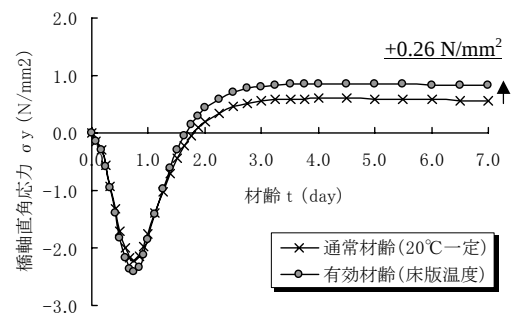


図-5. 応力解析結果(有効材齢)

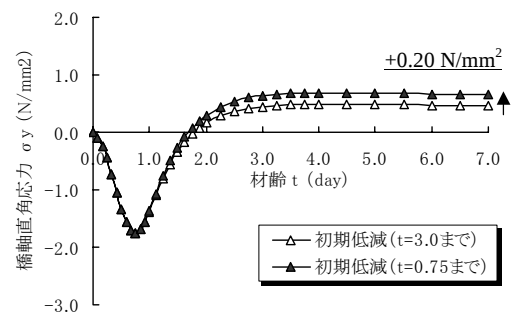


図-6. 応力解析結果(初期クリープ)

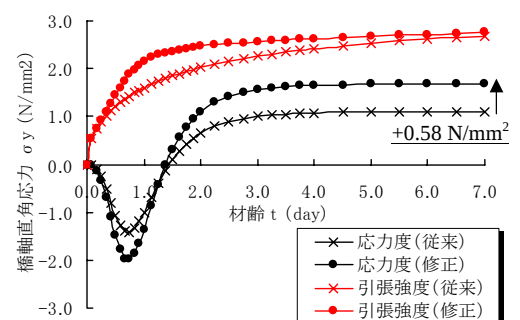


図-7. 応力解析結果(組み合わせ)

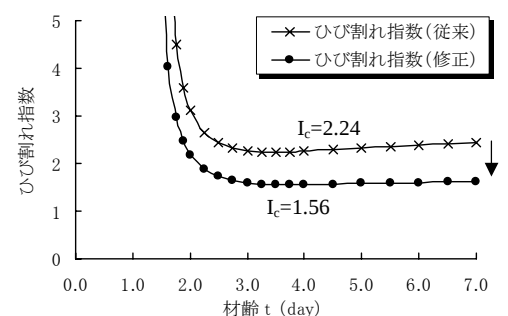


図-8. 修正前後のひび割れ指数の差