

膨張コンクリートの挙動解析へ仕事量一定則を適用する際の総仕事量の求め方の検討

飛島建設 土木事業本部 正会員 ○田畑 美紀
 飛島建設 土木事業本部 正会員 川里麻莉子
 飛島建設 土木事業本部 正会員 榎島 修
 飛島建設 土木事業本部 正会員 寺澤 正人

1. はじめに

膨張コンクリートは、その膨張挙動が鉄筋などにより拘束されることで自身に圧縮応力を生じ、収縮挙動を補償することでひび割れ抵抗性を向上させる材料である。膨張コンクリートのひび割れ抑制効果を解析により評価する場合、一般的には膨張ひずみを入力値とする解析法が適用される。入力する膨張ひずみとしては、例えば、文献1)に示される一軸拘束膨張試験(JIS A 6202 付属書2によるA法、拘束鋼材比0.95%)の試験結果を基にした一般値などが挙げられる。しかし、この解析法では、一軸拘束膨張試験と解析対象物の鋼材比に差異がある場合、膨張挙動への拘束の影響程度が異なった状態で解析されるため、実構造物での膨張材の効果を正確に予測することができない。これに対して、膨張コンクリートが拘束鋼材になす仕事量と膨張コンクリートが自身になす仕事量の和が、拘束鋼材比によらず一定であるとする「仕事量一定則」の概念を応力解析過程に導入する解析法が石川らによって提案されている²⁾。本解析法によれば、拘束鋼材を適切にモデル化することで膨張材の効果をより正確に評価することが可能であることから、有用な解析法であると考えられる。本研究では、一軸拘束膨張試験によって得られた拘束鋼材ひずみの測定値より総仕事量を求め、これを入力値として3次元FEM解析を実施し、拘束鋼材ひずみの解析値と測定値を比較することで、仕事量一定則を適用する場合の総仕事量の求め方について検討した。

表-1 試験に供したコンクリートの配合

水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	AE減水剤
53.3	48.0	160	280	20	883	972	3.00

2. 総仕事量の求め方の検討

2.1 一軸拘束膨張試験(A法)の概要

試験は、JIS A 6206 A法 付属書2の一軸拘束膨張試験(A法)によった。試験に供したコンクリートの配合を表-1に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、石灰系(水和熱抑制型)膨張材を20kg/m³添加した。拘束鋼材ひずみは、鋼材長手方向中央の表面に貼り付けたひずみゲージ(ベース長10mm)により測定した。供試体はコンクリート打設2時間後に封緘状態とし、材齢1日の脱枠直後から材齢14日まで水中(水温20℃)に静置した。また、試験期間中は供試体中央のコンクリート温度を測定した。なお、コンクリートのヤング係数試験を併せて実施した。

2.2 総仕事量の算定

一軸拘束膨張試験より得られた拘束鋼材ひずみの測定値から、石川ら²⁾による式1)を用いて総仕事量を求めた。拘束鋼材ひずみの測定値の履歴を図-1(赤色実線)に示すが、材齢1日において、型枠脱枠時まで固定されていた拘束端板の変位解放に起因すると思われるひずみの急増が認められた。そこで、材齢1日までに生じていたと考えられる拘束鋼材ひずみを類推し仮定したひずみ履歴(図-1に示す青色破線、以後「推定値」と呼ぶ)を基にして総仕事量を求めた。総仕事量に温度依存性をもたせるために、コンクリートのヤング係数は、温度計測値を基に文献1)に示される有効材齢 t_e の関数として $E = 33,200 t_e / (1.2 + t_e)$ とした。なお、鋼材のヤング係数は210,000N/mm²と仮定した。

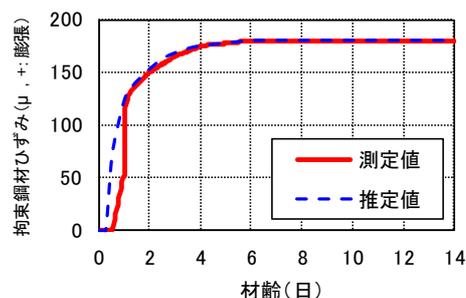


図-1 拘束鋼材ひずみ履歴

キーワード 膨張材, 仕事量一定則, 一軸拘束膨張試験, ひび割れ

連絡先 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP R&D 棟 2F TEL 044-829-6716

$$U_s + U_c = const \quad U_s = \frac{1}{2} \rho E_s \varepsilon_s \quad U_c = \sum \rho^2 \frac{E_s^2}{E_c} \varepsilon_s \Delta \varepsilon_s \quad \text{式 1)}$$

ここに、 U_s : 膨張コンクリートが拘束鋼材になす仕事量 (N/mm²),
 U_c : 膨張コンクリート自身になす仕事量 (N/mm²), ρ : 拘束鋼材比
 E_s : 拘束鋼材のヤング係数 (N/mm²), ε_s : 拘束鋼材のひずみ,
 E_c : 膨張コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

総仕事量は最終的に式2)に示す有効材齢 t_e の関数による近似式³⁾で表すこととした。図-2 に測定値を用いて式 1)によって求めた総仕事量の算定値 (赤丸線) および、算定値を式 2)で近似した最終設定値 (青色実線, $U_{che,\infty}=36.4$, $a=0.64$, $b=1.15$, $t_0=0.3$) を示す。本図には JCI が提示する推奨値³⁾ (緑色実線, $U_{che,\infty}=47.8$, $a=0.54$, $b=1.09$, $t_0=0.3$) を併せて示すが、最終設定値は推奨値よりも小さな値となった。

$$U_{che} = U_{che,\infty} \left[1 - \exp\left\{-a(t_e - t_0)^b\right\}\right] \quad \text{式 2)}$$

ここに、 $U_{che,\infty}$: 総仕事量終局値 ($\times 10^6$ N/mm²)
 a, b : 進行特性の係数, t_0 : 膨張開始時点の有効材齢 (日)

2.3 拘束鋼材ひずみの解析値と測定値の比較および考察

総仕事量の最終設定値を入力値として 3 次元 FEM 解析を実施した。解析には、図-3 に示す拘束鋼材および拘束端板を考慮した解析モデルを使用し、コンクリートと拘束鋼材および拘束端板は完全付着状態にあると仮定した。コンクリートのクリープ特性値は JCI 指針¹⁾に示される一般値とし、自己収縮は考慮しなかった。

図-4 に拘束鋼材ひずみの解析値と測定値の比較を示す。解析値 (青色実線) は測定値 (赤色実線) に比べ小さな値を示し、実際の挙動と差異が認められた。この差異は、コンクリートと拘束鋼材が完全付着状態にあると仮定したなどの解析モデル設定上の課題や、式 1) を定めた際の仮定などを原因とするものと考えられる。

これに対して、拘束鋼材ひずみの解析値と測定値が図-4 に示すように概ね一致するようにフィッティング解析を実施することで、総仕事量を同定する方法が考えられる。この方法で得られる総仕事量は図-5 (図中緑色破線の「同定値」) に示すとおりであるが、本値にも解析モデル設定上の課題が影響していると判断される。膨張コンクリートの挙動解析に仕事量一定則を適用する場合には、総仕事量を一軸拘束膨張試験のような規格化された試験の結果から簡便に求めることができる方法が実務上有用であると考えられる。今後は、更なるデータの蓄積や解析モデルの設定法に関する検討などを通じて、総仕事量の求め方やその方法で得られる総仕事量の妥当性を検証していく必要があると考えられる。

3. まとめ

- 1)一軸拘束膨張試験結果から石川らの方法にならって求めた総仕事量を解析の入力値とした場合、本研究の範囲においては、実際の挙動と解析結果に差異が認められた。
- 2)一軸拘束膨張試験から得られる拘束鋼材ひずみの測定値と解析値が概ね一致するようにフィッティング解析を実施して、総仕事量を同定する方法は、総仕事量を簡便に求める一手法として実務上有用であると考えられる。ただし、この総仕事量の求め方や得られる総仕事量の妥当性については、更なる検討や検証が必要である。

参考文献

1)日本コンクリート工学協会：「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」, 2008.11.
 2)例えば、石川ら：「仕事量一定則に基づく膨張コンクリートの変形挙動に関する基礎的研究」, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2009.
 3)日本コンクリート工学協会：「JCMAC3 解析資料 膨張材を使用する膨張コンクリートの膨張ひずみについて」, 2011.12.

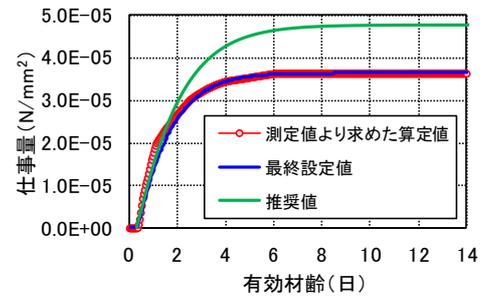


図-2 総仕事量

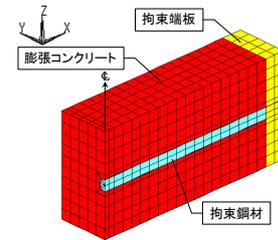


図-3 解析モデル (1/4 モデル)

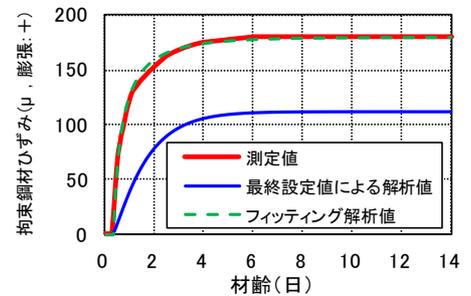


図-4 拘束鋼材ひずみの解析値と測定値の比較

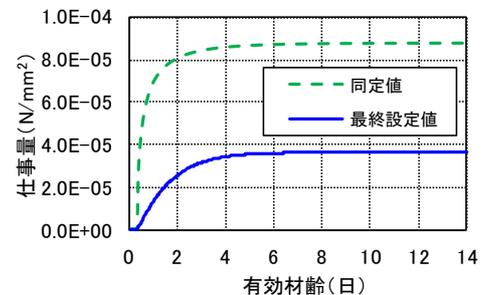


図-5 総仕事量の同定値と最終設定値の比較