

PRC 構造の長期変形挙動に対する解析的評価

名古屋大学 学生会員 玉野 慶吾
 名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

1. はじめに

PRC 構造は、RC 構造と PC 構造の中間領域の全てを包括する自由度の高い構造であることから、その合理性を活かした幅広い適用が望まれている。しかしながら、PRC 構造にひび割れが発生する時期を制御する概念が明確でないことや、ひび割れが発生した PRC 構造のクリープや収縮の進行に伴う断面の中立軸位置の変化などを精密に照査する手法がないなどにより、その適用範囲は限られ、明確な設計手法も確立されてこなかった¹⁾。そこで本研究では上記現状を踏まえ、クリープ、収縮の影響を考慮した 3 次元有限要素解析を用いることで、PRC 構造のひび割れ幅の評価までを含む時間依存挙動の解析的評価の可能性について検討した。

2. 解析対象 PRC はり

手塚らにより行われた PRC はり (NL22, NL32) の実験²⁾ を対象として解析的評価を行った。供試体の概要を図-1 に示す。実験では、材齢 9 日で NL22 は 69.1kN (863.9N/mm²)、NL32 は 118.6kN (927.3N/mm²) のプレストレス力が導入され、材齢 17 日で NL22 は 68.0kN、NL32 は 68.5kN の持続荷重が載荷された。さらに 1215 日で持続荷重をともに 77.23kN まで増加させている。また、実験ではスパン中央 520mm 区間に 20mm 間隔でひずみゲージが貼付され、ひずみ分布が詳細に測定されている。

3. 解析概要

解析は、8 節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形 3 次元有限要素プログラムを用いた³⁾。解析モデルは、要素寸法を 50×50×50mm とし、鉄筋および PC 鋼材は離散鉄筋要素によりモデル化した。鋼材とコンクリート要素間はリンク要素を用いて付着挙動を考慮した。付着応力-すべり関係は式(1)を用いた。またコンクリートの時間依存挙動としてクリープと収縮を考慮した。クリープの影響は、式(2)の土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾に示されているクリープひずみ式を用いて、主応力方向の応力増分に対し、Step by Step 法によりクリープひずみを算出し、初期ひずみ問題として考慮した。一方、収縮の影響は、式(3)の土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾より収縮ひずみを算出し、初期ひずみ問題として考慮した。

$$\tau = 1.0 \times 0.90 (f'_c)^{\frac{2}{3}} (1 - \exp(-40(s)^{0.5})) \quad (1)$$

$$\epsilon'_{cc}(t, t', t_0) / \sigma'_{cp} = [1 - \exp\{-0.09(t - t')^{0.6}\}] \cdot \epsilon'_{cr} \quad (2)$$

$$\epsilon'_{cs}(t, t_0) = [1 - \exp\{-0.108(t - t_0)^{0.56}\}] \cdot \epsilon'_{sh} \quad (3)$$

解析に用いた材料特性は、コンクリートの圧縮強度を 44.5N/mm²、引張強度を 3.60N/mm²、ヤング係数を 3.60×10⁴N/mm² とし、鉄筋については供試体概要に示すようにした。

4. 解析結果

4.1 ひずみの時間依存挙動

図-2 に、スパン中央 520mm 区間の NL32 の引張鉄筋ひずみの平均値と最大値の経時変化を示す。また、表-1 には NL22 および NL32 の任意経過日数での実験値と解析値の比較を示す。解析値は鉄筋ひずみの平均値と最大値に対し、プレストレス導入時から 8 日目の持続載荷直後のひずみ値、その後のクリープ、収縮の影響により徐々に増加するひずみ値、さらに 1215 日で持続荷重を増加させた後の挙動、いずれに対しても精度よく実験値を評価していることが分かる。また、プレストレス力が異なる場合も同程度の精度で妥当に評価している。図-3 に NL32 のスパン中央 520mm 区間でのひずみ分布の経時変化の実験値と解析値を示す。ひずみ分布の経時変化についても解析値は実験値を妥当に評

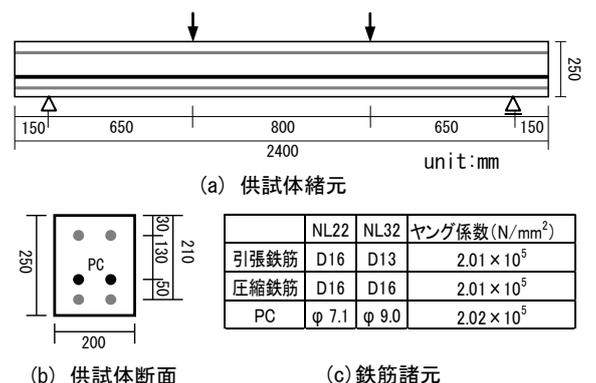


図-1 供試体概要

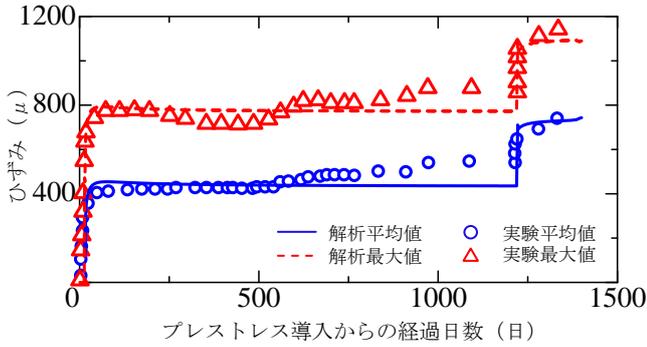


図-2 引張鉄筋ひずみの経時変化 (NL32)

表-1 NL22 および NL32 の任意経過日数での
実験値と解析値の比較

No	経過日数	引張鉄筋ひずみ (×10 ⁻⁶)					
		8日 ^{*1}	23日	500日	1200日	1300日	
NL22	実験値	①	542	734	815	984	1139
		②	798	938	1026	1146	1301
	解析値	③	556	824	829	916	1063
		④	743	986	986	1068	1224
誤差	③/①	1.03	1.12	1.02	0.93	0.93	
	④/②	0.93	1.05	0.96	0.93	0.94	
NL32	実験値	⑤	219	401	441	559	752
		⑥	576	735	740	873	1160
	解析値	⑦	211	424	439	557	730
		⑧	471	767	775	867	1091
誤差	⑦/⑤	0.96	1.06	1.00	1.00	0.97	
	⑧/⑥	0.82	1.04	1.05	0.99	0.94	

*1; プレストレス導入時からの経過日数で持続載荷直後

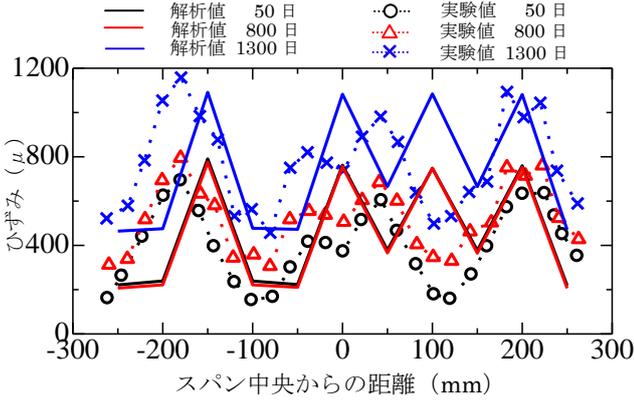


図-3 ひずみ分布の経時変化 (NL32)

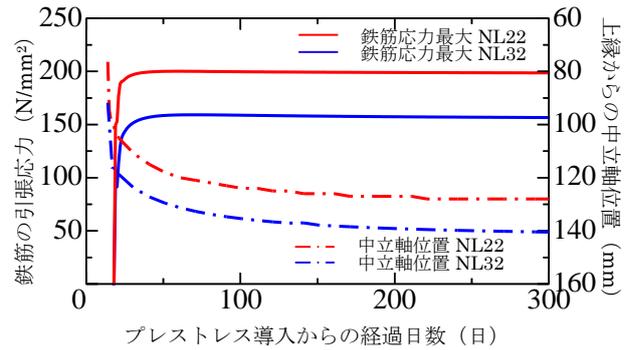


図-4 中立軸位置と鉄筋応力の経時変化

価していることが分かる。特にひずみが大きくなっている位置は、ひび割れ断面に対応するが、ひび割れ本数も概ね評価できている。このように、ひずみ分布を正確に評価できることは、ひび割れ幅も正確に評価できることを意味する。したがって本解析のように、クリープ、収縮の影響と付着の影響を適切に考慮した有限要素解析を用いれば、PRC 構造に対し、いつの材齢で、どの程度の荷重レベルで、どの程度の幅のひび割れ発生を許容するか、が考慮できることが示された。

4.2 中立軸の時間依存挙動

PRC 構造の性能評価に対しては、クリープや収縮の進行に伴う中立軸位置変化の正確な評価が望まれている。そこで、図-4 に解析より得られたプレストレス導入から 300 日までの中立軸位置と引張鉄筋応力の最大値の経時変化を示す。クリープと収縮の影響による断面応力の再分配により中立軸位置が下がり、それが PC 鋼材の引張応力度を減少させ、その分の引張力を鉄筋が負担するために鉄筋の引張応力が増加する、PRC の特徴的な挙動を適切に評価していることが分かる。さらに、中立軸位置については、300 日に至っても徐々に下がっているのに対し、鉄筋応力は比較的早い段階で一定値に収束する傾向が示され、必ずしも中立軸位置の変化と鉄筋の引張応力が対応して変化していくのではないことが本解析より明らかになった。

5. まとめ

本研究では、クリープと収縮を統一的に扱った有限要素解析を用いれば PRC 構造の特徴的なメカニズムの再現、ひび割れ幅変化までも含む時間変形挙動の評価が精度よくできることが示された。このような解析手法を利用することで、PRC 構造の合理性や適用範囲の広さを活かした適用が可能になると考えられる。

参考文献

1) 土木学会：2007 年版コンクリート標準示方書改訂資料，2007.， 2) 手塚正道，佐藤良一，山本浩嗣，鳥取誠一：PRC 部材の長期変形・応力に関する研究，土木学会論文集，No.613/V-42，pp.43-57，1999-02.， 3) 田辺忠顕：初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析法とプログラム，2004.， 4) 土木学会：2007 年度制定コンクリート標準示方書設計編，2007.