

若材齢期間における超高強度 RC 造建物のひび割れ評価  
(その 1)解析モデルの構築

Crack Evaluation of Ultra High Strength RC Buildings During Early-Age  
(Part-1) Construction of Analysis Model

○川上大夢<sup>1</sup>, 加藤舜也<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>, 佐藤裕一<sup>4</sup>

\*Hiromu Kawakami<sup>1</sup>, Shunya Kato<sup>2</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Kazuhiro Naganuma<sup>3</sup>, Yuichi Sato<sup>4</sup>

Abstract: : The objective of this study is to confirm the influence of the initial cracks that occurred during the early-age on the seismic performance of the building. For this purpose, it is necessary to accurately evaluate the early-age crack propagation. In Part-1, we show material constitutive laws and analysis method of ultra high strength concrete during early-age. Also, a method for calculating the crack width will be described.

1. はじめに

近年、高強度コンクリートの開発技術の進歩に伴い、1970 年代より、高層の RC 造建物が建設されるようになってきた。しかし、高強度コンクリートは水セメント比が小さく、自己収縮が顕著であり、さらに鉄筋や隣接する他部材に拘束されることにより、コンクリートに過大な応力が生じ、若材齢期間にて初期ひび割れが生じることが示唆されている。なお、若材齢期間に生じた初期ひび割れが、構造物全体の耐震性能に及ぼす影響は不明確であり、早急に解決すべき問題であると考えられる。

本研究では、三次元 FEM 解析を用いて初期ひび割れの幅や位置を正確に予測し、これらの要因が建物竣工後の耐震性能に及ぼす影響を把握することを最終目的としている。また、近年の研究では若材齢期間のひび割れ予測には、コンクリート-鉄筋間の付着すべりやクリープの評価が重要である<sup>[1],[2]</sup>ことが報告されている。(その 1)では解析手法について示し、(その 2)では門型の RC フレーム試験体を用いてひび割れの予測を行う。

2. 解析手法

解析には汎用 FEM 解析ソフト FINAL を使用する。Fig.1 に引張強度および弾性係数の材齢依存変化を示す。引張強度は野口ら<sup>[3]</sup>の提案式を用いて算出する。また、求めた引張強度は ACI-209<sup>[4]</sup>、弾性係数は CEB-1990<sup>[5]</sup>を用いて材齢依存変化を考慮した。Fig.2 にひび割れ後の引張軟化特性を示す。引張軟化特性は、土木学会標準示方書の式<sup>[6]</sup>を採用し、引張強度後の軟化域をバイリニアで表現した。

$$G_F = 10 \cdot d_{max}^{1/3} \cdot f_c^{1/3} \quad (1)$$

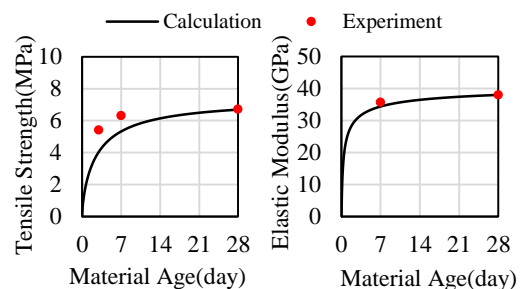


Fig.1 Time-Dependency of Tensile Strength and Elastic Modulus

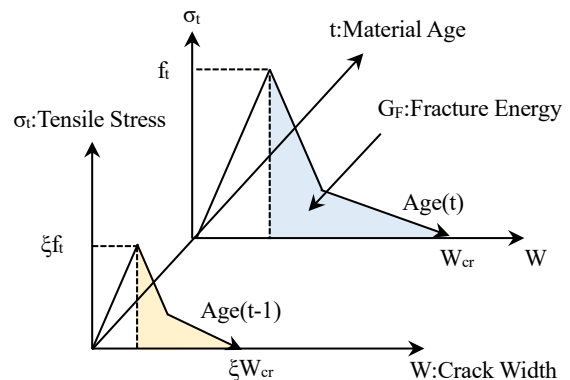


Fig.2 Tension Softening Characteristic

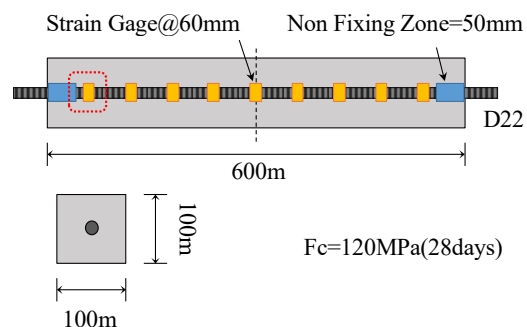


Fig. 3 Configuration of Restrained Specimen

ここで、 $d_{max}$  : 最大骨材寸法[mm],  $f_c$  : 圧縮強度[MPa]

である。なお、コンクリートの力学的特性の変化に伴い、破壊エネルギーも変化することが予想されるが、現状では破壊エネルギーの材齢依存性を考慮した予測式が提案されていないため、本解析では引張軟化領域に囲まれる面積を相似形で変化するように仮定した。

Fig.3 に丸山ら<sup>[7]</sup>が実施した鉄筋拘束試験の概要を、Fig.4 に解析に用いる付着応力-すべり関係を示す。若材齢期間では、材齢の進行と共に付着応力-すべり関係が変化することが予想される。ここでは、丸山らの実験結果を用いて各材齢ごとに計測されている鉄筋ひずみから三村ら<sup>[1]</sup>の手法にならない、Fig.3 に示す赤枠線部分の局所付着応力、局所すべり量を算出した。また、算出した値をピーク点と仮定し、ピーク後の付着応力は一定とした。Fig.5 に付着強度および付着強度時のすべり量の経時変化を示す。材齢 7 日以前では、付着強度、すべり量共に著しく変化していることが分かる。

クリープ関数は、材齢依存性を考慮するため Bazant と Osman<sup>[8]</sup>が提案した二重べき乗則を採用した。

$$J(t, \tau) = 1 + \alpha \tau^d (t - \tau)^p \quad (2)$$

ここで、 $t$  : 材齢[日]、 $\tau$  : 載荷材齢[日]、 $\alpha, d, p$  : パラメータである。各パラメータは、実験で計測されているクリープ関数に適合するように決定した。具体的な値については、(その 2)で示す。

### 3. ひび割れ幅計算方法

本解析モデルは分散ひび割れ型とし、ひび割れ幅は以下に示す式で算出する。

$$W_{cr} = S_{cr} \cdot \varepsilon \quad (3)$$

ここで、 $S_{cr}$  : ひび割れ間隔[mm]、 $\varepsilon$  : ひび割れが生じた要素の主引張方向の平均ひずみである。ひび割れ間隔の算出には、Sato ら<sup>[9]</sup>が提案した手法を用いる。若材齢期間では、収縮によってコンクリート-鉄筋間にすべりが生じるため、付着応力の影響を受ける。付着応力の影響を受ける範囲は、おおそ鉄筋径の 7.5 倍で囲まれる範囲である。なお、付着応力の影響を受けない要素については、ひび割れ間隔は要素代表長さとする。要素代表長さは、コンクリート要素と等しい体積の立方体の 1 辺の長さとする。

### 4. まとめ

(その 1)では、若材齢コンクリートを対象とした解析

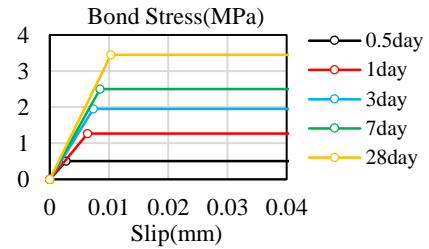


Fig.4 Bond Stress-Slip Relationship

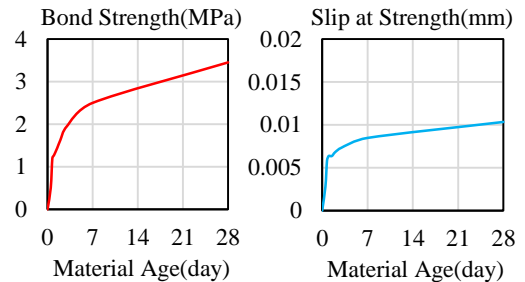


Fig.5 Time-Dependency of Bond Strength and Slip

手法およびひび割れ幅の計算方法について示した。

(その 2)では、本手法を用いて、門型 RC フレーム試験体を対象とした三次元 FEM 解析を実施し、初期ひび割れの幅、位置および発生時期の予測を行う。

### 5. 参考文献

- [1] 三村陽一ほか：若材齢コンクリートと異形鉄筋の局部付着特性に関する実験的研究,土木学会論文集 E Vol.63 No.3, pp.410-423, 2007.7
- [2] 入矢桂史郎：若材齢コンクリートのクリープに関する研究,名古屋工業大学博士論文,1999
- [3] 野口貴文,友澤史紀：高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係,日本建築学会構造系論文集,第 472 号, pp.11-16, 1995.6
- [4] ACI: Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, ACI 209R-92, 1997
- [5] Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP Model Code 1990
- [6] 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編, 2012
- [7] 寺本篤史,丸山一平：超高強度コンクリートの付着応力-すべり関係に及ぼす収縮量の影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.34,No.1,2012
- [8] Bazant.Z.P. and Osman.E. : Double power law for basic creep of concrete, Materials and Structures, RILEM, Paris, Vol.9, pp.3-11, 1976
- [9] Sato.Y. and Vecchio.F.J. : Tension Stiffening and Crack Formation in Reinforced Concrete Members with Fiber-Reinforced Polymer Sheets, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.717-724, June, 2003.