

ASR 膨張ひび割れがコンクリートと鉄筋の付着応力-すべり関係に与える影響

京都大学 学生会員 ○中尾 真 正会員 山本貴士 正会員 服部篤史 フェロー 宮川豊章

1. はじめに

既往の ASR 膨張ひび割れ模擬コンクリートと鉄筋の引抜き実験結果の二次元有限要素解析を行い、ASR 膨張コンクリートと鉄筋の付着応力-すべり関係の定式化を試みた。また、鉄筋が降伏するために必要な付着長について検討した。

2. 研究概要

解析対象は、幅×高さ×全長(付着試験長)=200×300×400(300)mm のカンチレバー型引抜き試験体¹⁾とした。引抜き対象の鉄筋は D10 で、かぶりは 25mm である。健全で鉄筋が降伏し、膨張材を用いて ASR 膨張ひび割れを模擬したもので引抜き破壊を生じた。図-1 に解析モデルを示す。コンクリートには 2 次元 1 次の四辺形要素を、鉄筋には 1 次元 1 次のトラス要素を用いた。鉄筋とコンクリートの付着は、各要素の節点間の付着バネ要素で表現した。

付着バネ要素の特性として用いた局所の付着応力-すべり関係を図-2 に示す。鉄筋周囲のコンクリートの破壊現象である付着割裂を、付着応力-すべり関係の特性として取り扱ったモデル²⁾である。解析は、引抜き端側の鉄筋に水平変位を 0.05mm ずつ 5mm まで与える変位増分型とした。得られた解析結果と実験結果を比較し、最大荷重が一致するように最大付着応力に関する係数 β を、初期剛性が一致するように最大付着応力時のすべりに関する係数 γ を膨張率 b の関数として求めた。ポストピークの軟化勾配に関する係数 δ は、実験においてポストピーク以降の破壊が急激で測定点が粗になっており、定めることは困難と判断し、付着が良くない時の値として CEB-FIP モデルで提案されている値 $\delta=2.5\text{mm}$ にて $\tau_R=0.15\tau_{\max}$ まで低下するとした。

3. 結果および考察

3. 1 最大付着応力に関する係数 β

実験結果の最大荷重を付着区間の鉄筋表面積で除した平均付着強度と膨張率の関係を、藤井-森田式³⁾で算出した平均付着強度の計算値とともに図-3 に示す。実験では、健全において付着割裂をとまわず鉄筋が降伏した。また、膨張率が小さい段階のデータが無いため、膨張率と平均付着強度の関係を回帰するにあたり、健全および膨張率 0.005 においては、鉄筋が降伏せずに付着割裂にて付着強度が決定したと仮定して上記算定式より求めた計算値を用いた。なお、対数関数の性質上、健全の場合も 0.001mm 幅のひび割れがあると仮定している。

平均付着強度の実験値と解析値が一致するときの β と膨張率の関係を図-4 に示す。膨張ひび割れ幅は、膨張率 0.0025, 0.005 のとき、供試体上面(幅 200mm)に鉄筋に沿ったそれぞれ幅 0.5, 1.0mm のひび割れが 1 本現われるとして膨張率に変換した。以上から、最大応力に関する係数 β は膨張率 b を用いて式(1)のように表すことができる。

$$\beta(b) = -0.474\text{Ln}(b) - 1.34 \quad (1)$$

3. 2 最大付着応力時のすべりに関する係数 γ

実験結果の初期剛性 D と膨張率の関係を図-5 に示す。初期剛性は、荷重-自由端変位関係で、原点と最大荷重の 1/3 に相当する荷重点を結ぶ直線の傾きとした。初期剛性 D と膨張率 b の関係を線形回帰すると次式のようにになった。

キーワード：アルカリ骨材反応, 付着応力-すべり関係, 膨張ひび割れ, 有限要素解析

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL: 075-383-3173 FAX: 075-383-3177

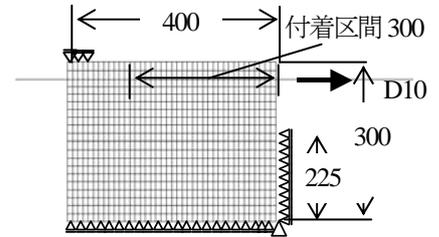


図-1 供試体のメッシュ分割 (mm)

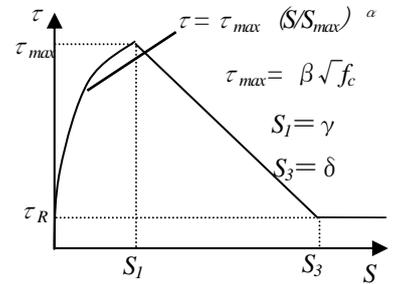


図-2 局所付着応力-すべり関係²⁾

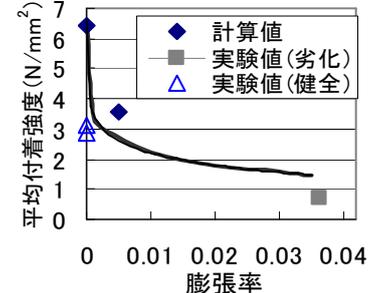


図-3 平均付着強度-膨張率関係

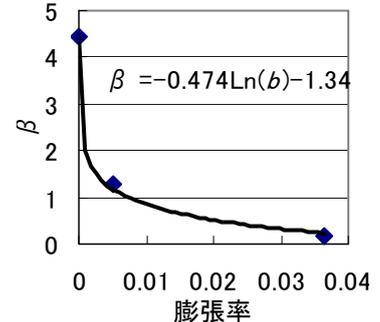


図-4 β -膨張率関係

$$D(b) = -196000b + 7400 \quad (2)$$

解析結果の初期剛性と γ の関係を回帰結果とともに図-6に示す。 β を膨張率にともない変化させると、初期剛性も変化するため、まず $\beta=1.0$ と固定した場合について検討し、初期剛性と γ の関係を回帰した。次に初期剛性と β の関係を調べたところ、初期剛性はほぼ β と一対一の対応関係にあった。以上から、初期剛性 D は、任意の β について、式(3)のように表すことができる。

$$D(\gamma) = 300 \cdot \beta / \gamma \quad (3)$$

式(2), (3)からすべりに関する係数 γ は、膨張率 b を用いて式(4)のように表すことができる。実験値は式(2)のように線形近似したため、膨張率 b が大きくなると初期剛性が 0 になる点が現われ、その近辺において γ の増加の割合は非常に大きく、実際の初期剛性 D と膨張率 b の関係は表現できないため、適用できる膨張率の上限を実験結果の範囲($b \leq 0.0365$)に限定した。

$$\gamma(b) = \frac{0.00153 \beta}{0.0377 - b} \quad (b \leq 0.0365) \quad (4)$$

以上で定式化した付着応力-すべり関係を用いた荷重-自由端変位関係の解析結果を実験結果とともに図-7に示す。既往の付着応力-すべり関係において、付着特性を決定する係数を膨張率の関数で表すことで、実験結果における健全時の鉄筋降伏および膨張ひび割れ存在時の荷重-自由端変位関係を表現できた。

3. 3 定着長の検討

定式化した付着応力-すべり関係を用いて、付着区間 900mm を仮定して引抜き解析を行い、鉄筋が降伏するために必要な付着長を検討した。膨張率を 0 から 0.032 まで変化させた時の鉄筋が降伏するために必要な付着長と膨張率の関係を図-8に示す。健全時の鉄筋ひずみの値^りを整理した結果、鉄筋ひずみは自由端側から 150mm の位置では発生していたが降伏ひずみには達していなかった。また、付着試験長さ 200mm では鉄筋が降伏した。したがって、150mm から 200mm の間が鉄筋降伏に必要な付着長と考えられるが、解析では 100mm で鉄筋が降伏しており、定式化した付着応力-すべり関係の最大付着応力が若干大きい可能性がある。一方、ASR 膨張によりコンクリートと鉄筋の付着が劣化すると、鉄筋が降伏するために必要な付着長は大きくなる傾向が得られた。

4. 結論

ASR 膨張ひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の引抜き実験結果の荷重-自由端変位関係を有限要素解析を用いて再現するにあたり、付着バネ要素に用いる局所の付着応力-すべり関係を、最大付着応力および最大付着応力時のすべりに関する係数を膨張率の関数で表すことで定式化した。また、定式化した付着応力-すべり関係を用いて鉄筋が降伏するために必要な付着長を検討した結果、鉄筋が降伏するために必要な付着長は、ASR 膨張により増加する傾向を得た。

謝辞 本研究の一部は、国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の研究課題「ASR 劣化構造物安全性能評価手法の開発(研究代表者: 宮川豊章)」に対する研究費の援助を受けて実施したものであることを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 成清公平, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章: ASR 膨張ひび割れ模擬コンクリートと鉄筋の付着・定着特性, 土木学会第 61 回年次学術講演会概要集, 2006.
- 2) Comite Euro-International Du Beton:CEB-FIP MODEL CODE1990,First Draft,1991.
- 3)藤井栄, 森田司郎: 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第 324 号, pp.45-53, 1983.2

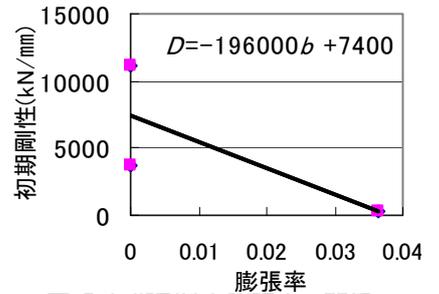


図-5 初期剛性と膨張率の関係

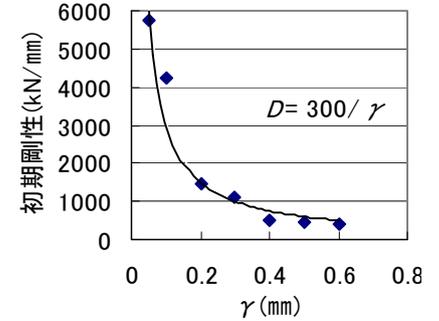


図-6 初期剛性と γ の関係 ($\beta=1.0$)

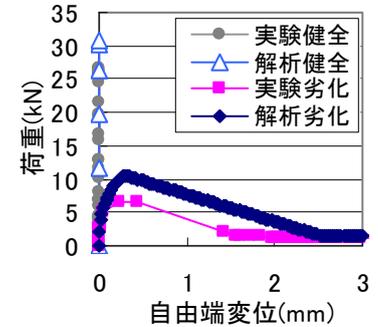


図-7 荷重-自由端変位関係

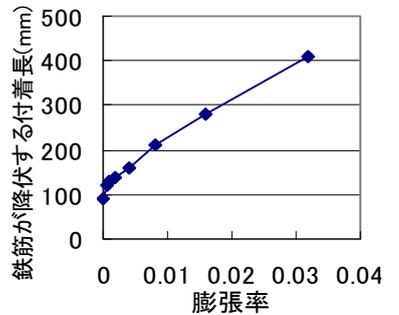


図-8 付着長と膨張率の関係