

第V部門

ASR膨張に起因するひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の付着応力-すべり関係

京都大学 学生会員 ○楊 威 学生会員 石川貴士 正会員 高谷 哲
 正会員 山本貴士 フェロー 宮川豊章

1. はじめに

近年、ASR劣化RC構造物中の鉄筋破断の被害が報告されている。破断した鉄筋とASR劣化を生じたコンクリートの一体性が損なわれると、RC部材の耐荷性能が低下する可能性があるが、これまでの引抜き実験の結果において、鉄筋に沿ったひび割れが存在する場合に付着強度の低下が大きくなることが分かっている。また、図-1に示す、ひび割れがかぶり方向にのみ存在するよりも鉄筋位置を通過する状況の方が、付着強度の低下が大きい可能性のあることを示した¹⁾。

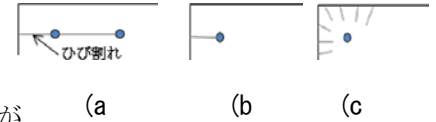


図-1 ひび割れ形態

本研究では、このような鉄筋に沿ったひび割れにともなう付着特性の低下が、部材の耐荷特性に与える影響を数値構造解析にて検討する際に必要な局所の付着応力-すべり関係について定式化を試みた。既往の引抜き実験にて対象とした図-1 (b) に示すひび割れ形態を対象とし、引抜き実験結果の荷重-自由端変位を再現できるような、局所付着応力-すべり関係を有限要素解析を用いて検討した。

2. 研究概要

解析対象は、幅×高さ=200×300mmの矩形断面で、全長(付着試験長)が300(270)mmの引抜き試験体とした。引抜き対象の鉄筋はSD295A, D16で、かぶりは25mm(かぶり鉄筋径比 $c/\phi=1.5$)である。ASRひび割れを想定したひび割れは静的破砕材を用いて模擬しており、すべての供試体で付着割裂破壊に至っている。図-2に供試体のメッシュ分割図を示す。コンクリートには2次元1次の平面応力要素を、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、各要素の節点間をインターフェイス要素を用いて表現した。

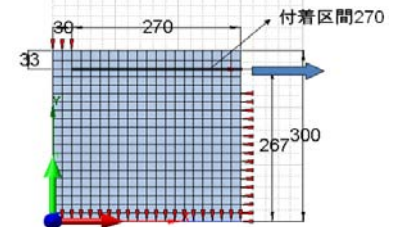


図-2 メッシュ分割(単位mm)

局所の付着応力-すべり関係を図-3に示す。本来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である。解析には、汎用有限要素解析ソフト(DIANA)を用い、引抜き端側の鉄筋に水平変位を0.02mmずつ10mm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 をひび割れ幅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、実験のポストピーク以降の破壊が急激なため測定点が十分得られておらず、 δ を定めることは困難と判断し、仮に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を採用し、ひび割れ幅 b によらず一律に $\tau_R=0.15\tau_{max}$, $\delta(b)=2.5\text{mm}$ とした。

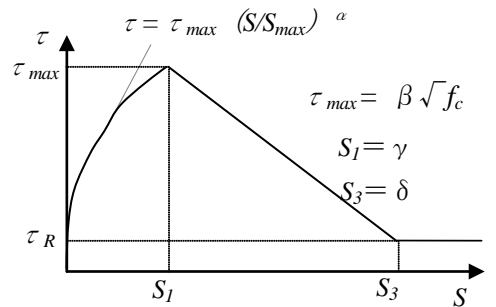


図-3 局所付着応力-すべり関係

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 をひび割れ幅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、実験のポストピーク以降の破壊が急激なため測定点が十分得られておらず、 δ を定めることは困難と判断し、仮に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を採用し、ひび割れ幅 b によらず一律に $\tau_R=0.15\tau_{max}$, $\delta(b)=2.5\text{mm}$ とした。

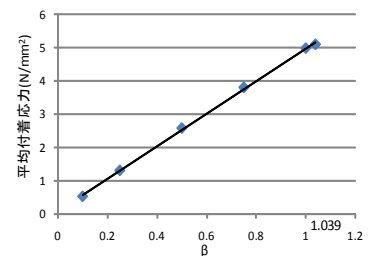


図-4 β -平均付着強度関係

3. 結果および考察

3. 1 最大付着応力に関する係数 β

Wei YANG, Takashi ISHIKAWA, Satoshi TAKAYA, Takashi YAMAMOTO and Toyoaki MIYAGAWA

w.yang@hy5.ecs.kyoto-u.ac.jp

β の値を減じることで、コンクリート強度の低下を表現し、これに応じて低下する最大付着応力を用いた付着応力—すべり関係を適用して最大荷重の解析値を求めた。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係数 β の関係を図-4 に示す。なお、 $\beta=1.039$ 以上になると鉄筋が降伏する。

平均付着強度の実験値と解析値が一致するときの β と実験供試体のひび割れ幅の関係を図-5 に示す。 β とひび割れ幅の関係を回帰するにあたり対数関数を用いているが、ひび割れ幅が 1 mm 未満の実験データがないため、この回帰が妥当であるかどうか判断できない。しかし、既往の成果において、鉄筋に沿ったひび割れの幅が小さい段階から付着強度が大きく低下したことから、これを表現できる回帰式を用いた。以上から、最大応力に関する係数 β をひび割れ幅 b を用いて式(1)で表した。

$$\beta(b) = -0.04 \ln(b) + 0.6035 \quad (1)$$

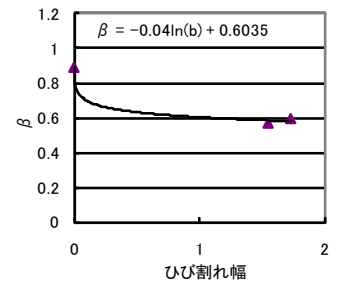


図-5 β —膨張率関係

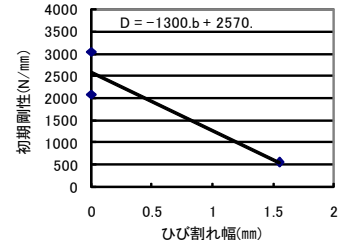


図-6 初期剛性と膨張率の関係

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 とひび割れ幅の関係を図-6 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 とひび割れ幅 b の関係を線形回帰すると次式のようにになった。

$$D(b) = -1300b + 2570 \quad (2)$$

解析結果の初期剛性と γ の関係を回帰結果とともに図-7 に示す。 β をひび割れ幅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。

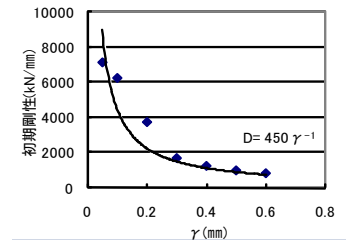


図-7 初期剛性と γ の関係 ($\beta=1.0$)

$$D(\gamma) = 450 \cdot \beta / \gamma \quad (3)$$

式(2)、(3)からすべりに関する係数 γ は、ひび割れ幅 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、ひび割れ幅 b が大きくなると初期剛性が 0 になる点が現われ、この点に相当する 1.977 において無限大に発散してしまう。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 とひび割れ幅 b の関係は表現できない。このため適用できるひび割れ幅の上限を実験結果の範囲 ($b \leq 1.9$) に限定した。

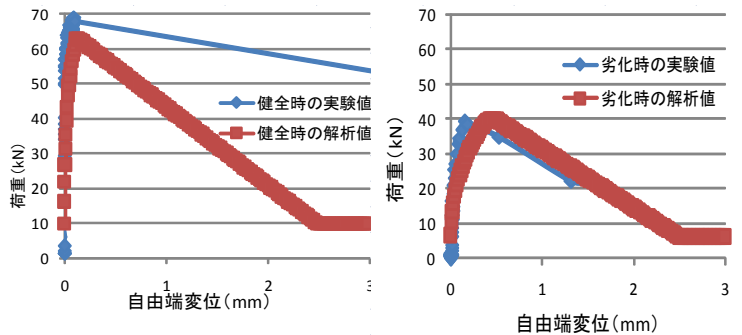


図-8 荷重—自由端変位関係

以上の定式化した局所付着応力—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-8 に示す。

$$\gamma(b) = \frac{0.346\beta}{1.977 - b} \quad (b \leq 1.9) \quad (4)$$

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、付着を表すインターフェイス要素に用いる局所の付着応力—すべり関係を検討し、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ひび割れ幅の関数で表すことにより定式化した。

参考文献

- 1) 石川貴士, 山本貴士, 宮川豊章: ASR 膨張ひび割れを想定したひび割れがコンクリートと鉄筋との付着特性に与える影響, 土木学会第 64 回年次学術講演会概要集, 2009.