

ASR ひび割れを模擬したコンクリートにおける鉄筋の付着応力-すべり関係

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

1. 研究目的

鉄筋破断の生じた ASR 劣化 RC 部材において、破断鉄筋と ASR 劣化コンクリートの一体性が損なわれると、部材の耐荷性能低下が懸念される。既往の引抜き実験の結果¹⁾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(b)のひび割れがかぶりにのみ存在する場合よりも、(a)の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²⁾。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の低下が部材の耐荷特性に与える影響を、離散的に付着を取り扱う数値構造解析にて検討する際に必要とされる局所の付着応力-すべり関係の定式化を試みた。既往の引抜き実験で対象とした図-1(b)に示すひび割れ形態について、荷重-自由端変位の実験結果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により逆推定的に検討した。

2. 研究概要

解析対象は、幅×高さ×全長(付着試験長)=200×300×300(270) mm の矩形断面の引抜き試験体で、引抜き対象の鉄筋は D16 (SD295A)、かぶり 25 mm(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、図-1(b)に示すように静的破碎剤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、各要素の節点間からなるインターフェイス要素を用いて表現した。

図-3 に解析に用いた局所の付着応力-すべり関係を示す。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(CEB-FIP モデル)である。解析には、汎用有限要素解析ソフト(DIANA Ver. 9.3)を用い、引抜き端側の鉄筋に水平変位を 0.02 mm ずつ 10 mm 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量 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、実験の付着割裂破壊にともなう荷重低下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、CEB-FIP モデルで付着が良くない時の値として用いられている値を採用し、ひび割れ幅 w によらず一律に $\tau_R=0.15 \tau_{max}$ 、 $\delta(w)=2.5 \text{ mm}$ とした。

3. 結果および考察

局所の最大付着応力に関する係数 β の値を減じることで、ASR ひび割れにともなうコンクリートの見かけ上の強度低下を表現し、これに応じて低下する最大付着応力を用いた局所の付着応力-すべり関係を適用して最大荷重の

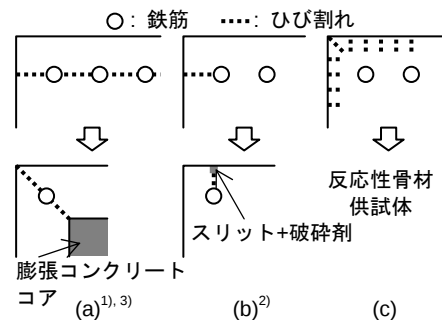


図-1 考慮する ASR ひび割れの形態

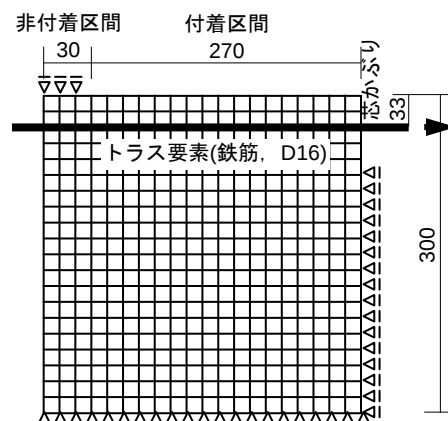


図-2 メッシュ分割 (単位:mm)

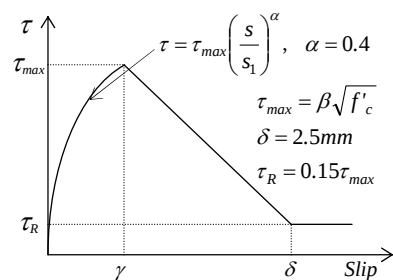


図-3 局所付着応力-すべり関係

キーワード ASR, ひび割れ, 付着応力-すべり関係, 局所最大付着応力, 有限要素解析

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL075-383-3174

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．このとき， $\beta=1.039$ 以上になると鉄筋が降伏する結果となった．

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 w の関係を，鉄筋に沿ったひび割れが断面内で鉄筋位置を通過する状態(図-1(a))における既往研究結果³⁾とあわせて図-5に示す．ひび割れが断面内で鉄筋位置を通過する状態の方が，かぶりのみに存在する場合よりも局所最大応力に関する係数 β の低下が大きく，付着に対する影響が大きいことがわかる．なお， β とひび割れ幅の関係は回帰するにあたり対数関数を用いているが，今回の対象とした実験結果においてはひび割れ幅が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³⁾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ていることから，これを表現できる回帰式として対数関数を用いた．回帰式を求めると局所最大応力に関する係数 β とひび割れ幅 w の関係は式(1)のようになる．

$$\beta(w) = -0.04 \ln(w) + 0.60 \quad (1)$$

一方，最大付着応力時のすべり量 γ について，既往研究³⁾と同様に求めた．実験結果における荷重－自由端変位の初期の傾きのばらつきが大きく，回帰式の精度が十分ではないが，得られた最大付着応力時のすべり量 γ とひび割れ幅 w の関係は式(2)のようになる．

$$\gamma(w) = \frac{0.3462\beta}{1.977 - w} \quad (2)$$

式(1)および(2)にて決定される局所付着応力－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-6に示す．

4. 結論

鉄筋に沿ったひび割れがかぶりのみに存在する ASR 膨張ひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の局所の付着応力－すべり関係における最大付着応力に関する係数および最大付着応力時すべりについて，これらをひび割れ幅の関数で表し定式化した．局所最大付着応力に関する係数のひび割れ幅にともなう低下は，鉄筋に沿ったひび割れがかぶりのみに存在する場合よりも断面内で鉄筋位置を通過する状態の方が大きい．

謝辞 本研究は，土木学会吉田研究奨励賞を受けて実施した研究の一環であり，ここに深く謝意を表します．

参考文献

- 1) 成清公平，山本貴士，服部篤史，宮川豊章：ASR 膨張ひび割れを模擬した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，5-063，pp. 125-126，2005.9
- 2) 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，V-124，pp. 245-246，2009.9
- 3) 中尾 真，山本貴士，服部篤史，宮川豊章：ASR 膨張ひび割れを有するコンクリートと鉄筋の付着応力－すべり関係，平成 19 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，2007.5

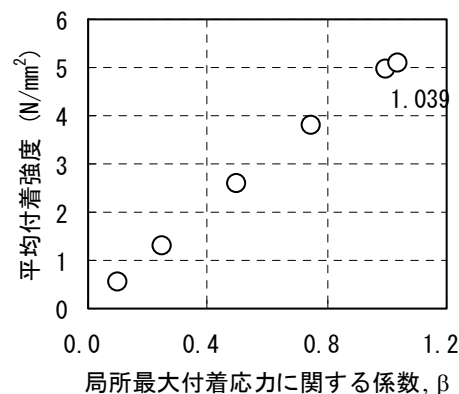


図-4 平均付着強度と局所最大付着応力に関する係数 β の関係

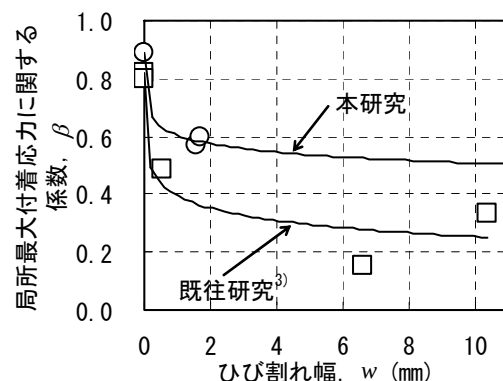


図-5 局所最大付着応力に関する係数 β とひび割れ幅の関係

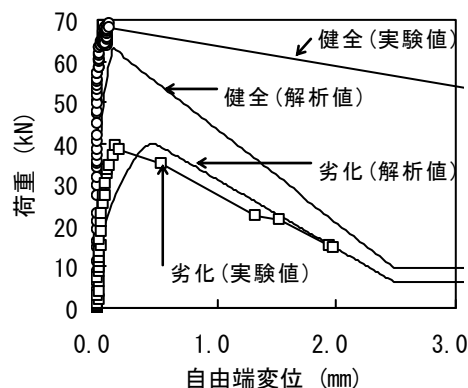


図-6 荷重-自由端変位関係