

RC はりの斜め引張破壊解析における鉄筋付着の影響

清水建設技術研究所 正会員 長谷川 俊昭

1. はじめに

鉄筋コンクリートはりの斜め引張破壊において鉄筋とコンクリートの付着がどのような影響を及ぼしているかについては十分明らかにされているとはいえない。本研究では付着すべり構成関係を用いた有限要素解析において鉄筋付着が斜め引張破壊に及ぼす影響について検討する。

2. 解析の概要および結果

鉄筋の付着すべりは鉄筋位置の斜めひび割れの開口を増大しそれによって不安定な斜めひび割れ伝播が生じ斜め引張破壊を形成すると考え、そのメカニズムを数値解析的に再現することを試みる。著者の過去の研究¹⁾では、Dorr の付着すべり構成関係 (b-1) と付着界面有限要素を用いた解析ケース A06 および用いない解析ケース A05 を実施した。このモデル b-1 は式 (1) で表現される単純な付着応力 τ -すべり S 関係式であるが、鉄筋コンクリートの τ - S 関係は引抜き端からの距離や境界条件に依存するという問題がある。本研究では、解析対象である RC せん断はり試験体 BN50 のひび割れ発生にともなって変化する曲げ引張部が長さの異なる両引き試験体 (長さ $L=1200, 210, 120$ mm : 図-6 参照) としてモデル化できると考え、引抜き端からの距離や境界条件に依存しない付着応力 τ -すべり S -鉄筋ひずみ ϵ_s 関係²⁾ (式 (2)) を用

いて式 (3), (4) で表される $0 \leq S < S^0$:

付着の微分積分方程式を数値解析し、位置 x における

τ - S 関係を計算した (図-1 参照) $S \geq S^0$: $\tau = 1.9 f_t$

-1~3)。ここで、 $S(x)$:

x でのすべり, $\tau(x)$: x での付着応力,

$\epsilon_s(x)$: x での鉄筋ひずみ,

$\sigma_s(\epsilon_s(x))$: x での鉄筋応力, f_c' :

コンクリート圧縮強度, f_t : コンクリート引張強度, D : 鉄筋の直径, x :

両引き試験体の中央を原点 x_0 とする

座標。この計算結果より明らかなよう

に RC せん断はりの τ - S 関係は位置

によりまた、ひび割れ発生による境界条件

の変化によって大きく変化すると考えられる

ため、これを単一の構成関係として定義す

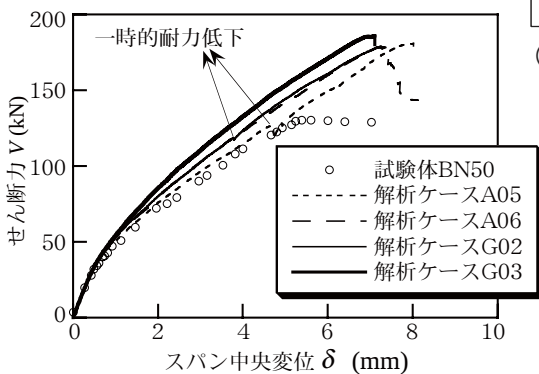


図-5 せん断応答

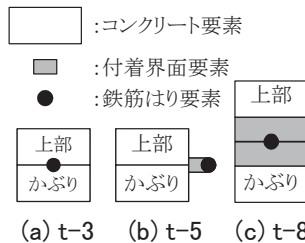


図-4 引張部モデル

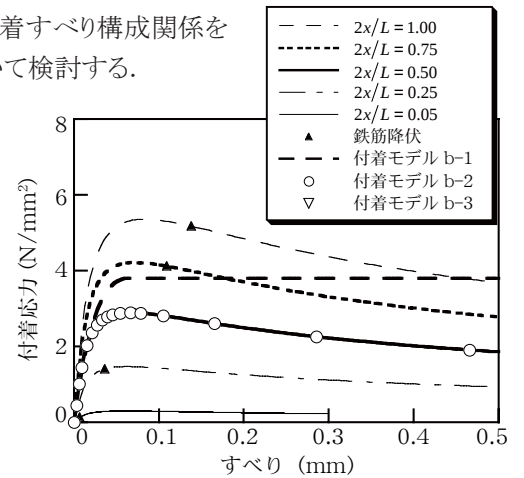
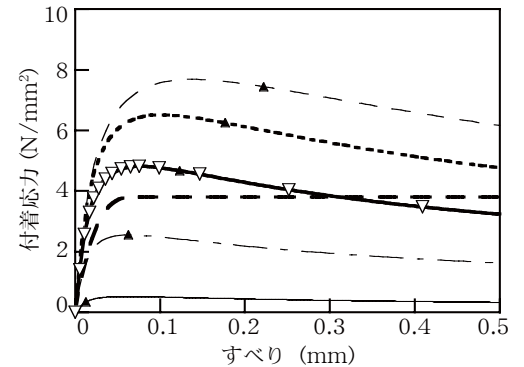
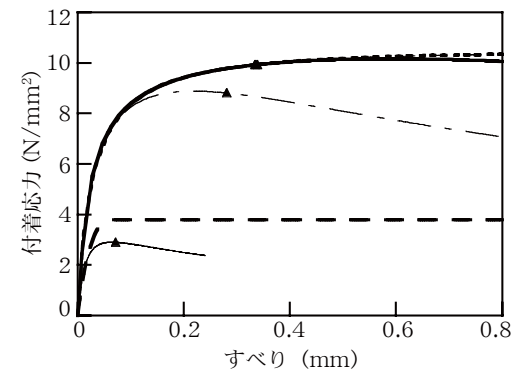
図-1 両引き試験体の τ - S 関係 ($L=1200$ mm)図-2 両引き試験体の τ - S 関係 ($L=210$ mm)図-3 両引き試験体の τ - S 関係 ($L=1200$ mm)

表-1 解析ケース

解析ケース	引張部モデル	付着すべり構成モデル
A05	t-3	なし
A06	t-5	b-1: Dorrの3次関数式による τ - S 関係
G01	t-5	b-2: $L=1200$ mmの両引き試験体の $2x/L=0.5$ の τ - S 関係
G02	t-5	b-3: $L=210$ mmの両引き試験体の $2x/L=0.5$ の τ - S 関係
G03	t-5	b-4: b-3の剛性1/4低減モデル
G04	t-8'	b-2: $L=1200$ mmの両引き試験体の $2x/L=0.5$ の τ - S 関係

キーワード: 鉄筋コンクリート, 斜め引張破壊, 鉄筋付着, 付着すべり構成モデル, 斜めひび割れ, 有限要素破壊解析
〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-6960 FAX 03-3820-5959

ることは不合理であるが、通常の有限要素解析プログラムにおいて $\tau-S-\varepsilon_s$ 関係を履行することは容易ではない。そこで本斜め引張破壊解析では、 $2x/L=0.50$ の $\tau-S$ 関係を平均的な付着すべり構成関係として用いることにした。表-1は、実施した解析ケースとその引張部モデル（図-4）および付着すべり構成モデルである。図-5は各解析ケースのせん断応答を示したものであるが、いずれの解析ケースにおいても前述した付着すべりによる斜め引張破壊のメカニズムは卓越せず曲げ引張破壊に至った。図-6～8は実験における最終破壊状況および付着すべりを無視した解析ケース A05 と付着すべりを考慮した解析ケース G02 におけるひび割れ状況である。図-9は解析ケース G02 の一時的耐力低下直前のステップにおける付着界面要素のすべり分布と斜めひび割れの位置関係を示したものである。また図-11, 10は解析ケース G02 の斜め引張破壊につながると予想された斜めひび割れと鉄筋との交差位置におけるコンクリート要素 a の応力-ひずみ応答ならびにそれに隣接した付着界面要素 i の付着応力-すべり応答である（図-8参照）。図-12は解析ケース A05 における同位置のコンクリート要素 a の応力-ひずみ応答である。これらより付着すべりを考慮した場合当初予想したように付着すべりが鉄筋位置での斜めひび割れの開口を増大させることはなく、逆に鉄筋に沿ったひび割れを分散化してしまい斜めひび割れの局所化・不安定化を阻害することとなり、曲げ引張破壊に至ったものと考えられる。また付着界面要素は鉄筋からコンクリートへの力の伝達作用を弱めるため軸方向ひび割れも抑制してしまい斜め引張破壊をより生じにくくしている。本解析では、1) 直接的に厳密に $\tau-S-\varepsilon_s$ 関係を用いていない；2) すべりや付着応力の局所的分布を表現できるような緻密なメッシュ分割を用いていない；3) 付着すべりによる鉄筋引き抜き端近傍のコンクリートの局部損傷や鉄筋のほぞ作用によるひび割れの拡大を精度よく考慮していない、などの問題点もありさらなる検討が必要である。

3. まとめ

RC はりの斜め引張破壊解析において付着すべり構成モデルと付着界面要素によって鉄筋の付着すべりをモデル化した場合、付着すべりによって斜めひび割れの開口が増大することではなく、むしろひび割れを分散させる結果となり不安定な斜め引張破壊を再現することはできなかった。

[参考文献]

- 1) 長谷川俊昭：RC はりの斜め引張破壊に関する数値解析の検討，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，V-141，pp.281-282，2002 年。
- 2) Shima, H., Chou, L., and Okamura, H.: Micro and macro models for bond in reinforced concrete, *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo* (B), Vol. XXXIX, No. 2, 1987.

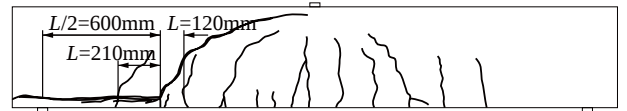


図-6 実験における試験体 BN50 の最終破壊状況

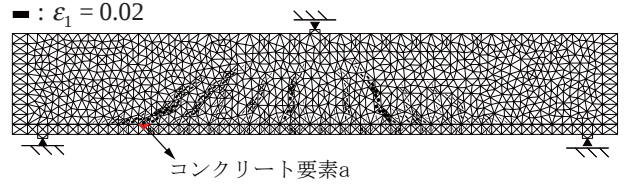


図-7 解析ケース A05 のひび割れ状況

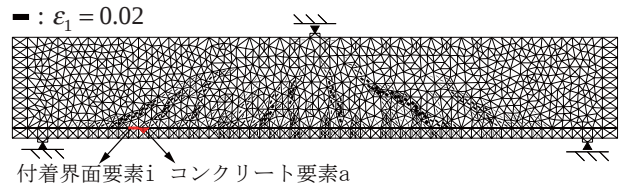


図-8 解析ケース G02 のひび割れ状況

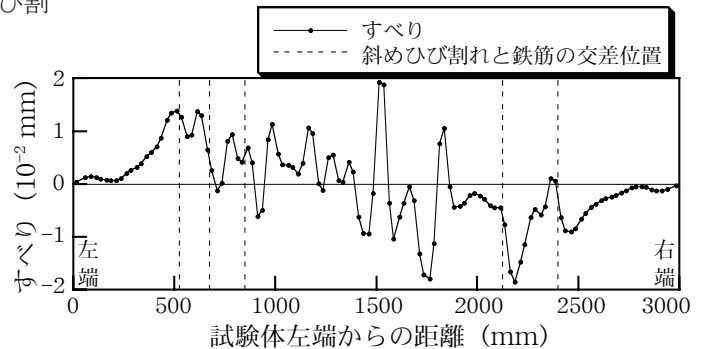


図-9 解析ケース G02 の一時的耐力低下直前のすべり分布

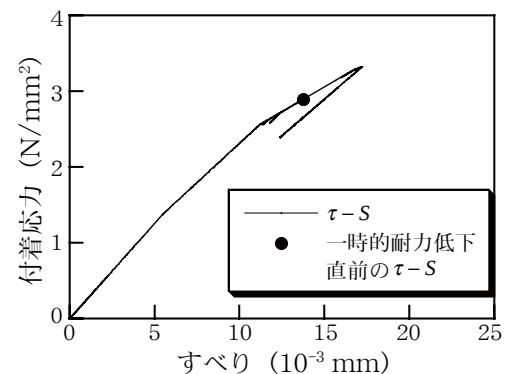


図-10 解析ケース G02 の要素 i

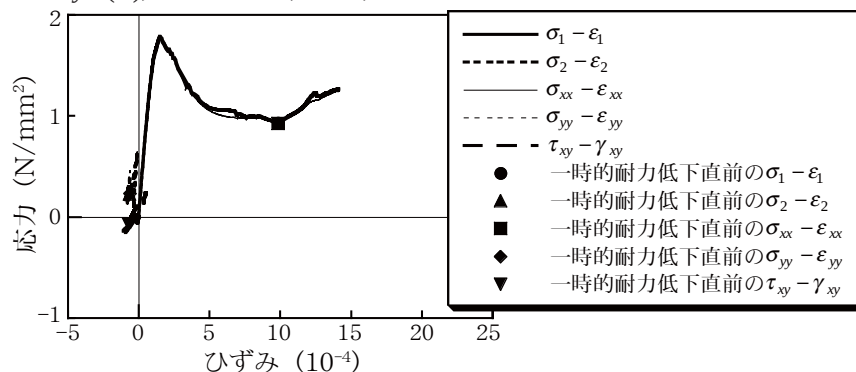


図-11 解析ケース G02 の要素 a

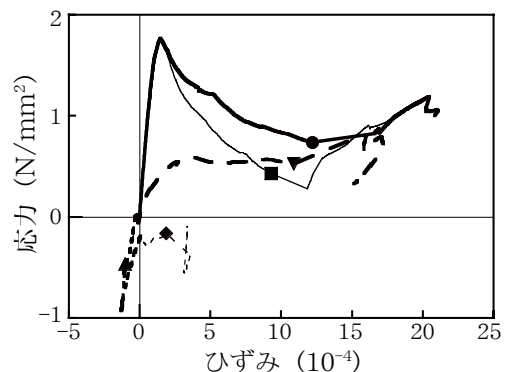


図-12 解析ケース A05 の要素 a