

付着特性のモデル化の違いが引抜試験体の解析挙動に及ぼす影響

高松工業高等専門学校 正会員 長友 克寛

1. はじめに

異形鉄筋の周囲のコンクリートが付着割裂ひび割れに対して十分拘束されている場合、付着破壊は鉄筋横ふしによるコンクリートのせん断によって生ずる。この破壊では、付着割裂破壊に比べてかなり大きなすべりまで付着応力が保持され、対象とすべきすべり領域は付着強度到達以後の広い範囲に及ぶ。従って、この領域を如何にモデル化するかは、付着特性をRC構造物の大変形解析に適用する際の重要な検討項目の一つと考えられる。本研究は、せん断破壊時における付着強度到達以後の付着特性のモデル化の違いが解析結果にどの程度の影響を及ぼすのかを、引抜試験体を対象に検討したものである。

2. 解析概要

図-1(a)は、解析に用いた引抜試験体を示している。解析対象としたのは、十分大きなコンクリート断面内に材質SD295Aの鉄筋D22(公称径 $D=22.2\text{mm}$ 、横ふし間隔 $l_r=14\text{mm}$)を埋め込んだ片引試験体である。これを同図(b)に示すような鉄筋要素と付着要素からなる1次元のばね系構造に置換し、解析を行った。強制変位として載荷端すべり S_l を増分形で与え、引拔力 P との関係を解析的に求めた。

図-2は、鉄筋要素に与えたバイリニア型の引張応力 σ_s -歪み ϵ_s 関係を示している。降伏応力を $f_{sy}(=295\text{MPa})$ とし、 σ_s がこれを超えた時点で剛性を第一剛性 $E_{s1}(=206\text{MPa})$ の $\alpha_s(=0.01)$ 倍に低下させた。降伏後に除荷が生じた場合には、 E_{s1} と同じ剛性を与えた。

図-3は、付着要素に与えた付着応力 τ -すべり S 関係を示している。同図(a)のモデルAは、著者が別途行った実験結果に基づきモデル化したものである。付着強度を τ_u 、その時点のすべりを S_u とし、その前後の挙動をそれぞれバイリニア型に近似した。付着応力 τ_r およびそれに対応するすべり S_r は、残存摩擦すべりの開始時点を表す変数である。

同図(b)のモデルBは、モデルAにおいて τ_u 到達直後に急激に付着応力を τ_r まで低下させたものである。このタイプのモデルは、数値解析において負の剛性を避けるためしばしば用いられている。

同図(c)のモデルCは、モデルAにおいて付着降伏を起こさせずに τ_u まで弾性であるとしたものである。

これらの付着モデルに含まれる6つの独立変数(τ_y , $k_1(S_y)$, τ_u , $\alpha_b(S_u)$, τ_r , S_r)の内、表-1に示した τ_u , τ_r , S_r を解析変数にとり検討を行った。

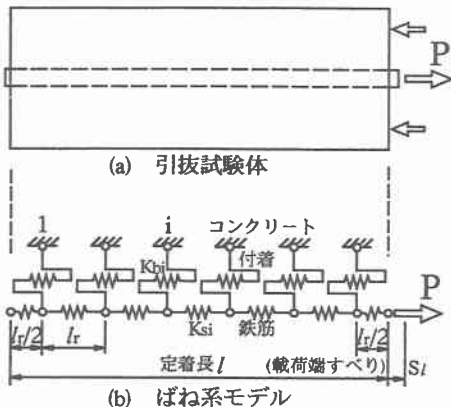


図-1 解析対象およびそのモデル化

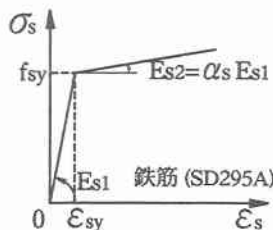


図-2 引張応力-歪み関係

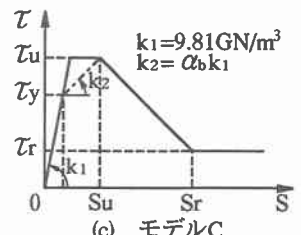
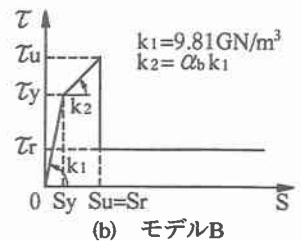
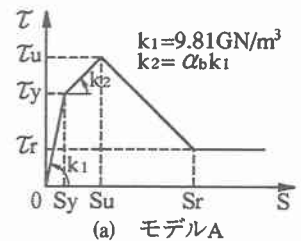


図-3 付着応力-すべり関係

3. 解析結果

図-4は、モデルAにおける付着強度 τ_u の影響について、定着長 $l=350\text{mm}$ の試験体を例に取り検討したものである。荷端すべり $S_l \approx 1\text{mm}$ までは τ_u の違いによる解析挙動への影響は小さいが、 S_l がこれよりも大きな領域においては解析挙動は大きく相違している。付着強度の正しい評価の必要性が再認識される。

図-5(a)は、定着長 $l=350\text{mm}$ の試験体について、モデルA～Cの違いが解析結果に及ぼす影響を示したものである。ここでも $S_l \approx 1\text{mm}$ を超えるとモデル化の違いの影響がはっきりと現れ、特にモデルBのように τ_u の到達をもって急激に負担付着応力を低下させる場合には、破壊が早期に生じている。大変形を伴う挙動解析においてこのタイプのモデルを使用する際には注意を要する。付着降伏のないモデルCを用いた解析結果(白丸)とこれと材料特性値が同一であるモデルAの解析結果(太破線)とを比べると、前者の方が同じ S_l 時の引拔力 P はわずかに大きく評価されている。残存摩擦すべり抵抗 τ_r およびその開始すべり S_r の影響については、各モデルともに τ_r および S_r を大きく取るほど、同じ S_l 時の引拔力 P および試験体の耐力は増加している。

同図(b)は、同じく定着長 $l=490\text{mm}$ の試験体の解析結果を示している。定着長の短い同図(a)の場合ほど顕著ではないが、概ね同様の傾向が現れている。

4. まとめ

付着特性の違いが引拔試験体の解析挙動に及ぼす影響について、付着強度到達以後のモデル化を中心に検討した。その結果、付着強度、および強度後の残存摩擦すべりに移行する時点の付着応力とそれに対応するすべりを大きく評価するほど、試験体の耐力は増加し、全体の挙動は靱性的になることが明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は、平成7年度土木学会四国支部研究助成金(B)の補助を受けて行ったものである。ここに、関係各位に謝意を表します。

表-1 解析に用いた付着特性値

第1付着剛性	$k_1(\text{GN/m}^3)$	9.81
降伏後の剛性低下率	α_b	0.2
付着強度	$\tau_u(\text{MPa})$	4.91, 7.36, 9.81, 14.72
付着降伏応力	$\tau_y(\text{MPa})$	$0.8 \tau_u$
残存付着応力	$\tau_r(\text{MPa})$	$0.2 \tau_u, 0.4 \tau_u$
残存摩擦開始すべり $S_r(\text{mm})$		5, 10

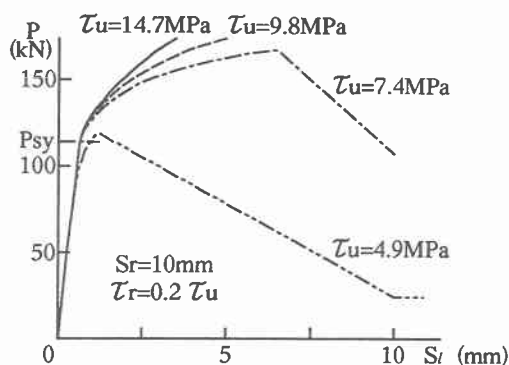
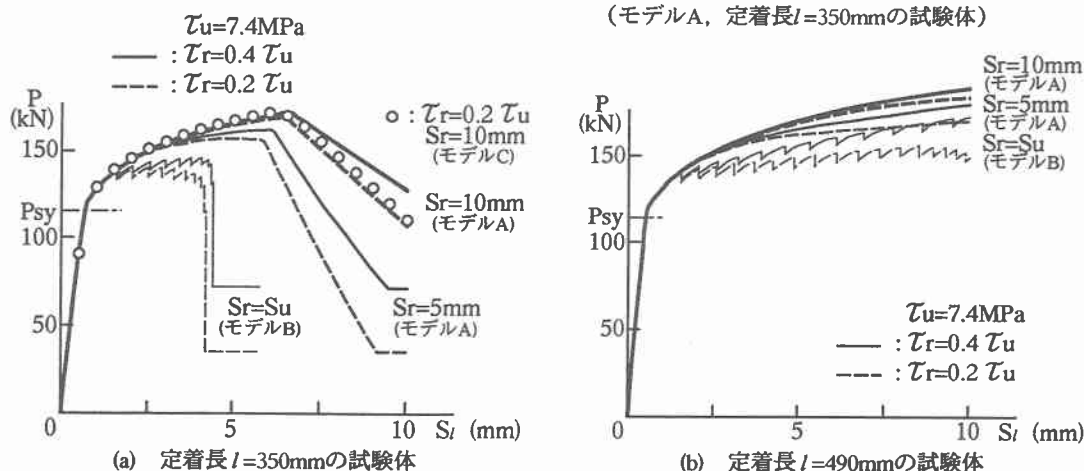


図-4 引拔力-荷端すべり関係への付着強度の影響 (モデルA, 定着長 $l=350\text{mm}$ の試験体)



(a) 定着長 $l=350\text{mm}$ の試験体

(b) 定着長 $l=490\text{mm}$ の試験体

図-5 引拔力-荷端すべり関係への付着モデルの違いの影響