

立命館大学理工学部 学生員○岡田次郎 大学院理工学研究科 学生員 野上大介 学生員 日比野憲太
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. はじめに

鉄筋コンクリートは、圧縮に強く引張に弱いコンクリートと、引張強度が高く延性に富む鋼材を組み合わせ、両者が一体となって様々な外力に抵抗する複合構造である。その一体性は、鉄筋とコンクリート間に作用する付着作用により成立するため、両者の応力伝達機構を的確に把握する必要がある。そこで、本研究では、鉄筋とコンクリート間の応力伝達を表現できる新たな離散型付着モデルを提案する。また、その基本特性を明らかにするために両引試験を行い、本解析モデルを用いて逆解析することにより、コンクリートが引張応力状態にある場合での付着応力-すべり関係（以下、 τ - S 関係）の定式化を試みた。

2. 実験概要

本研究の実験要因を表 1 に示す。実験要因は、コンクリート強度およびかぶり厚さを選択した。コンクリートの目標強度は 24N/mm^2 および 50N/mm^2 とした。また、供試体の鉄筋比をおよそ 1% および 3% とした。使用鉄筋は D16 とし、降伏強度 396N/mm^2 のものを用いた。普通強度コンクリートはブリージング防止のため、シリカフュームを混入した。

表 1 実験要因

供試体名称	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	付着長 (D)	かぶり厚さ (mm)	鉄筋比 (%)
TNL	23.6	24.5	1.81	16	92	1.14
TNS					67	2.56
THL					92	1.14
THS	43.8	31.6	2.92		67	2.56

3. 解析概要

鉄筋降伏の前後では、付着特性は異なると考えられる。このため、本研究では対象を鉄筋降伏の前までとした。実験から得られた荷重-ひび割れ関係（以下、 P - S 関係）は線形関係が見られた。このため、本解析では図 1 に示す完全付着領域を線形 ($\alpha=1$) と仮定し、逆解析を試みた。ここでの逆解析とは、実験で得られた P - S 関係が解析から得られた P - S 関係と一致するように τ - S 関係を調節することによって定式化することである。

図 2 に解析モデルを示す。本解析では軸対象モデルを用いて 3 次元解析した。解析モデルは、供試体の対称性を考慮してハーフモデルを用いた。コンクリート要素および鉄筋要素は 2 次のアイソパラメトリック四辺形要素、付着要素は 2 本の重なった 2 次のアイソパラメトリック線要素で表現した。

4. 結果および考察

(1) P - S 関係

実験および解析によって得られた P - S 関係と付着応力、鉄筋応力およびコンクリート応力分布を図 3(a), (b), (c), (d) に示す。逆解析は、実験で得られた P - S 関係において鉄筋のひずみが 500μ および 1000μ に対応した点を目標とした。解析結果は、両者ともに初期の剛性をよく表現している。付着および鉄筋の応力分布を比較すると、鉄筋応力の変化率が 0 となる供試体中央で付着応力は 0 となり、鉄筋応力の変化率が最大の位置で付着応力も最大となっている。こ

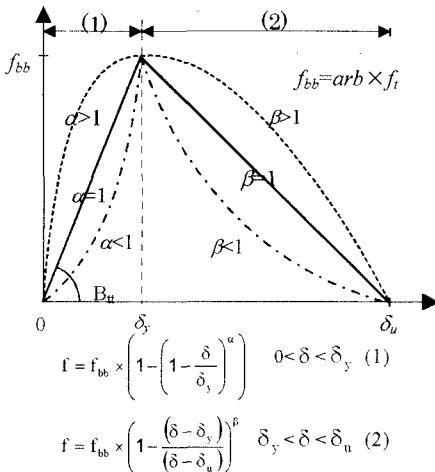


図 1 付着応力-すべり関係
コンクリート要素

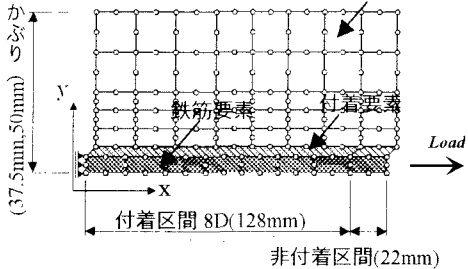


図 2 軸対称解析モデル

れは、付着応力が鉄筋応力の一階微分に比例するという従来の報告と一致しており、本解析モデルが両応力分布をよく表現できている事が確認できる。コンクリートおよび鉄筋の応力分布を比較すると、鉄筋に作用する引張応力が軽減され、コンクリートが引張応力を負担していることが分かる。よって、本解析モデルを用いることで鉄筋界面からコンクリートに伝達される付着応力が適切に表現されている事が確認できる。

(2)コンクリート強度の影響

コンクリート強度の影響を比較した τ - S 関係を図 4 に示す。図より、同一すべりに対する付着応力は、コンクリート強度に比例して大きくなる傾向が確認できる。この結果は、コンクリートの弾性係数の差による影響が大きいと考えられる。

(3)かぶりの影響

かぶりの影響を比較した τ - S 関係を図 5(a), (b) に示す。図 5 の(a), (b)を比較すると、(a)の 500μ の τ - S 関係では、かぶりが付着特性におよぼす影響は顕著に確認できないが、(b)に示す 1000μ の場合では、かぶりによる影響が顕著に確認できる。これは、 500μ に比べ 1000μ のときの方が鉄筋すべりが大きくなるため、付着特性の異差が顕著に現れたものであると考えられる。

図(b)に示す 1000μ の τ - S 関係では、同一すべりに対する付着応力は、かぶりが大きい場合では小さい場合に比べ大きい傾向が見られる。両引試験において、かぶりが大きい場合、同一荷重におけるコンクリートの負担する引張応力は小さく、内部ひび割れが発生しにくい。このため、付着耐力は低下しにくくと考えられる。

5. 結論

(1) 本研究で提案した離散型付着モデルを実験と同じ条件で解析に適用することにより、鉄筋とコンクリート間での付着特性、特に、 τ - S 関係の初期剛性について表現することが可能となった。

(2) かぶりおよびコンクリート強度が付着特性に及ぼす影響について、従来に検討されている考察とほぼ同じ結果が得られた。

(3) 本研究で用いた軸対象解析モデルは、離散型ひび割れモデルを用いることにより、内部ひび割れを 3 次元的に表現できる。今後の課題として、内部ひび割れによる局所的な付着軟化を表現した解析手法を検討する必要がある。

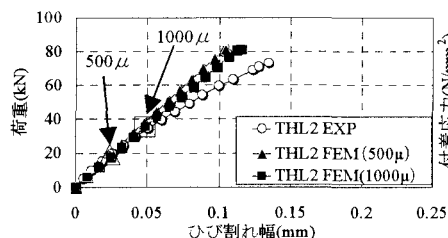


図 3 (a)荷重－ひび割れ関係

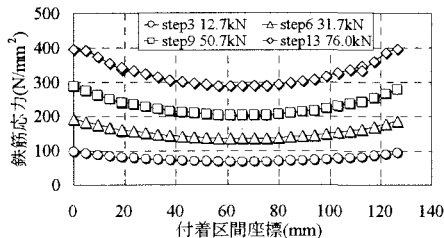


図 3 (c)鉄筋応力分布(500μ)

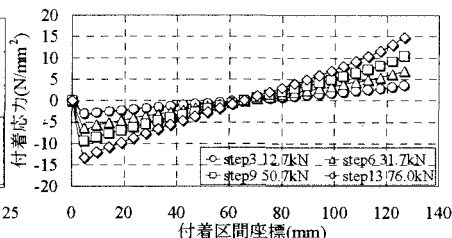


図 3 (b)付着応力分布(500μ)

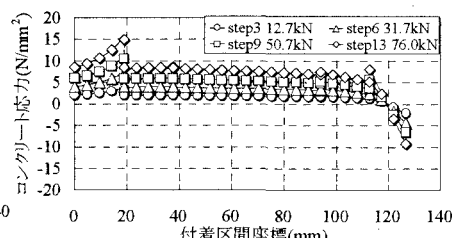
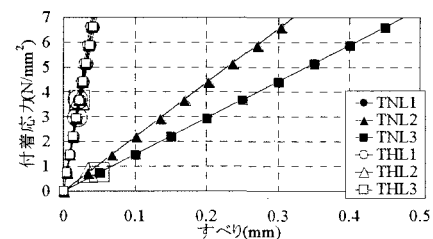
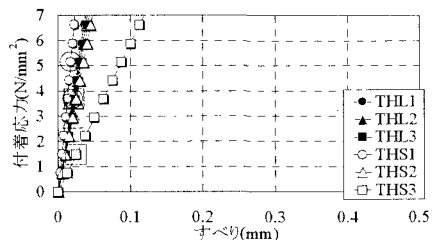


図 3 (d)コンクリート応力分布(500μ)

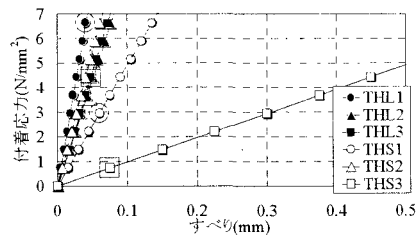


(注) 色抜きの○、△、□は、付着区間端部での最大付着応力

図 4 付着応力－すべり関係 (N,H) (500μ)



(a) 500μ



(b) 1000μ

(注) 色抜きの○、△、□は、付着区間端部での最大付着応力

図 5 付着応力－すべり関係(L,S)