

[101] 定着長が長い場合の局部付着応力—すべり関係について

正会員 ○周 礼 良 (東京大学大学院)

正会員 山 尾 芳 秀 (日本大学大学院)

正会員 岡 村 甫 (東京大学工学部)

1. 序

鉄筋とコンクリート間の付着に関しては、数多くの研究の蓄積があり、繰返し荷重下における付着特性、すなわち局部付着応力(τ)—滑り量(S)関係(以下、これを τ - S 関係と略記する)について、近年は非常に短い埋込長の供試体の試験からも大体明らかにされている¹⁾²⁾。但し、非常に短い埋込長の供試体における τ - S 関係をそのまま埋込長の長い実際の構造物の場合に適用できるかどうかは問題であり、このような観点から、著者等は長い埋込長の供試体に片側繰返し載荷を行ない、 τ - S 関係を実験的に求め、理論的検討を行なって、汎用性のあるモデルを確立しようと試みた。さらに、このモデルの妥当性を検討するために、得られた τ - S モデルを用いて実験結果との比較を試みた。

2. 実験の概要と結果

実験の概要は文献⁵⁾を参照のこと。 τ - S 実験曲線は、実験で得られた軸方向筋のひずみ分布から各位置で求めたものが図1から図4までの実線である。

3. τ - S 関係の弾塑性破壊モデル

3.1 τ - S モデル

RC構造物は、鉄筋とコンクリートが互いに力を受け渡ししながら協力して外力に抵抗する構造であるから、この両者の界面層は外力を受けることで内部構造が刻々と変化し、弾塑性変形とともに内部の微小ひびわれの進行に伴う微小な内部破壊をおこす。そこで、 τ - S の関係を以下の簡単なモデルに置き換え表現した³⁾。

A. 鉄筋との界面層のコンクリートと鉄筋は図5に示すような弾塑性挙動を示す微小な二種類構成要素①と②が並列に集合している合成材料である。(①は鉄筋の構成要素、②は界面層のコンクリートの構成要素)

B. 構成要素②はある応力に達したとき完全に耐荷力を失い以後耐力を回復しない。これは界面層内部のマイクロクラックと局部座屈による非可逆過程をあらわしている。

C. ①と②要素は、協力して外力に抵抗する構造である。

A-Cのモデルを τ - S の関係に結びつけた概念図を図5に示す。(τ は構成要素②の応力に相当し、 S は伸び量に相当)

図中 S , S_e , S_{pe} , τ は構成要素②の全滑り、弾性滑り、塑性滑りおよび付着力のレベルを表わす。 S_0 は構成要素①の全滑りを表わす。

載荷時の全滑り量の小さい場合、塑性、破壊の進行は小さく、 τ - S の関係は線形に近い、 S が増加し構成要素一個当たりの τ_i は以下のように表わせる。

$$\tau_i = E_0 \tau_0 (S - S_{pe})$$

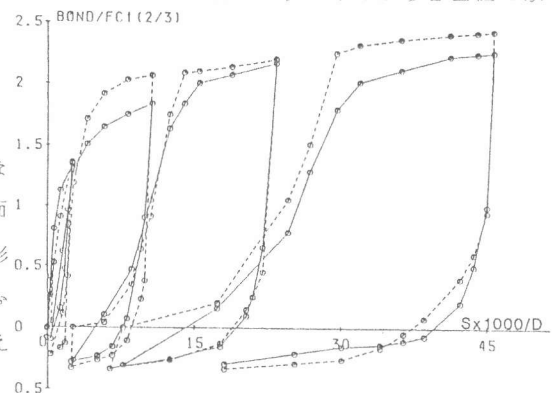


図-1 τ - s 関係 (供試体A5, X=5D)

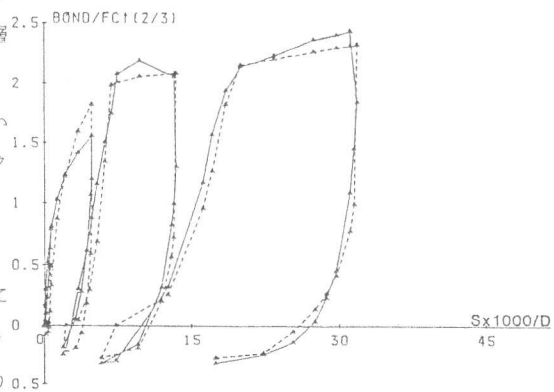


図-2 τ - s 関係 (供試体A5, X=10D)

E_0 は構成要素⑤の平均弾性係数、 τ_0 は2.5 BOND.FcI(2/3)

最大付着応力である。 τ_i が上昇すると弾性流れの進行と共に破壊強度に達する構成要素が増加する。ここで耐力を保持している構成要素の生存率をKと定義すると、³⁾Kは強度確率密度分布関数Pを用いると次のようになる。

$$K = 1 - \int_0^{\tau} p(\ell) d\ell \quad (2)$$

さらに変形が進行すると構成要素の破壊が急速に進行し、遂に全体としての

全付着力 τ の上昇を打消し、 τ は以下のようになる。

$$\tau = \Sigma \tau_i = E_0 \tau_0 \cdot K (S - S_{pl}) \quad (3)$$

除荷時のKは変化せず、滑り S_s, S_{pl}, S_{zL} は減少に向かい、外部応力が0となった時内部応力の和は0(即ち、構成要素④の合成応力+構成要素⑤の合成応力=0)、この時、 $S_s > 0, S_{zL} < 0$ 、付着力 τ は負数になる、 $S = S_0, S_0$ は永久滑りである。除荷時の $\tau-S$ 関係は実験結果より式(4)で表わせる。

$$\tau = \tau_{max} \cdot Q(S, S_{max}) \quad (4)$$

ここで、 τ_{max}, S_{max} は過去最大の全付着力と全滑り量、

再載荷時で全滑り量 $S < (S_{max} + S_0)$ となる時、全付着力 τ は式(3)で求めた値より次式のように小さくなる。

$$\tau = E_0 \cdot \tau_0 \cdot K \cdot (S - S_{pl}) \cdot R \quad (5)$$

$$S > S_{max} + S_0 \text{ 時 } R = 1 \quad (6)$$

$$S \leq S_{max} + S_0 \text{ 時 } R = \left(\frac{S - S_0}{S_{max}} \right)^3$$

式(3)~(6)はモデル(A)-(C)に弾塑性、破壊の進行 $\tau-S$ 関係載荷、除荷再載荷の過程を同時に表現している。なお定義より、K、Qおよび S_{pl} はSと S_{max} の関係として表わせる合成体の状態量である。実験結果より単出した τ とS、 S_{pl}, S_{zL} の関係を図1~図4のように示した。このデータより図6~8に表わされるように S_{pl}, K, Q は式(7)~(9)で評価される。

$$S_{pl} = S - 6.12 (1 - e^{-0.17S}) \quad (7)$$

$$K = (e^{-0.18S(1-e^{-S})} + 0.33) \times 0.75 \quad (8)$$

$$Q = -(0.1 + 0.12(r - 0.3)) \quad r = \frac{S_{max} - S}{S_{max}} > 0.3 \quad (9)$$

$$Q = -(1.4r^{0.2} - 1) \quad r = \frac{S_{max} - S}{S_{max}} \leq 0.3$$

3.2 $\tau-S$ モデルと実験結果との比較

以上の $\tau-S$ モデルが実験結果をどの程度正しく表現しているかを知るために、モデルに基づいた $\tau-S$ 関係を図1~4に破線で示した。全体としては、比較的よく実験結果を表わしている。

4. $\tau-S$ モデルを用いた解析結果と実験結果との比較

前述したモデルの妥当性を確かめるために、このモデルが成り立つとして簡単な計算法⁴⁾に従って、部材の片引載荷試験の中心軸に埋込まれた鉄筋の歪分布と鉄筋の抜け出し量を求めた。(但し、参考文献中のZ1を3

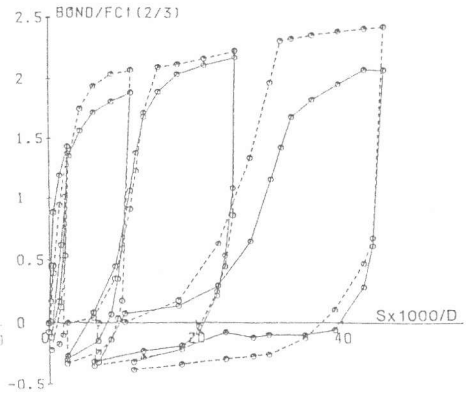


図-4 $\tau-s$ 関係(供試体A7, X=5D)

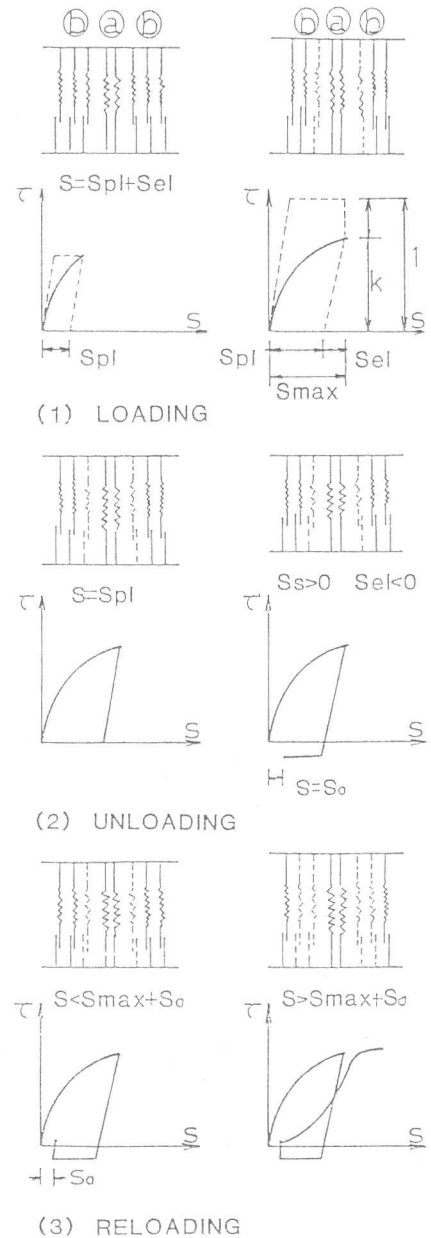


図-5 $\tau-s$ モデル弾塑性破壊の基本概念

D (D:鉄筋径)とする)。これらの実験結果と比較検討した。式(1)の E_0 と $\tau(0)$ は次の値を用いている。 $E_0=0.716$, $\tau(0)=2.3 f_c^2$, f_c はコンクリートの強度。又、供試体AU10とAU11は定着長が短いので別として、各供試体間での実験結果のバラつきは少なかった、2, 3本の供試体の結果のみを示す。さらに、検討する繰返し回数は1サイクルまでに限定する。

4.1 軸筋の歪分布

実験で得られた歪は、図9~12の点である全測定データを結ぶ点線は、それぞれ隣接3点を通る2次曲線を組合わせて得られたものである。一方、同図中の実線は、 $\tau-S$ モデルに基づいて試算した結果である。

4.2 歪 $P_p \sim S_p$ 曲線

変位計で測定された軸方向筋荷重端での抜け出し量 S_p と荷重端点の歪 P_p の関係を図13および図14にそれぞれ実線で示す。図中の点線

は、解析で求めた P_p と S_p の関係である。 $\tau-S$ モデルの適用によって荷重の繰返しの場合も含めて荷重端点の歪も抜け出し量の関係を良く表現し得ることが示されている。

5. 結論

定着長が長い供試体に片引付着試験を行い $\tau-S$ モデルを導いた。さらに、このモデルを用いて簡単な計算方法を使 $Strain(xE-3)$ 用して、解析を行った。これらの実験結果および考察から得られた結論を以下に簡単に述べる。

(1) $\tau-S$ 関係は、鉄筋とコンクリート部分の界面層の弾塑性、破壊特性を表わす、非可逆状態量 K と塑性滑り量 S_{pl} をもとに簡単なモデルに表現できると思われる。又、この方法は解析が極めて簡略化される利点をもつ。

(2) 長い付着長の供試体により、実験結果を満足する $\tau-S$ モデルが得られた。これにより、片引実験で繰返し荷重を受けた軸方向鉄筋の歪分布と荷重端の滑り量を求めることができる。

(3) 本研究により埋込長の長い片引供試体についての $\tau-S$ モデルを得る事ができた。一方、埋込長の短いも

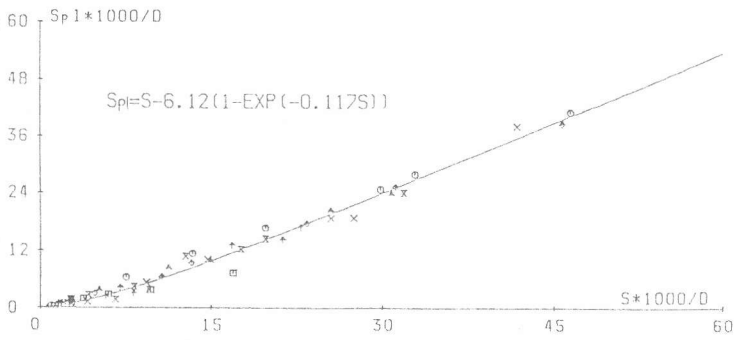


図-6 滑り量 $S-S_{pl}$ 関係

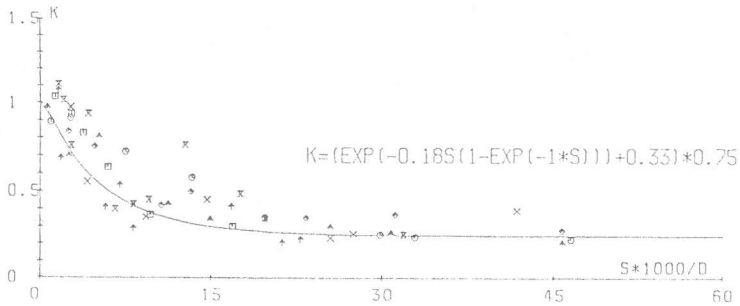


図-7 滑り量 $S-K$ 関係

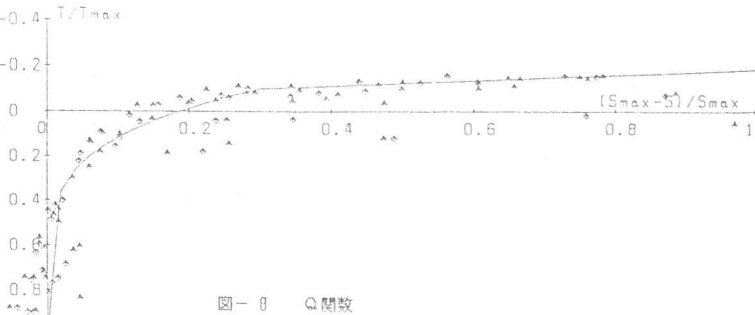


図-8 Q関数

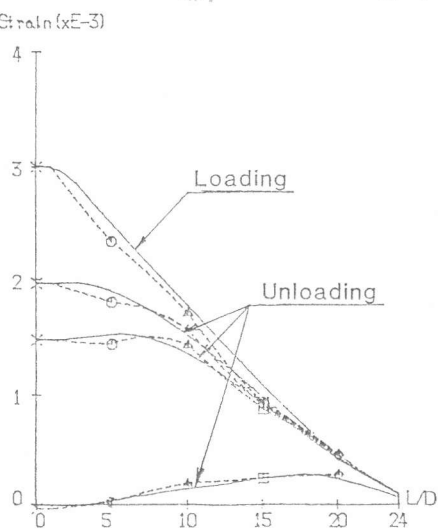


図-9 ひずみ分布(供試体A5)

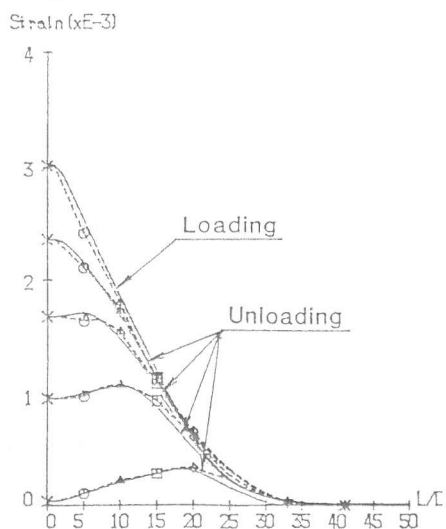


図-10 ひずみ分布(供試体A7)

のに対してはこれまでに交番荷時のモデルが得られており、2種類の供試体で引張荷時の実験値は同じような傾向を示している。そこで今後、埋込長の長い供試体についても軸方向鉄筋圧縮時のモデルを考察する方向で研究を進めたいと考えている。又、現在は1サイクル荷重のデータについてのみモデルを考えているが、回数による劣化のモデルも取り込む予定である。

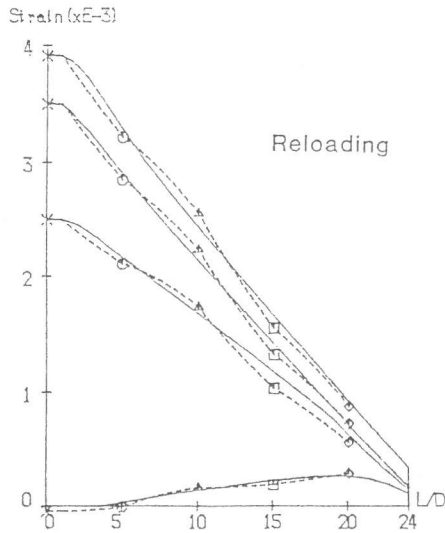


図-11 ひずみ分布 (供試体 A5)

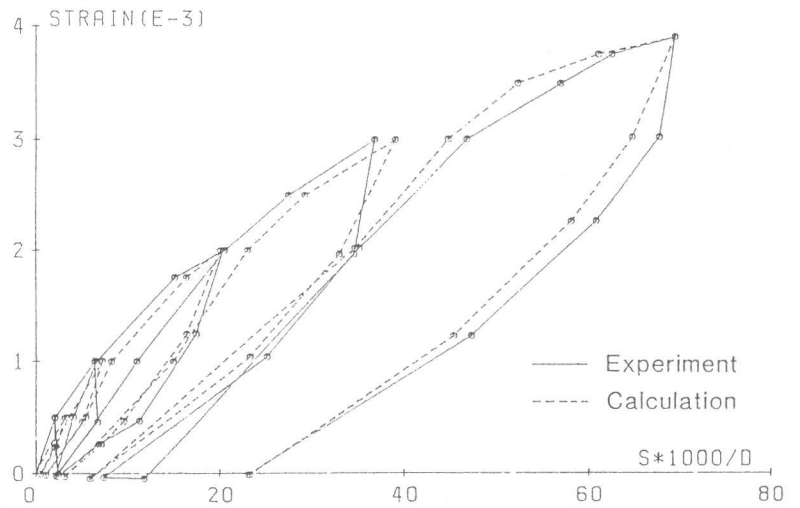


図-13 荷重端ひずみ-滑り量関係 (供試体 A5)

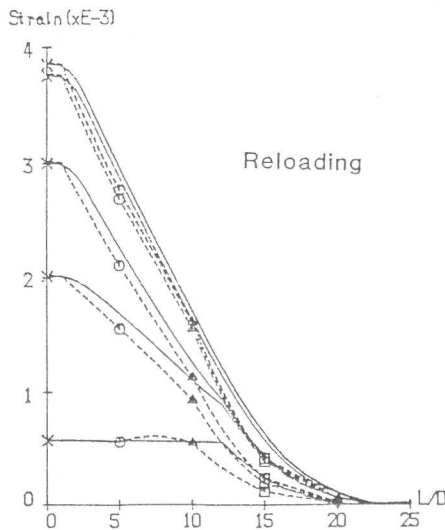


図-12 ひずみ分布 (供試体 A6)

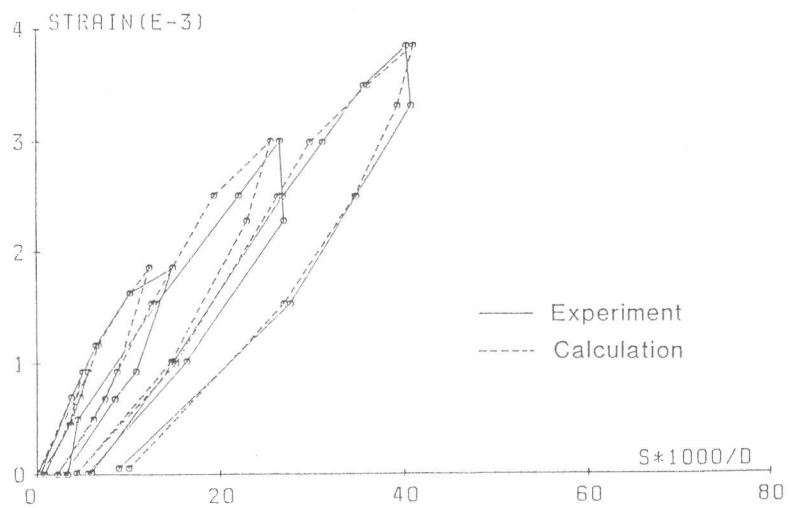


図-14 荷重端ひずみ-滑り量関係 (供試体 A6)

謝辞：本研究に対して財団法人鹿島学術振興財団外国人研究者受け入れの援助をいただきました。

本研究は文部省科学研究補助金（課題番号 56460123）により行われた。

参考文献：1) 森田司郎，角 徹三：繰返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究，建築学会論文報告集，第229号，昭和50年3月，p15～24. 2) T.R. TEPFERS, etc. "BOND ACTION AND BOND BEHAVIOUR OF REINFORCEMENT", state of the Art Report, CEB, N 151 April 1982 3) 前川宏一，上迫田和人，岡村 甫：二軸応力下のコンクリートの構成方程式，第4回コンクリート工学年次講演会論文集，昭和57年. 4) 周 礼良，山尾芳秀，岡村 甫：フーチング中に埋込まれた鉄筋のひずみ分布，第4回コンクリート工学年次講演会論文集，昭和57年. 5) 山尾芳秀，周 礼良，岡村 甫：定着長さ，コンクリート強度が局部付着応力-すべり関係に及ぼす影響. 第5回コンクリート工学年次講演会論文集.