

[105] フーチング中に埋込まれた鉄筋のひずみ分布

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

鉄筋コンクリート橋脚の弾塑性応答解析を行うためには、作用する水平力と水平変位との関係が必要となる。橋脚が地震時に大きな繰返し変形を受けると、フーチングから軸方向鉄筋が抜け出し、その影響による変位が大きくなる。水平変位に占めるこの回転による変位の割合は、 $\frac{1}{2}$ 程度にも及んでおり<sup>1)</sup>、繰返し荷重を受けるRC橋脚躯体の水平変位に及ぼすフーチングからの軸方向鉄筋の引き抜けの影響はきわめて大きい。しかし、フーチングからの鉄筋の引き抜け量を正確に求める方法は確立されていない。そこで、コンクリート強度、鉄筋径、橋脚の断面有効高、かぶり厚、打込方向を変化させたモデル供試体に、正負繰返し載荷を行い、フーチング中に埋込まれた鉄筋のひずみ分布を測定した。そして鉄筋ひずみ分布を正確に算定し、引き抜け量を計算する方法を確立しようとしたのである。

2. 実験の概要

実験はフーチング中に埋込まれた軸方向鉄筋を対象としており、その他の影響をできるだけ小さくするために、帯鉄筋その他の補強鉄筋は使用していない。供試体の種類は表-1に、配筋図は図-1に示す。載荷には図-2に示すような簡単な装置を用い、軸力はかけず水平繰返し載荷を行った。載荷は軸方向鉄筋上のA点(及びA'点)(図-3参照)のひずみにより制御した。軸方向鉄筋のひずみは塑性ゲージと普通ゲージを使用し、図-3に示すような位置のひずみを測定した。実験から得られた鉄筋のひずみ分布、A点(A'点)のひずみとA点(A'点)の鉄筋引き抜け量との関係を図-6から図-12に点線で示す。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。さらに、この2次曲線を用いて実験における滑り量S(X)を式(1)で算出した。

$$S(X) = S(X - \Delta X) + \int_{X - \Delta X}^X \epsilon_s dx \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_s$  は鉄筋のひずみである。

3. 解析の方法

繰返し載荷を受ける一軸問題を対象として鉄筋軸方向を有限長さに分割して、次の釣合式と境界

表 1 供試体の性質

Specimen	$\phi^*$ (mm)	b (cm)	a (cm)	d (cm)	l* (cm)	h (cm)	fc'*	Casting * Direction
1-1-H	10	10	30	15	37.5	75	258	H*
1-2-V	10	15	45	15	37.5	60	266	V*
1-3-H	19	20	75	25	70	90	253	H*
1-4-V	19	30	50	25	70	75	272	V*
1-5-V	10	10	50	25	42.5	55	465	V*
1-6-H	10	15	75	25	42.5	60	505	H*
1-7-V	19	20	45	15	64.5	80	464	V*
1-8-H	19	30	30	15	64.5	75	503	H*

\*  $\phi$  : Bar Size  
 \* l : Embedded Bar Length  $l=30\phi+d/2$   
 \* fc' : Compressive Strength of Concrete (kg/cm<sup>2</sup>)  
 \* H : Perpendicular to The Main Bar  
 \* V : Parallel to The Main Bar

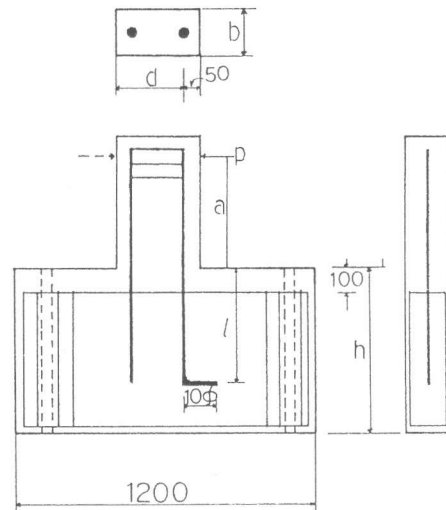


図 1 供 試 体

条件を満足するまで逐次計算を行って、鉄筋のひずみ分布および引き抜き量を求めた。材軸上の任意点  $X$  における鉄筋軸力  $P(X)$  と滑り量  $S(X)$  の関係は次の式で表わされる。

$$P(X) = P(X-\Delta X) - \tau_{X-\Delta X} \cdot \Delta X \cdot \nu \quad (2)$$

$$S(X) = S(X-\Delta X) - \frac{\Delta X}{2} (P(X-\Delta X) + P(X)) / (E_s \cdot A_s) \quad (3)$$

境界条件は、鉄筋にHookがある場合、 $S(\ell) = 0$ 、 $P(\ell) \neq 0$ 、鉄筋にHookがない場合、 $S(\ell) \neq 0$ 、 $P(\ell) = 0$ 、付着応力 ( $\tau_x$ ) は、滑り量 ( $S_x$ ) と  $\tau_{max}(X)$  との関係で表わされるとした。すなわち、

$$\tau_x = f(S_x) \cdot \tau_{max}(X) \quad (4)$$

$$\tau_{max}(X) = k \cdot \sqrt{f'_c} \cdot g(X) \quad (5)$$

ここで、 $k$  はコンクリートの打込方法によって異なる値、すなわち水平打設の場合 3.2、鉛直打設の場合 4.2 とした。 $\tau_{max}(X)$  は図-5 に示す最大付着力である。 $g(X)$  は図-4 に示すような関数で、 $X > Z1$  のとき  $g(X) = 1$  とした。図-4 中に示す  $Z1$  値は、鉄筋比、橋脚断面の有効高さなどの関数と思われる、一応(6)式を用いて計算したが、今後検討する必要がある式である。

$$Z1 = \frac{2(d-d')}{2 + b/\sqrt{(d-d')}} \cdot (1 - e^{-0.5 \cdot 10^5 \cdot \rho_k \cdot \sqrt{f'_c}}) \quad (6)$$

ここで、 $d' = 5 \text{ cm}$  (定数)、 $d$  は橋脚断面の有効高さ、 $\rho$  は鉄筋比、 $b$  は供試体の幅である。

付着応力 ( $\tau_x$ ) と滑り量 ( $S_x$ ) との関係は、繰返し載荷時を一つの式で表現するために、「elastic-plastic-fracture」モデル<sup>2)</sup>を用いることとした。ある位置  $X$  での付着応力  $\tau_x$  とその位置における鉄筋とコンクリート間の相対滑り量  $S_x$  は次式で表わせる。

$$S_x = S_{xe} + S_{xp}(S_x) \quad (7)$$

$$\tau_x = C \cdot K_x(S_x) \cdot S_{xe} \quad (8)$$

ここで、 $K_x(S_x)$  は fracture factor、 $S_{xe}$  は弾性滑り、 $S_{xp}(S_x)$  は塑性滑りである。繰返し荷重下での  $\tau - S$  の関係は図-5 に示すようにモデル化した ( $S1$  は一応 0.01 とした)。すなわち

$$S_x > S'_x \text{ のとき } \tau_x = C \cdot K_x(S_x) \cdot (S_x - S_{xp}(S_x)) \quad (9)$$

$$S_x < S'_x \text{ のとき } \tau_x = C \cdot K_x(S_x) \cdot (S_x - S_{xp}(S_x)) \quad (10)$$

ここで、 $S'_x$  はその以前に与えられた最大滑り量である。

ここで、式(2)~(10)を使って載荷条件に応じて  $P(0)$  値が与えられれば材端から  $P(X)$ 、 $S(X)$ 、 $\tau_x$  の分布を計算することができる。解析結果を図-6 から図-12 に実線で示す。なお、ここではコンクリートの軸方向変形は無視している。

#### 4. 実験結果と解析結果との比較

図-6 から図-12 に代表的なケースの実測値と解析値を表わす。解析結果は、巨視的に見て、それぞれ全体の挙動をよく表わしているが、解析と実験データの傾向は各実験に対して幾分異なっている。しかし定量的には、その差は全実験シリーズにわたり、小さいものであった。

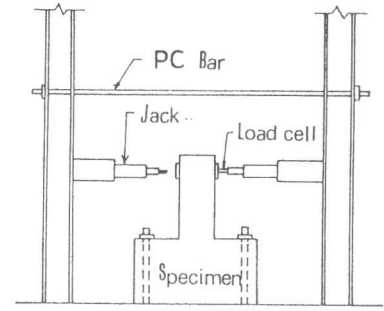


図2 載荷方法

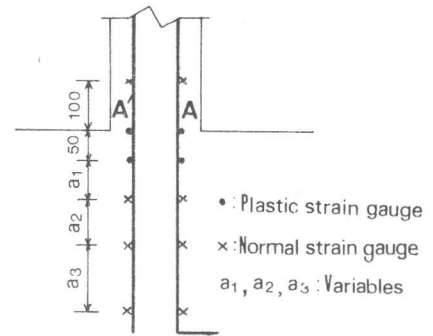


図3 ゲージ位置

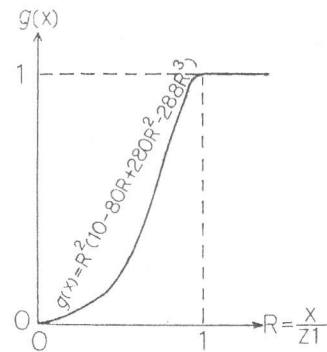


図4  $g(x)$

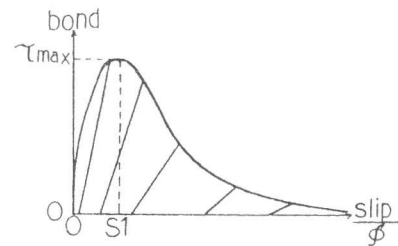


図5 付着-すべりモデル

式(2)から式(10)までに分かるように、繰返し荷重時の付着応力-滑り量関係は、数多くの要因の関数として与えられる。ところがこのような解析に役立つ実験データは非常に少ない。ここでの解析にあたっては、これらの変数の及ぼす影響の定量化を、論理的な仮定に基づいて行った。しかし、データに比べて変数があまりにも多いため、各変数の影響を正解に分離することは困難である。そこで、ここでは、これらの変数の及ぼす影響について定性的に考察を行う。

(1) この解析方法を用いた場合、Z1値が結果に最も大きな影響を及ぼす。Z1の値に影響を与える要因として、柱の断面寸法、鉄柱径、コンクリート強度などのほかに、柱下端に生ずる円弧状のひびわれの位置およびその発達などの影響を受けているように思われる。これらの影響の程度を解明することが極めて重要な研究課題である。

(2)  $\sigma$ - $S$ 関係を導くにあたっては、コンクリートの圧縮実験から導いた応力-ひずみモデル<sup>2)</sup>をそのまま適用した。このモデルは非常に使いやすいが、これをそのまま適用すると、除荷時の鉄筋のひずみの計算値は実験値より小さくなる。そこで、 $S_{xp}(S_x)$ の値は実験から修正する必要がある。

(3) ここでは $k$ 値として、軸方向鉄筋のひずみ分布のデータから求めた値を、解析の精度がよくなるように適当に修正した値を用いている。今後、打込み方法の影響等を考慮に入れて、実験データのみから $k$ 値を正しく定量化できるような方法を提案していかねばならない。

(4) ここでは、 $S1$ は $\phi$ (鉄筋径)のみの関係と仮定しているが、実際には、 $f_c'$ 、 $X$ の影響も受けていると思われる。そこで今後は $S1=S1(\phi, f_c', X)$ という形に変えた方が良くかもしれない。

## 5. 結論

(1) 繰返し荷重を受けるフーチングに埋込まれた軸方向鉄筋の引き抜け量とひずみ分布特性については、本論文で行った方法で解析を行えば、実験データをほぼ満足する結果が得られる。

(2) いろいろな要因が、繰返し応力下での付着応力-滑り量関係に及ぼす影響を正しく定量化するためには、より多くの実験データを蓄積し、詳細な検討を行うことが必要である。

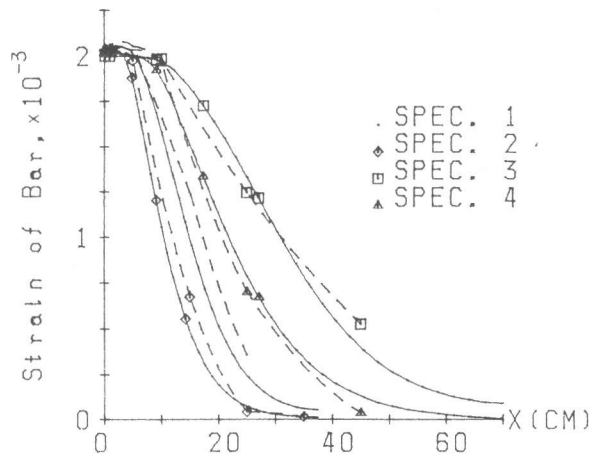


図6 ひずみ分布(供試体№1~4)

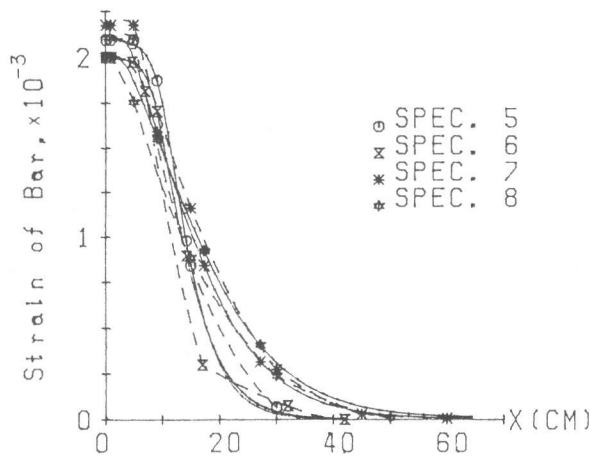


図7 ひずみ分布(供試体№5~8)

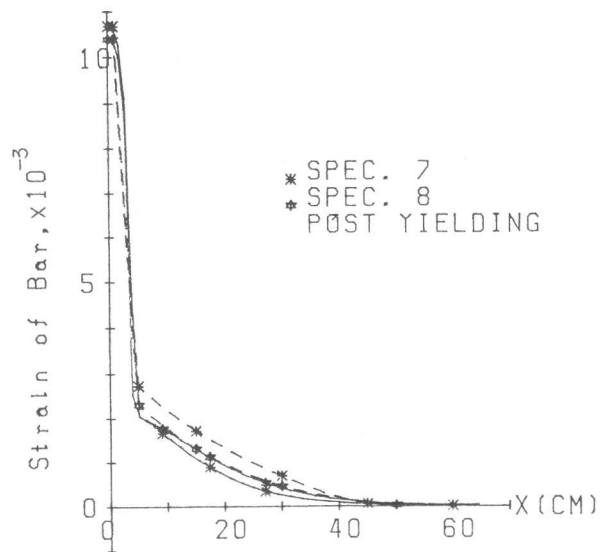


図8 ひずみ分布(№7~8)

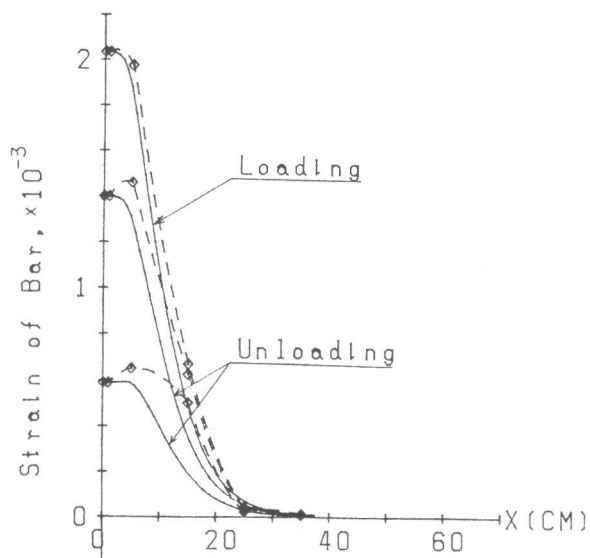


図9 ひずみ分布 (供試体 No. 2)

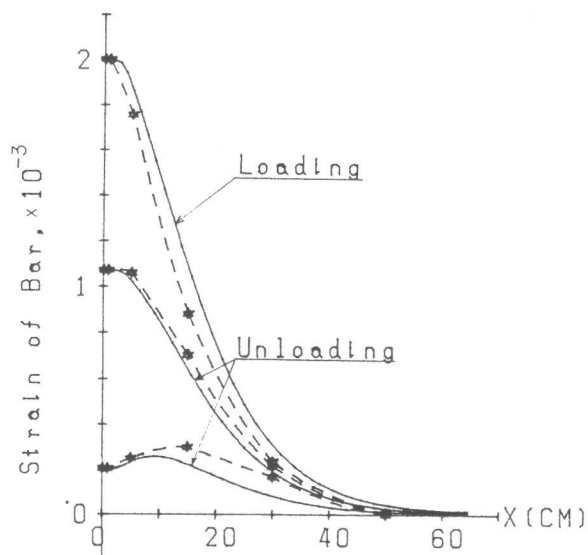


図10 ひずみ分布 (供試体 No. 8)

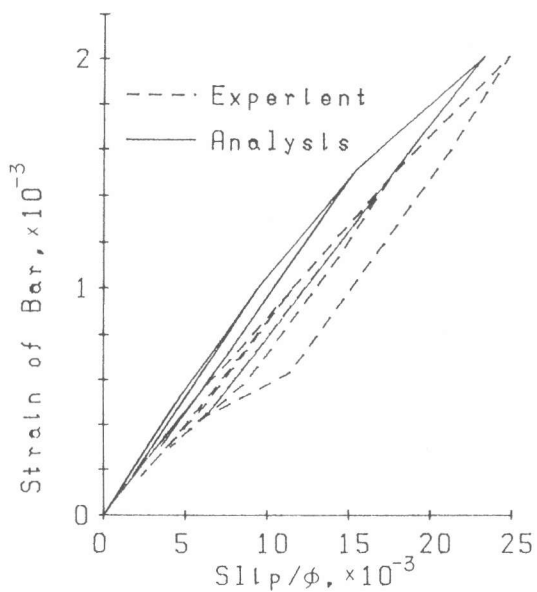


図11 鉄筋ひずみとすべりとの関係  
(供試体 No. 2)

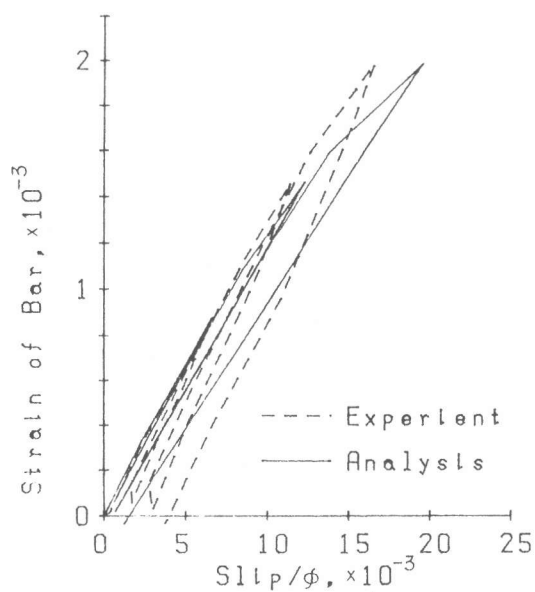


図12 鉄筋ひずみとすべりとの関係  
(供試体 No. 8)

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、昭和56年度文部省科学研究補助金(課題番号585016)を受けて行ったものである。

参考文献

1. 太田 実：繰返し荷重下における鉄筋コンクリート橋脚の挙動に関する実験の研究，土木学会論文報告集第292号，昭和54年12月，p 65～74.
2. 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