

栗木組株式会社 正 佐 田 正 直  
信州大学工学部 正 長 尚

1. まえがき

異形鉄筋の押抜き試験と、これをモデル化した有限要素法による非線形計算の結果とを比較検討することにより、付着応力の分布状態について考察する。

2. 実験

付着の試験方法には、引抜き、押抜き、両引き、はり試験などがあるが本実験では押抜き試験を採用した。ただし、押抜き試験の欠点である、コンクリートの引張破壊を防ぐために、ラセン鉄筋もしくは鋼製パイプで側方への変位を拘束した。実施した試験種別を表-1に示す。

表-1

		補強形式	曲げ強度 ( $T_{20}$ )	実験数 (本)	養生方法	杯合 (目)
異形鉄筋 ( $\phi 29$ )	一本	ラセン鉄筋 $\phi 6\text{mm}$ $E_{\text{ラ}} \sim 43\text{cm}$	$250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	3	水中	7
				3	"	20
				2	空中	7
				3	水中	7
				2	"	20
	1	空中	7			
	三本束ね	2	水中	7		
2	"	20				
1	空中	7				
一本	鋼製パイプ	$250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ $150 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	6 9	恒温恒湿 "	7 7	
丸鉄筋( $\phi 20$ )	鋼製パイプ	$150 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	0	"	7	

3. 有限要素法による解析

鉄筋は供試体断面の中心に配置したので、これは軸対称問題である。座標軸は鉄筋軸方向をZ軸、これと直角方向をY軸とする。Z方向は鉄筋の軸に直角な面で1cm間隔に30等分割し、Y方向は応力の変化を考慮して鉄筋とコンクリートが接する付近で分割要素が小さくなるように分割した。図-2に分割図を示すが、この図中0印が印付いた節点の、Z方向の変位はないものとした。計算に用いたFACOM 230-60用プログラムの概略をフローチャート(図-3)に示すが、実際の状態をできるだけ忠実に計算に取り入れるために、付着のすべりヒコンクリートの弾性係数の変化を考慮した非線形計算(繰り返し演算)法を用いた。まず付着のすべりは次のように扱う。ある要素において純付着力( $Z_{op}$ )、摩擦力( $\mu \sigma_r = \text{摩擦係数} \times \text{半径方向応力}$ )、機械的抵抗力( $Z_{og}$ )の3種類からなる付着強度( $Z_{om}$ )、すなわら  $Z_{om} = Z_{op} + \mu \sigma_r + Z_{og}$  と、2異なる応力差から求まる付着応力( $\sigma$ )の関係が、 $\sigma > Z_{om}$  となった場合、この要素付近のコンクリートの弾性係数を  $E_c (= E_c \times (Z_{om} / \sigma)^2)$  に減少させる。次にコンクリートの応力ひずみ曲線を与め想定しておきそれに基づいて、すべての要素について弾性係数の修正を行なう。鉄筋に接するコンクリートの要素では、以上二つのうち小さい方の弾性係数を採用する。こうして弾性係数の変化がなくなるまで繰り返し計算を行なう。

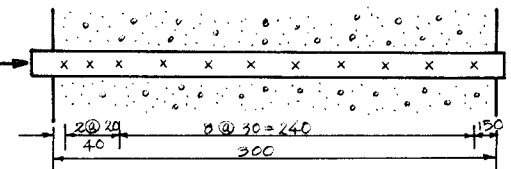


図-1

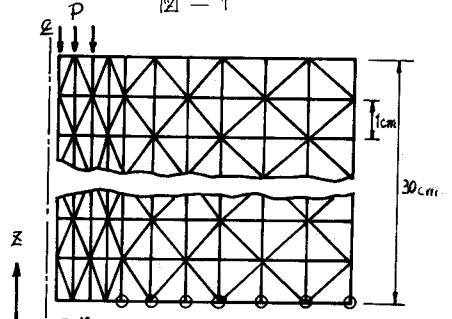


図-2

#### 4. 実験および解析結果とその考察

表-1に示した実験の中から典型的な結果を図-4に示す。これは各載荷時における鉄筋の応力と付着応力を左端を加力端として描いたものである。実験結果から次のことが言える。(1) 付着応力度の分布は波状で、一般に加力端と、非加力端の直前に大きな山が発生する。(2) 加力端から $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{4}$ 入ったところに谷が発生する。(3) 鋼製パイプで周囲を補強した場合、すべり始めから、載荷端から付着が切れて、加力端側の付着応力の山が中の方へ移動する。(4) 付着応力の最大値は平均付着応力度の約2倍にも達する。(5) 付着応力の分布形状およびその値にはかなりばらつきがある。

次に鋼製パイプで補強した実験モデルの $P=20t$ の場合についての有限要素法による計算結果を図-5に示す。これは純付着力( $T_{op}$ )、機械的抵抗( $T_{op}$ )、摩擦係数( $\mu$ )の異なる組合せの場合の最終結果と、実験結果との比較図である。計算結果から次のことが言える。

(1) 付着応力度の分布の傾向について、弾性計算の結果と実験結果とは一致しない。(2) 純付着力、機械的抵抗、および摩擦係数が適当に相定できれば、有限要素法による非線形計算の結果と実験値とはかなり一致する。(3)  $T_{op}$ 、 $T_{op}$ 、 $\mu$ の僅かな変化に対し、計算結果が非常に変動する。

#### 5. おすび

以上の実験結果および計算結果より次のことが結論される。

(1) 付着応力度の分布は加力端と非加力端の直前に大きな山があり、加力端から少し入った所に谷がある波状分布で、その最大値は、いわゆる平均付着応力度の2倍に達する。(2) 付着の挙動は弾性的でなく塑性的である。(3) 実験結果がかなりばらつくのは、一つには測定誤差が付着応力度に敏感に響く(鉄筋の応力の差から求めるため)こともあろうが有限要素法を用いた計算結果から判断して、付着性状のばらつきが結果に大きく影響する結果によるものと考えられる。

#### 参考文献

渡辺明：鉄筋の付着応力に与えるコンクリートの付着長に関する研究，昭和39年，O.C. ツィンキヴィツ，Y. K. チューン：マトリックス有限要素法，培風館，佐田正直，長尚：コンクリートの付着応力の分布について，土木学会第27回年次学術講演会概要，昭和47年。

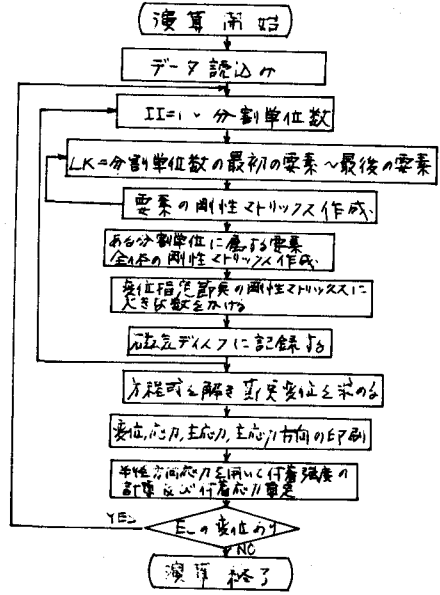


図-3

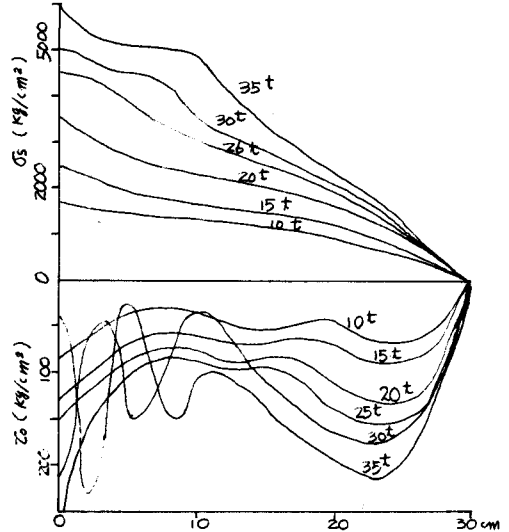


図-4

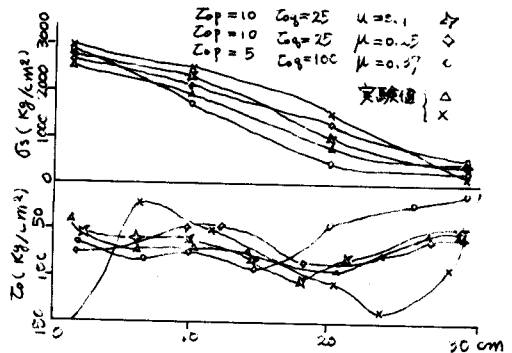


図-5