

東北大学 正員 狩野誠一郎
東北大学 正員 尾坂 芳夫
東北大学 正員 佐藤 孝志

1. まえがき

RC橋脚に地震などの水平力が働くとき、橋脚とフーチングの接合部に大きな曲げモーメントが生じ、軸方向鉄筋に引張力が働く。この際、加えられた外力特性と構造物自体のもつ特性、とりわけフーチング内軸方向鉄筋定着部の内部特性との相互関係いかんによっては定着部の破壊がおこり、構造物全体の破壊をひきおこす恐れがある。軸方向鉄筋の定着特性に影響を与える要因は多く、定着長、鉄筋径、鉄筋本数、鉄筋間隔、材料強度、部材の断面寸法など様々な要因が考えられる。

本研究は、定着長、鉄筋本数、供試体形状寸法等を変動要因として、当研究室で行なわれた既往の基礎的な実験—単純引抜き供試体(図1)、および柱-フーチング構造系供試体(曲げ引抜き供試体、図2)—のフーチングコンクリート内に直定着された軸方向鉄筋定着部の破壊特性、および引抜き耐力に対し一考察を試みたものである。なお、実験に用いた供試体の概略は図1、図2に示すとおりで、主な変動要因(諸元)は表1に示す。

表1 主な変動要因(諸元)

	単純引抜き供試体	柱-フーチング構造系供試体
鉄筋径	D16(横3本)	D10~D22(横3本)
鉄筋本数	1本~5本	2本~10本
鉄筋間隔	2.8φ	2.5φ
定着長	5cm~20cm	5cm~55cm
コンクリート強度	180~230 kg/cm ²	180~260 kg/cm ²

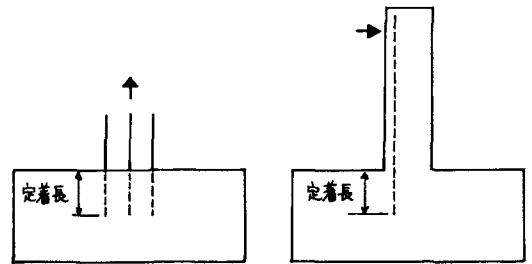


図1 単純引抜き供試体

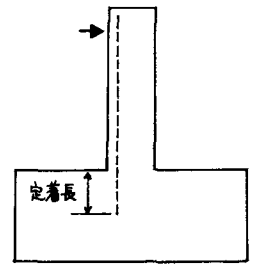


図2 柱-フーチング構造系供試体

2. 単純引抜き供試体

1). 破壊特性

単純引抜き供試体においては、定着長の短い範囲では鉄筋最下端からコンクリートが円錐状に抜け上がる形式(斜め引張破壊)であり、定着長が長くなると鉄筋の途中からコンクリートが円錐状をなし、それ以下では鉄筋とコンクリートの界面でせん断付着破壊する形式である。また、鉄筋本数の増加に伴ってせん断付着破壊から斜め引張破壊に移行する。実験においては殆んど鉄筋最下端から抜け上がる形式であり、図3(A,B)に示すように、フーチング表面の近くで破壊線の角度が変化する。これは、鉄筋先端から発生したひびわれが伸展する過程で応力の流れが変化するためと思われる。

2). 引抜き耐力の算定

引抜き耐力の算定は、定着破壊面に着目し、その面に働いた応力の合力と定着鉄筋の引抜き力とが釣り合うものとして行なった。実験結果より、定着破壊面に働く応力分布形は三角形と仮定して行ない、破壊に寄与した有効領域として図3の a_1 、 b_1 で示された区間を考える。すなわち、フーチング上面に投影された影響破壊面積に、定着破壊

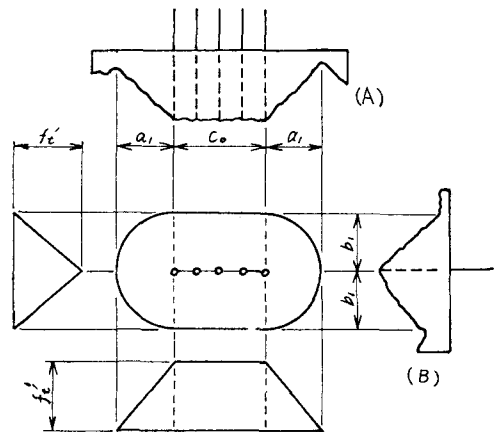


図3 代表的なひびわれ形状(A,B)と応力度ブロック

面に働くものと同じ分布形の応力が作用していることになる。このようにして考えた応力度ブロックを図3に示す。この応力度ブロックの体積と定着鉄筋に働く引抜き力 T との釣り合いより次式が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} T &= \left(\frac{1}{2} \pi a_0 b_1 + b_1 c_0 \right) f_c' & (\text{kg}) \\ a_0 &= 3.6 (1 - e^{-1.5n}) l^{0.8} & (\text{cm}) \\ b_0 &= 2.6 (1 - e^{-1.9n}) l^{0.8} & (\text{cm}) \end{aligned} \right\} \text{ [I]} \quad \begin{aligned} n &: \text{鉄筋本数 (本)} \\ l &: \text{定着長 (cm)} \\ f_c' &: \text{コンクリート引張強度 (kg/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

[I]式を用いて算出した鉄筋引抜き耐力計算値に対する実験値の比は、殆んどどの供試体に関して 0.8 ~ 1.2 の範囲におさまる。

3. 柱-フーチング構造系供試体(曲げ引抜き供試体)

1). 破壊特性

実際の橋脚の一部をスライス状に切り出した形を想定した柱-フーチング構造系の供試体による曲げ引抜き試験の結果、得られた破壊形式を分類するとおおよそ図4のようになる。①は定着鉄筋がせん断付着破壊して抜け出す形式。②は鉄筋先端から圧縮側接合部と自由端側フーチング表面に向かって、円錐状にコンクリートが鉄筋と共に抜け上がる形式。③は鉄筋先端から圧縮側接合部とフーチング底部へ向かうひびわれによって破壊する形式で、この時、鉄筋に沿った縦ひびわれ(割裂ひびわれ)も発生する。④は鉄筋が降伏するような長い定着長の場合で、全定着長の1/3程度の深さからフーチング上面へ向かう円錐状のひびわれが発生し、その後、鉄筋に沿った縦ひびわれの発生とフーチング底部へ向かうひびわれによって破壊する形式。また、①と②あるいは②と③の中間的な破壊形状を示すものもある。実験においては、殆んど②と③の破壊形式であり、これらは、定着長 l に対するフーチング深さの比 $\%l$ によって形状が異なり、フーチング深さに比較して定着長が短い場合($\%l \geq 3 \sim 4$)は、②の破壊形式であり、定着長が長い場合($\%l < 3 \sim 4$)は、③の破壊形式になると思われる。

2). 引抜き耐力の算定

引抜き耐力の算定において、破壊形状が最も多かった②と③の場合について算定を試みた。実験結果より、フーチングコンクリートひびわれ面における引張応力度分布を、それぞれ図5、図6のように仮定し、単純引抜き試験で用いた手法と同じ考えに基づき定着鉄筋の引抜き耐力の算定を行なった。なお、②においては、斜めひびわれと同様に鉄筋に沿った縦ひびわれも殆んど同時に発生して、破壊に大きく寄与していると考え、この縦ひびわれによる耐力に及ぼす影響も考慮に入れた。よって、鉄筋に働く全引抜き力は

$$\left. \begin{aligned} \text{①} \dots T &= b d f_c' \text{ , また } T = b (d-x) f_c' & (\%l \geq 3 \sim 4) \\ \text{③} \dots T &= \{ (b-n\phi) l + 2(d-x)b \} f_c' & (\%l < 3 \sim 4) \end{aligned} \right\} \text{ [II]}$$

ここで、 d : 柱断面有効高(cm)、 x : 接合部圧縮領域長さ(cm)、 b : フーチング幅(cm)、 ϕ : 鉄筋径(cm)である。

[II]式を用いて算出した鉄筋引抜き力を、接合部鉄筋ひずみから求めた引抜き力 T との比で表わすと、殆んどどの供試体において 0.8 ~ 1.2 の範囲内におさまる。

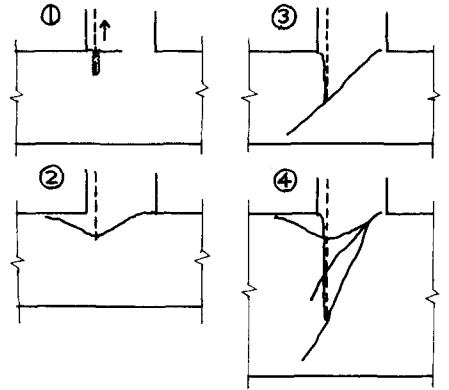


図4 破壊形式の分類

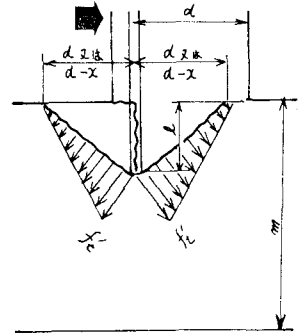


図5 破壊形式② ($\%l \geq 3 \sim 4$)

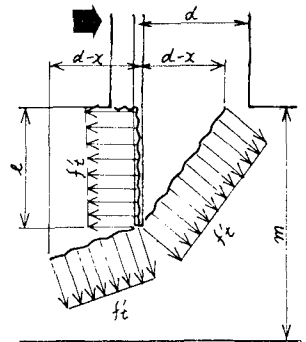


図6 破壊形式③ ($\%l < 3 \sim 4$)