

住友金属 正会員 士 堅 秀

住友金属 正会員 〇 白川 潔

## 1. 緒 言

1971年2月9日ロスアンゼルス北部で発生したサン・フェルナンド地震では高速道路の鉄筋コンクリート橋脚が数多く崩壊した。これら崩壊した橋脚のなかには $57\text{mm}^\phi(+18)$ 太径異形鉄筋の定着部で付着破壊したと思われるようなものも見うけられたことから、太径異形鉄筋は付着性に問題があるかのような印象を一般に与えた。わが国においてもここ二、三年の間に $51\text{mm}^\phi$ の太径異形鉄筋(D51)が実用化されたが、その付着特性についてはある程度の研究がなされてはいるもののまだ十分とはいえない。<sup>(1)</sup>

本研究は、定着部の埋込み長と定着方式が柱の強度と変形におよぼす影響を明らかにするとともにD51の定着機構と定着強度を調べたものである。

## 2. 実 験

## 2-1. 供試体

鉄筋は公称径 $51\text{mm}$ 、フシの間隔 $30\text{mm}$ 、フシの最大高さ $5.5\text{mm}$ のものを使用した。その機械的性質は表-1の通りである。図-1に供試体の概要および定着部の詳細を示す。縦 $5.2\text{m}$ 、横 $5.2\text{m}$ 厚さ $1.3\text{m}$ のコンクリートフーチング上の4ヶ所に供試柱(断面: $50\text{cm} \times 60\text{cm}$ 、高さ $2.0\text{m}$ )を定着し、フーチング中央には載荷時に反力をとるための八角柱を立てている。供試柱C-5、C-6は定着部にフックがなく、埋込み長は鉄筋径 $d$ のそれぞれ10倍、20倍となっている。供試柱C-7、C-8は埋込み長が $15d$ であり、定着板、定着棒をそれぞれ $10d$ の位置に溶接し、その支圧抵抗を利用して定着したものである。

このように埋込み長、定着方式は供試柱ごとに異なっているが、柱とフーチング上面の配筋、寸法は等しくしてある。上面鉄筋の断面積はフーチングの曲げによる引張応力をすべてこの鉄筋に負担すると仮定して定めた。コンクリートはまずフーチングに打設し、一週間後これが充分硬化したと考えられるところで柱に打設した。その際、打継ぎ目のレイタンスをとるなどの処理は行っていない。

なお、コンクリートの強度は表-2のごとくである。

表-1. D51の機械的性質

| 材 質  | 降伏点 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 引張強さ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 伸び (%) |
|------|---------------------------------|----------------------------------|--------|
| SD35 | 39.0                            | 59.4                             | 26.7   |

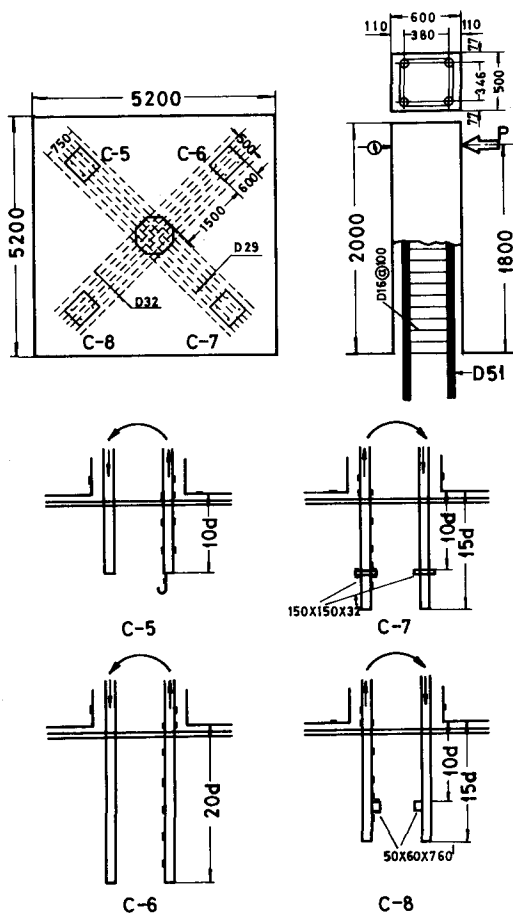


図-1. 供試体と実験方法

2-2. 荷重および測定方法

荷重は図-1に示すように柱をフーチング上面から1.8 mの位置で油圧ジャッキにより水平に押し、柱には曲げモーメントと剪断力を、フーチングには曲げモーメントと引張力を作用させる方法で行なった。

その際、柱つけ根の引張鉄筋の応力が3700 kg/cm<sup>2</sup>になる荷重34.0 tで10回繰返し、その後柱またはフーチングが破壊して荷重が増加しなくなるまで加力した。この間で水平荷重、柱のたわみ量、引張鉄筋のひずみおよび引張鉄筋のフーチング上面での抜出し量を測定した。

2-3. 実験結果とその考察

(1) 柱の強度と変形

各供試体の水平荷重と載荷点での変位との関係を図-2に示す。図中の破線は弾性係数比nを1.5とし引張側コンクリートを無視した場合の計算値(1)であり、1点鎖線はこのたわみに柱つけ根の回転変位を加えた場合の計算値(2)である。また、実験結果を表-3に示す。これらの図、表より下記のことがわかる。

(i) 荷重が34 ton以下の範囲における荷重-変位関係は定着方式、埋込み長の大小にかかわらず、ほぼ一つの曲線で示される。ただ、10 ton以上での同一荷重における変位は実験値が計算値(1)よりも大きい。これは計算値(1)にはフーチング内の鉄筋の伸びによる柱つけ根の回転変位を無視しているからである。回転変位の存在は鉄筋降伏以前でも柱つけ根で折れ曲がっていたことと、実験値は計算値(2)とよい一致がみられることから明らかであり、太径鉄筋のように埋込み長が長くなると、フーチング内の鉄筋の伸びを考慮しなければならないことを示している。

(ii) 降伏荷重、最高荷重、最高荷重時変位は埋込み長、定着方式の如何にかかわらずほぼ等しい。すなわち、埋込み長が10 dと短い場合でも柱の最高荷重、変位は埋込み長が十分である20 dの場合と同等である。

表-2. コンクリートの強度

|       | 設計強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 4週強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |    | 養生 |
|-------|-------------------------------|----------------------------|----|----|
|       |                               | 圧縮                         | 引張 |    |
| フーチング | 210                           | 195                        | 20 | 空中 |
| 柱     | 270                           | 202                        | 20 | 空中 |

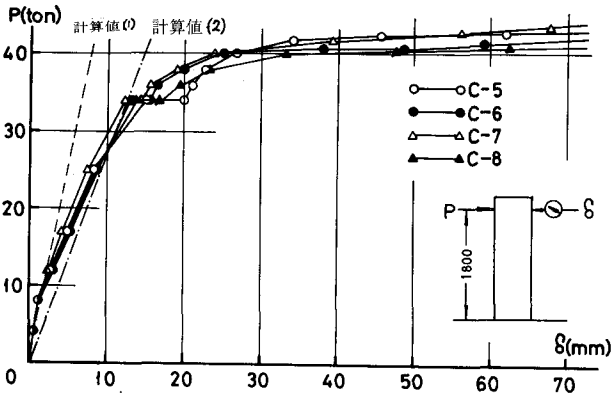


図-2. 荷重-変位関係

表-3. 実験結果

| 供試体<br>記号 | 定着部  |       | フーチング上面<br>ひび割れ発生 |                             | 鉄筋降伏時       |                       |                             |                                 | コンクリート<br>圧縮破壊時 |            | 最高荷重時       |                       | 塑性変形能<br>$\delta_u / \delta_y$ |
|-----------|------|-------|-------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|
|           | 埋込み長 | 定着方式  | 荷重<br>(ton)       | 応力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 荷重<br>(ton) | 変位 $\delta_y$<br>(mm) | 応力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 平均付着<br>応力(kg/cm <sup>2</sup> ) | 荷重<br>(ton)     | 変位<br>(mm) | 荷重<br>(ton) | 変位 $\delta_u$<br>(mm) |                                |
| C-5       | 10 d | フックなし | 25.0              | 2720                        | 36.0        | 21.39                 | 3920                        | 98.0                            | 42.0            | 34.25      | 43.1        | 101.13                | 4.78                           |
| C-6       | 20 d | フックなし | 17.0              | 1850                        | 36.0        | 16.69                 | 3920                        | 49.0                            | 41.1            | 48.52      | 43.9        | 112.10                | 6.71                           |
| C-7       | 15 d | 定着板有  | 25.0              | 2720                        | 36.0        | 16.15                 | 3920                        | 73.5                            | 42.7            | 55.63      | 45.8        | 114.17                | 7.08                           |
| C-8       | 15 d | 定着棒有  | 25.0              | 2720                        | 36.0        | 19.52                 | 3920                        | 73.5                            | 41.0            | 48.13      | 43.3        | 124.43                | 6.35                           |

(Ⅲ) コンクリートの圧縮破壊後も柱の変形の増加につれて荷重はわずかながら上昇しつづける。これは柱にフープが密に入っている (D16@100) ため、フープで囲まれたコンクリートの強度がフープのない場合よりも増大している結果であると考えられる。

(2) 定着機構と定着強度

図-3 (1)、(2)は各供試体の定着部の鉄筋の引張応力分布と、これをもとに算出した付着応力分布が荷重の増大につれてどのように変化するかを示したものである。ここに定着板、定着棒のあるゲージ区間での付着応力は、これらが無いものとして算定した値である。図-3とフーチング上面のひび割れ発生状況から、D51の付着応力分布について下記のこと が判明した。

(i) フックのないC-5、C-6はいずれも荷重の増大につれて最大付着応力の位置が鉄筋の先端に移動していく。これはある荷重に達するとフーチング上面に引張鉄筋を中心とする放射状ひび割れが発生することにより、付着破壊がフーチング上面から内部へと進行するためと考えられる。また、定着部のある位置で測定された付着応力の最大値はフーチング上面が低く、内部が高い。この理由としてフシからコンクリートに伝えられる円周方向応力に抵抗するための補強筋がフーチング上面に入っていないことと、フーチング上面ではコンクリートが引張、下部では圧縮と応力状態が異なっているためと考えられる。

(ii) 定着板、定着棒のあるC-7、C-8の付着応力分布は荷重の低い範囲 ( $P \leq 25 \text{ ton}$ ) においてはC-6と同じ傾向を示す。しかし、これ以上の荷重になると付着応力分布に二つの山が生じ、埋込み長の深い所の山はちょうど定着板、定着棒の位置に相当する。すなわち、荷重が大きくなり定着板、定着棒位置の鉄筋応力が高くなってはじめて、定着板、定着棒はその効果を発揮する。

いま、各埋込み深さ位置での付着応力と相対すべり量との関係の一例 (C-6) を図-4 (1) に示す。ここに付着応力は図-3 (1) の付着応力分布より、相対すべり量は鉄筋のひずみ分布を材軸に沿って鉄筋先端からゲージ位置まで積分しても

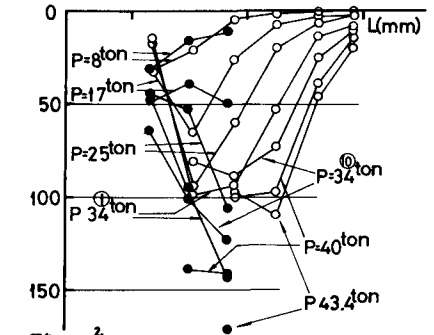
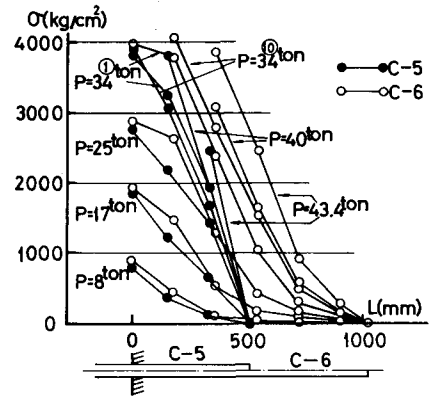


図-3 (1) 定着部の応力分布

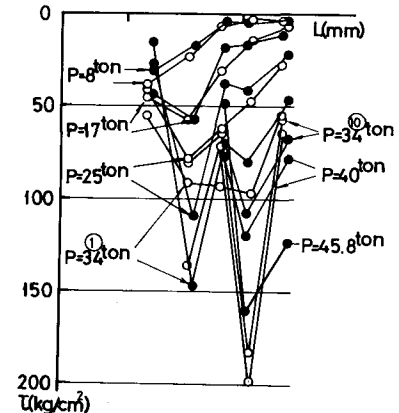
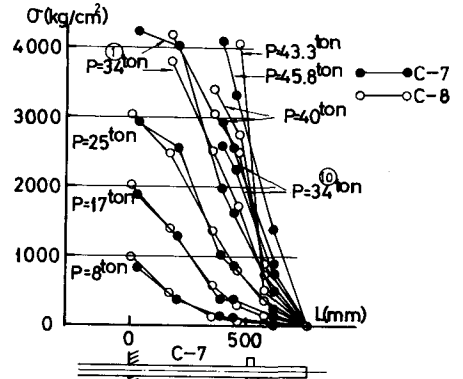


図-3 (2) 定着部の応力分布

とめたものである。

比較のためにすでに報告<sup>(1)</sup>した、コンクリートの応力が圧縮で密なフープ(D9@100)で拘束されたカブリ1dの場合の実験結果を図-4(2)に示す。

従来の両引き試験の結果によると付着応力と相対すべり量との関係は埋込み深さにかかわらず同じ異形鉄筋であれば一つの曲線で示されるといわれている。<sup>(2)</sup> その際にはスパイラル補強筋によりコンクリートの割れが拘束されており、カブリが充分ある場合である。

しかし、図-4(1)、(2)からわかるように実際の構造物に近い状態では、鉄筋に沿う縦ひび割れ(放射状ひび割れも含まれる)の発生やコンクリートの応力状態などにより付着応力と相対すべり量との関係は一つの曲線で示することが出来ない。すなわち、埋込み深さが小さくコンクリートが引張応力状態(図-4(1)の①)にあればわずかな相対すべり(0.05mm程度)で付着応力は最大に達するのに対し、埋込み深さが十分ある(図-4(1)の②③)かまたはフープで補強されている(図-4(2))と最大付着応力は $100\text{kg/cm}^2$ を越え、その時の相対すべりは0.2mmと大きい。したがって当然のことながら、実際の構造物内の付着応力を両引き試験結果から単純に推論することは出来ないことがわかる。

### 3. 結 言

埋込み長、定着方式を変えた4体の柱について、その強度、変形およびD51の定着強度と定着機構をしらべた。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 埋込み長が10d以上あれば、埋込み長、定着方式の如何にかかわらず柱の降伏荷重、最高荷重およびその時の変位はほぼ等しい。したがってコンクリートの圧縮強度が $200\text{kg/cm}^2$ 、鉄筋の材質がSD35である場合には埋込み長が10dでも鉄筋の降伏以前に鉄筋が抜け出すことはない。
- (2) フーチング上面から10dの位置に定着板、定着棒を設けるときは鉄筋の降伏点近くになってはじめて引抜力に有効に抵抗する。
- (3) 付着応力と相対すべり量との関係は縦ひび割れの発生などにより大きく影響される。

### 参考文献

- (1) 土堅秀、久光脩文、白川潔：太径異形鉄筋(D51)の定着長試験、土木学会講演集 昭和46年10月
- (2) 六車熙、森田司郎、富田幸次郎：鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究、日本建築学会論文報告集 第131、132、134、139号

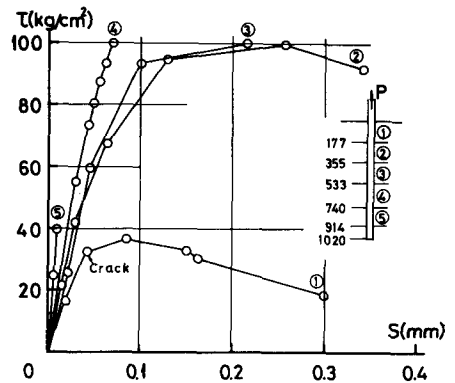


図-4(1) 付着応力-相対すべり (C-6)

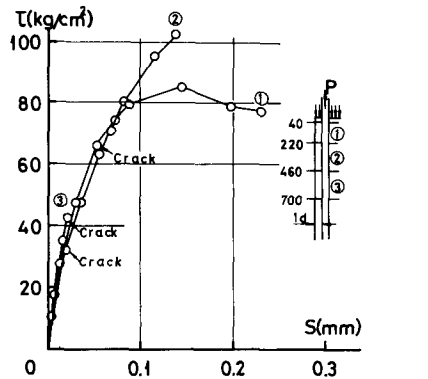


図-4(2) 付着応力-相対すべり <sup>(1)</sup>