

東 京 都 立 大 学 正 員 村 田 二 郎
 首 都 高 速 道 路 公 団 " 玉 野 治 光
 " " 玉 置 脩
 オ リ エ ン タ ル コ ン サ ル タ ン ツ " ○ 横 溝 幸 雄
 住 友 金 属 工 業 " 士 堅 秀

1 ま え が き

本報告は、同時に発表されている研究（その1）、（その2）に関連し、地震で破壊された橋脚柱に使用されていた太径鉄筋 # 18（公称直径 57.3 mm, D 5 7）に着目して、基礎的実験を行ったので、これについて述べたものである。

Route 210/5, P₃, P₄ 橋脚〔（その1）Fig 3 参照〕は、橋脚基部で柱の鉄筋 # 18 が基礎から抜け上がる現象が生じた。一般に太径の鉄筋は、普通径の鉄筋に比して付着、定着性能が劣るものと考えられ、さらに鉄筋とコンクリートの共同作用という点で未知の分野が多い。これらの見地から、本実験は、サンフェルナンド地震で被害を受けた構造物に近いと思われる応力状態で、# 18 について3種類の引抜試験を行い、その破壊原因を探求するとともに、より合理的な設計を行うための資料を得ることを目的としたものである。なお、比較のため、我国の鉄筋 D 5 1（スミバー）および D 3 2（J I S 型波ブシ）を使用したものも含まれているのであわせて報告する。

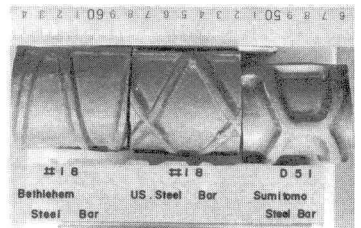


Photo 1 Shape of #18 bar

2 # 18 (D 5 7) の材料試験

付着試験に先立つて、米国より取りよせた # 18 について引張試験、曲げ試験、化学分析、等の材料試験を行ったが、我国の鉄筋に比して炭素含有量が多く、そのため伸びおよび絞りは小さい傾向が認められたが、A S T M 規格（Grade 60）はすべて満足するものであつた。

Table 1 Strength and Shape of #18 bar

	Yield strength (kg/mm ²)	Ultimate strength (kg/mm ²)	Elong. (%)	Lead angle with axis of the bar	Avg spacing of deformation	Avg height of deformation	Max. gap of deformation
#18 (Specimen)	46.5	74.9	13.1	78°	27.9 mm	3.3 mm	2.0 mm
ASTM (Grade 60)	≥42.2	≥63	≥9	>45°	<40 mm	>2.6 mm	<4.5 mm
JIS SD 40	>4.0	>57	>16				

Table 2 Chemical contents

	C	Mn	P	S	C+Mn
#18	0.42	0.84	0.01	0.04	0.56
JIS SD 40	≤0.29	≤1.80	≤0.05	≤0.05	≤0.55

3 引抜試験 (A)

1) 供試体と試験方法 太径鉄筋の基本的付着性状について検討し、後に示す引抜試験 (B)、(C) と比較するため # 18、D 5 1 および D 3 2 について、“日本コンクリート会議案”に準じた付着試験を行った。

Table 3 Size and Kind of Specimen in test (A)

Size of bars	ℓ	Central hole of bearing block in diameter	Spirals	Note
#18	25 ^{cm}	110 mm	φ9 @ 40 mm	
D 5 1	25	100	φ9 @ 40	
D 3 2	15	60	φ6 @ 60	

2) 試験結果および考察 自由端の滑動量が 0.1 ~ 0.2

mm のときに、供試体中央に荷重端からひびわれが発生したが、各供試体でそのひびわれは一樣でない。また、# 18 の付着応力度は自由端の滑動量が 0.5 mm まででは、D 3 2 と大差なく、それを超えると

18の方が大きくなる。最大付着応力度はD32を基準として、# 18は 1.4倍、D 51は 1.6倍を示し、本試験による太径鉄筋の付着強度は、普通径の鉄筋に比し十分大きい値をもつものと考えられる。

4 引抜試験 (B)

1) 供試体と試験方法 柱の主鉄筋を想定した太径鉄筋 # 18, D 51の引抜付着試験で、主としてかぶりおよび帯筋量と付着性状の関係につ

いて検討した。主鉄筋の埋込長は Route 210/5, P₄橋脚の定着長と等しく 183 cmとした。コンクリートの配合および強度は引抜試験 (A)と同じである。また、太径鉄筋には 20~30 cm間隔でワイヤストレーンゲージを貼付しひずみを、コンクリート表面ではコンタクトゲージによつてひびわれ幅を測定した。

2) 試験結果および考察 荷重端における付着応力度が 30~50 Kg/cm²になると、供試体側面に荷重端より鉄筋に沿つたひびわれが生じ、荷重の増大に伴つてひびわれ幅およびひびわれ長が増加したが、かぶりが大きいほど、または帯筋量が多いほど初期ひびわれの発生が遅くなつた。なかでも隅部に配置したⒺは、両側面にひびわれが発生し、ひびわれ幅およびひびわれ長も大きく、そのため付着応力度も他に比してかなり小さかつた。

前記の P₄橋脚とかぶりおよび帯筋量が等しいⒶは、荷重端の鉄筋応力度が 800 Kg/cm²でひびわれが発生し、2000 Kg/cm²となつた時のひびわれ幅は 0.05 mm, 帯筋応力度は 250 Kg/cm²であつた。

かぶりと最大付着応力度の関係については、かぶり 2 DのⒸが 1 DのⒶおよび無限大のⒹより付着応力度が多少大きい傾向を示しているが、かぶりがある値 (1 D) 以上になれば付着応力度にはほと

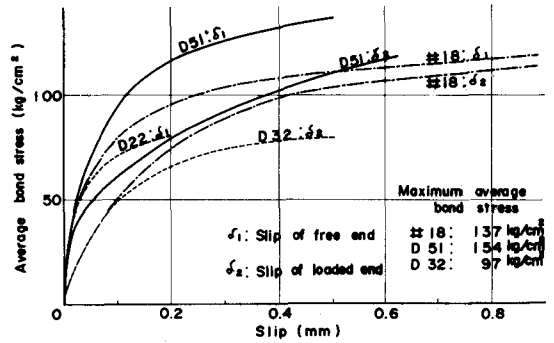


Fig 1 Bond Stress-Slip Curve in test(A)

Table 4 Kind of specimen in test(B)

Specimen	Size of bars	Stirrup pitch	Covering
A	# 18	30 cm	57 mm
B	# 18	30 cm	57 mm
C	# 18	15 cm	57 mm
D	# 18	30 cm	114 mm
E	# 18	—	∞
F	D 51	30 cm	51 mm
G	D 51	15 cm	51 mm
H	D 51	—	∞

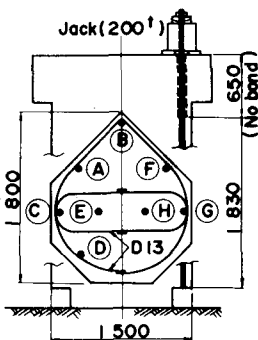


Fig 2

Loading method and Size of Specimen in test(B)

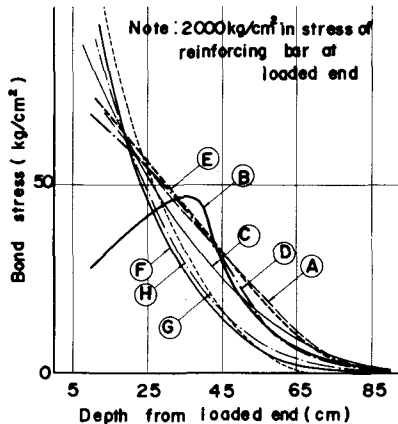


Fig 3 Distribution of bond Stress in test(B)

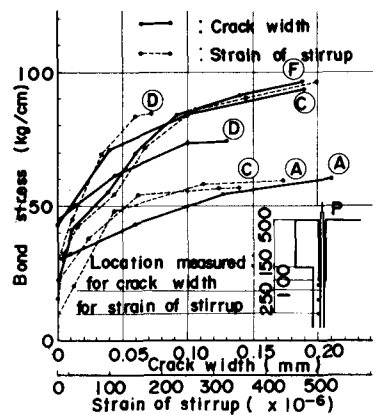


Fig 4 Relationship between bond stress, crack width and strain of stirrup in test(B)

んど影響しないものと考えられる。しかし、ひびわれに対しては、同じ付着応力度の場合、かぶり
 が大きいほどひびわれ幅は小さい傾向が認められた。

帯筋量が諸性状におよぼす影響については、# 1 8, D 5 1 とともに、帯筋 (D 1 3) 間隔を 3 0 cm
 から 1 5 cm にすることによつて、最大付着応力度は 1 0 ~ 1 5 % 増加し、ひびわれ幅は Fig 4 に示す
 ようにかなり小さくなり、帯筋応力度はほとんど変わらない傾向を示した。

1 8 と D 5 1 とを比較すると、最大付着応力度は D 5 1 の方がかなり大きい。また、付着応力の
 分布については、荷重端における鉄筋応力度が 2 0 0 0 Kg/cm² 程度までは同じ傾向を示すが、それを超
 えると # 1 8 は深さ方向になだらかな台形分布を示すのに対し、D 5 1 は荷重端で大きな付着応力度
 となる三角形分布を示す傾向がある。これは本試験のような静的載荷では、# 1 8 は D 5 1 より抜け
 出しやすい傾向を示すものであり、D 5 1 はフシが大きいので微細なひびわれが発生しても、その影
 響を受けにくいとためと考えられる。

5 引抜試験 (C)

1) 供試体と試験方法 本試験は、
 曲げモーメントが作用し上面で引張、下
 面で圧縮応力が作用しているフーチング
 中に埋め込まれた太径鉄筋 # 1 8 の引抜
 付着試験である。フーチング厚は、
 Route 210/5 P、橋脚と同じとし、さら

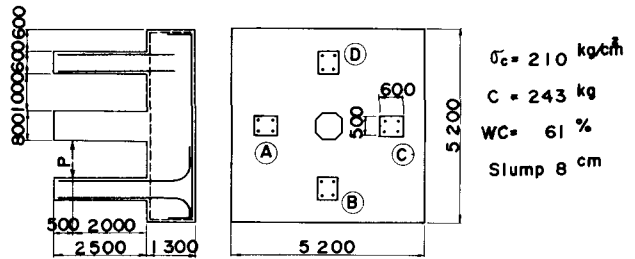


Fig5 Loading method and size of specimen in test(C)

に鉄筋形状も同じものが 2 体、直定着のものが 2 体の計 4
 体で、そのうち各々 1 体は我国の現状と比較するためフー
 チング上筋を配置し、フーチング上筋が付着性状におよぼ
 す影響についても検討した。フーチング中に埋め込まれた
 鉄筋には 2 0 cm 間隔でワイヤーストレインゲージを貼付し
 ひびずみを測定するとともに、フーチング上面のひびわれ幅
 および鉄筋の拔出量等も測定した。

Table5 Kind of specimen in test(C)

	Ancho- rage	Upper rei- nf.of found.	Note
A	Hooked	—	Same as Route 210/5 P ₂ pier
B		D 29	
C	Straight	—	70 cm in development
D		D 29	Length

2) 試験結果および考察 フーチング上面位置におけ
 る鉄筋応力度が 1 0 0 0 Kg/cm² 程度まで、付着応力度の分布
 はフーチング上面で最大値を示す三角形分布となり、直定
 着と L 型フック定着の両者はほぼ等しい傾向を示した。そ
 れを超えると Fig 6 に示すように、直定着の場合は鉄筋先
 端で最大値となる三角形分布を示し、L 型フック定着の場
 合はフーチング上面より約 3 0 cm 以上深くなると付着応力
 度が一定となるような台形分布を示した。

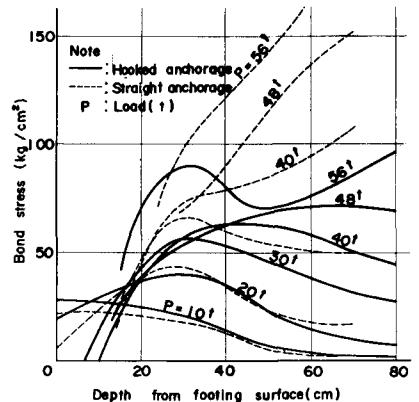


Fig6 Distribution of bond stress in test(C)

フーチング上面におけるひびわれは、荷重が 3 0 ~ 4 0
 t (フーチング上面における鉄筋応力度 2 0 0 0 ~ 3 0 0 0
 Kg/cm²) のとき鉄筋に放射状に発生し、荷重の増大に伴つ

て曲げ引張応力の影響により、ひびわれ幅およびひびわれ長が増加した。破壊が近くなるにつれて、フーチング上筋がない場合は、鉄筋を中心とした半径30~40cmの表面はくりによるひびわれが生じ、コンクリートが持ち上げられた。フーチング上筋がある場合にも表面はくりは認められたが、ひびわれは前者より少なかった。

破壊は、直定着の場合にはいづれも付着破壊による鉄筋抜け出しにより生じ、L型フック定着の場合には、フーチング上筋がないものが鉄筋降伏、あるものが鉄筋破断により生じた。鉄筋周囲に生じた円錐状のひびわれの深さは最大17cm程度で、フーチング上筋のある方がない方より浅い傾向があつた。また、荷重の増大に伴つてフーチング上面では、付着応力度はひびわれのために低下するが、各埋め込み深さにおける付着応力度はFig 7に示すように、コンクリートに引張応力が作用する位置では小さく、圧縮応力が作用する位置では大きくなる。しかも、引張応力が作用する位置の付着応力度は繰り返し荷重の回数が増加するにつれて減少し、逆に圧縮応力が作用する位置では増加する傾向がある。フーチング上筋の有無による付着応力度および鉄筋拔出量の相違については、直定着、L型フック定着の場合とも明確でないが、フーチング上面のひびわれに対しては効果が認められる。

6 ま と め

基礎的な付着試験(A)により、#18(D57)鉄筋は、材料的見地から、十分な付着強度をもつことがわかつた。柱を想定した引抜試験(B)では、付着性状はかぶりおよび帯鉄筋量の影響を受けて変化するが、かぶりを鉄筋径の2倍以上とるか、あるいはかぶりが鉄筋径以上で一定量(本試験ではD13, 15cm間隔)以上の帯鉄筋を用いれば、所定の付着強度が発揮できるものと推定できる。一方、かぶりおよび帯鉄筋量が不足すると鉄筋にそつた大きなひびわれを生じる危険性があり、付着力の大幅な低下が予想される。フーチング中に埋め込まれた柱の主鉄筋を想定した引抜試験(C)では、引張応力が作用しているコンクリート中における鉄筋の付着強度はかなり低下し、しかも繰り返し荷重の回数が増加するに従つて、低下する傾向が明らかになつた。しかし、埋込長を鉄筋径の1.2倍(70cm)とした直定着による場合でも、柱下端の鉄筋応力が5100Kg/cm²、平均付着応力度100Kg/cm²になるまで、埋め込み鉄筋は完全には引き抜けなかつた。またフーチングの上筋は、フーチング上面のひびわれおよび主鉄筋抜けだしに対して有効であると考えられる。

本実験の結果より前記橋脚柱の鉄筋が抜けだした原因を本実験の範囲で推定すると、#18鉄筋自身も付着特性に起因し破壊が生じたのではなく、大径鉄筋を使用する場合の配筋上に、以上に述べたような問題点があつたのではないかと思われる。

なお、本研究は首都高速道路公団 小村、一樹、オリエンタルコンサルタンツ 清野、忍足、和田、住友金属工業 白川、諸氏の御協力により行われたもので、ここに謝意を表します。

付記 本研究(その1)、(その2)、(その3)は理論解析および実験研究ともに、現在継続して行われており、その結果による最終的見解は、今後発表する予定である。

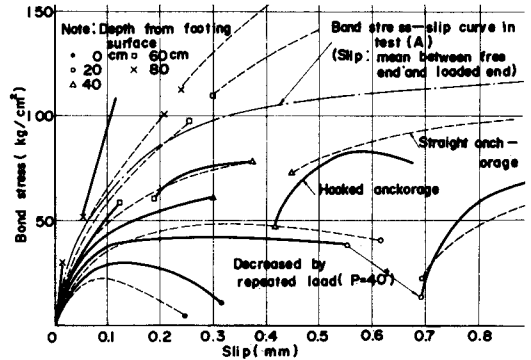


Fig 7 Bond stress-slip curve in test (C)