

PC 鋼線および鉄筋の付着について

—37.6.21. 福岡ビルにおいて、PC 工業協会九州地区講演会における講演要旨—

水 野 高 明*
渡 辺 明**

著者等は数年来 PC 鋼線ならびに RC 鉄筋の付着に関する実験的研究を実施している。本文ではプレテンション部材についての重要問題である PC 鋼線の付着試験結果の概要を報告し、合わせて PC 鋼線の付着機構と関連ふかい鉄筋引抜試験結果の一部を付記する。RC 鉄筋の付着機構に関する詳細については別途に発表する予定である。

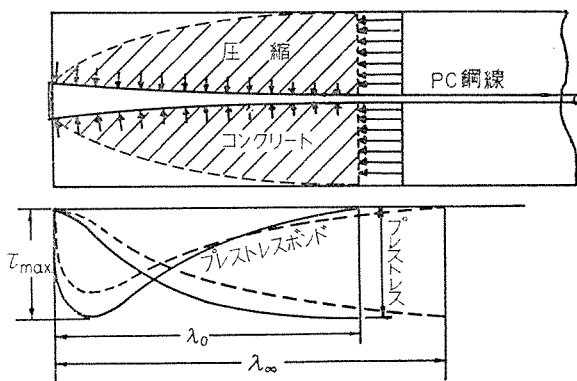
1. プレテンション部材の鋼線付着機構

プレテンション部材に所要のプレストレスを導入するために必要な鋼線端部の付着力を、プレストレス ボンドと仮称すると、このボンドが十分確保されることが、プレテンション部材を製作するうえの必要条件であることはいうまでもない。PC 鋼線とコンクリートとの間の付着力を次の5つに大別して考えることができる。

- (a) PC 鋼線とコンクリート間の純付着力
- (b) コンクリートの硬化収縮にともなう把握力
- (c) PC 鋼線緊張開放後の鋼線径の増加によるクサビ抵抗
- (d) プレストレスにもとづくコンクリートの横方向ひずみ (ポアソン効果) による把握力
- (e) 鋼線の表面のサビ、粗さ、等にもとづく機械的抵抗

このうち (c), (d) はプレテンション部材独特のボンドであり、(c) は特に重要な役割を演ずるものである。すなわち 図-1 に示すように、緊張力を解放された鋼線

図-1 プレテンション部材のボンド定着機構



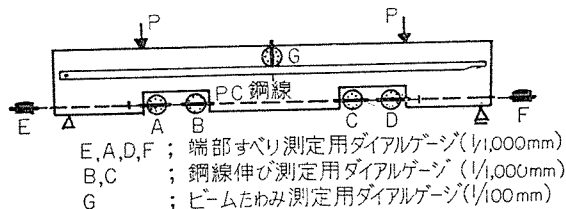
* 工博 九州大学教授, 工学部土木工学科

** 工修 九州大学助手, 同上

はいくぶん短縮し、したがって断面が膨張してコンクリートを押し、同時にクサビ形を形成して定着を強化するものと考えられ、その際まわりのコンクリートは縦方向プレストレスにともなう横方向ひずみを生ずる傾向があるから、ますます側圧したがって摩擦抵抗を増大するものと解される。図中実線は初期、破線は終極ボンドならびにプレストレス分布を示す。(e) は鋼線表面のサビとか凹凸にもとづくもので、異形鋼線、インデンテッドワイヤー、ストランド等に見られる付着力である。

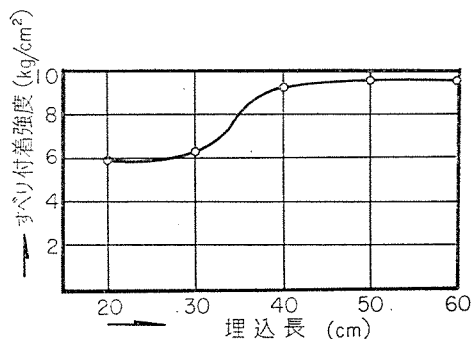
図-2 は予備実験として数年前に行なったはりボンド測定装置を示す。これでは PC ばかりに切欠部を設けて

図-2 はりボンド測定装置



鋼線を露出させ、1/1 000 mm ダイヤルゲージにより引張ひずみを測定した。同時にはり端部の鋼線すべりおよびたわみの測定をも行なった。この装置で実施したはり供試体の鋼線埋込み長は 20, 30, 40, 50, 60 cm で、鋼線径 5 mm についての埋込長と、最大付着強度との関係を図-3 にかかげる。付着応力は埋込長間の平均値で示したものである。これによると埋込長が 30~40 cm の間に

図-3 埋込長一すべり付着強度曲線 (径 5 mm)



付着強度の急増が認められる。もちろん埋込長が大きいほど全付着抵抗は増大するが、埋込長 40 cm 以上では平均付着強度はほぼ一定となる。すなわち径 5 mm の場合、普通に使用される程度の導入応力 (100 kg/mm² 前

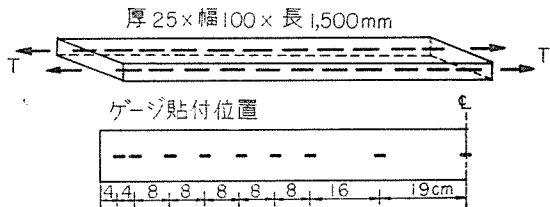
後) に対しては、はり端部に形成されるクサビの長さは 40 cm くらいで、これ以下では不十分であると認められる。

2 プレストレス ボンド応力分布ならびに 付着長

上記付着機構の考察と予備実験結果にもとづいて理論的に解析すると、プレストレス曲線は指数関数の形で導かれることとなる。この理論式の適否を検討するためには、プレストレス ボンド応力分布を実験的に求める必要がある。しかるに付着応力はこれを直接測定することが不可能であるから、鉄筋、鋼線、等の直応力を測定して、これより間接的に求める以外に方法がない。この直応力を測る場合にも、鉄筋、鋼線の表面を露出させると状態が変化するから不都合を生ずる。よって鉄筋の場合には、後述のように特殊のくふうを施して、鉄筋内部にひずみ計をはるることによって興味ある結果をうることができた。

ところが PC 鋼線はその径が小さいことと、材質が硬いために加工が困難で、鋼線自体のひずみを直接測定し得ない。そこで著者らは、図-4 に示すプレテンション板供試体を作成し、コンクリート表面に電気抵抗線ひずみ計 KP-1 (ゲージ長 20 mm) を貼付して、プレスト

図-4 プレテンション板供試体



レッシングによるコンクリートひずみを測定した。本試験で断面小なる板供試体を用いたのは、プレストレスの横断面方向分布の影響を極力除くためと、読みの絶対値をなるべく大ならしめて、測定精度を高めるためである。PC 鋼線の位置は板の中央に設計したが、完全に中央に入れることは施工上困難であり、特にこのような薄い板では鋼線のわずかの偏心が板の曲げに大きく影響するから、板の上下両面相對位置にひずみ計を貼りつけ、両方の読みの平均値をもって、この点のプレストレスとした。このようにしてコンクリートの圧縮応力より鋼線の引張応力を求め、さらに付着応力度を計算することができる。

鋼線の径、表面状態、凹凸、等による影響を見るため図-5 に記入した種々の鋼線を用いた。周囲にコンクリートの配合、強度、材令、試験日の弾性係数 E_c 等もあげてある。図-5 はコンクリート プレストレスの実測

図-5 コンクリート プレストレス分布

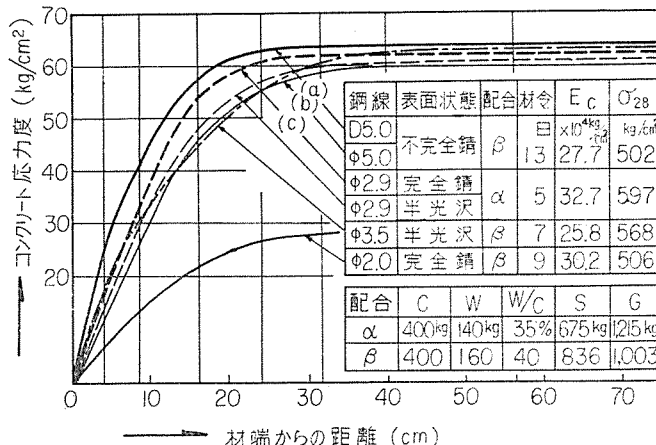
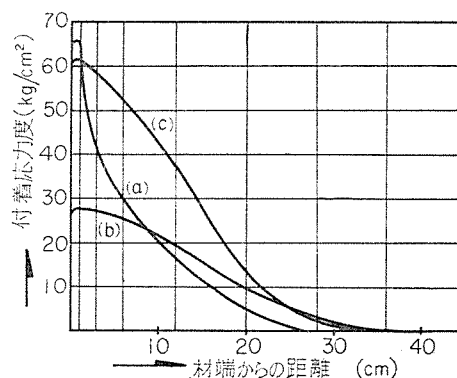


図-6 付着応力度分布



結果、図-6 はこれによって求めた付着応力度分布の数列を示す。なおここに表面半光沢としたのは納品直後のものであり、不完全サビ状態とあるのは、納品後 1 週間ぐらい屋外に放置した表面浮きサビ状態のものをいう。この実験結果を要約すると次のようである。

(a) PC 鋼線径一定の場合、付着長を支配するもっとも大きな要素は鋼線の表面状態であり、コンクリートの品質がこれにつぐ。

(b) コンクリート品質が同等である場合、普通鋼線 $\phi 5.0 \text{ mm}$ と異形鋼線 $D 5.0 \text{ mm}$ とを比較すれば、後者の方が付着長は短縮され、かつプレストレス曲線の勾配が端部よりでである。すなわち異形鋼線の方が材端近くに付着応力集中の傾向が大きい。

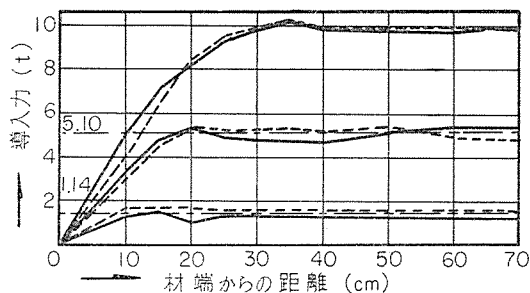
(c) $\phi 2.9 \text{ mm}$ について、表面サビの状態による差異を比較すると、完全サビ状態のものの付着長は、表面半光沢状態のものより短縮される。

(d) 表面状態を同じくする $\phi 2.9 \text{ mm}$ および $\phi 3.5 \text{ mm}$ なる 2 種の鋼線では、同一鋼線張力に対し、径小なる方の付着長が径大なるものよりも短い。

(e) 理論的には、コンクリートの弾性係数が大なるほど付着長が短かく、プレストレス曲線の勾配も急なはずであるが、以上の実験範囲ではその差異は判然としなかった。

京都大学 岡田教授、藤井 学氏等¹⁾は、著者等とほぼ同様な方針で $\phi 12.4$ mm, 7本よりストランドの定着長に関する実験を行ない、その結果を發表された。参考として図-7にこれをあげさせていただいた。同氏等の結論によると、定着効果に影響を与える要因中ストランド表面のサビの影響が、もっともいちじるしく、降伏点の80%に相当する緊張力による付着長は表面がさびているとき25cm、さびていないとき45cm程度となった。

図-7 PC ストランド供試体における導入力の分布 (京都大学の実験)



3. 鉄筋の付着に関する基本的性質

(1) PC ならびに RC のボンド現象

著者等は鉄筋の付着に関する基本的性質を究明するために丸鋼、異形鉄筋、異形ねじり鉄筋について、引抜き試験、押抜き試験およびはり試験を実施して、付着応力分布を精細に測定中である。このうち PC 鋼線のボンドと密接な関係あるものだけを取りだして、その概要を記述する。

表-1 RC および PC ボンド試験の比較

試験の種類	応 力	
	鉄筋, 鋼線	コンクリート
PC ばり試験	引張り	圧縮
RC ばり試験	引張り	引張り
鉄筋引抜き試験	引張り	圧縮
鉄筋押抜き試験	圧縮	圧縮

まず表-1に PC ばり試験ならびに RC 各種試験における鉄材およびコンクリートの応力を示した。これによって明らかに、PC ばりにおけるボンドは、現象的には RC 鉄筋引抜き試験に近い性質を有することとなる。前述のように PC 鋼線では、その直応力分布を直接に求め得ないが、鉄筋試験ではこれが可能で、これより付着応力分布を精密に定めることができる。したがって以上の所論により、PC 鋼線のボンドに関する基本的性質も、鉄筋引抜き試験結果より推定しようと思われる。

(2) 鉄筋の引抜き試験

付着応力度は、一般の計算において仮定しているよう

に、鉄筋表面に一様に分布するものではないから、正しい付着応力度分布を見出すことが要求される。

著者等は Mains²⁾ の発案にならい、鉄筋の内部に縦孔をうがって、ここにひずみ計を貼る方法を採用した。ただし Mains の方法そのままでは少なからぬ困難があるので、断面の半分をミリングマシンによってけずり落し、残りの半円に溝を切削して多数のポリエステルひずみ計 KP-6 (ゲージ長 6 mm) をはった。このような加工半円棒を2本重ね合わせて接着剤 PC-12 で接着した。リードワイヤーとしては初め径 1.4 mm のレーザーコードを用いたが、現在では径 0.35 mm の特殊エナメル線を用いて成功している。

(3) 引抜き試験結果

図-8 σ_s, τ_o 分布曲線 ($\phi 13$ mm)

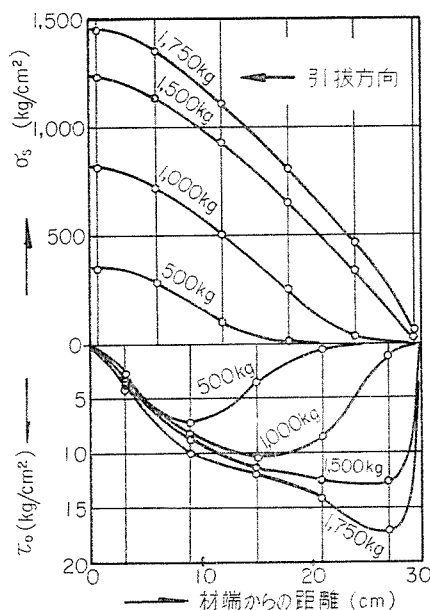
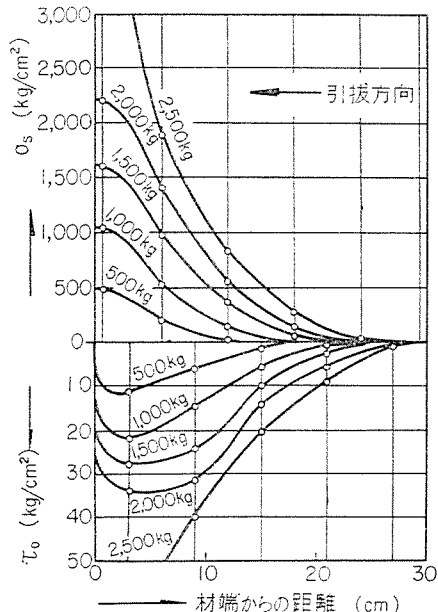
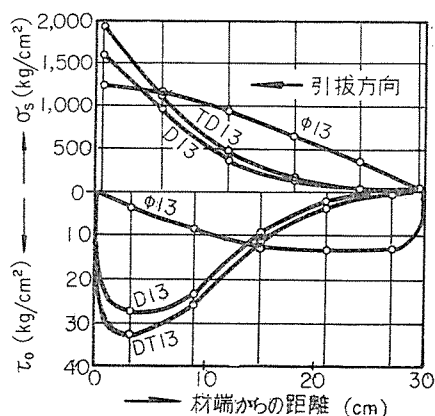


図-9 σ_s, τ_o 分布曲線 (D 13 mm)



引抜き試験の例として、図-8, 9 にそれぞれ丸鋼 ϕ 13 mm ならびに異形丸鋼 D13 mm (八幡製鉄製) の試験結果をあげてある。曲線に記入した数字は引張力, σ_s は引張応力度, τ_0 は付着応力度を表わす。また 図-10 は

図-10 同一荷重下鉄筋種類別 σ_s, τ_0 分布曲線



同一荷重下の鉄筋種別による応力分布の比較を示す。ここに DT と記したのは異形丸鋼をねじったものである。

引抜き試験結果を要約すると次のようである。

(a) 丸鋼では埋込長 40 cm, ϕ 13~ ϕ 25 mm に対して、すべてボンド破壊で丸鋼が抜け出した。

(b) 異形丸鋼 D13 mm, 異形ねじり鉄筋 DT13 mm では、鉄筋が破断し、異形鉄筋径 16 mm 以上では、すべてコンクリート破壊であった。もちろん、これらはコンクリート強度と鉄筋強度との関係に支配されることとなるが、異形鉄筋ではボンド破壊は一例もなかった。

(c) 荷重が小さい間は有効付着長は小さく、荷重とともに増大する。特に丸鋼では 図-8 で明らかなように、荷重の初期には有効付着長も最大付着応力度も、ともに増加してゆくが、ある引張り以上となると最大付着応力度の増大は停頓し、有効付着長の伸びが顕著となる。しかし埋込み終端に近づくと、それ以上付着長は伸び得なくなり、最大付着応力度は急激に上昇して引張力に抵抗することとなる。そして、ついに滑り出しを生じて破壊する。

(d) この場合、荷重端の方より次第に純付着力が失われて滑動が起こり、この現象は非荷重端の方へ波及するであろうが、滑動が起ってから鉄筋表面の粗さにもとづく機械的抵抗は残留して付着抵抗となる。

(e) 図-9 に示すように、異形鉄筋、ねじり鉄筋の場合には、付着応力の分布は丸鋼の場合といちじるしく異なる。すなわちこれらでは、有効付着長はある程度以上は伸び得ないで、最大付着応力度のみが増大する。換言すれば、異形鉄筋では鉄筋の滑動は起らず、静力学的には有効付着長以上の埋込長は不要といえよう。

参 考 文 献

- 1) 岡田 清・藤井 学・山本 勲: PC ストランドの定着長に関する研究, 土木学会 17 回年次学術講演会概要 IV, 昭和 37 年 5 月
- 2) R.M. Mains: Measurement of the Distribution of Tensile and Bond Stresses along Reinforcing Bars, Journal of ACI, No. 3, Vol. 23, Nov., 1951

1962. 7. 29 受付

(54 ページより続く)

ド イ ツ (Germany)

1. Betrachtungen zur Theorie und Praxis der vorgespannten, schiefwinkligen Plattenbrücken Polensky & Zöllner
2. Zur Relaxation von Stahldrähten "
3. Neubau der Mainbrücke bei Bettingen im Zuge der Bundesautobahn Frankfurt-Würzburg "

フ ラ ン ス (France)

1. Annales De L'Institut Technique Du Batiment Et Des Travaux Publics No. 157 Jan. 1961
2. " No. 161 Mai 1961
3. " No. 170 Feb. 1962
4. " No. 171 Mars ~172 ~Avril 1962
5. Association Scientifique de la Précontrainte Quatrième session L'études: 10 et 11 mars 1960

ポ ル ト ガ ル (Portugal)

Ponte De Servico De Bemposte Engenharia

ス ペ イ ン (Spain)

1. puente Beaucaire Instituto Eduardo

el rio Ródans Torroja de la
Junio-Julio 1961 Construccion y
Del Cements

2. puente para carretera " en Serre-Poncon

Junio-Julio 1961

3. puente pretensado " Junio-Julio 1961

4. Viaducto en esviaje " Noviembre 1961

5. asociación española del hormigón pretensado " boletin No. 59

6. " " boletin No. 60

7. " Instituto Tecnico boletin de circulacion De La Construccion lim. No. 58

8. utilizacion del hormigon pretensado en los viaductos urbanos " Mayo. 1961