

PC鋼線とコンクリートとの付着に関する一実験

東北大学工学部 正 員 後 藤 幸 正

東北大学工学部 正 員 植 田 紳 治

東北大学大学院 学生員 〇多 田 信 幸

1. まえがき プレテンション方式プレストレストコンクリートではPC鋼線とコンクリートとの付着によって初緊張力がコンクリートに導入される。したがって、PC鋼線とコンクリートとの付着強度を確保することはきわめて重要であり、付着効果に影響を及ぼす要因について検討を加えることは非常に大切なことと思われる。一般に、PC鋼線とコンクリートとの付着を増大させるのにPC鋼線の表面を人為的にさびさせることがよく行われている。しかしながら、さびがあまり進行するとPC鋼線の断面積が減少するなどの害があるため、付着の面から必要にしてかつ最小量のさび付けを行うことが実用上重要であると考えられるが、さびの程度を表わす基準が確立しておらず、それを表わすのにきわめて抽象的でありまじな表現法をとっているのが現状である。これらさびや鋼線の表面の凹凸が付着効果に与える影響については、現在までいろいろと研究されているが、まだ十分明らかにされていないようである。そこで本研究は人為的にさび付けをした丸鋼線や4種の表面形状の異なる鋼線（丸鋼線、2本より線、2種の異形鋼線A、B）を用いて、引抜き試験とプレテンション方式試験によって、PC鋼線とコンクリートとの付着効果に関して実験的に研究を行ったものである。

2. 実験材料およびコンクリート配合

使用したセメントはアサノ早強ポルトランドセメント、細粗骨材は宮城県白石川産、砂の比重は2.56、粗粒率は3.03、砂利の比重は2.58、粗粒率は6.70である。コンクリートの配合は表-1、PC鋼線の機械的性質は表-2にそれぞれ示す。

表-1 コンクリート配合表

	C (kg)	W (kg)	W/C (%)	A/A (%)	S (kg)	G (kg)	圧縮強度 σ_c	備 考
①	400	150	38	33	589	1189	$\sigma_c = 450$	さび付け引抜き試験
②	430	150.5	35	30	528	1233	$\sigma_c = 350$	さび付けプレテンション方式試験
③	430	163.4	38	30	508	1228	$\sigma_c = 300$	各種表面形状の比較試験

表-2 PC鋼線の機械的性質

名 称	寸 法			降 伏 点		破 断		弾性係数
	径 D (cm)	断面積 S (cm ²)	周 長 l (cm)	荷 重 (kg)	応 力 (kg/cm ²)	荷 重 (kg)	応 力 (kg/cm ²)	
丸鋼線	0.50	0.196	1.57	3300	16820	3700	17850	1.96×10^6
2本より線	0.41	0.133	1.29	2310	17400	2505	19250	1.85×10^6
異形-1	0.51	0.205	1.61	2900	14150	3140	19315	1.77×10^6
異形-2	0.42	0.140	1.33	2580	18430	2700	19285	1.52×10^6

3 実験方法

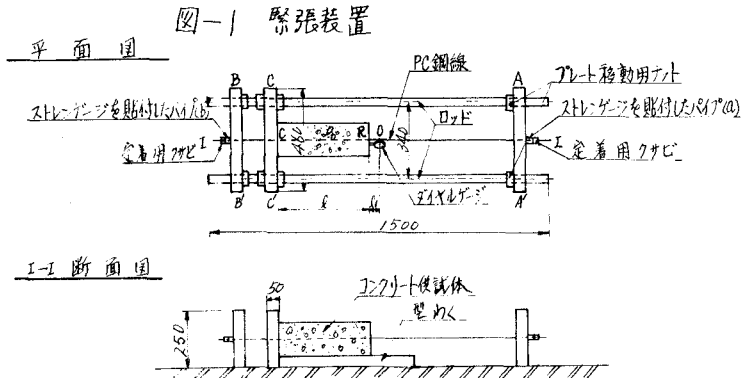
3-1 試験方法

a) 引抜き試験 供試体の形状寸法は $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ で断面中央に鉛直にPC鋼線を埋込み、検査7日 ASTM C-234-57Tに準じて試験を行った。

b) プレテンション方式試験 本試験の緊張装置は図-1に示す。導入端と非導入端のプレ

ートと定着用クサビとの間にストレインゲージを貼付したパイプを設置し、PC鋼線にかかる引張力を求めた。本実験においては導入端での引張力の減少量 P_1 と非導入端での引張力の減少量 P_2 を測定し、 P_1 と P_2 の差をコンクリートに與えられるプレストレスとした。 P_1 と P_2 の測定と併行して図-1に示すPC鋼線上の一点Oにダイヤルゲージを取りつけO点の移動を測定した。PC鋼線とコンクリートとの相対変位 S_R はO点移動量 S_0 から P_1 によるOR間のPC鋼線の弾性変形量のみを補正し、コンクリートやロッドの弾性変形などは無視した。

すなわち $S_R = S_0 - P_1 l / E_s A_s$ 二に、 $l = OR$ 間の距離、 $E_s = PC$ 鋼線の弾性係数
 $A_s = PC$ 鋼線の断面積、



3-2 PC鋼線のさびつけ方法およびさび量表示法

空气中でPC鋼線がさびる反応速度は非常に遅いので、筆者らは塩酸(100cc)と塩化ナトリウム(50gr)を水(100cc)にうすめた溶液にPC鋼線を約20分浸した後、恒温室に放置し人為的にさびつけをした。現在、さびの程度を表わす基準が確立してゐるが、それと表わすのに「さびる」といふあいまいな表現法をとつてゐる。そこで筆者らは、PC鋼線がさびたための重量増加をさびていないPC鋼線のものとの表面積で割つて、単位面積当りの重量増加を求め、これをさび量とした。すなわち、さび量は次の式で表わしてゐる。

$S = (W - W_0) / \pi D l$ 二に、 $S =$ 単位表面積当りのさび量(mg/cm^2)、 $W =$ さびつけられたPC鋼線の重量(mg)、 $W_0 =$ はじめのPC鋼線の重量(mg)、 $D = PC$ 鋼線の直径(cm)、 $l = PC$ 鋼線の長さ(cm)。

4 実験結果および考察

4-1 付着強度におよぼすさび量の影響

さび量と引抜き試験による付着強度との関係を表-3に示す。また、プレテンション方式試験でさび量の相違による P_1 と P_2 との関係を図-2にまた、 P_1 と S_R との関係を図-3に示す。これらの図から明らかなように、 P_1 の増加につれて P_2 、 S_R が急激に増大する事がみられる。このことは、PC鋼線とコンクリートとの付着が破壊されたために P_1 の増加につれて供試体のC側からPC鋼線が滑動をはじめたにみえと考へられる。PC鋼線における

表-3

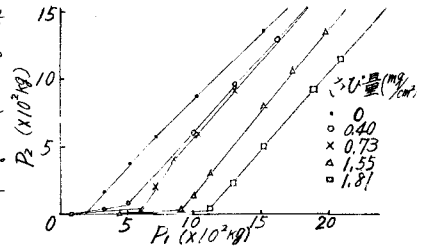
さび量(mg/cm^2)	付着強度(%)	%
0	3.9	1.0
0.40	12.4	3.2
0.73	13.8	3.5
1.55	20.6	5.3
1.81	24.6	6.3

$\%_0$: さび量ゼロのときの付着強度

$\%_R$: さび量Rのときの付着強度

さび量の付着強度に対する影響を比較する方法として、この限界における引張力減少量 $(P)_{cr}$ とその時のコンクリート供試体の寸法とに対する導入可能プレストレスカとし、 $(P)_{cr} \times P$ に鋼線一周長と埋込長さの積で割った値を付着強度とした。このようにして求めた付着強度とさび量との関係を表一四に示す。いづれの試験方法においてもさび量の増加に伴い付着強度は増えている。

図-2



付着強度を増大させた原因として、さびとのものの化学的活用か、さびたことにより鋼線表面に凹凸がでることによる機械的なものか、いづれが主な理由かを調べるために、さびを塩酸で洗い落したもの(さびあらい)、さびつけたもの、さびさせていないもの、これら3種のPC鋼線の付着強度を比較した。その結果を表一五に示す。この表から明らかなように、さびあらいのものの付着強度はさびつけたものの約80%である。また、同表から、さびさせていないものの付着強度に対するさびつけたものの付着強度増加量に占める割合は約65%である。従つて塩酸でさびを洗い落したことにより付着強度増加量が約35%減少したことになる。ここでPC鋼線のさびを塩酸で洗い落すことによつてさびが失われるだけでなく、鋼線表面の凹凸も多少角がとれて減少すると考えると、さびさせたPC鋼線の付着強度の増加の大部分は、さびたことによつてできた表面の凹凸によると考えられる。

図-3

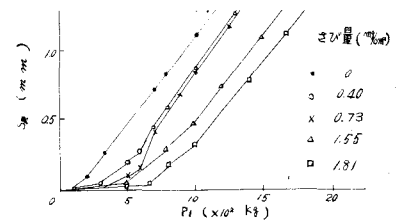


表-4

さび量 (mg/cm²)	付着強度 (kg/cm²)	Z ₀ %
0	21.5	1.0
0.32	38.6	1.8
0.58	41.3	1.9
0.96	42.8	2.0
1.62	51.0	2.4

Z₀: さび量ゼロのときの付着強度

Z_R: さび量 R のときの付着強度

表-5

さび量 (mg/cm²)	付着強度 (kg/cm²)	Z ₀ %	さび量 R に対する増加率 (%)	(b)/(a)
0	21.5	1.00	0	0
0.83	42.1 (37.4)	1.96 (1.74)	96 (a) (74)(b)	77
0.96	42.8 (41.1)	1.99 (1.91)	99 (a) (91)(b)	92
1.25	45.4 (33.6)	2.11 (1.56)	111 (a) (56)(b)	50
1.39	47.9 (34.9)	2.23 (1.61)	123 (a) (61)(b)	50
1.62	51.0 (38.3)	2.37 (1.78)	137 (a) (78)(b)	57

() 内は塩酸で洗ったときの値
a: さび量ゼロのときの付着強度、b: さび量 R のときの付着強度

4-2 付着におよぼす表面形状の影響
丸鋼線、より線、異形鋼線-A, B, の引抜き試験結果の一例とプレテンション方式試験結果の一例とを図-4, 5, 6, に示す。図-4の荷重-滑動量曲線には丸鋼線とより線に比して、異形鋼線-A, B, とではかなりの相違がみられる。引抜き試験における最大荷重時のPC鋼線の状況は、異形鋼線-Bでは全部、異形鋼線-Aでは約2/3破断するが、丸鋼線、より線では全部引抜ける。図-5, 6 とから明らかなように、導入端のPC鋼線の応力の減少率 δ_1 と非導入端の減少率 δ_2 との関係曲線と、 δ_1 と導入端のPC鋼線のめり込み量 S_R の関係曲線は同一PC鋼線においては非常に類似している。また、 δ_1 - δ_2 曲線におけるより線と異形鋼線-Bを比較してみると、より線においては、 δ_1 がある値に達するまでは、 δ_2 が非常に小さくその後、 δ_1 の増加につれて δ_2 は急激に増加する。一方、異形鋼線-Bでは δ_1 の増

加にしたがつては直線的に増加をし、最終的なコンクリートに導入されるプレストレス($\sigma_1 - \sigma_2$)は異形鋼筋-Bの方がかなり大きく、より細く異形鋼筋との付着材構はかなり相違するに
とがわかる。以上のようなことからみると、異形鋼筋の場合には前述した限界における引張力減少量(P_1)or P_2 だけでもとめること
によって付着特性を検査することは困難と考えられる。

5 おまけ

PC鋼筋とコンクリートとの付着に図1-3の抜き試験および
プレテンション方式試験を用いて、PC鋼筋のさび量、表面形
状が付着におよぼす影響について実験を行った結果、実験の範
围から次のことがいえると思われる。

1) 5mm丸鋼筋においては、さび量の増加にともない付着
強度はかなり増加する。例えば引抜き試験の場合、わずか0.4
mm/m程度のさび量でも、さびさせないものに比較して付
着強度は大約2倍になる。また、2.9mmの場合はさびの影響が
いっそう顕著で、引抜き試験の場合に鋼筋が破断した例がある。

2) PC鋼筋がさびることによる付着強度の増加のうち、大
部分はさびのために鋼筋の表面に凹凸が生じたことによると考
えられる。

3) PC鋼筋の表面形状によりPC鋼筋とコンクリートとの付着材構はかなり異なるようであって
プレテンション方式試験では、丸鋼筋、より線の場合、導入端の鋼筋をよめることによって非導入端
の鋼筋のストレスが当初ほとんど変化が小さく、ある点で急激に増大するが異形鋼筋の場合は全く異
なり、初めから少しずつ直線的に増加する。特に、異形鋼筋-Bの場合にはこの傾向が顕著であり、
導入端のストレスがかなり大きくゆるんでも非導入端のストレスは大きくなる。例えば、異形鋼
筋-Bでは引抜き試験が $15 \times 15 \times 30$ の場合は $\sigma_1 = 10,000 \text{ kg/cm}^2$ に対し $\sigma_2 = 2,000 \text{ kg/cm}^2$ となり、より線では σ_1
 $= 10,000 \text{ kg/cm}^2$ に対し $\sigma_2 = 7,000 \text{ kg/cm}^2$ となっている。

本実験は現在おこなっている中であり、PC鋼筋の表面形状による付着効果、伝達長の問題や、緊張装置
について今後検討し実験を行う予定がある。なお、異形鋼筋の付着材構については丸鋼筋、より
線とは全く違うもので今後十分に検討する必要がある、さびに関して本実験では一種類のもののみ
について行ったが、他の種類のさびについても検討する必要があると思われる。

〔参考文献〕

- 1) 坂部雄雄, 六車照, 森田司郎, ストランドの定着時の付着効果に関する実験的研究
「材料試験」第8巻第69号,
- 2) 猪股俊司, 加藤茂美, 異形PC鋼筋のプレストレス導入時における付着効果
「セメントコンクリート」No.153, 1959年11月号

