

高強度スパイラル筋を用いたPC杭の 振り耐力に関する実験

池 田 尚 治*
津 野 和 男**
偉 川 哲 光***

表-1 供試体一覧表

供試体 No.	軸方向鋼材			円周方向スパイラル筋						備 考
	A_s cm ²	A_c cm ²	P_t %	ϕ mm	A_s cm ²	S ピッチ mm	P_w %	巻き方向	σ_{sy} kg/mm ²	
1,2	6.16	452	1.36	7.4	0.40	50	1.33	一方向	130	中空断面
3,4	"	"	"	6.4	0.31	100	0.52	"	"	"
5	"	"	"	2×6.4	0.63	100	1.04	二方向 交 差	"	"
6	"	"	"	"	"	100	1.04	"	"	中実断面
7	"	"	"	7.4	0.40	50	1.33	一方向	70	中空断面
8	"	"	"	3.2	0.08	100	0.14	"	35	"

1. ま え が き

現在広く用いられているPCパイロは振りに対する耐力が小さく、したがってこれをそのままパイロ以外の構造、例えばパイロ・ベント橋脚等の構造で振りを受ける場合に用いるには問題があると思われる¹⁾。

本文は、PCパイロの振り耐力および靱性の改善を図る方法として、PCパイロに高強度スパイラル筋を適用することを考え、実験を行った結果について取りまとめたものである。

2. 実験の内容

2.1 実験材料

本実験で用いられたスパイラル筋は主として異形PC鋼線であり、素材径は $\phi 6.4$ mm と $\phi 7.4$ mm の2種類である。それらの降伏点応力度は $\phi 6.4$ mm、 $\phi 7.4$ mm ウルボンがそれぞれ 130.8 kg/mm²、 138.5 kg/mm² であり、 $\phi 7.4$ mm ウルボンDが 71.5 kg/mm² であった。

コンクリートの材令6週のシリンダー強度は 668 kg/cm² であり、ヤング係数は 0.33×10^6 kg/cm² であった。

2.2 供試体

供試体はPCパイロC種（有効プレストレス量 100 kg/cm²）としスパイラル筋は(1)に述べたものおよび $\phi 3.2$ mm の通常の製品に用いられている鋼線を用いた（表-1のNo. 8）。

供試体の寸法は外径 $\phi 300$ mm、肉厚 60 mm、長さ 2500 mm 計8体であり、中の2体はダブル方向配筋で、1体は中空部に中詰めコンクリートを打込み中実断面としたものである。供試体の養生は1か月間通常の湿潤養生とした。供試体の一覧を表-1に示す。

2.3 実験方法

本実験は都立大学の純振り載荷試験装置を用いて、図-1に示すように端部を補強した長さ 2.5 m の供試体

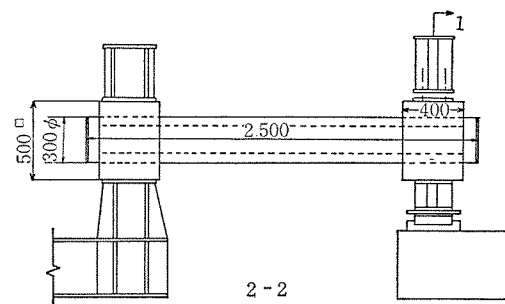
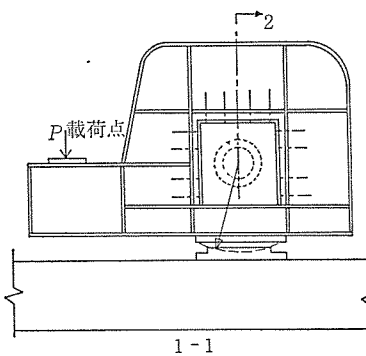
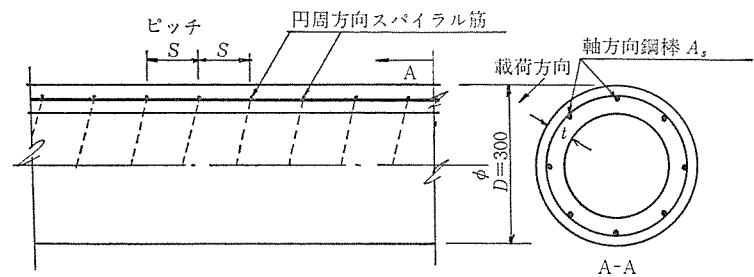


図-1 ねじり載荷装置図

* 東京都立大学助教授工学部土木工学科

** 首都高速道路公団第二建設部長

*** 高周波熱練(株)製品事業部

を中心間隔 2m で試験機の中にセットし、一端荷重によって振り試験を行った。

荷重段階は 0.2t 間隔でひびわれ荷重まで載荷した後、一旦ゼロ点に戻してから再び最大荷重まで載荷し、最大荷重に達した後もう 1 回ゼロ点へ戻してから終局荷重まで載荷した。

コンクリートのひずみの測定は 図-4 のようにワイヤーストレンゲージを貼付して測定した。

ねじり角の測定には供試体の軸方向に 70cm 間隔を標準として、ダイヤルゲージで計測した。ひびわれ幅はクラック・アイを用いて行った。

3. 実験結果および考察

振り試験によるひびわれ荷重、最大荷重および終局最大荷重を表-2 に示す。図-2 に振りモーメントと振り角の関係を示す。図-3 は測定されたひずみ値に軸方向プレストレスを考慮して求めた主軸の角度と振りモーメントの関係図の例である。ひびわれ分布状態およびひびわれ幅と荷重の関係は 図-4 と 図-5 に示す。また、ひびわれ分布状態から求めた平均ひびわれ角度は 表-2 に示したとおりである。

表-2 ねじり耐力および実測ひびわれの角度

供試体 No.	スパイラル筋			ひびわれ発生荷重 (ton)	最大荷重 (ton)	終局最大荷重 (ton)	実測ひびわれ角度 平均値 (°)	備考
	ϕ mm	P_w %	σ_{sy} kg/mm ²					
1	7.4	1.33	130.8	4.07	4.53	4.53	36°	中空断面
2				3.80	4.50	4.00	34°	
3	6.4	0.52	138.5	3.73	3.87	3.67	32°	"
4				3.60	4.00	4.00	31°	
5	2×6.4	1.04	138.5	4.13	4.33	4.47	34°	"
6	"	"	138.5	4.40	4.67	4.80	33°	中空断面
7	7.4	1.33	71.5	4.30	4.30	5.15	33°	中空断面
8	3.2	0.14	35	3.40	2.70	2.80	23°	"

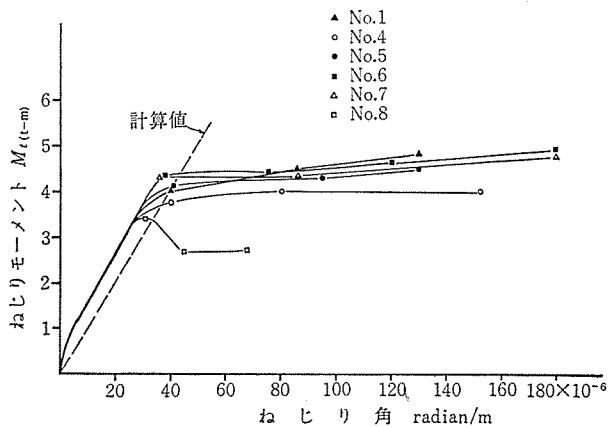


図-2 ねじりモーメントとねじり角の関係

以上に示した実験結果についての概説とそれに関する考察を以下に述べる。

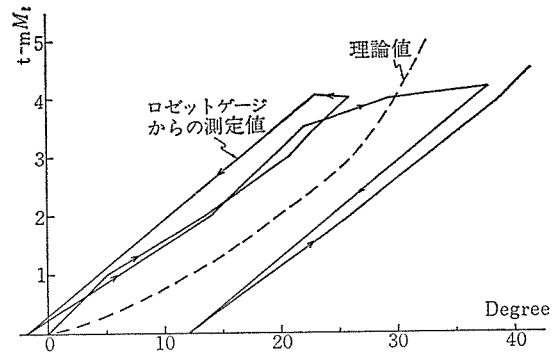


図-3 振りモーメントと主軸の角度の関係

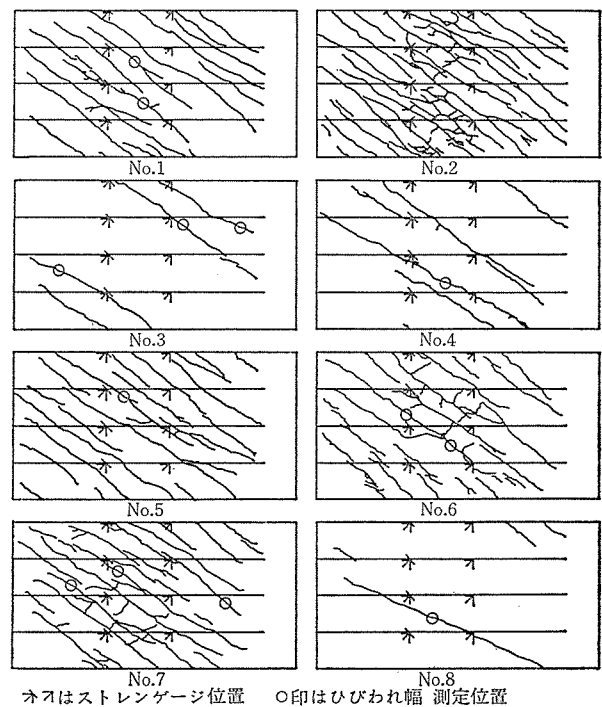


図-4 ひびわれ分布図

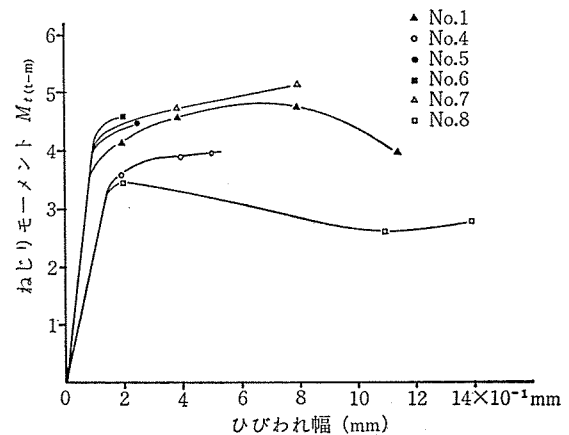


図-5 ねじりモーメントとひびわれ幅の関係

各供試体の耐力と変形は表-2、図-2に示すとおりであって通常のPCパイプであるNo. 8はコンクリートにひびわれが発生する直前に最大耐力を示し、ひびわれ発生と同時に耐力が80%程度に下がり、1本だけ発生したひびわれの幅がその後の変形によって1.4mm程度まで開いた。この時の振り角は、他の供試体の最終振り角の1/3程度であることから、通常行われているスパイラル補強では、耐力、ねばりともに不十分であることが明らかである。

一方、スパイラル筋比 P_w を0.52%としたNo. 3、No. 4供試体はコンクリートのひびわれが発生した後も耐力が低下せず、ひびわれも若干分散され、最終変形量も大きくなった。ひびわれ発生荷重もNo. 8に比べ約1割程度増大しており、この程度のスパイラル補強でもPCパイプは相当に振りに対して改善されることが示された。

その他の供試体は耐力、変形性状ともほぼ同様であった。中空部にコンクリートを埋めて中実にしたもの、スパイラル筋をダブル2方向で巻いたもの、およびスパイラル筋に降伏点がウルボンの約60%であるウルボンDを用いたものはいずれもその影響が顕著に現われなかったのである。このことはPCパイプのねじり耐力を高める場合、スパイラルはシングル巻きでよく、またスパイラル筋比 P_w が1.3%程度の場合にはスパイラル筋の降伏点が70 kg/mm²程度でも十分であることを示すものと思われる。中空部にコンクリートを中埋めした効果についてはひびわれ荷重に対してはわずかに有効に見えるが実用上は大差ないものと思われる。

前回行った実験¹⁾ではPCパイプがA種であったため軸方向プレストレスが40 kg/cm²であり、スパイラル筋は今回のNo. 8供試体と同様であった。その実験結果はひびわれ荷重が約2.0~2.6t、最大荷重が2.4~2.8tであり、今回の実験値と比べて相当に小さい。これは、今回の実験では軸応力が100 kg/cm²であるため、この差の影響によるものである。

ひびわれ発生前のPCパイプの振り変形は次式で表わされる。

$$\theta = T / \left\{ \frac{\pi}{32} (d^4 - d'^4) G \right\} = 10.2 \times 10^{-6} \times T \quad \dots\dots\dots(1)$$

- ここで θ : 単位長さ当りの振り角 (radian/m)
- T : 振りモーメント (t-m)
- d : パイプの外径
- d' : パイプの内径
- G : コンクリートの剛性係数
($E_c = 0.33 \times 10^6$ kg/cm², $\nu = 0.167$)

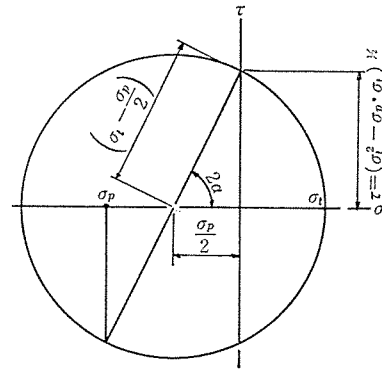


図-6 モール円によるひびわれ発生時のせん断応力度 (ただし、 σ は圧縮を負とする)

図-2に示すように計算値はほぼ実測値と勾配が一致している。

ひびわれ発生荷重については、軸方向のプレストレスを考慮すると図-6に示す関係から次式が誘導できる。

$$\tau = \sqrt{\left(\sigma_t - \frac{\sigma_p}{2} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_p}{2} \right)^2} = \sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t \cdot \sigma_p} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$M_t = -\frac{\pi}{32} (d^4 - d'^4) \cdot \frac{\tau}{r} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- ここで τ : 主引張応力度がコンクリートの引張強度 σ_t に達する時の振りせん断応力度
- σ_p : 軸方向の有効プレストレス (圧縮の場合を負とする)
- M_t : 振りモーメント
- r : パイプの半径

コンクリートの引張強度を $\sigma_t = 45$ kg/cm² とすれば、 $\tau = 80.5$ kg/cm² となり、ひびわれ発生時の振りモーメントは、 $M_t = 3.71$ t-m と計算される。この値は中空断面供試体の実験値の平均値 3.86 t-m とほぼ一致している。

主応力の方向については、図-3に示すように振りモーメントの増加とともに軸線となす角度が増加し、ひびわれ発生以前では理論値と実測値とが良く一致している。ひびわれ発生後においては、ロゼットゲージによる測定値によると主応力の方向は変形の増大とともに増大することが示されている。このことはスパイラル筋によって、ある程度PCパイプが補強されていると発生したひびわれが成長する場合、あるいは荷重の増加に伴って新たにひびわれが発生する場合、ひびわれの角度が相当に大きくなることを示すものである。このような現象はPC部材の斜めひびわれの角度が必ずしもひびわれ発生時の角度でないことと同じことである。

実測したひびわれの角度は、表-2に示すように振り補強の少ないNo. 8供試体は23°であるがその他の供

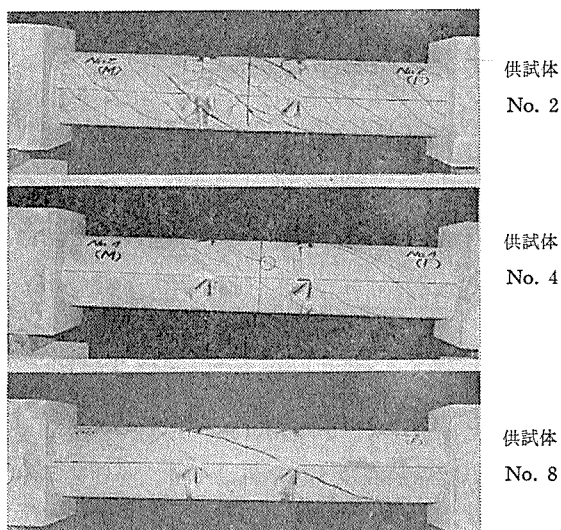


写真-1 供試体の破壊状況の例

試体ではいずれも 31° 以上となっており、上に述べた傾向をよく表わしている。なお、No. 8 供試体におけるロゼットゲージの測定値から計算したひびわれ角度は 22° であり、実測角度とよく一致している。一方、式(3)を適用して計算したひびわれ角度は、図-3 に示すとおりであって、ひびわれ発生荷重である $M_t=3.4\text{ t}\cdot\text{m}$ の場合には 28° となって、若干実験値と異なってくる。これは試験装置の摩擦、偏心等の影響によるものと思われる。

写真-1 に供試体の破壊状況の例を示す。

4. パイルベント橋脚用 PC パイルについて

今回までの限られた実験結果から、振りを受ける場合のパイルベント橋脚用 PC パイルの設計について結論を下すことのできないことは当然であるが、得られた結果から若干の考察を行うことは可能であると思われる。

まず軸方向プレストレスについてであるが実際に構造物に使用された場合には、軸力として死荷重や活荷重が作用するためにプレストレスによる軸が常に振り耐力に

有利に作用するとは限らず、場合によっては危険側に作用することも考えられる。したがってパイルに導入するプレストレスとしては 100 kg/cm^2 程度が限度ではないかと思われる。

次にスパイラル筋であるが、耐力、靱性の点から 0.5% 以上のスパイラル筋比 P_w は必要であると判断される。この場合、材質としては、ひびわれ後の復元性の点で高強度の PC 鋼線を用いることは、ある程度有益であると思われる。ただし、降伏点応力度が 70 kg/mm^2 以上の鋼材を $P_w=1.3\%$ 以上用いることは明らかに不経済である。

部材のねじり耐力に対しては、スパイラル筋のほか、軸方向の鋼材も有効に作用することから、軸方向には、PC 鋼線のほかに、 $\phi 9$ 程度の鉄筋を 8 本程度入れることも必要と思われる。柱部材として PC パイルを用いる場合には振りモーメントによるせん断のほか曲げせん断も累加して作用するので、個々の構造物中での断面力を十分に把握して、PC パイルを設計することが必要であろう。

5. おわりに

PC パイルを杭以外の部材として応用するには種々の実験的な検討が必要である。本報告が今後行われる実験計画等に何らかの参考になれば幸いである。

本実験を行うに当り御配慮を賜った都立大学村田二郎教授に深甚の謝意を表します。また、実験に御協力いただいた都立大学土木材料研究室の富田嘉雄氏ほかの職員の方々ならびに信田佳延君ほかの学生諸君、供試体製作に御協力いただいた東急コンクリート(株)に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 津野和男：PC 杭のねじり耐力に関する実験，プレストレス コンクリート p. 47, Vol. 16, No. 5, Oct. 1974

1977. 7. 13・受付

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート橋の設計・施工上の最近の諸問題

体 裁：A4判 116 ページ

定 価：1500 円 送 料 400 円

内 容：(1) PC 橋の施工開始前の諸問題，(2) PC 橋の工事ならびに施工管理について，
(3) 新しい PC 設計方法について，(4) 最近の話題の橋梁

お申込みは代金を添えて(社)プレストレストコンクリート技術協会へ