

大阪市土木局 正員 松川昭夫
 東京製綱(株) 根来広平
 富士製鋼(株) 正員 内川千彦

1. まえがき

大阪市が現在建設中である、都市計画街路新庄大和川線の淀川を横断する淀川新橋は、中央径間、216mの斜張橋であるが、この斜張橋のケーブルには、道路橋では世界で初めてのプレハブストランドを用いることに決定している。ケーブルは上下2段になっており、上段ケーブルには、PPWS-154、16本、下段ケーブルにはPPWS-127、12本を用いる。このため、プレハブストランドの諸性能につき各種の試験を行なっているが、そのうち、曲げ引張試験および振動減衰試験につき報告する。

2. プレハブストランドの曲げ引張試験

1) 目的

斜張橋あるいは吊橋のケーブルは、通常塔頂部等にサドルを置き、ケーブルの方向を変える。このため、サドル位置のケーブルは、引張力のほか、曲げおよび支圧力をうける。プレハブストランドのサドル位置における力学的性能を調べるため、PPWS-61、PPWS-91を用いて、サドル上で曲げて引張試験を行なった。

2) 装置および方法

横型1,000^リ引張試験機の中央に図-1のような曲げ半径1,500mmの中央サドルおよび押えサドルを配置し、その各々および装置全体に引張りに応じて自由に移動できるように、ローラーをとりつけた。サドルの断面形としては、ストランドの形状と同じ6角形のもの、円形のものを作製し、PPWS-61には円形のもの、PPWS-91には6角形のものを用いた。

ストランドの長さは約5mとし、サドル上に設置して、ストランドの各頂点にワイヤストレインゲージを、添付して、曲がり部および直線部のひずみを測定しながら、引張荷重をかけ、切断まで引張った。ストレインゲージの添付箇所を図-1に合わせ示し、図-2にストランド断面のストレインゲージを添付したワイヤを黒丸で示した。なおサドル位置では、サドルの関係で、上記の全ワイヤには、ゲージを添付することはできなかった。最初、荷重を5tかけて、ひずみ計を0にセットし、以後20^リ毎に160^リまでひずみの変化を測定した。なお、サドル部の曲げ応力を測定するため、上記のように5^リでひずみ計をセットしたのち、サドルを取り去って、再び5^リの引張荷重を加えて、その値を測定した。

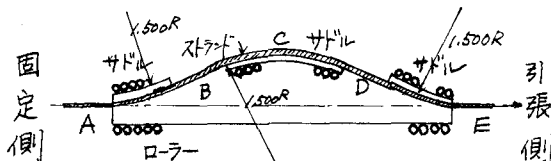


図-1 試験装置とゲージ添付位置

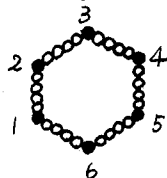


図-2 ゲージ添付ワイヤ

3) 測定結果

各荷重段階におけるひずみの測定結果の一部を図-3に示す。サドル部(C部)における曲げひずみの測定結果を表-1に示す。C-2位置では、ワイヤが多少ずれていたものと、考えられるので、この値をとり除き、図-3の値に、曲げの影響によるひずみ量、 1.540×10^{-6} を加えると、図-4になる。

また、ストランドの切断結果を表-2に示す。

表-2 ストランドの切断結果

試料	切断荷重(t)	ワイヤの平均引張強さ kg/mm ²	計算値との比 (%)
PPWS-61	209	178	98.1
"	214	178	100
PPWS-91	310	174.8	98.6
"	314	174.8	100

なお切断箇所はすべて、押えサドルと定着部との間の直線部分(E部)であった。

4) 考察

ひずみ測定の結果より(図-3参照)A、E部の引張応力にくらべ、C部ではかなり低い値となっている。またB、D部ではワイヤによりバラツキはあるが、ほぼA、E部と同じ引張応力となっているものと言える。このC部での引張応力の低下は、サドル部において、ストランドに摩擦が働いき、直線部の引張力が、サドルに伝達されることによるものと考えられ、その値は、160t時で、約20%である。

また、C部の曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = E \frac{d}{2R}$$

ここに d : ワイヤ径
 R : サドル半径

で計算した値、33.3 kg/mm²にほぼ等しくなっている。しかし、図-4のように、この曲げ応力を加えると、C部での応力は最大となるが、表-2のように、破断は、定着部近くの直線部分で起っているの、切断の時点では、曲げの影響は、あまり入っていないものと推察される。

表-1 C部の曲げひずみ

部位	$\epsilon \times 10^{-6}$
C-2	-690
C-3	-1.540
C-4	-1.540

図-3 荷重とひずみ分布

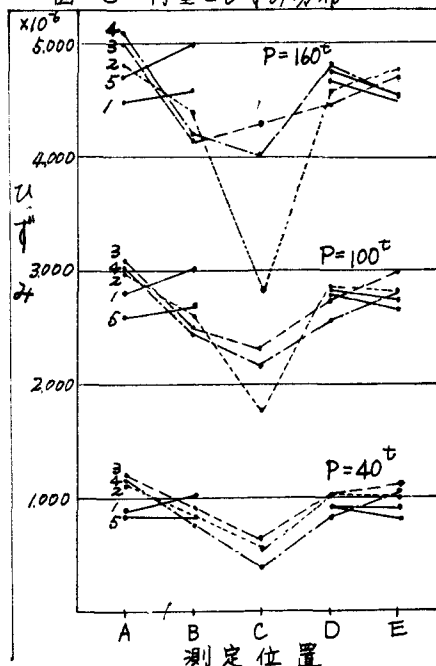
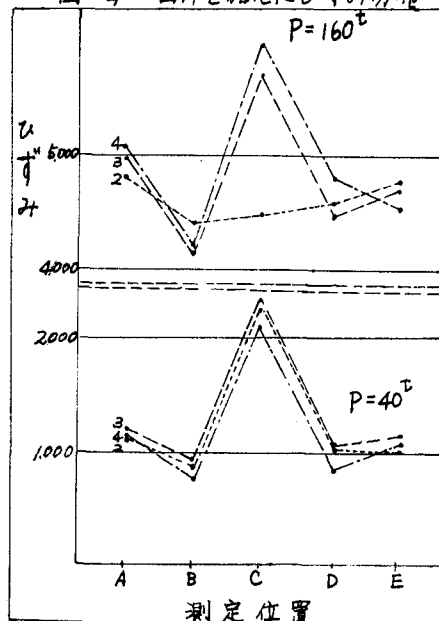


図-4 曲げを加えたひずみ分布



3. プレハブストランドの振動減衰試験

1) 目的

プレハブストランドの振動減衰性を把握するために PPWS-91 を用い、静的引張試験によるヒステリシスループより減衰特性を求める方法および荷重をかけたストランドに直接横振動を与え、この振動減衰曲線より、減衰特性を求める方法の2種類を行なった。ストランドとの比較のため、同様にロックドワイヤロープ56mm中についても行なった。

供試体の諸元、および引張試験結果を表-3に示す。

表-3 供試体の諸元

引張試験結果

種別	径 (mm)	標準断面積 (mm ²)	保証切断荷重 (t)	重量 (kg/m)	切断荷重 (t)	伸び (%)	弾性係数 (kg/mm ²)
PPWS-91	55(計算値)	1,786	280	14.0	320	4.5	20,300
LCR-D	56	2,180	260	18.4	280	4.0	16,100

2) ヒステリシスループによる方法

供試体をアムスラー型 1,000^t引張試験機にかけ、カセットメータにより伸びを測定し、ヒステリシスループを描かせて、これより全減衰エネルギーを計算した。PPWS-91では、切断荷重の約 $\frac{1}{3}$ である。100^t、LCR-Dでは、同じく95^tの初期荷重とし、9^t、20^t、30^tの荷重振中とした。なお、LCRは試験前に、130^t、30分、2回のプリテンションをかけている。

測定結果を表-4に示す。

表-4 測定結果

これより、次のように対数減衰率を求める。

a) 初期荷重のもとで1サイクル当りの仕事量 W_s

$$W_s = 2V/W \times 45^\circ (26^\circ + 45^\circ)$$

b) 静的応力下のエネルギー損失係数: ζ_s

$$\zeta_s = D/W_s$$

c) 振動による1サイクル当りの仕事量 W_d 振動が固有振動数で行なわれるとして

$$W_d = \pi/E \times (45^\circ)^2 V$$

初期荷重が働いている場合は

$$W_d = \pi/2 \times W_s$$

d) 振動応力下のエネルギー損失係数: ζ_d

$$\zeta_d = D/W_d$$

e) 対数減衰率: δ

$$\delta = \pi D/W_d$$

求めた結果は表-5の通りである。

測定項目	PPWS-91	LCR-D
試料長さ l (cm)	333.2	294.5
断面積 A (cm ²)	17.86	22.40
ワイヤ体積 V (cm ³)	5.951	6.400
弾性係数 E (kg/cm ²)	2.03×10^6	1.61×10^6
初期荷重 P_0 (t)	100	95
初期応力 σ_0 (kg/cm ²)	5,600	4,240
応力振中 45° (kg/cm ²)	1. $\pm 1,120 (\pm 20^\circ)$ 2. $\pm 504 (\pm 9^\circ)$	1. $\pm 1,340 (\pm 30^\circ)$ 2. $\pm 909 (\pm 20^\circ)$ 3. $\pm 402 (\pm 9^\circ)$
全減衰エネルギー D (kg-cm)	1. 970 ($\pm 20^\circ$) 2. 260 ($\pm 9^\circ$)	1. 2,020 ($\pm 30^\circ$) 2. 1,230 ($\pm 20^\circ$) 3. 350 ($\pm 9^\circ$)

3) 横振動による方法

アムスラー型 1,000t 試験機により, PPWS-91 には, 38t, LCR-D には, 50t の荷重をかけたまま, 中央部に落錐により, 衝撃を与えて弦振動を起こさせ, アスカニヤ社製振動計により, 振動波を記録し, 50 倍に拡大して数値を読みとった。なお, 供試体の長さは 4.5m にそろえた。

対数減衰率 δ は 次のように求められる。

$$\delta = T \cdot \varepsilon = \frac{1}{\pi} \log \left| \frac{x_m}{x_{m+n}} \right| \quad \begin{array}{l} \text{こゝに } T: \text{周期} \\ \varepsilon: \text{減衰係数} \end{array}$$

PPWS-91 の場合, 振動グラフより読みとり,

$$\delta = \left(\frac{1}{4} \log \frac{43}{31} + \frac{1}{6} \log \frac{46}{27} \right) \times \frac{1}{2} = 0.0357$$

$$T = 88/4 \times 1/2000 = 0.011 \text{ 秒}$$

同様に, LCR-D の場合

$$\delta = \left(\frac{1}{4} \log \frac{87}{56} + \frac{1}{4} \log \frac{95}{60} \right) \times \frac{1}{2} = 0.0465$$

$$T = 61/4 \times 1/2,000 = 0.0076 \text{ 秒}$$

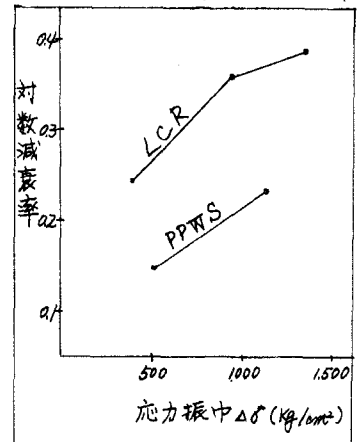
4) 考察

ヒステリシスループより求めた対数減衰率と, 応力振巾との関係を図-5 に示す。即ちプレハブストランド, ロックドコイルとも, 応力振巾が増すと, 減衰性も大きくなる。またプレハブストランドとロックドコイルを比較すると, 初期荷重を切断荷重の $1/2.8$ にした場合, 即ちほぼ設計荷重にした場合では, ロックドコイルロープの方が, プレハブストランドにくらべ, 約 1.5 倍の減衰性を有することがわかる。これは, 平行なワイヤの集合体であるストランドに比し, 捻られたロープの方が, 弾性変形, 摩擦等による内部エネルギーの消散が大きいと予想されることから, 当然の結果であろう。横振動を与えることによる対数減衰率の測定でも, 同様にロックドコイルの方が, 振動減衰性が大きくなっている。これらの測定結果では, 対数減衰率は, ロックドコイルロープで 0.025~0.045, プレハブストランドで 0.015~0.035 という値になっている。

表-5 対数減衰率

初期応力 ± 応力振巾	PPWS-91	LCR-D
5,600 ± 1,128 (kg/cm ²)	0.0236	—
5,600 ± 504	0.0148	—
4,240 ± 1,340	—	0.0388
4,240 ± 909	—	0.0360
4,240 ± 402	—	0.0246

図-5 応力振巾と対数減衰率



- 参考文献 1. 山口, 白木, 中川, 「つり橋のつり索に対する振動減衰性の研究」 三菱重工技報
2. 原, 上田 「ワイヤロープの振動減衰について」 第21回土木学会年次学術講演会
講演概要