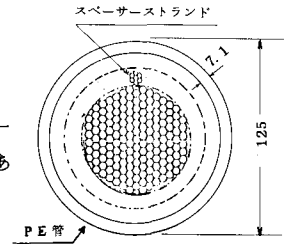


日本道路公団 正員 川人達男
石川島播磨重工(株) 正員 安田敏雄
石川島播磨重工(株) 正員 ○ 島田忠幸

1. ま え が き 振動法によるケーブル張力の測定は、現場における計測が簡単であることから、最近
はニールセン橋・斜張橋等の架設工事に利用されることが多く、この面に関してこれまでいくつか報告がな
されている。一方、斜張橋のケーブルには、防蝕を目的としてケーブルの周囲にPE管(Poly-Ethylene
Tube)を取りつけ、架設完了後にケーブルとPE管の間をセメントミルクで充填する形式のケーブルが採
用される例が増えている。セメントミルクを充填すれば、ケーブルとPE管は一体となって振動するが、セ
メントミルクを充填しないときは、それぞれ別個に振動する可能性がある。このような状態におけるケー
ブル張力を振動法によって測定するとき、PE管の影響についての考察が必要である。

本報告は名港西大橋の架設工事に於いて当面した上記の問題について、その測定結果と理論的考察につい
てとりまとめたものである。今後の測定資料の一助となれば幸いである。

2. 測定方法と結果 測定したケーブルの断面構成の一例を図-1に示す。
このケーブルは、直径5mmの鋼線:163本から構成されるパラレルワイヤ
ースtrandであり、その周囲はスぺーサースtrandを螺旋状に巻きつけてあ
る。外側のPE管とケーブルの間は架設完了後セメントミルクを充填するが、
それ以前では空隙状態にある。表-1にケーブル単位長さ重量を示す。



断面積; 3,201mm²
弾性係数; 20,000kg/mm²

図-1 ケーブル断面図

今回の名港西大橋の架設においては、振動法によるケーブル張力の測定結果
を油圧ジャッキの結果と対比した。表-2は図-1に示すケーブルについての
両者の対比を示す。なお、ケーブル(長さ:66.38m)は断面径に比較して
十分長いので、ケーブル曲げ剛性の振動数の計算結果に与える影響は無視する
ことができる。

表-1 ケーブル重量

鋼線	25.1 (88.7%)
スぺーサー	1.1 (3.9%)
PE管	2.1 (7.4%)
合計	28.3 kgf/m

振動数はPE管の外側に加速度計を取りつけて測定したが、PE管内部に空
隙部が存在するにもかかわらず、ケーブルのスペクトルは問題なく検出するこ
とができた。これはケーブルの微振動がケーブルとPE管との接触部を経由し
て、PE管に伝達されたと考えることができる。

表-2の油圧ジャッキと振動法の測定結果の対比において、振動法による測
定については、ケーブル単位長さ当りの重量として、PE管の重量をも含めた値(w_1)と、PE管の重量
を除いた値(w_2)のときのケーブル張力を示す。明らかにPE管の重量を除いたときの張力が、油圧ジャ
ッキの値と一致していることがわかる。つぎに、これに関する考察を行なう。

3. PE管のあるケーブルの振動 PE管の下部は固定であるが、上部はスライド可能な状態にあり、
ケーブルは傾斜があるので、PE管の自重の一部はケーブルによって支持されている。このような状態にあ
るPE管の固有振動数を推定することは容易ではないが、いま仮りに両端固定のケーブルと考え、平均張力
として自重の1/2(70kgf)を想定して、文献(1)に示される近似式から振動数を求めると、最低次の振
動数は0.11Hzとなる。実際には高次の振動数が卓越するものと思われるが、いずれにしてもケーブルの
振動数(表-2)よりはかなり低いと考えてよい。

ケーブルが振動すると、ケーブルとPE管の間で衝突が起きるが、これは図-2に示すバネ系でモデル化

できる。ケーブルとPE管のそれぞれの質量を M_1 , M_2 , 衝突前の速度を v_1 , v_2 , 衝突後の速度を v'_1 , v'_2 , とする。運動量保存則より

$$M_1 v_1 + M_2 v_2 = M_1 v'_1 + M_2 v'_2 \quad (1)$$

$$\frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1} = -e < 0 \quad (2)$$

ただし、 e は反発係数を示す。(1) (2)より衝突後の速度は、

$$v'_1 = \frac{(M_1 - eM_2) v_1 + M_2 (1 + e) v_2}{M_1 + M_2} \quad (3)$$

$$v'_2 = \frac{M_1 (1 + e) v_1 + (M_2 - eM_1) v_2}{M_1 + M_2} \quad (4)$$

となる。衝突直前のケーブル及びPE管の変位を $x_1(t_0)$,

$x_2(t_0)$ とすると、式(3), (4)から衝突後の速度が求まる。図-2 ケーブルとPE管の衝突のモデル化

時刻 $\tau = t - t_0$ におけるケーブルおよびPE管の変位を y_1 ,

y_2 とすると

$$y_1 = x_1(t_0) \cos \omega_1 \tau + \frac{v'_1}{\omega_1} \sin \omega_1 \tau$$

$$= \frac{v'_1}{\omega_1} \sqrt{1 + \frac{x_1^2(t_0)}{(v'_1/\omega_1)^2}} \sin(\omega_1 \tau + \theta_1) \quad (5)$$

$$y_2 = x_2(t_0) \cos \omega_2 \tau + \frac{v'_2}{\omega_2} \sin \omega_2 \tau$$

$$= \frac{v'_2}{\omega_2} \sqrt{1 + \frac{x_2^2(t_0)}{(v'_2/\omega_2)^2}} \sin(\omega_2 \tau + \theta_2) \quad (6)$$

ただし $\tan \theta_1 = \frac{x_1(t_0)}{(v'_1/\omega_1)}, \tan \theta_2 = \frac{x_2(t_0)}{(v'_2/\omega_1)}$

$M_1 \gg M_2$ であるので、式(3), (4)より $v'_1 \approx v'_2$ である。 $\omega_1 \gg \omega_2$ であるので、式(5), (6)より衝突後PE管の振幅がケーブルに比較して著しく大きくなることがわかる。衝突はケーブルが ω_1/ω_2 回振動するごとに起こり、そのときケーブルの波形は乱れるが、 $\omega_1 \gg \omega_2$ であるので、回数は少なく卓越振動数の算出に対する影響は小さい。

表-3は架設中における18本のケーブルについて、振動法と油圧ジャッキとの張力比較を示す。両者よく一致していることがわかる。

4. まとめ PE管とケーブルの間にセメントミルクを充填していない状態では、両者は一体となって振動しない。このときのケーブル張力を振動法によって測定するとき、PE管の質量をケーブルの慣性項の中に入れなければ良好な測定結果を得る。その理由は、PE管とケーブルの間に衝突が生じるが、PE管の振動数が小さいので衝突後PE管の振幅が大きくなり、かつその衝突回数が少ないのでケーブルの卓越振動数算出に影響しないからである。

(謝辞)本研究をまとめるにあたり、日本道路公団名港西大橋工事々務所および現地共同企業体の関係諸氏の援助を頂いたことを記し、ここに厚く謝意を表します。

参考文献 1) 新家, 広中, 頭井, 西村: 振動法によるケーブル実用算定式について, 土木学会論文報告集, 第214号, 1980

表-2 測定誤差に及ぼすPE管の影響

油圧ジャッキ	振 動 法				
	ケーブル 振 動 数	$w_1=0.0283$ tf/m	$w_2=0.0262$ tf/m		
張力(T_1)		張力(T_2)	$(T_2-T_1)/T_2$	張力(T_2)	$(T_2-T_1)/T_2$
89.5 tf	1.37 HZ	94.8 tf	5.6 %	88.4 tf	-1.2 %
93.1	1.42	101.9	8.6	95.0	2.0
110.9	1.54	119.9	7.5	111.8	0.8
135.9	1.71	148.1	8.2	137.8	1.4
159.7	1.83	169.7	5.9	157.8	-1.2

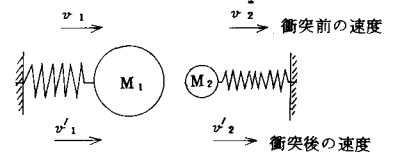


表-3 ケーブル18本の測定値の比較

NO.	振動法(tf)	油圧ジャッキ(tf)	
(1)	X = 132	Y = 131	X/Y = 1.003
(2)	X = 135	Y = 135	X/Y = 1.000
(3)	X = 126	Y = 130	X/Y = 0.969
(4)	X = 126	Y = 129	X/Y = 0.977
(5)	X = 123	Y = 122	X/Y = 1.008
(6)	X = 118	Y = 120	X/Y = 0.983
(7)	X = 135	Y = 134	X/Y = 1.007
(8)	X = 135	Y = 136	X/Y = 0.993
(9)	X = 120	Y = 122	X/Y = 0.984
(10)	X = 120	Y = 117	X/Y = 1.026
(11)	X = 141	Y = 141	X/Y = 1.000
(12)	X = 141	Y = 140	X/Y = 1.007
(13)	X = 115	Y = 115	X/Y = 1.000
(14)	X = 123	Y = 120	X/Y = 1.025
(15)	X = 132	Y = 135	X/Y = 0.978
(16)	X = 132	Y = 135	X/Y = 0.978
(17)	X = 108	Y = 110	X/Y = 0.982
(18)	X = 113	Y = 115	X/Y = 0.983
		平均	0.995