

## 既設構造物の補強に使用される外ケーブルの繰返し引張特性

日本道路公団 正会員 中原 浩昭<sup>\*1</sup> エスイー 正会員 木部 洋<sup>\*2</sup>  
住重鐵構工事 正会員 池田 茂<sup>\*3</sup> 住友重機械工業 正会員 藤本 朗

### 1. まえがき

既設橋梁の補強対策として外ケーブル補強工法は有効な手段であり、PC橋で多くの実績があるものの、現状における鋼橋に対する実施例は少ない。

その理由として、(1)桁形式の鋼橋にプレストレスを導入する実績が近年になかった、(2)死荷重に対する応力振幅の比率がPC橋に較べて大きい、(3)PC鋼より線を用いた場合、安全率が不明確などが挙げられる。これまで、外ケーブル補強工法に用いられたケーブルは、PC鋼より線が多く、PC橋では導入軸力を $0.6P_u$  ( $P_u$ : 引張荷重) とするのが一般的である。

一方、鋼橋におけるケーブルは、吊橋・斜張橋やニールセンアーチに、平行線ケーブルやスパイラルロープを安全率 $[2.5 \sim 3.5]$ <sup>1)</sup>として用い、PC鋼材より低い軸応力で使用する傾向にあった。鋼橋の外ケーブル補強に対して、PC鋼より線を用いるに際して、明確な導入軸力の規定がなく、これまでの実施例として、 $0.26 \sim 0.28P_u$ <sup>2)</sup>、 $0.53P_u$ <sup>3)</sup>などがある。

また、活荷重での過積載車の存在<sup>4)</sup>から、繰返し荷重の下で降伏点(0.2%永久伸び)近くまで達すれば、残留伸びが蓄積するため、導入軸力の減少することが懸念される。

### 2. 目的

本報告では、SEEE/F170TSケーブル(多重よりPC鋼より線)の0.2%永久伸び耐力に対する繰返し引張試験と10,000回繰返し引張試験を実施し、設計において想定した導入軸力に対して、低下の懸念がないこと、鋼橋(合成桁)における外ケーブルの許容応力度や安全度照査<sup>5)</sup>と繰返し引張特性との関係などを確認することが目的である。

### 3. 実験概要

#### 3.1 耐力に対する繰返し引張試験

全長9mの反力台を用い、SEEE/F170TS外ケーブル(表1)に上限荷重 $0.6P_u$ (1,008kN)までの繰返し引張試験を3回を行い、 $0.6P_u$ でナット定着後1時間の荷重変化を測定した。その後、0.2%永久伸び耐力(上限荷重1,640kN)に対する繰返し引張試験を4回行った(図1)。ケーブルの緊張には、

2,000kNセンターホールジャッキを用い、固定側にはセンターホール型ロードセルを配置して荷重を測定した。なお、引張荷重 $P_u$ は、ミルシート値とする。

#### 3.2 10,000回繰返し引張試験

2,000kN動的試験機用ジャッキ(電気油圧サーボ)(図3)を用いて、荷重制御により10,000回の繰返し引張試験を行った(図2)。

使用したケーブルは、SEEE/F170TS、 $L=3.55\text{m}$ 、下限荷重を $0.6P_y$  ( $P_y$ : ミルシート値)として、試験体A(振幅荷重194kN、上限荷重1,112kN $<0.73P_y$ )、試験体B(振幅荷重306kN、上限荷重1,224kN $<0.8P_y$ )、10,000回の繰返し引張終了後に残留強度確認のための引張試験を行った。また、繰返し荷重が作用していない材料と比較するために、同一材料による静的試験を別に行い比較した(表3)。

キーワード: 外ケーブル, PCケーブル, 繰返し引張試験, 動的引張試験

連絡先: \*1 〒422-8046 静岡市中島235-1 TEL:054-286-5181 FAX:054-286-5778

\*2 〒160-0023 新宿区西新宿6-3-1 TEL:03-3340-5529 FAX:03-3340-5545

\*3 〒140-0001 品川区北品川5-9-41 TEL:03-5449-2742 FAX:03-5449-2744

表1 ケーブル緒元

項目	諸元
構成	7×15.2
断面積(mm <sup>2</sup> )	970.9
規格降伏点荷重(kN)	1,428
[ミルシート]	[1,640]
規格引張荷重(kN)	1,680
[ミルシート]	[1,855]
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	185
[ミルシート]	[190]
ナット定着間長(m)	9.65

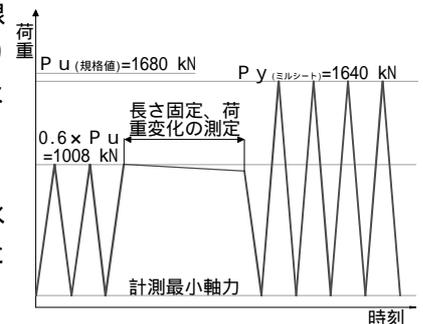


図1 耐力に対する繰返し引張試験要領

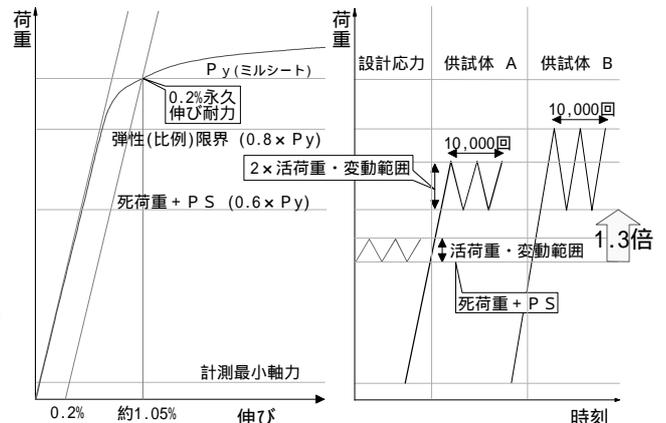


図2 ケーブル強度と10,000回繰返し引張試験要領

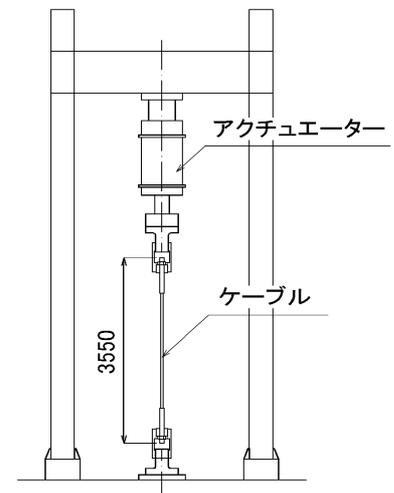


図3 10,000回繰返し引張試験装置

4. 実験結果

4.1 耐力に対する繰返し引張試験

上限荷重0.6Pu(1008kN)までの繰返し引張試験では、荷重 - 伸び曲線は3回とも同じで、残留伸びは生じなかった。

ナット定着直後の軸力低減を静観し、その荷重は直後1時間で、1,004 ~ 1,002kN、2kNの軸力減少し、その後の約1.5時間で全く変化しなかった。

その後、ミルシート耐力を上限に4回の繰返し载荷した結果、累積の伸びは1.53 ~ 1.73%まで変化し、弾性係数は、初回のみ182N/mm<sup>2</sup>であり、2 ~ 4回目は約175N/mm<sup>2</sup>となり、4%程度低減した(表2、図4)。

4.2 10,000回繰返し引張試験

試験体A、試験体Bとも10,000回の繰返し引張载荷では、断線しなかった。両試験体とも、初回载荷では、残留伸びが0.03%生じたが、その後10,000回間の残留伸びはまったく生じなかった(図5：試験体A)。また、初回除荷以降の弾性係数は、初回より若干高くなるが非常に安定している。

また、10,000回繰返し引張载荷の後、静的引張試験を行い、ケーブルの残留強度を確認した(図6)。ここで、繰返し载荷しない同一ロット材料の比較試験体の静的引張試験と残留強度試験の値を比較すると、残留強度試験の方が降伏点、引張強度、伸びとも若干高い値を示した(表3)。

5. まとめ

外ケーブル補強工法に用いるケーブルは、降伏点(0.2%永久伸び耐力)を越える荷重が一時的に作用した場合、0.7%程度の残留伸びが生じた。载荷荷重が誤差程度降伏点を越えたことから、0.2%永久伸び耐力でかなり明確な降伏状態を示した。また、本文で詳述していないが、ケーブルの比例限界を調査し、多くのPC鋼より線で比例限界/降伏点 0.8であることも分かった。これらのことと、過積載車両の荷重も含めて考え、外ケーブルに導入するプレストレスを検討する意味で本実験を行い、以下の知見が得られた。

- ・初回の载荷サイクルで、残留伸び(約0.03%)を生じたが、その後のサイクルでは10,000回まで残留伸びは生じない。また、ケーブルの弾性係数についても、初回サイクルの除荷以降全てのサイクルで安定している。
- ・0.6Py(初期軸力) ~ 0.8Py(設計活荷重に対する軸力の3倍程度に相当)の10,000回繰返し载荷に対して、十分な耐力を保有している。なお、この応力の範囲・繰返し回数は、ケーブルの許容疲労強度にもほぼ相当するものである。

【参考文献】

- 1.5) (社)日本道路協会；道路橋示方書・同解説(共通編、鋼橋編)、pp364-365<1>、pp289<5>、1996.12
- 2) 八塚博、柏木亮二、山田金喜、名取暢、渡辺泰行；既設鋼鈹桁橋のプレストレス導入による補強、橋梁と基礎、Vol.30、No.3、pp.15-24、1996.3
- 3) 山田淳、椎名陽一、藤江直行、細井義弘；3径間連続鋼床版箱桁橋の外ケーブルによる補強、土木施工、42巻5号、pp.30-37、2001.4
- 4) (社)日本道路協会；鋼橋の疲労、pp23-25、1997.5

表2 耐力に対する繰返し引張試験

回数	伸び (%)	残留伸び (%)	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
1回目	1.53	0.67	182
2回目	1.65	0.77	175
3回目	1.7	0.82	176
4回目	1.73	0.85	175

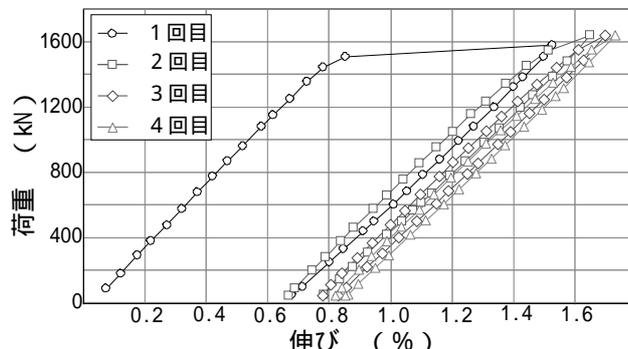


図4 耐力に対する繰返し引張試験結果

表3 10,000回繰返し引張試験

項目	単位	静的試験 (同一ロット)	動的試験		
			試験体A	試験体B	
上限荷重	kN		1,112 (0.73Py)	1,224 (0.8Py)	
下限荷重	kN		918 (0.6Py)	918 (0.6Py)	
振幅荷重	kN		194	306	
振幅応力	N/mm <sup>2</sup>		200	315	
最大繰返し回数	回		10,000	10,000	
繰返し速度	Hz		05 ~ 1.75	08 ~ 1.2	
断線			なし	なし	
残留強度*)	降伏点	kN	1,530	1,545	1,550
	引張強度	kN	1,762	1,770	1,773
	伸び	%	4.35	4.7	4.8

\*) 供試体A、Bは、10,000回载荷後の強度。

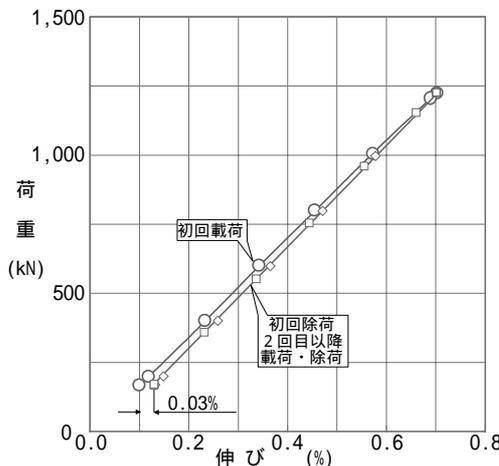


図5 10,000繰返し引張試験(試験体A)

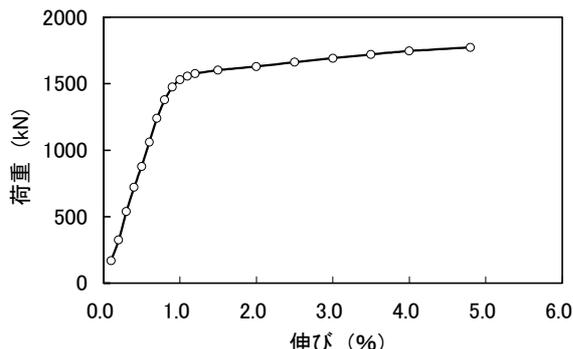


図6 残留強度試験(試験体B)の荷重伸び曲線