

## 斜材ケーブル用防水カバー

極東鋼弦コンクリート振興(株)	正会員	○板谷	英克
極東鋼弦コンクリート振興(株)	正会員	山口	徹
東京ファブリック工業(株)		熊谷	洋一
東京ファブリック工業(株)		宮内	智久

### 1. はじめに

高度経済成長期以降社会資本として、多くのPC構造物が整備された。それら構造物は供用数十年以上経過しており、長寿命化を図るための新しい技術が求められている。とりわけPC斜張橋は1980年以降にその多くが建設され、PC斜張橋の耐久性を維持するための対策を期待する声が高まっている。また1990年半ば以降では、PC斜張橋に代わりエクストラドーズド橋の実績が増加し、新設されるエクストラドーズド橋では、長寿命化を図るための様々な試みが行われてきた。

その中、斜張橋やエクストラドーズド橋の耐久性は、斜材ケーブルの耐久性に因るところが大きく、即ち斜材ケーブルの防錆を確保することが重要なポイントと考え、新しい防水カバーの開発を行った。

供用中の斜材ケーブルの定着体は、図-1に示すように雨水等が斜材ケーブルやその保護管を伝って、定着体内部に侵入する可能性があるため防水カバーが取り付けられている。一方、斜材ケーブルは、供用中の風によるケーブルの振動や気温の変化により伸縮を繰り返している。そのため、定着体内部への雨水等の浸入を防ぐ目的で取り付けられている防水カバーは、ケーブルが複雑な挙動をする中で止水性が保たれなければならない。本稿では、斜材ケーブルと定着体との接合部に設置する防水カバーについて、止水性能はもちろんのこと供用時のケーブルの挙動に追従し、さらに既設ケーブルへの後付も可能な構造とした防水カバーの性能試験に関して報告する。

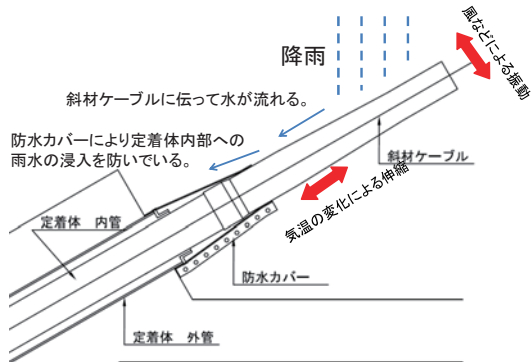


図-1 定着体への水の浸入経路

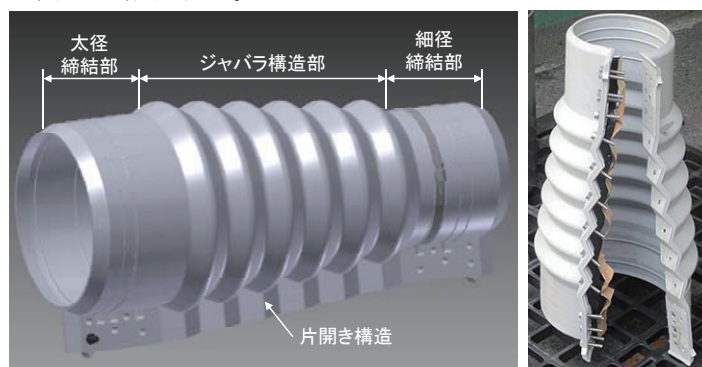


図-2 防水カバーの構造

### 2. 防水カバーの構造

従来の防水カバーは、斜材ケーブルや定着体に固定する締結部がずれている現象が確認されている事例もあり、締結部の止水性が損なわれている可能性が考えられる。これは、斜材ケーブルの挙動に追従する構造を防水カバーが有していないためと考えている。そのため本防水カバーは、図-2に示すように本体をジャバラ構造とすることで斜材ケーブルの挙動に追従させ、斜材ケーブルや定着体に固定する両端の締結部は定着体内部への雨水等の浸入を確実に防ぐ構造とした。また、片開き状の構造とし交換や既設橋への取り付けも対応できるようにしている。取り付けは、片開き部をボルトにて締め付け、両端の締結部を定着体やケーブルへ締付バンドにて固定する構造である。

基本色は黒色または白色としており、取り付ける橋梁の景観に合わせ、着色することを可能とした。

### 3. 防水カバーの材質

防水カバーは、供用期間中に曝露環境化にあるため十分な耐候性が要求される。そのため本防水カバーの材質には、一般にゴム材の中で耐候性に優れるEPDM（エチレンプロピレンジエンゴム）を選定した。材料の基本物性を表-1に示す。表中の参考規格は、構造物施工管理要領（日本高速道路株）のゴム支承に用いられるゴム材の規格を引用した。本防水カバーには、材質に耐候性のよいEPDMを使用しているが、経年により本防水カバーの取り付け部材であるボルトやバンドの緩みにより止水性の低下が懸念されるため、橋梁の点検時に確認し不具合が認められた部分については、ボルトやバンドを締め直すなど適切な処置を施し機能を回復させることで長期の耐久性が期待できる。

表-1 防水カバーの材料の基本物性

項目	単位	試験値	試験方法	参考規格	
破断伸び	%	760	JIS K 6251	450以上	
引張強さ	N/mm <sup>2</sup>	18.6	引張試験	10以上	
老化試験	25%伸張応力変化率	%	±0	JIS K 6257	-10~+100 (70°C×72hr)
	伸び変化率	%	-7	空気加熱老化試験	-50以上 (70°C×72hr)
耐水性 (質量変化率)	%	2	JIS K 6258 浸せき試験	10以下 (蒸留水温度55±2°C) (浸せき時間72hr)	
耐オゾン性	-	亀裂なし	JIS K 6259 静的オゾン劣化試験	肉眼観察で亀裂ないこと ( (40±2°C) ×96hr, 50pphm, 50%伸張)	
耐オゾン性(低温)	-	亀裂なし		肉眼観察で亀裂ないこと ( (-30±2°C) ×96hr, 50pphm, 50%伸張)	
耐寒性	-	-55	JIS K 6261 低温衝撃ぜい化試験	衝撃ぜい化温度が-30°C以下であること	

表-2 解析結果

### 4. 防水カバーの変形状態の解析

一般的な環境に設置される場合、防水カバーは、締結部の止水性が保たれていれば内部に水が浸入することはないと考えている。しかし、積雪を伴い防水カバーが雪で覆われてしまうような環境の橋梁に設置された場合、水が内部に浸透しないよう防水カバーの締結部の他、片開き部においても止水性が重要となる。そのため、設計形状で変形解析を行い片開き部の合わせ面がどのように変形するかを検証した。

解析は、本防水カバーの設計形状をモデル化し図-3に示す方向に変位を与え、合わせ目の開き量を算出した。表-2に各方向に変形させた際の合わせ面の最大開き量を図-4に解析時の変形図を示す。合わせ面の最大開き量は、引張方向で1.2mm程度、縦方向に変形させた際に0.6mm程度の隙間が生じることが分かった。そのため、変形時でも合わせ面に隙間が生じないよう構造を改良した。

		合わせ目の開き量
伸縮方向	引張方向	1.2mm
	圧縮方向	0mm
振動方向	縦方向	0.6mm
	横方向	0mm

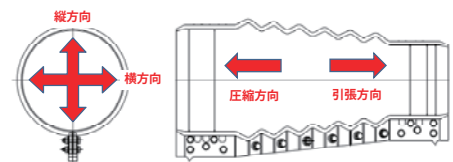


図-3 変形の方向

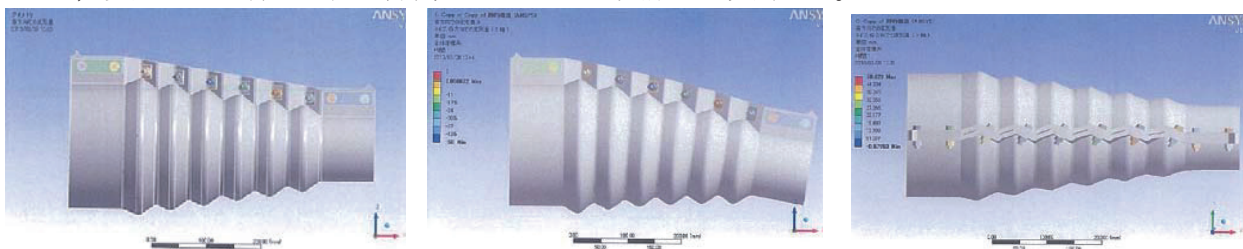


図-4 変形図

### 5. 止水性能の確認試験

防水カバーの止水性を評価する試験方法として、ケーブルの振動や伸縮の挙動を想定した試験条件を定め、表-3に示す疲労試験を実施し止水性能を確認した。試験で使用した供試体を図-5に示す。

### 5. 1 伸縮による止水性能

気温の変化による斜材ケーブルの伸縮に対する止水性能を確認するためにケーブル軸方向（図-6の伸縮方向）に繰り返し変位を与えた。試験装置概要図を図-6に示し、試験状況を写真-1に示す。

伸縮方向の繰り返し回数は、温度変化により1日1回伸縮することとし、橋梁の定期点検の頻度がおよそ5年～10年/回で計画されることからその倍の期間20年間に相当する日数7300日 $\approx$ 8000回とし、春夏秋冬の季節毎に変位条件を変えて行うこととし各季節で2000回、载荷速度0.15Hzで実施した。

設定した変位量は、実際に斜材ケーブルがどの程度伸縮しているかの事例がないため、100mのケーブルにおいて、温度変化が60℃（道路橋示方書の鋼橋で寒冷な地方「-20℃～40℃」）の場合のPC鋼材の伸縮量を算出し、 $\pm 30\text{mm}$ を本防水カバーの設計変位量とした。しかし、1日で60℃の温度変化があることは考えにくく現実的ではない。実際には、国内各地域の1日の温度変化の平均が約10℃程度（理科年表より）であり、その場合のケーブルの長さの変化量は、10mmとなる。試験では、厳しい環境を考慮し1日の温度変化を20℃と想定し、変位量は $\pm 10\text{mm}$ とした。また、季節を考慮した場合、冬場は気温が低くケーブルが縮むことから防水カバーは伸び、夏場は気温が高くケーブルが伸びることから防水カバーは縮む。そのため、春と秋想定試験では、防水カバーを標準長の状態で行うが、夏と冬想定試験では、予め防水カバーを夏想定で20mm縮めた状態、冬想定で20mm伸ばした状態で試験をすることとした。詳細な試験設定については、図-7参照。

### 5. 2 ケーブルの振動による止水性能

風などによるケーブルの振動に対する止水性能を確認するためにケーブル軸直角方向（図-6振動方向）に繰り返し変位を与えた。試験装置概要図を図-6に、試験状況を写真-1に示す。

変位の方向は、変形解析結果から振動方向で片開き部に最も影響のある図-3に示す縦方向とした。繰り返し回数は、風速10～20m/sでレインバイブレーションを伴う場合を想定し、 $\pm 10\text{mm}$ で200万回振幅させた。

表-3 疲労試験の設定条件

疲労試験項目		基本寸法	変位量	変形範囲	繰返し回数
		温度による伸縮に対する性能 (ケーブル軸方向)	春・秋想定	620mm	$\pm 10\text{mm}$
夏想定	600mm		$\pm 10\text{mm}$	590～610mm	2000
冬想定	640mm		$\pm 10\text{mm}$	630～650mm	2000
					合計8000回
振動に対する性能 (ケーブル軸直角方向)		基本寸法	変位量	変位方向	繰返し回数
		620mm	$\pm 10\text{mm}$	縦方向	200万回

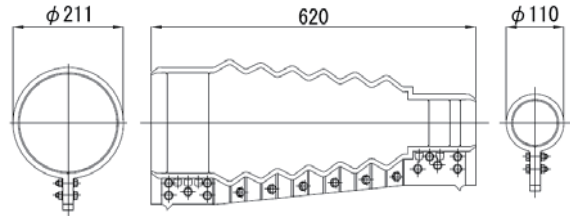


図-5 供試体 概略図

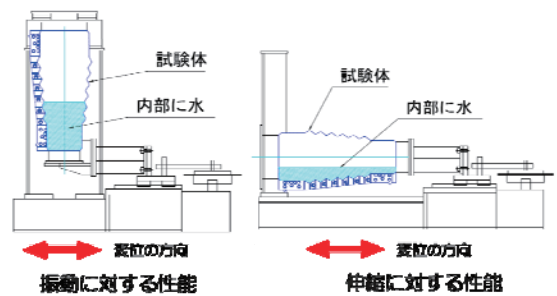


図-6 疲労試験装置概略図

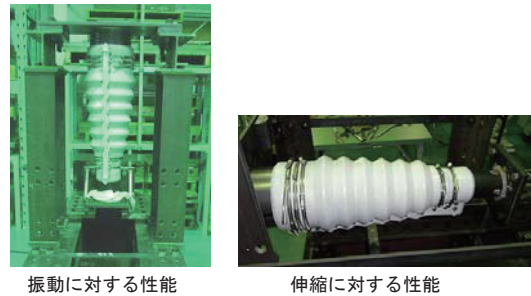


写真-1 試験状況

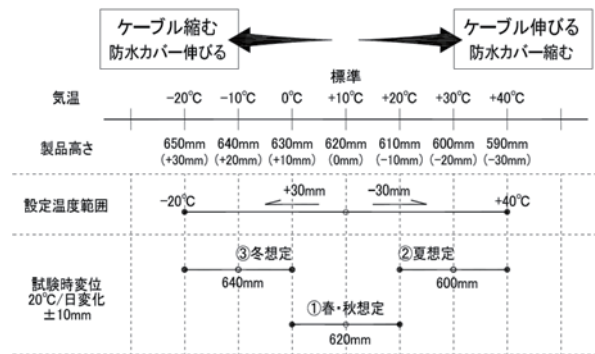


図-7 伸縮方向疲労試験設定条件詳細

変位量は、レインバイブレーションの発生報告（「道路橋耐風設計便覧」の天保山大橋の事例）の事例より、100mのケーブル長においてケーブル中央部での変位が1200mmを観測した記述より図-8に示すように防水カバー部での変位を±10mmと算出し、変位量とした。

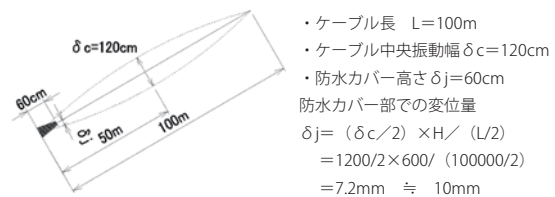


図-8 変位量の算出

繰返し回数の設定について、実際の斜材ケーブルの挙動は、その条件により振動の有無、振動量、周期、振動時間、減衰時間など多くのパラメータが存在し斜材ケーブルの振動を正確に表現し繰返し回数を設定するのは、困難であったため本試験は、防水カバーの止水性を確認する試験の位置づけで、疲労試験で最も多く行われている200万回を繰返し回数とし、载荷速度は1.5Hzで行い、締結部や片開き部の止水性が保たれるかを確認する試験とした。

上述した試験条件を設定し、試験装置に防水カバーを設置、内側に水を張り、試験中に防水カバーから水が漏れ出ないことで止水性の確認をすることとした。

### 5.3 試験結果

伸縮疲労8000回、振動疲労200万回の条件にて本防水カバーの試験を実施した。試験中締結部及び片開き部からの水漏れや外観の有害な変形・損傷、締結部から保護管の抜け出しはなく、表-4に示す判定基準を満足することができた。

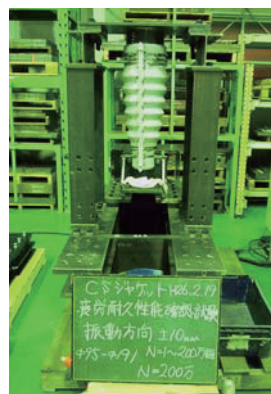
表-4 疲労試験の判定基準

確認項目	確認項目	判定
ゴム本体の外観	目視	ゴム本体に亀裂・破損等異状がないこと。
締結部の抜け出し	目視	締結部が鋼管から抜け出さないこと。
止水性能	目視	内部に水を溜めた状態で試験中、水漏れがないこと。

試験終了時の状況を写真-2に示す。



伸縮に対する性能



振動に対する性能



写真-3 防水カバー取付け例

写真-2 試験終了時の状況

### 6. まとめ

斜材ケーブルの挙動を再現した本試験の範疇において、本防水カバーの止水性を確認した。

斜材ケーブルの健全性を持続させるためには、斜材定着体への雨水の浸入を防ぐことが重要なポイントの一つであり、止水性能を確認した本防水カバーは、有効な手段の一つになると考えている。

そのため、本防水カバーは、新設橋はもとより既設橋への取付けも可能な構造を有しているのので斜張橋などのメンテナンスの際にご活用頂ければ幸いである。

今後は、多様な斜材ケーブルのサイズに対応できるよう検討していく。

### 参考文献

- 1) 理科年表 平成18年版, 自然科学研究機構 国立天文台
- 2) 道路橋耐風設計指針 平成19年改定版 社団法人日本道路協会
- 3) 構造物施工管理要領, 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株), 平成22年7月