

VI-1

白鳥大橋ケーブルカバー部の防食について

北海道開発局 室蘭開発建設部 正会員 高田 敦
 北海道開発局 室蘭開発建設部 正会員 渋谷 元
 北海道開発局 室蘭開発建設部 山地 健次
 新日鐵・神鋼 J V 正会員 坂本 良文
 北海道開発コンサルタント㈱ 正会員 菅原登志也

1. はじめに

白鳥大橋は、一般国道37号白鳥新道の主橋梁として室蘭港口に建設されている橋長1380mの3径間2ヒンジ補剛吊橋である。その特徴の一つは、国内初の積雪寒冷地に建設されることから、特に主ケーブルの防食に対して種々の検討を加えたことにある。

主ケーブルの防食構造は、ケーブルバンド間の一般部に対しては、従来の丸線ワイヤーに代えてS字ワイヤーを使用した『S字ワイヤーラッピング工法』¹⁾を採用している。一方、主塔頂などの主ケーブルを束ねているサドル部前後の主ケーブル形状は円形から徐々に階段状へ変化しているため、一般部と同様なラッピング構造を適用することは極めて困難である。

従来は、この部分のケーブル防食として写真-1に示すような鋼製カバーを取付ける方法で対応してきた。しかし、カバーの構造上継ぎ目が多くならざるを得ないことから、ケーブル一般部と比べ長期的な遮水性に問題があると考えられたため、この鋼製カバーに代わる新しいサドル部のケーブル防食について検討した。

ここでは、白鳥大橋において採用したサドル部ケーブルカバー構造の検討と施工概要について報告する。

2. サドル部ケーブルカバー構造

サドル部のケーブル防食として鋼製カバーを設置した場合、一般部のラッピングワイヤによるケーブル防食と同等の防食性能を期待するには次ぎのような問題が懸念される。

- ①鋼製カバーは、数個の部材を全て2分割構造で連結するため、防食上の弱点となりやすい継ぎ目が多く存在する。
- ②ケーブル軸方向の変化に対して追従性はあるが、ケーブル角変化に対してはサドル側の遮水ゴムが変形することで対応するが、長期繰返しを受けた場合、ゴムの劣化により隙間が発生し、外部から水の侵入が懸念される。

白鳥大橋では、これらの項目を改善するために継ぎ目のない一体構造とすることを目的に、『ポリウレタン注入被覆工法』を採用した。構造概要を図-1に示す。

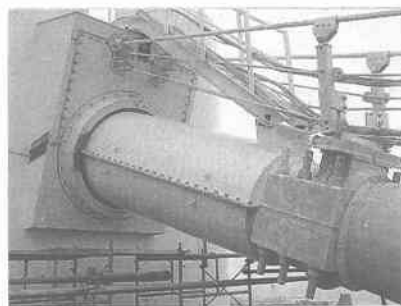


写真-1 鋼製ケーブルカバー設置例

ポリウレタン注入被覆工法は、ケーブル素線内へのポリウレタンの浸透を防止するため、ケーブル外側をポリエチレンシートで覆った後、端部スペーサーを介して均一な厚さを保持する着脱可能な型枠を取付け、ポリウレタン樹脂を圧入し、防食層を形成する工法である。このスペーサーは、注入ポリウレタンと同質であり、注入後ポリウレタンと一体化するため、継ぎ手部としての弱点とならない。

ポリウレタン樹脂の吊橋ケーブルへの適用は、補修を目的としてエアレス吹付け塗装を行った例があるが、
 Site Coating of Hakucho-Ohashi Bridge Cable by Polyurethane-Elastomer
 by Atsushi TAKADA, Hajime SHIBUYA, Kenji YAMACHI, Yoshifumi SAKAMOTO, Toshiya SUGAWARA

本工法のように、型枠注入する方式で均一にケーブル被覆するのは初めてである。

ポリウレタン注入被覆工法の特徴を示すと以下の通りである。

- (1) ポリウレタン樹脂は、海中に使用される鋼管杭の重防食被覆材として実績がある防食性の高い安定した材料である。
- (2) 一回の作業で厚膜被覆が可能
- (3) 常温で被覆可能
- (4) 補修が比較的容易
- (5) 柔軟性を有している。
- (6) 吹付けがないため、周囲への飛散がない。
- (7) 気密性が高い
- (8) 紫外線により黄変化するが、劣化しない。

一方、吊橋ケーブルの防食方法として、より積極的なケーブル内部環境の改善を目的に乾燥空気をケーブル内に強制的に送り込む方式が他橋で実際に導入されている²⁾。

送気を導入した場合、その効率に最も影響を及ぼすのが気密性である。本橋の場合、ケーブル一般部は「S字ワイラッピング工法」の採用により、従来の吊橋に比べてはるかに気密性が良いと考えられるが、サドル部近傍のケーブルカバー部においても気密性の確保が重要である。本橋で採用した継目のない一体化構造は気密性が高く、送気導入に対しても十分に有効である。

3. 確認試験

3. 1 材料特性試験

1) 物性試験

本橋がケーブル防食として、ポリウレタン注入被覆工法を採用したのは前述のとおり防食性・耐久性に優れていることからであるが、本橋は積雪寒冷地に建設されるため、特に低温時における材料物性を確認する必要がある。

温度変化に対する伸び率の測定結果を図-2に示す。ここで言うスペーサー部とは事前硬化させたポリウレタン成形体に新規ポリウレタンを接合した試験体を言う。

ポリウレタン樹脂は、温度が低下すると伸び率も低下する傾向にあり、-20℃においても20℃の約2/3の50%を示している。

これは、ポリウレタン樹脂が低温時においても柔軟性を保持し、ケーブルの伸び・角変

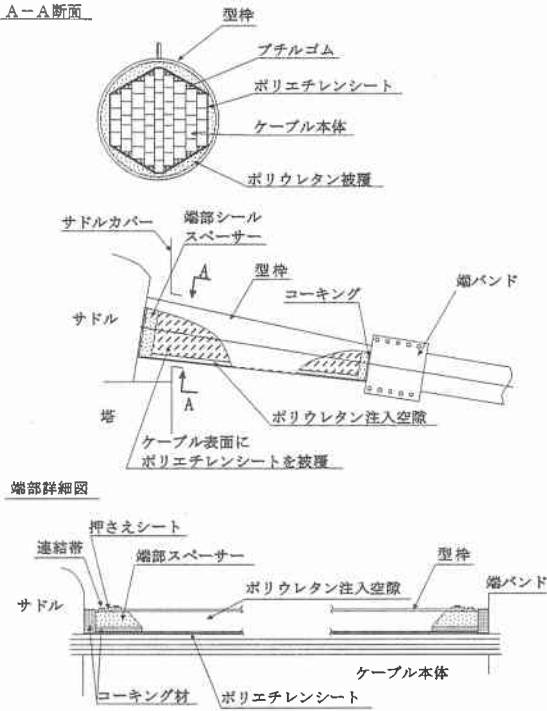


図-1 ポリウレタン注入被覆の防食構造

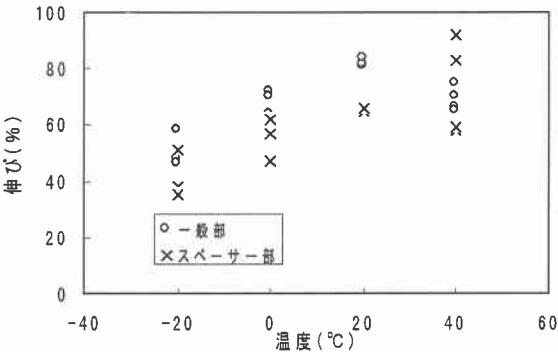


図-2 ポリウレタン引張試験

化に対しても十分に追従性があることから、ケーブルカバー部に適用しても機能上問題はない。

2) 安定性試験

寸法安定性：円形供試体を50℃オープンで加熱し、寸法変化を測定。

冷熱安定性：-20～+10℃を1サイクルとして、200サイクル繰返し外観および強度・伸びを測定。

暴露試験：1400時間屋外暴露し、外観の目視・色差・強度・伸びを測定。

気密性：供試体内に0.04kgの送気圧を加え、気圧の経時変化を測定。

耐候性：ウェザーメータを用いランプ1時間点灯、降雨10分とし、1000時間継続。外観の目視・色差・強度・伸びを測定。

試験結果は、いずれもポリウレタン材料の安定性を確認できるものであった。耐候性・暴露試験より、ポリウレタン表面は紫外線の影響で黄変化することが解ったが、表面保護材のバリアコート（ウレタン樹脂系の塗料）を塗布することにより防ぐことが可能である。

クリープ変形試験結果を図-3に示す。ケーブルカバー部の想定される作用応力は約10kg/cm²であり、クリープ変形に対しては問題ないと考える。

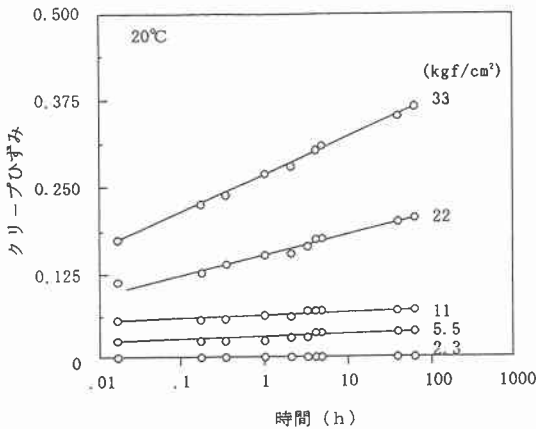


図-3 応力クリープひずみ試験結果

3. 2 形状特性試験

適用箇所のケーブル形状は、円形から階段状へ変化する特殊形状であるため、その形状差をなくし均一な円形にすることは困難である。被覆厚さの極端な変化を解消するため、ケーブル断面の外形を図-2に示すように多角形状にした。しかし、ポリウレタンは鋼材などの金属より線膨張係数が大きいことから、ケーブルなどの金属材料に被覆した場合、低温時に収縮変形を受け被覆厚の薄い部分にひずみが集中し、引張応力の発生が想定された。この引張応力を把握するため、実物大の供試体を製作し温度ひずみ履歴を計測した。

試験方法は、供試体のポリウレタン表面にひずみゲージを貼付け、恒温室内で+40℃～-20℃の温度サイクルを与えひずみ量を測定した。供試体形状を図-4に、計測結果を図-5に示す。

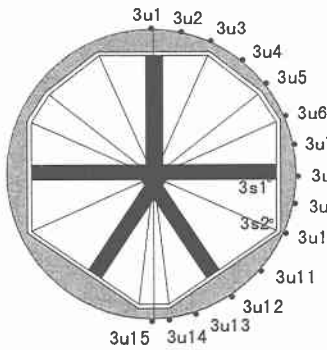


図-4 ポリウレタン供試体

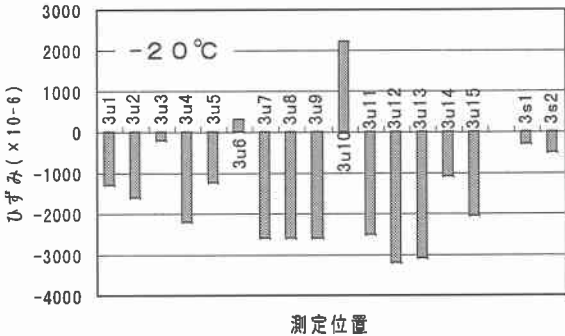


図-5 ひずみ測定結果

計測の結果、低温時において被覆厚変化部に引張りひずみ集中が見られた。この引張りひずみレベルは、ポリウレタン材料自身のクリープ限界ひずみに対して非常に小さく、温度変化による形状特性への影響は特

に問題にならないことが解った。

4. 施 工

4. 1 施工順序

本施工に先立ち、施工性確認ため実寸大モデルを作成し施工試験を行った。その結果、現地において十分に施工可能であることを確認した。

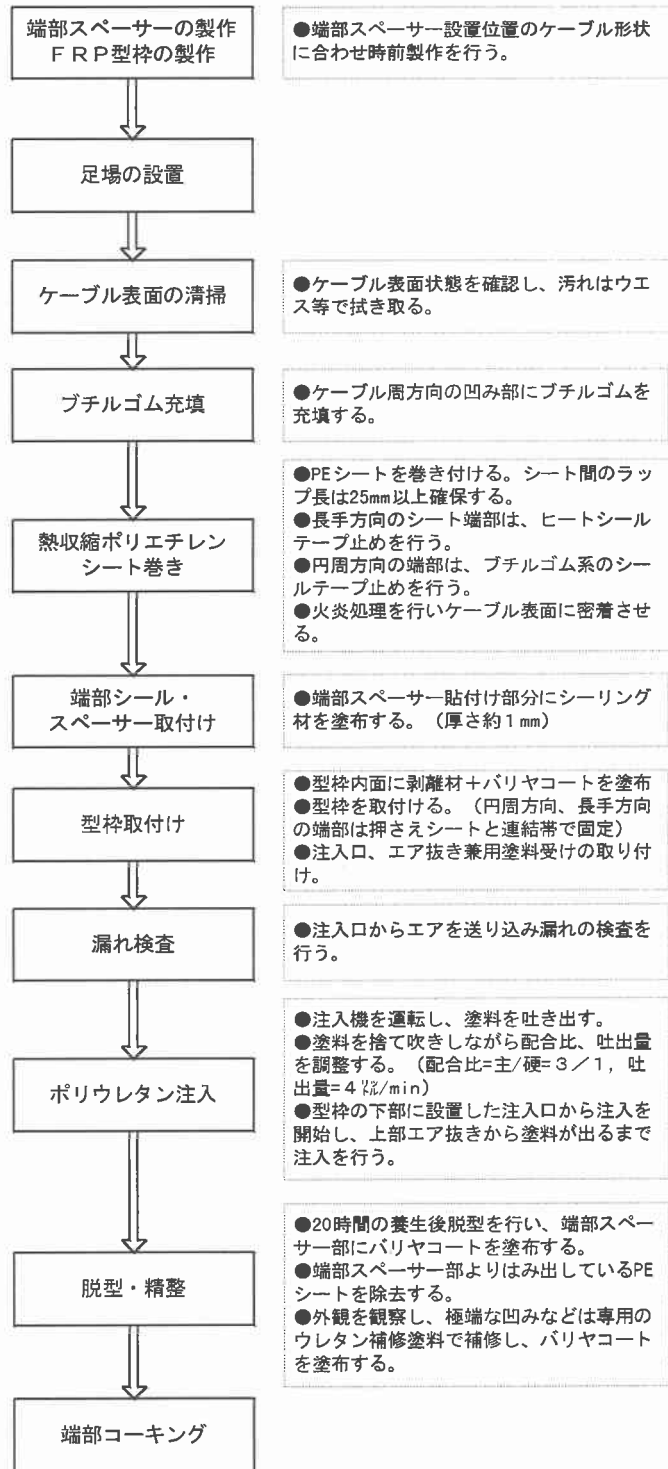
ポリウレタン注入被覆工法によるケーブルカパーの施工順序を図－6に示す。

サドル部近傍のケーブル形状は、端バンドからサドルに向かい階段状となっているため、ケーブル表面の凹凸が大きい。この状態でポリエチレンシートを貼付けると、シートとストランドの間に空隙が生じ、結露などケーブル腐食に対して好ましくない環境となる。ブチルゴムは、この空隙を可能な限りなくすことを目的として、ケーブル表面の凹凸の大きい箇所に設置した（写真－2）。

また、熱収縮ポリエチレンシートは、ポリウレタン樹脂がケーブル素線間に浸透することを防止する目的で設置している。このシートは、火炎処理することにより収縮する特性を利用して、シート表面のしわ等を取り除くことが可能である（写真－3）。

型枠設置時に、型枠の片寄りによる被覆厚の不足を防止するため、図－7に示す補助スペーサーを設置した。補助スペーサーは、端部スペーサーと同様にポリウレタン樹脂で事前成形されたものであり、注入後はポリウレタンと化学結合し、本体構造と一体となる。

ポリウレタン被覆厚の設定は、防食上の必要厚と強度上の必要厚および施工性を考慮し、次のように設定した。



図－6 施工順序

①防食上の必要厚

ポリウレタン樹脂の防食性能は、一般的な塗料と同等であることから、防食上は $t=1\text{mm}$ 程度で十分である。

②強度上の必要厚

持続応力によるクリープ変形確認試験結果（図－３）より、ポリウレタンのクリープ限界応力を 11kg/cm^2 とすると、この限界応力を満足するポリウレタン被覆厚さは $t=6\text{mm}$ である。

③施工性

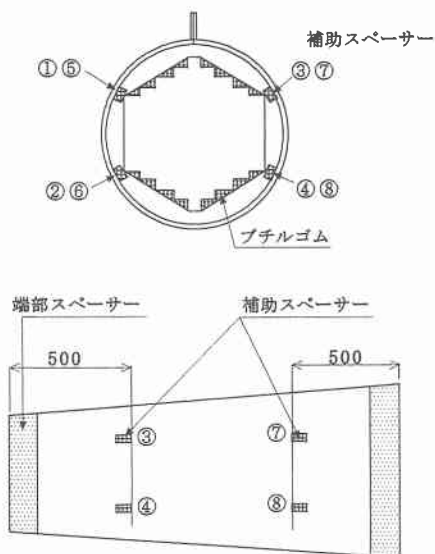
実橋を想定した実物大モデルによる施工性試験の結果、断面方向および長手方向の被覆厚は目標値に対して 2mm 程度のばらつきがあった。

実ケーブル本体にも凹凸があり、端部スペーサー・補助スペーサーにより一定の被覆厚を確保する方法としたが、部分的に被覆厚が薄くなることが考えられるため、その分の余裕厚を $t=2\text{mm}$ を見込むこととした。

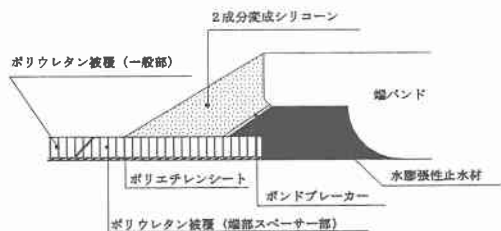
以上のことから、ポリウレタン被覆厚を $t=2+6=8\text{mm}$ と設定した。

ポリウレタン注入被覆されたケーブルカバー部の端部止水構造は、ケーブルカバーと端バンドとの不連続部分からの雨水の侵入を防止するとともに温度変化による軸方向の変位に対しても対応可能であることが必要である。

この部分の端部止水構造は、止水性・ムーブメント性に優れるラッピング一般部と基本的に同様とした。



図－７ スペース配置



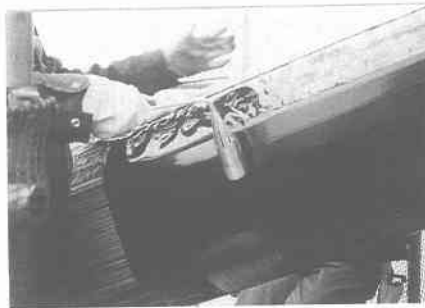
図－８ 端部止水構造

４．２ 施工状況

ブチルゴムによる段差解消状況を写真－２に、その上に設置した熱収縮ポリエチレンシートの火炎処理状況を写真－３に示す。



写真－２ ブチルゴム設置状況

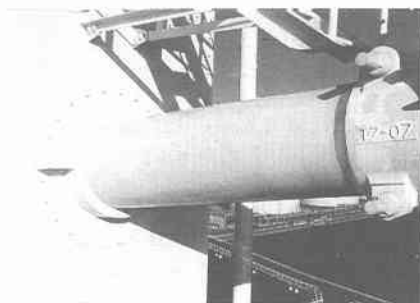


写真－３ 熱収縮ポリエチレンシート設置状況

ポリウレタンを注入被覆するための型枠（FRP製）設置状況と注入状況を写真－４に、型枠撤去後のポリウレタン表面仕上がり状況を写真－５に示す。



写真－４ 型枠設置・ポリウレタン注入状況



写真－５ 仕上がり状況

５．おわりに

ポリウレタン注入被覆工法をケーブル形状が円形となっていないサドル部近傍のケーブル防食構造として採用したのは、白鳥大橋が初めてである。

施工後の表面仕上がり状態は良好であり、被覆厚についても十分に確保出来た。施工中は、型枠設置時の気密性確保が困難となり、何度か型枠設置をやり直したことがあったが、それ以外の大きなトラブルはなかった。

本工法についてまとめると以下の通りである。

- ①サドル部近傍のケーブルに対しても、ケーブル一般部と同等の気密性を確保することが可能である。
- ②ポリウレタン樹脂は、低温時においても柔軟性を失うことなく、サドル部のケーブル角変化・温度収縮に対しても十分に対応可能である。
- ③ポリウレタン注入被覆は、大規模な設備を必要とせず、主塔頂などの高所作業に対しても比較的小規模なスペースで施工可能である。
- ④本工法は、サドル部近傍のワイヤラッピングが不可能な特殊箇所のケーブル防食として採用したが、今後はワイヤラッピングに代わるケーブル一般部の防食構造に適用できる可能性はあると考える。
そのためには、ポリウレタン樹脂を長い区間に適用した場合の曲げ疲労などに対して、さらに検討する必要がある。

参考文献

- １）高田、渋谷、山地、坂本：白鳥大橋ケーブル防食工事について、土木学会北海道支部 1997年2月
- ２）古家、佐伯：送気乾燥による吊橋ケーブル防食試験と考察、土木学会第52回年次学術講演会 平成9年9月