

1. 若戸大橋ケーブル関係の健全度調査および補修工事

－建設後50年経過した長大吊橋のケーブル関係の保全－

技術委員会 設計小委員会

1. 若戸大橋ケーブル関係の健全度調査および補修工事

— 建設後 50 年経過した長大吊橋のケーブル関係の保全 —

技術委員会 設計小委員会 杉山直也

1. はじめに

若戸大橋は我が国最初の長大吊橋として、1962年に完成し、今年50周年を迎えた(写真-1)。この橋は北九州工業地帯の基幹インフラとして、また若松区と戸畑区を結ぶ市民の生活道路としても大きな役割を果たしている。その交通量は45000台/日、50年間で累計6億台超となっており、交通の要衝となっている。

今回、この若戸大橋においてケーブル関係の健全度把握のための調査および補修工事を行った。主な内容は、①主ケーブルのラッピングワイヤーを撤去した後の深部調査、②ハンガーロープの取替えおよび撤去したハンガーロープの各種室内試験、③ケーブルバンドボルトの全数取替えおよび撤去したボルトの各種室内試験、④ケーブルの塗り替え、⑤アンカレッジ内の除湿用テント設置、⑥ラッピングワイヤーの解放・復旧、⑦管理路の改良および新設である。工事概要を図-2に示す。

主ケーブルについては、ケーブルバンド部において素線の破断が見られたことから、その原因を明らかにするため詳細調査を実施した。我が国最初の吊橋ケーブルの本格的な調査及び補修であるため、今後の維持

管理方法も含め、学識経験者などからなる専門委員会の意見を伺いながら、調査や補修を実施した。本文はケーブルに関する調査および補修工事について報告するものである。

2. 主ケーブルの調査

若戸大橋の主ケーブルはφ61mmが55本、φ36mmが6本の合計61本のスパイラルロープで構成されており、径508mmである(図-1)。建設時の塗装仕様を表-1に示すが、その塗料に含まれるPRTR制度該当化学物質は多くの問題を抱えている。現在は、塗装仕様の変遷を重ねて、表-2の塗装仕様で塗り替えられている。

1989年に下り車線主ケーブル中央部分の1格点間8.4m(格点61~63)のラッピングワイヤーを撤去後、くさびを打ち込み、主ケーブルの内部状態を調査している。その調査では主ケーブル内からの漏水に着眼した項目が主であり、漏水分析・水質調査・主ケーブル表面外観調査・素線の歪鉛めつき厚調査が実施されている。しかし、主ケーブル内の状況についての記述は見られないことから調査範囲が狭隘で十分な調査結果が得られなかったと考えられる。

今回、上り車線側主ケーブル中央部分の若松側2格点間16.8m(格点61~65)のラッピングワイヤーを撤去し、極力深い部位を調査することにより、現状の状態を精度よく確認することとした。2格点間を開放するため、格点63のハンガーロープを撤去し、ケーブルバンドを開放した。なお、ハンガーロープの撤去にあたっては、全橋をモデル化した3次元骨組解析および



写真-1 若戸大橋の全景

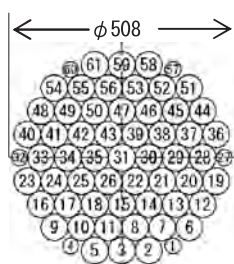


図-1 主ケーブル断面

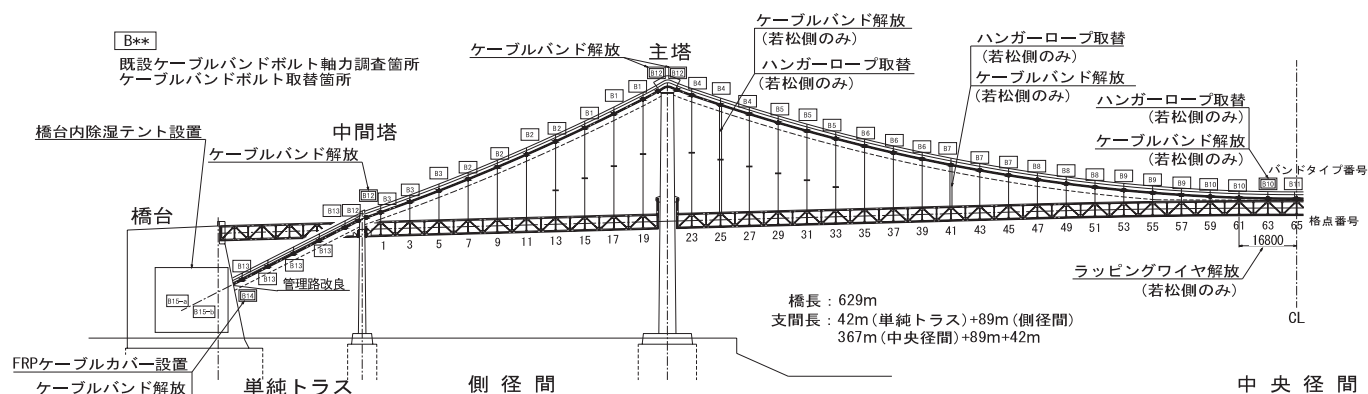


図-2 工事概要

動的応力測定を実施し、主ケーブル、ハンガーロープ、補剛桁トラスの安全性照査を行い、格点 61 のハンガーロープを除いて、交通解放下において許容値を超える変形や応力が発生しないことを確認した。また格点 63 のケーブルバンドを開放することで、格点 61 のハンガーロープ張力が安全率を確保できないことから、その張力を分担させるため格点 61 近傍に仮吊り設備を設けた。

表-1 建設時の塗装仕様

	建設時の塗料	塗料に含まれる PRTR 法該当化学物質
下塗第 1 層	エッチングプライマー	六価クロム・キレン
下塗第 2 層	ジンクロムトさび止め塗料	六価クロム・キレン 1、3、5-トリメチルベンゼン
下塗第 3 層	ジンクロムトさび止め塗料	六価クロム・キレン 1、3、5-トリメチルベンゼン
中 塗	長油性フッ酸樹脂塗料	1、3、5-トリメチルベンゼン
上 塗	長油性フッ酸樹脂塗料	1、3、5-トリメチルベンゼン

表-2 建設以降の塗装仕様

	塗替塗料 (1965~1988)	塗替塗料 (1988~1993)	塗替塗料 (1993~2012)
下塗第 1 層	鉛系さび止め 塗料 1 種	厚膜型エポキシ 樹脂塗料	タッチアップ後 変性エポキシ樹脂塗料
下塗第 2 層	鉛系さび止め 塗料 1 種	厚膜型エポキシ 樹脂塗料	変性エポキシ樹脂塗料
中 塗	長油性フッ酸 樹脂塗料	塩化ゴム系塗料	変性エポキシ樹脂塗料
上塗第 1 層	長油性フッ酸 樹脂塗料	塩化ゴム系塗料	ポリアリル樹脂塗料
上塗第 2 層	長油性フッ酸 樹脂塗料	-	ポリアリル樹脂塗料

2.1 主ケーブル一般部

主ケーブル一般部の外観には一部に塗膜割れや塗膜剥離、雨水による黒い汚れが見られた。さらに、ラッピングワイヤーが露出していた箇所もあった(写真-2)。

主ケーブル外面の付着物は成分分析の結果、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- が比較的高い濃度で検出された。これらは自動車の排気ガス、工場ばい煙、飛来塩分によるものと推定した。また主ケーブル内部からは漏水が見られ(写真-3)、成分分析の結果、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、Fe が雨水と比較

して高い濃度で検出された。これも自動車の排気ガス、工場ばい煙、飛来塩分の影響およびケーブルバンド内側の鉄の溶出によるものと推定した。

主ケーブルの内部調査ではラッピングワイヤーの撤去後(写真-4)、アルミフィラーを取り除き(写真-5)、主ケーブルにくさびを打ち込んで調査空間を広げ(写真-6)、デジタルマイクロスコップを使用してケーブル深部性状を調査した。主ケーブル一般部のストランドについては素線の減肉はなく、建設時に塗布した防錆ペースト(黄色のジンクロム)が大部分残存していた。亜鉛めっきの劣化による白さびが生成していたが、赤さびはわずかであった。スパイラルロープの形状を印象材によりレプリカ採取し、断面観察した結果を写真-7に示すが、象られた素線の外形線が円状に残っており、腐食による素線の断面減少は見られなかった。さらに、内面付着物を採取し成分分析を行った結果、塗料、防錆ペースト由来成分、亜鉛めっきおよび鉄の腐食生成物を検出した



写真-2 主ケーブル外観



写真-3 主ケーブルからの漏水



写真-4 ラッピングワイヤー撤去



写真-5 アルミフィラー除去



写真-6 くさび打ち込み

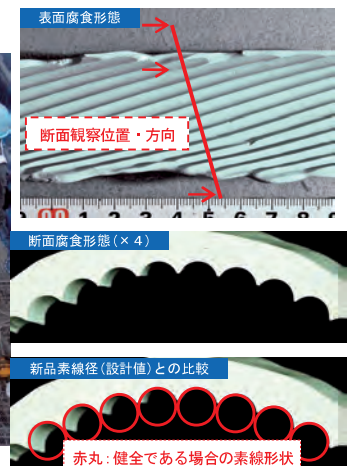


写真-7 レプリカによる断面観察

ケーブルバンド内の主ケーブルについては、天部の一部に素線の減肉があり、ケーブルバンド内面からのもらいさびによる赤さびや安定さび (Fe_3O_4 、 $\alpha-FeOOH$) が確認された。

ストランド素線の亜鉛めっき量は一般部のラッピングワイヤー撤去部の下面部においては、滞水があったものの素線の亜鉛めっき量は平均値で $45\mu m$ 程度残存していた (設計めっき膜厚は $45\mu m$)。ケーブルバンド内では、底部、側部の素線に平均値で $30\mu m$ 程度のめっき厚が残存するが、天部は平均値で $15\mu m$ しか残っておらず (図-3)、減肉した素線も一部観察された。天部のめっきの劣化は、ケーブルバンドが縦割りであり、天部の継ぎ目に鉛コーキングによる止水を施しているものの、この継ぎ目から浸入した雨水にさらされる腐食環境にあることが原因で発生したものと推測した。

なおラッピングワイヤーおよびアルミフィラーについては異常が見られなかった。

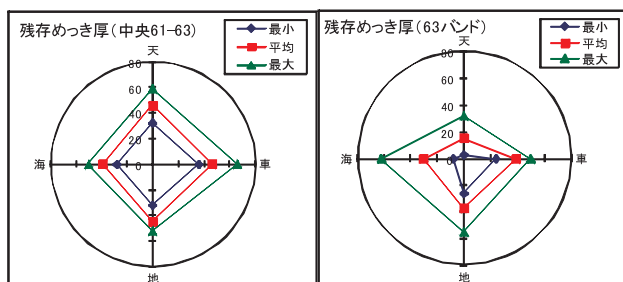


図-3 残存亜鉛めっき厚 (μm)

素線の亜鉛めっき量については、中間塔部および橋台ケーブルカラー部とも、天部・側部の素線には平均値で $30\sim 40\mu m$ のめっき厚が残存するが、底部では残存めっき量が皆無の状態であった (図-5)。

これらの原因として、中間塔ケーブルバンド内は、防錆ペーストが塗布されていないこと、および主ケーブル内を流れてくる雨水にさらされる腐食環境にあることが考えられる。また、橋台ケーブルカラー部は、ケーブルカラー継目からの漏水や橋台スプレー室内からの湿気にさらされていることが原因と考えられる。

そこで橋台前面の腐食対策として、橋台内スプレー部に除湿 TENT を新たに設置する (図-6、写真-11) ことに併せて、橋台前面から第1ケーブルバンドまでの約2m区間にFRP製のケーブルカバーを新設し、橋台内の除湿システムと一体化させて防錆することとした。さらに今後の追跡点検のため管理路を設置し、FRP製ケーブルカバーには点検窓を設けた (写真-12, 13)。

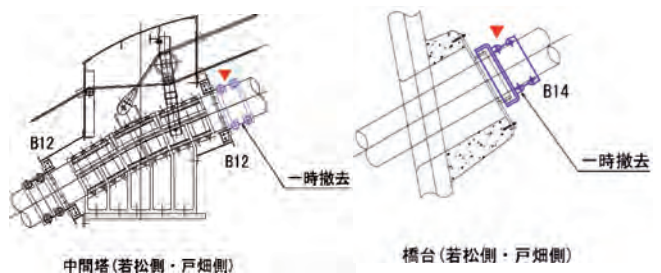


図-4 調査箇所

2.2 中間塔部および橋台ケーブルカラー部

主ケーブル内部の水が滞留しやすいと考えられた中間塔部および橋台前面のケーブルカラー部において、ケーブルバンド撤去箇所内部状態を確認した (図-4)。

中間塔部では底部地側のストランド外層素線が断面積に対して50%程度の減肉が見られたが他の部位の減肉は軽微であった (写真-8)。

橋台ケーブルカラー部は全周にわたって、ストランド外層の素線において断面積に対して50%程度の減肉が見られ、調査箇所の中で最も腐食が激しい箇所であった (写真-9)。スパイラルロープの形状を印象材によりレプリカ採取し、断面観察した結果を写真-10に示すが、象られた素線の外形線が円状ではなく凸凹しており、腐食による素線の断面減少が50%程度見られた。

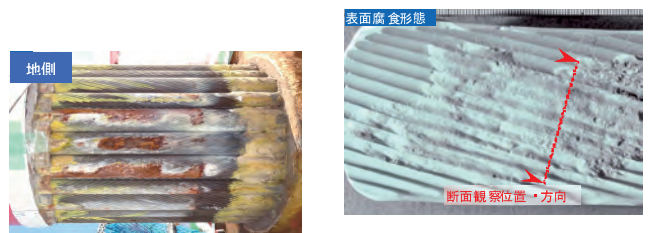


写真-8 中間塔部(地側)の外観



写真-9 橋台部(地側)の外観

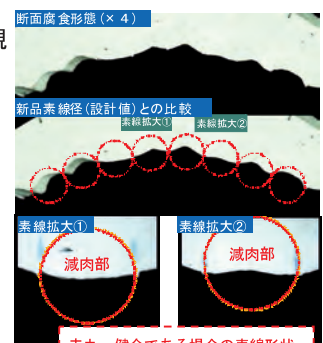


写真-10 橋台部のレプリカ観察

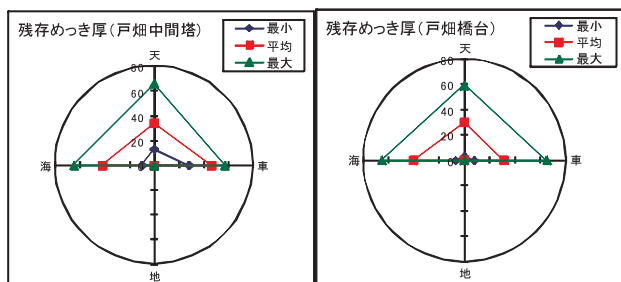


図-5 残存亜鉛めっき厚 (μm)

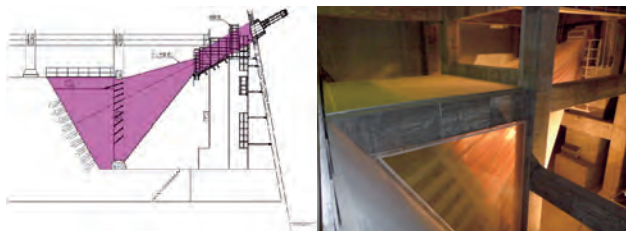


図-6 橋台内除湿 TENT 設置図 写真-11 橋台内除湿 TENT



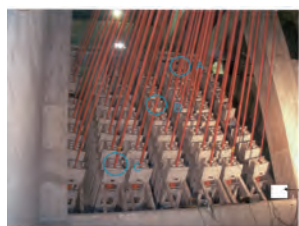
写真-12 新設管理路



写真-13 新設ケーブルカバー

2.3 スプレーストランドの張力測定

橋台内スプレー部のストランド(写真-14)の張力を振動法(写真-15)およびEMセンサー(写真-16)を使用した磁歪法(じわいほう)で測定した。(計測箇所: 図-7)



○: EMセンサー取り付け位置
写真-14 橋台内スプレー部

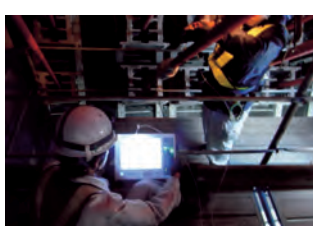


写真-15 振動法測定状況

60	55	61	59	58	52	57
54	49	56	47	53	45	51
48	41	50	43	46	38	44
	40	42	35	39	37	36
32	33	34	31	29	28	27
23	25	26	30	21	19	
16	24	18	22	14	20	12
9	17	11	15	8	13	6
4	10	5	3	2	7	1

図-7 測定箇所

写真-16 EMセンサー

振動法によるストランド張力測定結果を表-3に示すが、その値は1978年の測定結果とほぼ同等であった。

磁歪法による張力測定結果についても2005年の測定結果とほぼ同等であり、特に劣化の進展や異常の発生は無いことを確認している。

表-3 振動法によるストランド張力結果

ストランド No.	支間長 (m)	1978年 張力 (kN)	2011年 張力 (kN)	比率 y2011/y1978
52	11.266	920.7	926.7	1.006
31	11.859	768.3	748.2	0.974
10	12.266	720.3	731.5	1.016
7	12.266	740.8	763.9	1.059

2.4 主ケーブルの素線破断

(1) 素線破断の状況

主ケーブルの素線(φ5mm)の破断は3基のケーブルバンド内で観察され、1ケーブル断面当たり1~51本(総素線本数は7351本)であった(写真-17、18)。素線破断位置の条件を表-4に示すが、素線破断数についてはケーブルバンドの位置(傾斜角度、ケーブルバンド長、ケーブルバンドボルト本数)によって大きく変化することはなかった。破断していた素線の全てがケーブルバンドと接する表層ストランドの素線であり、六角配列の上側および下側に多く見られ、下側に多く集中していた(図-8)。破断素線を部分的に撤去し、サンプリングして行った引張試験およびねじり試験の結果において、建設時とほぼ同等であり素線の劣化は見られなかった(表-5)。

破断素線を採取し、その顕微鏡観察を実施した。その結果、破壊は素線とケーブルバンドの接触部を起点として線径方向に亀裂が進展し、線径の1/2程度まで達すると伸線方向に亀裂が進展する。そして再び線径方向に進展し、ぜい性破壊に至っていた(写真-19)。破断部直近において素線断面の顕微鏡観察を実施した結果、亜鉛めっき厚は36μm残存し(設計めっき厚45μm)、腐食による素線の断面減少は見られなかった(写真-21)。

表-4 素線破断位置の条件

	格点 25	格点 41	格点 63
ハンガーロープ長	37.2m	15.9m	3.1m
素線破断本数	2本	51本	5本
ケーブルバンド長 (mm)	1130	790	700
ケーブルバンド設置角度 (deg)	19.6	11.9	0.5
ケーブルバンドボルト本数	10本	8本	6本



写真-17 素線破断 (格点 41)



写真-18 素線破断 (格点 63)

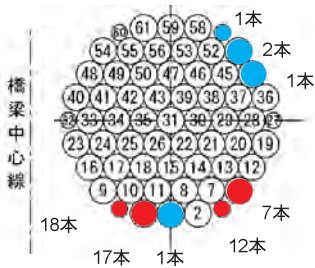


図-8 素線破断箇所 (赤 : 5本以上)

表-5 破断素線試験結果

	引張強さ (MPa)	ねじり 回数
今回の 平均値	1722	27
建設時	1676	30

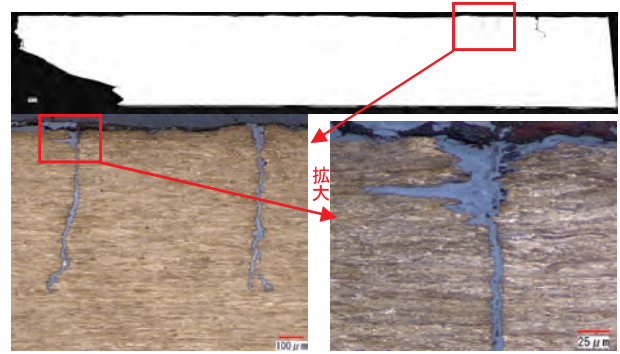


写真-24 素線縦断面の顕微鏡観察 (格点 63)

次に破断面の顕微鏡観察を行った結果、破壊起点部には腐食ピットが見られ (写真-20、22)、破壊終点部はぜい性的な破面を示していた (写真-20、23)。また破壊起点部に疲労的破面を呈しているものもあった。さらに素線縦断面の顕微鏡観察を行った結果、破断していない部位にも腐食ピットおよび応力腐食割れの様相が見られた (写真-24)。

(2) 素線破断原因の推定

これらの調査結果から、この素線破断の原因は以下のとおりと推測した。

ケーブルバンド内面はストランドの六角配列およびストランド形状に合わせ精密なロープ溝が切られており、設計上、各ストランドに均一な力が作用するようになっている。

しかし、ケーブルバンドボルトの締付けにより、ケーブルバンドに曲げモーメントが作用し、変形して主ケーブルの六角配列の頂部付近に力が集中して作用したものと考えられる (図-9)。

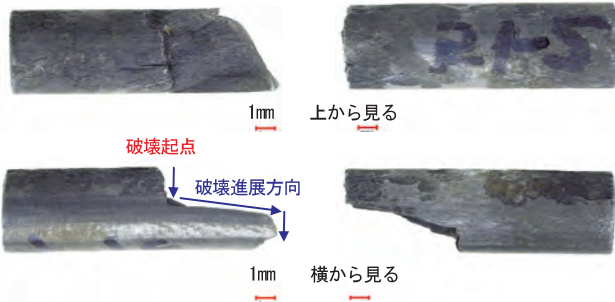


写真-19 破断素線の拡大

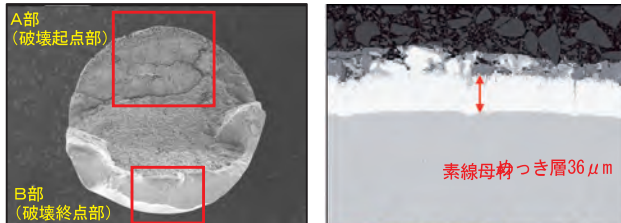


写真-20 素線破断面観察 (格点 63) 写真-21 亜鉛めっき厚

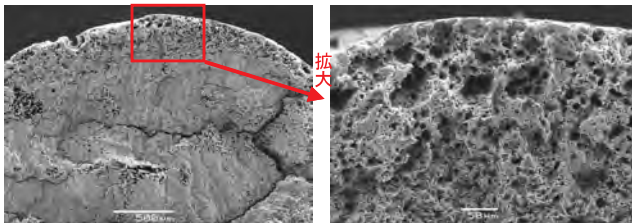


写真-22 破断面顕微鏡観察 (写真-20のA部)

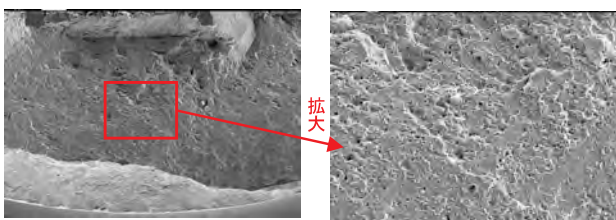


写真-23 破断面顕微鏡観察 (写真-20のB部)

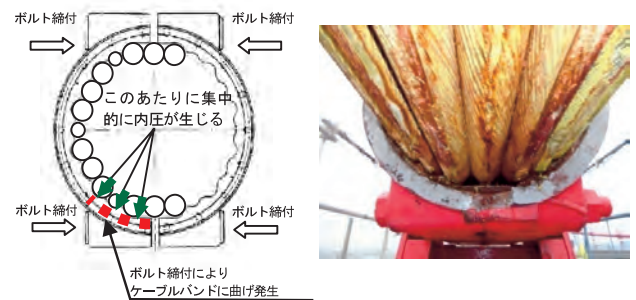


図-9 ケーブルバンドの曲げ 写真-25 主ケーブルの滞水跡

素線破断が主ケーブルの下側に集中している一因としては、湿潤状態になりやすい (写真-25) という腐食環境の悪さも考えられ、

- ① 最初に腐食ピットが起点となり、応力腐食割れによる亀裂が進展
- ② 素線への応力集中により疲労亀裂が発生し、腐食

環境下において、疲労強度が著しく低下した結果、いわゆる腐食疲労が進展した結果、最終的に破断につながったものと推測した。

一方、中央径間の1/4点近傍である格点41に比較的多くの素線破断があったことは、ハンガーロープから伝達される活荷重や風荷重による主ケーブルの変形に伴うケーブルバンド内の二次応力も原因の一つと考えられた。

建設時の調査報告書⁽¹⁾によれば、「若戸大橋ではケーブルバンドを締付けたときに、ロープ表面の素線に局部的にかなり無理な力が作用することになるのではないかの疑問があるが、各種実験結果からバンド内面にロープ溝を切る方がよりストランドに無理な力が加わらないようである。」と判断した経緯が述べられている。

工事報告書⁽²⁾にも「ケーブルバンドにはストランドの形に合わせて溝が切っているが、それでもボルトの締付によってφ36mmの細径ストランドが押されて偏るため、ストランドの間に約6mm厚の鉄片を入れた」との記録がある。今回現地でその鉄片を多数確認しており(写真-26、27)、素線に無理な力が生じやすい状態であったことがうかがえる。



写真-26 ストランド間の鉄片 写真-27 ケーブルバンド内の鉄片

(3) 健全度に関する考察

以上の現象、素線調査および原因推定より、素線破断は発生しているがケーブルバンド下の局部的なものであり、これ以外の部分の素線については健全であると判断した。

局部的な破断は、格点41で見られた50本程度(断面減少率にして0.6%)と想定し、クレーン構造規格、労働安全衛生規則なども参考にし、直径の減少が公称径の7%を超えていないこと、スパイラルロープのひとよりの間において素線の10%以上が破断していないことから健全な素線への応力負担増も軽微であると判断した。

またケーブルバンドを開放して素線破断調査を行う場合、ケーブルバンド内で破断している素線の応力解放が生じるとともに、ケーブルバンド復旧に伴うケーブルバンドボルトの再締付け時に、新たな素線の破断を生じさせる可能性があることを懸念し、新たなケーブルバンドの開放は今回行わないこととした。また切断部分の復旧には熱を用いなければならないが、熱応力による影響を考慮して現状のまま素線の補修を行わず原形復旧を行うこととした。

(4) 復旧作業

復旧にあたっては、主ケーブル一般部については防錆ペーストを塗布し、ラッピングワイヤーを密に巻き付け(写真-28、29)その上に柔軟型ふっ素樹脂塗装を施した。

一方、ケーブルバンド内においても、主ケーブルの防錆向上を目的として、ペトロラタム系防錆ペーストを塗布し(写真-30)、ケーブルバンドを復旧した(写真-31)。この防錆ペーストの適用にあたっては、主ケーブルとケーブルバンド間の摩擦係数の低下が懸念されたため、すべり摩擦試験を実施し、ケーブルバンドのすべりに対する安全率を確認して使用した。さらに主ケーブル内の腐食環境を改善するため、ケーブルバンド下部(写真-32)に水抜き孔を設け(写真-33)、主ケーブル内から排水しやすい構造にした。



写真-28 ラッピングマシン 写真-29 ワイヤーラッピング後



写真-30 防錆ペースト塗布(左) 写真-31 ケーブルバンド復旧

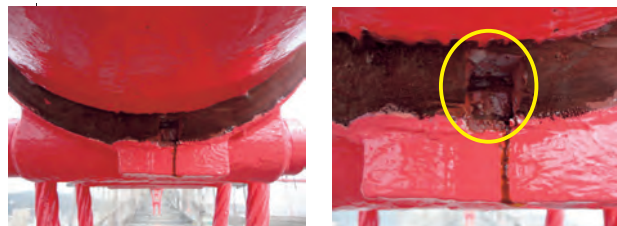


写真-32 ケーブルバンド下部 写真-33 水抜き孔

3. ハンガーロープの調査

供用開始から 50 年間取り替えられていないハンガーロープの調査を目的として、ハンガーロープ 3 箇所を取り替えた (当初計画は 2 箇所)。ハンガーロープは $\phi 40\text{mm}$ の CFRC (Center Fit Wire Rope Core) で鞍 (くら) 掛け構造である。

取り替えるハンガーロープの前後に仮吊り設備 (写真-34) を設けた後に既設ハンガーロープを撤去して、新しいハンガーロープを架設した (写真-35)。格点 41 の取替後のハンガーロープには今後の張力測定の精度確認のため、センターホール型荷重計 (ロードセル) を組み込んだ。



写真-34 仮吊り設備 写真-35 ハンガーロープ取替え

3.1 ハンガーロープの外観および拡大観察

既設ハンガーロープは、一部の塗膜剥離部に亜鉛めっきの劣化による白さびが見られたものの、全体的には、さびはほとんど見られなかった (写真-36)。



写真-36 ハンガーロープの外観

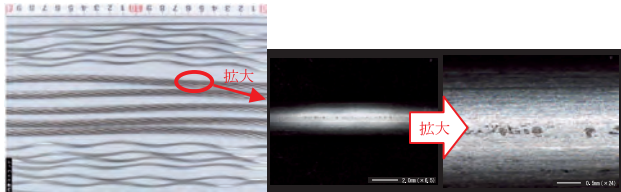


写真-37 ハンガーロープ素線の拡大観察

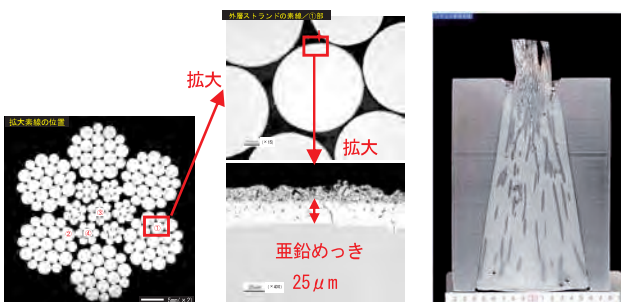


写真-38 ハンガーロープ断面観察 写真-39 ソケット断面

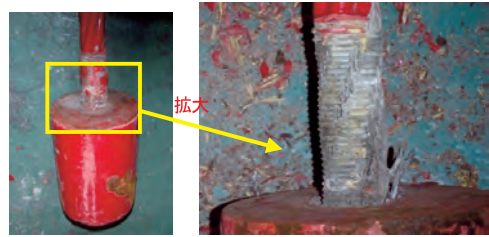


写真-40 ソケット口元部のシージングワイヤ

素線の拡大観察結果からも腐食はほとんど見られなかった (写真-37、38)。

ソケットについても亜鉛・銅合金が十分に充填されており、最も腐食が懸念されたソケットの口元部も健全であった (写真-39)。ソケット口元部に密に巻きつけられていたシージングワイヤ (写真-40) による防せい効果は大きいと判断できた。

3-2 ハンガーロープの引張試験

撤去したハンガーロープにソケットを铸込んだ供試体を製作して引張試験を行った。引張試験は 1 本引き試験と鞍掛け構造を再現した 2 本引き試験を実施した。

1 本引き試験では供試体中央部にて破断し (写真-41)、2 本引き試験では鞍掛け部で破断した (写真-42)。試験の結果、破断荷重および弾性係数が建設時とほぼ同等であり健全であることが確認できた (表-6)。



写真-41 1本引き試験 写真-42 2本引き試験

表-6 ハンガーロープの引張試験結果

試験種類	今回の平均破断荷重 (kN)	建設時の平均破断荷重 (kN)
1本引き	1207	1125
2本引き	2235	2130

3-3 ハンガーロープの張力測定

ハンガーロープの張力を振動法 (写真-43) により 5 格点、また取り替えたハンガーロープ格点 41 については新たに組み込んだロードセル (写真-44) を使用して測定した。

その結果、過年度 1993 年の測定結果とほぼ同等であり、特に異常は認められなかった。



写真-43 振動法による張力測定



写真-44 新設ロードセル

3-4 ハンガーロープの非破壊検査

ハンガーロープ3格点の腐食状況を全磁束法（ハンガーロープを磁化器で磁化し、磁束と断面積との比例関係から腐食による断面減少を推定する調査方法）により調査した（写真-45, 46）。その結果、撤去したハンガーロープの拡大観察結果と同様に腐食はほとんどなく健全であった。



写真-45 全磁束法

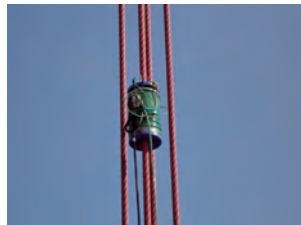


写真-46 磁化器

4. ケーブルバンドボルトの取替え

既設の W45 ケーブルバンドボルト（材質 SCr-1）は 2002 年までの軸力調査では、ボルト軸力の低下により、すべり安全率 3 を下回るボルトが見られた。しかし増締めするためにはボルトテンショナーの使用が不可欠であるがボルト余長が短く、増締めが困難であった。

そこで、本工事では、M30 サイズの高強度細径ボルト（材質 SCM435-H）を採用して 1664 本全数を取り替え、軸力管理を行った（写真-47、48）。また軸力管理を容易にするため、新設ボルトは両側ねじボルトとし、芯ずれを防止するための高強度スペーサを設置した。ボルト締付け後はボルトキャップを設置し、防錆を行った。



写真-47 バンドボルト取替え



写真-48 新旧のボルト

既設ボルトの状況としては、大部分は健全であったが、橋台前面のケーブルバンド下側のボルトは腐食により、断面積が約 20%減少しているものもあった（写真-49）。

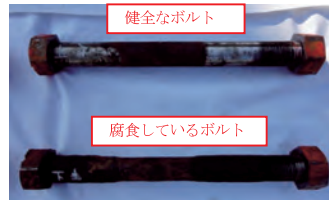


写真-49 既設ケーブルバンドボルト



写真-50 軸力測定

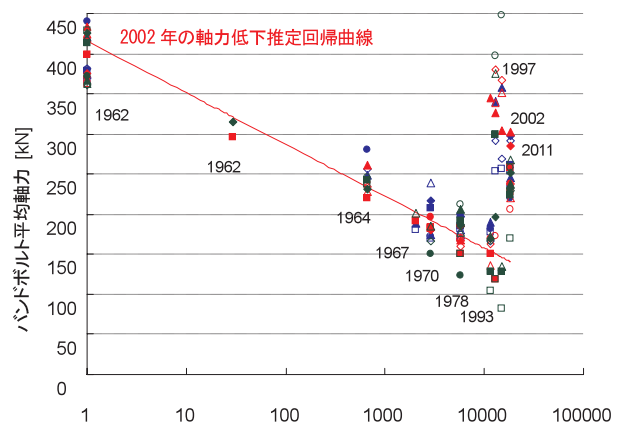


図-10 ケーブルバンドボルト軸力の経時変化



図-11 すべり安全率3以下のケーブルバンドの位置（上り線）

4.1 ケーブルバンドボルトの軸力測定

既設ケーブルバンドボルトの撤去前後の軸力を超音波軸力計により測定した（写真-50）。その結果、建設時に平均 450kN 程度の軸力を有していた既設ケーブルバンドボルトは平均 220kN 程度まで軸力が低下し、軸力平均残留率は 54%であった（図-10）。なお設計軸力 246kN に対しては、軸力平均残留率は 89%であった。今回の既設ケーブルバンドボルト軸力測定において、すべり安全率 3 を下回っていたケーブルバンドの位置を図-11 に示す。

すべり安全率 3 を下回ったケーブルバンドは戸畑側の中央径間に多く見られ、中にはすべり安全率 2 を下回るものも確認された。また、同一ケーブルバンド内におけるケーブルバンドボルトの軸力にも大きなばらつきが確認された。

本橋のケーブルバンドは図-12 に示すように縦割りのケーブルバンドの上下に同数配置されたケーブルバンドボルトで主ケーブルを締め付ける構造であるが、上側ボルトと下側ボルトの平均軸力にも差異があり上下の締め付け力にバランスが取れていなかったことも明らかになった。この原因としてはケーブルバンドボルト締め付けをグループ化せず、ボルト1本ずつ締め付け軸力を決めてエアインパクトレンチで締め付けた結果と推測される。また写真-27 に示したように主ケーブルのストランド間に設計図面にはない鉄片があることにより、主ケーブルの空隙率がばらつき、主ケーブルの変形性能に影響を与えていると推測され、これによりケーブルバンドボルト軸力がばらついていると推測される。

ケーブルバンドボルトの軸力低下については、本州四国連絡高速道路などの他の吊橋においても報告されており、その原因として主ケーブル素線の再配列（微少な移動）が挙げられている。本橋の主ケーブルはケーブルバンドの内面に加工された溝によりストランドが拘束される構造であることから（写真-51）、主ケーブルの素線の再配列による影響が平準化されず局部的にその影響が現れたことにより、ケーブルバンドボルト軸力に大きなばらつきが生じたものと推察された。ケーブル素線の再配列は、ケーブルバンドボルト締め付け後における活荷重などの変動によって起こるとされている。本橋においては1990年に実施された拡幅工事に伴うRC床版から鋼床版への取替え工事中にはRC床版が吊橋全長にわたり歩道側と車道側の2回にわたり撤去された荷重開放履歴があり、ケーブル張力も2回にわたり大きく減少している。このことがケーブルバンドボルトの軸力に影響していることも考えられる。



図-12 ケーブルバンド構造

写真-51 ケーブルバンド内面の溝加工

4.2 ケーブルバンドボルトの引張試験

撤去した既設ケーブルバンドボルトは試験室に持ち

帰り、引張試験（写真-52）と弾性係数の計測を実施した。腐食していたケーブルバンドボルトについても引張試験を実施した。健全なボルトはねじ部で破断し、腐食ボルトはボルト軸部で破断した（写真-53）。その結果、腐食しているボルトには強度低下は見られた（表-7）ものの、腐食していないボルトは建設当時の破断強度、降伏強度および弾性係数とほぼ同等であり、健全であったことを確認した。

表-7 引張試験結果



写真-52 引張試験

試験ボルト種類	今回の平均破断荷重 (kN)	建設時の平均破断荷重 (kN)
φ45 (健全)	1143	1083
φ45 (腐食)	1023	
φ60	1836	記録なし



写真-53 引張試験後のφ45(左:健全なボルト 右:腐食ボルト)

5. おわりに

若戸大橋ケーブル関係の健全度把握のための調査および補修工事について報告した。主ケーブルについては、ケーブルバンド部において素線の破断が見られ、その原因を明らかにするため詳細調査を実施し、破断原因を推定した。その結果、主ケーブルの断面減少率は小さく主ケーブルは健全であることがわかった。また、ハンガーロープ、ケーブルバンドボルトについても、建設後50年経過した現在でも、健全であることが確認できた。

今後も国内のみならず海外においても増加していく吊橋ケーブルの調査および補修工事を実施する際に、本報告が参考となれば幸いである。

最後に、本調査および補修工事の実施にあたり、多大なるご指導、ご協力をいただいた関係者の方々に紙面を借りて深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 若戸大橋調査報告書（日本道路公団 1963年）
- 2) 若戸大橋工事報告書（日本道路公団 1963年）