

若戸大橋上部工工事報告

— 施工上の問題点 —

川崎 偉志 夫*

1. 概 え が き

昭和34年2月工事開始、以来3年8ヵ月、去る9月26日東洋一を誇る吊橋若戸大橋もはなばなく開通式を終え、北九州市の繁栄に一助をになうことになったが、日本の技術だけで架設した大吊橋としては初めての経験であり、より長い吊橋への共通の問題を含んでいるので、ここに上部工関係のうち、現場工事を主体とした施工上の問題点について概説し、今後の参考に供したい。

2. 塔の製作と架設

製作架設とも順調であった。工場製作した部材（最大1ブロック110t）は船舶輸送によったが、現地に適当な置場と荷役設備がなかったため、製作期間を延長して、必要のつど必要な部材を輸送する方法をとった。製作誤差のうち、鉛直に対する許容値を角度で20′と規制した。この値は、高さ10mにつき約1mmの傾斜に相当する。したがって高さ約30mの主塔については、8mm程度までの傾斜を許容することになる。

この規制については、諸外国の実例や、日本における工場の能力を参考にして決めたものであるが、また一面主荷重（±15℃の温度変化を含む）による塔頂の最大変位値（主塔で157mm）との関連も考慮した。

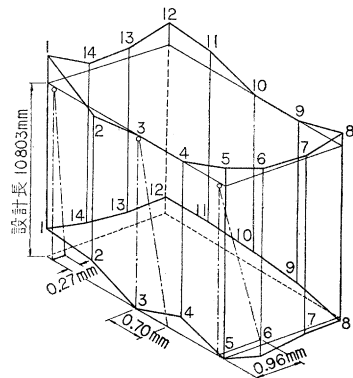
工場製作誤差検査記録の一例を示せば 図-1、2 のと

表-1 戸畑側主塔（南塔）第4、5段端面密着度検査記録（単位 1/100 mm）

位	置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
隙 間 量	工 現	0	5	0	—	—	0	0	0	0	0	0	—	—	4	4	—	—	5	0	0	0	0	0	—
	場 場	20	8	0	—	—	0	0	0	0	0	0	10	—	5	5	—	—	0	0	0	0	0	0	—
位	置	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
隙 間 量	工 現	—	0	0	0	0	0	0	0	—	0	4	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
	場 場	—	0	0	0	10	10	15	—	—	15	0	—	—	8	0	10	0	0	40	20	18	8	15	8
位	置	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
隙 間 量	工 現	0	0	0	0	0	6	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	11	0
	場 場	0	7	25	20	0	5	0	20	10	20	15	10	0	20	20	20	20	20	20	0	0	0	8	10

* 正員 日本道路公団若戸橋工事事務所長

図-1 戸畑側主塔（南側）第5段平行度・鉛直度検査記録



点	1	2	3	4	5	6	7
上 面	+10	-2	—	—	+6	+1.5	+1
下 面	-10	-8	0	-6	0	+3.6	+1.2
	8	9	10	11	12	13	14
上 面	+4	—	—	+6	+8	+3.8	+2.4
下 面	+1	-3	-5	-6.4	-6.4	-5.5	-7

（単位 1/100 mm）

おりで、鉛直に対する許容誤差の範囲内にある。検査方法としては、水平定盤上に製品を載せ、下げ振りをを用いたが、寸法誤差については、隙見ゲージを用いた。

表-2 プレストレスによる弾性係数の変化

南側	プレテン前 (kg/cm ²)	プレテン後 (kg/cm ²)	増 加 率 (%)
No. 2	1.54×10 ⁶	1.68×10 ⁶	109
No. 3	1.57×10 ⁶	1.69×10 ⁶	108
No. 5	1.57×10 ⁶	1.69×10 ⁶	108
No. 6	1.54×10 ⁶	1.68×10 ⁶	109
No. 61	1.54×10 ⁶	1.67×10 ⁶	108

北側	プレテン前 (kg/cm ²)	プレテン後 (kg/cm ²)	(%)
No. 21	1.56×10 ⁶	1.65×10 ⁶	106
No. 22	1.57×10 ⁶	1.65×10 ⁶	105
No. 61	1.57×10 ⁶	1.67×10 ⁶	106
No. 28	1.50×10 ⁶	1.64×10 ⁶	109
No. 20	1.50×10 ⁶	1.64×10 ⁶	109

長および再ソケット用に利用した。

4. ロープの測長

プレストレッシングを終了したロープは、引続き測長の張力(61mm ロープで70t, 死荷重応力に相当)をかけて測長を行なった。この際の日射等温度変化の影響を除去する意味で、あらかじめ温度補正を行なって、主要点にマーキングを行なった。

ロープの測長誤差は、諸外国の例も参考にして、それぞれ -120~+180mm とし、後述する調整作業の際にアンカー フレームにおけるシム プレートの厚さで調整することにした。シム プレートの厚さを、同一ロープについて若松側と戸畑側を加えた数値で示すと表-3のとおりである。誤差0とすれば、表-3における数値は120mm となり、全体としては、0~300mm の範囲内であればよいことになる。表-3 によれば、全般的には短かすぎた傾向(シム プレート厚 120mm 未満)にあり、特にマイナスの値を示すものについては、ソケット受け金物の厚さを薄くし、材質を変更して収めた。

設計当初においては、測長作業の単純さと定規ロープの使用により、-120~+180mm の誤差範囲で十分と予想していたが例外的ではあっても、この範囲を出るものがあったのは意外でもあり、遺憾でもあった。この原因として考えられることは、支間測定の誤差、測長用張

表-3 ケーブル用ロープのシム プレート厚

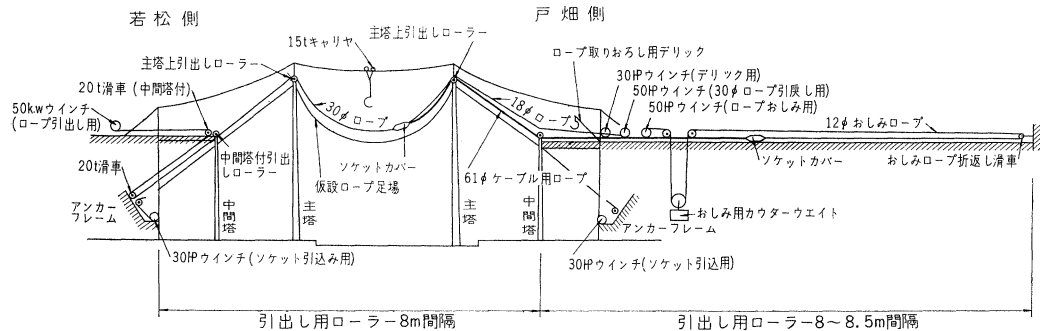
番号	北 (mm)	南 (mm)	番号	北 (mm)	南 (mm)
1	97	68	32	24	37
2	87	105	33	120	58
3	76	104	34	124	71
4	243	81	35	62	40
5	73	88	36	15	41
6	53	124	37	14	44
7	77	51	38	46	22
8	61	11	39	59	25
9	79	78	40	0	44
10	54	83	41	-1	37
11	60	56	42	20	56
12	37	95	43	-10	57
13	67	71	44	53	48
14	30	41	45	16	56
15	39	86	46	7	53
16	53	86	47	130	57
17	38	54	48	65	74
18	27	44	49	88	79
19	10	27	50	14	98
20	46	61	51	63	75
21	29	11	52	62	53
22	18	55	53	56	24
23	50	85	54	52	76
24	11	27	55	52	53
25	52	66	56	25	64
26	37	32	57	175	68
27	39	56	58	51	92
28	36	56	59	66	100
29	69	51	60	55	63
30	98	27	61	176	99
31	63	55			

力の誤差または定規ロープとの張力の差異など数項目が考えられるが、決定的な原因が見あたらない。いずれにしても、700m にもおよぶ長さのロープを cm 単位ではかることは、それほど簡単なものでないことを知るとともに、もう少し誤差範囲を広くとっておくべきだったと考えられる。

5. ロープの架設と調整

ロープの架設は、図-5 に略記する方法により、若松側橋台上に設置したウィンチで、ロープ足場を1本ず

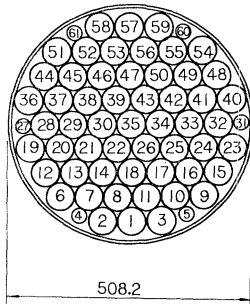
図-5 ロープ引出し要領図



つ張り渡す方法をとった。またロープの滑り出しなどによる急激な移動を防ぐため、ロープ末端に惜しみ用のカウンター ウェイトをつけた。また張り渡し中のロープの回転によるよりのもどりを防ぐため、写真-2 に示すように、ロープ先端に棒切れをつけ、作業員が保持しながら進めた。写真でロープの先端につけた円すい状の金物は、ソケットによる抵抗と損傷を減少させるためのものである。

ロープの先端が若松側橋台に到着すると、アンカー フレームに仮止めしたのち、戸畑橋台上に残ったロープ

図-6 ロープ架設順序



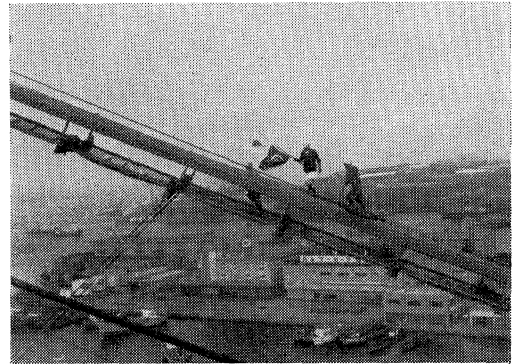
の末端部分を、戸畑側アンカーフレームに仮止めた。この際、ロープ末端部分が急曲するため、種々損傷の心配があったが、結果として、さほど問題になるようなことはなかった。

仮止めを終わったロープは図-6 に示す各段ごと（たとえば 6, 7, 8, 9, 10, 11）に調整を行なったが、調整の基本的な考え方は、1 本目のロープを上げ越し量を見込んで調整したのち、各ロープがいわば間隙ゼロになるように積み重ねる方法をとった。具体的には最初若松側主塔上でロープとサドルを固定し、各径間ごとに順を追って、若松橋台方向ならびに戸畑橋台方向に進めた。正しい位置にあるロープと、調整しようとするロープの間げきが、径間中央で x cm あるとすれば、アンカー フレームでロープ端を αx cm 移動させて、 $x=0$ になるようにする。 α の値は、各径間ごとに、また各ロープの位置ごとに計算で求められるが、近似値は下記のとおりである。

中央径間	$\alpha \approx 1/2$
側径間	$\alpha \approx 1/7$
back stay	$\alpha \approx 1/20$

これをみてもわかるとおり、 α の値が小さく、したがって、ロープ端ソケットの移動量も、最終的には、0.1 mm order となり、温度変化をさけるための深夜作業であることも相まって、作業はかなり困難であった。しかしながら結果的には、各ロープが均一に応力を分担するという点ではかなり高い精度で調整されており、考え方によっては、工学上そこまで厳密な作業を行なう必要はなかったという見方も当然生れてくる。一例として、中央径間で相隣るロープの間げきが 2 cm あったとしてもロープ端の所要調整量、したがって相隣るロープの長さの差は約 1 cm であり、ケーブル バンドの締めつけを各 1/2 点ごとに実施して、この誤差を中央径間全体に分

写真-2



散させれば、ロープ応力の不整はわずか 1t（設計応力に対する誤差 1%）にすぎない。この点を拡大してゆけば吊橋ケーブルの安全率のとり方にもおよぶであろうが、わが国最初の経験のみでそこまで議論を飛躍させるのは行きすぎであろう。

6. 補剛桁の架設と床版コンクリート

補剛桁の架設順序については、工事工程と架設中の変形量の点からいろいろ検討を行なったが、結局図-7 に示す 2 案にしばられた。(a) 案は主塔から片押しする関係で、工程上一応有利ではあるが、架設中の最大変形量は約 5 m に達する。(b) 案は最初中央径間中央部に約 50 m だけ架設し、その後主塔から片押しする案で、架設中の変形量は最大約 2 m である。

図-7 (a) 補剛桁架設要領図

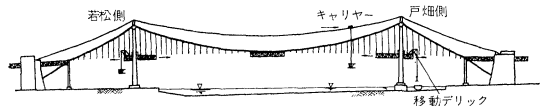
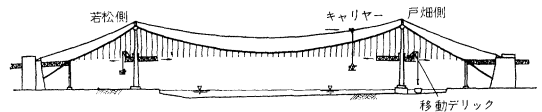


図-7 (b) 補剛桁架設要領図

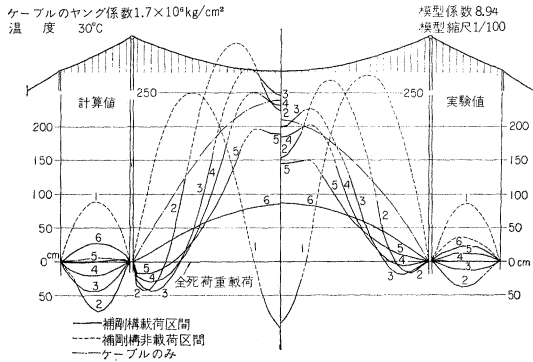


(a) 案は変形量が大きいため、剛結できない箇所も出て工事中の強風などに対する安全が保てないので結局、(b) 案を採用することにし、中央箇所を除いてすべての添接部を剛結しながら進行し、桁閉合後にこれら 2 か所も剛結した。

桁架設の方法は、図-7 にも示すとおり、側径間は走行クレーンにより、中央径間はケーブル キャリアーによる。中央径間については、当初走行クレーンの使用を考えていたが、架設中の変形量その他の点でキャリアーに変更した。

模型試験と計算による各段階でのケーブル変形量の詳細は、図-8 に示すとおりである。工事の順序が必ずし

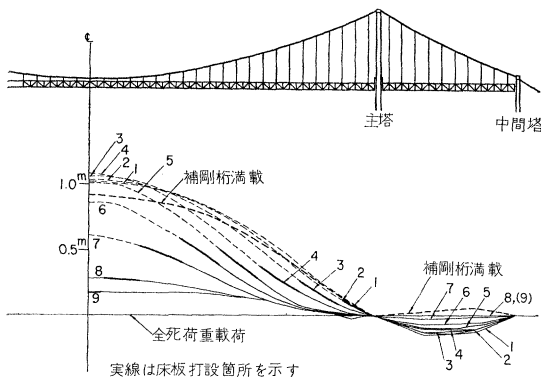
図-8 補剛構架設各段階におけるケーブルの変形



も試験どおりに行なわれなかったことや、工事中いろいろな仮設物が桁上に乗っていたので、試験と実際との明確な比較はできなかったが、傾向としては両者がよく一致していた。

床版打設は工事工程との関係もあり、最初車道のみを中央径間中央に向かって主塔から対象に片押しし、次に歩道部はなるべく uniform に載荷する方法をとった。模型試験による桁の変形量は図-9 のとおりであって、補剛桁の架設応力は問題ないが床版コンクリートについては、変形によるクラック発生が考えられるので、橋軸方向で 25 m ごとに縁を切ることにした。

図-9 床版打設中の変形図



床版打設作業は比較的順調に進んだが、高所作業のせいもあって、乾燥収縮によるクラックが多数発生した。打設コンクリートが硬化を始める瞬間をねらってビニル液の飛沫散布などの方法も試みたが、必ずしも十分でない点もあり、なるべく曇天多湿無風の日を選んで施工した。

7. 中間塔の設置

計画または設計のときに考えていたことで、工事実施の結果からみて反省すべき点はいろいろあるが、一例として中間塔を設置したことについて触れてみたい。

中間塔を設置した理由は下記のとおりである。

(1) 橋台の平面積

橋台の平面積は、両側とも 34×40 m としたが、特に戸畑側では、これ以上平面積を大きくすると、周辺市街部の改造まで必要になってくる。このためケーブルのアンカー方式としても、ほかの理由もふくめ、平面積が比較的小さくてすむよう上記平面寸法を採用した。

(2) 若松側橋台基礎岩盤の反力

若松橋台基礎岩盤は、頁岩と砂岩との互層からなり、岩盤の強度としては、300 t/m² と推定された。これに対し反力を、平常時 100 t/m² 程度にするためには、前記橋台平面寸法に対し、水平力の作用点の位置を低くする必要がありますので、中間塔を設けることにした。

以上については、美観上などの理由から反論もあったが、最終的には中間塔設置の費用よりも、中間塔を設けない場合の橋台基礎ならびに関連工事の費用増が大きくなるという理由から設置にふみきった。これに対しその後問題になったのは次の諸点である。

a) 地震力について

設計当初、中間塔付近での地震力のとり方については図-10 に示すとおり、側径間と単純トラスの橋軸方向地震荷重は、すべて橋台に作用させることにしていた。この点については特別問題はないのであるが、中間塔と橋台間の back stay 部と単純トラスとの地震力の分配または伝達が明確でない。いいかえれば、側径間と単純トラスが橋軸方向に震動する際に、ケーブルよりも剛性の大きい単純トラスに、瞬間的に大きい地震力が作用して、単純トラス下弦材の応力が降伏点を over する。そこで図-11 に示す構造に変更し、単純トラスはそれ自体のみの地震力に抵抗し、back stay 部分との地震力分配の不明確さをさけることにした。

以上は必ずしも中間塔設置の欠点とはいえないし、設

図-10

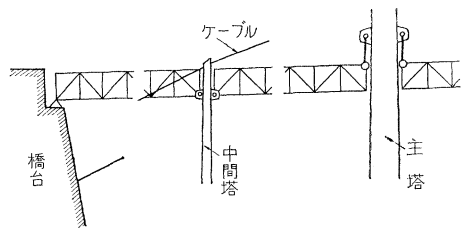
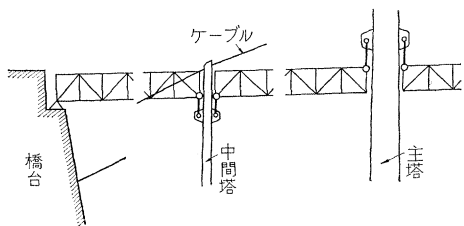


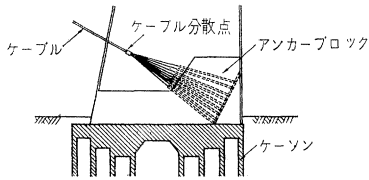
図-11



計時の考え方を改めたただけのことではあるが、構造物の単純化の原則からすれば、若干問題は残るであろう。

b) ロープの調整 中間塔が存在するために、ロープ調整手間は当然増す。この点も中間塔を設置した場合の欠点と考えられる。また中間塔自身と直接の関係はないが、**図-12**に示すとおり、ケーブル分散点からアン

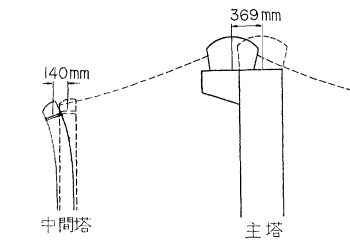
図-12 橋台・アンカー フレーム略図



カー フレームに至る間で、ロープの半数が上向きに分散しているため、調整時の仮押えが必要になった。す

べて下向きに分散させるのが理想ではあるが、基礎工事との関係でやむをえなかった。いずれにしても、中間塔設置のための間接的な欠点といえるであろう。

c) ケーブルの上げ越し 上げ越し量を決定する要素としては、載荷重によるケーブルの伸びと、これにともなう主塔および中間塔の変形がある。若戸橋の場合、中央径間にくらべて側径間が短かいので、塔とケーブルが固定されていれば、工事の進行にともなう載荷重の増



大について塔が中央径間寄りに弯曲する。この対策としては、**図-13**に示すとおり、主塔については塔頂サドルをあらかじめ

369 mm だけ側径間寄りに仮固定しておき、工事の進行につれて、4回にかけてこのサドルを中央径間寄りに押しやった。また中間塔は、単純トラスを利用して、橋台寄りに 140 mm 弯曲させておいた（数字はいずれも計算結果による。詳細略）。

さて上げ越し量決定のために、上記のほか次の仮定を行なった。

- ① 補剛桁は、中央径間と側径間それぞれ uniform load とする。
- ② ロープ端ソケットの抜け出しを 3 mm とする。
- ③ 橋脚の沈下はない。
- ④ ケーブル水平力による橋台、したがってケーブル端の水平変位を 5 mm 程度考慮する。
- ⑤ ケーブルの弾性係数を $1\,600\,000 \text{ kg/cm}^2$ とする。

以上により、中央径間中央におけるケーブル中心の設計高 49 822 m に対して施工高 52 373 m、したがって上げ越し量を 2 551 m とした。

さて 7 月 20 日現在の状況（床版コンクリート完了、

車道舗装未着手、防護網や足場の一部残存）での実測結果から推定すると、温度 20°C で 49 833 m であって、設計高とほぼ一致しているが、施工前の最終計画では、夏季の温度上昇や前記の仮定の不明確さ、さらには港湾水面上での桁下高なども考え、約 150 mm 程度設計高よりも高くなるように考えていた。この点からすると当初の予想よりもいくぶん低目に架設されたことにもなる。

この原因としては、さきあげた仮定によるものや、施工または測定の際の誤差がいろいろ考えられるが、一つの原因として、中間塔からケーブル分散点の間の back stay 部における計算誤差が考えられる。上げ越し量決定の際は、分散点中心と中間塔サドル中心に屈曲点をもったスパンを想定し、この間においてケーブル架設終了時に、最終状態を基準としての一定のサグを与えておけば、載荷重によるケーブル張力の増大にともなってサグは次第に減少し、最終状態に落ちつくはずである。

ところが実際にはスパンが問題である。すなわち、back stay 部におけるケーブルの形状は、サドル付近で反曲点をもった複雑な形状であり、またケーブル分散点の位置自体も、自重や張力の影響で、計算上考えた空間位置とは若干異なっている。ちょうど **5.** で述べたロープ調整の場合の逆で、長さのわずかな誤差が大きく拡大された姿でサグに影響してくる。

以上の詳細、特に数値については、目下整理中であるが、少なくとも現在のところでは、back stay 部における長さの誤差が大きい原因と考えられる。結局、中間塔を設置したために、施工誤差が大きくなったことは、ほぼ断定してよいと思われる。

d) 結論 結論として、一般に中間塔を設置しないで、側径間を橋台まで延長するのが望ましい。若戸橋の場合、地質、地形、用地取得の困難および工費の点で中間塔設置もやむをえなかったことではあるが、当初予想しえなかった施工上の煩雑さも生じ、構造物の本質として要求される単純性や美観の点からすれば、一般論としては中間塔は設置すべきでないと思う。

8. 塗 装

使用塗料および上塗り塗料の色は、それぞれ **表-4** に示すとおりである。また塗装工事の実績は、**表-5** に示すとおりである。各部分とも、素材または組立部材について、サンド プラストまたはショット プラストによるサビ落しを行なった直後、プライマー 1 回塗布を行なっている。

塗料試験の結果からは、下塗りと中塗り、または中塗りと上塗りの間隔は、2 ヶ月程度までが理想で、極力この範囲内で実施するよう努力したが、作業用地や架設工事との関係で、万全であったとはいえない。長期間放置

表-4 使用塗料

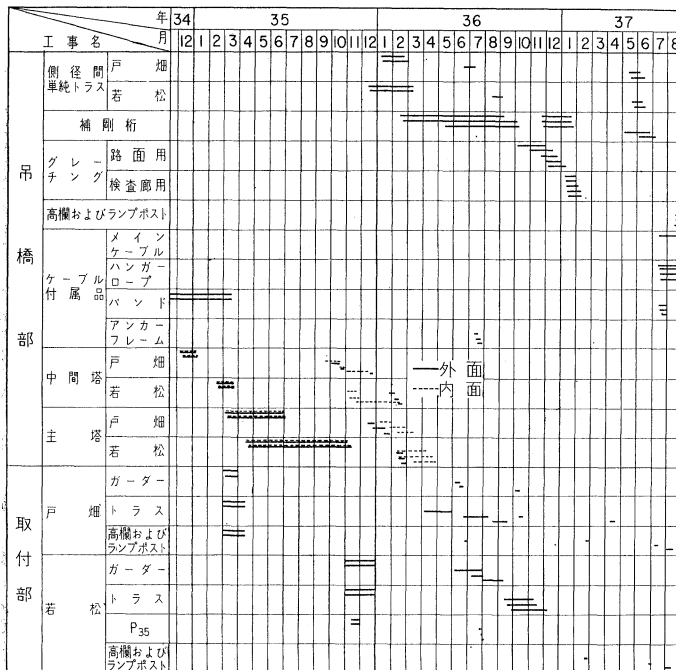
工種	塗料名
吊橋部 補剛桁、側径間単純トラス、排水施設、高欄ランプポスト、ソケットバンド等 塔および中間塔外面、サドル覆、アンカーフレーム	クロミオン(クロミオンペイントKK) SR 型ズボイド(大日本塗料KK)
取付部 戸側 若松 ガーダー・トラス、伸縮継手下面 ガーダー・トラス、P ₃₅ 、伸縮継手下 面排水施設、検査廊 高欄およびランプポスト	SDマリンペイント(関西ペイント) CR マリンペイント(日本ペイント) "
その他 グレーチング(路面用、検査廊用) 伸縮継手上面、ケーブル等	"

表-5 塗料の色

工種	塗料の色
吊橋部 補剛桁、側径間単純トラス、排水施設、グレーチング(検査廊用)、高欄ランプポスト、ソケットバンド等、サドル覆、塔および中間塔の外面、ケーブル等 アンカーフレーム、塔および中間塔内面	日本塗料工業会標準色 昭和 31 年度版 1103 同上 1005
取付部 ガーダー、トラス、P ₃₅ 、伸縮継手下面、検査廊、排水施設 高欄およびランプポスト	同上 1103 同上 1201
その他 路面用グレーチング、伸縮継手上面	同上 昭和 36 年度版 006

による欠陥がみられるものについては、次の塗装に移る前に手直しを行なったが、原則としては理想どおりの塗装を行なうのが先決であろう。特に表-5でも明らかとなっており、取付部のガーダーとトラスについてこの欠点が目につく。これに反して、塔や補剛桁は、やや理想に近い塗装を行なったことになるが、これとて問題がなかったわけではない。

図-14 若戸橋塗装工事実績横図



注：各欄とも上から下塗第1層、下塗第2層、中塗、上塗第1層、上塗第2層の順で示している。

たとえば塔については、中塗りのままで長期間放置できぬため上塗りまで行なったが、引続き施工されたケーブルや補剛桁の架設工事によって、リベットやボルトの落下による傷とか、工事による塗料のはく落がある。これについてはもちろん補修は行なうにしても、万全といえるかどうか疑問がある。

いずれにしてもほかの現場工事との関連において、塗装工事の合理的な工程の組み方は、今後の研究課題と思われる。若戸橋の場合、塗料の種類としては、試験の結果、比較的好成績を得た表-4に示す塗料を使用しているが数年後これら塗料の良否を比較する際には、以上のような塗装工事自体のタイミングの良否も、あわせて判断の資料とすべきであろう。

10. あとがき

取付部上部工事、ロープの工場製作、ケーブルのラッピングその他についても、いろいろ問題はあったが、紙面の関係で割愛した。

下部工事をふくめ、狭隘な市街地で競合しあって、いろいろな障害もあったが全般には順調に進みえたものと思う。計画当初の予定工程と実施工程との関係は図-2に示したとおりである。

上部工全体、特に吊橋部については、大多数の作業が日本最初の経験であり、個々の内容について、いわゆるスマートさに欠ける点が多々あったにせよ、下部工事もふくめてほぼ3年半の工期で完成しえたことは、日本の施工技術の進歩を示すものといって過言でないように思う。反面、欧米諸国と比較して機械力で一步をゆずる日本として、力の限界という見方も成り立つかもしれないが、ともかく材料も労力も日本人のみの手で完成しえたことは、従事者にとってこの上ない喜びである。そしてこの経験が、さらに大きい吊橋工事に対して、なんらかの考参になれば、全く望外というほかはない。

吊橋の耐風安定性を示す重要な要素としての減衰係数の測定や、載荷試験による部材応力のチェックは8月下旬に行なったが、これについての詳細は別の機会に報告したい。(原稿受付：1962.8.1)