

若 戸 橋 の 設 計

日本道路公団若戸橋工事事務所

1. ま え が き

前報告、若戸橋工事に際して行なった調査* にひきつづいて、本報告には設計のための専門事項調査、設計、施工調査、施工計画など路線および橋形式の決定後に行なった一連の作業概要をまとめた。

また、前報告をふくめ、各項目ごとの詳細内容を報告した文献名を最後にまとめた。将来、このような吊橋の計画の参考にさせていただければ幸いである。

2. 専門事項調査

予備調査、路線および橋形式の決定などの現地調査を終え、設計のための専門事項調査は大部分が現地を離れ、主として建設省土木研究所、大学などの研究機関に委託して行なった。

専門事項調査の概要はつぎのとおりである。

3. 専門事項調査

(1) 岩石・地盤調査

調査項目は次のとおりである。

(a) 第3紀層物理試験(土木研究所、九州大学に委託) 主として、弾性係数および圧縮強さの測定。

(b) 第4紀層物理試験(土木研究所委託) 一般的土質試験およびクィック サンド実験、サウンディング試験および貫入試験。

(c) 地下水調査 戸畑側橋台付近および若松側橋台付近での湧水試験。

(d) 岩盤の滑动抵抗試験(九州大学委託) 主として若松橋台付近の岩盤について三軸圧縮試験およびケーソン模型による滑动抵抗試験。

(e) 取付部土質試験 取付部について9カ所ボーリングを行ない、その試料についての一般土質試験。

(f) 取付部杭打ち試験 取付部におけるコンクリート杭打ち載荷試験(4カ所)。

(g) 止水工法調査 茨城県千歳橋現場での止水実験。調査結果は次のとおりである。

① 岩盤の破壊強度は(kg/m²)表-1のとおりである。これから、湿潤状態において最低300t/m²の支持力が得られることがわかった。

② 岩盤の弾性係数(kg/m²)は、戸畑橋台 7×10⁸~1×10⁹、戸畑橋脚 4×10⁸~5×10⁸(kg/m²)で、150t/m²の荷重に対し弾性沈下量は約3cmとなり、現場施工に重大な影響はない。

* 土木学会誌 45-12, 昭 35-12, pp. 19~25

表-1

区 分	湿潤状態	乾燥状態	深 度	岩 質
戸畑橋台	—	200~800	-25 m 以下	砂質礫岩
戸畑橋脚	50~210	—	-24 m "	砂 岩
若松橋台	30~210	290~1 000	-24.5 m "	灰白色細礫岩
若松橋脚	—	—	-28 m "	砂質頁岩

③ ぼう潤性のある岩盤は、それほど重大な影響はないと考えられ、施工の結果、要すれば滑り止め工法を行なう。

④ 主橋基礎はすべて空気ケーソン工法とする。

⑤ 取付部の杭は、支持杭とすることが望ましい。

(2) ワイヤ ロープの調査

吊橋用ワイヤ ロープには次のようなことが要求される。

①有効単位面積当りの引張強さが大きいこと、②断面密度が大きいこと、③構造伸びが小さいこと、④弾性係数が大きいこと、⑤疲労強度が大きく、クリープが小さいこと、⑥取扱いやすく、架設作業が簡単なこと、⑦定着、防錆が容易なこと、⑧安価なこと。

以上の要件を満たす、もっとも好ましいロープの構造、素線の機械的性質、線材の品質を決定するとともに、定着および防錆法を調査した。

(a) ワイヤ ロープの一次試作試験(土木研究所に委託) 4形式のワイヤ ロープ延べ240mを試作し、素線およびロープの機械的性質、めっき構造、などについて種々試験を行ない、比較検討の結果は次のようであった。

1) スパイラル ロープは、ロックド コイル ロープにくらべて、機械的性質もいくぶんよい上、きびにくく、また製作も容易である。

2) スパイラル ロープは、ストランド ロープにくらべて、構造伸びが小さく、弾性係数が相当大きい。

3) スパイラル ロープは、パラレル ワイヤ ロープにくらべて、かけ渡しが簡単で、工期が短縮される。

4) ロープ費、架設費などについて比較すれば表-2のとおりである。

表-2

区 分	スパイラル ロープ	ロックドコ イル ロープ	ストランド ロープ	パラレルワイ ヤ ロープ
ロ ー プ 費	2	4	3	1
架 設 費	1	3	2	4
工 事 費	1	4	3	2
架 設 工 期	1	2	3	4
橋 の 剛 性	2	3	4	1
ケーブルの直径	2	3	4	1
防 錆	1	4	3	2

以上の理由からケーブル用ロープとしては、スパイラルロープを採用することにし、ハンガー用ロープとしては、柔軟性の大きい、1ストランドロープを採用することにした。

ロープの細部については、次のような結論を得た。

- ① 線材は優秀な鋼を原料とする国産ピアノ線材を使用し、炭素量は0.85%以下とする。
- ② 素線は亜鉛めっき線とし、めっき後の引張強さは160kg/mm²、伸び(標点距離250mm)4%以上とし、継ぎめがなくてはならない。
- ③ めっきは溶融亜鉛めっきとする。
- ④ ロープのピッチは、スパイラルロープでは、各層心径の約11倍、ストランドロープでは、ロープ径の約10倍とする。
- ⑤ ロープはすべてプレストレスリングすることにし、プレストレスリング後の弾性係数は、スパイラルロープで1600000kg/m²以上、ストランドロープで1400000kg/m²以上とする。

(b) ケーブルおよびハンガーの構成 ケーブルはロープ何本で構成し、その配列をどうするか、ハンガーはロープ何本で1組とするかを検討した結果次のような理由から、ケーブルはロープ61本で構成し、外形を円形とし、ハンガーは1組4本とすることに決定した。

- ① ケーブルをロープ37本で構成すると、ロープ径が大きくなり、ロープ製作が困難である上に、架設中の取扱いが非常にむずかしく、損傷のおそれが大きい。またケーブル関係工事費が多くなり、機械的性質も悪くなる。
- ② 外形を円形にすれば、フィラーが小さくなり、ラッピングも容易になるとともに、バンドの構造が簡単で機能も確実になる。
- ③ ハンガーロープ4本を1組にすると補剛桁との連結が好都合である。

(c) ワイヤロープの二次試作試験(土木研究所に委託) ケーブル用スパイラルロープおよびハンガー用ストランドロープの仕様(線材の材質・寸法、素線・ロープの寸法・構造・機械的性質、めっきなど)を決定するため、スパイラルロープ4種、ストランドロープ2種、延べ250mを試作試験し、次の結果をえた。

- ① ケーブル用スパイラルロープの構造は、吊橋用ロープの特性、耐蝕性および構造の単純性による製作の容易さなどを考慮して普通逆方向型とする。
- ② ハンガー用ストランドロープの構造は、「N.I.W.R.C」とする。

(d) 小吊橋のロープは、普通にはロープ油が塗布しており、亜鉛めっきと協力して、防錆効果を発揮しているが、長大吊橋のケーブルは一般にラッピングと塗装によって腐食を防止する。亜鉛めっきロープとアルミニウムフィラーに対する塗装は、わが国では例がなく、外国にも例が少なく塗装工法が確立されていない。

そこで製綱工程から、ラッピング前後の塗装までをあわせて考えて、種々検討した結果、ロープ中には亜麻仁油を塗布することにし、なおケーブル表面およびフィラーにはラッピング前後に塗装を行なうことにした。

(e) ソケットメタルのクリープ試験(土木研究所に委託)では、わが国および外国で使用されているものおよび適当と考えられる純亜鉛、亜鉛系合金、錫系合金、鉛系合金、カドミウム系合金、計9種類を選び、主として曲げクリープ試験でクリープ性状に重点をおいた機械的性質を調べ、純亜鉛、亜鉛系合金、鉛系合金の中から4種類の合金についてさらに実物大模型によるクリープ試験を実施した結果、ソケットメタルとして亜鉛系合金のうち、亜鉛98%、銅2%の亜鉛-銅合金を選定した。

(3) 風洞試験(東京大学に委託)

耐風性の高い補剛桁の形状を決定するため、各種の補剛桁模型について次のような風洞試験を行なった。

(a) 基本試験 断面形状の異なる補剛桁、約10種の基本的部分模型(縮尺約1/70)をつくり、揚力、トルクの三分力試験および限界風速試験を行ない次の結論をえた。

- ① プレートガーダー形式のものは、グレーチングの入れ方などにより、耐風性を高めることができるが、その範囲はきわめて狭い。
- ② トラス形式のものは、プレートガーダー形式のものにくらべて耐風性がよく、その範囲も広い。
- ③ トラス形式のうちでも中路形式が最良である。

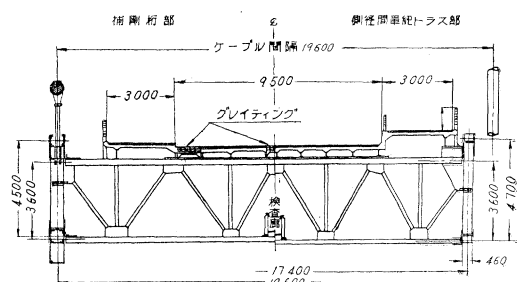
(b) 詳細試験 トラス形式についての詳細検討を主眼として、模型試験を行ない、次の結論をえた。

- ① トラスの中心間隔を19.6mとし、路面端との間に約2mのすき間を設ける。
- ② 路面にグレーチングを設けることは有効であり、車道の両端に巾各1m、車道中央に巾0.8mのグレーチングを設ける。
- ③ 床桁、縦桁をトラス化することは、有効である。
- ④ 補剛トラスのねじり硬さを増すよう配慮の必要がある。

(c) 確認試験 実験の精度を確認するため、アメリカの代表的吊橋三橋について風洞実験を行ない、アメリカにおける実験結果と比較するとともに、それまでに行なってきた実験を整理した。その結果、充実率を小さくして、発振風速を大きくし、耐風安定性を増すなどの理由から、補剛桁は高さ7mの上路形式とし、車道部全面をグレーチングとするのが望ましいと結論した。

この三案中、通常期待しうる振動減衰率およびねじり硬さを考慮すれば、実際上支障のない程度の発振風速が

図-1 吊橋部断面図



期待できること、取付部の勾配がゆるやかになること、工費が安くなることなどを考慮して、第三案を採用することにした。その断面図を図-1に示す。

(4) アンカー ブロック光弾性実験(土木研究所に委託)

ケーブル ロープをアンカー ブロックに定着する方式には、合金止めソケットを用いる方法、クリップ止めを用いる方法などがあるが、若戸橋では合金ソケット止め法を用いることにして、次のような調査を行なった。

(a) アンカー ブロックの 2 次元光弾性実験 ソケット全面を直接アンカー ブロックのコンクリート面に支持させる方式と、アンカー ブロック中に埋込んだアンカー フレームにソケットを固定する方式との二方式について実験し、応力分布状態を検討した。

(b) アンカー ブロックの 3 次元光弾性実験 上記二方式について 3 次元実験を行ない、応力分布状態を検討した。

調査の結果、応力集中度が小さく、コンクリートの引張応力領域が小さいなどの理由から、アンカー フレーム方式を採用することにした。

(5) 耐震試験(東京大学生産技術研究所に委託)

若戸橋架橋地域は、大地震の少ないところであるが、外国にくらべれば大地震の可能性は大きい。

振動に対して敏感な構造である吊橋(特にフレキシブル形式およびロッキング形式の塔を採用したものは、在来の慣用耐震計算をそのまま行なうことはできないので、耐震設計の参考資料をうるため、次のような調査を行なった。

(a) 架橋現場付近地盤の常時微動測定。

(b) 吊橋模型(縮尺 1/1 000)の、振動台による振動実験。

(c) 既設吊橋の振動減衰係数の測定。

調査の結果は次のとおりである。

① 現地地盤の固有振動周期には、0.2~0.5 秒のものが卓越しているが、架橋地点からあまり遠くない岩盤地帯では 1.0 秒程度のものも現われているので、大地震のときの主要周期は 0.2~1.5 秒と考えられる。

② 計画地震としては、安全のため、すべての周期が卓越するとみなし、150~30 ガルの振動が 15 秒間続くものと考えておけば十分であろう。

③ 減衰係数は $h=0.004\sim 0.006$ と考えられる。

④ 吊橋の振動周期は普通に行なわれている理論式で十分に計算することができる。

(6) 塗料試験(土木研究所に委託)

架設地点は、海からの風送塩と、北九州工業地帯からの工場廃棄ガスのため、鋼材の防錆は非常に重要である。そこでこの環境に対して、耐候的、耐久的な塗装システムを選定するとともに、鋼材面のさび落し程度の影響を明らかにするため、次のような調査を行なった。

(a) 塗料一次試験 主要塗料メーカーの推ししょうす

る 19 種の塗装システムについて。

① 一般性状、JIS 規格試験、塩水噴霧試験、膨張収縮くり返し試験、老化加速試験などの室内試験。

② 暴露試験(現地 2 カ所、および東京)。

③ 現地雨水の化学分析、空気中の Cl 、 SO_4 、 H_2S の定量

(b) 塗料二次試験 一次試験(ばく露期間は約 2 カ年)の結果から、適当と考えられる塗装システム数種を選定し、さび落し程度、塗装回数などをかえて、一次試験とおなじ要領で室内試験および暴露試験を行なった。

以上の調査から、次の結論をえた。

① 現地の雰囲気は、環境の影響をうけ、大気中の Cl 、 SO_4 などは普通の地域にくらべて非常に多く、降雨中の pH は 5~7 を示している。塗装および塗装システムの選定には、この点に十分留意しなければならない。

② 主要部分の鋼材は、ショット プラストか、ピッキングにより黒皮、さびをとることが望ましい。

③ 塗料は特殊含鉛さび止めペイントとし、プライマーのほか、4 回塗りとする。

④ 塗料試験の結果から最終的に 4 種類の塗料を選び、両側の各取付道路、塔、補剛トラスに分けて使用する考えである。また上塗料の色彩は別に審美的に検討を加える。

(7) バンド試験(土木研究所に委託)

調査項目は次のとおりである。

(a) ロープ素線と鋳鋼、亜鉛など相互間の摩擦係数の測定。金属相互間の圧力を変化させ、摩擦係数を測定した。

(b) バンドの試作調査 鋳鋼バンド内面にロープ溝をつけた形式、およびバンド内面とロープ間にフィラーをはさみ、フィラー(亜鉛および鋳鋼製)に溝をつけた形式の実物大バンドを試作し、工場製作上の問題点および現場組立上の問題点を検討した。

(c) 試作バンドによりバンドとケーブル間の滑り抵抗およびバンド各部の応力測定。

試作ロープで長さ約 2m の実物大ケーブルを作り、試作バンド 2 個をこれに組立て、バンド相互の引張試験を行なって滑り抵抗および各部の応力を測定した。

調査結果は次のとおりである。

① バンドの形状は円形とし、フィラーを用いない形式(鋳鋼壁にロープ溝をつける)とする。

② バンドとケーブル相互間の摩擦係数は 0.15 以上である。

③ バンド壁内面のロープ溝は、完成ロープ径に適合するよう、十分正確に製作する必要がある。

④ バンドは所定のボルト張力で十分な滑動抵抗があった。

⑤ 現場に用いるボルトひずみ測定器を試作した。

(8) 気象調査(一部中国電力に委託)

調査項目は次のとおりである。

(a) 天候、気温、湿度、降水量、風向、風速など一般気象調査

(b) 特殊風速計による台風などの風の特異調査

(9) グレーチング試験

グレーチング数種を試作として、現地路面に敷設し、自然交通による強度試験、耐久試験を行なった。

4. 設 計

約 500 枚の設計図にまとめられた設計内容の概要を次のとおり。

(1) 概 要

(a) 工事延長 2068 m 主 橋 部 680 m
戸畑側取付部 704 m
若松側取付部 684 m

(b) 主橋の形式 吊橋 (2 ヒンジ普通形式)

(c) 主橋の径間割 中央径間 367 m
側 径 間 89 m

(d) 巾員 主橋部 15 m (車道 9 m, 歩道 2×3 m)
取付部 9.5 m (車道だけ)

(e) 橋格 1 等橋

(f) 主橋の桁下高 計画航路の中央部、巾約 254 m の区間は、さく望平均高潮位上 40 m

(g) 縦断勾配 主橋部 3% 直線, 中央部に 1.5% の放物線
取付部 戸畑側 5.0%
若松側 5.46%

(h) 事業費 51 億円

(2) 各 部

(a) 設計荷重など 鋼道路橋設計示方書の規定によるほか、次のとおり。

① 活荷重 (床および床組を除く): 車道には 350 kg/m² の等分布荷重を負載する。この場合、衝撃および横方向のてい減を考慮しない。

② 風荷重

区 分	載 荷 時	無 載 荷 時
補 剛 桁	900 kg/m	1 500 kg/m
ケーブル ハンガー、塔	200 kg/m ²	400 kg/m ²

③ 温度変化の影響: 温度変化の範囲は -10°C から +50°C までとし、架設時の基準温度は、ケーブル、補剛桁に対し、+30°C 塔および中間塔に対し、+20°C とする。なお、ケーブル、塔、中間塔に対しては、基準温度から ±15°C の温度変化の影響を主荷重とする。日光直射部分と日影部分との温度差は 15°C とする。

④ 安全率: ケーブルおよびハンガーの保証破断強度に対する安全率は、それぞれ 3 および 4.5 とする。

(b) 一般 交通量は開通当初 3 000 台/日、20 年後 6 000 台/日と推定しており、歩道は自転車類にも併用し、吊橋部だけに設ける。そのため歩行者交通は両橋台に設けた 4 台ずつのエレベーターで昇降する (現在渡船の旅客 2 200 人/日、自動車類 1 000 台/日)。

自動車料金所は 6 車線として戸畑側に 1 箇所設け、歩行者の料金所は両方の橋台に設ける。この橋台の周囲は広場とし、橋台上には、バス停留所と見晴し台を計画している。なお、工事用資材労力は次のとおりである。

鋼 材	21 000 t
コンクリート	120 000 m ³
セメント	34 000 t
労 力	1 000 000 人

(c) 橋台 基礎は、大きさ 34×15 m、2 基の鉄筋コンクリート空気ケーソンである。ケーソンの形状、大きさは、地耐力・滑動・転倒などに対する安定条件のほか、施工上の要求を取り入れて決定した。2 基のケーソンは連結帯で結び、ケーブル張力にラーメンとして抵抗する。

深さは戸畑側 -18 m、若松側 -22 m で、それぞれ第 3 紀層の礫岩および砂質頁岩の上ののっている。アンカーブロックの重量約 3 万 t、アンカーブロックと路面間は、鉄骨鉄筋コンクリートのビル (ただし間仕切壁、床版はない) で高さは 12 階建に相当し、橋台 1 基あたりのコンクリート量は約 32 000 m³ である。

(d) 塔 基礎は、鉄筋コンクリート空気ケーソンで、大きさ 40×17 m、深さは戸畑側 -24 m、若松側 -24.5 m である。戸畑側は深さ約 10 m の海中に建てることになるので、ケーソン下部は工場内であらかじめ鋼製ケーソンとして作っておき、現地に曳行してすえつけ、沈下する。

塔本体はフレキシブル形式の鋼構造 2 層ラーメン (リベット接合、一部高張力ボルト使用) である。塔柱断面は基部で 5×3.8 m、頂部で 3.6×3.0 m の矩形で、高さは約 86 m である。

塔内には保守用のエレベーターが設けてあり、塔頂にはケーブルを支える鋳鋼製のサドル (1 個約 21 t) がのっている。

中間塔の基礎も、鉄筋コンクリート空気ケーソン 2 基で、大きさ 6.5×6.5 m である。中間塔本体は、フレキシブル形式の鋼構造一層ラーメン (リベット接合) である。塔柱断面は基部で 2.4×2.2 m で、高さは 43 m である。

塔および中間塔の総鋼重は約 4 300 t である。

(e) ケーブル ケーブルの直径は約 50 cm で、間隔 19.6 m で 2 本張り渡たされ、1 本のケーブルは直径約 61 mm のスパイラル ロープ 55 本と、直径約 37 mm のスパイラル ロープ 6 本をたばねてつくられる。ロープは直径約 5 mm のワイヤをより合わせてつくるが、ロープ 1 本中の、ワイヤは 127 本、あるいは 61 本である。ロープの外周には三角状アルミニウム フィラーをあて、その上からラッピングをする。ケーブルのサグは 35 m で、中央径間長の約 1/10 になっている。補剛桁を吊るためのハンガー ロープは径約 40 mm で間隔約 8.4 m、ハンガーの取付部には鋳鋼製バンドがつけてある。

ワイヤ ロープは全重量約 1 500 t でケーブル用ワイ

ヤの総延長は、約 10700 km になる。

(f) 補剛桁 補剛桁は、リベット接合の鋼構造中路式トラスで、トラス高さ 4.5 m、弦材間隔 19.6 m、格間長約 4.2 m である。路面はコンクリート床版（アスファルト舗装の予定）であるが、車道と歩道の境（巾 80 cm）および車道中央（巾 100 cm）にグレーチングを入れてある。これは耐風安定性をよくするためである。補剛桁の中央径間端は塔から吊材で吊られており、橋軸方向には、自由に移動できるようになっているが、風などの横方向荷重は、横構支承によって塔に伝えられる。

側径間では、橋軸方向において、塔側可動、中間塔側固定になっており、横方向荷重は塔および中間塔に伝えられる。補剛桁には普通鋼材のほか、高張力鋼材を用いている。補剛桁の総鋼重は約 4000 t である。

なお、補剛桁の設計最大たわみ（鉛直方向）は約 1.2 m で、中央径間長の約 1/300 になっている。

(g) 取付部 戸畑側取付部は、単純トラス 6 連、単純プレート ガーダー 3 連、鉄骨鉄筋コンクリート ラーメン 127 m および料金所付近の盛土区間 250 m であり、若松側取付部は、単純トラス 6 連、単純プレート ガーダー 7 連、鉄筋コンクリート桁 17 連および盛土区間 77 m である。橋はいずれも上路式で、基礎は空気ケーソン、井筒または杭打基礎であり、杭にはベDESTAL 杭も予定している。橋脚躯体は鉄骨鉄筋コンクリート構造である。なお取付部についても種々形式比較を行なっている。

(h) 照明設備その他 主橋、取付橋の全区間の橋面を蛍光水銀灯で 20 ルクス以上に照明する。塔の外表面などは灯光器で間接照明して、夜空に浮出させる計画である。なお塔および中間塔の内部には照明用白熱電灯（検査、保守など必要なときだけ点灯する）が、約 1100 個取付けてある。また停電時の非常設備として照明用およびエレベーター用のディーゼル発電機(175 kW)を設ける。

5. 施工調査

設計および施工上の基礎資料をうるために行なった施工調査事項は次のとおりである。

(a) 空気ケーソン工事業者調査

① 予備調査として、基礎工事および一般橋梁工事業者（鋼橋メーカーをのぞく）の経歴調査および業種別実績調査。

② 技術調査として、空気ケーソン業者の工事経歴、関連技術者、保有機械、若戸橋基礎工事に対する意見（工事計画）、大型ケーソンの沈下、浮ケーソンの曳行、連結帯の施工、止水工、逆巻工、工程等）などの調査。

(b) 鋼橋メーカー調査

① 予備調査として、鋼橋メーカーの工事施工能力調査および工事経歴調査。

② 技術調査として、主要鋼橋メーカーについて、塔状構造物、および吊橋工事などの実績調査、若戸橋上部工製作架設工事に対する意見（製作法一般、使用設備、輸送法、架設法、工程等）などの調査および工場設備調査。

(c) ワイヤ ロープ メーカー調査

① 主要なワイヤ ロープ メーカーについて、会社の概要、工場一般設備、ワイヤ ロープ製造能力、吊橋用ワイヤ ロープ（主としてスパイラル ロープなどの太物）製造設備、および製造実績などの詳細調査。

② ピアノ線材メーカーについて ピアノ線材の製造実績、能力および品質などの調査。

(d) 大形鋳鋼品メーカー調査

① 予備調査として一般鋳鋼品メーカーについて、鋳造設備、能力、若戸橋サドル製造の能否 および 鋳造法概要ならびに、サドルに対する製造上から見た意見などの調査。

② 技術調査として、主要な鋳鋼品メーカーについて、工場概要、工場設備、能力、塔サドルの製造法などの詳細調査。

(e) アルミニウム フィラーのメーカー調査

アルミニウム形材の主要メーカーについて、フィラー用形材製造の能否、若戸橋ケーブル用アルミニウム フィラーに対する意見（形材の形状、寸法材質、製造法、防錆法、工期等）などの調査。

(f) 作業船調査

① 予備調査として、曳船、浮クレーンなど作業船の所属、船名、性能などの調査。

② 若戸橋用に適当と考えられる浮クレーン 保有業者について、保有浮クレーンの性能、借用能否、借損料などの調査。

6. 施工計画

(1) 一般

全体工事工程を決定的に支配するものは、主橋基礎から始まり、躯体、塔、ケーブル、補剛桁、床版の一連工事であって取付部および広場などの工事工程は、この工期内に独立して計画することができる。

主橋工事は、戸畑側塔基礎および橋台から開始し、多少おくれて若松側基礎および橋台に着手する。塔の架設開始は 34 年暮で、まず戸畑側を完成し、ついで若松側に移り、35 年度中に完成の予定である。これに引続いてケーブルの架設を開始し、36 年の秋には、補剛桁の組立に移り、37 年の秋に竣工する予定である。

取付部は戸畑側から着工し、完成後はケーブル用ロープなどのプレストレッシング作業場に使用する。若松側は少しおかれて着工するが、その完成は料金所関係をふくむ戸畑側工事の完成と同一時期とする。

主要工事の工事工程は表-3のとおりである。なお材料置場、鋼材置場、ロープ置場および労務者宿舍などのため、戸畑側に約 40000 m²、若松側に約 70000 m² の土地を予定しており、工所用電力は戸畑側と若松側に公団で設けた受電所（各 2000 kW）で一括受電する。

(2) 主橋部

(a) 下部工

① 戸畑側下部工：仮設備のおもなものは、ミキシングプラント（ミキサ 28 切 3 台、自動操作式 40 m³/h）、セメントサイロ（500 t サイロ 1 基）、骨材小運搬

表-3 主要工事工程表（準備工，工場製作期間などをふくむ）

工事区分	33年度												34年度												35年度												36年度												37年度																						
	前期												33年度												34年度												35年度												36年度												37年度										
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12											
戸畑側橋台													躯体工まで												残工事																																														
若松側橋台													躯体工まで												残工事																																														
戸畑側中間塔													下部工・塔製作												架設																								塗装																						
戸畑側橋脚													躯体工まで																																				塗装																						
若松側中間塔													下部工・塔製作												架設																								塗装																						
若松側橋脚													躯体工まで																																				塗装																						
戸畑側塔													製作												架設												残工事												塗装																						
若松側塔													製作												架設												残工事												塗装																						
ケーブル													製作												輸送												架設												塗装																						
補剛桁単純トラス													コンクリート												単純トラス架設												架設												塗装																						
戸畑側取付													製作												架設																																														
若松側取付													製作												架設																																														
雑工事																																																																							

設備（引出暗きょ中のベルト コンベヤとバケット エレベーター），エヤー プラント（コンプレッサー，高圧 200 HP 台，低圧 100 HP 7 台）で，橋台脇に設ける。塔基礎のうち，鋼製曳行ケーソンはドック内で製作する（製作法，まずドック脇で約 6~16 t のブロックに小組立てし，このブロックをドック内で組立てる。ケーソン作業室天井部まで組立が終ると，この部分にコンクリートを打設し，硬化後，残り部分のケーソンを組立てる）。

完成したケーソンは，現場まで曳行し，沈下位置に設置したコの字形ガイドウォール内に引き入れる。曳行は，2 隻の曳船（1 000~500 HP）でケーソンを両抱きし，200~100 HP の曳船で前後の舵をとりながら 2~3 ノットの速度で行なう。

関門海峡は潮が非常にはやいので，潮を利用して曳行する予定で，曳航距離約 5 km，曳航作業時間約 7 時間と予定している。

ケーソンをガイドウォール中に引き入れ注水して沈下させた後，ケーソンにプレキャストコンクリートを施工し，つづいて鉄筋コンクリートケーソン部を 1 ロット継ぎ足し，送気，掘削を開始する。

沈下終了後，底づめコンクリートおよび頂部コンクリートを打設し，つづいて躯体コンクリートを施工する。なお躯体上面と塔底板の接触面は，正確な平面になるようグラインダーで研磨仕上げする。

橋台ケーソンおよび中間塔基礎ケーソンの掘削土砂は，キャリアーつき鳥居で巻き上げ，ダンプ三輪およびダンプトラック 5~6 台で搬出する。

なお，塔基礎ケーソンおよび橋台ケーソンは非常に大型なので，傾斜，変位を生じてもよいよう傾斜計，変位形を取りつけ，細心の注意をはらって作業する。

橋台ケーソン付近では岩盤面が傾斜しているので，岩盤を一部余掘し，底づめコンクリートを岩盤中に十分く

いこます。要すればグラウト工によって止水することも考慮した。

コンクリートはデリックあるいはタワーで高所に巻き上げ，斜めシュートおよびベルトコンベヤなどを用いて打設する。

盛土部の土工は，ショベル，ブルドーザー，ダンプトラック，転圧車などを使用して施工する。

橋台は地上 40 m のビルで，橋全体の美観上，重要な部分なので，鋼製型わくを使用して，外観をきれいに仕上げるよう注意する。

② 若松側下部工：若松側下部工は，塔基礎のケーソンに鋼製部分のないこと，取付部基礎にも空気ケーソンのあること，路線が道路上にあることなどのため，戸畑側といくぶん違うが，大体おなじ要領で施工する。

仮設備のうち，エヤープラント（コンプレッサー合計 1 200 HP）は塔基礎付近におき，コンクリートプラント（ミキサ 28 切 3 台）は取付部のほぼ中央にある市役所前広場に設置する。

（b）主橋上部工 上部工事を大別すれば，塔製作架設工事，ケーブル製作架設工事，補剛桁製作架設工事になるが，その架設方法および順序の詳細は別の機会にゆずれ，その概要を述べる。

① 塔製作架設工事：架設用機材が非常に大型になるので，その費用を少なくするため，塔 1 基ずつを順に架設することにし，まず，戸畑側塔を組立てる。塔の組立は，その高さ，工事の確実性，工期などを考えて移動デリック方式によることにした。製作工場から現場への輸送は 1 000 t 級の船によることにし，船から直接架設場所へ荷おろしする予定で，現場での仮置は原則として行なわない。架設工事に間に合うように工場製作を始めることにし，大型高性能の機械を使用して製作精度の向上をはかる。

戸畑側塔柱1段および2段は(一部材重量約110t)130t浮クレーンで組立て、3段以上は50t移動デリックで組立てる(一部材最大重量約48t)。

移動デリックは、塔柱がのびていくにつれ上方へ跳躍していく。部材継手のリベット打ちは、組立ての後を追って下から上へ進めていく。若松側では50tデリックを塔前面にすえ、これで塔柱1,2段を組立てる。なお若松側塔前面の海には、棧橋をつくり、輸送船の接岸荷場に利用する。

中間塔は、ブーム長50mの25tスティフデリックで組立てる(一部材最大重量約22t)。

② ケーブル製作架設工事:ケーブルなどの架設は、安全確実で、正確な作業のできる「仮設ロープ足場とケーブルキャリア併用方式」による予定である。

まず、ガイドロープの渡海を行なってケーブルキャリアを張り渡し、これで仮設ロープ足場を組立てる。この足場は、ロープの上に横桁を渡し、これに金網を張って床とし、ストーム、ケーブルなどで補強したもので吊橋ケーブルの約1m直下につくる。

足場が完成すると、ケーブル用ロープを、キャリアで引き出し、かけ渡していく。ロープはそれまでに現場でプレストレスングしておきケーブルの架設完了後、バンド、ハンガーを取りつけ、補剛桁の架設、床版コンクリート打ちが終ると、ケーブルのラッピングを行なう。

③ 補剛桁製作架設工事:補剛桁の架設は、バンド、ハンガーの取りつけと並行して行なう。補剛トラス、床組は各塔から両側に向かって10t移動クレーンで組立てる。鋼材は仮置場から船で若松、戸畑塔の下まで運び、橋面上へ巻き上げて、組立て場所までトローリーで運ぶ。この場合補剛トラスおよび、床トラスは仮置場で部分組立をしておく。なお補剛桁を海面から直接吊りあげて組立てる方式もあるが、船舶交通を妨害しないという意味で前記の方法を採用することにした。補剛桁の組立が終れば床版コンクリート打ちをするが、橋がいちじるしい変形を起こさないように数ブロックに分割して施工する。

なお補剛桁架設および床版コンクリート打設中は、塔頂サドルの位置をジャッキで調整し、塔や補剛桁にできるだけいちじるしい変形が生じないように注意する。

(3) 取付部

橋脚基礎のうち、若松側橋台寄の空気ケーソン4基は、大型ケーソンに準じて施工するが、市街地の家屋密着地域なので、保安には細心の注意を要する。

井筒基礎は、オレンジ、ピール、バケットなどで掘削する。

コンクリートは、ミキシングプラントから生コンをダンプトラックなどで運搬し、タワーで巻き上げて打設する。なお戸畑側ラーメン部のコンクリートは簡易ケーブルクレーンで打設する予定である。

取付部(特に若松側)は市街中心を貫くので、市民生活への支障を最小にするため数区間に分けて施工する。

5. あとがき

以上、調査、設計、施工をふくめ若戸橋調査事務所として行なった作業の概要をのべた。

実際の工事は、大体ここに記した内容で進められているが、部分的には若干の訂正や変更を行なったところもあり、それらの詳細については、あらためて工事記録といった面から記録の形で残したいと考えている。

若戸橋に関する既刊文献リスト

- 1) 田原・池田・大橋・林田・笹沼: 吊橋用ロープについて, 土木技術資料 Vol. 1, No. 7, pp. 12~15, 1959,
- 2) 田原・池田・大橋・林田・笹沼: 若戸橋ケーブルに関する実験的研究(1), 土木研究所報告 No. 102, pp. 125~143,
- 3) 大橋・笹沼: 鋼索端部のソケット合金のクリープ変形(1), 土木技術資料 Vol. 2, No. 4, pp. 5~10, 1960,
- 4) 大橋・笹沼: 鋼索端部のソケット合金のクリープ変形(2), 土木技術資料 Vol. 2, No. 6, pp. 9~12, 1960,
- 5) 平井: 吊橋の耐風安定性に関する研究, 1957年1月
- 6) 平井: 若戸吊橋の耐風安定性に関する実験的研究, 1960年1月
- 7) 小松原: 新設橋梁の防蝕塗装(若戸橋に関連して), 土木技術資料 Vol. 2, No. 11, pp. 8~16, 1960,
- 8) 川崎・乙藤: 若戸橋の基礎について, 第4回道路会議論文集 pp. 418~420, 昭和32年
- 9) 池田: 若戸橋工事について, 日本道路公団第1回業務研究発表会論文集, pp. 83~103, 昭和34年5月
- 10) 川崎: 若戸橋工事についての雑感, 道路 pp. 518~521, 1960年6月
- 11) 大橋: 若戸橋工事の紹介(1), 土木技術資料 Vol. 2, No. 9, 1960 pp. 18~22
- 12) 大橋: 若戸橋工事の紹介(2), 土木技術資料 Vol. 2, No. 10, pp. 29~33, 1960,

(原稿受付: 1961.1.24)

関西支部昭和36年2月・3月実施講習会テキスト頒布について

高速度計算機の土木工学への応用

体裁: B5判 158 ページ 領価 300 円(〒35 円)

海岸工学の最近の進歩

体裁: B5判 217 ページ 領価 400 円(〒45 円)

上記図書御希望の方は領価に送料を添えて直接土木学会関西支部(大阪市東区大手前之町 合同庁舎 近畿地方建設局企画室内 振替口座 大阪 82599 番)へお申込み下さい。