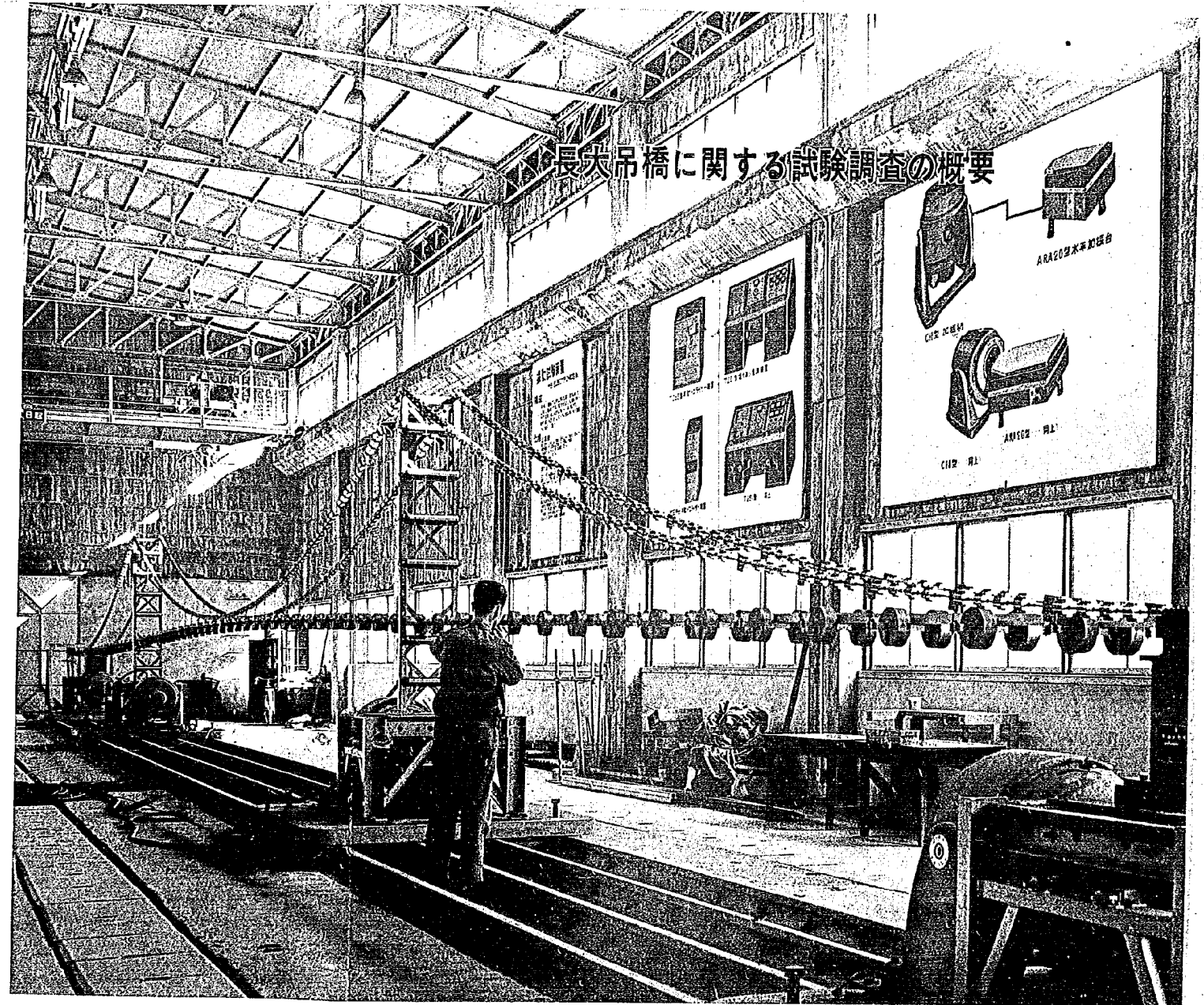




昭和40年6月

建設省土木研究所

目 次

1. 長大吊橋架設計画の概要	1
2. 世界の長大吊橋	1
3. 長大吊橋建設上の問題点	2
4. 調査研究の組織	2
5. 土木研究所における試験調査	2
6. 基礎に関する試験調査	2
6.1 基礎大型載荷実験（室内）	2
6.2 基礎大型載荷実験（野外）	3
6.3 エアリフトポンプの実験	3
6.4 潮流・波浪調査	4
6.5 高水圧下で施行したプレバックドコンクリートの強度に関する調査	4
6.6 コアーに関する試験調査	5
6.7 地 質 調 査	5
7. 吊橋の耐震安定性の試験調査	5
7.1 風洞実験の必要性	5
7.2 施 設 の 概 要	5
7.3 実 験 項 目	5
8. 吊橋の耐震性の試験調査	6
8.1 本州・四国連絡架橋吊橋の模型による耐震実験	6
8.2 水中振動台による耐震実験	9
8.3 地震動の特性および長大橋の地震応答に関する試験調査	9
9. 材料構造に関する試験調査	10
9.1 吊橋のケーブル用鋼線の試験調査	10
9.2 高強度鋼の適用性と高強度鋼を用いた部材の接合法に関する試験調査	10
9.3 薄鋼鑄造の試験調査	11
9.4 軽量床版の開発調査	11
9.5 防 蝕 調 査	12
10. ケーブルの架設法の試験調査	12
10.1 概 要	12
10.2 架設装置の模型	12
10.3 スピニングの順序	12
10.4 装 置 の 名 称	12

1. 長大吊橋架設計画の概要

現在わが国では三つの世界的規模の海峡連絡道路の計画が行なわれている。一つは本州・四国連絡架橋であり昭和31年度から、他の二つは東京湾口架橋と第二関門道路で、それぞれ昭和37年度と昭和39年度から調査が始められている。

本州・四国連絡架橋は図-1.1に示す5ルートが調査対象となっているが、各ルートとも海峡横断をするため中央径間1,000～1,500m級の長大吊橋を必要とする。また東京湾口橋は1,500m級、第二関

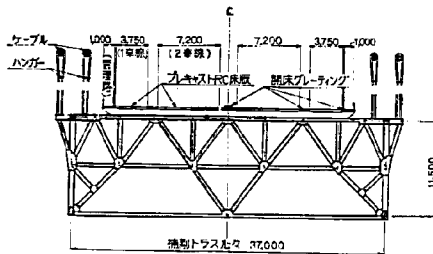


図-1.1 本州・四国連絡道路ルート図

門道路架橋では700m級の吊橋が考えられており、いずれをとっても世界的規模のものである。

図-1.2は1,500m級の吊橋の試案であり、現在の調査研究の原型となっているものである。

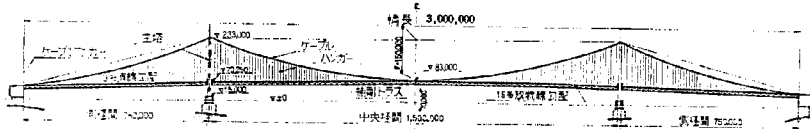


図-1.2 吊橋形式の試案

2. 世界の長大吊橋

現在世界の吊橋を中央径間長の大きなものから列挙すると表-2.1のとおりである。

吊橋以外の形式の道路橋として最も長いものは米国のベイヨン橋（鋼アーチ橋径間長501m）であり、また鉄道橋としてはカナダのケベック橋（カンティンバートラス橋、径間長548m）があるが、径間長500mを超える道路橋形式として、最も経済的かつ合理的な

ものは吊橋である。

しかしながら、吊橋は他の橋梁形式に比べて剛性が小さく、可撓性に富むため、強風・地震等の作用により揺れやすいという欠点を有しており、旧 Tacoma ナロウズ橋の例にも見られるように、強風により落橋したこともあるのでその設計には慎重な配慮を必要とする。

前節でのべたような中央径間1,500mに及ぶ長大吊橋は、もしそれが実現されれば、現在計画中のメッシナ・ストレイト橋（イタリ

ア、中央径間長1,521m）ハンバー橋（イギリス、中央径間長1,500m）とともに世界最長のものとなるが、台風常襲地帯に位置し、かつ世界有数の地震国であるわが国の場合その設計には細心の注意を必要とする。

表-2.1 世界の吊橋

順位	橋名	中央径間長	竣工	所在国
1	ベラザノ・ナラウズ橋	1,298m	1964年	アメリカ合衆国
2	ゴールデン・ゲート	1,280	1937	アメリカ合衆国
3	マキナック・ストレイト	1,158	1957	アメリカ合衆国
4	ジョージ・ワシントン	1,067	1931	アメリカ合衆国
5	ターグス・リバー	1,013	1967(予定)	ポルトガル
6	フックス・ロード	1,006	1963	イギリス
7	セバーン	985	1966(予定)	イギリス
8	タコマ・ナロウズ	853	1949	アメリカ合衆国
9	サンフランシスコ・オークランドベイ	704	1936	アメリカ合衆国
10	ブロンクス・ホワイトストーン	701	1939	アメリカ合衆国

3. 長大吊橋建設上の問題点

わが国における海峡連絡吊橋建設上の問題点は、a) 海中に基礎を建設しなければならないこと、b) わが国が台風・地震などきびしい自然条件にさらされていること、c) 中央径間長が従来に例を見ないほど大きいことに由来する。

架橋路線の海中基礎の大部分は、

- (1) 潮流が速い
- (2) 水深が大きい
- (3) 基礎地盤が軟弱で水中深く掘削しなければならない
- (4) 海底露岩部の定着が困難である
- (5) 諸外国に比べて基礎構造の寸法が大きい

などの諸悪条件のいくつかをかね備えている。したがって、橋脚、アンカー・ブロックなどを確実に施工する方法を見いだすこと、水中深部の効率よい掘削方法を見いだすことは、架橋の成否を左右する重要な問題である。

つぎにわが国の自然条件は諸外国に較べてかなり酷しく、台風時の強風により構造物に作用する力、地震時に作用する力は他の諸国の場合の数倍にも達する。このため、強風、地震等にも安定な形状寸法を有する吊橋を設計するためには、電子計算機を用いて行なう解析はもちろんのこと、模形実験によりこれらの自然条件下における吊橋の挙動を確かめることが必要である。

また吊橋中央径間長の増大にもよって、従来の吊橋には用いらなかった新しい材料を利用しなければならなくなる。小径間吊橋の場合、ケーブルにはワイヤロープ形式、ロックド・コイル形式のもの、補剛桁、主塔などには一般構造用鋼材が用いられているが、海峡連絡吊橋のように長大なものの場合、ケーブルとしては平行線ケーブル、補剛桁、主塔などには高張力鋼を用いなければならなくなる。また橋床路面には軽束床版を用いることも必要となろう。これら新材料の製作方法、施工方法もまた、架橋実験前に解決しなければならない問題である。

4. 調査研究組織

建設上の問題点の解決と建設計画の樹立を行なうために建設省ではつぎのような組織で調査研究をすすめている。

- (1) 建設技監、道路局長、関係地方建設局長、土木研究所長により構成される幹部会議。
- (2) 道路局、地方建設局、土木研究所の調査研究担当職員をもって構成される担当者会議。

を置いて調査方針の検討、調査経過の連絡、調査結果の整理などの調整を行なうとともに、地方建設局にあっては、調査事務所、工事事務所が、海峡連絡橋の計画・設計工事費估算に直接必要な調査などを行ない、土木研究所にあっては、各担当研究室が、新しい調査方法、設計方法、施工方法、構造形式の開発、経路材料の調査、耐風・耐震性の検討などを行なっている。

また建設省外部の調査としては、日本国有鉄道（昭和39年度以降は日本鉄道建設公団）と共同して、土木学会に、本州・四国連絡橋の技術上の諸問題の調査検討を委託している。この委託にもつき土木学会は昭和37年度以降、本州・四国連絡橋技術調査委員会を組織し、下部組織として基礎に関する専門部会、上部構造に関する専門部会、耐風設計委員会、耐震設計委員会を設け、架橋の可能性と技術上の問題点の検討に当たっている。

5. 土木研究所における試験調査

海峡連絡橋の技術上の諸問題を解決するため、土木研究所で現在行なっている主な試験調査はつぎのとおりである。

表-5.1

分類	調査研究課題名（小課題）	担当研究室
基礎	現場地質条件の調査	地質研
	放射能測定による地質調査方法の開発	化学研
	基礎地盤調査方法の開発	基礎調
	地盤支持力判定法の調査	ク
	基礎構造の設計方法の調査	ク
工	基礎の施工法の調査	ク
	湧液力に関する調査	河川研
	海中コンクリート施工法の調査	コンクリート研
耐風性	吊橋の3次元模型実験（中大及庄）	構造研
	吊橋の2次元模型実験	ク
耐震性	風の乱れの調査	ク
	下部構造の耐震検証実験	構造研
	上部構造の耐震検証実験	ク
	地震動に関する調査	ク
材料構造	吊橋のケーブル用鋼線の試験調査	橋梁調
	高強度鋼とその部材接合の試験調査	橋梁研
	薄層鋼板の調査	橋梁研
	軽束床版の開発	橋梁研
	防蝕法の調査	化学研
	吊橋上部構造の設計基準ならびに設計方法の調査	橋梁調
	平行線ケーブルの架設法の調査	機械研

6. 基礎に関する試験調査

6.1 基礎大型載荷実験（室内）

6.1.1 実験の目的

水平力および動的な地表力を受けるケーソンの挙動を実験的に追跡して、安定解析の合理的なものに改善する。

6.1.2 実験の内容

- (1) 6.1.3 に示すケーソン実験槽に最初、砂を満し、その条件のもとで、ケーソン（寸法60cm×60cm×80cm）に、静定な、偏心、傾斜、荷重を加えた実験を行ない、ケーソンの変位、底面の砂の反力分布、前面の砂の反力分布などを測定する。

この実験を条件を変えて実験し、界面摩擦の影響についても調べる。

- (2) ついで、ケーソンに小型加振装置を取りつけ、動的な荷重を加えて、その場合の変位、反力分布などを求める。
- (3) 別に、実験に用いた砂の動的な荷重に対する性質を、くり返し3軸試験機を用いて調べ、(1)との関連を知る。
- (4) 以上の実験結果の総合から、合理的な安定解析式を導く。
- (5) 砂以外の土質について実験を行なうとともに、野外の実験実験との関連づけもあわせて調査する。

6.1.3 ケーソン実験槽の性能

(1) ケーソン実験槽の寸法 (図-6.1参照)

全長 10.3m, 全幅 8.4m, 深さ 4.0m

本体の部分

長さ 8.6m, 幅 5.6m, 深さ 4.0m

水槽の部分

長さ 8.6m, 幅 0.7m, 深さ 4.0m

貯水槽の部分

長さ 1.7m, 幅 5.6m, 深さ 4.0m

測定用ピットの部分

長さ 8.6m, 幅 1.4m, 深さ 1.8m

(2) 載荷装置

山本起重機KK製OX型油圧ジャッキ

載荷能力 150t, ストローク 250mm

載荷板径 20cm (面積 316.3cm²)

能力75tのサイド送り用ジャッキ付

(3) 給排水設備

給水設備

径40mm給水管により3カ所にて給水

排水設備

口径50mm, 揚程15m, 能力 250ℓ/min, 馬力1.1kwの排水ポンプ2台による。

(4) ホイスト

日立ローヘッド型電動トロリ付ホイスト

容積 2t, 揚程 6.1m, 馬力 1.1kw

6.2 基礎大型載荷実験 (野外)

6.2.1 実験の目的

神戸—明石海峽の明石海峡の地盤は数種の地質からなりたっているが、このうちの明石層について支持能力を検討する。

この場合、吊橋基礎は大規模になることが予想されるので実験はできるだけ大型載荷試験とし、従来の小スケール試験では現れない地盤の力学特性を把握する。

6.2.2 実験の内容

(1) 場所：明石海峡本州側陸上部垂水附近

(2) 装置：

- (a) 載荷板 (円型剛体) $\phi 30\text{cm}$ —2点
 $\phi 37.5\text{cm}$ —2点
 $\phi 300\text{cm}$ —2点

- (b) 反力, PSアンカーを現場に打設
引張抵抗力 150t/本

- (c) ジャッキ, 300tオイルジャッキ8基, 150t1基

- (d) 載荷槽, 幅1.6m, 高さ2.0m, 長さ10.0m
十字型組立, 最大 2,000t

(3) 方法

最大鉛直荷重 2,000ton までの反復 (5~6回) 載荷。
荷重は制御荷方式とする。

6.3 エアリフトポンプの実験

6.3.1 エアリフトポンプの概要

水中基礎の掘削機械としては、グラブ浚渫船、ポンプ浚渫船、アスードリル、エアリフトポンプなどがある。本実験においては掘削土砂の排出方法の一つとして、エアリフトポンプをとりあげ、その

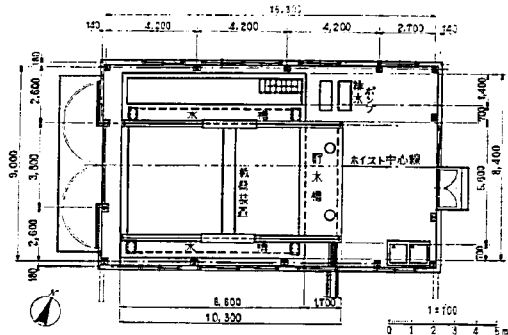


図-6.1 ケーソン実験槽平面図

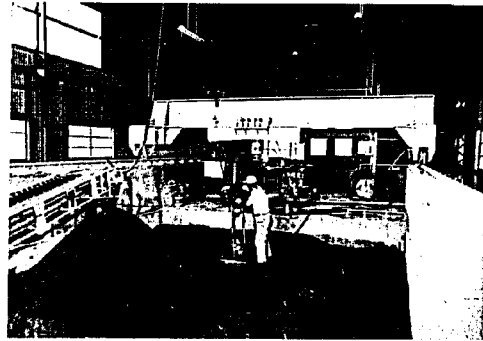


写真-6.1 ケーソン実験槽全景

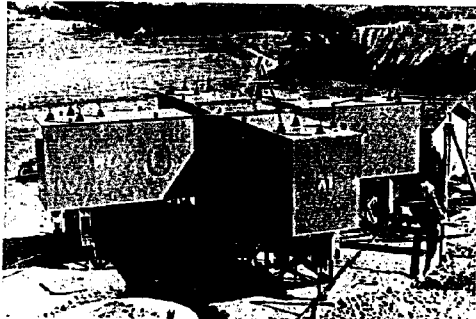


写真-6.2 載荷装置全景

適応性を検討する目的で室内及び野外において、調査を行っている。

エアリフトポンプは、空気揚水ポンプ、または気泡ポンプとも呼ばれ、深い井戸から水を吸み出すのに使われている。図-6.2に示す

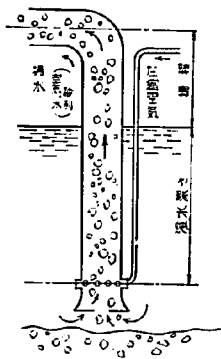


図-6.2 エアリフトポンプ概略図

ように圧縮空気を揚管の底部より噴出させると、管内には水より軽い混合物ができ、管外の水に押されて水面より高い所まで上昇する。この場合下層から吸込まれる水の流れるにつれて、土砂も一緒に管内に吸込まれ管内を上昇し排出させる。

6.3.2 実験装置

(1) 室内実験装置の概略はつぎのとおりである。

水槽は、透明アクリル樹脂製、深さ1,310mm、縦800mm、横545mm、揚水管は、内径80mm(3吋)、空気圧縮機は、6馬力のガソリン機関駆動、使用圧力 7kg/cm^2 まであげることができるものを使用した。

(2) 屋外実験装置の概略はつぎのとおりである。

孔径38cm、水深約10mのたて穴に5mm~20mmの砕石を入れて、揚砂の実験をした。揚管の内径は80mm、を使用し、空気圧縮機は室内と同じ6馬力のものを用い攪拌および吸水用のポンプには、40馬力のガソリン機関駆動の多段タービンポンプを使用した。揚水および排水は分能増、計測槽、沈降池などを経て循環する構造とした。

6.3.3 エアリフトポンプの特徴



写真-6.4 エアリフトポンプ実験場

一般的につぎのような特徴がある。

(1) 揚管中にポンプの羽根のような回転部分がないので構造が簡単である。(2) 絞った部分がないので管径が有効に使用される。(3) 汲水深度が深いほど能率が良くなる。(4) 普通のポンプに比べて効率が悪い。

6.4 潮流・波浪調査

本州四国連絡橋下部構造に作用する潮流正および波設正の検封をおこない、設計基準(果敢も含む)に資するもので、現地事務所資料解析に協力すると同時に、通常構造物(本・四連絡橋に比して



写真-6.5 アンカー取付部分詳細

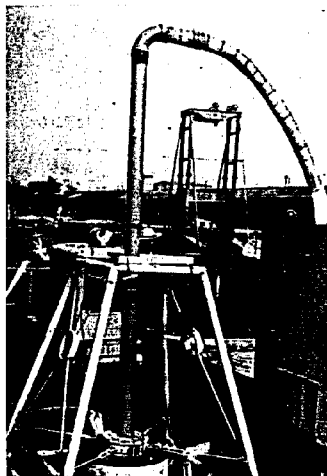


写真-6.5 エアリフトポンプの揚管

小規模)に対する設計規準の検封をおこなった。

また具体的には羽羽分室において、模型実験により、橋脚に対する抗力係数の実測および計算をおこなっている。

6.5 高水圧下で施工したプレキャストコンクリートの強度に関する調査

本州・四国連絡橋橋の下部工事においては、かなりの流速をもちしかも相当に深い海中に基礎をつくらなければならない。このような箇所にコンクリートを施工するには、一般におこなわれている水

中コンクリートの施工法では施工困難であり、プレバッド工法が有望である。

しかし、プレバッド工法においても海中深く施工することにはまた不明点が多いので、高水圧下で施工されたプレバッドコンクリートの品質、特に、打継面の強度、および鉄筋の付着強度について検討をおこなっている。

6.6 コアに関する試験調査

明石海峡の花崗岩質と神戸側の境界をなす断層跡を目的として、海底部および海岸線における自然放射能調査を実施し、またボーリングコアの放射能測定ならびにコア中の粘土鉱物の検索を地質の対比を目的として実施している。

6.7 地質調査

昭和35年より各路線の海底の地質を明らかにするため、下記の各種の地質調査を行ってきた。

6.7.1 音波探査……船上から断続的に音を発生し、その音が海底下の地盤に伝播し、地層面などで反射してきた記録から地下の反射面、従って地質の構成状態を調査する。

6.7.2 ドレッチ……船上から海底に試料採取器をおろし、海底の砂・泥・岩等を採取し、海底の地質構成物を調査する。

6.7.3 海底観測……潜水球によって海底を移動し、海底の地形・構成物質を観察する。

6.7.4 ボーリング……海上槽から海底をボーリングし、コアを採取して海底下の地質を調査する。

6.7.5 陸上部踏査……海底には陸上の地質構造の延長が存在しているという認識から、海底の状態を推定するために陸上の地質構造を明らかにする。

6.7.6 物理探査……ボーリング孔中で孔壁を構成する地質の音の伝播速度・電気抵抗・密度等を測定し、地質の状態の推定に役立たせる。

昭和38年以降は地質調査は主として現地調査事務所によだねられ、必要な補助的調査の実施、技術指導などに当るようになった。

7. 吊橋の耐風安定性の試験調査

7.1 風洞実験の必要性

本州・四国連絡橋のように長支間を橋梁で連絡しようとする場合、吊橋形式が最も経済的であることは周知のとおりである。しかし吊橋はその構造上剛性が他の橋梁に比して小さく、空気力学的諸力のために振動を誘起しやすく、ときとしては破壊にいたることがある。(表-7.1参照)

とくにTacoma Narrows 橋の落橋は当時世界第3位を占めていた最大吊橋であっただけに工学界に大きな衝撃を与えたとともに近代吊橋理論に対する反省の機会を提供し、諸家による研究が開始された重要な事件であった。

それ以来、現在にいたるまで種々の理論が紹介され、また大規模な実験も実施されたが、いまだ確たる理論解明はなく風洞模型実験によって空気力学的特性を求めなくてはならないのが現状である。とくに台風常襲地帯に位置したわが国において長大支間の橋梁を計画する場合に耐風特性を無視してかかることは絶対に不可能なことである。

7.2 施設の概要

この施設は昭和39年度に建設されたものでその概要はつぎのとおりである。(図-7.1参照)

表-7.1 風による吊橋の被害例

橋 名	所 在 地	支 間	被害年
Dryburgh Abbey	Scotland	68.5m	1818
Union	England	137	1821
Nassau	Germany	74.7	1834
Brighton Chain Pier	England	77.8	1836
Montrose	Scotland	132	1838
Menai Straits	Wales	177	1839
Roche Bernard	France	195.5	1852
Wheeling	U. S. A	308	1854
Niagara-Lewiston	U. S. A	318	1864
Niagara-Clifton	U. S. A	384	1889
Tacoma Narrows	U. S. A	855	1940

〔建築関係〕

計画建屋：約 720m²

- 1 階：模型製作室、備品室、暗室、変圧・室調機器室他
- 2 階：測定観測室、計測機械室、計器室、解析機械室、解析室、資料室、模型格納室、他

風洞建屋：約 220m²

- 1 階：資材搬入路、資材置場
- 中2階：風洞室

〔風洞関係〕

形 式：水平半閉路回流式風洞 (開放・閉鎖併用可能)

寸 法：吹出口 3,000×1,800mm (角切刃長 300mm)

測定部 2,000mm

風 路 76,000mm

絞り比：1:6.25

送 風 機：直徑 3,300mm

出力 100kw

風 速：最大 20m/s (開放時)

最大 21m/s (閉鎖時)

7.3 実験項目

本風洞では吊橋等の橋梁構造体の空気力学的特性が求められるが、当面の実験対象は本州・四国連絡橋の吊橋部および塔体部である。これらはいずれも約1/100に縮小した模型にして風洞に設置され、主としてつぎの3種の項目について実験が行なわれる。

(1) 作用空気力の3分力測定 (抗力、揚力・モーメント)

これより吊橋の基本設計に用いる風洞重を決めるための資料が得られる。

(2) 空気力による振動特性の測定

これより強風を受けた場合の吊橋の動的な特性が求められる。

(3) 非定常空気力測定

これより振動時の吊橋の特性を解明するための資料が得られる。

なお、自然の風には地表の影響、風の振動などのための乱れが含まれ、その特性は風洞内とは異なる。したがって風洞内において求められた特性が自然風に対してどのようなことになるかという問題が残る。この問題はより高度の困難を伴うものであるが、本風洞施設はこの問題の研究を進めるため、風洞内に乱流を発生させるための装置が取り付けられるよう考慮されている。

現在計画中の振動特性はつぎのとおりである。

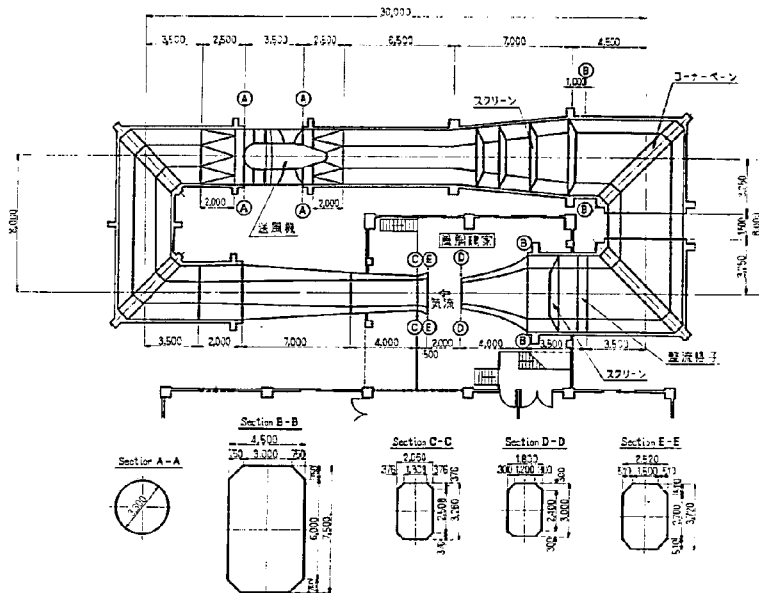


図-7.1 風洞平面図

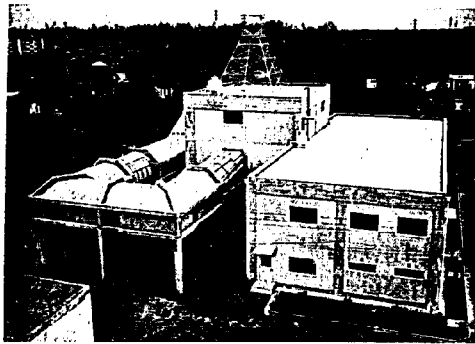


写真-7.1 風洞全景

$$V = V_0 + v \sin 2\pi ft$$

ここに、 $V_0 = 10 \text{ m/s}$ $\begin{cases} v = 0 \sim 2 \text{ m/s}, f = 0 \sim 3 \text{ cps} \\ v = 0 \sim 3 \text{ m/s}, f = 0 \sim 2 \text{ cps} \end{cases}$

8. 吊橋の耐震性の試験調査

8.1 本州・四国連絡架橋吊橋の模型による耐震実験

8.1.1 実験の目的

まず吊橋の振動特性、すなわち固有周期、振動モード等を実験的に求め、その結果を、力学モデルを想定して、計算から求めた振動



写真-7.2 風洞測定部

特性と比較検討して、計算に用いるべき力学モデルをより合理的なものに改善する。

第二に地震動と等価な任意波形の加振を模型に与え、その振動応

答を求める。その結果を実橋に換算して、それと力学モデルを想定して計算から求めた吊橋の地震応答の結果とを比較検討して、適切な吊橋の応答計算法を求める。

8.1.2 実験の概要

図-8.1に示してある吊橋の模型は構造主系が実橋の1/100の振動実験用の模型である。現在、実験室内に設置されている模型はこれと同じ寸法をもっている。この模型吊橋の四つの支点はそれぞれ四台の加振機に支持されており、ケーブルの端部は実験室の基礎に碇着されている。

模型の規模はつぎのとおりである。

中央径間長 15.00m

側径間長	7.50m
主塔の高さ	2.10m
模型の重量	A 220kg
	B 1,200kg
	C 2,200kg

模型の重量は写真-8.1に見られる円筒形の重錘を模型の各部に装着することによって三通りに選ぶことができる。これらは目的に応じて、Aの場合は主として補剛桁・ケーブルを測定の対象とした場合、BとCの場合は主として主塔を対象とした場合に用いられる。このような模型が四台の加振機によって励振されたときの模型各部の変位と加速度が、測定される。

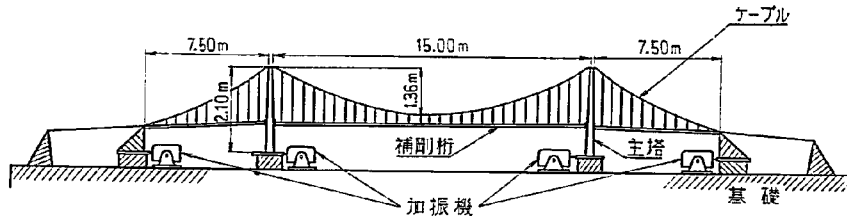


図-8.1 模型の概略図

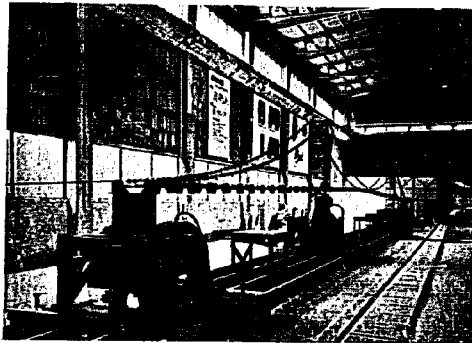


写真-8.1 吊橋の全橋模型

8.1.3 実験方法

(1) 加振の方法

振動台は図-8.2のブロックダイアグラムに示してあるように、四台ともいづれも大きく別けてつぎの三つの部分からなっている。

- ・イコライザー
- ・加振制御器
- ・加振機

イコライザーは振動台と模型の両者を合わせた周波数特性を加振機の部分で平坦にする機能をもっている。

加振制御器はつぎの二通りの振動波形を選択することができる。

- ・正弦波形
- ・任意波形 [ホワイト・ノイズ (内部に発生装置をもつ)
地震波形 (外部から供給)]

正弦波形の加振時には、加振制御器によって変位・速度・加速度



写真-8.2 主塔部と加振機

をそれぞれ一定に保ち、5c/s~2,000c/sの振動数範囲で、自動的かつ連続的に振動数を変化させることができる。

加振機は加振制御器の指令の変化に応じて、内部の可動鉄輪が電磁気的な振動を強制され、それが機械的に補助振動台に伝えられる。

各振動台の能力は表-8.1のとおりである。

実験時には目的に応じて正弦波の場合と任意波形の場合が別々に用いられ、また四台の加振機を同時に用いる場合と一部分を用いる

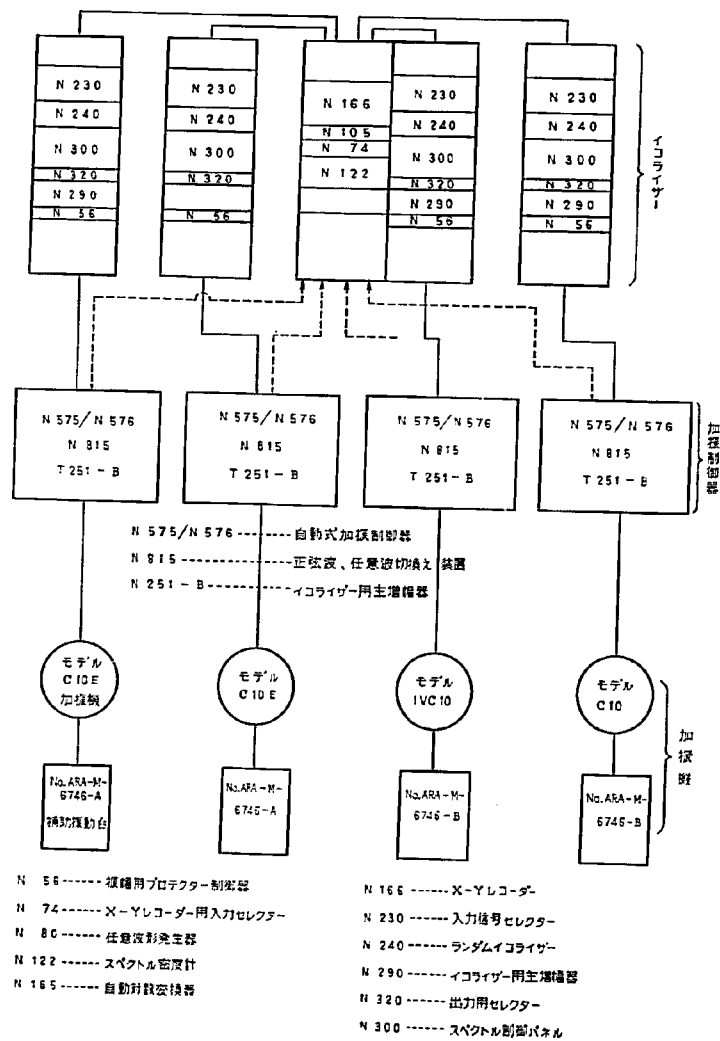


図-8.2 振動台のブロック・ダイアグラム

場合などがある。

(2) 測定の方法

図-8.3に示すような系統で、換置器が受透した振動の変位・加速度等がそこで電気的な量に変換され、最後に磁気録音テープおよびオシロペーパーに収録される。

(3) 一次解析

オシロペーパーに記録された変位・加速度等はモニター用に用いられるもので成分数もごくわずかである。大部分の振動現象は磁気テープに収録されてしまう。一旦録音されて磁気テープに収められた振動現象のアナログ量は後刻、磁気レコーダーで再生され、同時にA-D変換器にかけられ、サンプリング・コンバーターとして得られる。このテープをデジタル電子計算機の入力信号にして振動現象が数値化され、さらに必要に応じた一次解析を計算機自身が行ない、所要のデータが得られる。(図-8.4参照)

表-8.1 振動台の性能 (一台当り)

波 形	正 弦 波	任 意 波
加 振 力	515kg	385kg R. M. S 1,159kg PEAK
加振振動数範囲	5~3,000cps	20~2,000cps
最 大 振 幅	25.4mm (±12.7mm)	25.4mm (±12.7mm)
最 大 加 速 度	63.5G	46G
最 大 速 度	177.8mm/s	177.8mm/s

8.2 下部構造の耐震実験

8.2.1 実験の目的

長大橋下部構造に、地震時に作用する動水圧および動土圧に関して、模型による検証実験を行なう。

8.2.2 実験の概要

水槽式振動台を使って、動水圧および動土圧に関して、下部構造として設定される。諸種の形状、寸法の模型について、振動応答(変位、動水圧、動土圧)を測定する。

8.2.3 水槽式振動台の概要

- ・ 寸法 振動台 350×224cm
- 水 槽 上 面 720×316cm
- 下 面 520×316cm
- 深 さ 100cm
- 満水量 20ton
- ・ 加振々動数(正弦波) 0~20c/s
- ・ 加振々幅(倍振幅) 2cm
- ・ 加振力 10,000kg
- ・ 搭載重量 2,000kg
- ・ 加振方向 水平1方向

8.3 地震動の特性および長大橋の地震応答に関する調査

8.3.1 調査の目的

架橋地点の地震動特性を調査するとともに、長大橋の地震応答を求める。

8.3.2 調査の概要

施設計・地質計および微動計で地震を測定し、これらの資料に基づき地震時の地動特性および長大橋の応答を求める。

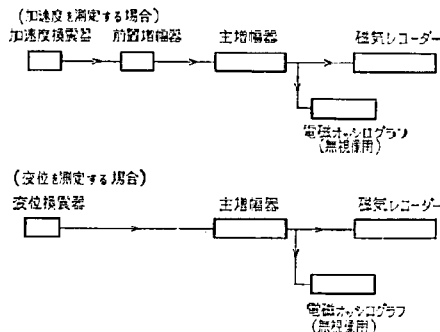


図-8.3 振動測定のプロ・ダイアグラム

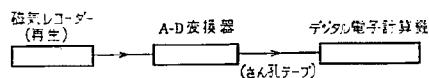


図-8.4 一次解析のプロ・ダイアグラム

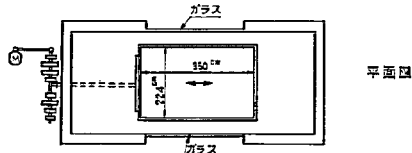
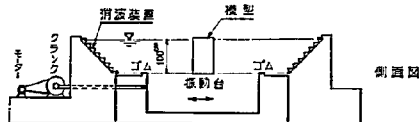


図-8.5 水槽式振動台概略図



写真-8.3 水中橋脚模型実験

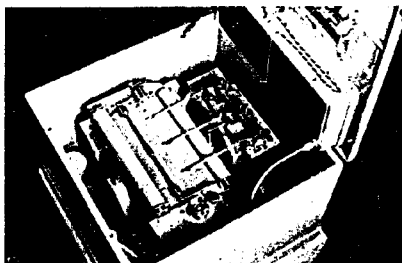


写真-8.4 強 度 計

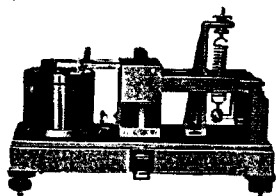


写真-8.5 微 動 計

9. 材料構造に関する試験調査

9.1 吊置のケーブル用鋼線の試験調査

昭和38年度、昭和39年度の2カ年にわたり、線径 5mm、最小可

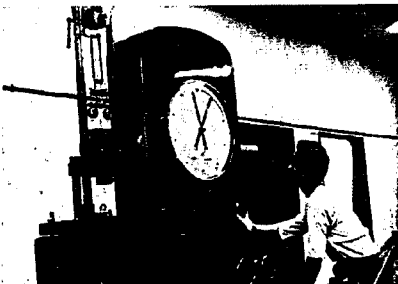


写真-2.1 ケーブル用鋼線の引張試験

型強さが156, 160, 165, 170kg/mm²の熱式亜鉛メッキ鋼線の試作を行なった結果、表-9.1および表-9.2に示すように、現存の国内の技術、設備でケーブル用鋼線として必要な諸性質を有する鋼線が得られることがわかった。

表-9.1 目標仕様値および調査結果 (昭和38年度)

項 目	仕 様 値	調 査 結 果		
		最大値	最小値	平均値
線 径 (mm)	5.00±0.06	5.04	4.97	5.02
引 張 強 さ (kg/mm ²)	平均値 160以上 最 低 156	172	158	166
0.7% 耐 力 (kg/mm ²)	115	132	118	125
伸 び (%)	4	7	5	5.8
メッキ付着量 (g/m ²)	280	420	313	350

表-9.2 目標仕様値および調査結果 (昭和39年度)

項 目	仕 様 値	調 査 結 果		
		最大値	最小値	平均値
線 径 (mm)	5.00±0.06	5.05	4.99	5.01
引 張 強 さ (kg/mm ²)	平均値 165以上 最 低 160	171	166	168
	平均値 170以上 最 低 165	173	168	170
	平均値 175以上 最 低 170	181	175	178
0.7% 耐 力 (kg/mm ²)	118	132	124	128
	125	142	133	138
伸 び (%)	4	7	5.2	6.3
メッキ付着量 (g/m ²)	300	520	300	336
継 手 効 率 (%)	最 低 95	100	91	98

外国では最小引張強さが 156kg/mm² 級の鋼線を用いているが、今後高強度鋼線の実用性、鋼線の継手の開発などが調査の対象にあげられる。

9.2 高強度鋼の適用性と高強度鋼を用いた部材の接合法に関する試験調査

部材の軽量小形化はこのような大規模の架橋には非常に有利である。そこで上部の材料の主体は高強度鋼[HT36/50, 50/60, 70/80 級]となろう。HT70/80級は用いられるとすれば量は少ないが高い



写真-9.2 ケーブル用鋼線の機械的性質試験結果

応力をうける重要な箇所である。ところがこの板の橋梁への適用は未経験であるので、材料の特性確認を疲れ強さを中心に工作試験まで行ない、その利用が十分安全であることを確かめる必要がある。

現在までの調査研究では所期の目的を達し、この結果は実橋に適用されその際の資料とともに供用されることによってさらに信頼性のある資料が集積されつつある。

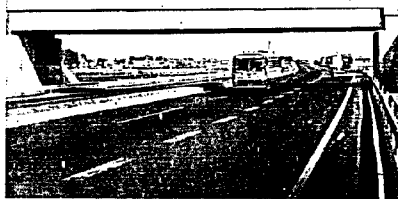
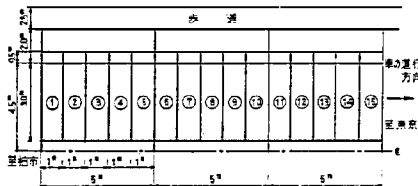


写真-9.3 花輪橋 (HT70/80 を使用)

一方これらの高強度鋼を用いた部材を現場において経済的に接合する方法が必要であるが、このため引張強さ 130kg/mm² 級の高力ボルトを用いることを考え、この設計施工について調査を行なっている。これも上記実橋に適用して負重を資料を得た。さらに効率的なものにするため実験を重ねている。

9.3 薄層舗装の試験調査

軽量床版上に舗装するための 薄層舗装として 15 種類の材料を選び、図-9.1および写真-9.5に示すように道路のコンクリート床版上に舗装し、これらの摩阻抵抗の測定、摩耗量の測定、耐候性などを比較した。



- 注：①，②，③，④，⑤ ゴムアスファルト系材料
⑥，⑦，⑧ ストレートアスファルト系材料
⑨ エポキシ樹脂系材料
⑩ カラー舗装（樹脂）系材料
⑪，⑫ ゴムセメント系材料
⑬ ポリエステル樹脂系材料
⑭，⑮ 特殊アスファルト系材料

図-9.1 現場試験用舗装概要図

この現場試験結果と、室内試験結果から総合してゴムアスファルト系、エポキシ樹脂系、ポリエステル樹脂系、特殊アスファルト系の材料が薄層舗装の材料として優れていることが判明し、今後さらに現実に即した資料を得る目的で実橋による試験を計画している。ゴムアスファルト系は前記花輪橋（平均15mm）に使用している。

9.4 軽量床版の開発調査

床版を軽量化することは長大橋梁の経済性の上にながら影響が

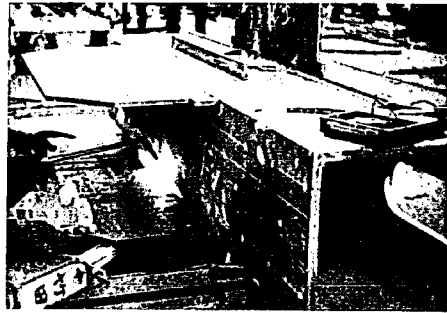


写真-9.4 HT70/80 の施工性試験



写真-9.5 薄層舗装現場試験

ある。このため吊橋のような長大橋梁では普通の鉄筋コンクリート床版と異なり、鋼床版、アイ・ビーム・ロック床版 (I-Beam Lok)、軽量コンクリート床版などが使われている。

この研究では厚さ20mm以下の薄層舗装の施工を可能ならしめるため、軽量コンクリートを用いたプレキャスト鉄筋コンクリート床版の開発に主眼をおき、床版の設計（死荷重 300kg/m²）、載荷試験、実橋の床版に使用した耐久試験などを行ない、鋼床版、アイ・

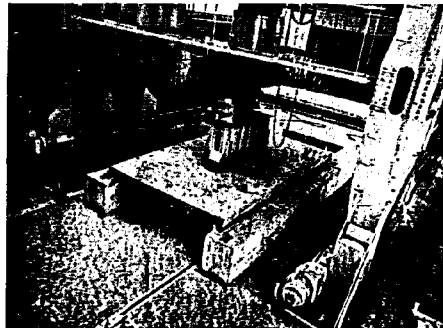


写真-9.6 プレキャスト R.C 床版の載荷試験

ビーム・ロック床版などとともに長大吊橋の床版形式として可能性
があることを確かめた。さらに詳しい結果を得るため荷割試験の試
験とかねて上笠花輪橋に適用している。

9.5 防 蝕 調 査

明石海峡の本州側海岸線に建設された監視塔の中段に暴露されて
いる塗料試験片について、定期的に肉眼観察、チョーキング測定、
光沢測定、ゴハン目測定、 $\tan \delta$ 測定、写真撮影、試験片表面観察
の各項目について実施している。

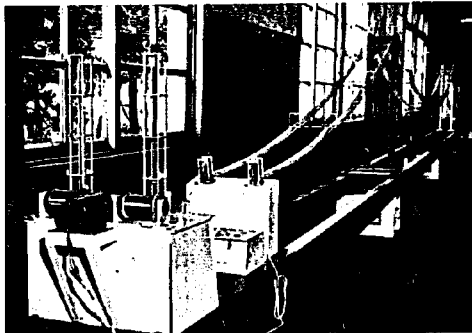


写真-10.1 ケーブルスピニング模型全体図



写真-10.2 ケーブルスピニングウインチ

10. ケーブルの架設法の試験調査

10.1 概 要

小径間の吊橋（若戸大橋など）は、ワイヤロープ（ワイヤを捻った
ロープ）をたばねてケーブルとするが、長大吊橋においては、直
径5mm程度の素線（ワイヤ）を何本も平行にたばねて、ケーブル
としている。1本のケーブルは、1万本前後の素線から作られるの
で素線を一本づつ取り出すスピニングの方法が問題となってくる。

わが国においては平行線ケーブルスピニングの施工実例が
ないので、外国の例を参考として、まず模型を作り、どの
ような順序、機構でスピニングが行なえるかの実験をし
た。

10.2 架設装置の模型

模型の概要はつぎのとおりである。

全長17.4m、中央径間7.5m、側径間3.75m、塔高1.0m
と構造物は実物の1/200程度とした。使用素線は直径0.16
mmのメッキ鋼線を使用し、垂れ下がりの長さと中央径間
の長さの割合（サグ比）は1:12、スピニングする車は片
側1車づつ2車あり交互に移動して、同時に架設できる素
線数を4本としている。曳索を引取るために100V、12W
の交流電動機によって動く、ウインチを設け、スピニング
の速度は0~5m/mmの間で調整することが出来る。

10.3 スピニングの順序

素線からケーブルを作るまでの順序はつぎのとおりであ
る。

- 1) 作業足場であるキャットウォークを作る。
- 2) 一端からスピニングホイールで素線を引出す。
- 3) 対岸に引いた素線をスピニングホイールから取外す。
- 4) 素線の数200~500本（橋の大きさによって異なる）
になると、たばねて1本のストランドを作る。ストラン
ドの直径は8~12cmである。
- 5) ストランドを19~61本（橋の大きさによって異なる）
たばねてケーブルとする。このケーブルをプレスで円い
断面となるように押し固めて、外周に別なワイヤ（ラッ
ピングワイヤ）を巻きつけて、錆び止め塗装を行ないケ
ーブルを完成する。

10.4 装 置 の 名 称

スピニング装置の各部の名称は図-10.1のとおりであ
る。

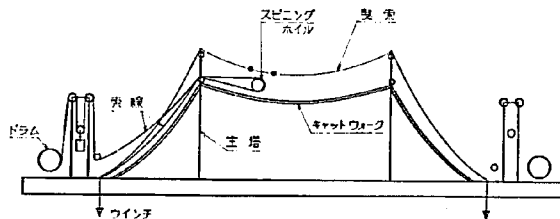


図-10.1 ケーブルスピニング装置の概略図