



若戸橋下部工事の主要点と施工上の問題点

日本道路公団若戸橋工事事務所

要旨 若戸橋は現在日本道路公団の手で北九州に建設中の吊橋で、中央径間 367 m、橋梁総延長約 2 km の規模を持つ。この報告には吊橋の下部工事のうち基礎の設計概要と施工上の問題点について述べ、施工中に実測したケーンの応力、土圧、変位について述べた。

吊橋の基礎は空気ケーンで施工し、海中橋脚には鋼製曳行ケーンを使用し最大寸法は 40×17 m、深さ 22 m である。またアンカー ブロックでは海水をコンクリート中に埋めこんだパイプ中に通してコンクリートの温度上昇を防ぎ、良好なマス コンクリートを施工した。

工事は現在吊橋の架設工事を進行中で、昭和 37 年秋完成の予定である。

1. まえがき

若戸大橋工事については、さきに本誌上に調査¹⁾、設計²⁾にわけて発表したが、全体工事のうち、すでに下部工事は昭和 36 年春完了し、本年秋の完成を目指して現在吊橋部の架設工事および付帯工事を施工中である。本報告では調査および設計についての報告に重複することを避けながら、若戸大橋の下部工事のなかでも工事の中心になった吊橋部分の基礎に重点を置いて主としてその設計および施工上の問題点を取りあげることにする。

2. 橋の規模

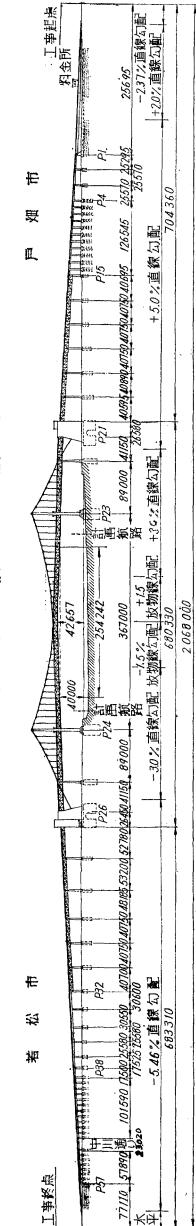
図-1 は若戸大橋の一般図である。

- (1) 工事延長 2068 m 主橋梁部 680 m
戸畠側取付部 704 m
若松側取付部 684 m
- (2) 巾員 主橋梁部 15.0 m (3.0 m + 9.0 m + 3.0 m)
取付部 9.5 m (車道のみ)

(3) 橋の等級 一等橋 (T-20, L-20)

(4) 下部構造

主橋梁部：すべて鉄筋コンクリート空気ケーンで、特に海中に建設する戸畠主塔の基礎には鋼製曳行ケーン



ンを使用した。またケーブルを大地にアンカーする橋台は高さ 50 m の鉄骨鉄筋コンクリート構造物で、そのなかに重さ約 30 000 t のアンカーブロックを内蔵している。

取付部：上部構造の規模に応じて木杭、ペデスタル杭、井筒、空気ケーンを使用し、橋脚は若松側で 1 カ所鋼製ベントを使用したほかすべて鉄筋コンクリート製である。ただし高さが平均 20 m を越えるものについては鉄骨鉄筋コンクリート造りとした。

(5) 上部構造

主橋梁部：2 ヒンジ普通吊橋

取付部：上路式単純鋼トラスおよびガーダーを主とし、若松側で 1 橋だけ合成桁を採用したほか鉄筋コンクリート単桁である。

3. 地盤構成ならびに土質

(1) 土質概要

若戸橋周辺の地質基盤は九州大学 松下教授の調査³⁾の結果右第 3 系大辻層群の出山層に属し、その中でも最下部にある天籟寺層か上到津層に属する。戸畠側は礫岩または凝灰質泥岩、砂岩の互層からなり、若松側は砂岩、凝灰質泥

岩、炭質をはさむ頁岩で構成されその上に第4紀の砂層が10~30mの厚さでおおわっている。若松側では砂層の下部に5~10m厚さの砂質粘土層をはさんでいる。

(2) 基礎工地点の地盤の性状

工事路線に沿って実施した総数70本総延長3000mのボーリングならびに土質と岩質試験の結果、主要地下構造物設置点の地盤の構成を明らかにすることができ、九州大学地質教室の手で必要箇所の地質断面図を作成した。

a) 戸畠橋台 表土の下に埋立土砂である貝がらまじりの砂があり、その下にかけて波打際に堆積したと思われる大・中疊層が2m厚さで存在する。この疊層の下は深さ15~18mからあらわれる疊岩まで比較的よく続いた砂層が続く。

基盤の上には2~3mの厚さで疊層ないし風化岩が存在するが境界ははっきりしない。疊岩は新鮮で土木研究所、九大での物理試験の結果では破壊強度で200kg/cm²以上、単性係数で20000~50000kg/cm²あることが確認された^{4),5)}。

b) 戸畠主塔橋脚 橋脚位置は戸畠岸壁から約60m沖の水深10mの箇所にあり、海底は50cm~1mのヘドロでおおわれ、その下は多少疊がまじるきれいな砂である。この付近の潮流は最大1ノット(0.5m/sec)以下で、干満の差は±1m程度である。砂層の下海面から約20~21m付近から基盤があらわれる。この基盤は地盤の傾斜の関係で戸畠橋台に出る疊岩の上の砂岩と頁岩の互層からなる。層の間には炭化植物をふくみ、破壊強度、弾性係数とともに前記疊岩よりはるかに劣る。そのため100~150t/m²の地耐力を確保するには最終根入れ深さの選択に注意を要する。

c) 若松主塔橋脚、若松橋台 橋脚は海岸より30mほどの距離にあり橋台は100m以上奥にあるほか両者の間には地盤の構成上ほとんど差異が認められない。すなわち表土の下は約10m以上きれいな砂層が続き基盤の上の2m厚さの疊層との間に5~8mの砂質粘土層をはさむ。これらの地盤の諸性質は土木研究所に委託して調査した⁴⁾。

基盤は深さ22~23mであらわれ、戸畠橋台の疊岩の下の層にあたる第3層の頁岩砂岩の互層からなる。一部の頁岩および砂質頁岩は吸水すると膨張してきわめてもろいものになり基礎としては不適当である。

九大水野教授のもとで実施した試験⁶⁾によれば破壊強度は15~25kg/cm²で弾性係数は1000kg/cm²程度である。なお同時に用いたケーソン模型を使用しての滑動抵抗試験の結果によれば膨潤したシルト状のものの摩擦係数として0.3程度の値が得られた。

図-2 土圧分布図

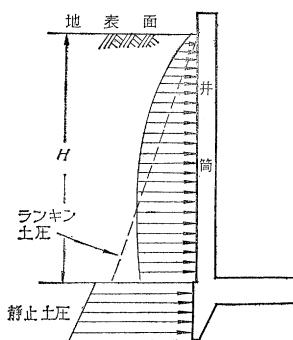
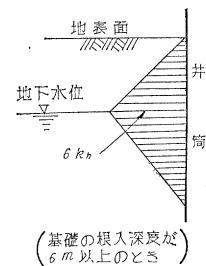


図-3 地震時土圧分布図



4. 設計の基本方針

設計を開始するにあたって若戸畠橋下部工設計規準を作成した。その内容のうち問題点を説明する。

(1) 土 圧

地下構造物を設計する場合土圧のとり方が問題になるが、図-2のパラボラ分布と静止土圧の組合せを考えた。地震時土圧は平常時土圧に対して図-4の三角形土圧を加算する。

(2) 水 圧

水圧は流水圧、波浪圧、地下水圧、地震時動水圧における。

a) 地下水圧 理論水圧が100%働くとしたがただ安定計算を行なうとき浮力の低下が構造物に対して危険側に働く場合には浮力0としてチェックすることとした。

b) 地震時動水圧 地震時に作用する動水圧は次式による。

$$P = \frac{7}{8} k_h \cdot w \cdot \sqrt{H \cdot x}$$

ここに P : 地震時動水圧 (t/m^2) k_h : 水平震度

w : 水の単位重量 (t/m^3) H : 水深

x : 求める圧力の位置

前後面に水がまわっているときには

$$P = 2 \Sigma P$$

(3) 地震の影響

地震の影響は死荷重だけを受ける状態で考える。地震の震度は次の値をとる。

表-1 地震の震度

	水平震度	垂直震度
主 橋 梁	0.15	0.10
取付橋梁	0.10	0.10

(4) 地盤係数

表-2 地盤係数

地 質	地 盤 係 数
砂 軟 岩 層	5 kg/cm ³ (-10 m)
軟 岩 層	100 kg/cm ³

地盤係数のうち砂層に対するものは現場における標準貫入試験の貫入指數の値、よその施工現場の地耐力テストの結果から判断して求めた。室内実験の3軸圧縮試験から求めたものはサンプルが乱れたものであったため小さく出たので、参考としなかった。

軟岩層の地盤係数は一軸試験の結果求めた静弾性係数を基準に求めたものである。

(5) 短期荷重に対する許容応力度

井筒およびケーソンの沈下作業中に生ずる応力に対しては使用材料の許容応力度を40%増加する。

(6) 許容支持力

表-3 許容支持力

地質	許容支持力
第3紀層の頁岩あるいは砂岩	150 t/m ²
沖・洪積層の礫層	50 t/m ²
" 砂層	40 t/m ²

第3紀層の頁岩および砂岩の支持力は九大物理教室、土木研究所地質研究室、現場材料試験室での試験結果をもとにきめたものである。砂層は内部摩擦角28°として求めたものであり礫層は砂層の値から推定した。

5. 下部構造の設計

(1) 主橋梁基礎の基本寸法

a) 主塔橋脚 基礎井筒天端高さは戸畠橋脚の場合航行船舶の安全を考えて常に出ていることが要求され、若松橋脚の場合港湾計画に示す建築制限線の関係から計画地盤高さより下にすることが要求された。その結果+1.50mとする。

また橋脚軸体天端高さは戸畠橋脚の場合塔基部の維持上荒天時でも容易に波をかぶらないこと、若松橋脚の場合維持上相当の高さを持たせて容易に昇り降りができるないようにすることの2つの条件と塔基部のアンカーに必要な高さを確保する条件とから+5.00mとする。

橋脚軸体の平面寸法は塔基部の面積5.0×4.4mに対して架設期間中使用するデリッキ、ウィンチの設置材料の置場として十分な12.0×35.0mを確保する。

基礎井筒は橋梁方向に±1m、直角方向に0.4mの施工誤差を考えての余裕を持たせ40×17mとする。

b) 橋台 橋台の寸法はケーブルの定着方式によって大きく左右される。若戸橋では建設用地のスペースと光弾性実験⁷⁾の結果とからアンカーフレームにソケットを固定する方式を採用した。この場合底面反力を地震時150t/m²程度におさえると34×40mの平面寸法を必要とする。橋軸に直角方向の寸法34mは吊橋ケーブルの中心間隔19.6mとアンカーのために必要な余裕を考えるときおのづからきまる寸法であり、40mは安定計算からきまる寸法である。

この平面寸法を基礎底面で確保するため34×40mの大形ケーソンを沈設することも検討したが、技術的に危険をともなうので34×15mのケーソンを10m間隔で橋軸に直角に配置し上部を地中ばかりで結んだ。隅角部の応力は2次元光弾性実験⁷⁾でチェックした。

(2) 空気ケーソン工法の採用

主橋梁基礎の施工法を決定するにあたって各種工法を検討したが最終的に有力な工法としてオープンケーソンと空気ケーソン工法が残った。ところで表-4の底面

表-4 主橋梁基礎の底面反力(平常時、地震時)

	平面寸法(m)	深さ(m)	上部工反力		平常時反力浮力100%(t/m ²)	地震時反力下向き震度(t/m ²)
			垂直力(t)	水平力(t)		
橋 戸 畠	40×17	-22	11 016	91	53.1 41.8	80.7 18.8
		"	"	"	56.9 46.7	87.18 12.2
橋 戸 畠	34×15×2	-18	57 004	9 060	68.5 42.1	114.5 47.9
		-22	63 490	8 428	90.3 33.1	162.8 22.2
台 若 松	"					

反力を確保するためには岩盤の中に1~2m根入れさせる必要がある。この作業を行なうためにはオープンケーソンの場合ドライワークが望ましいが

- 基礎岩盤面の傾斜
- -20mから-24mにかけて存在すると思われる礫層の圧密度および透水係数
- 地下水の状況

がその成功不成功を左右する。空気ケーソンの場合には確実に施工できるが工費がかさむ。そこで現場で透水係数測定のための湧水調査⁸⁾と茨城県千歳橋で薬液注入テスト⁹⁾を実施し工法選定の資料とした。その結果透水係数は10⁻³cm/sec程度であるが薬液注入効果は実用化の上で疑問があることがわかり、安全をみて空気ケーソン工とした。

(3) 鋼製曳行ケーソン¹⁰⁾

戸畠橋脚の施工地点は水深が約10mあり、近くにフェリーの発着所があるので作業面積に制限があり、工期工費ともに築島による施工は不利で曳行ケーソンの現場沈設が有利と判断した。その場合木造、鉄筋コンクリート製、鋼製の3種が考えられたが比較設計の結果鋼製と決定した。鋼製の場合でも船台を利用すれば進水時の補強が必要になり、ドライドック使用の方が有利になる。この前提で構造設計に入り、構造は全溶接で補強部を除いて使用板厚は6mmで横肋形式とした。また曳行時の安定のためケーソンの作業室天井まではコンクリートを打設し、総高13.5mに対して吃水5.60mである。

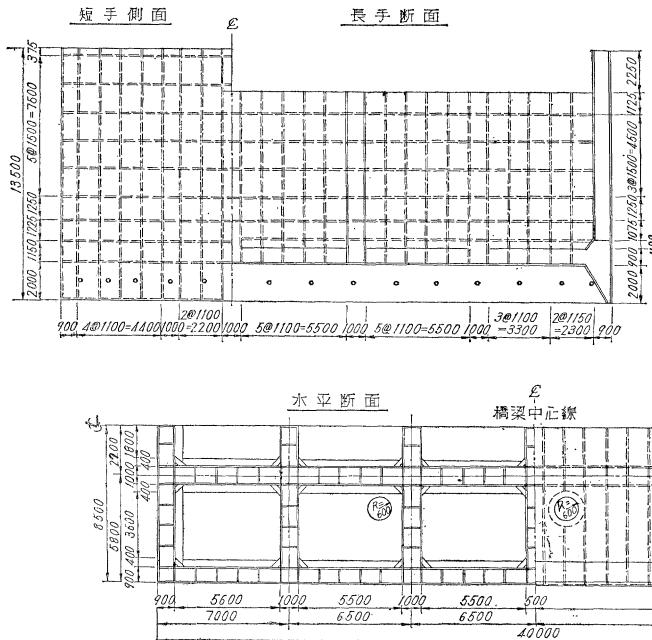
主要使用材料は

鋼材537t、鉄筋127t、コンクリート816m³

であり構造の概要を図-4に示す。

(4) 橋台

図-4 鋼製曳行ケーン構造一般図



橋台はケーブルをアンカーするアンカー ブロックと歩行者を地上から橋面まで昇降させるためのエレベーターをおさめる建屋からなる。橋面とアンカー ブロックとの間は火災を考慮して利用せずホーローとし、鉄骨鉄筋コンクリートで高さ約 50 m の規模を有する。

アンカー フレームは橋台 1 基あたり鋼重 391 t で立体的にフレームの位置を確保する設計とし現場すえつけの誤差はソケット取付位置、フレームの支持位置で調整できるように配慮した。アンカー ブロック内の配筋は前出の光弾性試験の結果と釣合計算の結果から決定し、使用鉄筋量は 192 t である。

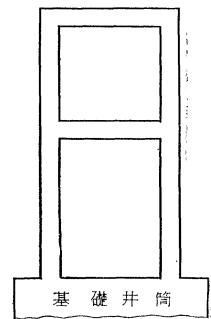
エレベーターは昭和 32 年春竣工した閑門トンネルの実績を参考にして詳細設計を行ない、75 m/min の直流ギャード エレベーターを 1.2 t 容量のもの 1 台と 1.8 t 容量のものを 2 台設備し、将来 1 台分だけ増設できる構造とした。

(5) 取付橋梁部の橋脚

取付部分は戸畠側、若松側それぞれ 704 m, 684 m あり、5% の勾配で主橋梁の桁下高 40 m を確保するのに必要な高さまで上る。この区間は市街地を高架で通過するが上の理由から橋梁の橋脚は 4 m 程度のものから 30 m を越す高さのものまで変化する。橋脚は高さ約 15 m 以上を鳥居形（図-5），それ以下を門形とし断面を矩形にして鋼製形わくを使用し、打ちはなし仕上げを容易にした。また形わくの割りつけを良くするため寸法は 10 cm 単位とし橋軸方向の巾は高さに応じて同じく 10 cm 単位で増加させた。この区間の橋脚は施工上の要求から鉄

骨鉄筋コンクリート造りとし、
鉄骨の基本断面を図-6 の (b)
のスターとした。初めの設計では
図-6 (a) の複構形であった
が、この変更により鉄筋の活用
が容易になり鋼材重量で約 1/2
減になり工費を節減できた。

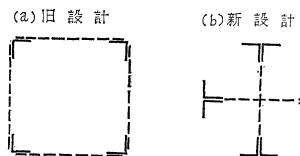
図-5 取付部橋脚一般図



6. 施工ならびにその問題点

(1) 工事工程

図-6 鉄骨基本断面図



昭和 30 年暮から始まった約 4 年間の調査、設計の後、33 年 10 月、戸畠橋脚の鋼製曳行ケーンの工場製作に入った。平行して開始した用地買収も順調に進み、昭和 34 年 2 月に戸畠側、4 月に若松側の現場工事が始まり工事事務所は工程管理に非常な努力をはらった。

それというのも下部工事の遅延はそのまま上部工事の着工延期になり、上部工の作業そのものが工種によっては台風期など気象の制約を受けやすいうことから数カ月の遅延が半年、1 年の遅延となってあらわれかかる。

表-5 は下部工事実施工工程表である。この工程表にはあ

表-5

工事区分 月	年 順 32	33 年 度												34 年 度												35 年 度																											
		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													
戸 烟側橋台														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
若 松側橋台														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
戸 烟側中間塔														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
若 松側中間塔														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
戸 烟側脚														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
若 松側脚														準備工	港段側ケーン工	連絡帯アーチブロック	船体工																																				
戸 烟側取付																																																					
若 松側取付																																																					

らわれてないが工事中一部に労務者の労働条件についての騒ぎがあり作業低下が起ったりして労務管理に苦労した。しかし大きい問題にはならず工程に影響を与えることもなかったが、狭い地域に多数の労務者が集中する場合十分配慮しなければならない事項である。

(2) 鋼製ケーンの曳行と沈設

昭和34年5月25日三菱造船下関造船所で製作したケーンを1200HP1隻、500HP2隻、150HP1隻の船隊で現場まで曳行した。途中関門海峡を通過、全航程約12km 所要時間5時間である。

写真-1 鋼製ケーンの曳行

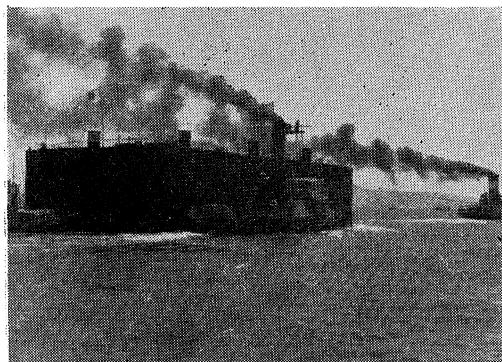
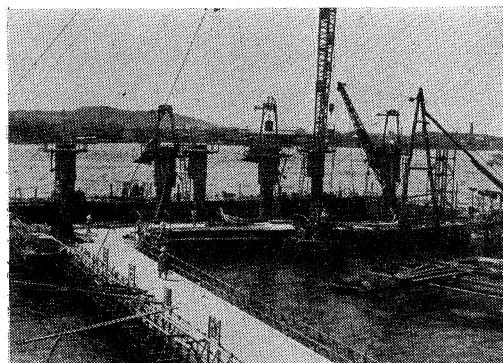


写真-2 ケーンの沈設



これに先立って現場にケーン引きこみのためガイドウォールを設置した。これはドルフィンを作業台で結んだコの字形の開口部を有する構造で岸壁との間に資材運搬用の桟橋を架けた。

沈設は海水注入による急速沈下とし、海面までのコンクリートはプレパクトとした。

設置誤差は基準線に対し5cm以下であったが、沈設後送気開始まで（この間にプレパクト施工）の間に約1.5m 沈下した。

(3) コンクリートの打設ならびにその管理

若戸橋工事全体のコンクリート打設量は110,000m³でそのうち上部工関係を除いて下部工事として、戸畠、若松側それぞれ約50,000m³である。これに対して28切3台の混合容量を持つ全自動式プラントを戸畠橋台わきと若松の工事事務所前に設けた。

セメントはフライアッシュ20%を混入した早強セメントとスラグの混入量50%の高炉セメントをバラで支給し、ケーンのコンクリート、橋脚のコンクリートなどは工期を短縮するため前者を使用した¹⁰⁾。

コンクリートの管理は次の2本立てを行なった。

- ① プラントに監督員を常駐させ骨材の含水量測定、スランプの測定、コンシスティンシー メーターの活用により一様なコンシスティンシーを得るように努める。
 - ② 原則として100m³について圧縮供試体6個を作成し初期強度と設計強度を確認する。
- この管理結果を表-6に示す。

プラントから打設現場までの運搬はコンクリート運搬車またはダンプ トラックを利用した。大型ケーンでの連続1回打設量は最大780m³に達したが平均30m³/h程度の打設速度になった。打設速度の向上には現場での処理が隘路になりプラント側には余裕があった。この解決のためコンクリート標準示方書の精神からいうと好ましくなかったが足場組によるショット打ちを大巾に採用した。

一般に鉄筋使用量の多い形わくの間のコンクリート打設方法について有力な工法を見つけ出すことが今後予想される大工事に重大なことと思う。

(4) ケーンの岩掘削ならびに不良岩盤の手当

若戸橋のケーンは上部工の荷重が大きいのですべて3紀層の頁岩、砂岩に1m以上くいこませている。そのため岩に着いてから電気発破により掘削を進めた。表-7に岩質、掘削量、ダイナマイト使用量を示す。

岩はケーン底面で水平に切り取らずに作業に支障のない範囲で掘り残した。これによって岩掘削量、底づめコンクリート量が減り水平力による滑動に対して“クサビ”として働き一石二鳥どころか三鳥の利がある。

各ケーンは底面積100m²あたり1カ所の割合で地

表-6 配合別月別コンクリート変動係数一覧表

工事区	配合	年月 材令																		全期 (%)	試験対称 打設数量 (m³)				
		34.5	6	7	8	9	10	11	12	35.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	36.1	2	3	
戸 畠 側 下 部 工	A	3 28	7.1 6.7	14.7 15.9	15.5 9.9	13.6 11.1	12.8 11.5	11.1 9.8	14.9 11.2	16.6 12.7	17.1 9.6	17.9 9.7	21.6 13.6	7.0 8.7									18.5 14.1	14 880	
	A ₁	3 28																					24.6 12.2	4 000	
	B	7 28	19.4 19.4	19.4 19.4	16.3 11.1	17.1 15.0	11.5 12.1	6.2 8.3	18.6 14.3	12.5 8.8													20.0 16.0	6 230	
	B ₁	7 28									9.8 14.1	18.0 14.9											14.6 14.4	6 640	
	D	28 91									6.1 12.3	11.3 9.9	15.7 10.1	13.1									12.4 11.2	11 130	
若 松 側 下 部 工	A	3 28	3.9 7.6	3.9 7.6	8.7 5.4	7.1 5.8	9.2 7.4	13.0 6.4	16.1 10.5	25.3 9.8	15.7 5.3	9.7 7.1	7.2 4.9	8.9 5.0	5.0 9.1	8.1 9.6	10.7 7.7	9.5 10.2	16.0				14.4 11.6	21 120	
	A ₁	3 28																						22.2 12.4	4 110
	B	7 28						24.6 22.9	2.6 3.1	15.7 17.0	17.7 18.3													16.4 17.1	5 970
	B ₁	7 28											22.7 10.3		6.6									22.7 9.5	6 660
	D	28 91												9.1 12.7	15.6 10.7	8.0 8.3								12.1 9.0	11 070

[示方配合表]

配合の種類	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	単位水量 (kg)	単位セメント ト量 (kg)	水セメント 比 (%)	絶対細骨 材率 (%)	単位細骨 材量 (kg)	目標強度 (kg/cm²)	摘要
A	50	8±1	1	182	330	55	42	753	$\sigma_3=145$	早強セメント+フライアッシュ (80%) (20%)
A ₁	25	12±1	1	198	330	40	43	752	$\sigma_{28}=300$	同上
B	50	8±1	4±1	159	300	53	38	686	$\sigma_{28}=265$	スラグ(50%), 高炉セメント
B ₁	50	5±1	4±1	144	300	48	38	700	$\sigma_{28}=265$	同上
D	50	4±1	3±1	122	240	51	37	756	$\sigma_{91}=265$	同上

表-7

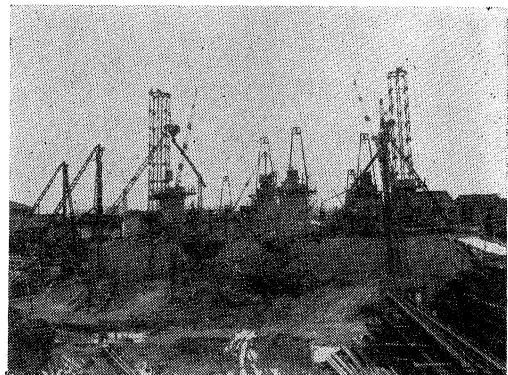
ケーンソ	ダイナマイト量		掘削岩量	岩質
	重量 (kg)	単位岩量あた (kg/m³)		
P. 21 海側	478	0.273	1 749	疊岩
P. 21 陸側	169	0.093	1 818	"
P. 22 南側	92	0.393	233	"
P. 22 北側	97	0.546	178	"
P. 23	98	0.083	1 176	砂岩、頁岩
P. 24		0.220	1 426	"
P. 25 南側		0.146	48	"
P. 25 北側		0.146	89	"
P. 26 海側		0.220	1 337	"
P. 26 陸側		0.220	1 290	"

耐力試験を実施した。試験は 45 cm 角の載荷板を使用し、300 t/m² の荷重で降伏現象を起きないことを条件に判定した。その結果戸畠、若松橋脚と若松橋台の 1 部に不良岩を発見したのでその部分のみ掘削し良質のものを確保した。

若松橋台では不良箇所が比較的多く地耐力に対する不安を底面積を外方に拡張することによってカバーした。

このため刃口周りのうち 20 m を刃口下へ 1 m ほど

写真-3 若松橋台ケーンソ



掘削し I ピームを刃口下を通して外方に向って敷きならべコンクリートで巻いた(図-7 参照)。

(5) 刃口グラウトおよび底づめコンクリート

ケーンソの刃口は岩盤の下に 1 m 以上根入れするが発破による岩のゆるみのため刃口と外側の地山の間には相当の空げきが生ずると予想された。大きな荷重を受ける基礎として好ましくないことなので、あらかじめ刃口金物にグラウト用の 1・1/2" ガス管を取りつけておき

図-7 若戸橋台ケーン作業室補強図

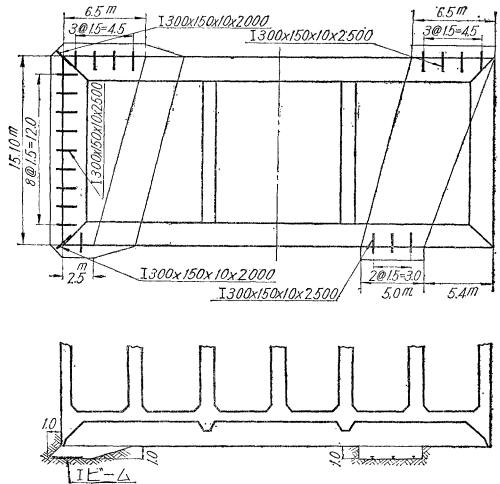
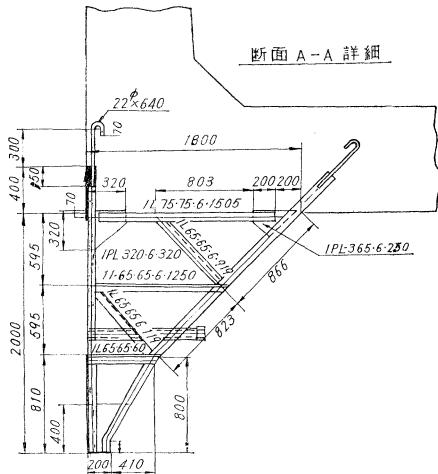


図-8 刃口金物構造図



底づめコンクリートに先立ってグラウトすることとした。

底づめコンクリートはマテリアル シャフトを利用して圧さく空気で送りこんだが作業室面積が 680 m^2 シャフト 1 基あたり 100 m^2 にもなったので 3 区画ぐらいにわけてスランプの大きいコンクリートを打設する必要を生じた。そのためコンクリートのブリージングが大きく底づめと作業室天井の間に空洞ができるおそれがあった。上部工の荷重が大きいので刃口内側のボンドのみに頼るのは危険なのでコンクリート打設前に天井下にガス管を配管し、硬化後グラウトした。グラウト量から空洞厚さを略算すると作業室高さ 2 m に対して 5 cm 程度であった。

(6) 塔アンカー フレームのすえつけ

塔アンカー フレームのすえつけを開始する前に国土地理院に依頼して渡海測量の結果をケーン上に落してもらいその値を基準にアンカー フレームをすえつけた。

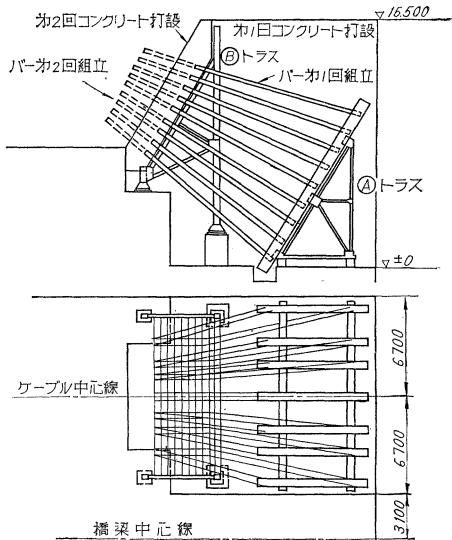
すえつけの結果は公団監督員、下部工および塔工事請負業者の 3 者立会いで検査を実施した。その結果基準線に対し平面で 0.5 mm 高さで 1.5 mm 以下の誤差ですえつけられていることがわかった。アンカー ボルトのすえつけ誤差は直接塔の架設精度に響くわけであるが、アンカー フレームを利用することにより作業は容易になった。

なお塔の底板とコンクリート面との密着および水平度は上部業者の手でコンクリート面を磨き仕上げすることで行なった。

(7) ケーブル アンカー フレームのすえつけ

ケーブル アンカー フレームは 図-9 の一般図に示す

図-9 ケーブル アンカー フレーム施工図



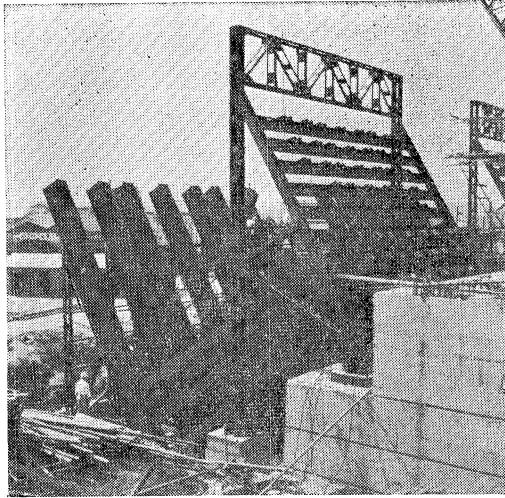
構造を持ち、(A)トラスと(B)トラスを組み立てたのちバーを下段から組みバーの先端ソケット取付位置を測量し計算座標とチェックした。

その結果は水平位置、高さともに $\pm 5 \text{ mm}$ の許容仕様値の範囲にありすえつけ工事に成功した。

(8) クーリング工事

アンカー ブロックのコンクリートは約 18000 m^3 ありこれを戸畠、若松側とともに 35 年春から夏にかけて打設する工程になった。しかも多少工程が遅れており 3 日間隔でリフトを打継いで行く必要がおきた。リフト高さを 1.5 m としても 1 ブロックのコンクリートは平均 300 m^3 50 ブロック以上におよぶ。もし自然熱放散の状態で打継ぐとすればセメントの品質、使用セメント量を吟味しても 5 日間隔以下にすることはできない。この結果工

写真-4 ケーブル アンカー フレームの取付



事務所はダムの施工例にならって思いきってパイプクーリングを行ない、工期短縮を確保するとともにきつの発生など構造物に悪影響を与える原因を取り除いた。

クーリングのための水源として適当な河川がないので海水を使用した。しかしこの海水も6月になると水温が20°Cを越すので年平均気温18°Cまで下げるにはきわめて能率が下る。したがって通水期間は1カ月とし、それ以後の作業は翌36年1月海水温度が10°C以下になってから通水しジョイントグラウトする。なお6月以降の夏の間、水温保持のため近くに井戸を掘り、使用した。

クーリング効果を確認するためコンクリート内部に温度計を埋設したが測定結果のうち戸畠橋台のものを表-8に示す。

表-8

測定 月日	最高温度		クーリング		ブロック番号	
	コンクリート 温度(°C)	外気温 (°C)	送水温度 (°C)	排水温度 (°C)		
連結帯下部	3.26	30.7	max 11 min 7	13.5	23.5	12
連結帯上部	3.26	26.6	max 11 min 7	13.5	18.6	7
前面ブロック	4. 9	33.9	max 19 min 11	14.2	23.5	18A
後面ブロック下部	6. 2	35.5	max 19 min 17	20.3	27.5	35
後面ブロック上部	6.20	33.5	max 25 min 19	18.0	23.0	39

この計画をたてるためダム現場、過去の施工例を調べパイプクーリングにするかブレクーリングにするかあるいは碎氷片投入方式によるか検討を重ねた。施工結果からみて、パイプクリーニングを採用したことは海水利用とともに、作業が単純化され、しかも確実で、工期短縮と良好な施工を確保するため成功であったといえ

る。

主塔橋脚の軸体コンクリート(平面形35×15m)は1.1mリフト3回で戸畠を2月若松を3月に打設した結果申し合せたようにちょうど中央にきれつを生じた。このことからマスコンタリートの概念は決してダムだけではなくこの程度の橋梁構造物にもあてはまる教えられる。

7. ケーソン応力の測定

箱形の大形ケーソンでは掘削沈下の途中、上部荷重、周辺摩擦、刃口反力、沈下荷重など種々の外力の作用を受けて、複雑な応力状態を起こすことが予想されている。しかも刃口をすえ第1回のコンクリートを打ちサンドルをはずして送気掘削を開始する直後には、不等沈下の影響を受けて非常に大きな応力を生ずる。このため施工途中破壊した実例さえある。若戸橋ではこの不測の事故を事前に察知するためと、ケーソン設計になんらかのデータを提供できればという意図で、若松橋脚および、若松橋台に鉄筋計、コンクリート応力計を埋設した。計器は共和線製の鉄筋計、ひずみ計を使用した。

若松橋脚の沈下当初、作業室天井の一部にクラックを生じ、測定中の鉄筋応力度が、降伏点近くにまでおよぶものがでた。この原因は施工条件によるもののみでなく、コンクリートの収縮きれつによるものと思われたが安全をみて、沈下荷重としての中埋土砂の投入を制限し、観察を厳重にしながら施工を続けた。その結果無事工事を終了できたが、この測定結果の正否は裏づけ資料がないためわからない。ただ、十分な構造解析のできない現在では、大形ケーソンの構造決定にあたって相当の安全率を見込む必要のあることだけはいえると信ずる。

8. ケーソンの土圧測定

空気ケーソンを設計する場合、設計荷重として土圧が大きな割合を占める。そこで、土圧計、水圧計を設置して、将来の設計の参考にするとともに、大きな上部荷重と、水平力を受ける吊橋基礎の底面反力と前面土圧を測って構造物の安全度を確認することとした。したがって、これらの測定は現在継続中であり、開通前の静荷重試験

表-9

	側面		底面	
	海側	土圧計 水圧計	土圧計 水圧計	土圧計 水圧計
若松橋脚	海側	土圧計 水圧計	4 2	6 2
若松橋脚	海側	土圧計 水圧計	11 3	6 2
若松橋脚	陸側	土圧計	4	
若松橋脚	南側	土圧計	5	
同陸側上側				6 2

(死荷重満載で一部車両荷重を載せる)の際の測定結果と合せて最終報告をする予定であるが、ここでは下部工事期間中の測定値についてふれることにする。

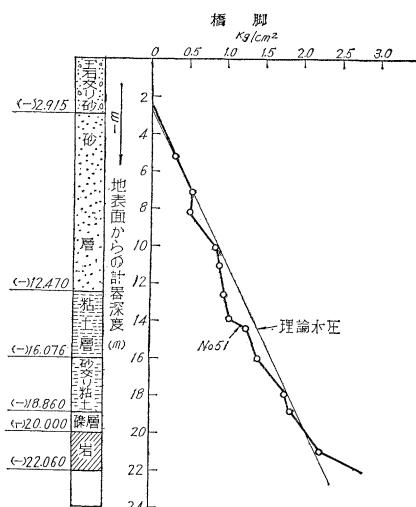
(1) 土圧計、水圧計の種類および配置

土圧計および間げき水圧計は坂田電機の製品を使用した。数量は合計土圧計42個、水圧計11個である。

(2) 側面の水圧

ケーソンの沈下工事中は地山がゆるんで、ケーソンの壁にそって水路ができているとも考えられ、測定結果も理論水圧に近いものを見ている。この測定値は刃口に近い箇所に埋めた計器の読みを深度に従ってプロットしたものである。時間の経過とともに間げき水圧が低下することが予想され、測定結果にもあらわされているが、最終報告にゆずる。

図-10 水圧分布図



(3) 底面の土圧および水圧

橋脚および橋台に埋設したもののうち、橋脚について述べる。

土圧、水圧の合成値で表-10の値が観測され、これ

表-10

土圧計器番号	土圧、水圧の合成値	土圧計器番号	土圧、水圧の合成値
No. 47	41.5 t/m ²	No. 44	35.0 t/m ²
No. 48	42.0 t/m ²	No. 45	35.8 t/m ²
No. 49	40.0 t/m ²	No. 46	34.0 t/m ²

に対し間げき水圧は、

No. 52が22.0 t/m² No. 53が22.5 t/m²

であった。

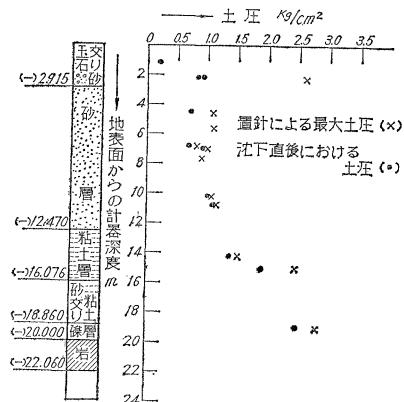
この場合の設計地盤反力は、35 t/m²であるから、周辺摩擦力で15~20 t/m²が支持されていることになる。

上部荷重の増加による地盤反力の増加については最終報告にゆずる。

(4) 側面全圧

図-11に示す沈下中の最大全圧曲線は、土圧計に装置してある置針によって測定したケーソン壁体に作用する最大全圧を記録したものである。この最大値は刃口に近い土圧計で記録されており、特に浅い場所で大きな全圧を示している。これは大形ケーソン沈下当初起ったケーソンの傾斜による受動土圧を示しているものと考えられる。

図-11 側面全圧分布図



沈下直後の全圧は側壁に取りつけた土圧計の測定値を各深さごとに記録したものであるが、ケーソン傾斜の影響が多少見られるものの最大全圧よりよほど小さい。

このことから刃口を設計する場合、傾斜を考慮した設計が必要であるといえる。

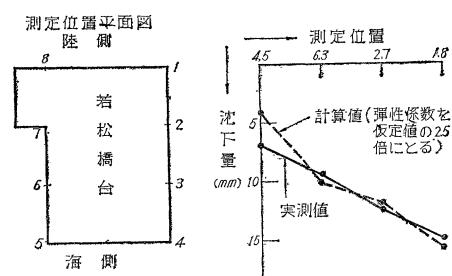
9. 橋台ケーソンの変位測定

吊橋部分の基礎は空気ケーソンで施工され、その底面は三紀層の砂岩、頁岩、砾岩に根入れしている。

これらの岩は弾性係数で、数千から数万の大きさのものなので当然弾性変形が予想される。吊橋は不静定構造物であり、基礎の変位が構造物の安全度を大きく左右する。そこで、基礎の変位を観測し、将来死荷重の増大につれて生ずる変位を予測、吊橋の架設に考慮する必要があるかどうか検討した。

戸畠橋台は砾岩の上にのっており、変位は少ないと判

図-12 ケーソン変位実測図



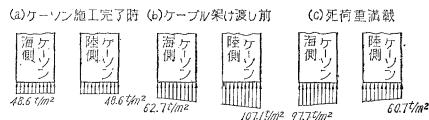
断され観測は若松橋台で実施した、ケーソンの底づめコンクリートを施工した直後、ケーソン天端に8カ所ベンチマークを設け、橋台躯体完成後第2回の測定を行ない、この間の変位を理論値と比較した。図-12はその観測結果である。

これに対し、弾性係数を表-11の値とし、地下の層序はボーリング結果を使用して計算した結果と比較する。この結果から表-11の弾性係数を2.5倍すると計算値と観測値が合うことがわかる。

表-11

深 度		仮定静弹性係数
頁岩	炭筋入り	1 000 kg/cm ²
	-35m以浅	1 500 "
	-35m以深	3 000 "
砂質岩	-35m以浅	2 000 "
	-35m以深	4 000 "
砂岩	-35m以浅	4 000 "
	-35m以深	8 000 "
礫岩	-35m以浅	8 000 "
	-35m以深	15 000 "

図-13 橋台基礎底面反力図



若戸橋工事状況
(西部日本新聞社 提供)



底面反力の変化を図-13に示すが、この荷重条件を入れて計算すると、死荷重満載時、ケーソン前縁(4.5)は10.8mmに沈下し、ケーソンの後縁(1.8)は13.2mm上昇する。この結果、アンカー ブロックは角回転を起すが、その量はケーブル分離点で水平に20mm垂直に3mm程度になる。

この変位は吊橋の架設精度からいって許容される値であり、この値を見こして、ケーブルを架け渡すことはないことにした。

現在架設進行中であり、死荷重満載の時機を待って、基礎の変位をチェックする予定である。

10. む す び

下部工事は、用地取得が多少遅れたため、その影響をうけて、非常に苦しい工程になったが、請負者の協力を得て、上部工の工程に支障を与えるような遅れを出さずにする。工事そのものは橋梁基礎としてかってない大規模なものであったが、施工上大きな困難に遭遇することもなく、順調に完工できたことは、幸せであった。ただ、工事中、転落事故、感電事故により尊い人命を失う結果になり誠に残念である。ここで深く犠牲者の皆様の御冥福を御祈りして、この稿を終ることにする。

参 考 文 献

- 日本道路公団若戸橋工事事務所：若戸橋工事に際して行った調査、土木学会誌 45-12, 昭 35.12, p. 19~25
- 日本道路公団若戸橋工事事務所：若戸橋の設計、土木学会誌 46-4, 昭 36.4, p. 15~21
- 九州大学 松下久道：洞海湾周辺地質調査報告、若戸橋調査事務所、昭 32.3、土木研究所橋梁研究室所管
- 建設省土木研究所：若戸橋調査報告(その2)、岩石試験、地盤調査、昭 32.3
- 日本道路公団 若戸橋調査事務所：若戸橋調査報告 XX(ボーリングコアによる第3紀層物理試験) 昭 32.6、土木研究所橋梁研究室所管
- 九州大学 水野高明・徳光善治：若戸橋調査報告(26)基礎岩盤の土質力学的考察、昭 33.3、土木研究所橋梁研究室所管
- 建設省土木研究所：若戸橋調査試験報告(その2)、昭 32.3、(その4)昭 33.3
- 日本道路公団若戸橋調査事務所：若戸橋調査報告(XIX)湧水調査、昭 32.6、土木研究所橋梁研究室所管
- 同上：若戸橋調査報告(XV)井筒施工における薬液注入、昭 32.4、土木研究所橋梁研究室所管
- 同上：若戸橋での早強フライッシュセメントの使用実績について、セメント工業 No. 50、昭 36.5、日本セメント発行
- 同上：ケーソン体に埋込んだ土圧計間隙水圧計について、日本道路公団第2回業務研究発表会論文集、昭 35.5、p. 198~212

(原稿受付：1962.4.18)