

白鳥橋の設計と施工

中 田 武 志*
山 本 雄 治**
藤 岡 靖***

1. まえがき

本橋は、岡山県倉敷市が瀬戸大橋架橋に伴う、瀬戸大橋線の児島駅開設に伴い、新しい児島地区の中心地として、また、観光、レクリエーション都市の表玄関としての機能を備えた町づくりを目指して区画整理事業により整備し、その一環として施工された、橋長 96 m、有効幅員 3.8 m の横断歩道橋である (図-1)。

構造は、2 径間連続の PC 斜張橋で、径間中央に主塔を中心として対称な位置に 2 か所踊り場を有している。

主桁は、桁高 0.8 m の中空版形式で、主塔は、高さ 35 m、橋軸方向の幅 1 m の逆 Y 形形式を採用しており、極めてスレンダーな PC 斜張橋となっている (写真-1)。

斜材は、ファン形一面吊りで、美観を考慮してクリーム色にカラーコーティングした SEEE タイプを使用している。

また、本橋は施工後白色の吹付け塗装を行い、白鳥が羽を大きく広げ飛び立とうとしているように見えることから、「白鳥橋 (はくちょうのはし)」と命名された。

本稿では、白鳥橋の設計および施工の概要を報告する。

2. 工事概要および設計条件

本橋の工事概要および設計条件は次のとおりである。

工 事 名：岡山県南広域都市計画事業
児島味野元浜土地区画整理事業
白鳥橋 (はくちょうのはし)

場 所：倉敷市児島駅前 1-50

工 期：昭和 61 年 12 月～昭和 62 年 9 月
(下部工 12 月～3 月)
(上部工 4 月～9 月)

発 注 者：倉敷市建設局都市開発部
児島開発事務所

構 造 形 式：上部工 2 径間連続 PC 斜張橋

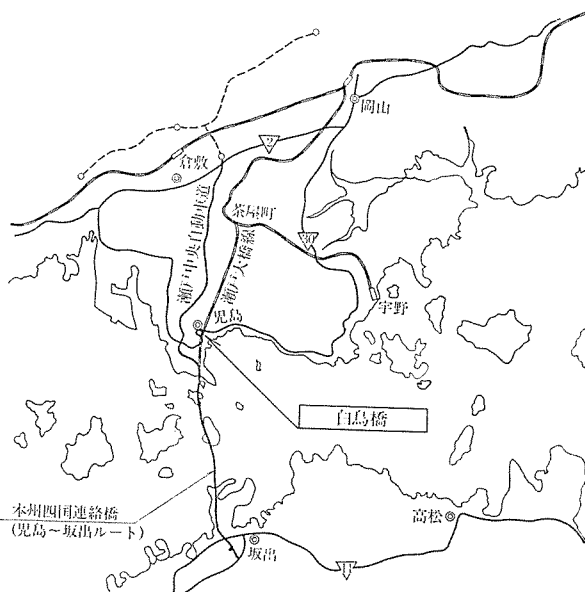


図-1 位置図

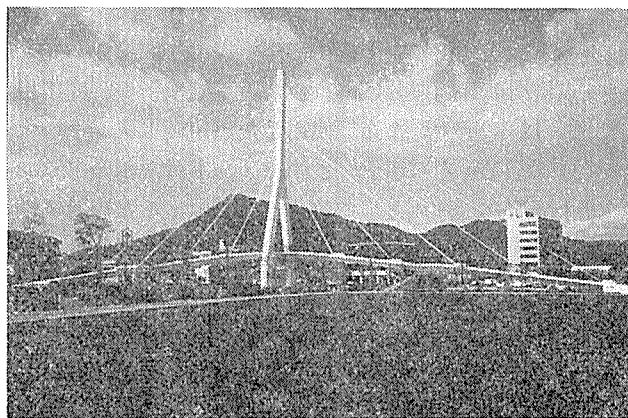
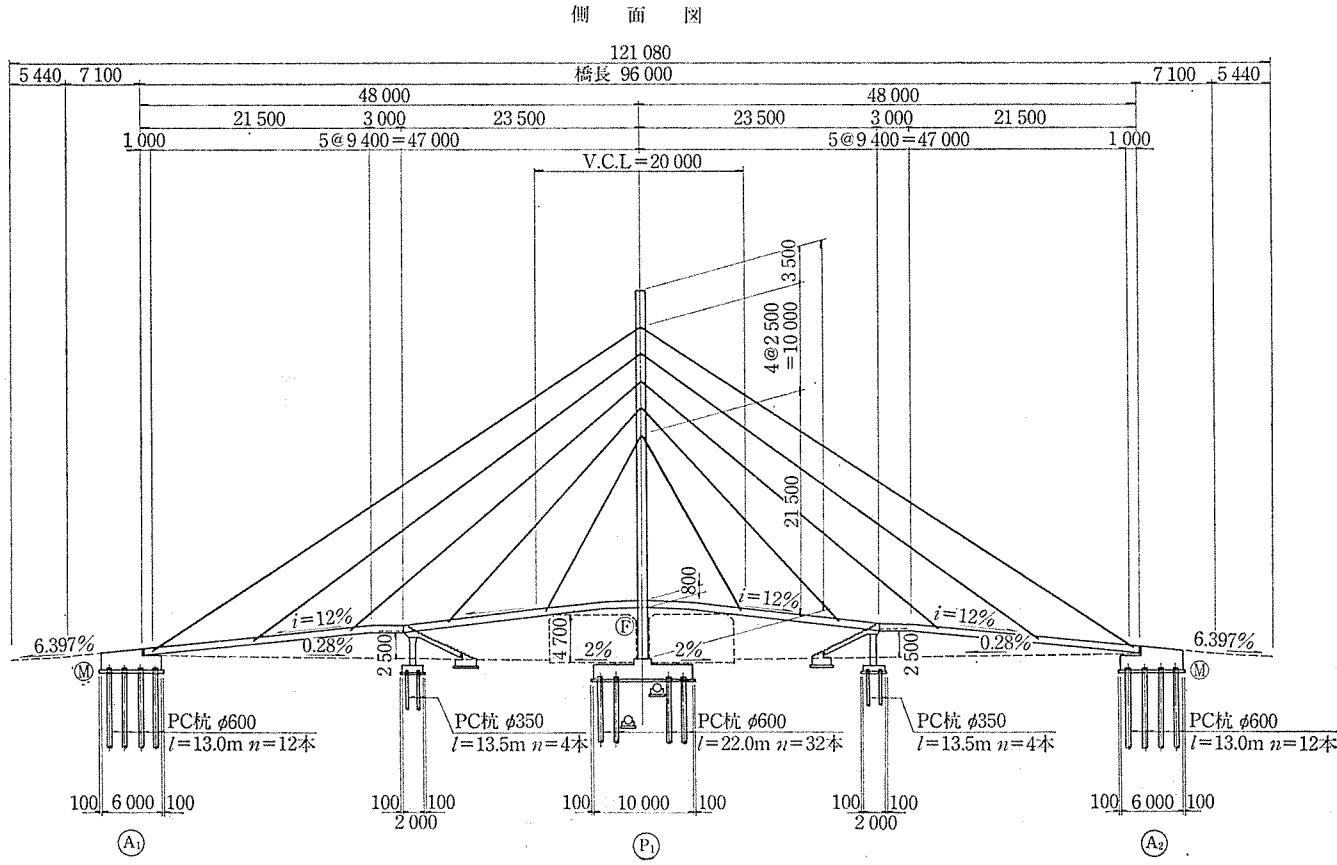


写真-1

主 桁；PC 構造
横桁、床版；RC 構造
主 塔；SRC 構造
下部工 橋台、橋脚；PC 杭基礎

橋 長：96.0 m
桁 長：95.9 m
支 間：47.55 m + 47.55 m
幅 員：全 幅 4.6 m
有 幅 3.8 m

* 倉敷市建設局都市開発部児島開発事務所区画整理主任
** 構造物コンサルタント(株)大阪支店技術次長
*** ピー・エス・コンクリート(株)大阪支店技術部設計課



主塔断面図

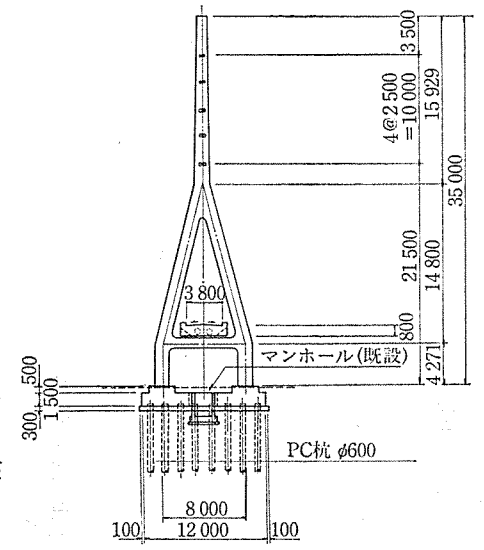


図-2 構造一般図

◇工事報告(投稿)◇

活荷重：群集荷重；主桁 350 kg/m²
床組 500 kg/m²

平面線形：R=∞

縦断線形：i=12.0% $i \setminus \setminus i$

設計震度：K_h=0.20

温度の影響：1) 構造系全体の温度昇降 (±15°C)

2) 斜材と主桁および塔との温度差 (±10°C)

3) 主桁の上床版の温度上昇 (+ 5°C)

構造一般図を図-2に示す。

3. 上部工材料強度および使用材料

コンクリート：主桁 $\sigma_{ck}=400$ kg/cm²
塔 $\sigma_{ck}=300$ kg/cm²
地覆 $\sigma_{ck}=240$ kg/cm²
P C 鋼材：主桁 フレシネー工法
SWPR 7 A 12 T 12.4 mm
斜材 SEEE 工法
SEEE タイプル
(カラーコーティング仕様)
F 130 T, F 200 T, F 310 T
鉄骨 SS 41
SM 50 (定着プレートのみ)
SUS 304 (斜材ガイド)
鉄筋 SD 30

4. 設計概要

4.1 橋梁形式の選択

橋梁形式の選定は、次に示すテーマに基づいて行われた。

- ① 児島の郷土性と都会性の調和と対比をテーマとした街造りの象徴的な役割となる構造物であること。
- ② 駅周辺の街路・公園のネットワークの中心となるデッキであることから、他の歩道橋との調和を考慮した物であること。
- ③ 利用者が愛着や、親しみの持てるような要素を持つ構造物であること。

以上より、児島の景観に関する市の基本方針に合った、美観的に最も優れた2径間連続PC斜張橋案を採用した。

4.2 構造の概要

本橋の構造は、2径間対称構造で、中間橋脚に支承を有する斜張橋構造である。

主桁は、H=0.8 mの等桁高で斜材ケーブル定着点において弾性支持された10径間連続構造である。

断面形状は、主桁の剛度が高く、横方向の剛性も大き

い中空床版形式を採用している。

桁高とスパンの比は、1/59であり、極めてスレンダーな構造となっている。

また、本橋は主塔を境に、左右に12%の縦断勾配が入っているため、中間橋脚上に負反力を生じる。そのため、主桁と中間橋脚を一体とするため、縦縮めを行っている。

4.3 構造解析

構造解析は、平面骨組解析で行った。

図-3に解析モデルを示す。

本橋は、支保工施工として、各荷重による断面力および斜材張力の調整を行った。

表-1に示すように、各荷重の断面力およびたわみは、①主桁自重、②主桁プレストレス、③斜材調整力、④温度差の弾性計算について、斜材ケーブルのない構造系に載荷を行い、⑤橋面工、⑥活荷重、⑦乾燥収縮の弾性計算および各荷重のクリープ計算については、完成構造系に載荷を行い解析をしている。

斜材調整量の決定は、①主桁自重については、斜材ケーブル定着点に支持された連続構造、②温度差については、斜材ケーブルのない連続構造、また、⑤橋面工については、完成構造として、各々の構造系に対して算出を行う。

また、主桁プレストレスによる調整力は、これを考慮しない。本橋は、主桁断面図心にPC鋼材が配置されているため、主桁プレストレスによる曲げは生じないが、一般的には、連続桁状態の主桁プレストレス反力は、主桁自重と反対に負反力となり、この分の斜材調整を行うとたわみは釣り合うが、主桁プレストレスの曲げが打ち消されることになる。

したがって、主桁プレストレスによる調整力を考慮しないと、たわみは主桁プレストレスの曲げによる分だけ上ぞりとなり、主桁、断面力は改善される方向になる。

なお、橋面工を斜材調整前に施工する場合と、調整後支保工を撤去してから施工する場合とでは、構造系が異なる。

本橋では、橋面工後施工として調整力の算出を行った。

4.4 主桁の設計

主塔の自重、橋面工の断面力は、平面骨組解析により算出した。

また、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の断面力は、材令係数を考慮した変位法¹⁾により算出している。

主桁に発生した断面力を、図-4に示す。

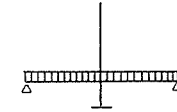
主桁の応力度の照査は、曲げモーメントと軸力を受けるRC部材として行っている。

表一 支保工施工による PC 斜張橋の構造解析をする場合の構造系と荷重載荷法

計算項目 荷重	弾 性 計 算			クリープ計算 (断面力・たわみ)	
	断面力・たわみ	斜 材 調 整 力 の 決 定		橋面工先施工	橋面工後施工
		橋面工先施工	橋面工後施工	①斜材調整支保工撤去 ~∞	①斜材調整支保工撤去 ~橋面工 ②橋面工~∞
① 主桁自重			左に同じ		
② 主桁プレストレス		—	—		
③ 斜材調整力		—	—		
④ 温度差			左に同じ	—	—
⑤ 橋面工	*1 橋面工後施工の場合 				
⑥ 活荷重		—	—	—	—
⑦ 乾燥収縮		—	—	—	—

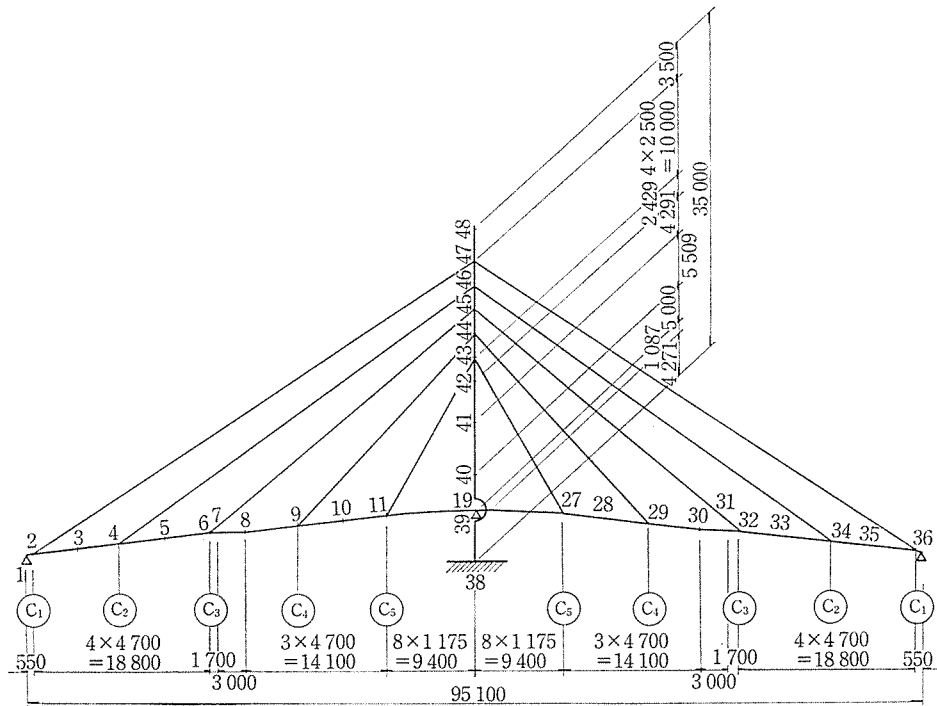
左表 3 行目の図は、タワー以置で主桁は橋脚上の支保で支持されている場合を想定しているが、主桁と橋脚が剛結の場合は、斜材張力の決定の図で連続桁状態の中央の支保は、3 方向固定となる。

*1 橋面工先施工の場合は、下図のようである。

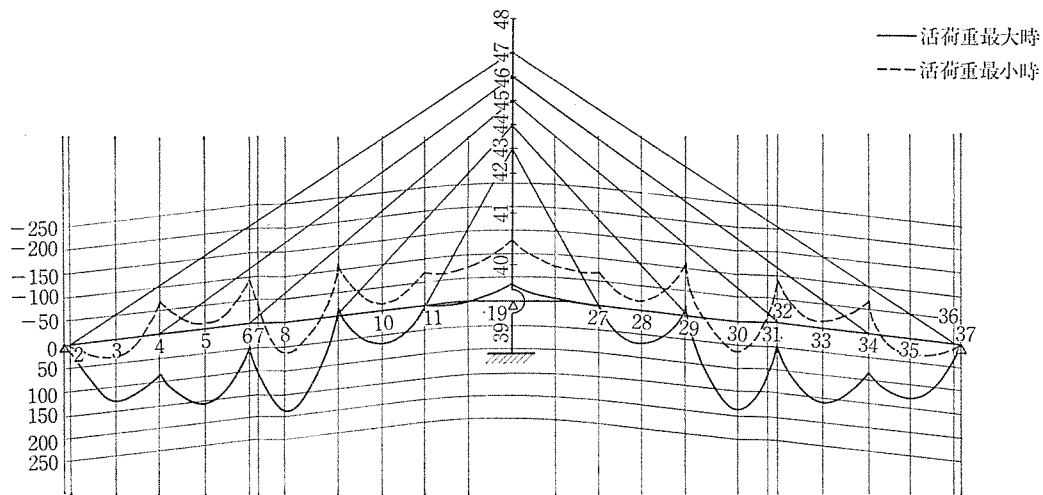


橋面工先施工とは、支保工上で主桁コンクリートを打設および主桁プレストレス導入後橋面工を施工後、斜材の張力調整を行う。

橋面工後施工とは、支保工上で主桁コンクリートを打設および主桁プレストレス導入後斜材の張力調整を行い、支保工撤去後、橋面工を施工する。



図—3 平面解析モデル図



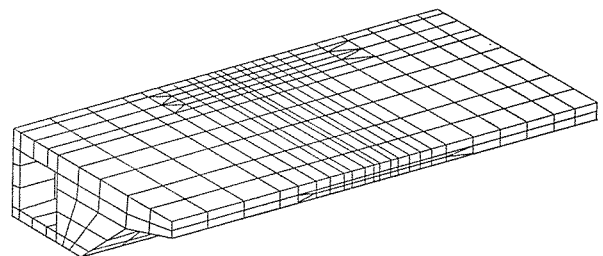
図—4 設計荷重時の主桁の曲げモーメント

なお、プレストレスは、構造図心に配置して軸力として扱われる。

また、本橋は斜材ケーブル定着部の部材厚が極めて薄く、緊張時には支圧板付近に大きな非線形の局部応力が発生する。そこで、応力状態を把握するために、立体FEM解析を行った。

解析は、図—5に示すように定着突起を除くモデルで行い、モデル端部断面を剛断面として、その断面中心を単純支持とする境界条件で各節点応力を算出した。

荷重ケースとしては、①静荷重時、②静荷重+圧縮側主桁モーメント最大時の活荷重、③静荷重+引張側主桁モーメント最小時の活荷重の3ケースとし、②、③によ



図—5 FEM 解析モデル

り定着プレート前面より下の部分、および、定着プレート背面の傾斜部分についての応力状態を確認することができた。

最大となる ケース-3 について、応力状態の最大となる支圧板中心断面での変形図と、橋軸方向 (XX) および鉛直方向 (YY) の応力図を、それぞれ図-6 と、図-7 に示す。

解析結果より、割裂応力、隅角部応力、また定着部の押抜きせん断応力度の検討をして、配筋を行った (図-8 参照)。

4.5 主塔の設計

主塔は、逆Y形状で、1面吊りとなっている。

主塔内部には、全長にわたり鉄骨が配置されていて、塔基部に剛結されている。第1節および第2節は仮設材として使用され、斜材定着部のある第3節は、SRC 構造として以下に示す仮定で解析を行っている。

- ① 斜材ケーブル取付け部は左右対称であり、張力の不釣合は無いものとして行う。

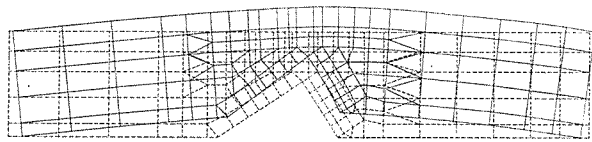


図-6 変形図 (CASE-3)

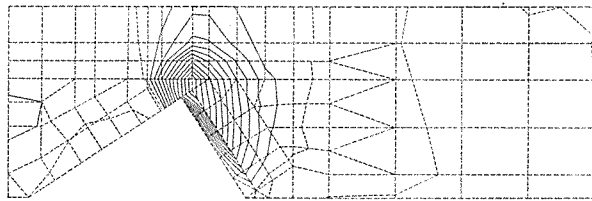


図-7 応力図 (橋軸方向断面: YY)

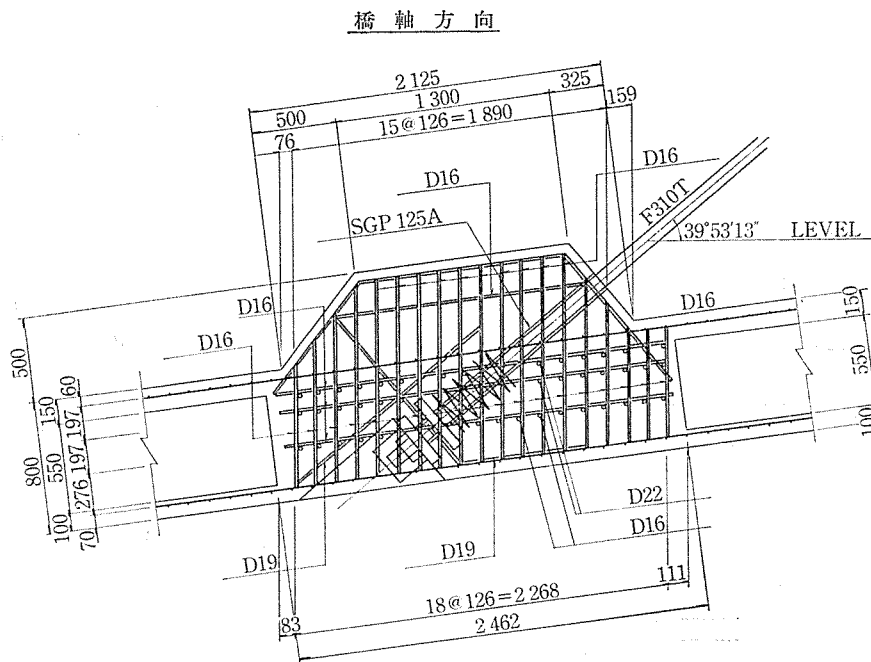


図-8 斜材ケーブル定着部配筋図

- ② 第3節の定着ブロック以外の部材は、各斜材ケーブルから伝達される鉛直分力の合計を、コンクリート部分と鉄骨部分に分担支持するものとして弾性係数比によって振り分け、支柱各位置の軸力を算定して断面の決定を行っている。また、斜材ケーブル定着部は、柱にねじりモーメントが生じないように、2本のケーブルが反対側の2本のケーブルをはさみこむ構造となっている。

4.6 斜張ケーブルの設計

斜張ケーブル量は、ケーブルの定着点を支点とした連続桁に、主桁自重と橋面荷重を載荷した場合の各支点反力を基に算定し、ケーブルの設計荷重作用時 (群集荷重作用時) の許容引張応力を「PC 斜張橋上部工設計指針 (案)」<(財) 海洋架橋調査会> より、引張強度の 40% 以内として各ケーブル量を算出した。

斜材ケーブルの定着工法については、①引張強度が大きい。②ヤング係数が高く安定している。③緊張、定着が容易で確実である。④疲労特性が高い。⑤取替え、架設が容易である。⑥耐久性がある。などの条件から、高密度ポリエチレンによって被覆されている SEEE タイプ (カラーコーティング仕様) を採用している。

斜材ケーブルの見掛けのヤング係数は、サグの影響により減少する。サグを考慮した見掛けのヤング係数を Ernst の式により算出したが、減少量は 0.15% 程度であり、その影響はほとんどなかった。

4.7 全体座屈に対する検討

本橋は、桁高/支間比が、1/59 であり、主塔の橋軸方向の幅も 1m と、全体として極めて細長い形状であるため、主桁および主塔の座屈に対する安全性の照査を行った。

検討は、微小変形理論を用いた FEM 3次元座屈解析により、座屈安全率を計算した。解析モデルとしては、図-9 のように選び、

- ① 設計荷重時、各部材軸力および斜材張力を考慮する場合 (CASE-1)。
- ② 設計荷重時、各部材軸力および斜材張力を無視する場合 (CASE-2)。

の 2 種類の荷重状態で検討した。

座屈安全率の計算結果より、本橋が全体座屈に対して安全で

◇工事報告(投稿)◇

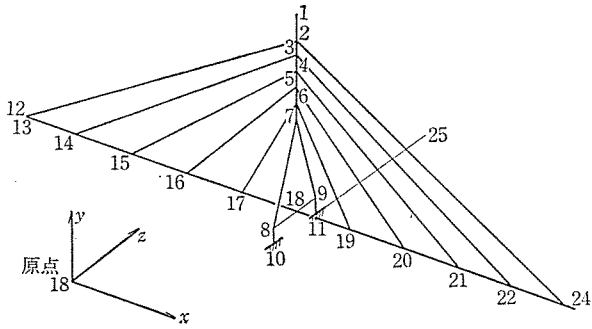


図-9 解析モデル図

表-2 座屈安全率

	λ			
	モード 1	モード 2	モード 3	モード 4
CASE-1	15.3	24.2	37.4	43.8
CASE-2	7.2	13.5	16.2	27.1

あることを確認した(表-2 参照)。

5. 施工概要

下部工事には、A₁ 橋台工、P₁ 橋脚工、A₂ 橋台工、階段橋脚工があり、上部工事には、主桁工、主塔工、斜張ケーブル工、橋面工および階段工の施工区分がある。

工程表を 図-10 に示す。

5.1 主桁工

(1) 支保工

橋体工は支保工材としてビティ杵およびパイプサポートの併用とした。

(2) 型 杵

型杵材は合板($t=12$ mm)を使用し、傾斜型杵の精度を保つため櫛材を配置した。特に踊場部分の曲面部に対

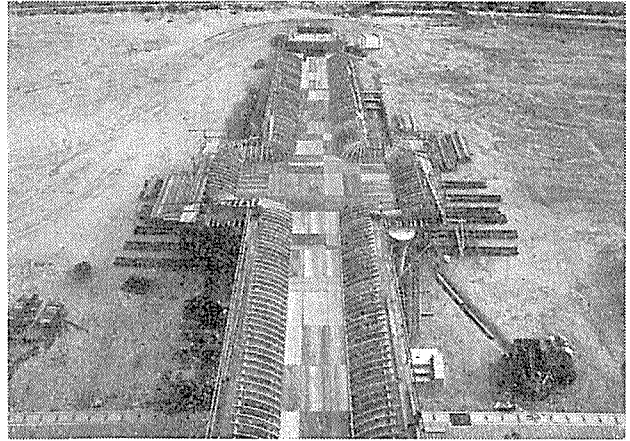


写真-2

しては、櫛材の間隔を密に配置し、その上に合板を貼りつけた(写真-2)。

中空型杵は直径 55 cm の鋼製の円筒を使用し、スチールバンドで固定をした。

(3) コンクリート

コンクリートはレデーミクストコンクリート(早強セメント、スランプ 8 cm)を使用し、ポンプ車により打設を行った。

コンクリートの打設はそれぞれ橋台側より全面片押しとし、打込み後日光の直射または熱い風にさらされないように 24 時間の湿潤養生を行った。

(4) 緊 張

主桁の緊張はコンクリート強度が 340 kg/cm² に達したのを確認して作業を行った。

5.2 主塔工

主塔は、構造上、美観上重要な部分であるので、仕上面と構造寸法に留意して施工を行った。

(1) 足 場 工

主桁の支保工は組立支柱で踊場を作り、塔の施工段階に合わせて順次ビティ杵の組立を行った。

(2) 主塔の施工

主塔の鉄骨は 3 つの部材から構成されていて、1 節毎の組立終了後にそのつどコンクリート打設を行った。コンクリート打設は高さ 4 m 毎に 9 回に分けて実施した(写真-3)。

型杵は、断面が変化するため鉄骨を基準にしてセットした。

鉄骨の組立およびコンクリート打設は、トランシットにて塔の倒れを観測しながら行った。

		61年 12	62年 1	2	3	4	5	6	7	8	9	
下 部 工	準備工	[Horizontal bar from Dec 1961 to Dec 1961]										
	A ₁ 橋台工		[Horizontal bar from Jan 1962 to Feb 1962]									
	P ₁ 橋脚工			[Horizontal bar from Feb 1962 to Mar 1962]								
	A ₂ 橋台工		[Horizontal bar from Mar 1962 to Apr 1962]									
	階段橋脚工		[Horizontal bar from Apr 1962 to May 1962]									
上 部 工	P ₁ 主塔工					[Horizontal bar from Jun 1962 to Sep 1962]						
	主桁工					[Horizontal bar from Jun 1962 to Sep 1962]						
	斜張ケーブル工					[Horizontal bar from Jun 1962 to Sep 1962]						
	橋面工および階段工								[Horizontal bar from Oct 1962 to Dec 1962]			
	吹付け工および跡片付け									[Horizontal bar from Dec 1962 to Dec 1962]		

— : 現場製作
- - - : 工場製作

図-10 工 程 表

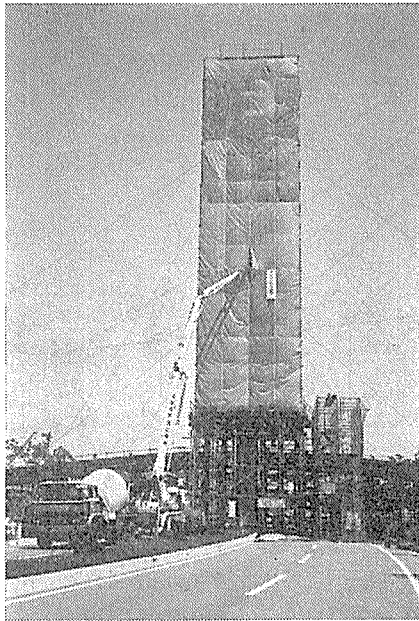


写真-3

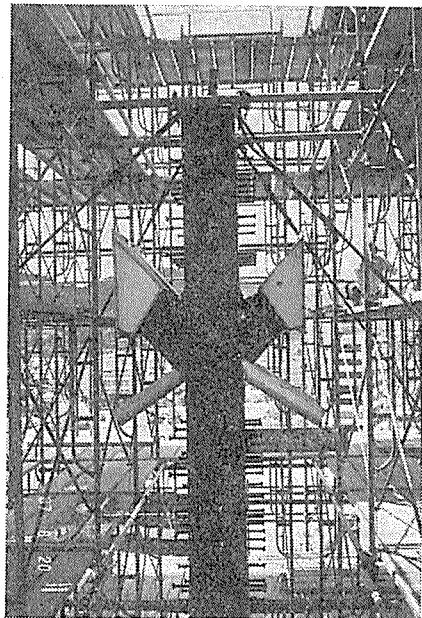


写真-4

斜材ケーブル定着部の鉄骨は、内部の補強が複雑であり、建込み後コンクリートの締固めが困難なため、予め無収縮モルタルを充填して組み立てた(写真-4)。

5.3 斜張ケーブル工

(1) 斜張ケーブルの架設

コイル状に巻かれたケーブルを回転リールにセットして引き出し、マンション先端のインナーボルトにパイロットワイヤーを取り付け、トラッククレーン2台で所定位置までザイルを吊り上げ、塔の反対側よりチェーンブロックでザイルを引き込み、支圧板に定着装置をセットした(写真-5)。

主桁側支圧板へはレバーブロックで引き込みセットを

行った。

(2) 斜張ケーブルの緊張

斜張ケーブル架設後、プレストレスを導入した。

緊張作業は、支保工上(STEP-1)とジャッキダウン

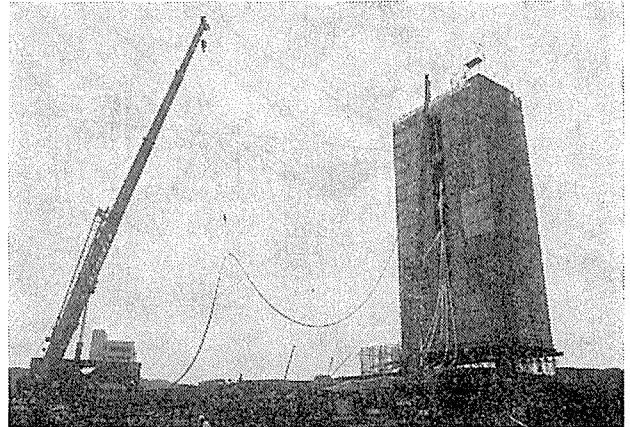


写真-5

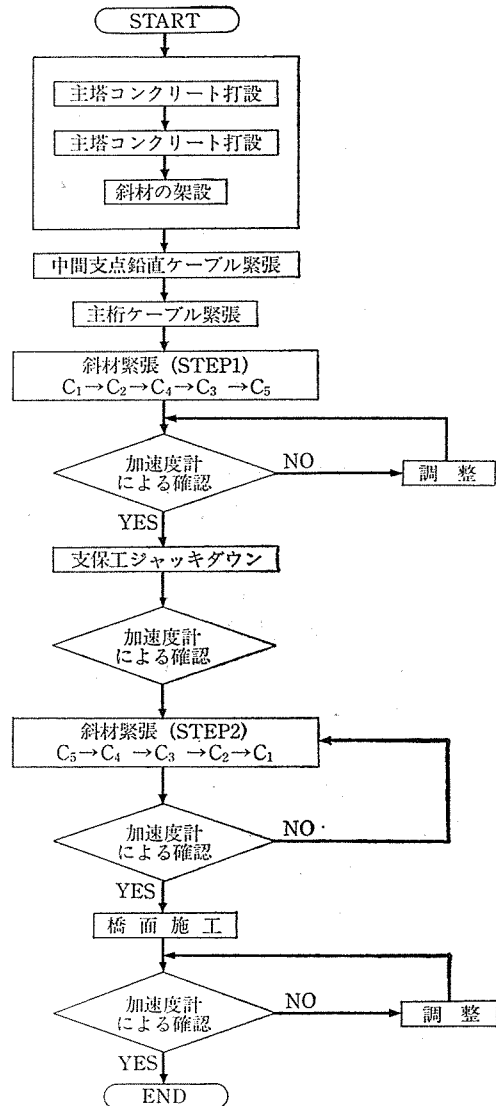


図-11 緊張手順フローチャート

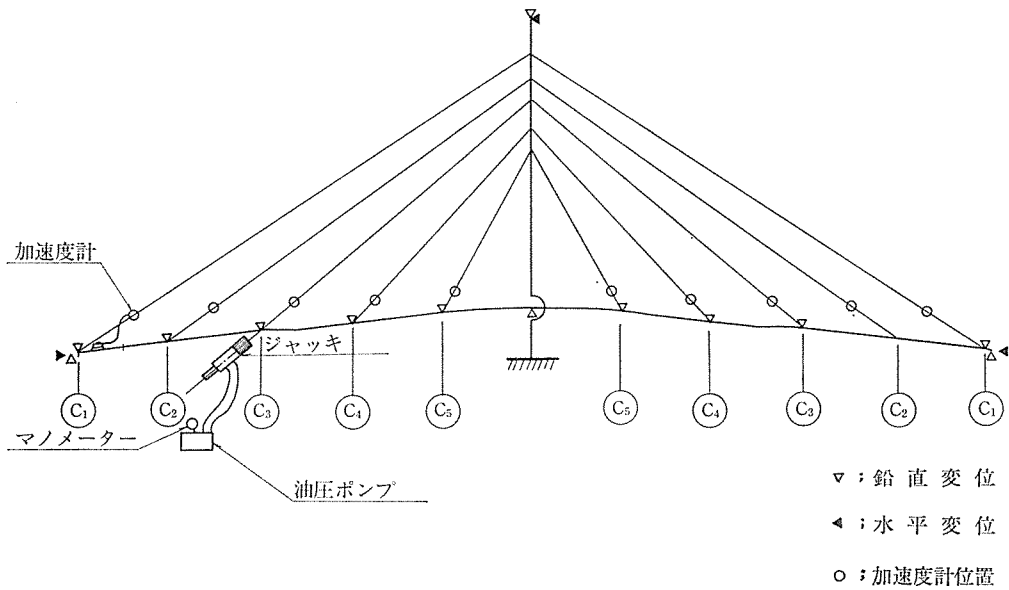


図-12 緊張管理要領図

表-3 緊張管理要領

	目的	測定器具	測定部分	測定時期
緊張力	張力導入, 調整	ジャッキマンメーター	ジャッキに付斜材の下方より 1/8 点	緊張中
	"	加速度計		各ステップ終了時
伸び	導入力の確認	コンベックス	ジャッキ油圧シリンダー部	緊張中
変位	主桁鉛直変位	レベル	弾性支持点	緊張終了時
	主桁水平変位	コンベックス	桁端	"
	塔鉛直変位	トランシット	塔上端	緊張中
	塔水平変位	トランシット	塔中心	"
温度	主桁温度変化	温度計	主桁内部	緊張作業前後
	斜材温度変化	温度計	斜材供試体	"



写真-6

後 (STEP-2) の 2 回に分けて行った。

STEP-1 では、桁自重相当分、また STEP-2 では橋面荷重相当のプレストレスの導入を行った (図-11)。

張力管理は、プレストレス、伸び、変位および温度についてこれを行った (図-12, 表-3 参照)。

(3) 斜材ケーブルの張力調整

斜材導入張力の照査のため振動測定を、STEP-1, STEP-2 終了後、および橋面施工終了後に行った (写真-6)。

STEP-2 の導入張力は、STEP-1 の導入張力から各斜材の影響値を用いて決定した。

STEP-2 橋面施工終了時の張力照査を表-4 に示す。

また、橋面施工後に行った振動測定の値は、クリープ、乾燥収縮、温度差を考慮した設計値に対して 3% 以内に収まっていた。

なお、橋面施工のクリープ、乾燥収縮による張力変動量の算出にあたっては、STEP-2 終了後約 1 か月の材令で、Troost-Bazant 法を使用した。全緊張力に対する影響はほとんど見られなかった (表-5)。

表-4 斜材ケーブル張力照査

斜材番号	STEP-2 終了時			橋面施工終了時		
	④ 設計値 (t)	⑤ 実測値 (t)	⑥-④ / ④ ×100 (%)	⑦ 設計値 (t)	⑧ 実測値 (t)	⑧-⑦ / ⑦ ×100 (%)
C-1	59.3	57.8	2.5	56.5	55.5	1.8
C-2	122.8	124.0	1.0	128.8	125.3	2.7
C-3	155.5	160.4	3.2	184.0	180.5	1.9
C-4	99.9	103.0	3.1	120.5	120.8	0.2
C-5	62.1	63.8	2.7	69.3	67.4	2.7

表-5 クリープ・乾燥収縮による張力の変動

(単位: t)

斜材番号	④ 乾燥収縮	⑤ クリープ			合計 ④+⑤
		主桁自重	橋面+斜材調整力 (内力)	小計	
C-1	-0.19	-0.60	-0.50	-1.10	-1.29
C-2	-0.16	6.17	-6.34	-0.17	-0.33
C-3	-0.08	15.73	-14.64	1.09	1.01
C-4	0.01	8.77	-7.66	1.11	1.12
C-5	0.02	2.96	-3.73	-0.77	-0.75

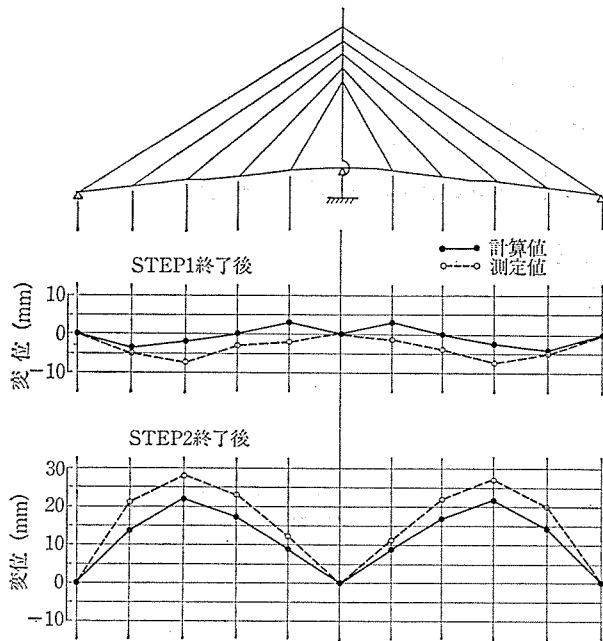


図-13 各 STEP 終了時における主桁の鉛直変位量

また、緊張時の変位については、主塔頂部の水平変位および主桁の鉛直変位の測定を行った。主塔頂部の水平変位は、対称ケーブルを同時に緊張したため、塔の倒れは 5 mm 以内に収まった。

ここでは、各 STEP 終了時における主桁の鉛直変位量を示す(図-13)。

5.4 橋面工および階段工

斜材ケーブル緊張後、地覆、高欄、舗装、親柱および照明柱の施工を行った。

舗装は、色彩およびパターン化に優れているタイルを使用した。デザインは、バラスター形状とし、橋の線形を強調するとともに、繊細で軽快なイメージを出している(写真-7)。

照明柱は、断面の中央に設置され、他の横断歩道橋の照明柱とバランスがとれる形状となっている。

階段は、プレキャスト製品として工場で製造され、現場で架設された(写真-8)。

6. あとがき

白鳥橋は、新しい風土を作っていく都市景観の顔として、街並の骨格となる歩行者空間や、緑地などを通じて児島地区の郷土性と都会性の対比と調和を目標とするこ



写真-7

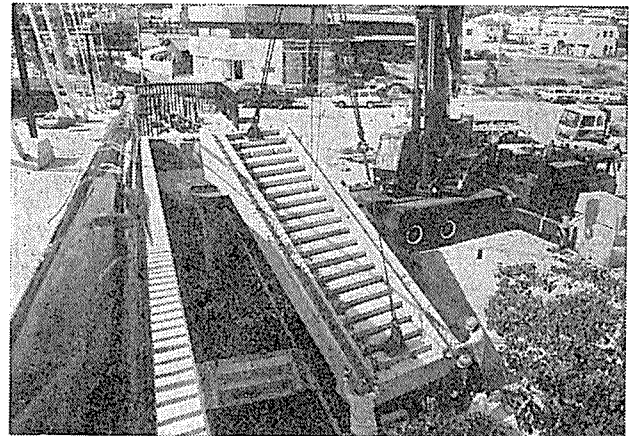


写真-8

の土地区画整理事業のシンボリック的存在となっている。

また、本州四国連絡橋(児島～坂出ルート)の開通に伴い、昭和 63 年 3 月 20 日より開催される「瀬戸大橋博覧会(岡山)」の会場の入口に本橋が位置し、訪れる観光客にスレンダーな景観美を披露することであろう。

参考文献

- 1) 佐藤, 渡辺, 佐藤: 変形法によるコンクリート構造物のクリープ・乾燥収縮解析の基礎理論, プレストレストコンクリート, Vol. 22, No. 2, Apr. 1980

【昭和 62 年 12 月 10 日受付】