

大浦橋の設計と施工

CONSTRUCTION, DESIGN AND LOADING TEST OF A NIELSEN-LOHSE BRIDGE WITH PRECAST CONCRETE SLAB



二宮 隆史¹⁾



原口 正隆²⁾

SYNOPSIS

Ooura Bridge, located in Daiwa village, Shimane prefecture, is a bracketed Nielsen-Lohse bridge with a span length of 146.6m. The main structural characteristic of this bridge is the use of a composite structure, of precast concrete slab and steel girder, as the stiffening girder.

To resist the tensile stresses in the concrete slab, due to the load as part of the main structure, as well as concrete shrinkage, and to prevent the occurrence of cracks, precast slabs, prestressed in the bridge axial direction, were used. Thus, the composite structure of precast concrete slab and steel girder, achieved by means of studs, allowed the design of a lighter structure.

The present report provides the outlines of the construction and design of the above mentioned bridge, as well as the summary of the results of the experiments carried out to verify the efficiency of the structural connection between the concrete slab and the steel girder

1. まえがき

大浦橋は、島根県邑智郡大和村に位置し、しばしば氾濫を繰り返すことから、中国地方の暴れん坊『中国太郎』と呼ばれる江の川に架かる橋梁である（図-1および写真-1参照）。橋長は210.0m、道路の有効幅員は4.0mで、中央径間の下路式鋼アーチ橋と両側径間のPCポストテンションホロスラブ橋とで構成されている。

本橋（中央径間）の、主な特徴は下記のとおりである。

- ① 上部工の構造形式としては、力学的特性、経済性および景観等を考慮して、ハンガーブラケットタイプのバスケットハンドル型ニールセン系ローゼ桁を選定した。
- ② また、長径間の下路式アーチ橋において問題となりやすい場所打ち鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版という）のひびわれ対策について種々検討を加えた結果、床版にはプレキャスト床版（以下、PC床版という）を採用し、この床版と補剛桁とを合成構造とする方法（PPCSシステム）を採用している。

本文は、大浦橋（ニールセンローゼ桁）の設計、施工お

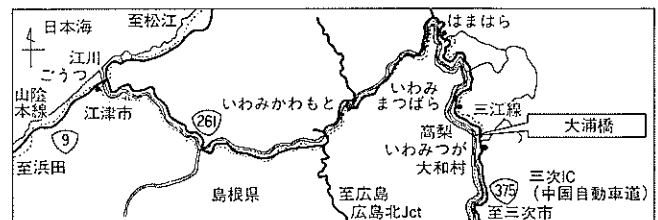


図-1 大浦橋の位置

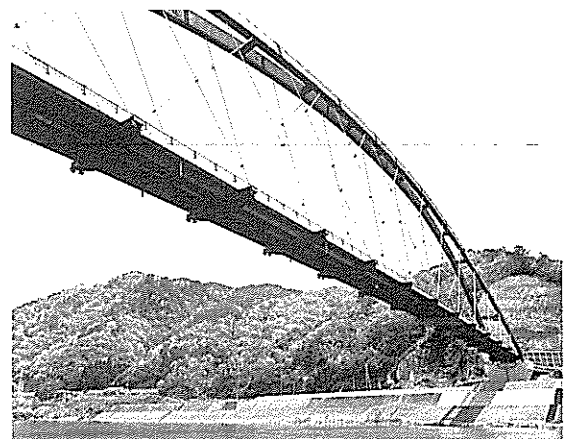
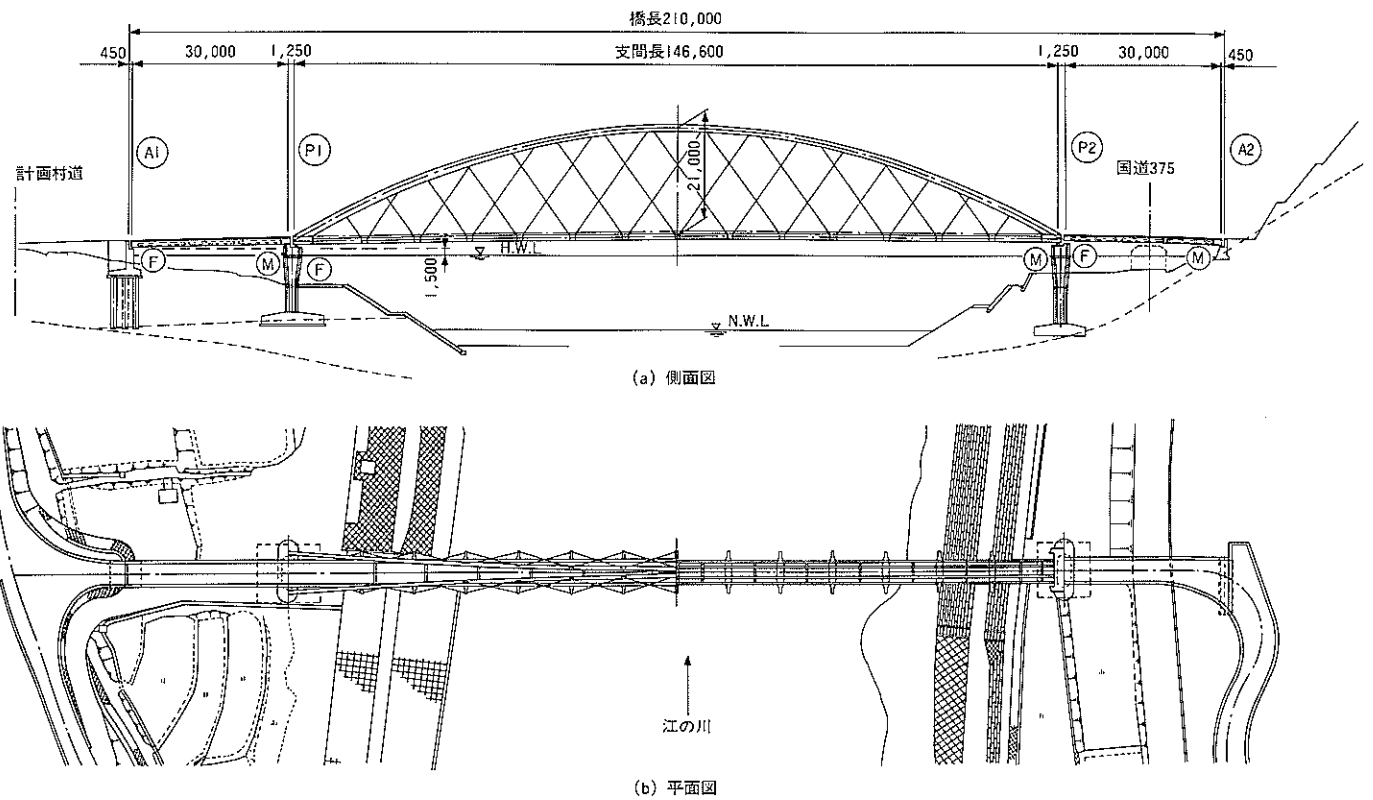


写真-1 大浦橋

1) 設計技術部設計二課長代理 Takafumi NINONIYA

2) 工事部工事課長 Masataka HARAGUCHI



よび現場載荷実験の概要を報告するものである。

2. 橋梁概要

大浦橋の主要諸元は、下記に示すとおりである。図-2には、本橋の一般図を示す。

- 位置：島根県邑智郡大和村大字都賀行，長藤地内
- 型式：バスケットハンドル型ニールセンローゼ桁
1連（中央径間）
PCポステンホロースラブ橋2連（側径間）
- 橋格：二等橋（TL-14）
- 橋長：210.0m
- 支間長：30.0m+146.6m+30.0m
- 幅員：有効4.000m 全幅5.200m
- 縦断勾配：i=1.25% 放物線勾配
- 横断勾配：i=2.0% 山型直線勾配
- 舗装：アスファルト舗装 t=50mm~90mm
- 床版：地覆一体形プレキャストコンクリート床版
t=160mm ($\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$)
- 主構間隔：7.500m~1.500m
- アーチライズ：21.000m（ライズ比1/7）
- ケーブル：DINAアンカーケーブル7φ×19本組（アルミカバー付）
- 補剛桁：プレキャスト床版を有する合成開断面鋼箱桁
- 設計震度：Kh=0.18
- 主要鋼材：無塗装仕様耐候性鋼材（鍍安定化处理）SMA50W, SMA41W, F10TW, PC鋼線（SWPR

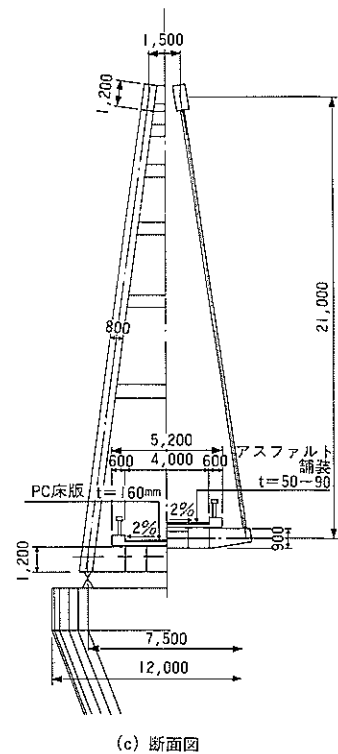


図-2 大浦橋の一般図

19) 総鋼重：約451t（主構造419t，付属24t，ケーブル8t）

3. 設計概要

3.1 主構の設計

本橋の主構造の設計において特筆すべき点としては、上述のように、橋床としてPC床版を用いるだけでなく、床版内に橋軸方向のプレストレスを導入し、さらに床版と鋼桁とを合成して補剛桁としていることが挙げられる。

このような新しい構造を採用した理由は、下記に示すとおりである。

- ① 本橋のようなハンガーブラケットタイプの下路アーチ橋では、コンクリート床版を有する補剛桁に主構作用による軸力（引張力）が作用する。したがって、RC床版の場合、乾燥収縮によるひびわれのみならず主構作用に伴う引張力に起因するひびわれの発生も予測されるので、ひびわれの発生を極力防止することにより耐久性の向上を図る必要がある。
- ② そして、PC床版と剛桁とを合成することにより、橋全体の経済性の向上を図ることができる。
- ③ さらに、床版工事の省力化により、大幅な工期の短縮も図ることができるなどがあげられる。

主構造の解析に際しては、まず死荷重を対象に、変形法

による立体骨組構造解析と平面骨組構造解析の両方を行い、両者の差異について比較・検討した。その結果、断面力に大差がないことが判明したので、断面の算定に用いる断面力の計算には、より簡明な平面骨組解析を使用することとした。

鉛直荷重に対しては、アーチリブ、補剛桁、およびケーブルからなる平面骨組モデルを用いて、断面力を算出している。鉛直荷重は主構の倒れを考慮し、主構面の方向余弦係数を乗じて載荷している。また、補剛桁が合成構造であるので、合成前と合成後の2ケースについて解析し、設計計算に反映している。

水平荷重については、アーチリブとストラットからなるモデルおよび補剛桁と横桁からなるモデルを用いて断面力を求め、それぞれ鉛直荷重による断面力と重ね合わせてこれらの部材の設計を行っている。

図-3に主構の合成前断面力、合成後断面力を示す。

図-4にアーチリブおよび補剛桁の断面寸法を示す。

また、アーチリブと補剛桁（下弦材）とが同一平面上にないので、アーチリブからの水平力は端横桁を介して補剛桁に伝達する必要がある。そこで、端横桁を箱型断面にす

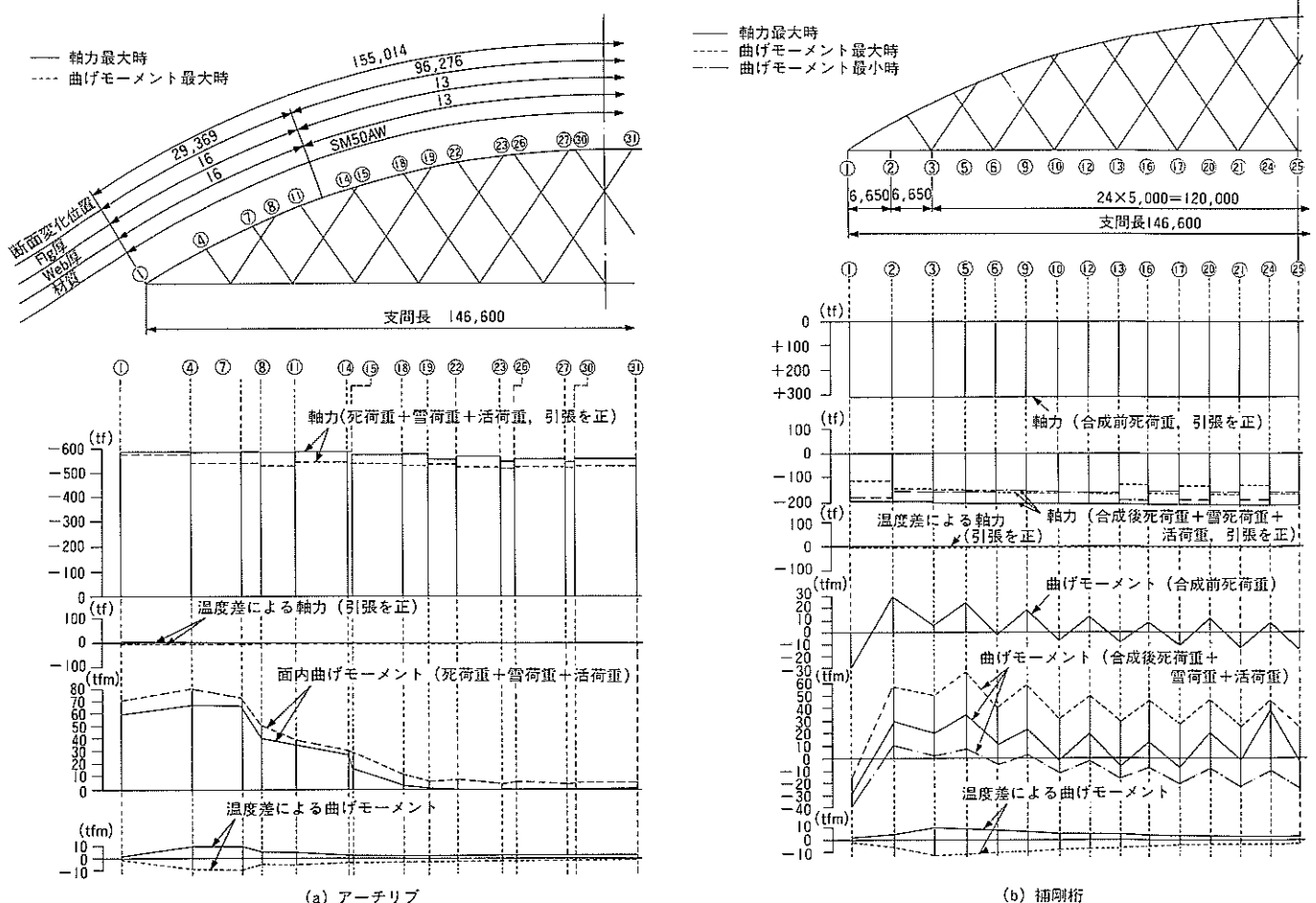
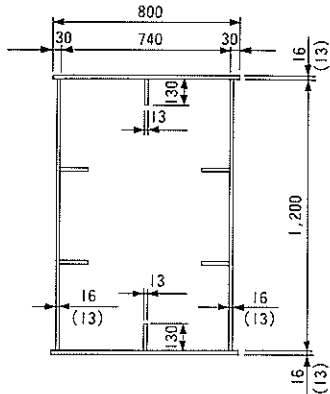


図-3 主構の断面力

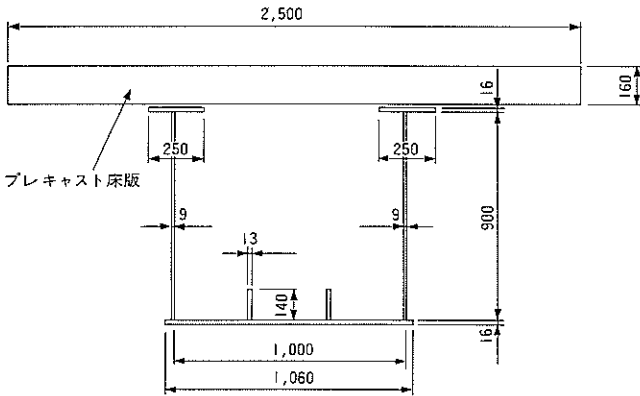
るとともに、箱桁の内部にコンクリートを充填して剛性を高め、上述の水平力が確実に伝達されるよう工夫している。

図-5に端横桁の断面寸法を示す。

ケーブルとしては、主構の断面寸法が最小の作業空間寸法にちかく非常に狭いので、作業性に優れるコンパクトなソケットと高疲労強度とを有するDINAアンカーケーブルを



(a) アーチリブの断面寸法



(b) 補剛桁の断面寸法

図-4 主構の断面

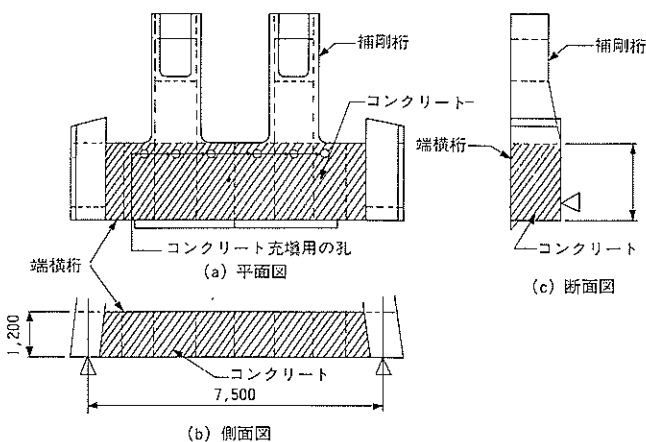


図-5 端横桁

用いている。さらに、耐久性の向上と美観への配慮からポリエチレン管の上にアルミニウムカバーを施している。

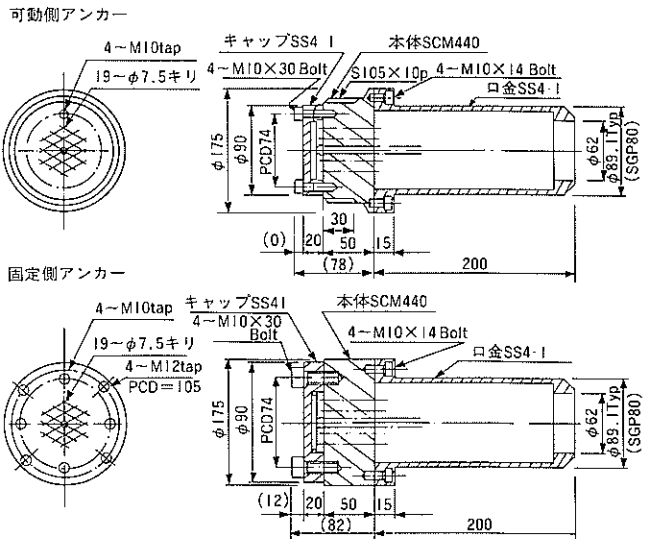
図-6にケーブルの断面形状、ソケットの寸法および断面諸量を示す。

ケーブル断面構成		
	標準断面積	731mm ²
引張荷重	116tf	
弾性係数	20,000kgf/mm ²	
標準重量	1)	5.72kgf/m
	2)	6.5kgf/m

注1) 亜鉛めっき鋼線7mmのみの重量。

2) 亜鉛めっき鋼線7mmおよびPE部の合計重量。

(a) ケーブルの断面諸量



(b) ソケットの形状寸法

図-6 ケーブルおよびソケット断面諸量

3.2 プレキャスト床版の設計

本橋の、PC床版は、橋軸直角方向に対しては鉄筋コンクリート構造となっているが、前述のように橋軸方向にはプレストレストコンクリート構造となっている。したがって、橋軸直角方向に対しては、道路橋示方書に基づきRC床版として設計している。一方、橋軸方向に対しては、主構作用に伴う引張応力および床版作用に伴う曲げ引張応力を考慮して、プレストレス量を決定している。表-1には、上述

の応力計算結果の一例を示す。この表から、橋軸方向プレストレスの導入により、床版コンクリートの合計応力は許容引張応力度以内となっていることがわかる。なお、PC板間の継目部分においても、常に圧縮応力が作用するよう設計し、ひびわれの発生防止に万全を期している。

表-1 PC床版の応力計算結果の一例 (kgf/cm²)

	床版作用による応力	主構作用による応力	プレストレス	応力の合計	許容応力度
PC床版上線	25	-34	51	42	170
PC床版下線	-25	-31	51	-5	-18

(圧縮応力を正)

図-7には、PC板の詳細図を示す。橋軸方向のPC鋼材としては、φ-21.8mmのものを16本配置している。ずれ止め用孔は、230~340mmの間隔に配置している。

なお、スタッドの間隔は、道路橋示方書に示されるずれ止め間隔を満足するように決定している。

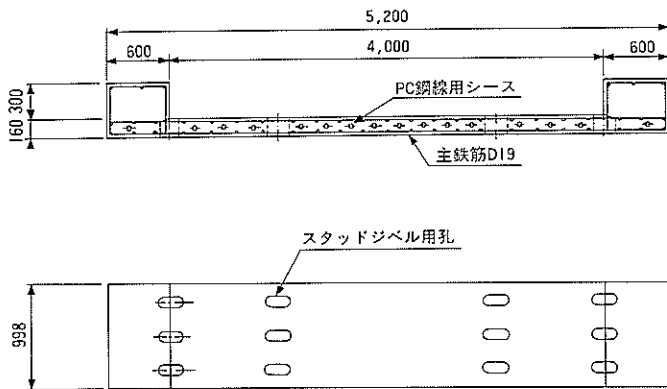


図-7 PC板

4. 主構の制作

4.1 主構

ニールセンローゼ桁橋は、高次の内的不静定構造物であること、また主構面が傾斜したバスケットハンドルタイプであることから、高度の製作精度を確保することが極めて重要になる。そこで、原寸、加工、組立、および仮組立など、一連の工場製作においては、CAD/CAMシステム、ならびにNC工作機などを活用し、コンピュータによる徹底した製作情報管理のもとで、製作の合理化と製作精度の向上を図った。

また、アーチリブと補剛桁については死荷重により鉛直ならびに橋軸方向の2方向のみに変位するものとし、橋軸直角方向の変位は無視して製作キャンパーを設定した。

写真-2に製作状況を示す。

なお、仮組立は、製作工程上、アーチリブと補剛桁の分割仮組立てとした。分割仮組立てにおける精度管理は、端横梁を重複仮組立、その部分に基準点を設け、3次元座標

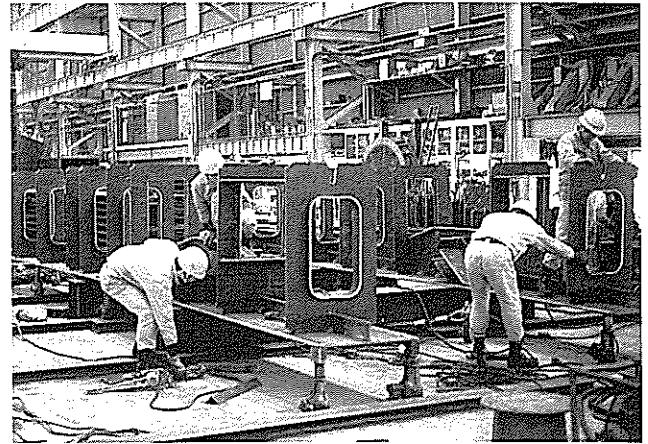


写真-2 ニールセンローゼ桁工場製作

を光波測定機により計測することにより、経済的かつ十分な精度確認を行うことができた。

4.2 プレキャスト床版の製作

PC板の製作精度については、現場施工において支障をおこさないよう表-2に示す許容値で制作を行った。

写真-3には、PC板の製作状況を示す。なお、現場作業を極力少なくする目的で、地覆部分も工場においてPC板と一体として製作した。

表-2 PC板の寸法精度

	項目	許容差(mm)
	版長, 有効幅 L, l	±10
	版幅 B, b	+5, -3
	断面寸法 C, H, h	±5
	横方向曲がり D	10
	ジベル孔位置	±5

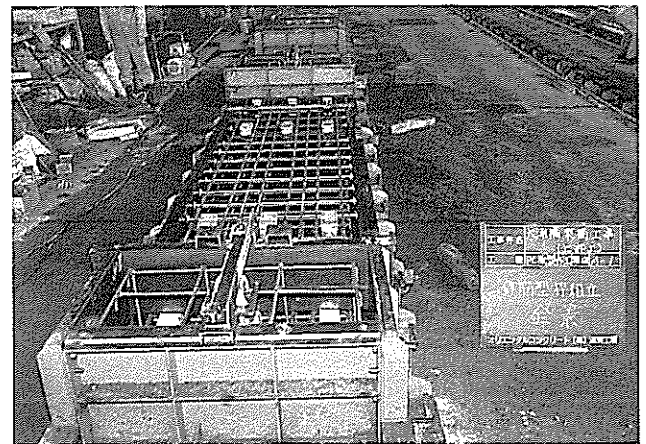


写真-3 PC板の製作

5. 現場施工概要

5.1 主構の架設

表-3に、本橋梁工事の全体工程を示す。

本橋の架設地点は、河川区域内であり、補剛桁およびアーチリブ等の架設時期が6月～9月の出水期になるため、原則的にベント等の仮設備が設置出来ないこと、および、橋梁形式等を考慮して、表-4に示す架設工法について比較・検討した。その結果、補剛桁をケーブルエレクション直吊り工法で、アーチリブをケーブルエレクション斜吊り工法

表-3 全体工程表

	1987			1988			1989		
	4	7	10	4	7	10	4	7	10
調査設計									
下部工・取付道路工									
製作									
架設工									
床版工									
ケーブル調整及び橋面工									

で架設する方法を採用した。

図-8に架設要領図を、また現場工事の施工フローを図-9に示す。

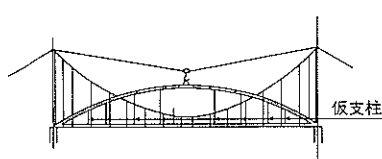
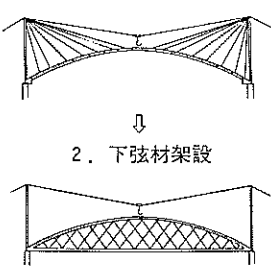
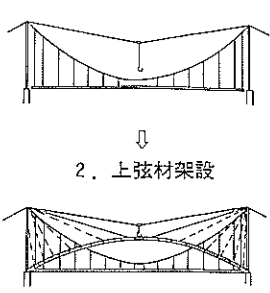
アーチリブの架設時において補剛桁には斜吊りケーブル張力の水平成分による軸力が発生する。このため、現場継手部の高力ボルトはアーチリブ架設前に全て本締めを行った。

また、架設途中では部材の剛性が不足するため強風時に対する安全対策として、P1およびP2にそれぞれ2カ所(合計4カ所)にアンカーを埋込み、耐風策を架設が完了するまで設置した。

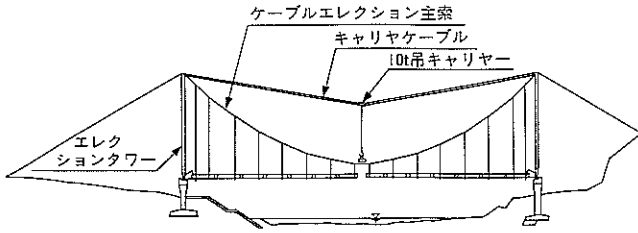
一般の斜吊り工法では、鉄塔をあらかじめ後方に倒しておき、つぎに部材を斜吊りをする鉄塔は前方に起きてきて、架設完了時には鉛直になる。今回は同じ鉄塔を用いて直吊りで補剛桁を吊っているため、鉄塔を倒すと補剛桁の形状が保てなくなる。したがって、斜吊り作業中においても鉄塔の鉛直度を保持する必要がある。

そこで、斜吊りケーブルおよび後方控え策の張力管理をアーチリブの各ブロックを架設することに行き、鉄塔の鉛直

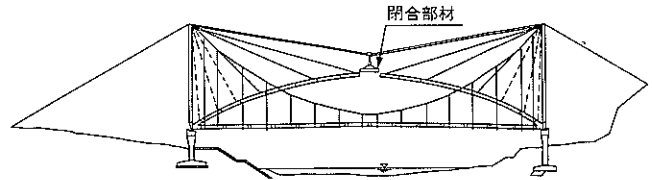
表-4 架設工法の比較検討

	A案：下弦材直吊り工法+仮支柱（下弦材上）による上弦材架設	B案：上弦材斜吊り工法+下弦材仮ケーブル及び斜材による吊下げ架設	C案：下弦材直吊り工法+上弦材斜吊り工法
架設要領	1. 下弦材を直吊り工法にて架設する。 2. 下弦材上に仮支柱を建てる。 3. 上弦材を仮支柱により支持しながら架設する。一閉合 4. 仮支柱撤去後、斜材取付け、調整 	1. 上弦材を斜吊り工法にて架設する。 2. 下弦材を斜材及び仮ワイヤーに随時吊下げ、中央で閉合させる。 1. 上弦材架設  2. 下弦材架設	1. 下弦材を直吊り工法にて架設する。 2. 上弦材を斜吊り工法にて架設する。 1. 下弦材架設  2. 上弦材架設
問題点	1. 全鋼重載荷時でない、下弦材が取合わず、仮支柱で支持して架設する事が不安定である。 2. 1の問題を解消するためには、下弦材架設完了以降、仮支柱、上弦材を架設する毎に、ハンガーロープ又はメインケーブルを調整しなければならず、管理が困難である。 3. 仮支柱により、上弦材荷重が随時下弦材に伝達される為、直吊りにて支えられている下弦材が変形し、管理を十分に行わないと、応力オーバー等の問題が生ずる。 4. 本橋のように支間のわりに幅員のせまい橋体の場合、特に上弦材架設時の安定性が悪い。	1. 下弦材閉合までに脚に水平反力が作用し、脚柱の応力オーバー等の問題が生ずる。 2. 下弦材の吊下げ架設が施工上困難	1. 上弦材架設時の斜吊り索調整により、隅角部より下弦材へモーメントが伝わり、下弦材が変形する事が考えられる。 補剛桁直吊り用と上弦材斜吊り用の両ケーブルを同一のタワーで支持するため、各ケーブルの張力管理が必要となり、十分な検討が必要である。
評価	△	×	○

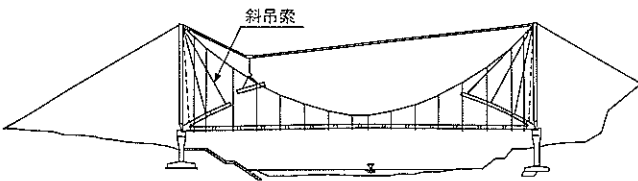
1. ケーブルエレクション直吊工法による補剛桁架設



3. アーチリブ閉合



2. ケーブルエレクション斜吊工法によるアーチリブ架設



4. 高力ボルト本締、ケーブル架設後ケーブルエレクション設備解体ならびにプレキャスト床版敷設

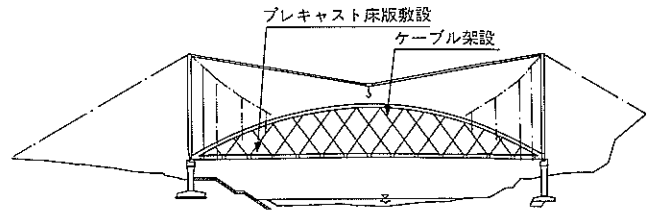


図-8 架設要領

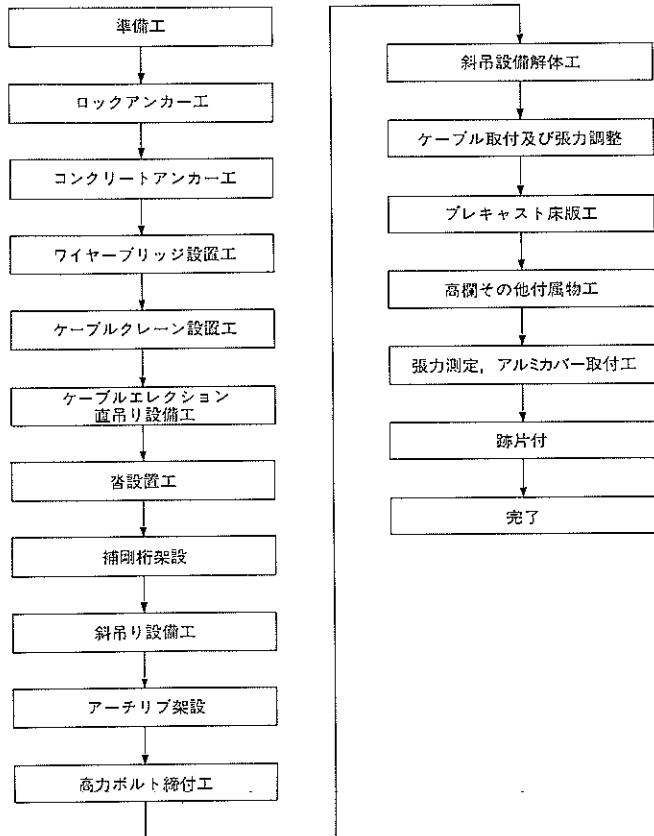


図-9 現場工事の施工フロー

それぞれアーチリブ側（固定端）のソケット付近を吊りあげて行った。まずアーチリブ側のソケットを取り付けた位置に移動し、アーチリブ内面に小型の引込み装置を取付け、人力により所定の位置に定着した。ブラケット側は、ケーブルのソケット部にPCネジコンを取り付け、ブラケットの貫通孔に挿入し、所定のシムプレートが入るまでセンターホールジャッキで張力を導入して定着した(写真-5参照)。

5.2 プレキャスト床版の施工

PC床版は、PPCSシステムの施工手順に従って施工した。図-10にはPC床版の施工フローを示す。

PC板は、両端支点側から支間中央に向けて、順次敷設した(写真-6)。PC板1枚の重量は、約3tであるので、本来はユニック車で敷設しても問題はないが、他部材架設作業に使用しているクレーン車をPC板の架設にも使用した。

PC板の制作精度は、前述のように厳しく規定しているが、床版の施工においてその敷設精度は、最終的な床版の精度に現れる。したがって、敷設における直線性、角度、板と板とのすき間などを入念にチェックしながら順次敷設した。

直線性については、PC板にあらかじめ中心線を墨入れし、トランシットで中心線の通りを確認しながら敷設することにより、所要精度を確保した。また、角度ならびにすき間については、桁側にあらかじめPC板一枚ごとの目じるしを付け、それに合わせてセットした。

次に、長さ約145mにあらかじめ工場で切断したPC鋼より線(φ-21.8mm)を、シース内に挿入した後、PC板間の継目に無収縮セメントモルタルを充填して一体化した(写真-7参照)。そして、継目に充填した無収縮セメントモルタルを養生の後、所要の圧縮強度に達していることを確認して、橋軸方向のプレストレスを導入した。

プレストレスの導入は、プレキャスト床版に過大な偏心

度を保持した。

写真-4には、アーチリブの架設状況を示す。

ケーブルの架設は、ケーブルクレーン2台を使用して、

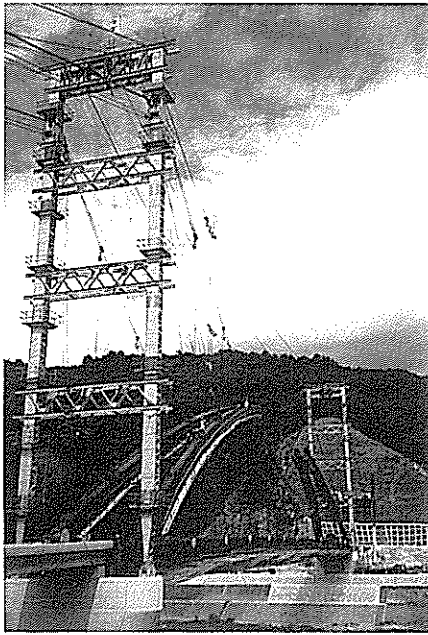


写真-4 アーチリブの架設

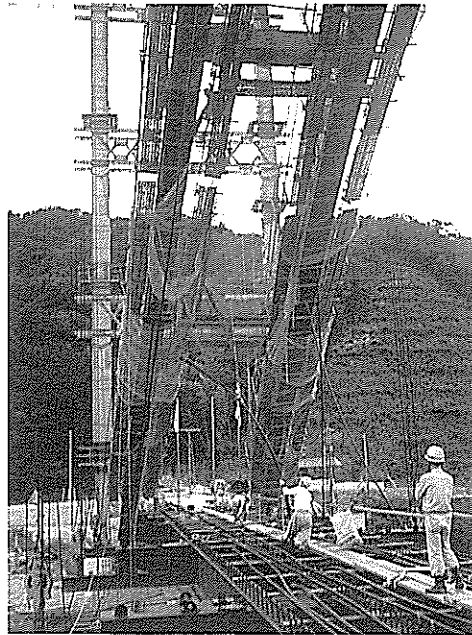


写真-5 ケーブルの架設

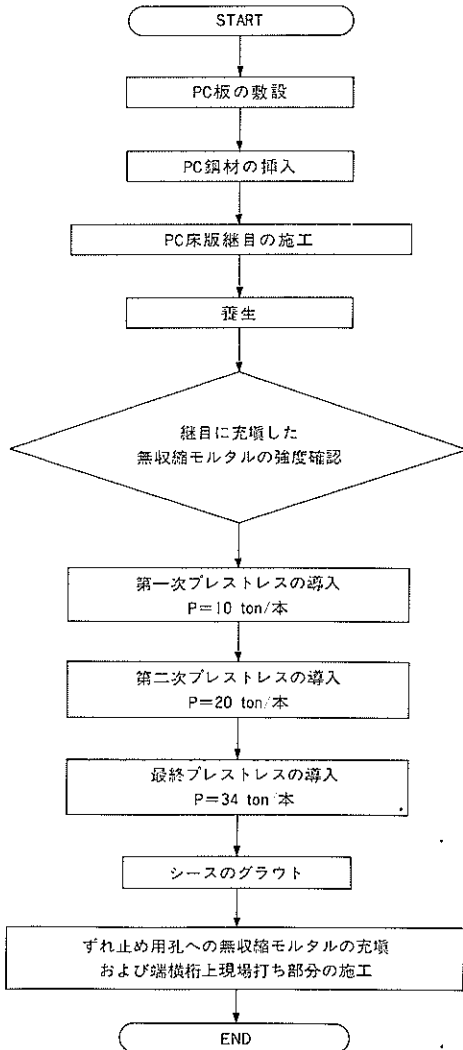


図-10 PC床版の施工フロー

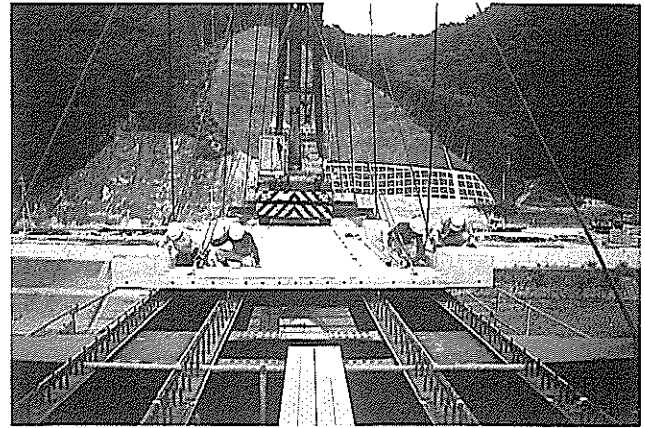


写真-6 PC板の敷設



写真-7 PC床版の継目の施工

力が作用しないように、3段階に分けて行うと同時に、各段階においても、床版中央のPC鋼線から左右にふりわけて順番に緊張した。また、PC鋼線の緊張力は、PC鋼線の伸び量および緊張ジャッキポンプの圧力計の示度で管理した（写真-8参照）。

最後に、PC床版と鋼桁との合成は、ずれ止め用孔に無収縮モルタルを充填することにより行っている。また、PC板の継目部とずれ止め用孔部分には、塗膜系防水層を施して、万一のひびわれに備えた（写真-9参照）。

現場におけるPC床版の施工には、表-5に示すように20日を要したが、RC床版に比べて約70%の工期短縮が達成されている。

なお、端横桁上床版は現場打ちRC床版としたが、PC板を用いれば、現場の工事期間はさらに短縮されるものといえよう。

5.3 吊り材の張力管理

吊り材に、非抗圧部材を使用した構造物の場合、非抗圧部材の応力によって、構造物全体の応力が左右される。

本橋では、主構造に過大な断面力を発生させないことを

表-5 プレキャスト床版の施工期間

項目	日数						
	10	20	30	40	50	60	70
PC板の敷設	-						
PC板の位置調整	-						
継目の施工	-						
プレストレスの導入		-					
ずれ止め部の施工		-					
桁端部床版の施工			-				
合計			20日				
R C 床版							75日

目的として、非抗圧部材である吊り材の張力管理を行った。管理目標値は、完成時の全死荷重張力に対して±10%を許容張力誤差として設定した。

ケーブル張力の測定法としては、現場作業の能率化と測定精度を考慮して振動法を採用した。

張力調整は、現場の工程のことも考え舗装の施工前に3回のシム調整作業を行い、全死荷重が載荷された状態（完成時）においては、張力の確認のみを行った。ケーブル張力の計測作業は、主構造各部の温度差の影響を極力抑えるため夜間に行った。

なお、シム調整量の算出は、春本鐵工所所有の二次計画法(Quadratic Programing)による最小値問題のプログラムを使用し、3回のシム調整作業で、張力、キャンバーともほぼ十分な精度に収束した。

調整前ならびに調整後の各ケーブルの張力を図-11に示す。

6. 実橋載荷実験

6.1 実験の目的

合成構造の補剛桁を有するニールセンローゼ橋の設計・施工法の妥当性を確認するため、総重量14tfのトラック4台を載荷して、補剛桁の静的たわみを計測した。

さらに、橋体を加振して、本橋の基本固有振動数を調べた。そして、理論計算値との比較、検討を行い、合成構造の補剛桁を有するニールセンローゼ桁として、動的な剛度も確保されているかを確認した。

6.2 実験方法

静的載荷実験における補剛桁の静的たわみは、地覆上に設置した連通管を用いて計測した。

14tfトラックの載荷位置は、幅員が狭いため、1/2ℓ、1/4ℓ点の幅員中央とした。

一方、動的載荷実験は、14tfトラック1台を使用し、落輪による自由減衰振動と、時速20km/hの走行試験との2ケースを行った。写真-10に現場載荷実験の状況を示す。

6.3 実験結果とその考察

図-12には、補剛桁を合成桁として評価した立体構造解



写真-8 橋軸方向プレストレスの導入

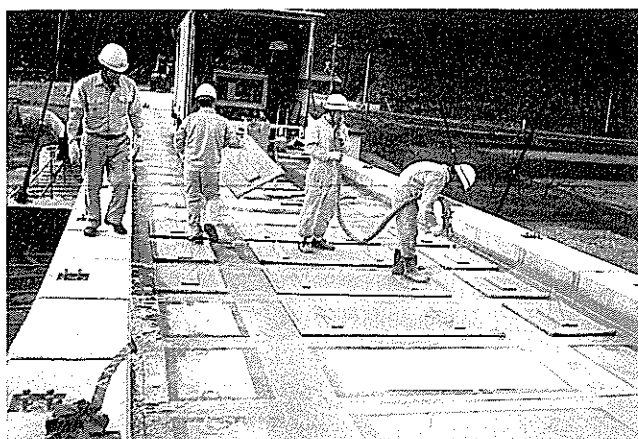


写真-9 塗膜系防水層の施工

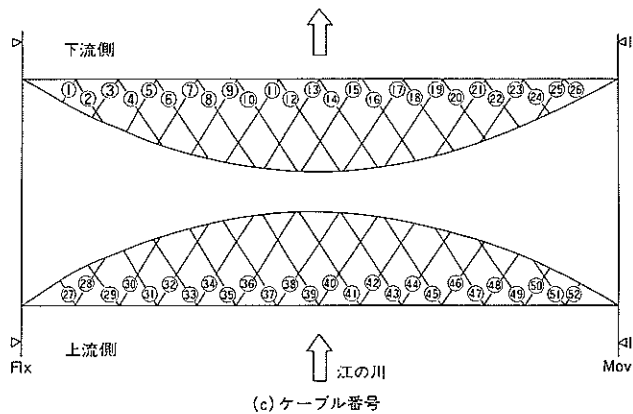
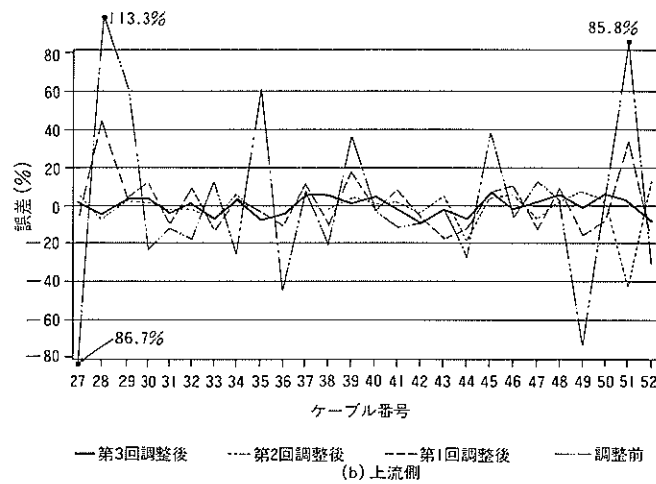
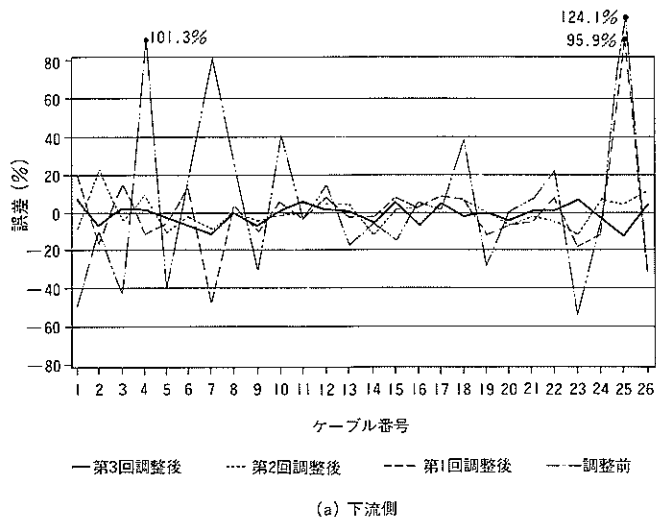


図-11 ケーブルの張力調整結果

析によるたわみの計算値と実測値の比較を示す。測定された補剛桁支間中央のたわみは、計算値の約80%となっており、補剛桁はプレキャスト床版と合成された剛度を有するといえる。

図-13は、補剛桁上の支間L/2点に設置した加速度計によ



写真-10 現場載荷実験

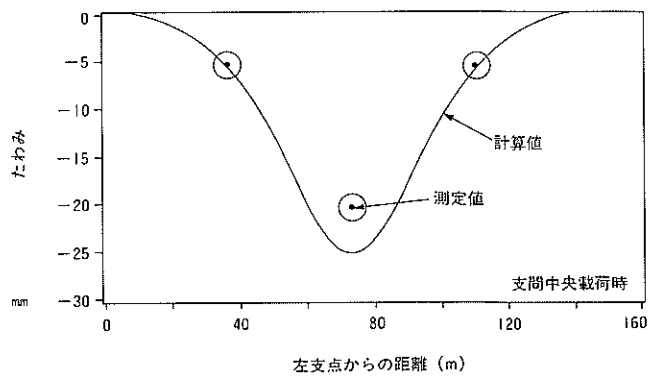


図-12 たわみの計測結果

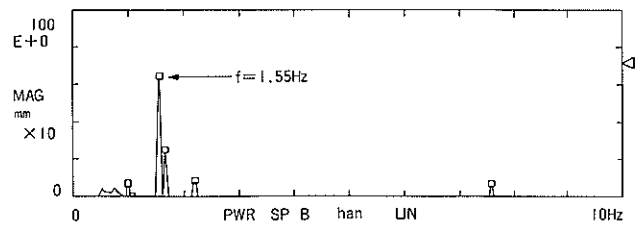


図-13 パワースペクトルの例

る振動波形から求めたパワースペクトルを例示したものである。この図より、本橋の主構造の鉛直方向基本固有振動数は、 $f=1.55\text{Hz}$ である。また、補剛桁を合成桁と考えた立体骨組構造物の固有値解析による固有振動数は、 $f=1.39\text{Hz}$ であり、測定された固有振動数の方が約11%程度大きい。しかし、値覆部断面や高欄等の影響を考慮すれば、ほぼ一致しているものと考えられ、合成構造の補剛桁を有するニールセンローゼ橋として動的な剛度も十分に確保しているものといえよう。図-14に固有値解析による対称し次振動モードを示す。

なお、橋体の構造減衰率は $\delta=0.035$ であった。

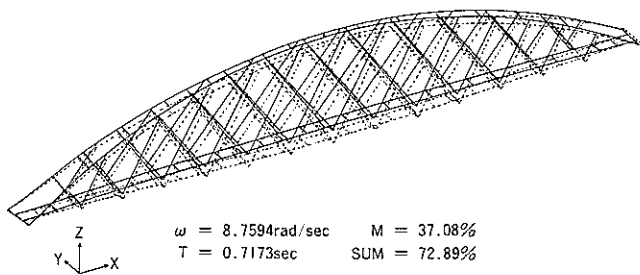


図-14 大浦橋の振動モード（対称1次）

7. あとがき

近年、鋼道路橋における床版施工の省力化、工期短縮および耐久性の向上から、従来のRC床版に代わって、各種のPC板を用いたプレキャスト床版合成桁橋に関する研究開発が試みられており、その実績も着実に増加している。このことは、本工法が建設業における慢性的な人手不足の状況のもとで行わなければならない高品位社会資本の整備において、極めて有効な新しい工法であることを示すものである。

本橋は、補剛桁にプレキャスト床版合成桁（PPCSシステム）を採用した、世界でも類を見ない複合下路アーチ橋である。その優れた合理性と経済性に裏付けられた新しい合成構造例として、本報告が今後の橋梁計画、設計の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工・ならびに载荷実験の実施に際して、ご支援とご協力を賜った関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中井博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工，森北出版，1988年5月
- 2) 中井 博・岸田博夫・竹中裕文：プレキャスト床版を用いた合成桁の耐荷性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.31A，土木学会，1985年3月，pp.395-408
- 3) Takenaka, H., Kishida, H. and Nakai, H. :A Study on New Composite Girder using Prestressed Precast Concrete Slab by PPCS Method, Der Stahlbau, 55 Jahrgang, Heft6, 1986, s.165-174
- 4) Fujii, M., Nakai, H., Watanabe, E. and Takenaka, H. :Studies on Composite Girder Bridges using Prestressed Precast Concrete Slabs, Seminar on Precast Concrete construction in Seismic Zones, Japan Concrete Institute, Vol.2, Oct. 1986, pp.239-258
- 5) Nakai, H., Takenaka, H. and Kita, H. :Durability of Composite Girder with Prestressed Precast Concrete Slabs under Moving Vehicle, Proc. of JSCE, NO.386/I-8, Oct. 1987, pp.95-103
- 6) Kita, H., Takenaka, H. and Nakai, H. :Durability of Composite Girders using Prestressed Precast Concrete Slabs under Moving Vehicle, Proc. of The 1st East Asian Conference on Structural Engineering and Construction, Bangkok, Jan. 1986, Vol.1, pp.680-692
- 7) 松井繁之・中井 博・袴田文雄・竹中裕文：プレストレスを導入した床版の継目部の連続性と耐荷力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.34A，土木学会，1988年3月，pp.275-284

