

[Blank white label]

CA
LIBRARY

パラオ国

コロール・バベルタウプ橋
の現状分析に関する報告書

21210.

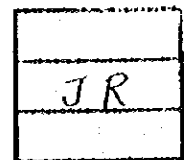
JICA LIBRARY



1118039151

平成2年2月

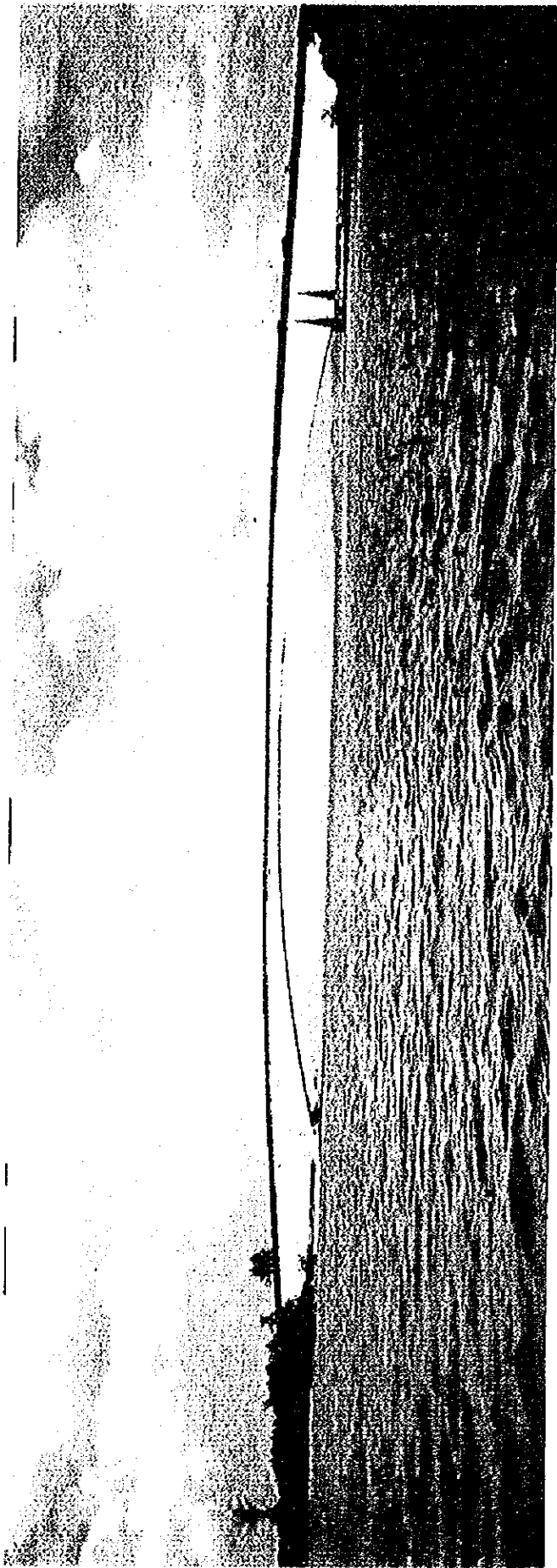
国際協力事業団



国際協力事業団

7210

KOROR-BABELTHUAP BRIDGE

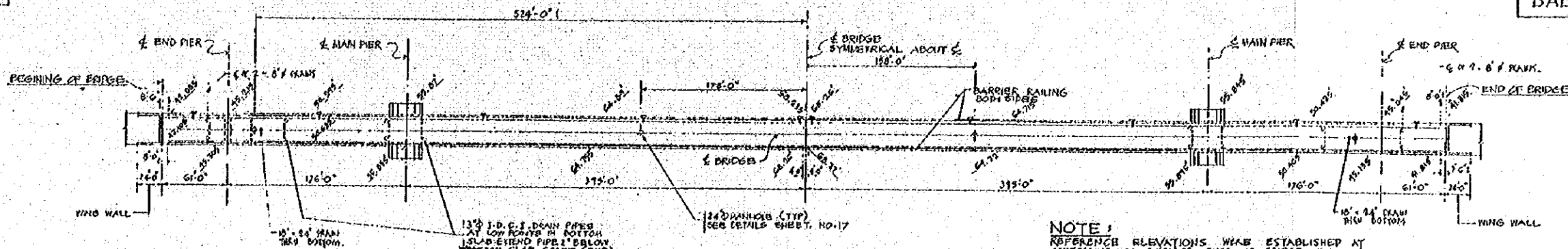


KOROR SIDE

BABELTHUAP SIDE

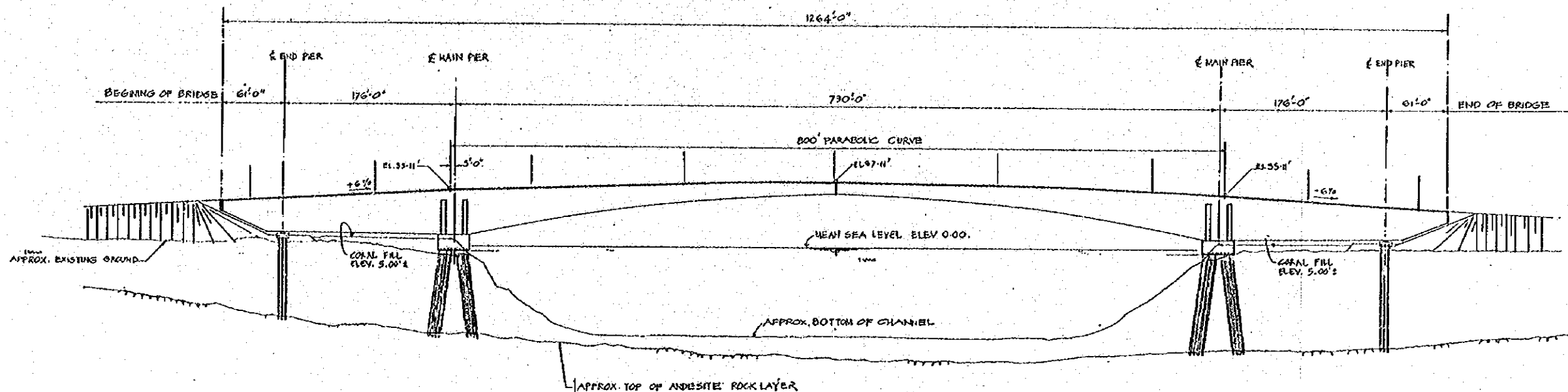
KOROR ISLAND

BABELTHUAP ISLAND

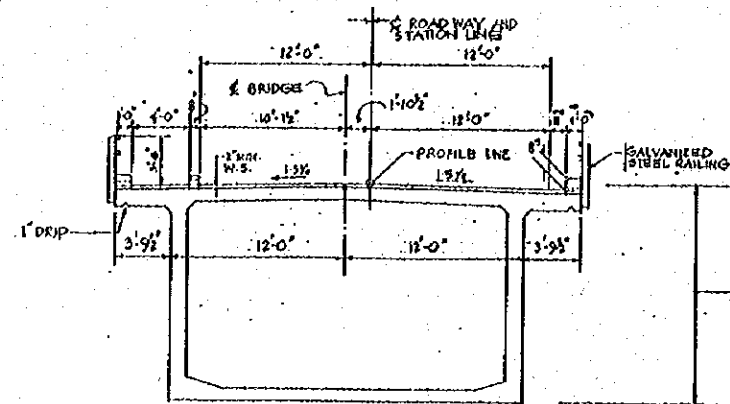


BRIDGE PLAN
SCALE: 1"=50'

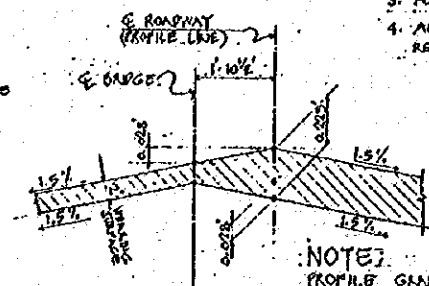
NOTE:
REFERENCE ELEVATIONS WERE ESTABLISHED AT CENTERLINE OF SPANS, ENDS OF BRIDGE, BRIDGE CENTERLINE END SPAN, AND AT QUARTER & MID-POINTS OF MAIN SPAN ON THE OUTER CURBS. THE POINTS ARE IDENTIFIED BY CHISELED + MARKS ON THE TOP SURFACE OF CURBS AND PAINTED REF. CENTERLINE OF THE MAIN PIER IS ASSUMED TO BE THE BENCHMARK.



BRIDGE ELEVATION
SCALE: 1"=50'



LOOKING EAST
TYPICAL CROSS SECTION
NOT TO SCALE



NOTE:
PROFILE GRADE AT C. RANGES OF CANTILEVER CONSTRUCTION = P.G. = 0.1667' - 0.0281' or P.G. = 0.17'

- NOTES:
- ELEVATIONS SHOWN ON TOP OF BRIDGE ARE AT ROADWAY AND ARE FINISH GRADE ELEVATIONS (TOP OF WEARING SURFACE).
 - FOR LOCATION OF LIGHT STANDARDS SEE SHEET NO. 10.
 - FOR FOUNDATION AND PILE DETAILS SEE SHEET NO. 6.
 - APPROX. GROUND LEVEL AND ROCK PROFILE ARE BASED ON REPORT FROM HARDING-LAWSON ASSOCIATES DATED MAY 30, 1975.



AS-BUILT DWG
Date: June 30, 1977

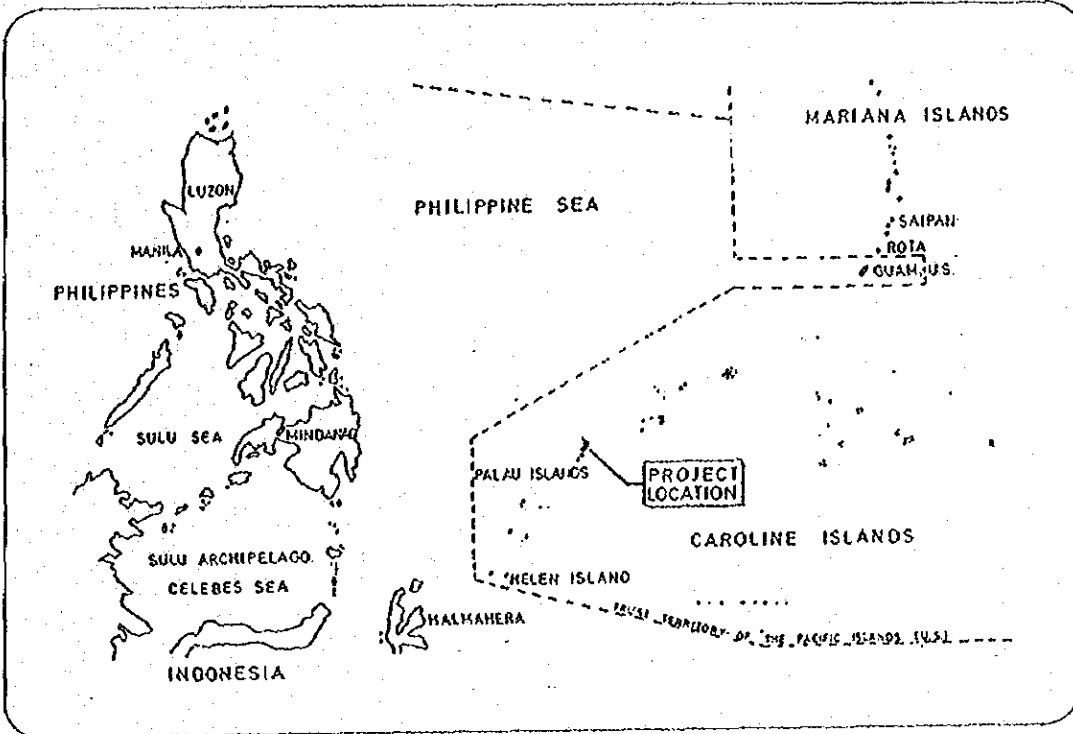
Dyckerhoff & Widmann Inc.
Checked: [Signature]
Drawn: [Signature]
Scale: 1/8"

REVISION	REVISION NO.	DATE	APPROVED
<p>ALFRED A. YEE & ASSOCIATES, INC. STRUCTURAL ENGINEERS ARCHITECTS PLANNERS P.O. BOX 1298 AGANA, GUAM 96918</p> <p>TRUST TERRITORY OF THE PACIFIC ISLANDS DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS DESIGN AND ENGINEERING DEPARTMENT SAIPAN, MARIANA ISLANDS</p> <p>Design: PALAU DISTRICT PROJECT NO. 11-123-75</p> <p>Drawn: [Signature]</p> <p>Checked: [Signature]</p> <p>Supervisor: [Signature]</p> <p>SUPERVISORY ARCHITECT</p>			
<p>KOROR-BABELTHUAP BRIDGE BRIDGE PLAN AND ELEVATION</p>		<p>DATE: JULY 16, 1975</p>	
<p>APPROVED: [Signature]</p> <p>CHIEF OF DESIGN</p>		<p>SATISFACTORY TO: [Signature]</p> <p>APPROVED: [Signature]</p> <p>CHIEF OF DESIGN</p>	

調查位置圖

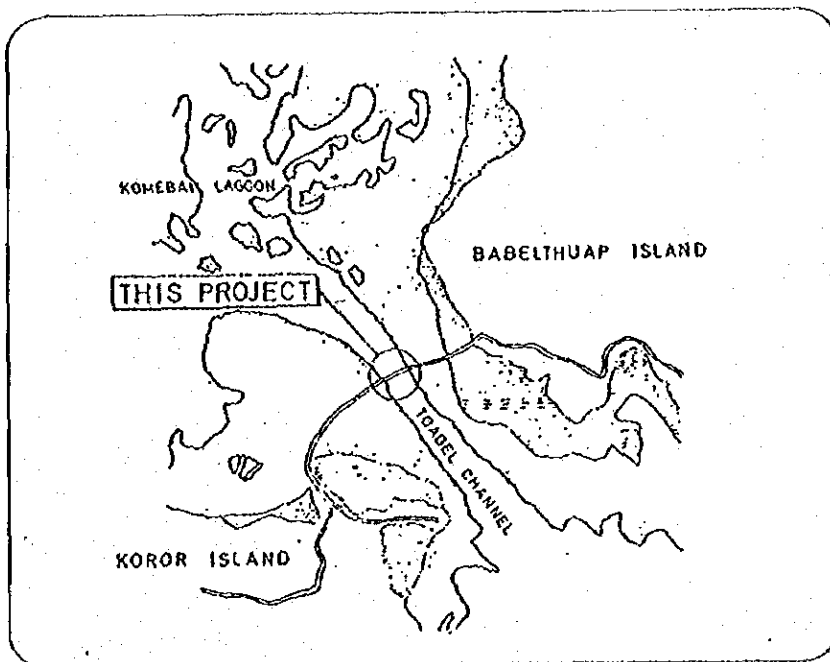
VICINITY MAP

NOT TO SCALE



PROJECT

NOT TO SCALE



目 次

	頁
1. 調査の概要	4
1. 1 調査の背景	4
1. 2 調査の目的	4
1. 3 調査の日程	5
1. 4 調査団の構成	5
2. 調 査	7
2. 1 調査の項目	7
2. 2 調査の結果	10
2. 3 考 察	21
3. 面会者リスト	30
4. 写 真	31

1. 調査の概要

1. 1 調査の背景

調査対象はパラオ共和国のコロール・バベルタウプ橋である。パラオ共和国は約 200の島々からなり、主にミクロネシアで2番目の大きさをもつバベルタウプ島とコロール島からなる。人口は約15,000人でコロール島が経済行政の中心であり、空港はバベルタウプ島にあって、両島は唯一の交通路であるK-Bブリッジで結ばれている。

K-BブリッジはAlfred A. Yee&Associatets Inc. Honoluluにより設計され韓国の業者と、Socio Construction Co. (Guam)により、1975~1977年6月に完成した。橋長 1,264ft, 中央支間 790ft, カンティレバー工法により架設されたプレストレストコンクリート箱桁橋であり、中央支間 790ftはこの種の架設型式では世界第2位の橋梁で支間中央にヒンジを設けた構造である。

完成後種々の要因により、経時的に中央ヒンジ部分にたわみを生じ、走行性、美観等に支障が生じつつあり憂慮されている所である。

かかる状況に鑑み、パラオ政府及び大統領より、1989年5月日本政府に対しK-Bブリッジ中央ヒンジ部のたわみの原因究明とその影響に関する調査の援助要請がなされた。

1. 2 調査の目的

本調査の要請に基づき、建設後13年を経た現在、支間中央部で約 3.5ftの設計橋面高に対しての撓みが観測されており、この撓みによる。

(1) 橋中央部の沈下原因の特定

(2) 放置した場合の今後の影響

につき調査を実施した。

1. 3 調査の日程

調査は国内作業と現地作業に区分されるが、

- ・ 国内作業は、調査実施方法の検討、資料収集の整理、報告書案のとりまとめ
- ・ 現地作業は、
 - (1) 橋面エレベーション計測
 - (2) コンクリート圧縮強度調査
 - (3) 変状調査
 - (4) 劣化度調査
 - (5) 簡易載荷試験
 - (6) その他（材料、労務、積算単価の調査）

を実施した。現地実施期間は1月15日から1月28日の15日間であり、次表に示すとおりである。

1. 4 調査団の構成

本調査団は、以下の5名の専門家より構成され、各専門家の担当及び氏名は以下に示すとおりである。

分野	氏名	役職
1. 団長（総括）	西岡 淳	外務省経済協力局 開発協力課 首席事務官
2. 橋梁計画	金崎 智樹	本州四国連絡橋公団 設計部設計第一課職員
3. 無償資金協力	三上 哲史	外務省経済協力局 無償資金協力課 事務官
4. 実施計画	松島 正明	国際協力事業団 企画部 地域第一課職員
5. 橋梁構造	藤井 不二也	北海道開発コンサルタント(株) 橋梁部 技師長

調 査 日 程

日程	日 時	曜 日	場 所	内 容
1	1月15日	月	東 京 グァム コロール	11:30成田発→15:00グァム着 18:25グァム発→コロール着19:20
2	16日	火	コロール	パラオ政府との打合せ, 大統領表敬訪問, 公共 事業省と調査スケジュール打合せ
3	17日	水	コロール	現地調査 (橋面エレベーションの計測)
4	18日	木	コロール	現地調査 (コンクリートの健全度の調査)
5	19日	金	コロール	パラオ政府との協議 現地調査 (簡易載荷試験)
6	20日	土	コロール グァム	コロール発14:15→グァム着17:10 (金崎, 三 上, 松島団員) 総領事への報告, 交通量調査
7	21日	日	グァム 東 京 コロール	(官ベース帰国) 資料の整理, 検討
8	22日	月	コロール	現地調査 (劣化度の調査) 資料収集整理, 交通量調査
9	23日	火	コロール	現地調査 (変状調査, 支間中央, 海上部)
10	24日	水	コロール	現地調査 (変状調査, 桁内部側径間部)
11	25日	木	コロール	現地調査 (変状調査)
12	26日	金	コロール	補足資料の収集整理 (資機材, 単価等調査)
13	27日	土	コロール グァム	コロール発14:15→グァム着17:10
14	28日	日	グァム 東 京	グァム発16:20→東京着19:50

2. 調査

2.1 調査の項目

調査項目として、K-B橋に関する資料の収集と現状の橋の工学的なデータ採取のための調査に分けられる。

2.1.1 資料収集 Collection of data

図面のみ入手した。その他の設計計算書、施工計画書、施工記録、維持管理の記録等は、パラオ政府は所有しておらず一切入手できなかった。

2.1.2 現橋調査 Study of bridge

a. 橋面エレベーションの計測 Measurement of Bridge elevation

橋軸方向15m毎のエレベーションをレベル測量を行い、竣工時と経時変化について検討を行う。

b. コンクリートの健全度の調査 Study of concrete soundness

現橋のコンクリート強度（圧縮強度）について、シュミットハンマーにより調査を行う。ボーリングマシンによるコンクリートのコアの採取を行う橋脚部、橋台部、横桁部について（ $\phi 100 \times 200$ ）各4個の採取を行い、コンクリートの圧縮強度、静弾性係数、浸透塩分量の試料とする。

c. 変状調査 Study of damage

目視又はクラック測定器により桁の損傷及びひびわれについて調査を行う。ひびわれについては、ひびわれ幅、発生位置、長さについて記録する。海上部は双眼鏡によりスケッチを行う。

d. 劣化度調査 Study of regradation

コンクリートの経時変化を判断するため、コンクリートの中性化深さについてフェノールフタレン液により、比較的劣化が目視される箇所及びひびわれの幅の大きい箇所を抽出し観察を行う。又、コンクリートのコアから国内にて塩分浸透量の試験を行い耐久性の判定の資料とする。

e. 簡易な荷重試験 Simplified movable load test

ダンプトラック（12.5t程度）4台をスパン中央に静止させ、この時点での橋面の変位をレベルにより測定し、計算値との照合を行う。

f. 交通量の調査 Traffic Survey

1日の交通量の種別及び通過交通量の測定を行う。

調査の種類と目的

調査の種類	目的	使用機械器具
a. 橋面エレベーション計測	竣工後の変位量の確定	レベル1台, スタッフ(箱尺)2本
b. コンクリートの圧縮強度調査	非破壊試験による強度	シュミットハンマー1台, 記録紙
	コアサンプリングによる強度	バッテリー, 電源 コア採取器又はボーリングマシン1台
c. 変状調査	耐久性に有害なひびわれ及び損傷の調査	クラックゲージ又はクラック測定器1台, 双眼鏡1台
d. 劣化度調査	中性化試験	フェノールフタレン溶液
	付着及び浸透塩分量試験	コンクリートコアを国内に持ち込み試験
e. 簡易載荷試験	桁の現在の耐力予測	載荷重(12.5tダンプ4台) レベル1台, スタッフ2本
f. 交通量調査	通過交通量と種別	——

2. 2 調査の結果

調査結果について、現地保有のデータ及び現地の調査結果及びサンプリングによる国内試験データについて示すと以下のとおりとなる。

a. 橋面エレベーション計測

中央支間の中央での道路中心のエレベーションは、

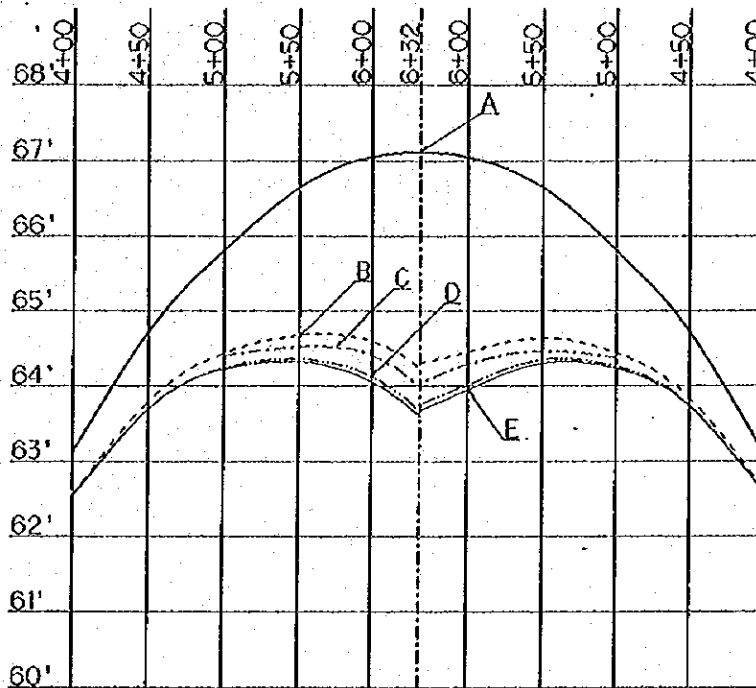
1977年7月 (完成時)	67.11ft		
		>	2.84ft (86cm)
1985年11月	64.27ft		
		>	0.25ft (8cm)
1986年5月	64.02ft		
		>	0.30ft (9cm)
1990年1月	63.72ft		

			3.39ft(103cm)
1990年1月 (載荷重12.5t × 4台) III	63.64ft		
		>	0.10ft (3.0cm)
1990年1月 (載荷重除去後) IV	63.74ft		

中央ヒンジ部の段差は0.06~0.09ftである。

各測点のエレベーション及び経年毎の値は次図に示す。

BRIDGE ELEVATION



LEGEND:

- As of 16.Nov.1985
- As of 22.May.1986
- As of 17.Jan.1990
- 17.Jan.1990 with Two-TRUCK LOADS of CORAL on Both Side of Center Line
- As BUILT.July.1977

		← KOROR SIDE						BABELTHUAP SIDE →					
Date	Point	4+00	4+50	5+00	5+50	6+00	6+32 Br.CL	6+00	5+50	5+00	4+50	4+00	
As BUILT, July.1977		63.12	64.72	65.81	66.65	67.05	67.11 67.11	67.05	66.65	65.81	64.72	63.12	A
16.Nov.1985		62.64	63.84	64.44	64.64	64.45	64.3 64.24	64.6	64.68	64.44	63.79	62.56	B
22.May.1986				64.38	64.46	64.29	64.05 63.99	64.41	64.52	64.41			C
17.Jan.1990		62.6	63.75	64.26	64.35	64.02	63.76 63.67	64.13	64.36	64.24	63.7	62.53	D
19.Jan.1990	1	62.59	63.73	64.23	64.3	63.95	63.67 63.59	64.06	64.32	64.22	63.69	62.52	Two-TRUCKs on Both Side
	2	62.59	63.72	64.24	64.31	63.94	63.67 63.6	64.06	64.31	64.21	63.69	62.51	4-TRUCKs on ARAI Side
	3	62.59	63.72	64.24	64.3	63.95	63.68 63.6	64.07	64.33	64.22	63.69	62.52	4-TRUCKs on KOROR Side
	4	62.6	63.74	64.26	64.35	64.02	63.78 63.69	64.14	64.36	64.25	63.7	62.52	NORMAL PROFILE

b. コンクリートの健全度調査

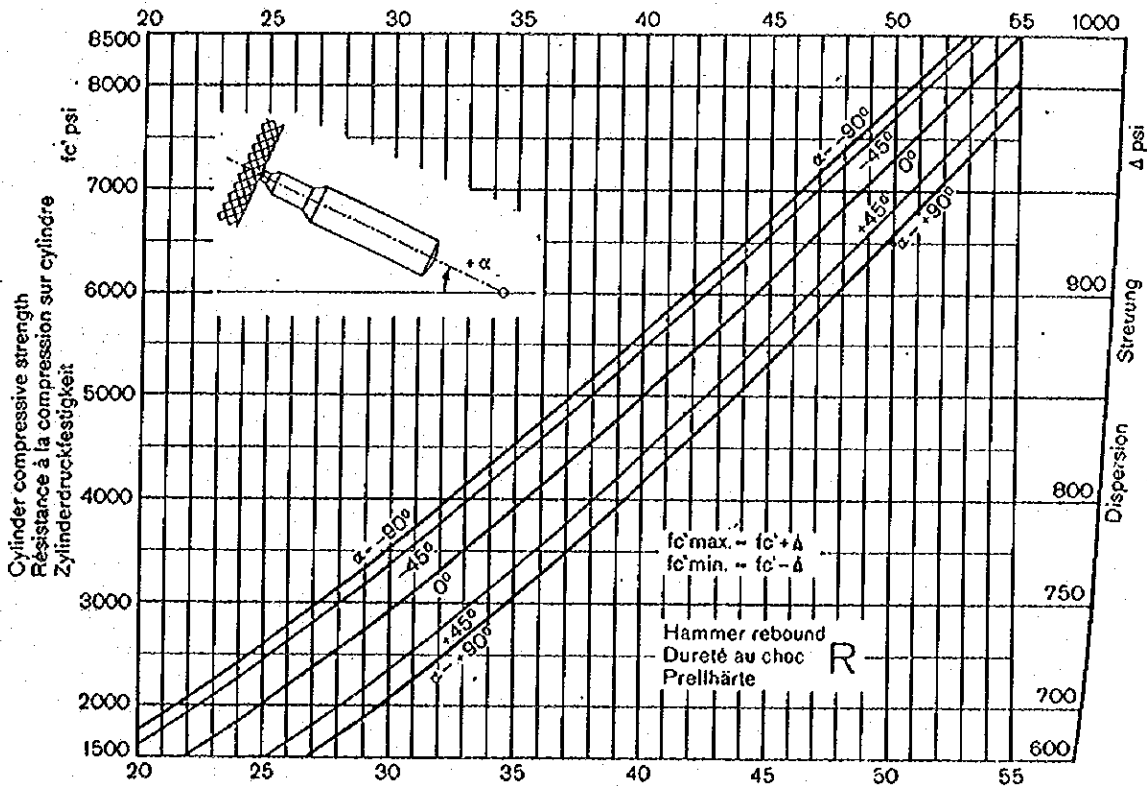
コンクリートの健全度の調査についてシュミットハンマー (Schmidt Test Hammer) による橋の圧縮強度判定, コアサンプリングによる圧縮強度試験, ヤング係数, 単位体積重量, 塩分含有量の測定を行った。コアサンプリングの位置及び結果を次に示す。

i) シュミットハンマーによる強度判定

スイス製の PROCEQ 製シュミットハンマー Type N を用いて実施コンクリートの反跳硬度 (R) を測定し、それから換算表によりコンクリートの圧縮強度の判定を行った。

Cylinder Compressive Strength in psi plotted against the Rebound Number

Type N Test Hammer



No.	反撥硬度 (R)	圧縮強度		測定位置
		lb/in ²	kg/cm ²	
1	34	3,750	263	コロール側橋台, 南側
2	36	4,200	295	コロール側橋脚, 南側
3	38	4,600	323	支間中央部桁
4	38	4,600	323	支間中央部桁
5	41	5,250	369	バベルタウプ側桁 5ブロック目
6	35	3,900	274	バベルタウプ側橋脚翼壁

桁部 4,600~5,250psi

橋台, 橋脚部 3,750~4,200psi

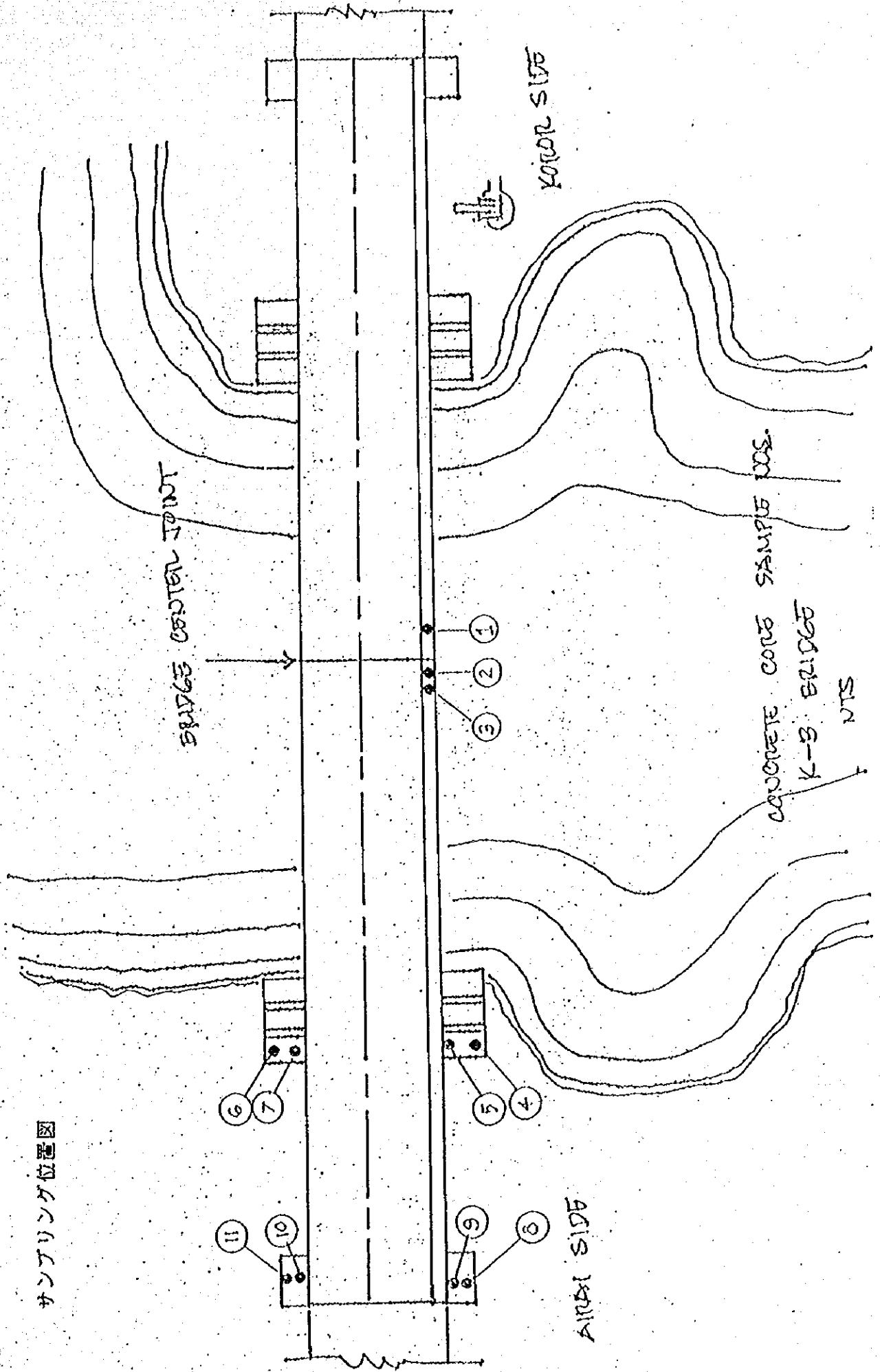
注) ・ コンクリート圧縮強度は円柱形供試体換算

・ 測定角度 $\alpha = 0^\circ$ (水平) で1箇所当り20点の平均値

ii) コアサンプリングによる圧縮強度, ヤング係数, 単位体積重量, 塩分含有量の試験

コアサンプリングは $\phi 10\text{cm} \times 30\text{cm}$ のサンプルを11本採取した。採取箇所及び試験結果を次に示す。

サンプリング位置図



コア-ボーリング試験体の試験結果

項目 試験体		圧縮強度 (psi)	ヤング係数 (psi)	単位体積重量 (lb/inch ³)	備考
桁部	1	---	---	---	高さが不足
	2	(403) 5,730	(2.26×10 ⁵) 3.21×10 ⁶	(2.31) 83.5	
	3	(360) 5,120	(2.24×10 ⁵) 3.19×10 ⁶	(2.29) 82.7	
	平均	(381) 5,425	(2.25×10 ⁵) 3.20×10 ⁶	(2.30) 83.1	
橋脚基礎部	4	---	---	---	
	5	---	---	(2.31) 83.5	
	6	---	---	(2.26) 81.6	
	7	---	---	(2.29) 82.7	
	平均	---	---	(2.29) 82.7	
橋台部	8	(442) 6,280	(2.39×10 ⁵) 3.40×10 ⁶	(2.30) 83.1	
	9	(454) 6,460	(2.44×10 ⁵) 3.47×10 ⁶	(2.28) 82.4	
	10	(212) 3,020	(1.69×10 ⁵) 2.40×10 ⁶	(2.31) 83.5	
	11	(196) 2,790	(1.37×10 ⁵) 1.95×10 ⁶	(2.31) 83.5	
	平均	4,640	(1.97×10 ⁵) 2.80×10 ⁶	(2.30) 83.1	

() 内に kg/cm² or t/m² の値を示す。

浸透塩分量の試験結果

項目 試験体		表面からの 深さ (cm)	全塩分量* (%)	備考
桁部	1	1	0.032	舗装部分は除く
		5	0.023	
橋脚基礎部	4	1	0.214	
		3	0.095	
		5	0.011	
橋台部	11	1	0.048	
		5	0.008	

* Cl⁻ 換算

c. 変状調査

橋の外観調査の結果以下の変状が認められた。

i) ひびわれの発生状況

中央径間主桁のひびわれは、箱桁の内部からしか観察できなかったが、その状況は次図 ー に示すとおりであり、次のような特徴を有していた。

- ・ 中央ヒンジ部から7～8ブロックにわたり発生している。
- ・ コロール島側、バベルタウプ島側のどちらの主桁にも、また北側、南側のどちらのウェブにも発生している。
- ・ ウェブの上端から中央付近にかけて、中央ヒンジ部から遠ざかる方向にほぼ45°の角度で発生している。
- ・ ひびわれ幅は0.04～0.1 インチ程度がほとんどである。

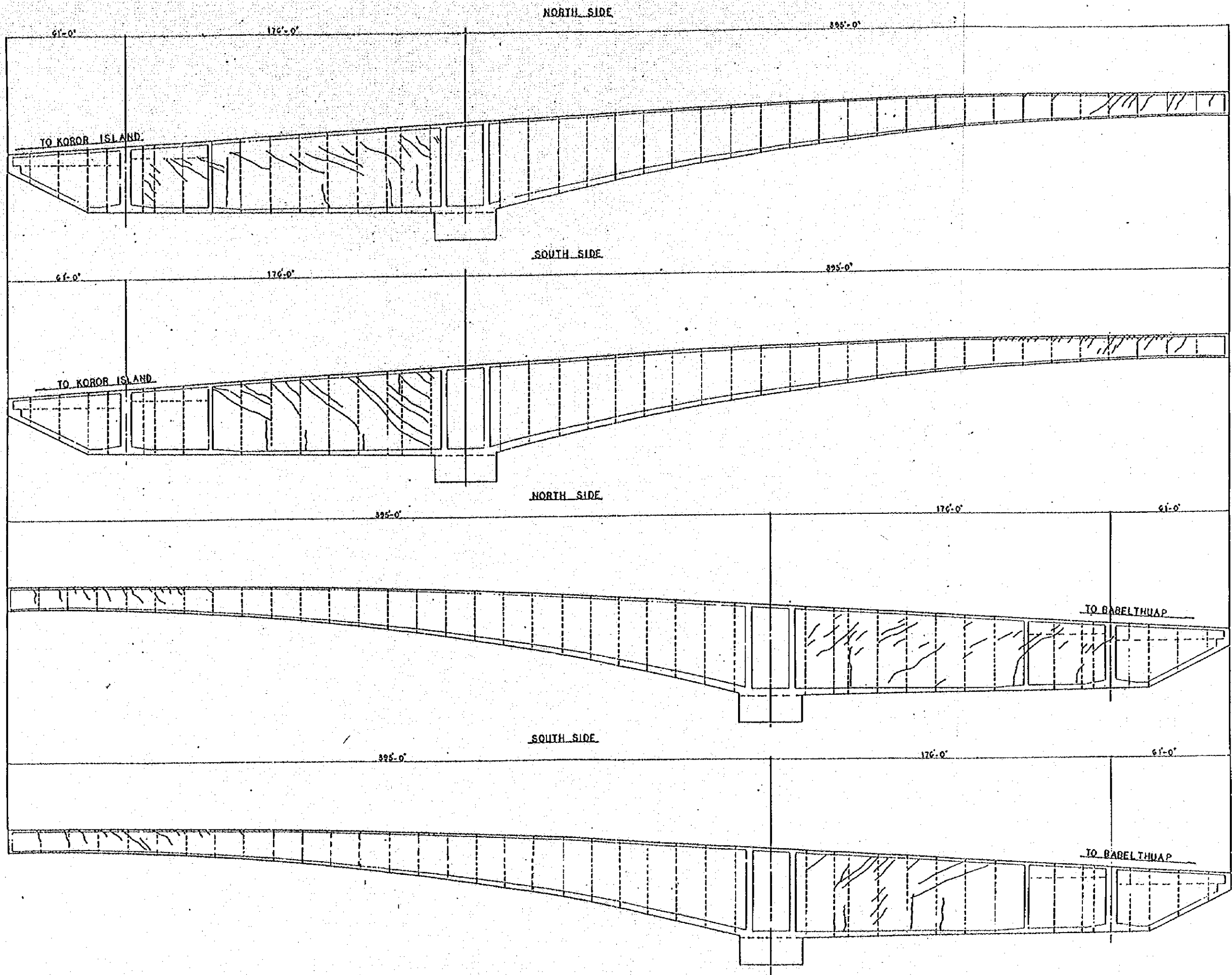
側径間主桁のひびわれ発生状況は図一 ー に示すとおりであり、鉛直ひびわれと斜めひびわれがあり、各々次のような特徴を有していた。

鉛直ひびわれ

- ・ コロール島側、バベルタウプ島側のどちらの主桁にも、また北側、南側のどちらのウェブにも発生している。
- ・ 底スラブの上面からウェブの中央付近にかけて発生している。
- ・ ひびわれ幅は0.08インチ程度である。

斜めひびわれ

- ・ コロール島側、バベルタウプ島側のどちらの主桁にも、また北側、南側のどちらのウェブにも発生している。
- ・ ウェブの上端から中央付近にかけて、中央ヒンジ部の方向にほぼ45°の角度で発生している。
- ・ ひびわれ幅については不明。



ii) 中央ヒンジ部の撓みによる回転角の発生

中央ヒンジ部は前記のエレベーション測定結果からもわかるように先端から7～8ブロックで垂れ下がっており、ヒンジ部は桁上縁と桁下縁がハの字に回転しており、その開き角はヒンジ部及びカバープレートの状況等から0.04～0.05ラジアンである。

iii) 橋台と桁の接続部の剝離

- ・ コロール島側はモルタルで間詰めされており不明であるが、幅 0.2インチ程度のひびわれが観測された。
- ・ バベルタウン島側の南側では剝離による開きが3～3.5インチあり、鉄筋の破断が見られた。橋台と桁端部の段差はみられなかった。

iv) その他の変状

- ・ エンドピア一部のゴム沓が全て、中央ヒンジ部の方向に 0.6インチ程度のせん断変形が観察された。
- ・ 沓の浮き上がりは観察されなかった。
- ・ エンドピア一部のタイダウン鋼棒のカバー塩化ビニールパイプの破損が観察され、鋼棒の腐食進行がみられた。
- ・ コンクリート舗装面のすりへりによるメッシュ筋の露出、及び舗装の剝離、破損がみられた。
- ・ 手摺り部の一部欠落、及び移動が見られた。

d. 劣化度調査

劣化度調査のうち、中性化深さのフェノールフタレン溶液による判定は、コアボーリング孔を利用して調査を行った。

- ・ コア№1, 2, 3については、舗装コンクリート部は中性化が完全にしており、床版部は舗装コンクリートが保護層となっており、0.2インチ程度の中性化深さであった。
- ・ 橋脚部の№4, 5, 6, 7は中性化深さ2.5~3.0インチの深さ迄中性化が確認された。
- ・ 橋台部の№8, 9, 10, 11は中性化深さ2.0~2.5インチであった。
- ・ 塩分含有量は採取されたコアをスライス状にし、各々微粉末としてコンクリート表面から深さ毎の Cl^- 換算の塩分含有量の測定を行った。結果はコア試験の項に示す。

コンクリート構造物の長期的な耐久性を確保するための塩化物の規制値は最近の研究では0.025%と言われており、測定結果からコンクリート表面からの深さ3~4cmが規制値となっており、鉄筋の錆が発生する可能性のある深さまで Cl^- の浸透がみられた。

e. 交通量の調査

日通過交通量は、人口の半分がコロール島、半分がバベルタウプ島に分散されている事、首都がコロール島、空港がバベルタウプ島に位置するという特殊性から、測定時期も航空機離発着の多い土曜と平常の通学、通勤による移動の多い月曜について測定を行った。この結果、時間最大通過量は200台前後で80%が小型車で、残りが大型及び中型車であった。結果は次表に示す。

20 (Sat) Jan. 1990

時間	コロール島からバベルタウプ島			バベルタウプ島からコロール島		
	セダン車	ワゴン車	トラック 又はバス	セダン車	ワゴン車	トラック 又はバス
6 ^h :00~7 ^h :00	130 台	1 台	2 台	34 台	1 台	2 台
7 ^h :00~8 ^h :00	34	3	0	120	17	0
12 ^h :00~13 ^h :00	82	0	0	58	2	0
13 ^h :00~14 ^h :00	77	9	2	58	3	3
14 ^h :00~15 ^h :00	51	11	1	120	15	3
15 ^h :00~16 ^h :00	40	5	1	35	0	2
18 ^h :00~19 ^h :00	85	0	1	68	0	1
19 ^h :00~20 ^h :00	70	1	0	68	3	1

22 (Mon) Jan. 1990

時間	コロール島からバベルタウプ島			バベルタウプ島からコロール島		
	セダン車	ワゴン車	トラック 又はバス	セダン車	ワゴン車	トラック 又はバス
7 ^h :30~8 ^h :30	51 台	2 台	1 台	86 台	9 台	2 台
8 ^h :30~9 ^h :30	61	2	1	50	3	5
9 ^h :30~10 ^h :30	54	0	5	44	3	9
16 ^h :00~17 ^h :00	75	10	2	45	3	5
17 ^h :00~18 ^h :00	96	5	9	38	3	0

2.3 考 察

設計計算書が入手困難の状態であり、調査項目及び結果から推定、検証を行うと次の事がいえる。

a. 橋中央部主桁の、たわみの沈下原因について

i) 橋全体の回転による影響

主桁のエレベーション分布をみると、中央径間の主桁以外は完成後からほとんど変化していないのがわかる。すなわち、橋全体が回転したり、沈下したりしていないということである。このことは、次の3点からも裏付けられる。

- ・ アバットと主桁端部の間に段差がみられない。
- ・ エレドピア一部の沓には浮き上がりがみられない。
- ・ メインピア一部のフーチングに沈下あるいは回転の形跡がみとめられない。

従って、中央径間主桁の沈下は中央径間主桁自身の変形によるものと考えられる。

ii) コンクリートのヤング係数

中央径間の主桁から採取したコアボーリングの供試体による試験結果によれば、圧縮強度は設計基準強度 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ に対して約 $380\text{kg}/\text{cm}^2$ であり、また単位体積重量は約 $2.3\text{t}/\text{m}^3$ で、ほぼ正常な値であると判断できる。

しかし、ヤング係数は一般に圧縮強度が $380\text{kg}/\text{cm}^2$ であれば $3.0 \times 10^5\text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度の値になると思われるが、実際には $2.25 \times 10^5\text{ kg}/\text{cm}^2$ であり、非常に小さいといえる。

この値は、主桁中央に車を載荷した時のたわみ実測値から推定したヤング係数が $2.40 \times 10^5\text{ kg}/\text{cm}^2$ になることから、ほぼ妥当な値であると判断できる。

iii) せん断ひびわれの影響

主桁中央に車を載荷した時のたわみ曲線の形状について、解折値と実測値を比較すると両者がよく対応しているのがわかる。解折値は曲げ変形だけを考えたもので、せん断変形の影響は入っていないが、解折値と実測値の形状がよく一致していることから、中央ヒンジ部近くの主桁に入っているせん断ひびわれがたわみに及ぼす影響はほとんど無視してよいと考えられる。

iv) クリープ係数の推定

主桁のたわみ変形がすべてクリープの影響によるものとして、どの程度のクリープ係数になるのかを推定してみる。

まず、次のような仮定の下で弾性たわみを計算する。

主桁の単位体積重量	2.5 t/m ³
橋面工の重量	2.1 t/m
主桁のヤング係数	2.25×10^5 kg/cm ²
PC鋼棒の導入力	55 t/本

この場合、主桁の中央ヒンジ部における弾性たわみは次のようになる。

主桁の重量による分	81cm
橋面工	9cm
プレストレス	-64cm
合計	26cm

いま、クリープ・乾燥収縮リラクゼーション等によるプレストレスの損失量を15%とすると、これによる弾性変形量は次のようになる。

$$64 \times 0.15 = 10 \text{ cm}$$

従って、完成後から現在までの全変形量は102cmであるので、クリープ係数は次のようになる。

$$(102 - 10) \div 26 = 3.5$$

クリープ係数の値は、一般に普通の大気中では2.0、非常に乾燥した大気中では3.0程度であり、軟練りのコンクリートほどクリープ係数は大きくなるといわれている。気温が高くコンクリートが乾燥しやすいという当橋の環境条件を考えると、また、側径間の主桁にコールドジョイントの跡が多くみられたことから、中央径間主桁には単位水量の多い軟練りのコンクリートが打設された可能性が高いことを考慮すると、今回のクリープ係数 3.5という値も妥当な値であるといえる。

v) 中央ヒンジの回転角による検証

中央ヒンジは完成時は水平であったとすると、完成後の塑性変形による中央ヒンジの回転角は、中央ヒンジ部の隙間やカバープレートのコンクリート跡などから推定すると 0.05rad程度となる。

一方、主桁のエレベーション完成時から今回の測定時までの変化量から換算した中央ヒンジの回転角は 0.03rad程度になる。

前項と同様の仮定条件のもとで、主桁先端部の弾性回転角（中央ヒンジの回転角の半分に相当）を計算すると次のとおりである。

主	桁の重量による分	0.013rad
橋	面工	0.001rad
	プレストレス	-0.010rad
合 計		0.004rad

クリープ・乾燥収縮によるプレストレストの損失による回転角は、

$$-0.010 \times 0.15 = -0.0015$$

従って、クリープ係数を 3.5 とすると完成後から現在までの塑性変形による中央ヒンジ回転角は、

$$(0.004 \times 3.5 + 0.0015) \times 2 \approx 0.03 \text{rad}$$

となる。

従って、クリープ係数 3.5 という値はこの結果からも不適当な値ではないといえる。

vi) まとめ

橋中央部の主桁たわみの主原因は、中央径間主桁自身のクリープ変形によるものと考えられる。

クリープ変形は一般に弾性たわみにクリープ係数を乗じた形で求められるが、本橋の場合は、ヤング係数が標準的な値に比べて非常に小さく、またクリープ係数が逆に大きかったために、このようなクリープ変形を引き起こしたものだといえる。

ただし、クリープ変形は一般には10年もたてばほぼ終了していると考えられるが、本橋の場合はまだ増加傾向にあると認められる。

b. ひびわれの原因について

i) 橋中央部ヒンジ近傍のひびわれ

・ 主桁に作用した最大荷重

現在の交通量の状態を考えると、中央径間主桁に最も大きな荷重が作用したのは主桁の張出し架設中であり、ワーゲン上の新設ブロックのコンクリートを打設した直後の状態であると考えられる。

・ 斜め引張応力度の推定

上記の荷重状態における斜め引張応力度を中央ヒンジ部から4番目のブロックを例にとって推定してみる。

ワーゲンの重量、プレストレスの導入力をパラメーターにして計算した結果を次図に示す。

本橋と同規模の橋梁の条件下では、施工時に斜め引張応力度は約 $16\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度が発生していると思われ、乾燥収縮に伴う応力や温度応力などを考慮すると、十分にひびわれが発生する可能性があるといえる。

ii) 側径間部のひびわれについて

・ 鉛直ひびわれ発生の原因の推定

コンクリートの打継目から判断すると、側径間の主桁は底スラブがまず打設され、次にウェブが打設されたと思われる。

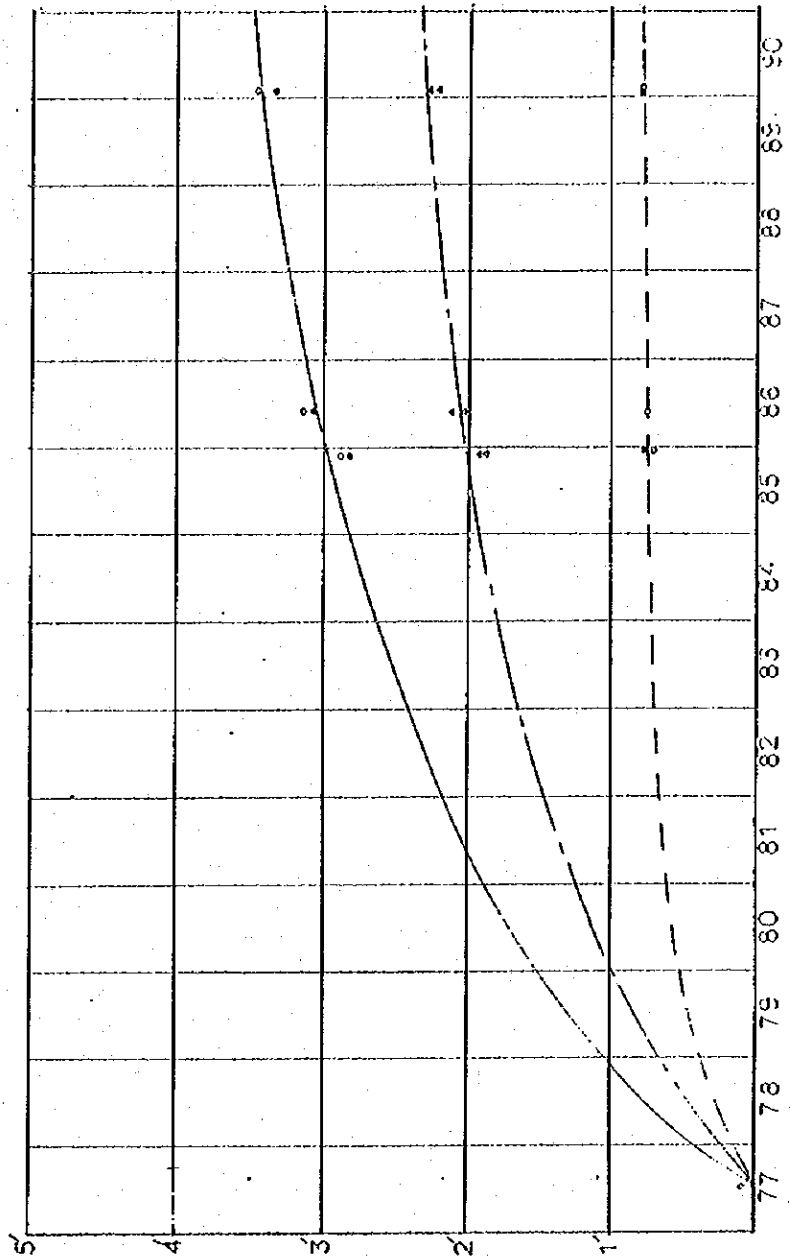
そして、鉛直ひびわれが底スラブ部分には発生していないことから、このひびわれはコンクリートの硬化熱による温度ひびわれと思われる。

・ 斜めひびわれ発生の原因の推定

中央径間主桁の重量に対してメインピアー部に上向きの反力が、エンドピアー部に下向きの反力が発生するが、斜めひびわれはその角度、位置から判断すると、これらの力によって主桁に生じる斜め引張応力度によるものと考えられる。

完成後からの主桁たわみ変化量

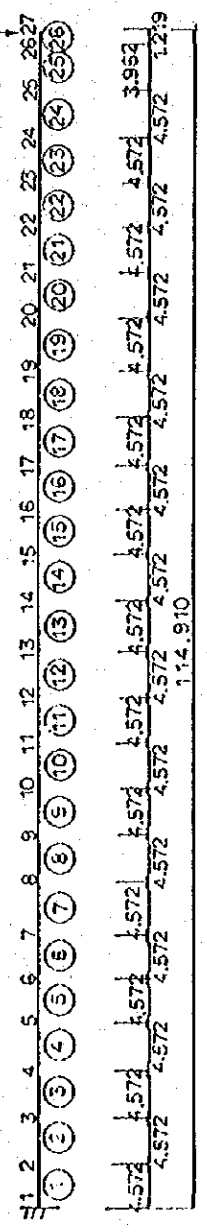
- ・ 中央ヒンジ部 (K-島側)
- ・ 中央ヒンジ部 (B-島側)
- ・ 中央ヒンジより2.5m位置 (K-島側)
- ・ 中央ヒンジより2.5m位置 (B-島側)
- ・ 中央ヒンジより6.0m位置 (K-島側)
- ・ 中央ヒンジより6.0m位置 (B-島側)



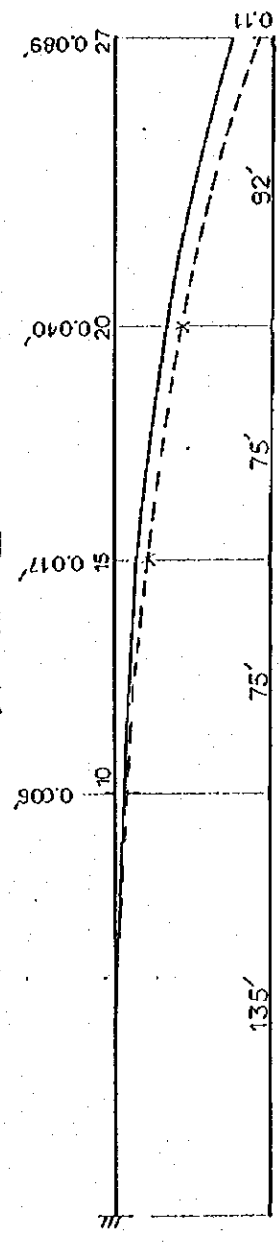
西暦年

K-8橋
荷重
P=55.1 Kib

構造図



変位図



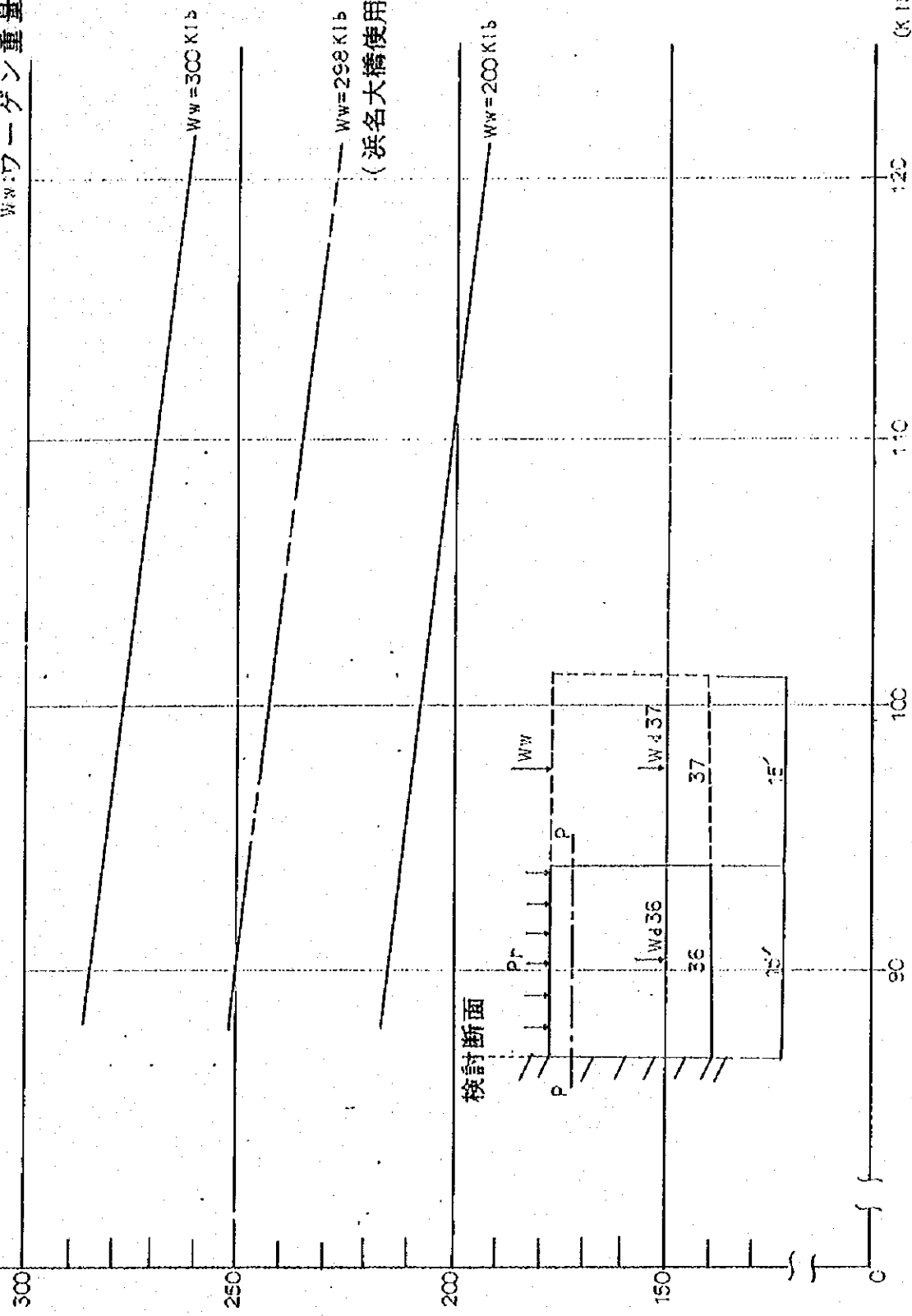
$f_{ck} = 5000 \text{ Psi}$
 $E = 4.20 \times 10^6 \text{ Psi}$

×印は実測値

斜引張応力度
 σ_t
 psi

図心における斜引張応力度

WW:ワーゲン重量



120 (Klb/ft)

橋軸方向アレストレス導入力

c. 結 論

i) 橋中央部の主桁のたわみ

橋中央部の主桁のたわみの主原因が橋全体の回転や沈下などに伴うものでなく、中央径間主桁自身のクリープ変形によるものと考えられるので、当面は構造的に問題にはならないと思われる。又、クリープ変形は進行中であるが、橋体完成後の交通車両の状態を考えると現状のままでも耐力的には安全であるといえる。

しかし、橋梁の基本的機能の一つである車両の走行性の面からは、現状のままでは好ましい状態ではなく、また、景観の面からも必ずしも好ましい状態とはいえないが、車両の走行性は橋の構造上の問題とは直接の関係はなく、二次的な問題である。

従って、当面補修の必要性はなく、また、設計計算書等の記録が無い現状で性急に補修を実施することも適当でない。いずれにせよ今後の桁のたわみ進行程度を調査し、設計照査をした上で、最良の補修方法を決定するのが望ましいと思われる。

ii) 主桁のひびわれ

主桁の斜めひびわれ及び鉛直ひびわれは、いずれも施工中に発生したものと推定されるが、ひびわれが発生した状態で主桁にとって最も厳しい荷重条件（主桁張り出し架設中の主桁先端にワーゲンが載った状態）を既に経験しているので、現在の交通車両を考えると、現状のままでも構造的には安全であるといえる。

しかし、当橋が海からの潮風をまともに受けることから、将来これらのひびわれを通して鉄筋が腐食しコンクリートが劣化して、橋の耐力を低下させることが予想される。

従って、将来的にはひびわれ面を補修することが望ましい。

iii) その他の損傷

主桁の沈下やひびわれの他に損傷のみられたものには、

- ・ アバット前面部のコンクリートのひびわれ、鉄筋の腐食
- ・ タイダウン用PC鋼棒の保護管（塩ビパイプ）の破損
- ・ 舗装コンクリート部の鉄筋の露出、手摺の破損

などがある。

これらの状態は直ちに橋梁の安全性に影響するものではないが、橋本来の機能や耐久性を低下させるものであり、早い時期に補修することが望ましい。

又、当初懸念された橋脚の洗掘、沈下については海中の観測が行えなかったが、橋脚部等にひびわれ、傾斜等が顕著にあらわれてなく、現状では安全であると判断される。

iv) 維持管理

現状の安全性、使用性、耐久性を確保するため、通常点検、定期点検の実施が望ましい。

・ 通常点検

主に橋梁の異常を早期に発見する事を目的とし、パトロールの実施を行う。主なものは、

- ① 橋面の状況、② 伸縮継手の状況、③ 橋梁の取り合い部、
- ④ 地覆、高欄の状況、⑤ 橋梁の付属物

・ 定期点検

橋梁の細部にわたる異常や損傷を発見し、その概略的な程度の把握をするために実施する。主な項目は、

- ① 橋面エレベーションの計測
- ② ひびわれの進行度の記録
- ③ 中央ヒンジ部の開き、段差の計測
- ④ 橋脚部支承の変形、移動の観測

等について、点検調査を行い記録する。又、点検頻度は年2回程度が望ましい。

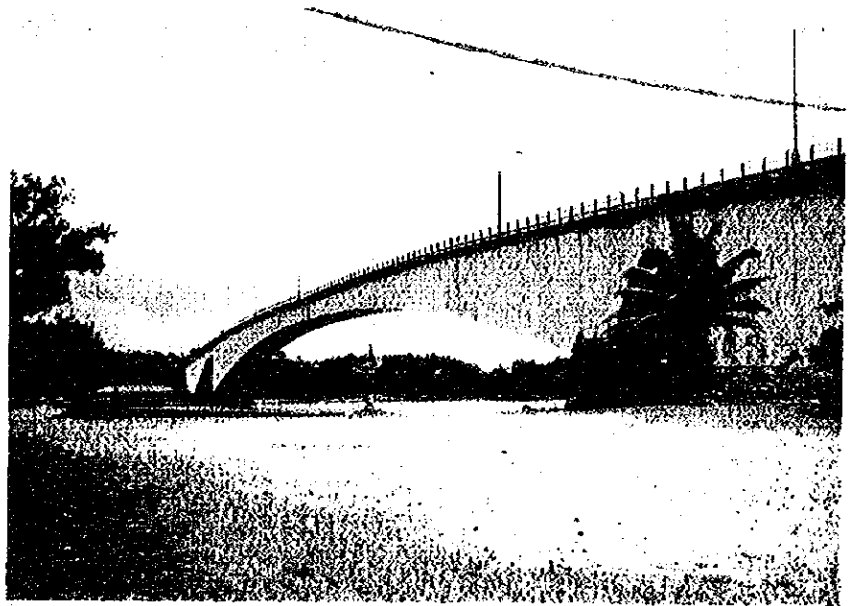
・ 橋の耐久性、使用性の確保

交通の規制等により、衝撃の緩和、走行時重車輛の車間距離の確保等、たとえば橋梁上の車輛走行速度30km/hr、重車輛の走行車間距離は50m以上等の処置を講ずる事が望ましい。

5. 面会者リスト

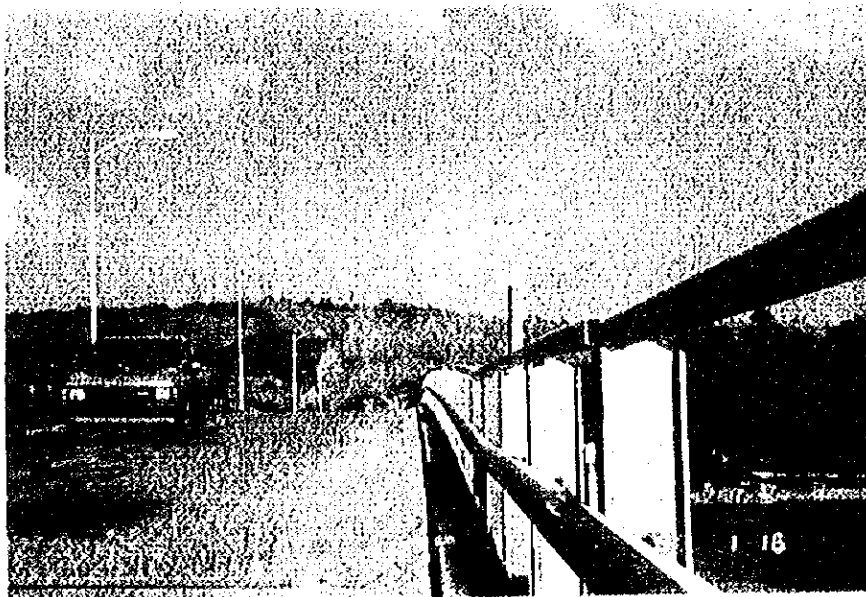
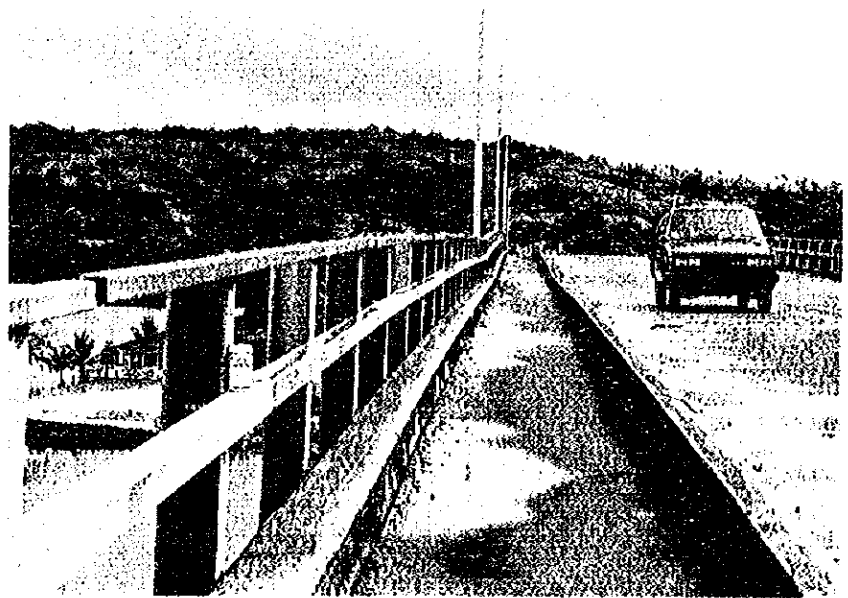
- 1) Ngiratkel ETP ISON : President Republic of Palau.
- 2) Koichi, L, WONG : National Planner.
- 3) Regis AKITAYA : Energy Program Maneger.
- 4) Marcelino MELAIEI : Director, B.P.W
- 5) Valerio A, CUETO : Public Works, Surveyor.

4. 写 真



コロール島南側からK-B橋を見る

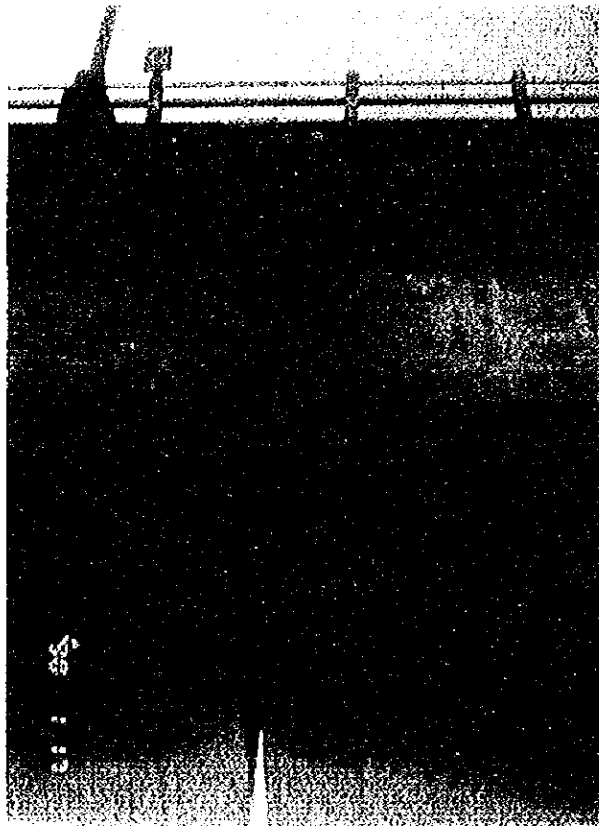
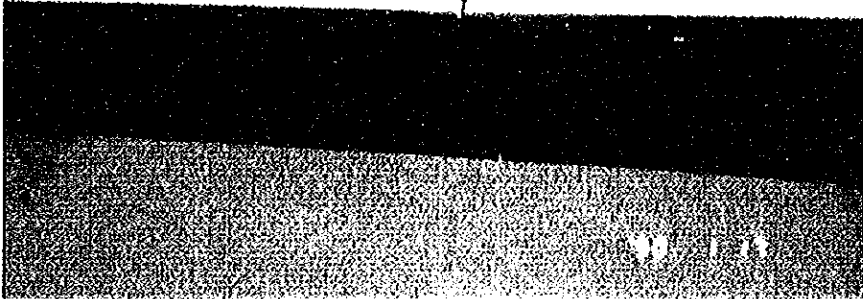
橋面中央ヒンジ部
(南側)



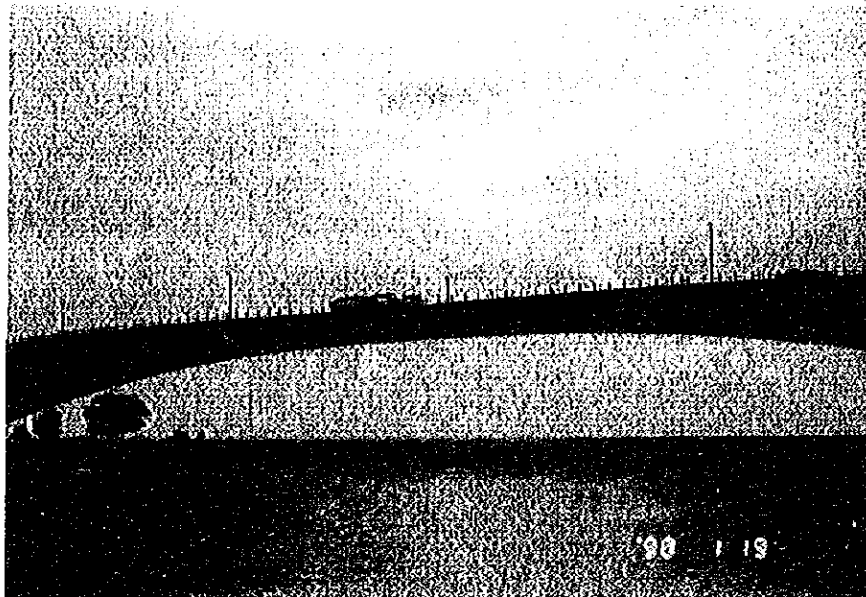
橋面ヒンジ部
(北側)



桁下から
中央ヒンジ部を見る



桁下から中央ヒンジ部を見る

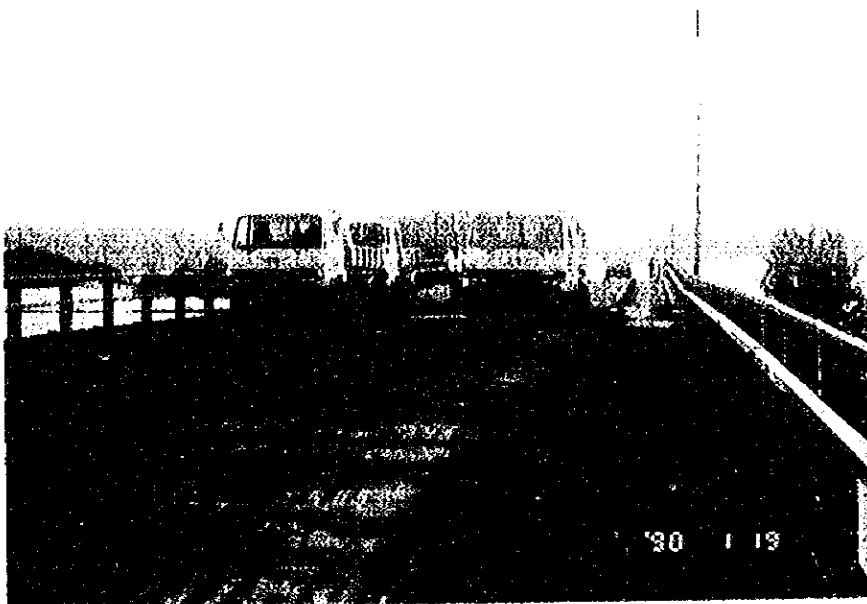


載荷試験

載荷試験
(橋面K島側)



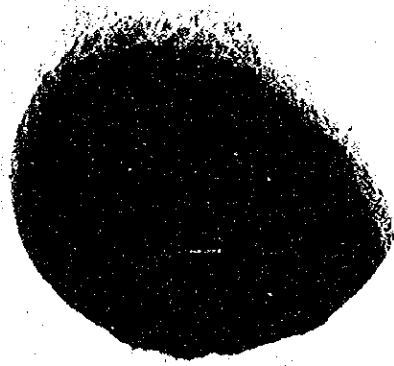
載荷試験
(橋面B島側)



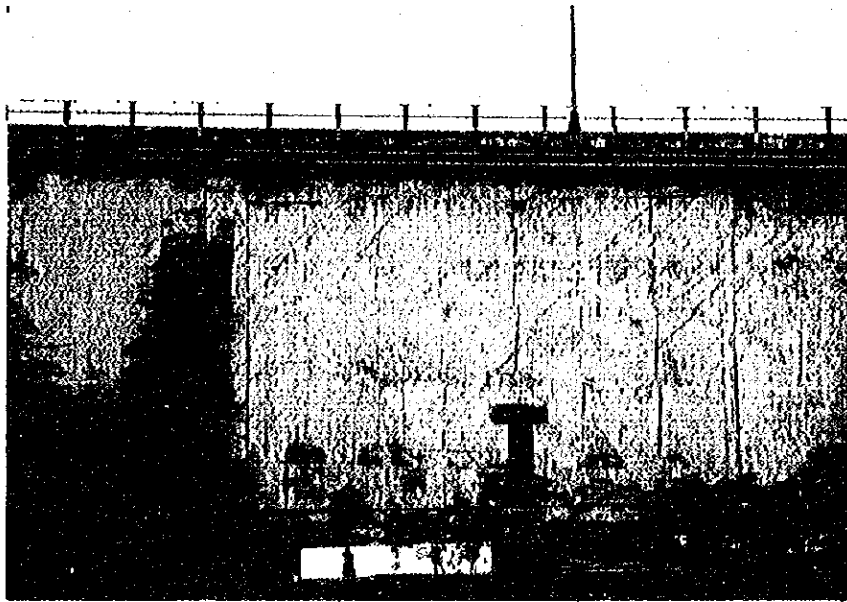


コアサンプリング
(橋脚上)

ボーリング孔を
利用し中性化試験

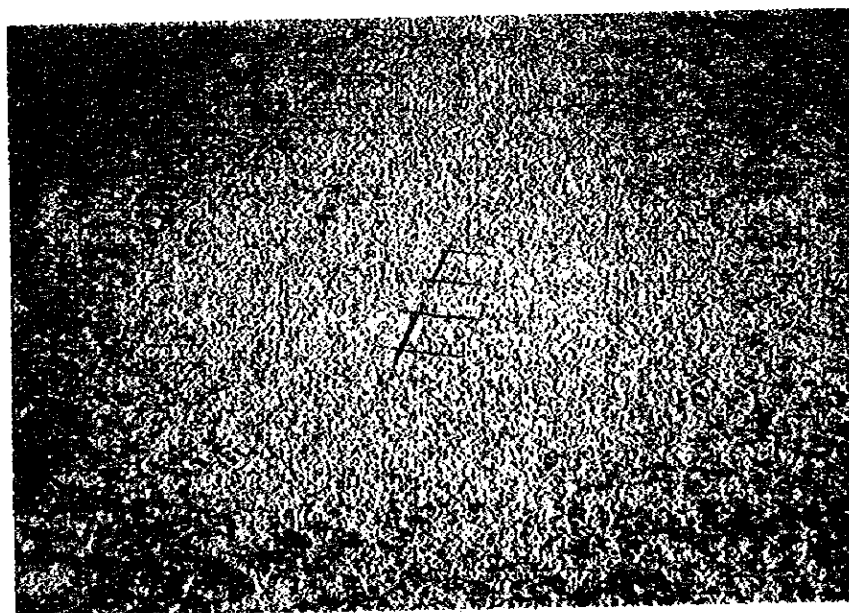
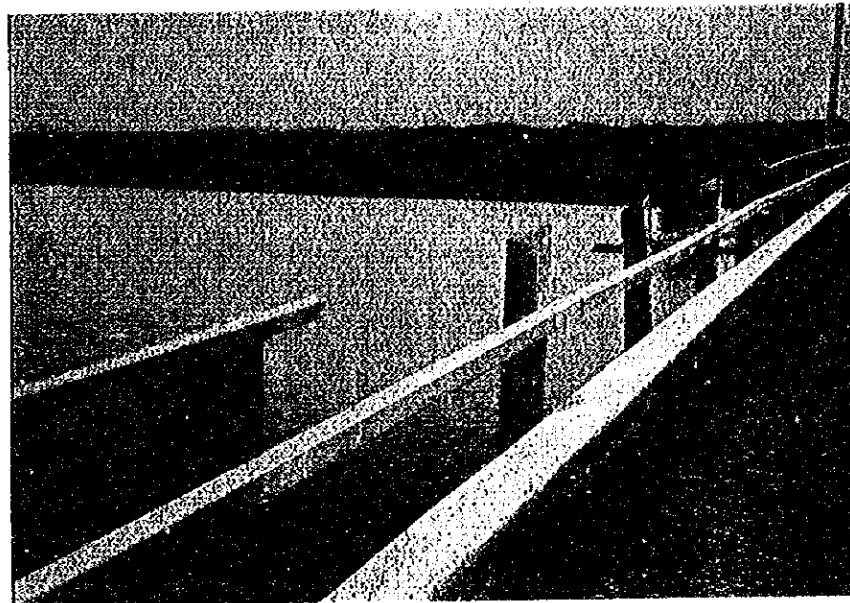


中性化深さ試験

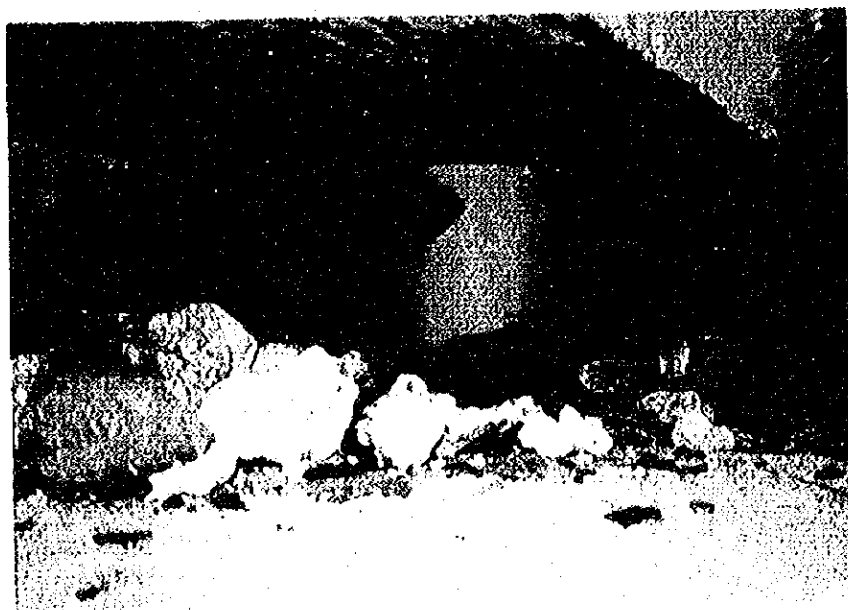


K島南側
(サイドスパン)

手摺り部の
欠落

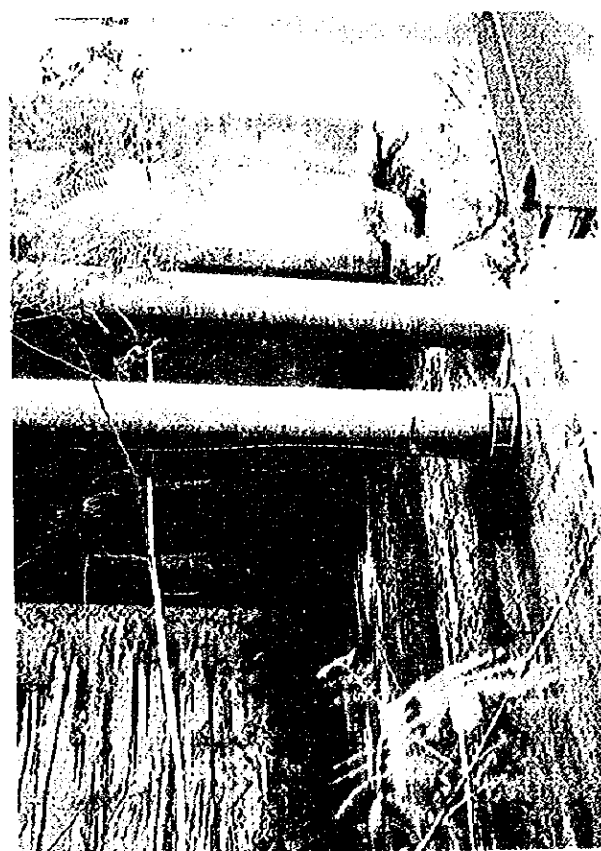


橋面のメッシュ筋
の露出



タイダウン鋼棒
(カバーの破損)

橋台とよう壁
接続部



橋台とよう壁
接続部

