

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.19 No.74 '95.4

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第74号 目次

Contents Honshi Technical Report No.74

自然の威力を直視しよう……………総 裁 Let us know the Power of Nature	萩 原 浩… 1
マスコンクリートの塗装に関する調査(その2) ……企画開発部付 Investigation on Coating of Mass Concrete (Part II) 設計部 設計第三課	野 村 直 茂… 2 森 下 尊 久
明石海峡大橋のキャットウォーク構造……………垂水工事事務所 第二工事長 Structure of Catwalk on Akashi Kaikyo Bridge 垂水工事事務所 第二工事長代理	河 口 浩 二…10 福 永 勸
大三島橋鋼格子床版上の漏水防止対策……………第一建設局 設計課長 Water-proof Work on Steel Girder Floor of Ohmishima 早島管理事務所 維持計画課 Bridge	帆 足 博 明…17 日 高 裕 司
多々羅大橋塔完成時の耐風性……………企画開発部 経済課長代理 Wind-Proof Design on the Tower of Tatara Bridge 向島工事事務所 第一工事長代理	藤 原 亨…24 森 山 彰
ミンダナオ島探訪記……………企画開発部 道路課長 Exploration in Mindanao Island	金 澤 克 義…38
オマーンを訪ねて……………維持施設部 調査役 Visit to the Sultanate of Oman	高 畠 豊…40
技術ニュース…………… The Latest Information	43
文献紹介…………… Related Technical Reports in other Publications	46

本四技報総目次：前回掲載：第65号 次回掲載予定：第75号

本四技報 第75号(7.7) 掲載予定

- ・「鋼上部構造にFEM解析を適用するためのガイドライン」の運用
- ・高密度電気探査による地質調査
- ・明石海峡大橋補剛桁の設計
- ・明石海峡大橋陸上部多径間連続化について
- ・多々羅大橋の景観設計

※ 本四技報掲載予定は変更する場合があります。

神戸～鳴門ルート

Kobe-Naruto Route



明石海峡大橋ケーブル工事(ケーブルスクイズング作業)
Akashi Kaikyo Bridge Cable Work (Cable Squeezing)

(7年2月)
February 1995



明石海峡大橋ケーブル工事(ケーブルバンド架設作業)
Akashi Kaikyo Bridge Cable Work (Cable band installation)

(7年3月)
March 1995

神戸～鳴門ルート

Kobe-Naruto Route



舞子トンネル南工事(上り線貫通)

Maiko Tunnel South Work (Completion of the north-bound tunnel)

(7年2月16日)

February 16, 1995



楠本川橋工事(PC 4 径間連続ラーメン箱桁)

Kusumotogawa Work (4-span continuous PC box)

(7年3月)

March 1995

尾道～今治ルート

Onomichi-Imabari Route

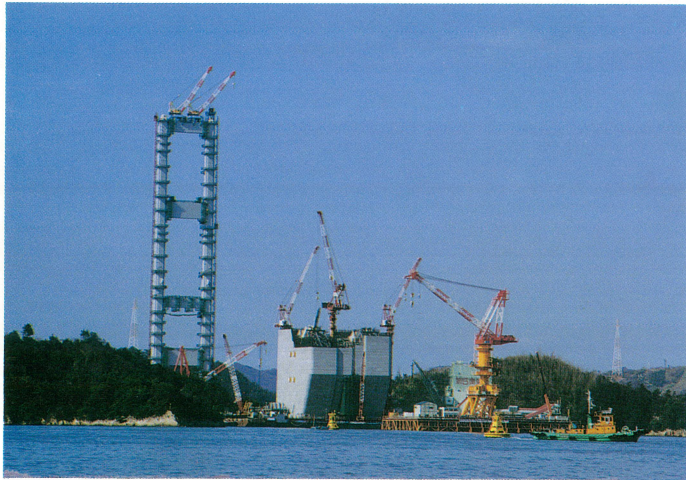


来島大橋の工事現況
Current view of Kurushima Bridge work

(7年3月)
March 1995

尾道～今治ルート

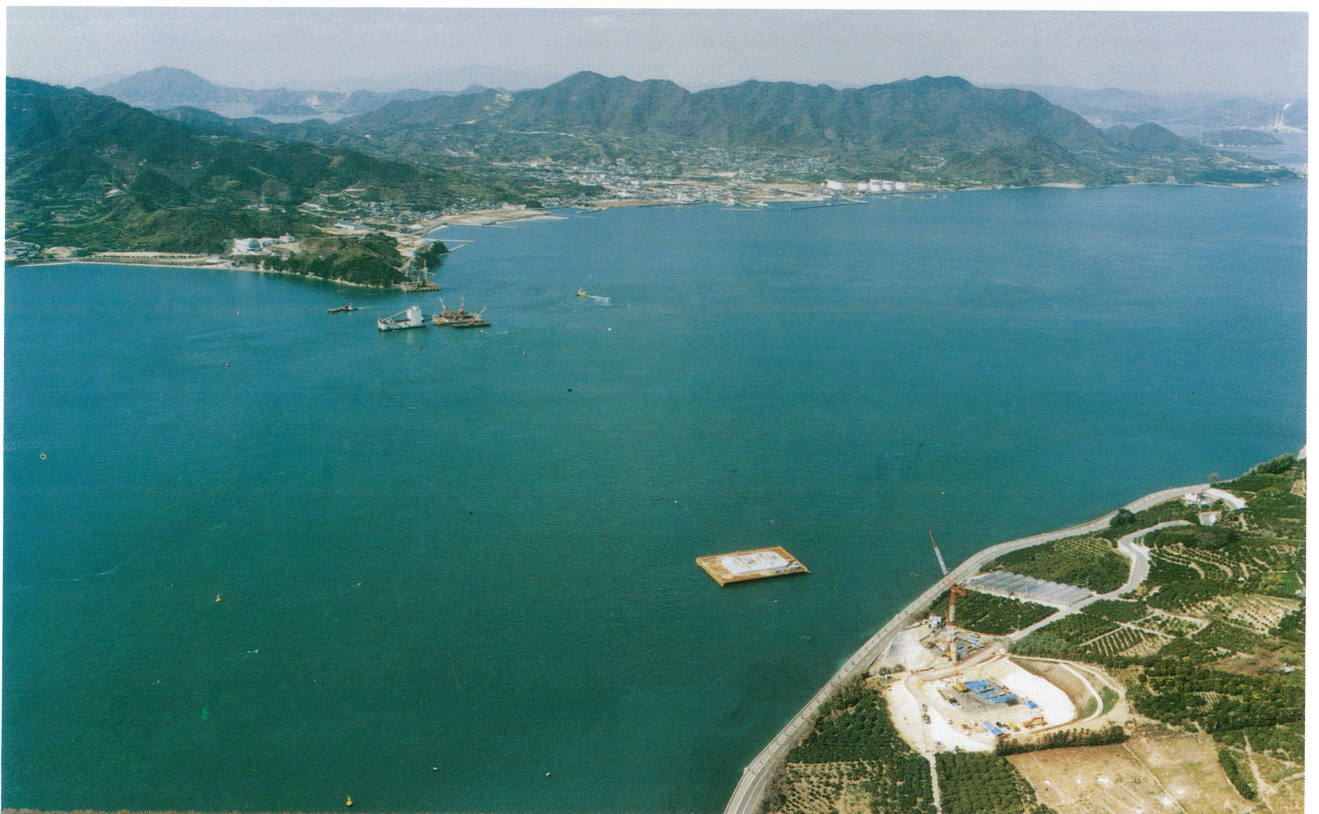
Onomichi-Imabari Route



来島大橋(左から5P主塔、4Aアンカレイジ) (7年3月)
Kurushima Bridge (from the left-hand side,
5P Tower and 4A Anchorege) March 1995



来島大橋(手前は9P主塔、向こうは馬島) (7年3月)
Kurushima Bridge (front side : 9P Tower, back side :
Umashima Island) March 1995



多々羅大橋(生口島側より大三島側を望む)
Tatara Bridge (Ohmishima Island viewed from Ikuchijima Island)

(7年3月)
March 1995

自然の威力を直視しよう

Let us know the Power of Nature

総 裁 萩 原 浩

Hiroshi Hagiwara



平成7年の正月気分が、完全には抜けきれていなかった1月17日早朝の兵庫県南部地震では、自然の威力をまざまざと見せつけられた。阪神高速道路、名神、中国高速道路、JR在来線、新幹線、阪神、阪急などの私鉄各線、地下鉄、新交通システムなど莫大な被害を受け、交通機関は麻痺してしまった。港湾埠頭も損傷大で、物流にも大きな影響を与えることとなった。そして、約5,400人余の人命も奪ってしまった。本当に痛ましいことである。

これまで、諸外国、とくにアメリカでの地震の際に、わが国の耐震設計の充実を謳った主張が完全に覆されてしまった。“直下型地震だったので止むを得ない”とか、“予想を上回る震動だった”とかの抗弁は空しく聞こえるばかりで、土木技術者として、何とも肩身が狭くなったような気がする。しかし、その中であって建設中の明石海峡大橋は幸いにして本体に損傷を受けなかった。一斉に電灯が消え、闇夜になった中に、僅かに一灯が残った感じを与えている。その点で我々の肩にかかる責任の重さを感じるのである。

しかし、この結果を我々の技術の成果であるというような尊大な態度をとるべきではない。多くの命を失い、また幾多の家屋が倒壊した神戸市にあって、垂水区は損害が極めて少なかった。このことは、垂水区は神戸市内の各地とは地震動が違っていたと見るべきで、この点、明石海峡大橋、とくに1A、2Pには僥倖だったと言える。

また、メインケーブルを張り終え、しかも桁を架設する以前という最も良好な時期での受震であったことも幸いした。それでも野島活断層の動きに引き込まれて、3P、4Aが1.3、1.4mも地盤とともに移動するという激動を受けている。鋼鉄製の主塔が、この物凄い衝撃を吸収してくれたのであろう。もし、コンクリート製の主塔であったならとの不吉な想像もされる。これらの諸要因が幸いして、この橋はこの激震に耐えることが出来たと考えるべきである。この激震に耐えた明石海峡大橋は、今後地震によって破壊されることはないと考えられる。

このように考えると、我々は今迄以上に自然の威力を直視し、それに対して謙虚であることに徹すべきであることに気が付く。これから詳細設計に入る来島大橋、多々羅大橋、新尾道大橋等について、もう一度見直し、検討すべき点がないかどうかを照査する必要があるし、今後の長大橋の計画に当たってもこのことを忘れないようにし

なければならない。

今、私は二つのことを思い出している。その第一は、平成2年12月5日第23回技術委員会で、現在は体調の理由で委員を辞任されておられる村山朔郎先生が、「明石海峡大橋の2P、3Pで、水中コンクリートと気中コンクリートの継目が地震時に切断されないように、連結材を入れておく必要がある」と指摘された。その時、福岡正巳先生も「地震時には思いもかけないようなことが起りますよ」と同調された。岡本舜三委員長も「まだ手が打てるのであれば手を打っておいた方が賢明でしょう」と結論された。その御指摘に沿った対策をとったが、その時の3人の先生方の御発言が、今回の地震で思い当たる場面に直面している。自然の威力は諸先生の御指摘の通りであったのである。

その第二は約13年前、昭和57年(1982)3月21日、北海道南端を浦河沖地震が襲った時のことである。直ちに衆議院災害対策特別委員会が現地調査に入った。国道235号(室蘭～浦河)の静内川にかかる昭和37年に架設した橋梁の橋脚が数本剪断破壊され、不通になっていた。橋脚は鉄筋コンクリートの円型1本橋脚である。しかし、そのすぐ下流にある昭和7年建造のレンガ化粧の鉄道橋は何も損傷を受けていなかった。設計技術、施工技術が進むとともに構造物は巨大化していく。その巨大化の中で見落しているものを明示した事例であったが、その教訓は、残念ながらその後十分に活用されていたとは言えない事態が今回随所に起ってしまった。一度建設してしまったものの補強対策の難しさを物語っている。

当公団の技術は保守的であるとの指摘がある。とくに外国人にその声がある。また、施工法についても丁寧すぎて高価なものにつくのではないかととの評価もある。しかし、理論的には圧縮力しか作用しない部分に、引張力や、曲げモーメントを受けた形跡が認められることを今回我々は経験した。新設計、新工法の採用に当たって、充分慎重に考慮すべきことを知った。とくに、規模を大にしていく段階では、それは経験の外、いわゆる外挿の領域にあることを忘れてはならないことを認識させられた。技術開発の美名に酔って、安易に新設計、新工法に飛びついてはいけなくとも感得した筈である。人智の及ばない自然の前では従来の経験をかなり大きくはみ出さざるを得ないときには、出来る限りの実証を積み重ねなければならない。冒険と臆病という感情的な評価ではなく、自然の威力を直視する姿勢が肝要と考える次第である。

マスコンクリートの塗装に関する調査(その2)

Investigation on Coating of Mass Concrete—(Part II)

企画開発部付
(前)設計部

設計第三課長

野村直茂

Naosige Nomura

設計部 設計第三課

森下尊久

Takahisa Morishita



概要

吊橋等の塔基礎、アンカレイジのコンクリートには、構造物の機能上あるいは景観への配慮から各種のひび割れ制御が実施されているが、ひび割れを皆無にすることは避けられないのが実状である。

上記に対処する一方法として、本州四国連絡橋公団では塗装による場合に、マスコンクリートに適した塗装系を選定するため、昭和62年から実橋での試験塗装を含め調査を進めてきた。

本文は、調査の主たる部分である櫃石島橋2Pにおける5年目、および備讃瀬戸大橋7Aにおける3年目の試験塗装調査が終了したことを受け、それを踏まえて作成したマスコンクリート用塗装基準(案)とあわせ報告するものである。

It is unavoidable to occur cracks in the concrete for tower piers and anchorages of suspension bridge, even if such a structure would employ various crack control measures for structural and aesthetic considerations.

For countermeasures to cope with such cracks, the Honshu-Shikoku Bridge Authority has commenced investigations since 1987, to develop a suitable coating system for the mass concrete structures, including trial coating works onto real bridges.

This paper reports on results of the trial coating works, which were vital part of the investigation composed of the 5-year records of trial work at 2P pier of the Hitsuishijima Bridge and the 3-year records at 7A anchorage of the Minami-Bisanseito Bridge, as well as the coating specification of HSBA on the mass concrete structures, which has been specified based on such investigations.

1. まえがき

本州四国連絡橋のうち特に海峡部橋梁の基礎(塔基礎、アンカレイジ)は、海塩粒子等による厳しい劣化条件におかれるマスコンクリートとなる。これらには、構造物の機能上からは耐久性および防水性が、また景観面からは周辺に与える影響を極力小さくすることが要求され、設計・施工において各種のひび割れ制御が施されている。しかしながら、ひび割れを皆無にすることは避けられないのが実状である。

上記の課題に対処する一つの方法として、塗装による場合に、マスコンクリートに適した塗装系を選定することを目的に、昭和62年から実橋での試験塗装を含めた調査を進めてきた。

本文は、調査の主たる部分である櫃石島橋2P(HB2P)における5年目、および備讃瀬戸大橋7A(BB7A)における3年目の試験塗装調査などが終了したことを受け、その調査結果およびそれを踏まえて作成したマスコンクリート用塗装基準(案)について報告を行うものである。

なお、調査をはじめた昭和62年から丸3年にわたる実橋での試験塗装を含めた調査結果については、中間報告がなされている¹⁾。したがって、ここでは主として平成3

年度以降に行った調査結果について報告するが、必要に応じて既報告分も含むものとした。

表一1に各年度別実施内容と結果の概要を示す。

2. 試験内容

本調査ではマスコンクリート向けとして、特に大きなものを除き、ひび割れを塗装のみで補修することに重点をおき、ひび割れ追従性や耐候性に富むと思われる塗装仕様を選択している²⁾。各種の品質確認試験を実施した10種類の塗装仕様を表一2に示す。また、品質確認試験の内容を表一3に示す。

実橋での試験塗装は、他の工事に支障がなく、事前調査においてひび割れの状況が試験に適していると判断されたHB2PおよびBB7Aにて実施した。HB2Pでは、昭和63年3月に塗装を行ったが、同時にひび割れ補修の有無による差異を確認するため、ひび割れ部にUカット処理を施している。BB7Aでは、HB2Pでの塗膜の状況をふまえ、仕様を6種に絞ったうえ、平成元年11月に塗装を行った。

なお、HB2P上には試験塗装データを補完するために、試験塗装と同じ仕様の暴露サンプルを架台上に配置した。

表一1 各年度別実施内容と結果の概略
Tab.1 Summary of annual test items and results

	昭和62年度	昭和63年度	平成元年	平成2年度	平成3年度	平成4年度	平成9年度(予定)
実施内容 と結果の概略	実橋試験塗装 1. 樫石島橋2P天端、コンクリート塗装の試験塗装実施 〔試験塗装の各仕様は表-2に示す10種〕 2. 上記場所のコンクリートひび割れ調査 〔ひび割れの分布と動きを調査した〕	1. 樫石島橋2P、1年目調査 〔結果は、表-4参照〕 2. 樫石島橋2P夏場のコンクリートのひび割れ調査 〔コンクリートのひび割れの動きは、最も大きいところで年間0.5mm程度である。(夏場に0.1mm→冬場に0.6mm)〕	1. 南備讃瀬戸大橋7A(備讃7A)西側壁面への試験塗装実施 〔試験塗装の各仕様は表-2に示すとおり〕 2. 上記場所のコンクリートひび割れ調査 〔ひび割れの動きは、年間最大約0.7mmと推定された〕	1. 樫石島橋2P、3年目調査 〔結果は、表-4参照〕 2. 備讃7A、1年目調査 〔結果は、表-4参照〕	1. 樫石島橋2P、4年目調査 〔結果は、表-4参照〕 2. 備讃7A、2年目調査 〔結果は表-4参照〕	1. 樫石島橋2P、5年目調査 〔結果は、表-4参照〕 2. 備讃7A、3年目調査 〔結果は、表-4参照〕	1. 樫石島橋2P、10年目調査 2. 備讃7A、8年目調査
	3. 暴露試験体作製ならびに暴露開始 〔場所は、樫石島橋2P天端〕	3. 暴露試験体、1年目調査 〔結果は、表-4参照〕 4. 促進試験 〔結果は、表-4参照〕	—	3. 暴露試験体、3年目調査 〔結果は、表-4参照〕	—	3. 暴露試験体、5年目調査 〔結果は、表-4参照〕	3. 暴露試験体、10年目調査
	—	—	—	基準の作成	3. コンクリート塗装基準(案)原案の作成	4. コンクリート塗装基準(案)の作成 〔原案を平成4年度調査結果により見直し〕	—
その他	—	—	3. 本四連絡橋アンカレッジの汚れ調査 〔雨水の通り道となるところ及び北面にて汚れが多い。汚染物質は、カビ、藻類、鉄錆、遊離石灰などであった〕	4. 他機関の基準類及び事例調査 5. 塗装材料市場調査 6. コンクリート塗装の耐久性と塗り替えについて、文献調査とヒアリング調査 〔建築関係では7~12年で塗り替えられることが多い〕 7. 本四連絡橋コンクリート塗装の現状調査	4. 若戸大橋アンカレッジのコンクリート塗装調査 5. コンクリート構造物の意匠性調査	5. 暴露供試体の移設 〔樫石島橋2Pから下津井瀬戸大橋2Pへ移設〕 6. コンクリート塗装に関する調査研究のまとめ	—

表-2 試験塗装仕様
Tab.2 Specifications for trial coating

○印は試験を実施した塗装仕様

仕様	塗装系	塗装仕様			総膜厚 (μm)	HB2P 実橋塗装 (塔基礎天端面)	BB7A 実橋塗装 (西側下方壁面)	実橋暴露 サンプル試験	促進試験
		下塗り	中塗り	上塗り					
1	ポリブタジエン A 社 500 μm	エポキシ系プライマー エポキシ系パテ	ポリブタジエン樹脂塗料 250 μm ローラー2 回塗り	フッ素樹脂塗料 30 μm ローラー2 回塗り	560	○ コンクリートひび割れ部の U カット処理の有・無について実施	○ コンクリートひび割れ部 U カット無	○	○
1'	ポリブタジエン B 社 500 μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500 μm コテ 1 回塗り	同 上	560	○ 同 上	—	○	○
2	ポリブタジエン A 社 1000 μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500 μm ローラー2 回塗り	同 上	1060	○ 同 上	—	○	○
2'	ポリブタジエン B 社 1000 μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500 μm コテ 2 回塗り	同 上	1060	○ 同 上	○ 同 上	○	○
3	シリコン	塩ビ系プライマー	シリコン樹脂塗料 350 μm ローラー2 回塗り	—	700	○ コンクリートひび割れ部 U カット処理の有・無について実施	改良型 ○ コンクリートひび割れ部 U カット無	○	○
4	アクリルゴム	エポキシ系プライマー	アクリルゴム 500 μm ローラー2 回塗り	ウレタン樹脂塗料 50 μm ローラー1 回塗り	1100	○ コンクリートひび割れ部 U カット無	○ コンクリートひび割れ部 U カット無	○	○
5	FRP	ウレタン系プライマー	ポリエステル樹脂とガラス マット ローラー塗り	ポリエステル樹脂塗料 50 μm ローラー1 回塗り	2000	○ コンクリートひび割れ部 U カット無、 特殊シート介在	○ コンクリートひび割れ部 U カット無、 特殊シート介在	○	○
6	ポリマーセメント	アクリル系プライマー アクリル系パテ	アクリルポリマーセメント ローラー3 回塗り	—	390	○ コンクリートひび割れ部 U カット処理の有・無について実施	—	○	○
7	レジンモルタル	—	エポキシレジンモルタル スプレー1 回塗り	—	5000	○ 同 上	○ コンクリートひび割れ部 U カット無、 特殊シート	○	○
7'	レジンモルタル	エポキシ系プライマー	エポキシレジンモルタルと ビニロンクロス スプレー	フッ素樹脂塗料 30 μm ローラー2 回塗り	5000	○ 同 上	—	○	○

表-3 コンクリート塗装試験項目
Tab.3 Test items on concrete coating

試験項目		試験内容	
I	実橋試験塗装	HB2P、BB7A にて塗装 1、3、5、(10)年後調査	
II	サンプル暴露による 試験(HB2P 上にて暴露)	外 観	モルタル板にて塗装 1、3、5、(10)年後調査
		付 着	コンクリートブロックにて調査 1、3、5、(10)年後調査
		中 性 化 性	150×150×150 mm コンクリート ブロックにて調査 1、3、5、(10)年後調査
		ひび割れ追従性	鋼板利用、0 mm、2 mm スパンにて調査 1、3、5、(10)年後調査
III	促進試験	外 観・付 着	モルタル板にて調査、500 Hr
		遮 塩 性	フリーフィルム、3%NaClaq/ H ₂ O、30 日(日本道路協会方式)、 500 Hr
		ひび割れ追従性	鋼板利用、0 mm、2 mm スパンにて調査、500 Hr
	耐アルカリ性 (Ca(OH) ₂ aq 浸漬)	外 観・付 着	モルタル板にて調査、30 日
	中性化促進 (CO ₂ 雰囲気中)	中 性 化	コンクリートブロックにて調査 1、3、5 カ月

また、促進試験は、塗膜のコンクリートへの付着性、遮塩性、ひび割れ追従性、耐アルカリ性、耐中性化性を把握するために実施した。

以上の試験状況について、HB2P の試験塗装を写真-1 に、BB7A (西側側面) の試験塗装を写真-2 に、促進耐候性試験後のひび割れ追従性試験を写真-3 に示す。

3. 試験結果

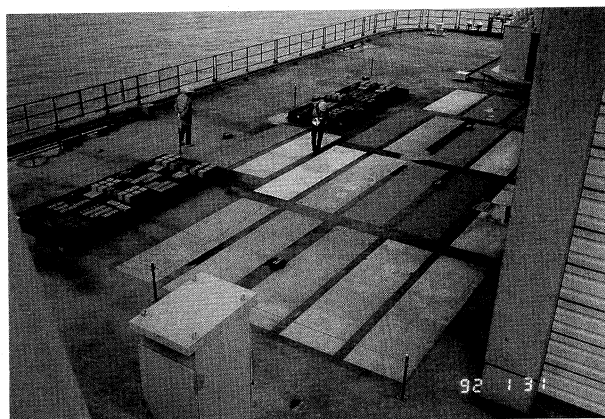
実橋試験塗装、サンプル暴露試験、促進試験の結果をまとめて表-4 に、また各塗装仕様の評価を同表下欄に示した。

各塗装仕様別にみると、ポリブタジエン系では、試験塗装の塗膜 500 μm 仕様 (No.1、No.1') において塗膜割れが発生し、塗膜のひび割れ追従性が十分でないことがわかった。膜厚 1000 μm 仕様 (No.2、No.2') は、促進試験の耐アルカリ性試験で一部ふくれが発生したが、概ね良好な結果が得られた。

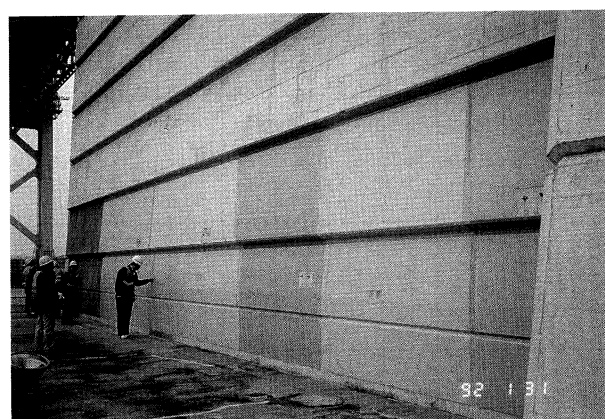
シリコン樹脂系 (No.3) は、試験塗装の初期に塗膜の割れ・剥離が生じたため、BB7A における試験以降は改良タイプで試験を実施している。改良タイプのサンプル暴露試験および促進試験は実施していないため、ここでの評価は改良前の仕様について行った。

アクリルゴム系 (No.4) は、試験の対象とした塗装系の中で最もひび割れ追従性がよく、その他の品質も良好である。しかし、エマルジョンタイプの塗装系 (ワニス、樹脂、顔料などを水中に分散、乳化して作られた塗料) であるため、施工時にコンクリート表面が十分乾燥していないと、ふくれ発生の原因になりやすいこと、また密着力が 2 液反応硬化型タイプに比べ低いことに留意が必要である。

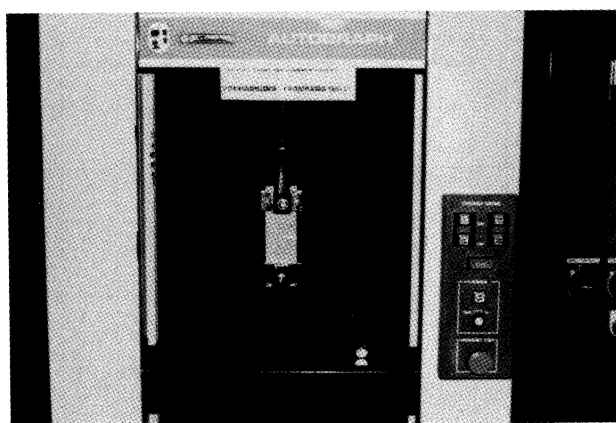
FRP 塗装系 (No.5) は、材料としての伸び性が低いため、ひび割れ追従性の向上を目的にコンクリートひび割



写真一1 HB2P上の試験塗装状況
Photo.1 View of trial coating on HB2P



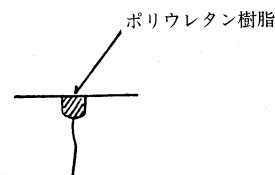
写真一2 BB7A(西側前方側面)試験塗装状況
Photo.2 View of trial coating on BB7A (front surface of the west side)



写真一3 ひび割れ追従性試験状況
Photo.3 Testing for elongation adaptability of paint film to crack growth

れ部に特殊シートを介在させる工法を採用したが、特殊シートの端部を起点に塗膜割れが発生し、全体として十分なひび割れ追従性は得られなかった。

ポリマーセメント系 (No.6)、レジンモルタル系 (No.7、No.7') は、コンクリートひび割れ部において、塗膜の割れが認められた。また、一部で黄変が認められている。



図一1 Uカット処理例(仕様No.2)
Fig.1 Example of U-cut (spec. No.2)

なお、HB2Pにおける試験塗装では、一部コンクリートのひび割れ部をUカット処理(図一1参照)し、塗装を実施しているが、ポリブタジエン系でUカット処理部に若干の凹みが生じ、汚れが見られるほか、Uカット処理したエッジ部で塗膜の割れが見られ、Uカット処理によるコンクリートひび割れ補修は美観および品質上、注意すべき問題があることがわかった。

4. 塗装基準(案)の要点

過去6年間にわたり行った調査結果をふまえ「海峡部橋梁マスコンクリート塗装基準(案)」²⁾(以下、「本基準(案)」という。)を作成した。本基準(案)にはできるだけ試験データを取り込み、実用にあたっての便宜を図った。目次を以下に示す。

- 1 総 則
 - 1.1 適用範囲
 - 1.2 一 般
 - 1.3 関連規格等
- 2 事前調査
 - 2.1 調査の目的
 - 2.2 調査の方法
- 3 塗装設計
 - 3.1 コンクリート塗装工法
 - 3.2 被覆材料
- 4 施工と施工管理
 - 4.1 施工の基本
 - 4.2 コンクリート表面被覆
 - 4.3 施工管理
 - 4.4 追跡調査

ここで、本基準(案)の中核をなす「3.2被覆材料」における塗装品質規格(案)は、HB2P、BB7Aにおける塗装試験結果を重視し、品質に変状が見られた塗装仕様における促進試験の結果をふまえ定めた。

その他の事項については基本的事項のみを定めることとした。これは、コンクリート塗装用材料には多くの種類があり、今後も優れた材料が開発されることが予見されること、および特に施工面においては、各材料ごとに施工管理内容が異なっている現状を考慮したことによる。

本基準(案)に定めたコンクリート塗装品質規格(案)を、「建設省総合開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発」³⁾、「日本道路公団維持修繕要領、橋梁編」⁴⁾の塗装品質規格とともに、表一5に示す。

表-4 各塗装系の試験結果

Tab.4 Test results of respective coating systems

塗 装 系											
無 塗 装	No.1 ポリブタジエン500μm	No.1' 同 左	No.2 ポリブタジエン1000μm	No.2' 同 左	No.3 シリコン700μm	No.4 アクリルゴム1000μm	No.5 FRP 2000μm	No.6 ポリマーセメント400μm	No.7 レンタンセメント5000μm	No.7' 同左 クロス入り	
樫 石 2 P (S62年度施工)	1 年	良	良	良	塗膜割れ、剥離	良	浮 き	黄 変	一部黄変	塗膜表面微細割れ	
	3 年	良	良	良	塗膜割れ、剥離	良	塗膜割れ	塗膜割れ	一部黄変	塗膜割れ	
	4 年	良	良	良	塗膜割れ、剥離	良	塗膜割れ	塗膜割れ	一部黄変	塗膜割れ	
	5 年	良	良	良	塗膜割れ、剥離	良	塗膜割れ	塗膜割れ	一部黄変	塗膜割れ	
	1 年	塗膜ピンホール	—	—	良(注1)	良	良	—	良	—	
備 7 A (平成元年度施工)	2 年	塗膜割れ	—	—	良(注1)	良	良	—	良	—	
	3 年	塗膜割れ	—	—	良(注1)	良	良	—	良	—	
	初 期	良	良	良	良	良	良	良	良	良	
	1 年	良	良	良	汚れ多	良	黄変	汚れ多	汚れ多	良	
	3 年	良	良	良	汚れ多	良 (経年劣化有り)	黄 変	汚れ多	汚れ多	良	
外 観	5 年	良	良	良	汚れ多	良 (経年劣化有り)	黄 変	汚れ多	汚れ多	良	
	初 期	17.3	13.3	16.7	14.0	7.0	9.7	16.7	14.3	13.0	
	1 年	17.3	14.3	17.0	12.3	10.0	10.3	16.3	12.6	8.7	
	3 年	12.0	14.0	18.3	13.7	9.0	11.3	4.7	6.7	8.3	
	5 年	21.7	17.0	16.3	13.3	5.3	8.0	18.7	13.3	8.3	
付 着 (kgf/cm ²)	3 年	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	
	5 年	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	塩分の注入は認められない	
	3 年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5 年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20℃、 0 mm スパシ	3.5	1.7	2.2	1.9	0.4	6.5	1.2	0.5	2.2	3.5
性 質 (表面から平均10mm深 さの塩分を分析)	20℃、 2 mm スパシ	2.5	2.4	4.0	3.2	0.4	12.0	1.6	1.3	2.5	3.4
	0℃、 0 mm スパシ	1.3	0.8	1.1	1.5	0.3	5.0	0.3	0.3	1.0	1.7
	0℃、 2 mm スパシ	0.5	1.2	1.5	2.2	0.1	4.4	0.5	0.3	1.0	1.7
	20℃、 0 mm スパシ	2.5	1.3	1.7	2.1	1.0	7.4	1.2	0.6	—	3.4
	20℃、 2 mm スパシ	3.9	1.9	3.9	3.2	0.7	10.3	1.2	—	2.4	3.7
中 性 化 (表面からの中性化深さmm)	0℃、 0 mm スパシ	1.1	1.2	0.9	1.8	0.6	4.4	1.4	—	1.7	1.7
	0℃、 2 mm スパシ	1.0	1.1	1.2	2.1	0.8	4.6	0.9	1.7	1.1	1.1
	20℃、 0 mm スパシ	3.5	1.7	2.2	1.9	0.4	6.5	1.2	0.5	2.2	3.5
	20℃、 2 mm スパシ	2.5	2.4	4.0	3.2	0.4	12.0	1.6	1.3	2.5	3.4
	0℃、 0 mm スパシ	1.3	0.8	1.1	1.5	0.3	5.0	0.3	0.3	1.0	1.7
ひ び 割 れ 進 捗 性 (伸びの長さmm)	0℃、 2 mm スパシ	0.5	1.2	1.5	2.2	0.1	4.4	0.5	0.3	1.0	1.7
	20℃、 0 mm スパシ	2.5	1.3	1.7	2.1	1.0	7.4	1.2	0.6	—	3.4
	20℃、 2 mm スパシ	3.9	1.9	3.9	3.2	0.7	10.3	1.2	—	2.4	3.7
	0℃、 0 mm スパシ	1.1	1.2	0.9	1.8	0.6	4.4	1.4	—	2.0	1.7
	0℃、 2 mm スパシ	1.0	1.1	1.2	2.1	0.8	4.6	0.9	1.7	1.1	1.1

試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	1.6	1.5	1.9	0.5	7.0	1.5	0.4	2.4	3.1		
					20℃、 2 mm スパン	—	1.8	2.3	2.1	0.6	11.4	2.0	0.7	2.4	2.9		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.3	0.6	0.5	4.0	1.2	0.6	1.2	1.5		
					0℃、 2 mm スパン	—	0.6	1.1	0.7	0.5	5.5	1.3	0.5	1.1	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	2.6(注2)	1.7	2.2	0.4	6.5	0.9	0.5	2.2	3.5		
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5(注2)	1.9	4.0	0.4	12.0	0.9	1.3	2.0	3.4		
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.5(注2)	1.6(注2)	2.8	2.5	1.0	7.3	1.2	0.7	3.2	2.5	
					20℃、 2 mm スパン	—	3.8(注2)	2.3(注2)	4.2	2.1	1.0	9.1	1.2	1.1	1.9	2.6	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	3.8×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	8.4×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下		
					初期	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	16.0	1.0	0.7	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3
					初期	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					初期	—	20.3	18.0	19.3	16.7	13.3	12.7	20.0	20.3	12.7	16.7	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	1.6	1.5	1.9	0.5	7.0	1.5	0.4	2.4	3.1		
					20℃、 2 mm スパン	—	1.8	2.3	2.1	0.6	11.4	2.0	0.7	2.4	2.9		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.3	0.6	0.5	4.0	1.2	0.6	1.2	1.5		
					0℃、 2 mm スパン	—	0.6	1.1	0.7	0.5	5.5	1.3	0.5	1.1	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	2.6(注2)	1.7	2.2	0.4	6.5	0.9	0.5	2.2	3.5		
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5(注2)	1.9	4.0	0.4	12.0	0.9	1.3	2.0	3.4		
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.5(注2)	1.6(注2)	2.8	2.5	1.0	7.3	1.2	0.7	3.2	2.5	
					20℃、 2 mm スパン	—	3.8(注2)	2.3(注2)	4.2	2.1	1.0	9.1	1.2	1.1	1.9	2.6	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	3.8×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	8.4×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下		
					初期	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	16.0	1.0	0.7	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3
					初期	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					初期	—	20.3	18.0	19.3	16.7	13.3	12.7	20.0	20.3	12.7	16.7	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	1.6	1.5	1.9	0.5	7.0	1.5	0.4	2.4	3.1		
					20℃、 2 mm スパン	—	1.8	2.3	2.1	0.6	11.4	2.0	0.7	2.4	2.9		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.3	0.6	0.5	4.0	1.2	0.6	1.2	1.5		
					0℃、 2 mm スパン	—	0.6	1.1	0.7	0.5	5.5	1.3	0.5	1.1	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	2.6(注2)	1.7	2.2	0.4	6.5	0.9	0.5	2.2	3.5		
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5(注2)	1.9	4.0	0.4	12.0	0.9	1.3	2.0	3.4		
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.5(注2)	1.6(注2)	2.8	2.5	1.0	7.3	1.2	0.7	3.2	2.5	
					20℃、 2 mm スパン	—	3.8(注2)	2.3(注2)	4.2	2.1	1.0	9.1	1.2	1.1	1.9	2.6	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	3.8×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	8.4×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下		
					初期	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	16.0	1.0	0.7	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3
					初期	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					初期	—	20.3	18.0	19.3	16.7	13.3	12.7	20.0	20.3	12.7	16.7	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	1.6	1.5	1.9	0.5	7.0	1.5	0.4	2.4	3.1		
					20℃、 2 mm スパン	—	1.8	2.3	2.1	0.6	11.4	2.0	0.7	2.4	2.9		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.3	0.6	0.5	4.0	1.2	0.6	1.2	1.5		
					0℃、 2 mm スパン	—	0.6	1.1	0.7	0.5	5.5	1.3	0.5	1.1	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	2.6(注2)	1.7	2.2	0.4	6.5	0.9	0.5	2.2	3.5		
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5(注2)	1.9	4.0	0.4	12.0	0.9	1.3	2.0	3.4		
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.5(注2)	1.6(注2)	2.8	2.5	1.0	7.3	1.2	0.7	3.2	2.5	
					20℃、 2 mm スパン	—	3.8(注2)	2.3(注2)	4.2	2.1	1.0	9.1	1.2	1.1	1.9	2.6	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	3.8×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	8.4×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下		
					初期	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	16.0	1.0	0.7	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3
					初期	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					初期	—	20.3	18.0	19.3	16.7	13.3	12.7	20.0	20.3	12.7	16.7	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	1.6	1.5	1.9	0.5	7.0	1.5	0.4	2.4	3.1		
					20℃、 2 mm スパン	—	1.8	2.3	2.1	0.6	11.4	2.0	0.7	2.4	2.9		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.3	0.6	0.5	4.0	1.2	0.6	1.2	1.5		
					0℃、 2 mm スパン	—	0.6	1.1	0.7	0.5	5.5	1.3	0.5	1.1	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—	2.6(注2)	1.7	2.2	0.4	6.5	0.9	0.5	2.2	3.5		
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5(注2)	1.9	4.0	0.4	12.0	0.9	1.3	2.0	3.4		
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.5(注2)	1.6(注2)	2.8	2.5	1.0	7.3	1.2	0.7	3.2	2.5	
					20℃、 2 mm スパン	—	3.8(注2)	2.3(注2)	4.2	2.1	1.0	9.1	1.2	1.1	1.9	2.6	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	3.8×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	8.4×10 ⁻²	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下		
					初期	—	2×10 ⁻⁴ 以下	2×10 ⁻⁴ 以下	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	16.0	1.0	0.7	—	—	1.7	0.2	0.1	1.1	0	0.3
					初期	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
					初期	—	20.3	18.0	19.3	16.7	13.3	12.7	20.0	20.3	12.7	16.7	
					促進耐候性試験後 (ウェザーメーター 500Hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
試験促進	塗膜の外観	中性化試験 3% NaCl aq 20℃、30日間 (mg/cm ² ・日)	ひび割れ追従性 (伸びの長さmm)	初期	20℃、 0 mm スパン	—	2.7	1.5	3.0	3.0	0.9	11.3	1.1	0.9	2.0	4.6	
					20℃、 2 mm スパン	—	2.5	2.8	2.5	0.9	12.4	1.6	1.0	2.6	4.2		
					0℃、 0 mm スパン	—	0.7	1.5	0.6	0.5	9.5	0.4	0.4	1.4	1.6		
					0℃、 2 mm スパン	—	1.1	1.0	0.9	0.5	7.9	0.8	0.5	1.3	1.3		
					20℃、 0 mm スパン	—</											

総合計	評価	注
(注1) 高機能Aシリコンは改良タイプ	(注2) サンプルの膜厚 実測値約800~1000 μ m で仕様膜厚に対し厚い	(注3) ハッチ部分は「評価」に關係し、不良と判定した部分を示す。

表-5 コンクリート塗装品質規格比較表

Tab.5 Comparison of quality requirements on concrete coating

試験項目	機関名		建設省 プロジェクト (H.元.5) ³⁾	日本道路公団 橋梁編 (S.63.5) ⁴⁾	本州四国連絡橋公団 海峽部橋梁 マスコンクリート塗装基準 (案) ²⁾	本州四国連絡橋公団基準作成上の特記事項
	初期	常温試験				
ひび割れ追従性			RC対象、0.2mm以上	0.4mm以上	2.0mm以上	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果から基準値を定めた。
		-20℃試験	—	0.2mm以上	—	—
塩 性		促進耐候性試験後 (常温)	—	ウェザーメーター 700Hr 0.2mm以上	ウェザーメーター 500Hr 1.5mm以上	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果から基準値を定めた。
		性 (塩素イオン透過量)	1×10 ⁻³ mg/cm ² ・日以下	0.5×10 ⁻³ mg/cm ² ・日以下	1×10 ⁻³ mg/cm ² ・日以下	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果、並びに左に示した他機関の基準値を考慮し、建設省塩害補修指針 (案) と同じ基準値とした。
中 性 化 阻 止 性			—	30℃ 60%RH、CO ₂ 5% 中性化深さ1mm以下	30℃ 60%RH、CO ₂ 5% 中性化深さ1mm以下	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果、並びに左に示した他機関の基準値を考慮し、日本道路公団規格と同じ基準値とした。
	初 期		—	塗膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、割れ、はがれのないこと	塗膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、割れ、はがれのないこと	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果、並びに左に示した他機関の基準値を考慮し、日本道路公団規格と同じ基準値とした。
塗 膜 の 外 観	耐アルカリ性試験後		飽和Ca(OH) ₂ aq 30日間浸漬 異常ないこと	飽和Ca(OH) ₂ aq 10日間浸漬 塗膜にふくれ、割れ、はがれのないこと	飽和Ca(OH) ₂ aq 30日間浸漬 ふくれ、割れ、はがれ、軟化溶出のないこと	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果、並びに左に示した他機関の基準値を考慮し、日本道路公団規格に準じた。
	促進耐候性試験後		ウェザーメーター-300Hr 異常ないこと	ウェザーメーター 700Hr 白亜化はなく、塗膜にふくれ、割れ、はがれのないこと	ウェザーメーター 500Hr 白亜化、変色がほとんどなく塗膜に割れ、はがれのないこと	コンクリート塗装に関する調査研究の試験結果、並びに左に示した他機関の基準値を考慮し、日本道路公団規格に準じた。
	温冷繰り返し試験後		—	温冷繰り返し 10回 塗膜にふくれ、割れ、はがれのないこと	—	—
	初 期		界面破壊がないこと (付着力の規定なし)	付着力 10kgf/cm ² 以上	付着力 7kgf/cm ² 以上	上記試験のほか、JIS A6910被覆塗材 E で 7kgf/cm ² 以上としており、この値を下限值とした。
コンクリートとの付着性	耐アルカリ性試験後		—	飽和Ca(OH) ₂ aq 30日間浸漬 付着力 10kgf/cm ² 以上	飽和Ca(OH) ₂ aq 10日間浸漬 付着力 5kgf/cm ² 以上	上記試験のほか、JIS A6910被覆塗材 E で 5kgf/cm ² 以上としており、この値を下限值とした。
	促進耐候性試験後		—	ウェザーメーター 700Hr 付着力 10kgf/cm ² 以上	—	—
	温冷繰り返し試験後		—	温冷繰り返し 10回 付着力 10kgf/cm ² 以上	—	—
酸 素 透 過 阻 止 性	初 期		—	酸素透過量 5×10 ⁻² mg/cm ² ・日以下	—	透過阻止性試験は逆塩性試験で代表させることにした。
水 蒸 気 透 過 阻 止 性	初 期		—	水蒸気透過量 5.0mg/cm ² ・日以下	—	透過阻止性試験は逆塩性試験で代表させることにした。

ひび割れ追従性は、マスコンクリートのひび割れ挙動²⁾を勘案すれば、中小規模構造物を対象とした規定値では不十分であると考え、試験結果から常温試験で2.0 mm以上、促進耐候性試験後で、1.5 mm以上とした。

遮塩性試験、中性化阻止性試験、耐アルカリ性試験、促進耐候性試験の規格値は、試験結果および他機関で定められているものを参考に設定した。

付着力試験では、塗装材料により得られる付着力が異なり、2液反応硬化型の材料では10 kgf/cm²以上、エマルジョンタイプでは7 kgf/cm²以上(初期値)が必要と判断されるが、本基準(案)ではJIS A 6910に示されている被覆塗材E(エマルジョンタイプ)の値を基準とすることとした。この値は、付着力として必要最低限と考えられるものである。

5. 今後の調査予定

前出の表-1および表-3に示すように、試験塗装10年後(平成9年度)にも確認調査として、外観、付着試験、遮塩性試験、中性化阻止性試験およびひび割れ追従性試験を行うことを予定している。また、この時期に本四連絡橋のアンカレイジ上屋天井スラブの防水層、あるいは橋脚上面の防水用として実用に供されているポリブタジエン系およびアクリルゴム系についても調査し、あわせて評価することが望ましいと考えられる。

なお、HB2P橋脚上の暴露サンプル一式は、平成4年10月に下津井瀬戸大橋2P橋脚上に移設を行っている。

6. あとがき

以上より、海峡部橋梁のマスコンクリートに塗装を行う際の塗装仕様としては、ポリブタジエン系(膜厚1000 μm)あるいはアクリルゴム系(膜厚1000 μm)が効果的である、との成果を得た。また、調査結果等に基づき、本基準(案)を作成することができたが、コンクリート塗装が長期耐久性に与える効果および塗装を実施する時期(新設あるいは補修)等については今後の課題である。

なお、マスコンクリートの塗装に関する調査の詳細は、昭和62、63および平成元年、2、3、4年度報告書「コンクリート塗装に関する調査研究(その1)～(その6)」を参照されたい。最後に、本調査の実務担当者が(株)本州四国連絡橋エンジニアリングの兼田・船山の両氏であることを記します。

参考文献

- 1) 山田勝彦：マスコンクリートの塗装に関する調査、本四技報、Vol.15、No.58、'91.4
- 2) 本州四国連絡橋公団：海峡部橋梁マスコンクリート塗装基準(案)、平成5年3月
- 3) 財土木研究センター：建設省総合開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発、平成元年5月
- 4) 日本道路公団：維持修繕要領(橋梁編 第3編 コンクリート構造物〔Ⅱ〕高欄・地覆)、昭和63年5月

明石海峡大橋のキャットウォーク構造

Structure of Catwalk on Akashi Kaikyo Bridge

垂水工事事務所 第二工事長

河 口 浩 二

Koji Kawaguchi

垂水工事事務所 第二工事長代理

福 永 勸

Susumu Fukunaga



概 要

明石海峡大橋は中央径間が1,990 m、全長が3,910 mに達する超長大橋である。このため、キャットウォーク構造には従来構造とは異なる、以下の特徴を有する構造を採用した。

- ① ストームシステムの省略
- ② 制振装置の設置
- ③ キャットウォークロープに高強度スパイラルロープを採用
- ④ 盛り替え時のロープ長の調整にペンダントロープを採用

本稿は明石海峡大橋のキャットウォーク構造について取りまとめたものである。

The Akashi Kaikyo Bridge will be a super long-span bridge reaching 1990 meters in center span length and 3910 meters in overall length. Considering these structural features, the bridge has adopted unfamiliar catwalk system with the following structural characteristics:

- ① Omission of storm system
- ② Installation of damper system
- ③ Employment of high-tension spiral ropes for catwalk ropes
- ④ Employment of pendant ropes to adjust a rope length in reinstallation

This paper outlines this structure of catwalk system for the Akashi Kaikyo Bridge.

1. まえがき

明石海峡大橋は中央径間が1,990 m、全長が3,910 mに達する超長大橋である。このため、キャットウォーク構造には従来構造とは異なる、以下の特徴を有する構造を採用した。

- ① ストームシステムの省略
- ② 制振装置の設置
- ③ キャットウォークロープに高強度スパイラルロープを採用
- ④ 盛り替え時のロープ長の調整にペンダントロープを採用

本稿は明石海峡大橋のキャットウォーク構造について取りまとめたものである。

2. 構造の概要

キャットウォークの構造一般図を図-1に示す。キャットウォークは塔付定着金物、キャットウォークロープ、床組、クロスブリッジ及び制振装置からなる。

2.1 塔付定着金物

主塔の塔頂部は直接荷重伝達方式のサドルを有するた

め、塔頂部を絞った構造としている。このため、定着金物は主塔塔頂部ではちまき形状(図-2)として、側径間と中央径間の張力の差分のみを主塔に伝達する構造として塔内補強等の低減に努めた。

キャットウォーク定着ロッドには、キャットウォークロープのソケットを定着する時に、作業空間を確保するために定着ガーダーを引き込んだり、主塔のセットバック及びキャットウォーク盛り替え時のキャットウォーク長の調整のために、キャットウォーク定着ガーダーの位置

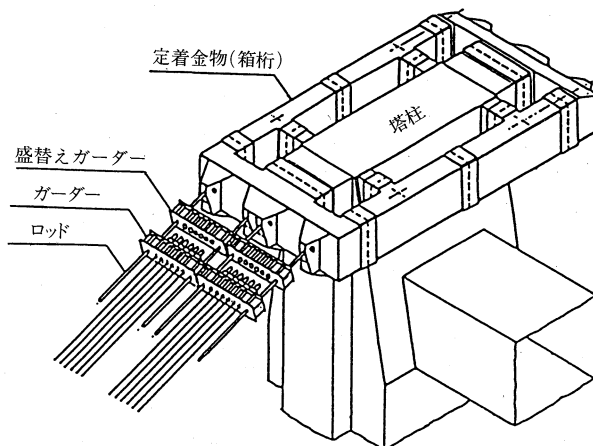
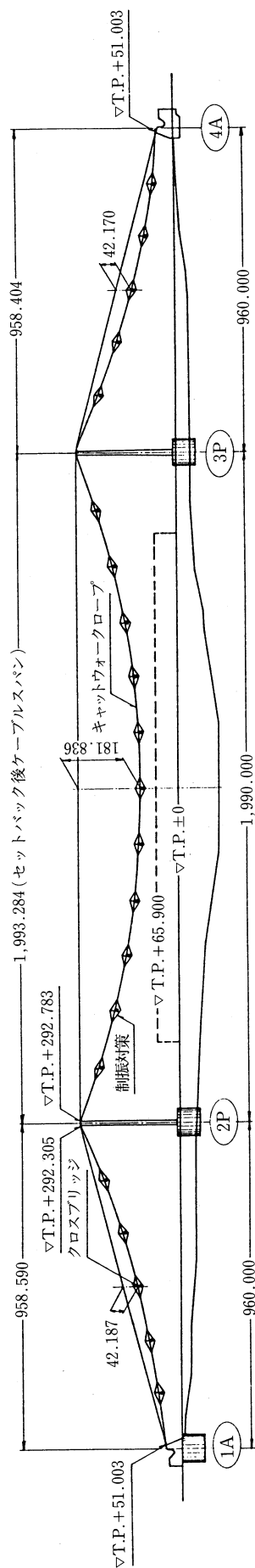
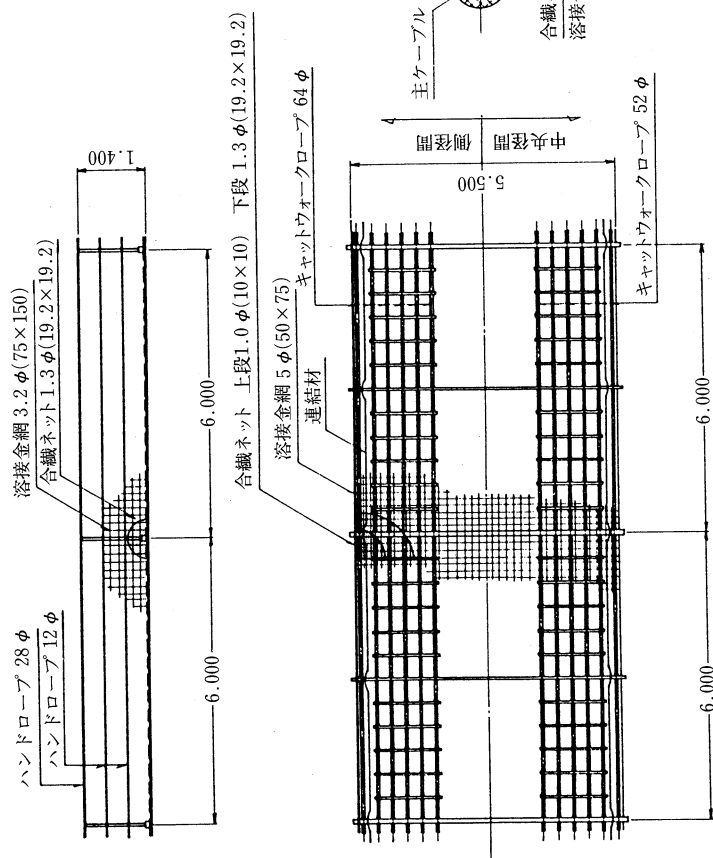


図-2 主塔塔頂部定着構造概要図

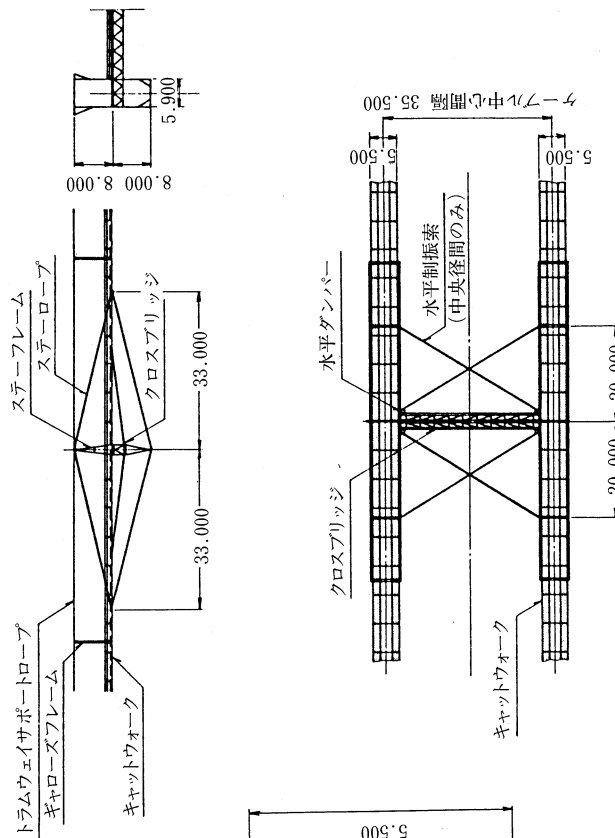
Fig.2 Outline of anchorage structure atop the tower



キャットウォーク床組一般図



制振対策一般図



図一1 キャットウォーク構造一般図

Fig.1 General plan of catwalk system

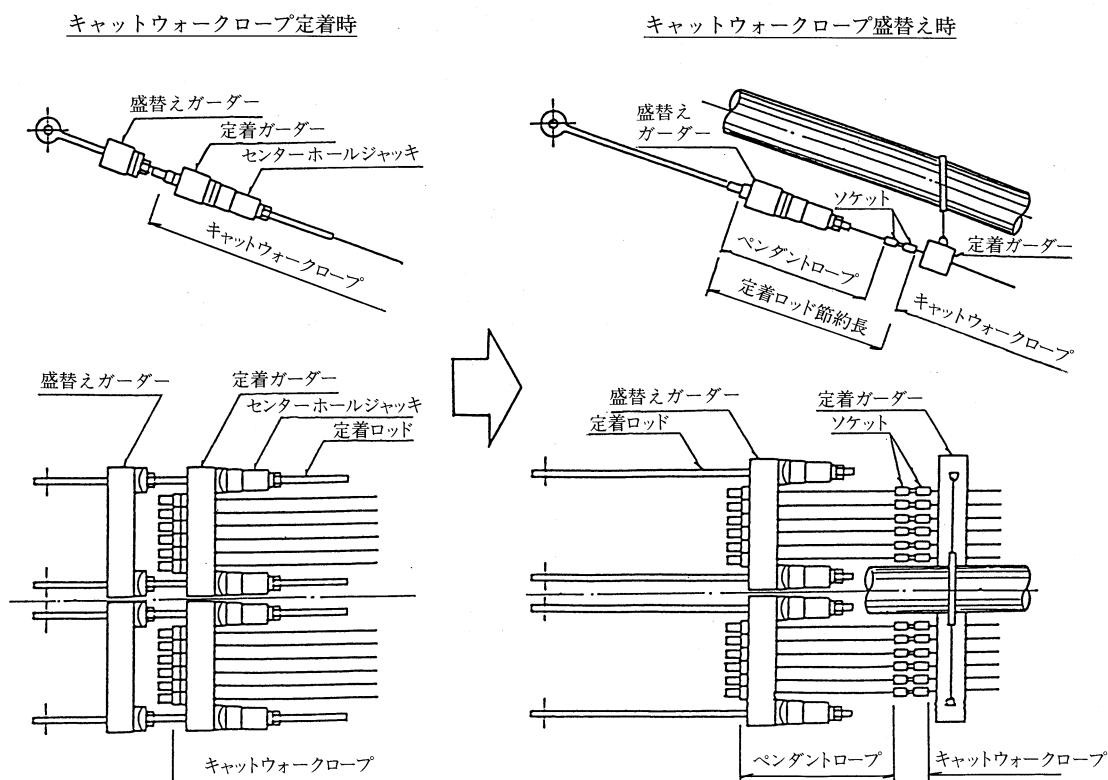


図-3 ペンダントロープ設置状況図
Fig.3 Installation of pendant rope

を調整するための余裕長が必要である。ストーム無しキャットウォークではストームロープのプレストレスの効果によるキャットウォークロープの張力減少分の調整がない分、ロッド長を短くできる。それでも大支間の明石海峡大橋ではロッド長が長くなり、製作上の問題が生ずるため、2連ガーダーとペンダントロープの組み合わせ(図-3)により、ロッド長を3.7m短くし8.3m(南備讃瀬戸大橋は6.3m)とした(表-1)。

明石海峡大橋のキャットウォークは支間長が長く、橋軸直角方向の変形を拘束するストームシステムがないため、暴風時のキャットウォーク定着部の水平角度変形は約 13° (設計条件¹⁾の抗力係数を用いた場合。風洞試験から求めた抗力係数を用いた場合は約 10°)と、南備讃瀬戸大橋の約 6° に対して非常に大きい。このため、球面軸受け(ユニバーサルジョイント)構造を採用し構造寸法を小さくした。

2.2 キャットウォークロープ

従来のキャットウォークでは柔軟性及び単位重量当り強度を考慮してIWSCロープを使用していたが、本橋ではロープ重量の軽減及びアンリーリング性の向上(ロープ解き出し時の段落ちの軽減)のため、柔軟性は幾分劣るものの単位重量当たりの強度が大きく、アンリーリング性の良いスパイラルロープを使用することとした。

スパイラルロープには、素線強度 200 kg/mm^2 の高Si炭素鋼線材を用いて、ロープ重量を軽減した²⁾。

ストーム無しキャットウォークの主塔セットバックは

表-1 定着ロッドの比較

Tab.1 Comparison in support rods

	ストームシステム	ペンダントロープ	ロッド径(mm)	ロッド長(m)
明 石	○	—	$\phi 155$	12
	—	—	$\phi 135$	11.5
	—	○	$\phi 135$	8.3
南備讃	○	—	$\phi 120$	6.3

中央径間と側径間のロープ張力差(キャットウォークの重量差)で行うため、ロープ径は中央径間を径52mm(200 kg/mm^2 の高強度鋼線)、側径間を径64mm(160 kg/mm^2 の従来強度鋼線)とした。

本橋のキャットウォークロープの引き出しはフリーハングで行ったが、太径ロープを長径間に渡ってフリーハングで航路限界を犯さず引き出すためには、キャットウォークロープリールに加わるバックテンションも大きくなる。一方、キャットウォークロープを工場でリールに巻き取る時の張力には限界があるため、スパイラルロープを使用したもののロープ解き出し時にロープの段落ちが生じやすくなったため、段落ち防止が大変であった。

また、キャットウォークロープが風で揺れて相互に衝突することによる騒音が発生した。これはスパイラルロープを使用したため、従来のIWSCロープと異なり、より真円に近いロープとなり、ウェイクギャロッピング(ロープ間隔/ロープ径 $=310/64=4.8$)等による振動が発生したものと考えられる。

2.3 キャットウォーク幅員

キャットウォークの幅員は、ストランド引き出しローラー配置後の作業員通路としての必要幅員の他、橋軸直角方向変形時にストランドと干渉しないよう余裕が必要である。

キャットウォークは非常に変形し易いため、橋軸直角方向に風が吹くと、ストランド群とキャットウォーク間に相対変位が生ずる。この場合、ストランド群がギャローズフレーム（ホーリングロープを支える門型支柱）と接触し、ストランド架設及びサグ調整に支障を来す。特にサグ調整時は、キャットウォークをストランド群に固定できないため、風による相対変位を防止できず、余裕がない場合、大幅な稼働率低下となる。ただし、作業限界風速を大きくすると、キャットウォーク幅を広げる必要があるため、作業限界風速を約7mとし、キャットウォーク幅を5.5m（南備讃瀬戸大橋は4.5m）とした（表-2）。

2.4 クロスブリッジ

クロスブリッジは、暴風時及び架設時のストランド荷重によるキャットウォーク床組のねじれ低減を目的として、約160m間隔で設置するものとした。

図-4にクロスブリッジ間隔をパラメーターとした全径間キャットウォークの風洞試験結果を示す。床組のねじれが大きくなると、ホーリングロープ及び架設中のストランドがローラーから脱索する等の問題が生じるが、クロスブリッジ間隔を約160mとしておけばねじれも

表-2 低風速時の水平変位

Tab.2 Horizontal displacement for low wind velocity

風速 (m/s)	7	8	9	10
キャットウォーク変位 (m)	2.1	2.7	3.5	4.4
主ケーブル変位 (m)	0.2	0.3	0.3	0.4
相 対 変 位 (m)	1.9	2.5	3.2	4.1

注：キャットウォークと主ケーブルの余裕幅は2.2m

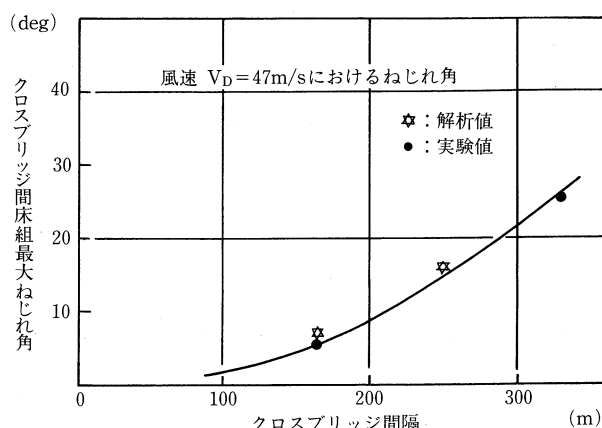


図-4 クロスブリッジ間隔と床組ねじれ角度の関係

Fig.4 Relationships between distance of cross bridges and torsional angle of the floor system

充分小さく問題ないと考えられる。

また、クロスブリッジ間隔を約160mとすることで、架設ストランドの偏心载荷に対する床組のねじれ角も充分小さく（約2°）できた。

2.5 ストームシステムの省略

過去に建設された吊橋のキャットウォークには、風荷重や引き出し中のストランド荷重による変形を抑制するため、ストームロープとストームハンガーからなるストームシステムを設けてきた。ストームロープに張力を導入することで、キャットウォークロープにプレストレスを与え、キャットウォーク自身の重量が増加したような効果（プレストレス効果）を持たせることが出来る。これによりキャットウォークの安定性を高めることが可能である。

ストームシステムはストームハンガーを鉛直方向に張るため、主としてキャットウォークの鉛直方向の変形抑制効果と鉛直面内の形状調整機能を持つが、支間長が増大するとストームロープのライズ・スパン比が小さくなり（支間長が増大しても航路高は変化しないため）、ストームロープによるプレストレス効果は非効率となる。また、ストームシステムは橋軸直角方向暴風時にはキャットウォークの変形を拘束する効果を持つため、キャットウォークロープ径は、暴風時（安全率2.2）で決定される。以上の理由から、支間長が増大するとキャットウォークロープ径が増大し、ロープ引き出し設備の飛躍的な大型化を招くことになる。

南備讃瀬戸大橋の場合では、暴風時のロープ安全率を満足させるため、ストームロープの常時の導入張力を低減してキャットウォークの拘束効果を少なくした。このため、ストームロープによるプレストレス効果が減少し、キャットウォークの形状調整が困難であった。

このようにキャットウォーク支間長が増大すると、ストームシステムの効果は減少し、架設上の問題点は増加する。このため、明石海峡大橋のキャットウォークではストームシステムを省略して、ロープ重量を低減してロープ引き出し設備を小さくすることとした。ただし、ストームシステムに変わる安全設備として、制振装置を設けて安全性を確保するものとした。

なお、ストームシステムにはキャットウォークの鉛直変形を拘束する効果があり、ストランド引き出し時にはストランド重量によるキャットウォークの鉛直変位を抑えることが可能である。ストームシステムの無い本橋のキャットウォークではストランド引き出し時に、キャットウォークが鉛直方向に変位し、既設ストランド群と接触するため、既設ストランド群とキャットウォークを固縛して両者の相対変形を拘束する必要がある。

2.6 制振装置

制振装置は、ストームロープがなくてもキャットウォークを揺れにくくすることを目的として設置し、ス

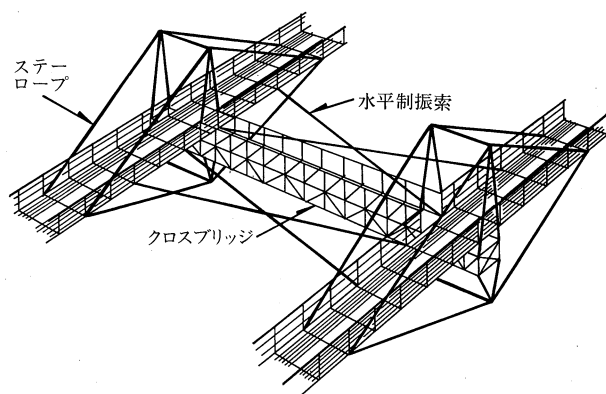
テーブルフレーム、ステーロープ及び水平制振索と水平ダンパーからなる (図-5)。

3. 風に対する安定性

3.1 静的安定性

キャットウォークは柔軟な構造であるため、橋軸直角方向暴風時の変形量は極めて大きい。

1/10 部分模型の三分力試験結果を図-6 に示す。この抗力係数を用いて計算したキャットウォークに対する風荷重は、設計条件¹⁾から求められる風荷重に比べて小さく、設計上の問題点は少ないと考えられる。また、迎え角に対する空力モーメントの勾配は負であるため、ダイ



(図-1 参照)

図-5 制振装置概要図

Fig.5 Outline of damper system

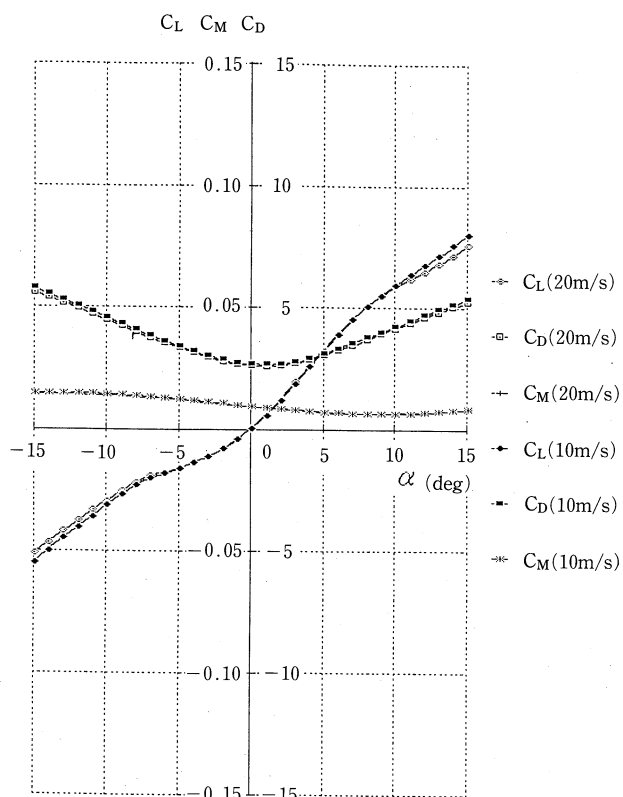


図-6 1/10 部分模型三分力試験結果

Fig.6 Test results of aerodynamic forces by 1/10 scale model

バージェンスは発生しにくいものと考えられる。

暴風時の変位制御はキャットウォークと既設ストランドを連結することにより可能であり、ストームシステムの効果は暴風時橋軸直角方向変位で約63mであり、ストランド約20本分と同等である (図-7)。なお、従来のキャットウォークにおいても同様の方法で変位制御を行っている。

ストームシステム無しキャットウォークが構造上最も不安定なのは床組架設から架設ストランド 20 本未満の時期であり、この時期に橋軸直角方向の大変形を生じた場合、床組とロープの連結部、クロスブリッジとロープの連結部、トラムウェイシステム等の付属物の安定性が特に問題となる。本橋においては、上記の期間 (3 月初旬から 7 月中旬) に、大風速の発生を経験しなかったことは好運であったと考えられる。

3.2 動的安定性

キャットウォークはロープおよび金網を主材料とする構造なので、気流に対して抵抗する面が少なく、流体力学的に極めて安定な断面形状を持つ構造系といえる。このため、発散振動及び限定振動等の有害な振動が発生する可能性は少ないと考えられる。

バネ支持試験の結果を図-8 に示す。結果は準定常理論 (空気力学的減衰力は物体の振動速度 (風速) に比例する) とよく一致し、風速の増加に伴い空力減衰が増大する安定な構造物と考えられる。

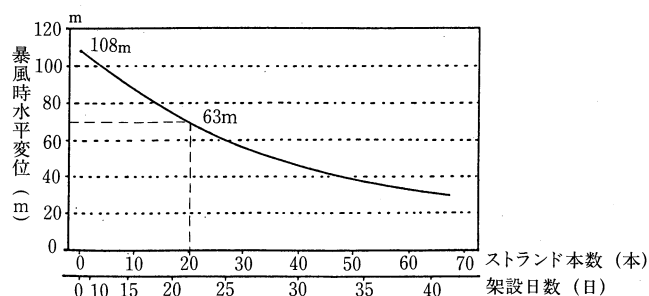


図-7 架設ストランド数とキャットウォーク水平変位

Fig.7 Number of extended strands and horizontal displacement of catwalk

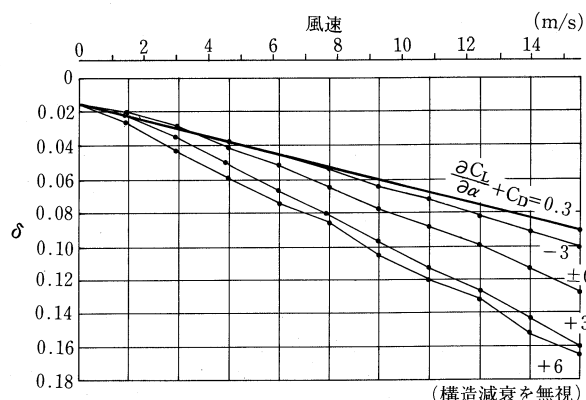


図-8 バネ支持試験結果

Fig.8 Test results of spring-supported model

3.3 塔との連成振動時の安定性

塔が風で振動することに起因するキャットウォークとの連成振動については、主塔制振装置とキャットウォークの空力減衰を考慮して解析を行い、作業時に生ずる風速程度では問題となる連成振動は発生しないことを確認した（表-3）。

解析はキャットウォークの構造減衰、空力減衰、主塔の構造減衰および主塔に設置されている TMD による減衰を考慮して行った。図-9 にレインボーブリッジで行われたキャットウォークの振動実験結果⁴⁾と解析に用いたキャットウォークの対数減衰率を示す。解析で用いたキャットウォークの対数減衰率は部分模型によるばね支持試験により得られた風速-対数減衰率曲線（構造減衰 0.025 を考慮）から設定しており、振動実験結果より小さい値となっていることから、問題ないものと考えられる。

4. 作業時の安定性

南備讃瀬戸大橋やレインボーブリッジのキャットウォークでは、ストームシステムの無い時期に作業員の歩行により、クロスブリッジ間のキャットウォークに水平振動が発生したことが報告されている。

これはサグを有する構造物にねじれ加振（キャットウォークの端を歩行する作業員）を行うと、幾何学的に水平振動の成分を持ってしまう（サグを持っている構造物の水平振動にはねじれ成分が含まれるため、ねじれ振動は容易に水平振動に変化する）ためと考えられる。

さらに、振動が始まるとその上を歩行している作業員

はバランスを取りつつ歩こうとし（揺れに抵抗するようには歩かない）、手摺を持ったりするため、さらに共振的に振動が増加する。

ストームシステム設置後は作業員の歩行による振動の発生は報告されていない。これは、クロスブリッジ間にあるストームハンガーがキャットウォークの振動を拡散する効果とストームシステムの振動がクロスブリッジ間のキャットウォークの振動を打ち消して見掛け上の減衰が増大するためと考えられる。

ストームシステムを省略したキャットウォークを採用する上で、作業時のキャットウォークの安定性を確保するため制振装置を設置することとした。制振装置は、作業上最も危険な水平振動を制振するダンパー付き水平索と、鉛直方向の振動（ねじれ振動）ひいては水平振動を発生させないための上下ステーロープによるものとし、制振装置の有効性を確認するため振動実験を行った（図-10）。キャットウォーク構造のようにそれを構成する部材の断面寸法に比べて著しく変形の大きい構造物の模型実験は、模型縮尺が小さいと計測値の相対誤差が非常に大きくなることから、模型縮尺は 1/3 とした。

実験の結果、鉛直加振による振動の制振には上下ステーロープが、水平加振による振動にはダンパー付き水平索が有効であることが分かった（表-4）。これにより、死荷重が小さい中央径間には上下ステーロープとダンパー付き制振索を、死荷重が大きい側径間には上下ステーロープを設けて、作業時の制振対策とすることとした。

水平索及び上下ステーロープの取付位置は振動モードの腹の位置とし、作業員の歩調との関係から 2~4 次モードを対象とし、クロスブリッジからそれぞれ 20 m、33 m の位置とした。また、ダンパーに負荷する減衰係数はモード減衰が最大となる最適負荷減衰を求めて負荷した。

制振索に導入する張力によっては制振策とキャットウォークの振動が連成する可能性があるため、所定の導入軸力に対して各モードの振動が同調しないことを確認した。

5. 形状調整

従来のキャットウォークはストームシステムによるプレストレスを利用してストランドの架設形状に合致した形状にキャットウォークのサグと主塔のセットバック量を調整していた。

本キャットウォークにおいてはストームシステムがないため、従来の調整と同様の調整を行うには、キャットウォークの重量調整を行う必要があるが、微妙な重量調整を行うことは困難である。このため、各支間でストランドを設計無応力長で架設することが可能な形状（ストランドを各支間において設計無応力長で架設した時、ストランドがキャットウォーク床面上の適当な位置に来るキャットウォーク形状）にキャットウォークを調整する

表-3 塔とキャットウォークの連成振動

Tab.3 Resonance vibration of tower and catwalk

塔振動モード	振動数 (Hz)	共振風速 (m/sec)	対数減衰 (δ)	塔 頂 加速度 (gal)	キャットウォーク 鉛直片振幅 (cm)	キャットウォーク 鉛直最大加速度 (gal)
曲 1 次	0.083	6.0	0.070	2	56	15
曲 1 次	0.098	7.1	0.060	5	66	25
曲 1 次	0.230	17.8	0.085	17	71	148
曲 1 次	0.246	19.0	0.087	11	50	119

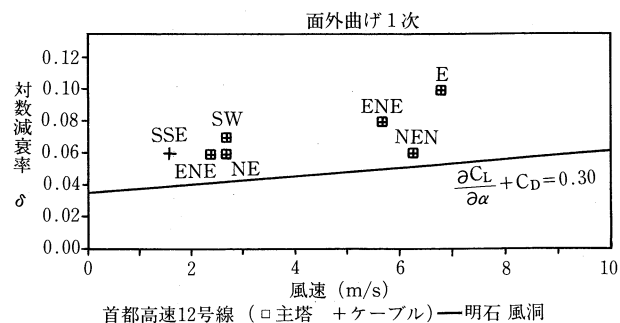


図-9 レインボーブリッジ振動実験結果との比較

Fig.9 Comparison to vibration test results on the Rainbow Bridge

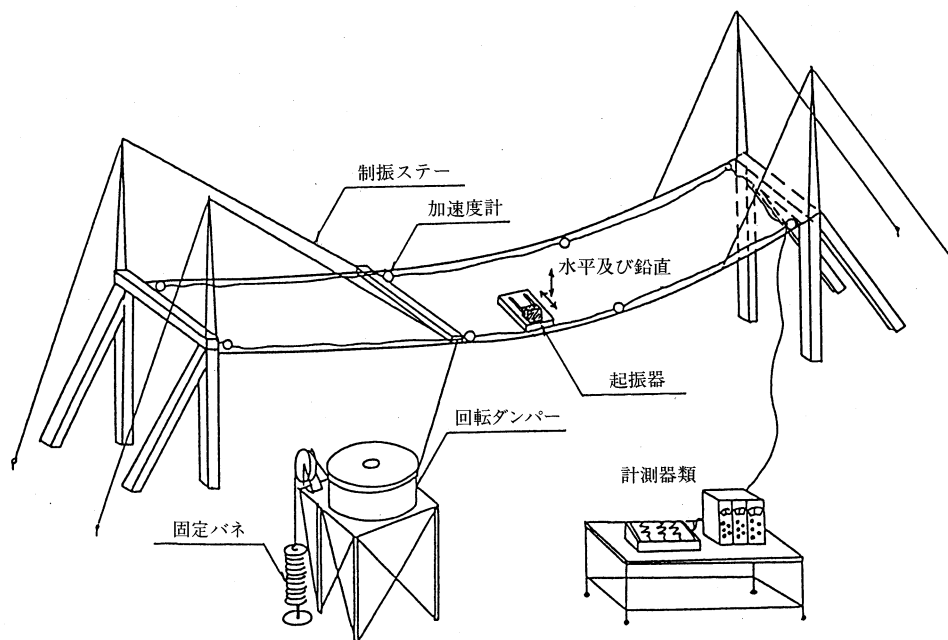


図-10 キャットウォーク振動実験概要図
Fig.10 Outline of vibration test on catwalk system

表-4 制振対策と効果
Tab.4 Damping system and its effect

制振対策	水平加振	ねじり加振	
	水平成分	鉛直成分	水平成分
無対策	× (178)	× (241)	× (67)
回転ダンパー	◎ (23)	○ (161)	○ (25)
制振ステー	○ (76)	◎ (50)	◎ (14)

() 内は、加振力 1 kgf による共振最大加速度 (gal)

こととした。この場合、主塔セットバックと各支間のキャットウォークのサグの組み合わせにより、目標キャットウォーク形状が多種類となり、形状調整が容易になる。

上記形状調整においては主塔セットバックが設計値ではないため、ストランド架設時に主塔部でストランド張力は釣り合わない。しかし、ストランド架設の進行に応じて主塔部でのストランド張力のアンバランスにより、主塔セットバックは目標値に近づく方向で変化し、ストランド架設完了時には目標サグ及びセットバックを満足する形状となる。(ストームシステムがある場合、主塔セットバック量が増加するとキャットウォーク形状がガタガタになるため、同様の方法は出来ない)

ストーム無しキャットウォークではストームシステムによる床組形状の局部調整が出来ないため、クロスブリッジ等の集中荷重によりストランド架設形状と床組形状の間隔が場所によって異なる。本橋においては、中央径間中央でキャットウォークが 500 mm 落ち込んだ形状(南備讃瀬戸大橋は約 280 mm)となった。ストーム無しキャットウォークでは中央径間中央のクロスブリッジのより一層の軽量化が必要と考えられる。

6. あとがき

明石海峡大橋のキャットウォークは平成 5 年 12 月 24 日にロープ引き出しを開始し、平成 6 年 4 月末に完成した。

本キャットウォークにおいては当初心配された振動はほとんど無く、設計上の配慮が効果的に効いていると同時に自重が大きいことによる効果が相当あるものと推測される。一方、ストームシステムの役割であるキャットウォークの形状調整が出来ないため、ストランド架設及びサグ調整等の作業が非効率になった場合もあると考えられる。今後のストーム無しキャットウォークには、別途キャットウォーク形状調整装置を設けることも検討すべきと考えられる。

設計、製作及び架設に当たり詳細検討及び施工を行われた新日鉄・神鋼特定建設工事共同企業体の担当者の方に紙面をかりて謝意を表するものであります。

参考文献

- 1) 明石海峡大橋キャットウォーク設計指針(案): 本州四国連絡橋公団 第一建設局 垂水工事事務所 昭和 52 年 8 月
- 2) 長大吊橋用高強度 Zn めっきロープの機械的性質について: 日本鉄鋼協会第 113 講演大会、坪野他
- 3) 岡内、伊藤、宮田: 耐風構造、丸善 (1977)
- 4) ケーブル架設時における吊橋主塔の振動特性—首都高速 12 号線における振動実験—土木学会第 47 回年次学術講演会、並川他

大三島橋鋼格子床版上の漏水防止対策

Water-proof Work on Steel Girder Floor of Ohmishima Bridge

第一建設局
前維持施設部

設計課長
橋梁技術課長代理

帆 足 博 明

Hiroaki Hoashi

早島管理事務所
前大三島管理事務所

維持計画課
橋梁技術課

日 高 裕 司

Yuji Hidaka



概 要

大三島橋の床版は、鋼格子床版を採用しており、床版面には防水層を施しているが、供用開始数年後から床版裏面に漏水が見られ、埋殺型枠である床版裏面の垂鉛めっき鋼板には床版コンクリートからの遊離石灰によりかなりの錆が生じていた。

そこで、床版の漏水調査及び漏水防止工の検討の結果、路面側からの雨水の浸入を防止する工法を選定し、新たに開発した機械装置により地覆部、縁石部に石油ワックスを充填してその効果を確認した。

本文は、漏水調査及びその対策方法と効果について報告する。

Although the steel girder floor of Ohmishima Bridge was covered with a water-proof layer on its upper surface, it had shown the leakage of water from its bottom surface since several years after the bridge's open to the public. The galvanized steel plates used for a cast-in form in casting concrete of floor slab were therefor quite rusted by the separated lime.

To cope with this, an investigation was carried out on the mechanism of water leakage and countermeasures to prevent leakage from the paved surface. As a result, a mechanical device was newly developed to inject oily wax into the part around wheel guard curbs, and its effectiveness was confirmed. This paper introduces this investigation on water leakage, and repair method and its effect.

1. まえがき

西瀬戸自動車道の愛媛県側の大三島と伯方島を結ぶ大三島橋は、本四連絡橋の中で最初に建設された海峡部橋梁として、昭和54年5月に供用を開始している。

本橋の形式は、支間長297mの単径間鋼ソリッドリブ2ヒンジアーチ橋(図-1参照)であり、床版には、通常用いられている鉄筋コンクリート床版ではなく、海上で

の施工性及び工期短縮等を考慮して鋼格子床版(以下、IB床版という。図-2参照)を採用している。

床版面には防水層を設けているものの、供用開始数年後から床版の裏面に漏水が見られ、型枠代わりに埋殺されているIB床版裏面の垂鉛めっき鋼板には床版コンクリートからの遊離石灰によりかなりの錆が生じていた。

そこで、何等かの対策を施すにあたり、床版の漏水調査を行い漏水の原因及び経路を推定し、その結果を基に漏水対策工法の検討を行った。

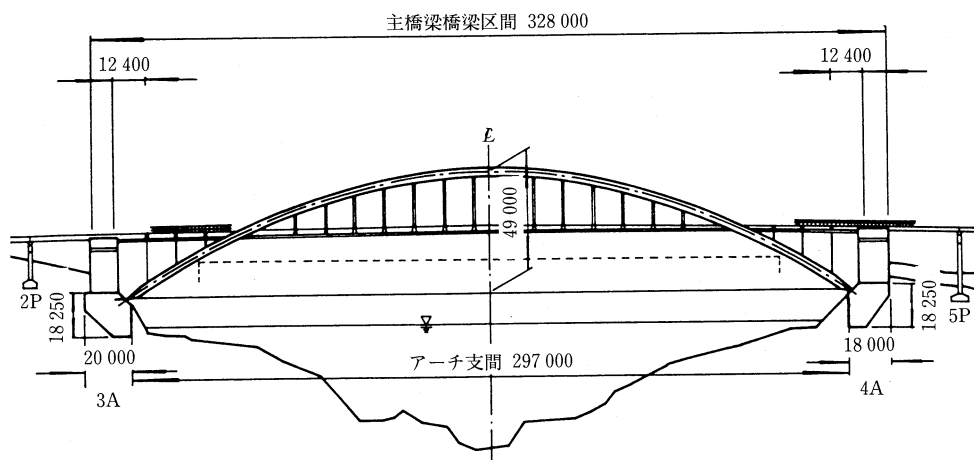


図-1 大三島橋側面図

Fig.1 Profile of Ohmishima Bridge

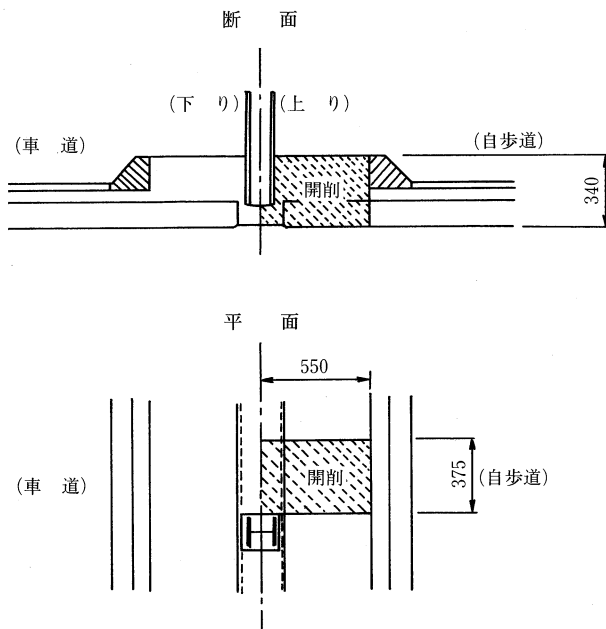


報 技 四 本

表一 床版開放調査結果

Tab.1 Summary of opening inspection of floor slab

調査場所	開放状況	結果
大三島橋	①遊離石灰層は、湿った程度。 ②中央部鉄筋下部コンクリートは非常にもろい。 ③床版鉄板は、黒く変色。 ④降雨直後、敷モルタル部遊離石灰層から多量に漏水。	①雨水は、中央分離帯クラック部・緑石敷モルタルから浸入し、床版と中央分離帯コンクリート打設境界面の遊離石灰層を経路とし、床版コンクリート打継目等の弱部から漏水している。 ②床版鉄板接続部一帯から漏水し、漏水期間は比較的短い。 ③中央部鉄筋下部のコンクリートがもろい状態にあるのは、床版施工状況からコンクリートレイタンスの集中したものと推測される。 ④床版垂鉛めっき鋼板（コンクリート面）は現時点で発錆していないが、今後外面の発錆とともに腐食していくと推測される。



図一 床版開削範囲
Fig.4 Opening of floor slab

ノールフタレイン1%溶液による炭酸化反応では、pH 10以上のアルカリ性を保ち炭酸化は進んでおらず、調査時点でのコンクリート及び鉄筋そのものの劣化は見られなかった。

2.3 床版裏面漏水調査

(1) 調査方法

本橋全線に渡って中央分離帯付近のIB床版裏面の垂鉛めっき鋼板に径7mmの水抜孔を設け、そこに採水容器を設置して床版裏面における漏水状況を調査した。

表一 床版裏面漏水調査結果

Tab.2 Summary of water leakage from bottom surface of floor slab

調査場所	測定状況	結果
大三島橋	①漏水量の測定を開始（9月1日）した時点で、すでに漏水は止まっており、その後も降雨が無く記録できなかった。 ②1日目9:00～2日目6:00まで計69mmの降雨により一部の箇所から漏水を記録したが、5日間程度で漏水は止まった。	①垂鉛めっき鋼板接続部一帯から漏水し、漏水経路が短く漏水は短期間で終わっている。 ②通常の降雨におけるコンクリートからの漏水は、垂鉛めっき鋼板外部発錆部に浸透し、海峡風により自然乾燥している。 ③多量の降雨の場合は、発錆部で水滴となり落下、又新たに垂鉛めっき鋼板に浸透し発錆部分を拡大している状況にある。

(2) 調査結果

床版裏面の漏水調査結果を表一に示す。

3. 漏水経路の推定

漏水調査の結果、床版の漏水は中央分離帯部及び張出床版部で生じており、漏水量は中央分離帯部で多いことを確認した。

床版コンクリートの漏水は、一般的に床版にひびわれが発生し、それに伴って防水層が破壊された結果として生ずるものと考えられる。しかし、本橋ではIB床版裏面に型枠とした垂鉛めっき鋼板が取り付けられているため、床版にひびわれが発生しているか否かの確認は難しい。

そこで、現地での漏水調査結果とともに、建設時における床版コンクリートの打設状況及び防水層の配置状況を考慮して漏水原因を追求し、漏水経路を推定すること

とした。

3.1 建設時の施工状況

(1) 床版コンクリートの打設状況

床版コンクリートの施工は、中央分離帯部では、床版コンクリートを打設、仕上げの後に工場製コンクリート縁石を設置し、中央分離帯部の中詰コンクリートはその縁石を型枠として床版コンクリートの上に打継ぐ形で打設している。したがって、床版コンクリートと中央分離帯部の中詰コンクリートとの間には傾斜した打継目ができているものと考えられる。

一方、張出床版部の施工は、床版コンクリートの打設後、防水層の施工、縁石の設置、縁石を型枠としての地覆コンクリートの打設の順で行われ、床版コンクリートと地覆コンクリートとの間には中央分離帯部と同様に傾斜した打継目ができているものと考えられる。

床版コンクリートの施工順序を図-5に示す。

(2) 防水層の配置状況

床版コンクリート上にはクロロプレン系の防水層が施工されているが、この防水層は、中央分離帯側ではアスファルト舗装範囲までで、縁石の下には設けられていない。また、端部では立上がりなどの端部処理は行われていない。

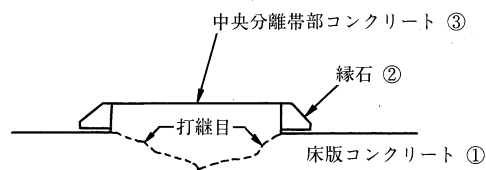
一方、張出床版部側では防水層がアスファルト舗装から縁石の下を越えて50mmの範囲まで設けられ、縁石の背面では塗布する形で立上がり部が設けられており、これらの防水層は結合されている。

3.2 漏水原因の究明

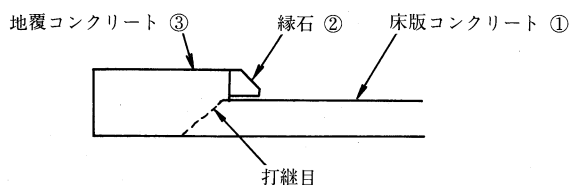
(1) 中央分離帯部

1) 防水層施工範囲の不足

中央分離帯部の防水層の施工範囲は、アスファルト舗装の部分で止まっており、縁石の下側では行わ



a) 中央分離帯部



b) 張出床版部

図-5 床版コンクリート施工順序図

Fig.5 Cast of floor slab concrete

れておらず、防水層の立上がり等端部処理も行われていない。

なお、縁石の下側には縁石設置用の敷モルタルが、また、縁石相互のジョイント部には目地モルタルが用いられているが、これらは防水層としては期待できない。

2) 床版コンクリート打継目その他

床版コンクリートの打設状況から推測すると、床版コンクリートの打継目を雨水が通っている懸念がある。

また、中央分離帯部コンクリートには微少のひびわれが発生しており、ひびわれからの雨水の浸入もIB床版裏面からの漏水となっているものと思われる。

(2) 張出床版部

1) 縁石背面の防水層の効果不十分

張出床版部の防水層は、縁石の下面を越えて地覆側に50mmまで敷設されているが、縁石背面の防水層は縁石に塗布する形で施工され、その後に地覆コンクリートを打設しているため、雨水が地覆コンクリートと防水層との間を通過してIB床版裏面からの漏水となっているものと考えられる。

3.3 漏水経路の推定

以上のような調査から、IB床版裏面で生じている漏水は、中央分離帯部では、

- ①縁石とアスファルト舗装との境界部
- ②縁石と中央分離帯部コンクリートとの境界部
- ③縁石相互のジョイント部
- ④その他クラック部等

から雨水が浸入し、床版コンクリート打設境界面を通過してIB床版裏面に達し、垂鉛めっき鋼板の重ね継手から漏水しているものと考えられる。

また、張出床版部では、中央分離帯部と同様な経路に加え、地覆コンクリートと端部の垂鉛めっき鋼板との境界面からの雨水の浸入も考えられる。

これらの漏水経路を推定したものを図-6に示す。

4. 漏水防止対策工の検討

本橋のIB床版裏面からの漏水は原因調査の結果、縁石周りからの雨水の浸入及び床版コンクリート並びに防水層の施工に原因があることがわかった。

これに対する床版コンクリート自体の補修は予算的、工法的にも大規模工事となるため、路面側からの雨水の浸入を防止する対策工を検討した。

工法の選定にあたっては、供用中の道路における施工性、確実性、耐久性及び経済性等について総合的に比較し、その結果、地覆部及び中央分離帯部に石油ワックスを充填する工法を選定した。表-3に各工法の比較を示す。

表-3 漏水防止対策工法の比較

Tab.3 Comparison in performance of water-proof works

番号	工 法 名	施 工 手 順	施 工 性	確 実 性	耐 久 性	工 費 比 率	総 合 評 価	順 位
A	コーティング工法	1 ジョイント部表面の清掃、乾燥	○	△	△	△	△	5
		2 プライマーの塗布 3 シート系防水布の貼付 4 保護層の塗布	施工は容易	ジョイント部がシートで覆われるため漏水確認ができない。	防水材が表面に突出しているため、はく離することがある。	14.00	やや不適	
B	Uカット コーティング工法	1 ジョイント部溝の加工、清掃 2 接着材の塗布 3 充填材、防水材の充填 4 アスファルト舗装の補修	×	△	△	×	×	6
		1 アスファルト舗装の一部撤去 2 縁石の撤去 3 下地の清掃、プライマー塗布 4 シート系防水布の貼付 5 縁石、舗装の修復	×	△	○	×	△	
C	防水層の不足部分を補う工法	1 下地処理 2 注入口用テープ貼付 3 水性パテシール 4 エポキシ樹脂注入	△	△	△	△	△	4
		1 Vカット溝加工、清掃 2 エポキシ樹脂充填（溝部） 3 注入管の設置、注水、補水 4 薬液注入、注入孔シール 5 注入管引抜、表面シール（注入孔）	×	△	△	×	×	
D	エポキシ樹脂注入工法	1 表面素地調製 2 シール材充填（縁石下側） 3 エポキシ樹脂注入（0.2mm以上） 4 中央分離盛り上げ工	○	△	△	△	○	3
		1 注入孔穿孔 2 表面清掃、注入材確認テープ貼付 3 ワックス充填 4 エポキシ樹脂注入 5 表面仕上げ（注入孔、テープ跡）	○	○	△	○	○	
E	止水薬液圧入工法	1 注入孔穿孔 2 表面清掃、注入材確認テープ貼付 3 ワックス充填 4 エポキシ樹脂注入 5 表面仕上げ（注入孔、テープ跡）	○	○	△	○	○	2
		1 粉塵、不純物清掃 2 ワックス充填 3 表面仕上げ	○	○	△	○	○	
F	全面コーティング工法	1 注入孔穿孔 2 表面清掃、注入材確認テープ貼付 3 ワックス充填 4 エポキシ樹脂注入 5 表面仕上げ（注入孔、テープ跡）	○	○	△	○	○	1
		1 粉塵、不純物清掃 2 ワックス充填 3 表面仕上げ	○	○	△	○	○	
G	ワックス充填 エポキシ樹脂 注入工法	1 注入孔穿孔 2 表面清掃、注入材確認テープ貼付 3 ワックス充填 4 エポキシ樹脂注入 5 表面仕上げ（注入孔、テープ跡）	○	○	△	○	○	1
		1 粉塵、不純物清掃 2 ワックス充填 3 表面仕上げ	○	○	△	○	○	
H	ワックス充填工法	1 注入孔穿孔 2 表面清掃、注入材確認テープ貼付 3 ワックス充填 4 エポキシ樹脂注入 5 表面仕上げ（注入孔、テープ跡）	○	○	△	○	○	1
		1 粉塵、不純物清掃 2 ワックス充填 3 表面仕上げ	○	○	△	○	○	

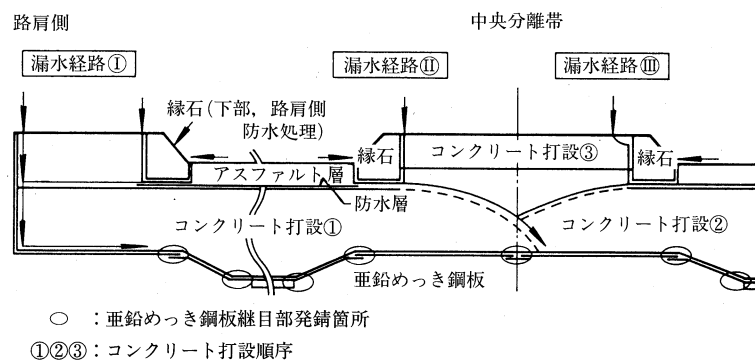


図-6 漏水経路推定図

Fig.6 Supposition of water permeation mechanism

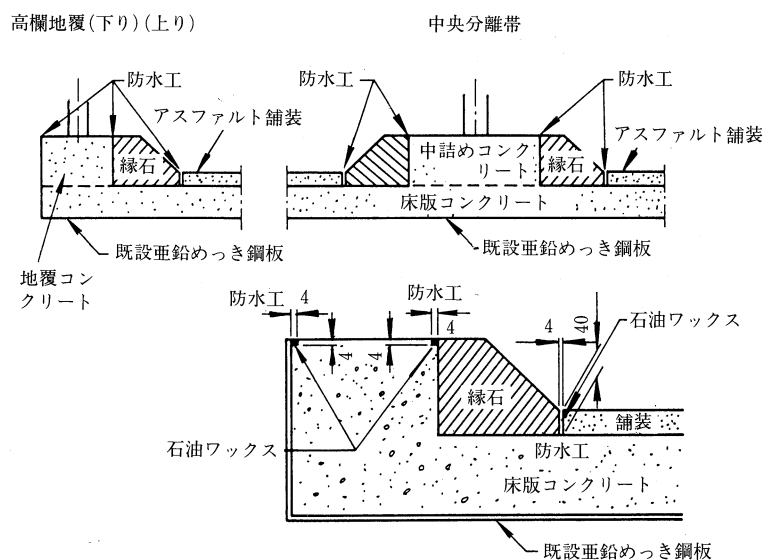


図-7 漏水防止工施工図

Fig.7 Procedure of water-proof work

5. 対策工事

漏水対策工の検討により選定した工法により試験施工を行った後、本対策工事に着手した。なお、この効果を確認するため対策施工前後の漏水調査を行った。

施工方法及び漏水調査結果を以下に示す。

5.1 使用材料

充填材である石油ワックスは JIS K 2235-1980 のマイクロクリスタリンワックスを基とした。

このワックスは、石油から分離精製された常温において固形のもので、分枝鎖状炭化水素やナフテン系炭化水素を主成分とする飽和炭化水素の混合物である。特性としては、

- ①融点が高く、溶融した時の粘度が高い。
- ②融点が高いわりには柔らかく、柔軟性がある。
- ③粘着性及び油保持性が良い。

等が上げられる。

これにより試験施工を行い、期間を置いて充填箇所の

点検を実施したところ、数カ所に石油ワックスのひびわれを発見したため、本対策工事では、マイクロクリスタリンワックスにゴムを配合し、充填材の凝集力を高めた改良品を使用した。

なお、石油ワックスは充填箇所の最高温度以上の融点を有することを条件とした。ここでは路面の最高温度 60℃程度以上を考慮し、融点 86℃の石油ワックスを使用した。

5.2 補修方法

図-7 に示すように、亜鉛めっき鋼板と地覆コンクリートの境界部、中央分離帯及び地覆の緑石と中詰コンクリート・地覆コンクリートの境界部及び緑石とアスファルト舗装との境界面にコンクリートカッターにより充填溝を切削し、コンプレッサー等で清掃した後、石油ワックスを新たに開発した充填装置により充填した。

充填時には、石油ワックスの固結時間を遅らせ充填箇所に確実に浸透するように、充填箇所を加熱（ここでは約 40℃程度）しながら同時に充填した。

なお、充填装置は充填箇所に容易に充填できるように、

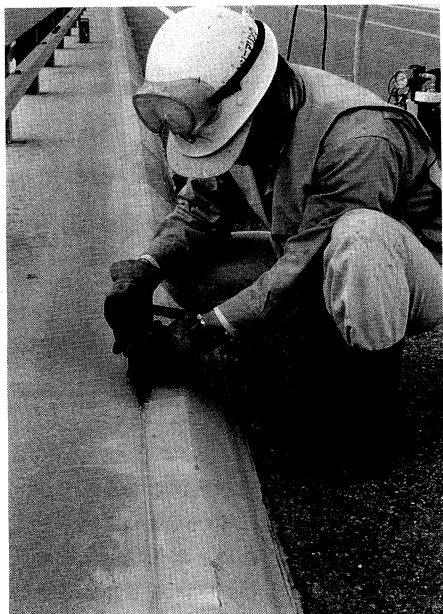


写真-1 施工状況
Photo.1 View of water-proof work

- ①石油ワックスを加熱溶解、保温する機構
 - ②保温しながら充填する機構
 - ③充填した石油ワックスの手直し、整形のための熱風送風（温度調節付）する機構
- の3機構を併設する装置を開発し、使用した。
施工状況及び完了状況を写真-1、2に示す。

5.3 対策施工前後の漏水調査

対策効果を確認するため、中央分離帯部及び張出床版部のIB床版裏面の垂鉛めっき鋼板に10 cm 角の点検孔を計48箇所開削し、対策施工前後の降雨後の漏水状況を調査した。

調査結果を下記に述べる。

- (1) 対策施工直前、降雨後の状況
48箇所全ての点検孔の床版コンクリートは湿っており、そのうち11箇所からは漏水がみられた。
- (2) 対策施工直後、降雨後の状況
点検孔48箇所のうち床版コンクリートの湿りが2箇所みられたが、漏水はなく全体的に乾燥した状態であった。



写真-2 完了状況
Photo.2 Finished view of work

(3) 対策2年経過後、降雨後の状況

床版コンクリートの湿りが4箇所（うち2箇所は対策施工直後にみられた箇所と同じ）みられたが、対策施工直後と同様漏水はなく全体的に乾燥した状態であった。

以上のことから、本対策施工による漏水の防止効果は十分満足するものであった。

6. あとがき

漏水防止対策の実施により、IB床版裏面からの漏水はほぼ完全に止めることができた。また、対策後の経年変化においても漏水防止効果の低下はほとんど認められていない。

本工法の特筆すべき点は、施工が容易で経済的であることはもちろん、再施工が簡単にできることである。これは、仮に施工後充填箇所の石油ワックスにひびわれ等が発生し、漏水防止効果が低下してきた場合でも、石油ワックスの融点が86℃であるため、再加熱することで容易に復旧が可能である。

本報告を作成するにあたりご協力頂いた大三島管理事務所関係各位、及び本対策工事を担当された(株)本州四国連絡橋エンジニアリングの方々に深く謝意を表します。

最後に、本報告が橋梁床版等の漏水防止対策検討の一助になれば幸いである。

多々羅大橋塔完成時の耐風性

Wind-Proof Design on the Tower of Tatara Bridge

企画開発部 経済課長代理
向島工事事務所 第一工事長

藤原 亨
Toru Fujiwara

向島工事事務所 第一工事長代理

森山 彰
Akira Moriyama



概要

多々羅大橋の塔は、塔高が220 mと高く、自立時のみならず橋梁完成時の風による振動が問題となることが、風洞試験により明らかとなった。このため、耐風安定化対策として種々の空力対策断面について風洞試験を実施し、効果を検討した。一方、斜張橋の塔は、橋梁全体の景観に大きなウエイトを占めるため、塔形状は景観面での主要な検討テーマであった。塔形状の選定にあたっては、耐風性の確保を前提とし、検討対象とした各塔形状について風洞試験を実施し、耐風性を確認した。これらの検討により、橋梁完成時に制振装置を設置しなくても良好な耐風性を有する塔形状及び塔柱断面形状が選定できた。

The height of the tower of Tatara Bridge reaches 220m. Through wind tunnel tests, it was shown that wind induced vibration of the tower occurred not only in free-standing state but also after completion of the bridge. Many kinds of cross sections of the tower were investigated by wind tunnel tests in order to satisfy wind stability. On the other hand, the shape of the tower is one of the most important themes on aesthetic design of the bridge. Wind tunnel tests were also conducted for respective types of tower, because wind stability was a major condition for selection of the tower shape.

Through these studies, the final configuration of the tower was selected satisfying both the aerodynamic stability without any dampers in complete state of the bridge, and the aesthetic requirement.

1. はじめに

多々羅大橋の塔は、計画段階において塔高の部材断面力及び鋼重に与える影響を試算し、塔高スパン比を0.19に設定して、最終的な塔高は220 mとなった。塔の形状及び構造を選定するにあたっては、剛性等静的設計面での検討とともに、耐風安定性の確保が重要な課題であった。

斜張橋の塔は、ケーブルの拘束効果により、完成時に塔の面外振動が問題となることは少なく、一般的には自立時及び橋梁完成時の面内振動が課題となる。本橋においても、当初、自立時の耐風性に着目した風洞試験を実施したが、自立時のみならず橋梁完成時においても有害な面外振動が発生したため、完成時の耐風安定性の確保を最重要課題として風洞試験による検討を実施してきた。

一方、斜張橋の塔は吊橋に比べ形状の自由度が高く、景観面でも橋梁全体の美観を左右する重要な構成要素である。特にスパンの長大化に伴い、塔高も比例して高くなるため、景観面に占めるウエイトも大きくなる。このため、塔の耐風性の確保は、塔形状選定の前提条件として、景観上の検討と並行して進める必要があった。

以上のような経緯から、ここでは多々羅大橋の塔の最終的な耐風性について報告するだけでなく、塔形状の選定過程における検討についても概説することとする。なお、塔の架設時の耐風性については、上部工工事の中で架設機材等を反映した風洞試験を実施しているところで

あり、ここでは橋梁完成時の耐風性についてのみの報告とする。

2. 耐風性の検討経緯

本橋の塔の耐風性については、各設計段階の諸元に基づき風洞試験を実施し、耐風安定化対策の検討を行ってきた。その検討経緯を整理すると、次のような段階に大別される。

第1段階：基本塔形状としたA形塔の自立時及び橋梁完成時（以下完成時という）の耐風性調査。自立時のみならず完成時においても大振幅の面外振動が発生することが判明。

第2段階：完成時の面外振動に着目し、耐風安定化対策を検討。面外振動が抑制される隅切形状を選定。

第3段階：景観面から検討対象としたA形以外の塔形状についての耐風性調査。A形塔と同等の耐風性を得るための安定化対策の検討。

第4段階：選定した塔形状について、設計最新諸元、景観上のディテール及び製作性を反映した模型による耐風性の最終確認。

多々羅大橋の塔の耐風性としては、最終段階の風洞試験結果を示せばよいが、完成時の面外振動及び塔形状の選定過程における耐風性の検討は、本橋で特に検討を要した事項であるので、その概要についても報告すること

とする。なお、風洞試験方法等の詳細については、紙面の都合もあり省略する。

3. 完成時の耐風性検討

3.1 風洞試験概要

橋梁形式として斜張橋を選定した後、塔の耐風性を調査するため、自立時及び完成時を対象とした風洞試験を実施した。塔形状は図-1に示すA形塔を対象とし、下部寸法を縮小する目的で桁位置より下部を絞った下絞り形状についても試験を実施し、耐風性への影響を調べた。

塔柱断面形状は、矩形断面を基本形状とし、模型は縮尺 1/100 の弾性模型を用いた。

完成時の主要な試験結果を図-2に示す。

試験結果から、自立時のみならず完成時においても、風速 40 m/s 付近より発散的な面外のギャロッピング振動が発生することが判明した。このため、完成時の面外振動に対する制振対策の検討が急務となった。

なお、下絞り形状塔についても耐風性について有為な相違は見られなかったため、構造特性や経済性の検討を踏まえ、上下部工全体の経済性から下絞り形状を選定した（以下では単にA形塔と呼ぶ）。

3.2 面外振動の発生機構

完成時に発生した面外曲げ1次振動は、無次元発振風速から単柱によるものではなく、2本柱の相互作用によるものと考えられた。そこで振動の発生源となっている塔柱部位を調べ、空力的安定化対策の検討を行うため、部分模型によるバネ支持試験を実施した。

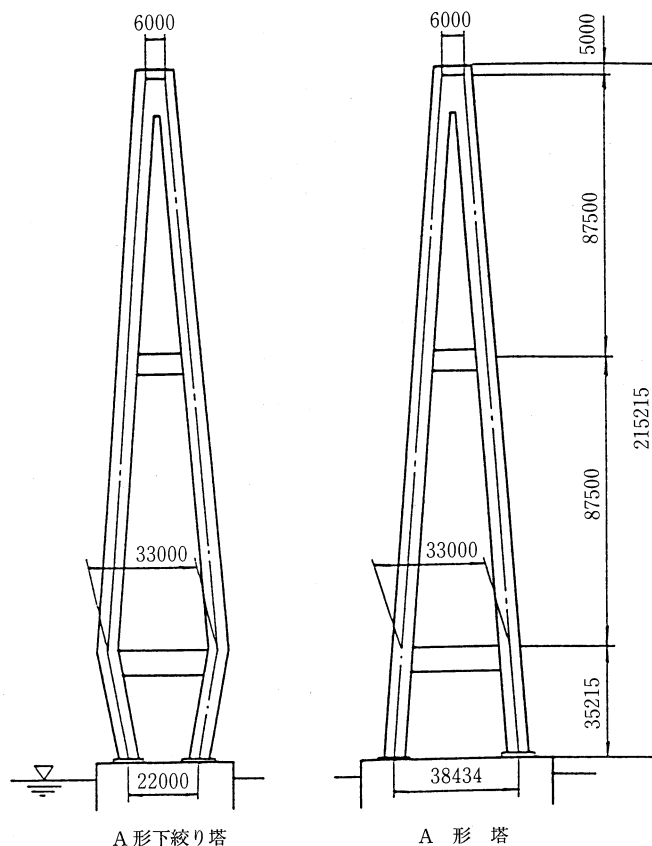


図-1 検討対象塔形状 (A形タイプ)

Fig.1 Study configurations of tower (A-shape)

模型は縮尺を 1/80 とし、完成時の面外曲げ1次振動を対象とした。質量は塔のみを考慮し、桁・ケーブルは含

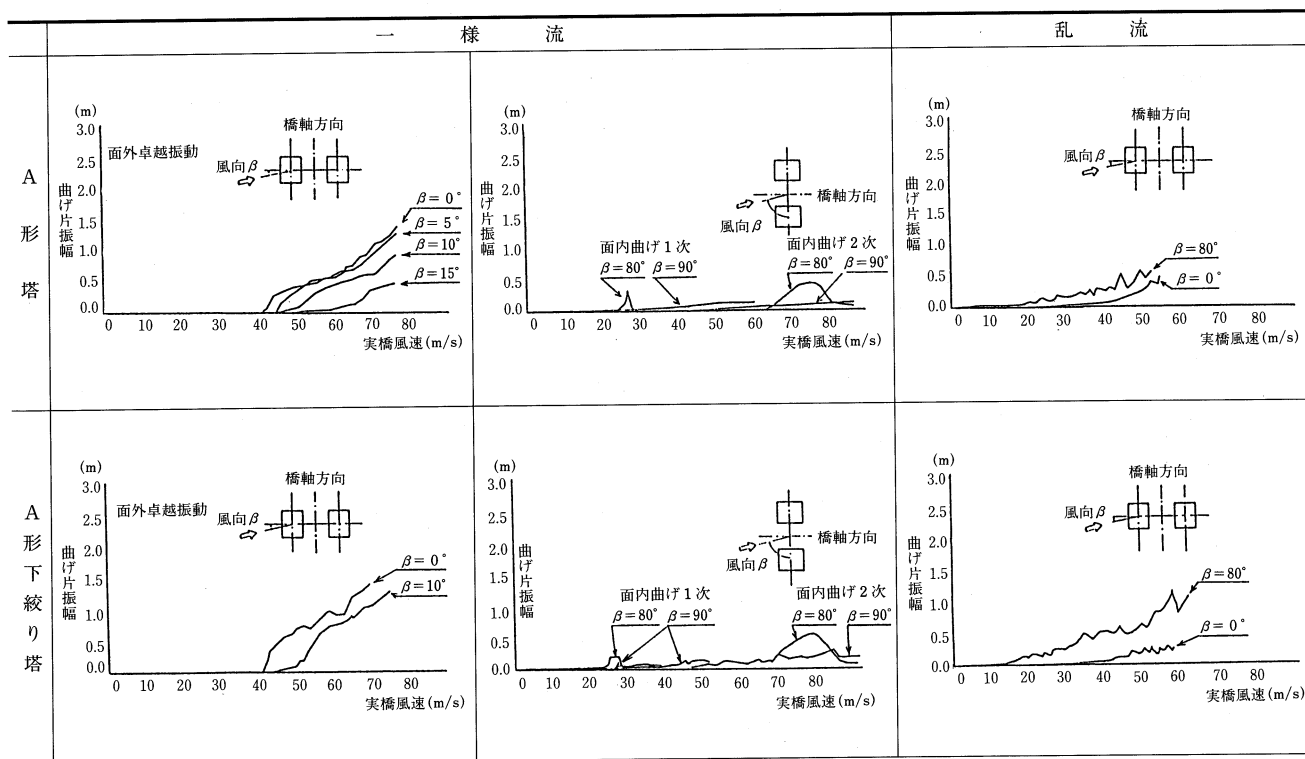


図-2 完成時の塔耐風性 (矩形断面)

Fig.2 Aerodynamic stability on complete state (rectangle section)

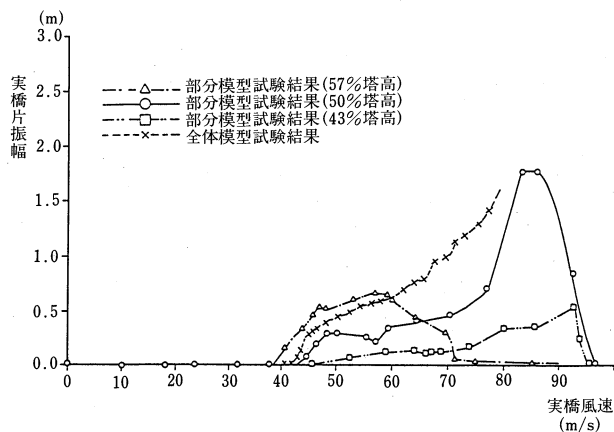


図-3 塔柱間隔の違いによる耐風性
Fig.3 Comparison of stability in different height of tower section

表-1 空力的対策断面案
Tab.1 Aerodynamically improved sections

空力的対策断面案 (単位: mm)		備 考
隅切断面	a_1 (橋軸方向): $(1/18 \sim 3/18) \cdot D$ a_2 (橋軸直角方向): $(1/18 \sim 3/18) \cdot D$	橋軸方向、橋軸直角方向ともに隅切寸法を $D/18 \sim 3D/18$ に変化させて、この組み合わせで試験を行う (D : 橋軸方向平均塔柱幅)。
台形断面		断面周りの流れを大幅に変える可能性があるため、橋軸方向の一辺を $3D/18$ ずつ短くした台形形状とする。
橋軸方向幅拡大断面		振動発生風速がストローハル数に依存するとすれば、発振風速が高風速域へスライドするので基本案より 2 m 橋軸方向幅を拡大する。
橋軸直角方向幅拡大断面		断面形状を正方形に近づけることは低風速域でのギャロッピングに対し有効であると考えられるため、橋軸直角方向幅を基本案より 1 m 拡大する。
塔頂塔柱間隔拡大塔		塔柱の空力的な相互干渉を変化させるため、塔頂での塔柱中心間隔を基本案の 6 m より 12 m に拡大する。

注) 塔高 50% の位置における数値を示す。

めなかった。

塔柱橋軸方向幅は、テーパ (塔頂部 6 m ~ 基部 10 m) を有するため、塔高の 50% 位置に相当する幅で代表させた。塔柱間隔は、水平材位置に相当する塔高の 57% から、50%、43% の値に変化させた。

図-3 に塔柱断面を矩形とした場合の試験結果を示す。この結果から、問題となる面外振動は、塔高 50% 位置の影響が大きいと考えられた。

3.3 空力安定化対策の検討

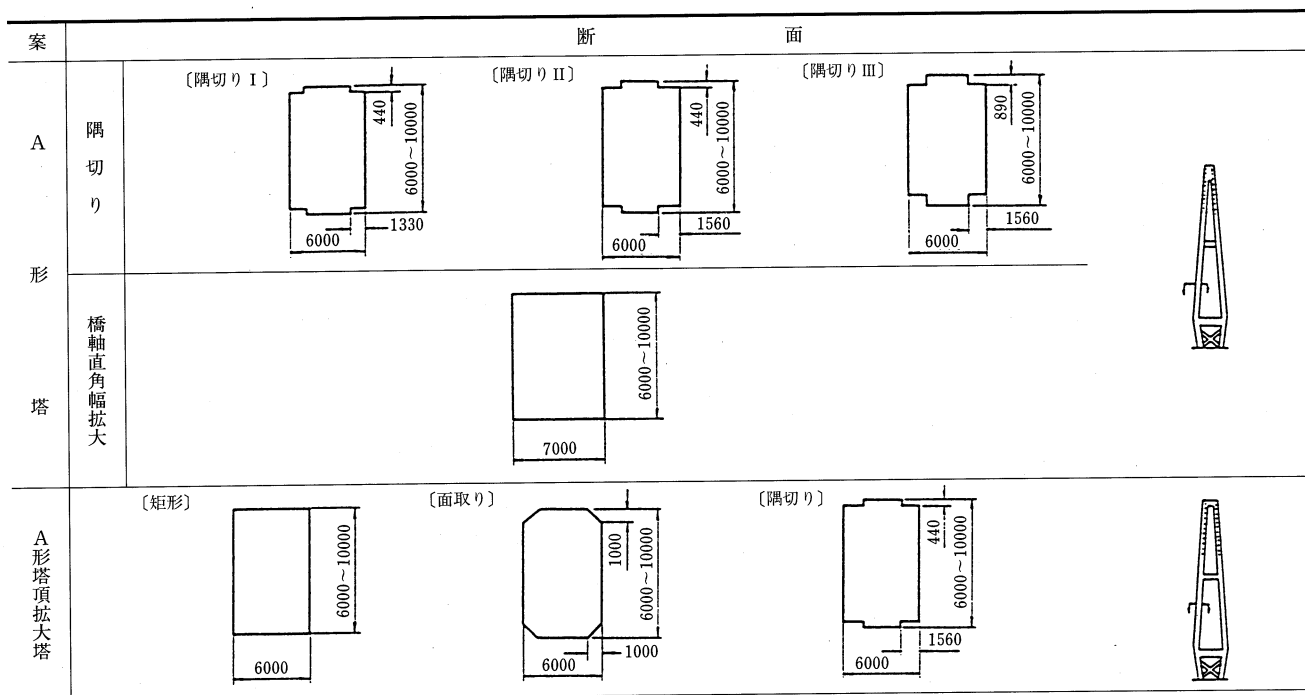
空力的に安定化が得られる断面を見出すため、各種断面形状について部分模型試験を実施した。表-1 に検討対策断面の概要と選定理由を示す。

試験結果の詳細は省略するが、隅切断面、橋軸直角方向幅拡大断面及び塔頂塔柱間隔拡大断面については、制振効果が認められたが、台形断面及び橋軸方向幅拡大断面については、効果が認められなかった。なお、隅切形状は橋軸方向の寸法を $D/18$ (D : 橋軸方向平均塔柱幅) とするのが効果的であった。

次に、部分模型試験で検討した対策の制振効果を確認するため、3次元空力弾性模型を用いた風洞試験を実施した。試験は A 形塔および塔柱間隔拡大案として A 形塔の塔頂での塔柱中心間隔を 6 m から 12 m に拡大した A 形塔頂拡大塔の 2 タイプを対象とした。いずれも矩形断面を基本とし、空力対策断面として、A 形塔は隅切りと橋軸直角方向拡大断面を、A 形塔頂拡大塔は隅切りと他橋で効果が報告された面取りについて実施した。図-4 に検討断面形状を示す。

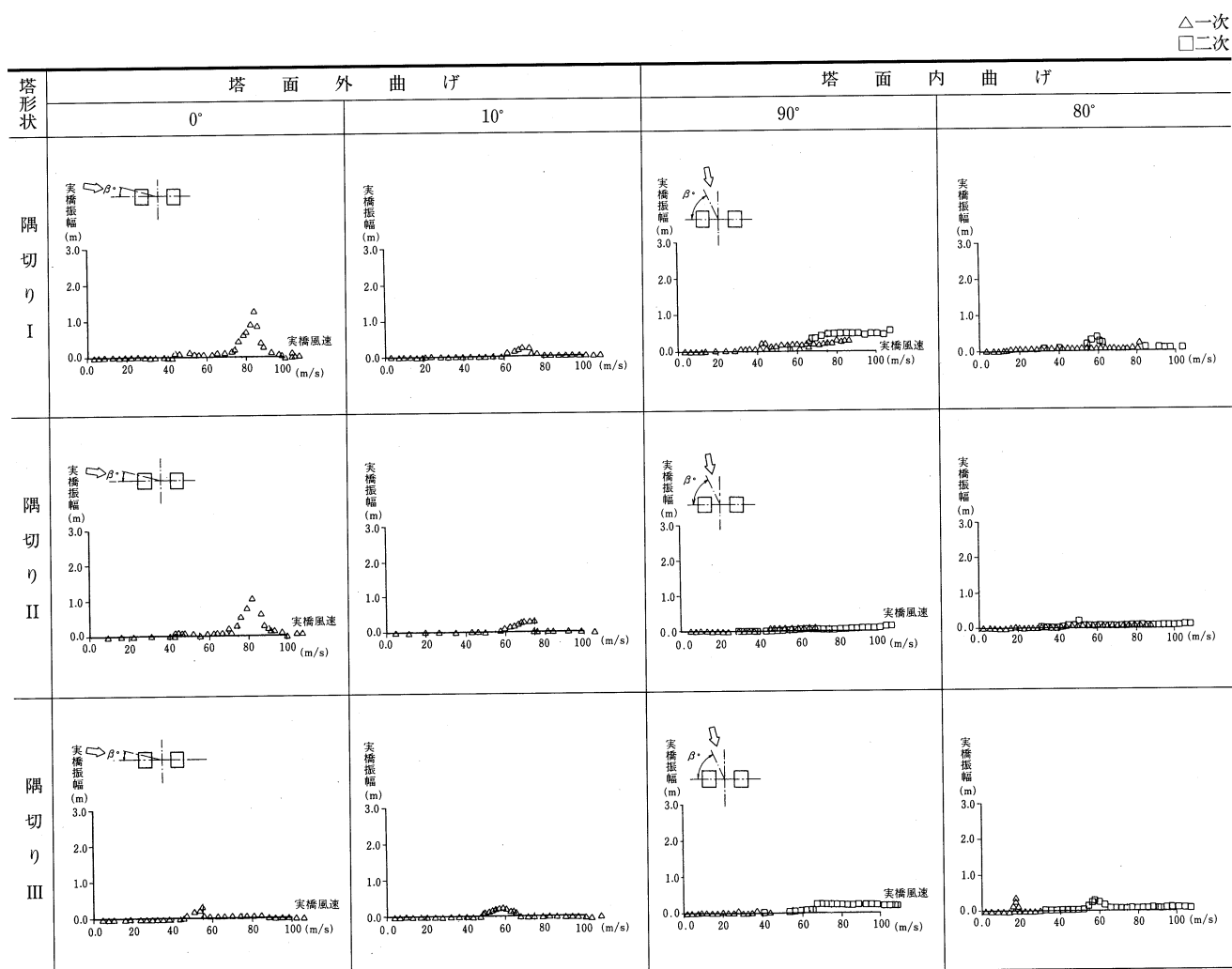
試験結果から、A 形塔については、面外振動、面内振動ともに発生振幅の小さかった図-4 の隅切形状 II を選定した。A 形塔に隅切りを設けた場合の振動応答の一部を図-5 に示す。

A 形塔頂拡大塔は、矩形断面の場合には面外のギャロッピング振動は生じないものの、面内の耐風性が劣り、空力対策断面として、隅切りの場合には面内振動、面取りの場合にはねじれ振動の発生が認められ、A 形塔を上回る耐風性は得られなかった。



図—4 塔柱空力対策断面形状

Fig.4 Configuration with aerodynamically stabilized section



図—5 隅切形状と耐風性

Fig.5 Stability according to varied-corner shapes of section

4. 塔形状の検討と耐風性安定性の確保

4.1 塔上部形状の検討

これまで述べた風洞試験での検討の結果、完成時に問題となった塔の面外のギャロッピングについては、空力対策断面として隅切りを行うことで、耐風安定性が確保されることが確認された。また、塔上部形状は、A形塔を基本として設計を進めることとした。

一方、塔形状は、景観委員会における主要なテーマの一つとして審議された。検討形状は、ケーブルを2面吊りとすることを前提に、塔面内の剛性、ケーブルによる桁のねじり剛性への寄与等を考慮し、図-6に示すようなA形、逆Y形及びそれに近い門形の塔を比較案とした。

塔形状の検討に当たっては、各案について、塔基部反力、暴風時塔頂変位、塔面内固有振動数、塔単体座屈固有値などの構造特性及び概算鋼重を求めるとともに、3次元模型による風洞試験を実施し耐風性を照査した。

4.2 各塔形状の耐風性照査

各塔形状の耐風性については、まずA形塔で選定した隅切り形状を設けた3次元模型を用いた風洞試験を実施し照査した。なお、図-6に示す第4案の模型は、第5案の剛性棒を用い、ケーブル定着部の外形材のみ狭くして試験を行った。以下に試験結果の概要を示す。

面外振動については、各案とも同等な耐風性が得られた。面内振動については、第2案は第1案のA形塔と同等の耐風性を示したが、第5案は一樣流中ではA形塔と同等の耐風性を示すものの乱流中でバフエッティング振動がA形塔に比べやや大きかった。第3案、第4案については、一樣流中で大振幅の面内振動が発生した。特に第3案の逆Y形塔については、ケーブル定着部の隅切り形状の変更による耐風性の改善を試みたが、形状によってはギャロッピング振動が生じる場合もあり、大幅な耐風性の向上は困難と判断された。

図-7に第3案及び第4案の振動応答の一部を示す。

4.3 景観面での評価

塔形状の検討案の内、第3案、第4案については耐風性に問題がある結果となったが、第4案は塔下部形状とのバランス、スリットを有するケーブル定着部の独創的な形状等から景観面での評価が比較的高く、第4案の耐風性の向上についてさらに検討を行うこととなった。

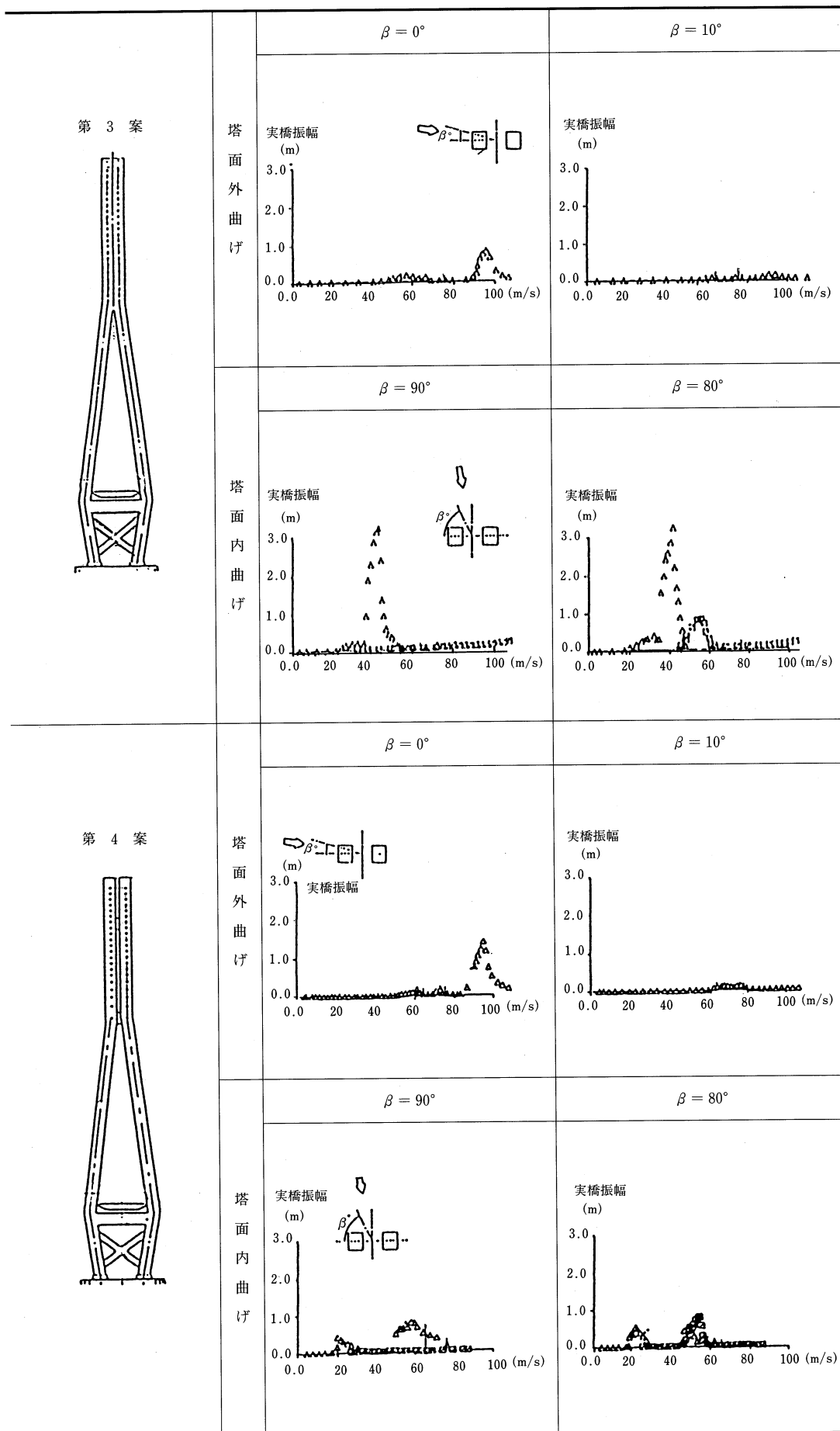
4.4 耐風性の改善

第4案の風洞試験で生じた面内振動は、ケーブル定着部における塔柱間の相互作用によって発生していると考えられた。ケーブル定着部の隅切り形状は、先に述べた面外振動の対策として選定した一般塔柱部の形状をそのまま用いており、ケーブル定着部の2本柱の相互作用を軽

タイプ	第1案	第2案	第3案	第4案	第5案
形状					
特徴	・A形塔	・塔頂部からケーブル段数10段目までの塔柱を1本柱とした案	・ケーブル定着部の塔柱を1本柱とした案	・ケーブル定着部の塔柱間隔を8mで鉛直とした案	・ケーブル定着部の塔柱間隔を12mで鉛直とした案

図-6 塔上部形状検討案

Fig.6 Alternatives for upper-half configuration of tower



図一7 比較塔形状の耐風性
Fig.7 Stability of inverse-Y shape tower

減する点からは検討を行っていない。このため耐風性を改善するためのアプローチとして、まず2次元部分模型によりケーブル定着部の隅切形状の検討を行い、次に効果の得られた隅切りを設けた3次元模型による確認を行うこととした。

(1) 2次元部分模型試験

ケーブル定着部に橋軸方向風が作用した場合の平均流に直角方法の変動空気力を準定常的に示すと次式のように表せる。¹⁾

$$L(t) = L_v(t) + L_u(t)$$

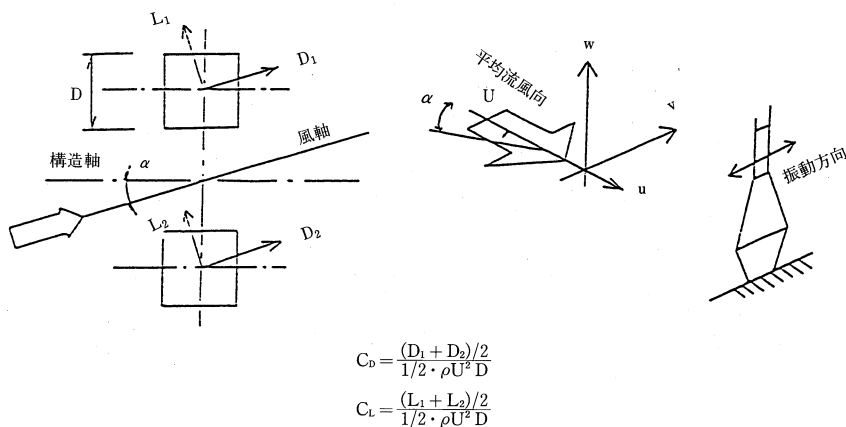
$$L_v(t) = 1/2 \times \rho D U (dC_L/d\alpha + C_D) X_L^v(fd/U) v(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$L_u(t) = \rho D U C_L X_L^u(fd/U) u(t) \dots\dots\dots (2)$$

但し、

- $L(t)$: 全変動揚力
- $L_v(t)$: 変動風速 $v(t)$ による変動揚力
- $L_u(t)$: 変動風速 $u(t)$ による変動揚力
- ρ : 空気密度
- U : 平均流方向の平均風速
- C_L : 揚力係数
- C_D : 抗力係数
- f : 振動数
- $X_L^v(fd/U)$: $v(t)$ による変動空気力に関する伝達関数
- $X_L^u(fd/U)$: $u(t)$ による変動空気力に関する伝達関数
- $v(t)$: 水平方向の変動風速成分
- $u(t)$: 平均流方向の変動風速成分
- D : 平均流方向に対する見附幅

式(1)の成分が風軸直角方向変動風によるものであり、風洞試験では $\alpha = 0^\circ$ すなわち $C_L = 0$ においても振動が生じていることから、式(1)が主要因と考えられた。式(1)の $dC_L/d\alpha + C_D$ が断面形状によるものである。そこで、ケーブル定着部の2本柱部を取り出した部分模型を用いて、隅切形状をパラメトリックに変化させて三分力試験を実施し、試験値から $(dC_L/d\alpha + C_D)$ (ここでは横力係数と呼ぶ) を求め、最適な隅切形状を求めることとした。



図—8 空気力の定義 (模式図)

Fig.8 Definitions of aerodynamic force (diagram)

横力係数は、次のように評価した。

①バフエッティング：空気力は横力係数と $v(t)$ によるが、 $v(t)$ は正負両値をとることから、横力係数は0に近い方がよい。

②ギャロッピング：横力係数はギャロッピングの判定基準であり、負の場合にギャロッピングが発生するため、正の方がよい。

模型は2本柱を再現した1/100の部分模型で塔柱中心間隔は実橋相当で9mに対応させた。これは、柱間隔を塔頂部で8m、定着部下端で10mとなるようにテーパーを付けることとしたため、平均的な柱間隔を用いたものである。

隅切形状は、表—2に示すケースを実施した。橋軸方向隅切寸法を $D/18$ とした場合は、前述の3次元模型試験で良好な結果が得られなかったので除外した。また、ケーブル定着部の必要最小寸法を確保するため、橋軸直角方向隅切寸法は2m以下とした。試験は、風向を $\alpha = -1^\circ \sim 30^\circ$ まで 1° ピッチで変化させ、2本柱に生じる揚力及び抗力を平均し、横力係数を算出した。

試験結果から、風向角と横力係数の関係を各隅切形状について整理したものを図—9に示す。この結果から、横

表—2 ケーブル定着部塔柱隅切形状検討ケース

Tab.2 Study sections for the cable-support portion

		橋軸直角方向隅切寸法				
		$\frac{1}{18} D$	$\frac{2}{18} D$	$\frac{3}{18} D$	$\frac{4}{18} D$	$\frac{5}{18} D$
橋軸方向隅切寸法	$2/18 D$	○	○	○	○	○
	$3/18 D$	○	○	○	○	○
	$4/18 D$	○	○	○	○	○
	$5/18 D$	○	○	○	○	○

力係数が風向角によらず正でかつ絶対値の小さい傾向を示した2ケース(図-9で太枠で囲んだもの)を選定した。

(2) 3次元模型試験

部分模型試験から選定した隅切形状を、ケーブル定着部に用いた3次元模型による風洞試験を実施した。試験結果から、選定した2ケースでは耐風性に有為な差はなく、いずれも隅切形状変更前に生じていた一様流中の大振幅の振動は発生せず、 $\beta = 90^\circ$ の風速 50 m/s 付近で2次モードの渦励振が発生するが、最大振幅は 50 cm 程度で致命的なものではなく、乱流中のバフエッティング振動も A 形塔と同程度であった。

最終的にケーブル定着部の隅切形状としては、隅切りによる断面欠損の小さい 1.0 m × 1.33 m (橋軸幅 × 橋直幅) を選定した。図-10 に選定した隅切形状の試験結果を示す。

(3) 塔形状の選定

図-6 に示す第4案の塔形状について、A 形塔と同程度の耐風性が得られたことから、塔形状として同案(以下スリット付逆 Y 形塔と呼ぶ)を選定することで景観委員会に諮り了承を得た。

なお、桁位置より下部の塔形状についても、塔面内の剛性を高めることから種々の補強方法を検討したが、景観面から、塔柱を基部に向かって拡大する形状を選定した。これにより塔基部の橋軸直角方向幅が 6 m から 12 m となったため、基部の橋軸方向幅を塔面外剛性がほぼ同等となるように 10 m から 8.5 m とした。また一般塔柱部の隅切寸法も、平均塔柱幅の比率で変更し、0.4 m × 1.4 m (橋軸幅 × 橋直幅) とした。

5. 耐風性の最終確認

塔形状が決定したことにより、本橋の基本設計を進めることとしたが、前述したスリット付逆 Y 形塔の風洞試験で生じていた橋軸方向風による面内2次の限定振動は、初通過破壊の照査で許容応力度を上回る恐れがあった。また、塔形状選定過程における一連の風洞試験では、空力的な耐風安定化策の検討を優先し、塔の部材剛性は、設計を行った A 形塔の断面諸元をそのまま利用して骨組み形状のみ変更して対応していた。そこでスリット付逆 Y 形塔の基本設計の諸元に基づき、完成時の風洞試験を実施し、耐風性の最終確認を行うこととした。なお塔柱一般部の隅切寸法は、塔の面外振動に着目して選定したものであることから、面内振動に対して最適な形状となっているとは限らないため、塔柱一般部の隅切形状をさらに検討し、面内振動の改善を試みることにした。

5.1 試験条件及び試験方法

(1) 風洞模型

試験には、縮尺 1/70 の3次元弾性模型を用い、構造詳細を忠実に再現した。具体的には、景観上の配慮から、塔柱の下部折れ点位置をフェアリング先端位置に合わせ下絞りの勾配を緩やかにするとともに、上部水平材と塔柱の隅角部に R を入れた。また、ケーブル定着部の隅切の橋軸直角方向寸法を 1.33 m から 1.4 m とし、塔柱一般部の寸法に合わせた。なお塔柱一般部の隅切の橋軸方向寸法は 0.4 m としていたが、主に下部水平材隅角部の

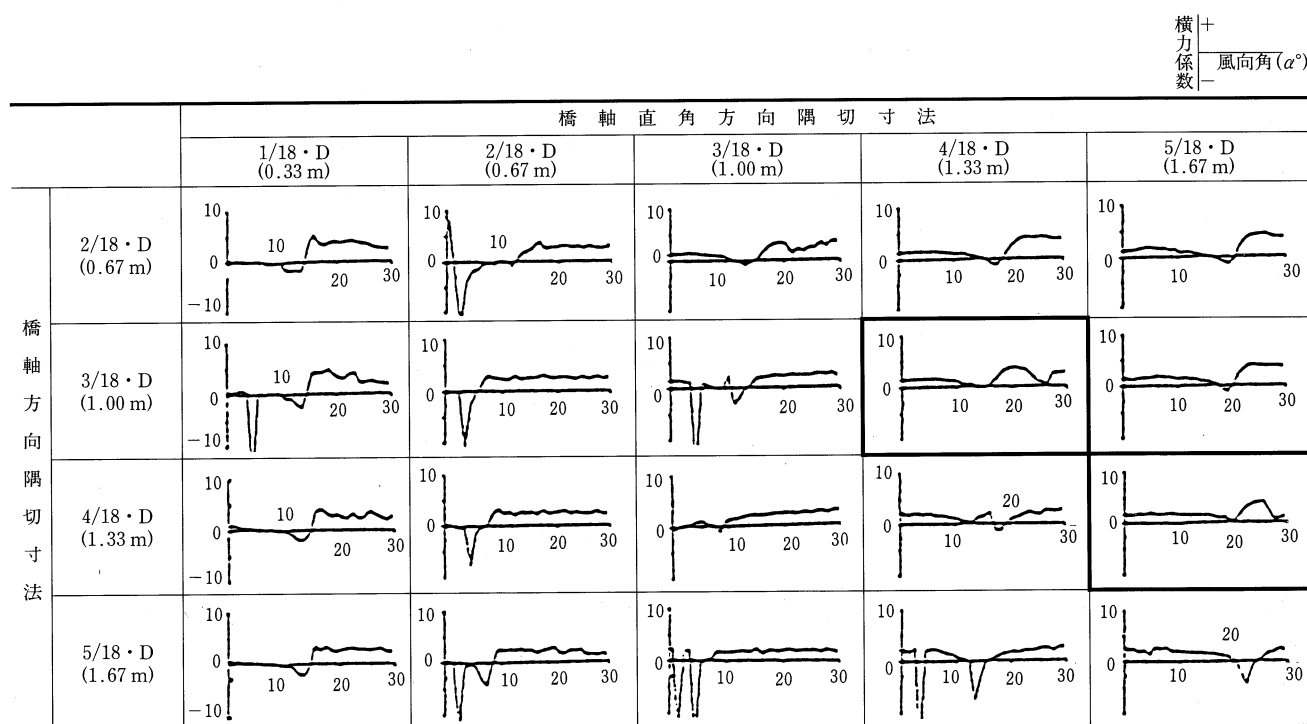
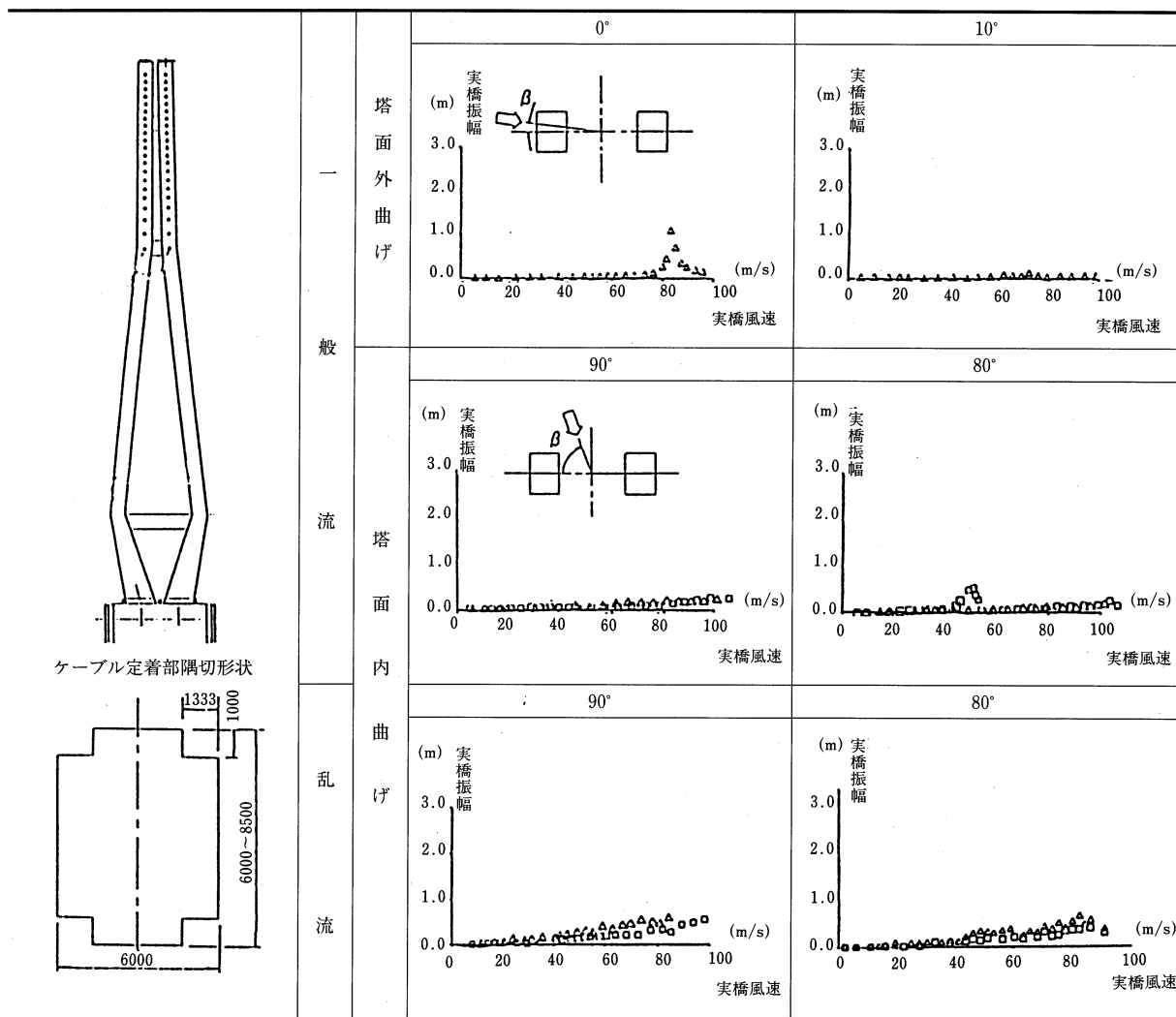


図-9 隅切形状別の横力係数特性

Fig.9 Characteristic of lateral force coefficient varied with corner shapes



図一10 選定隅切形状と耐風性
Fig.10 Stability on selected corner shape of tower section

構造を改善するため、0.8 mとした場合及びケーブル定着部と同じ1.0 mとした場合についても試験を行うこととした。

(2) 有効質量

全体系の振動解析による塔卓越振動モードで、2 P、3 Pのいずれかの有効質量が60%を超える塔面内1次、2次及びねじれ1次の振動モードについては、塔のみの有効質量を考慮するものとした。また、塔面外曲げ1次振動モードについては50%を下回るため、桁の剛度を変化させた時の有効質量の変動を試算し、最小となる有効質量を用いた。

表一3 に塔の振動諸元を示す。

(3) 試験方法

模型の振動特性は、面内1次及び2次振動については、付加剛性が不要であったため独立状態で行い、面外曲げ1次及びねじれ1次振動については、ピアノ線を介して床下のバネに連結し剛性を付加した。

一様流中での試験は、模型近傍の床を風路床より60 cm上昇させて境界層の厚さを100 mm以下とし、乱流中での試験は、床を風路床と同一レベルとし模型上流側

にスパイヤー及びブラフネスブロックを設置した。

図一11 に試験状況の概略を示す。

(4) 試験ケース

一様流中の試験ケースを表一4に示す。乱流中での試験は、一様流中の試験結果から選定した断面形状に対して行うこととした。

表一4 試験ケース
Tab.4 Cases of test

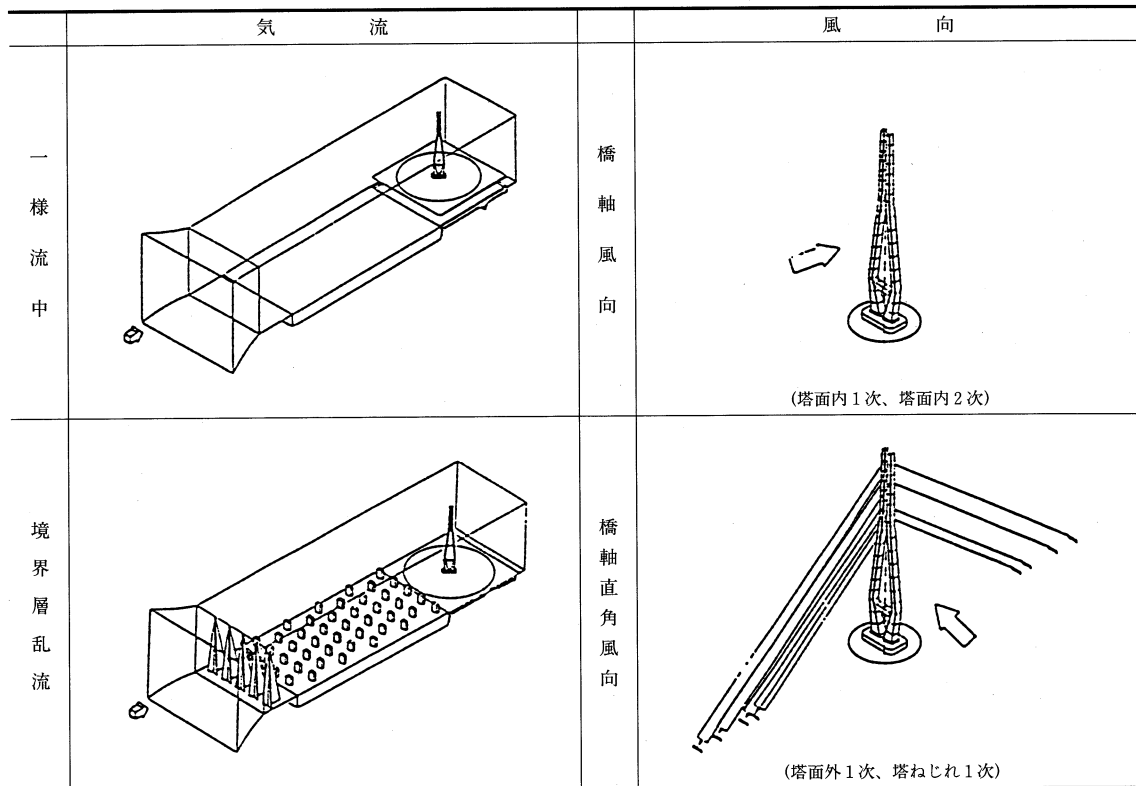
隅切寸法 風向	A 一般部:0.4m ケーブル定着部:1.0m	B 一般部:0.8m ケーブル定着部:1.0m	C 一般部:1.0m ケーブル定着部:1.0m	D 一般部:0.8m ケーブル定着部:0.8m
橋軸直方向				
0°	○	○	○	○
5°	○	○	○	○
10°	○	○	○	—
15°	○	○	○	—
20°	—	○	—	—
30°	—	○	—	—
橋軸方向				
90°	○	○	—	○
85°	○	○	—	○
80°	○	○	—	○
75°	○	○	—	○

表一3 塔振動諸元 (完成時)

Tab.3 Characteristics of vibration of the tower (complete state)

モード No.	振 動 モ ー ド 図	実 橋			計 画 値			模 型 実 測 値		
		振 動 数 (Hz)	有効質量 (ton·s ² /m)	等価質量 (ton·s ² /m ²)	振 動 数 (Hz)	有効質量 (ton·s ² /m)	等価質量 (ton·s ² /m ²)	振 動 数 (Hz)	有効質量 (ton·s ² /m)	等価質量 (ton·s ² /m ²)
9	 (面内曲げ1次)	0.414	242.98	4.20	(4.57)	0.708	0.857	5.37	0.695 [0.98]	0.873 [1.02]
26	 (面内曲げ2次)	0.967	230.78	3.09	(10.68)	0.673	0.631	12.01	0.680 [1.01]	0.622 [0.99]
30	 (面外曲げ1次)	1.109	316.90	4.17	(12.24)	0.924	0.851	11.35	0.912 [0.99]	0.850 [1.00]
47	 (ねじれ1次)	1.844	190.19	2.61	(20.35)	0.555	0.533	15.90	0.559 [1.01]	0.529 [0.99]

注) [] は、所要値に対する比率



図一11 試験状況

Fig.11 Outline of test

5.2 試験結果

一様流中の塔面外曲げ1次振動及び耐風性改善の対象とした面内2次振動の試験結果を図-12、13に示す。ねじれ振動については、いずれの断面形状でも問題となるような振動を生じなかったので省略する。

塔面外曲げ1次振動については、一般塔柱部の橋軸方向隅切寸法を0.4 mとした場合に風速 65 m/s 付近から生じる比較的大振幅の振動が、0.8~1.0 m とした場合には発生せず、40~60 m/s で限定振動を生じるが振幅は小さく、なかでも 0.8 m の場合が最小となった。

面内2次振動については、風速 45 m/s 付近で限定振動を生じるが、振幅は小さく隅切形状による差も少なかった。なお、塔形状選定時の風洞試験で、隅切寸法 0.4 m の場合に生じていた振幅 0.5 m 程度の限定振動が、今回の試験では 0.1 m 程度にとどまったが、これは、スリット付逆 Y 形塔の基本設計諸元を反映した今回の試験時の一般化質量が、塔形状選定時に比べ模型実測値で約 1.7 倍となっていることに起因すると考えられた。

次に乱流中での試験結果を図-14に示す。境界層乱流の特性は、風速分布のべき指数 $\alpha \approx 1/7$ 、桁位置における主流方向の乱れ強さ $I_u \approx 10\%$ とした。一様流中で観測された限定振動は安定化され、面内振動では若干の不規則振動を生じるが、振幅も小さく問題となるものではない。

かった。

以上の結果から、一般塔柱部の橋軸方向隅切寸法は、0.8 m とすることとした。隅切寸法を拡張したことにより下部水平材ウェブと隅切面を一致させ合理的な隅角部の補強構造を構成することが可能となった。ケーブル定着部の隅切り (1.0 m) との相違は、中間水平材付近ですりつけることとした。

図-15に本橋の塔の最終形状を示す。

5.3 静的空気力試験

塔形状が確定したことから、最終形状の空気力係数を測定し、部材設計に反映することとした。

試験は、縮尺 1/100 の剛体模型を用い、模型の基部に 6 分力天秤を設置し空気力を求めた。試験風速は、12.5 m/s と 25 m/s で行った。

図-16に風速 25 m/s の試験結果より求めた風力係数を示す。なお、風速による有為な差は認められなかった。橋軸方向の抗力係数は、風向 90° (橋軸直角方向を 0° とする) で最大 1.6 程度で、面外方向のモーメント係数も同様に最大 0.7 程度の値となっている。一方、橋軸直角方向の抗力係数は、風向 35° で最大 1.1 程度で、面内方向のモーメント係数も同様に最大 0.5 程度の値となっている。

塔柱がケーブル定着部で近接しており、一般部では比

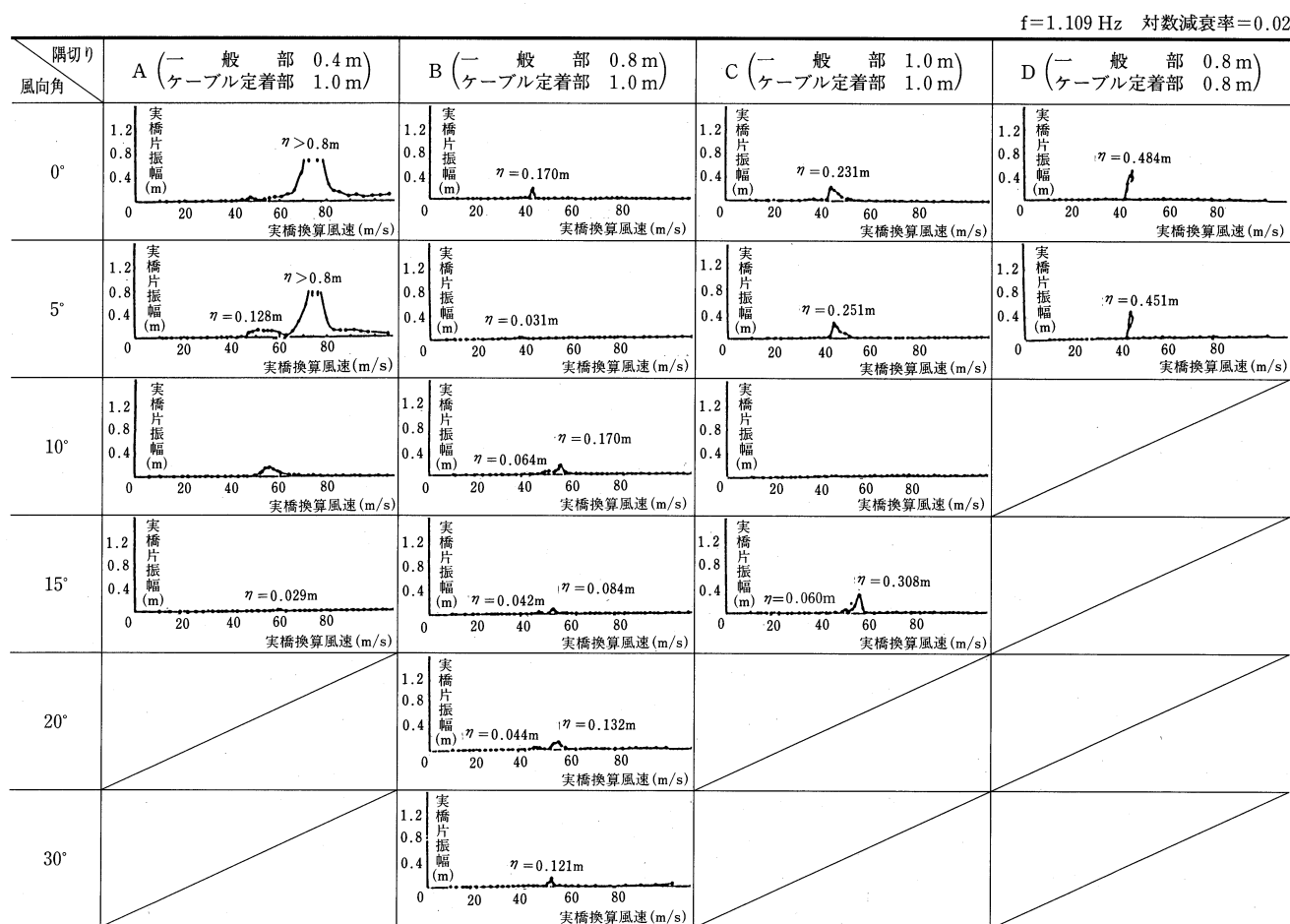


図-12 隅切形状と耐風性 (面外1次振動)

Fig.12 Stability and corner shapes of tower section (1st-mode vibration for the direction normal to the tower plane)

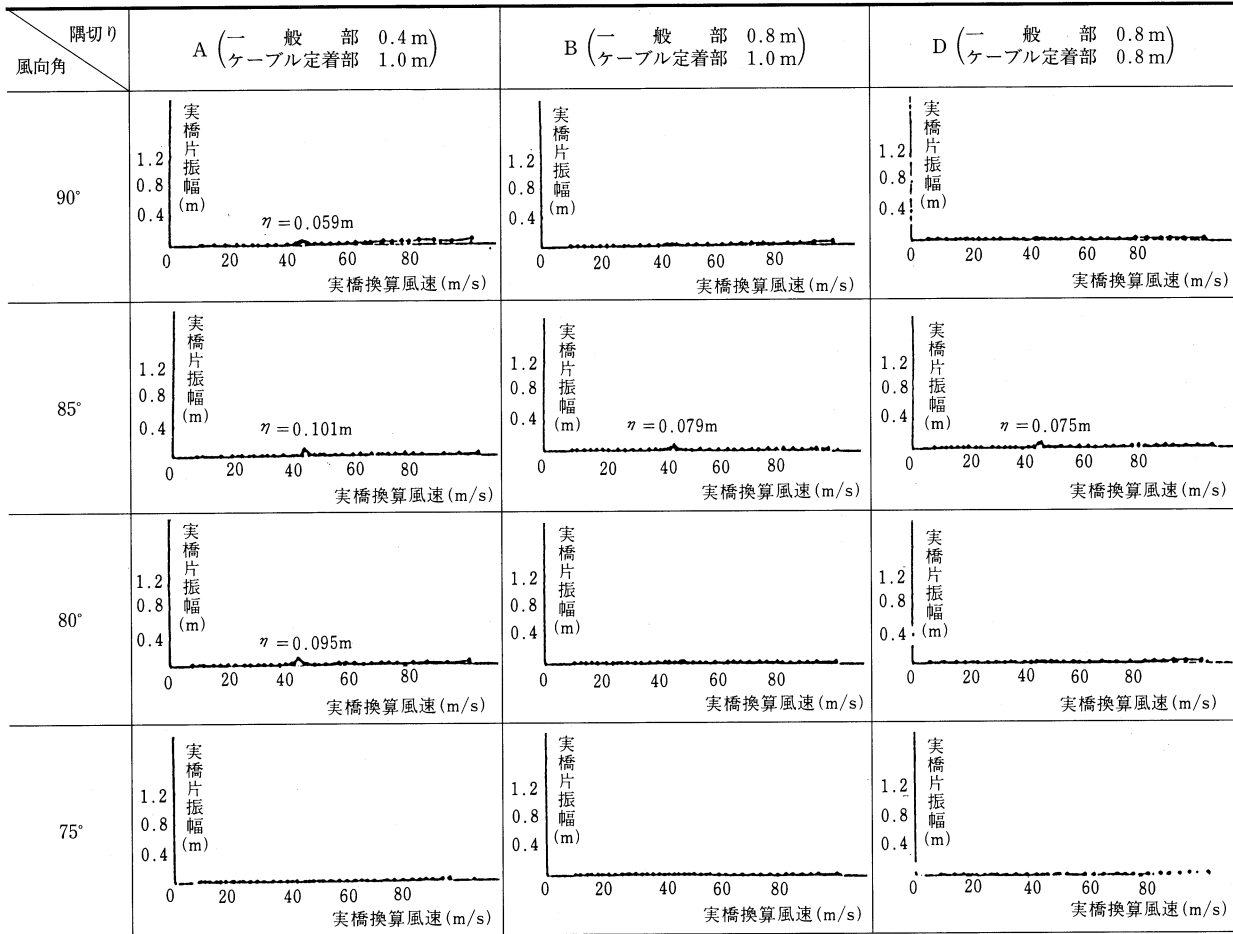


図-13 隅切形状と耐風性 (面内 2 次振動)

Fig.13 Stability and corner shape of tower section (2nd-mode vibration for the direction parallel to the tower plane)

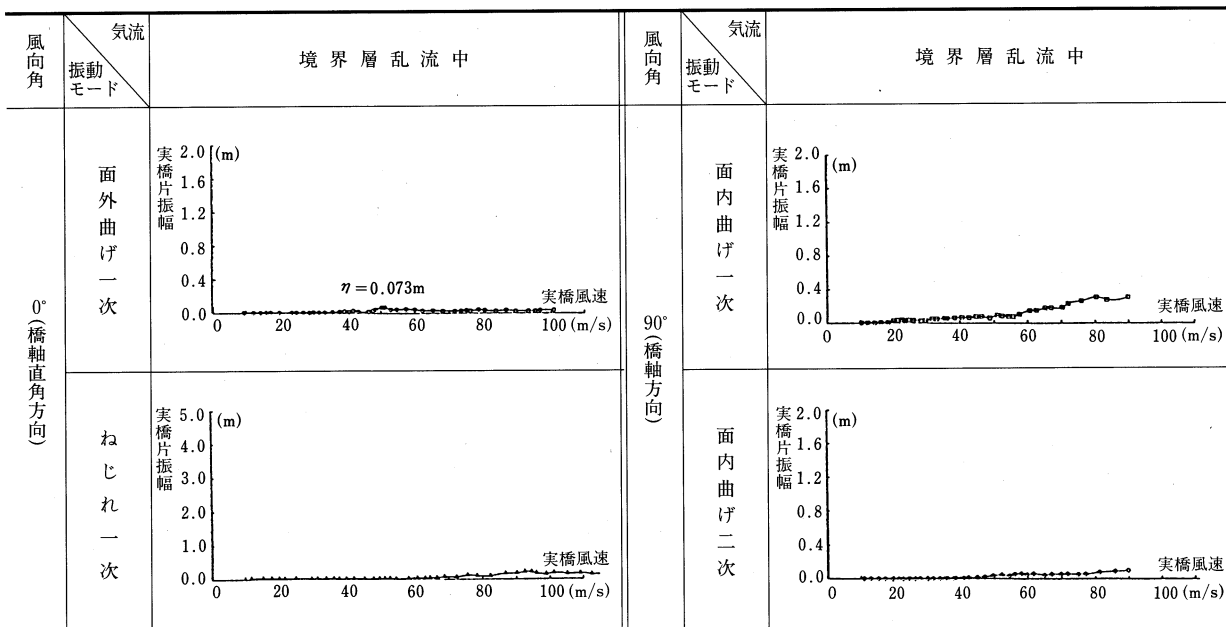


図-14 乱流中の耐風性

Fig.14 Aerodynamic stability in turbulent flow

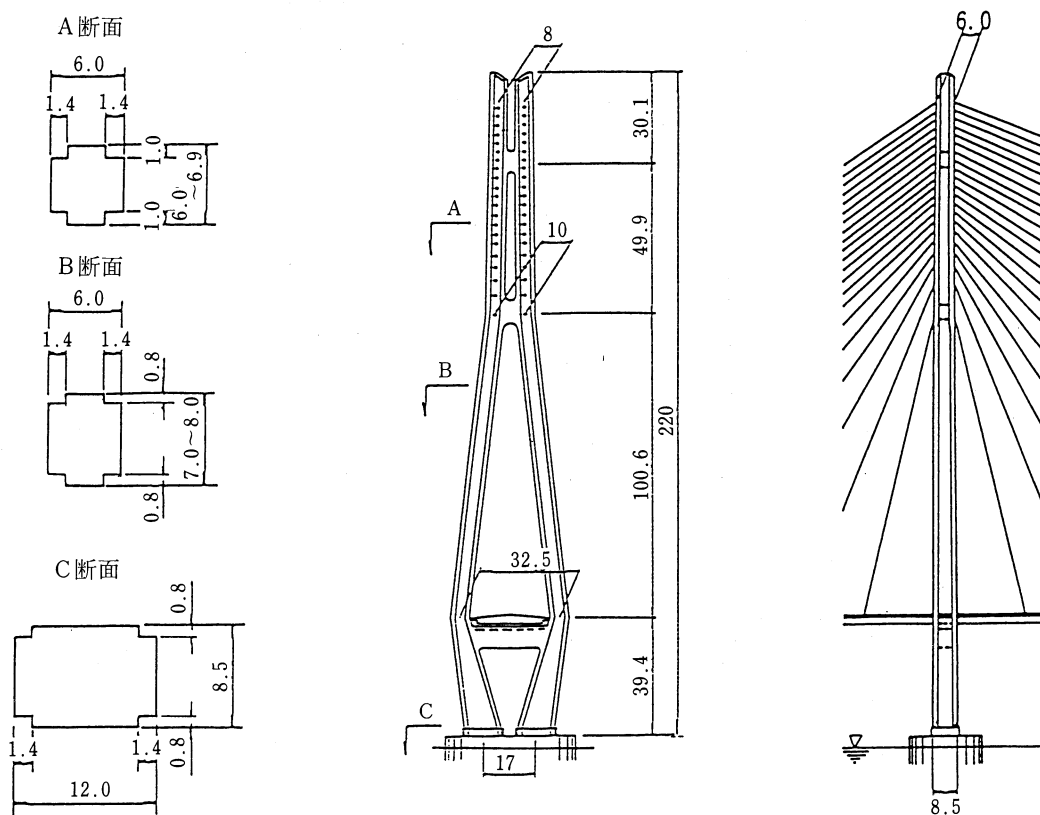


図-15 塔最終形状
Fig.15 Final configuration of the tower

較的離れていることから、抗力係数は高さ方向に変動していると考えられる。そこで、それまでに行った風洞試験時に測定した塔模型の抗力係数の分布を参考に、ケーブル定着部と一般部で異なる抗力係数を設定することとし、橋軸方向、橋軸直角方向とも、塔基部の抗力とモー

メントの計算値が試験値と合致するように抗力係数を定めた。

表-5 に、試験結果に基づき設定した設計で考慮する抗力係数を示す。

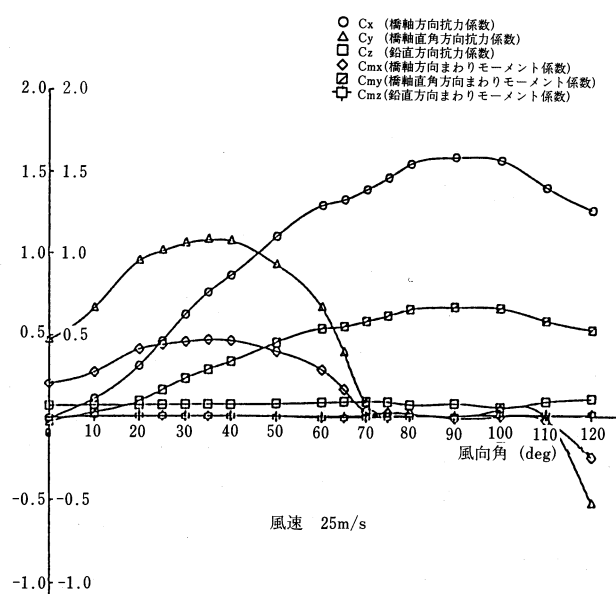


図-16 風力係数 (模型軸基準)
Fig.16 Wind force coefficient (based on model scales)

表-5 設計で考慮する抗力係数
Tab.5 Drag coefficient to be used in design

		橋軸直角方向風荷重	橋軸方向風荷重
抗力係数の分布			
計算値	抗 力	1.03	1.04
試験値	モーメント	1.05	1.03

6. あとがき

斜張橋の塔の耐風性検討において、完成時に面外方向にも有害な振動が生じる場合があることは、本橋の塔の耐風性検討において得られた新たな知見と思われ、斜張橋の長スパン化に伴う耐風性上の一つの問題といえる。本橋では、耐風安定化対策として、完成時に特別な制振装置を必要としないように、塔柱断面形状による空力的対策を前提に検討を行ってきたが、塔の面外、面内両方向の耐風性を確保する断面形状を選定するため、検討に多くの時間を要した。今回の検討経緯を振り返ると、空力対策断面形状の選定は、まず基本断面（矩形）での振動特性を把握し振動の発生要因を分析し、次に部分模型試験で有効な対策断面を選定し、その効果を3次元模型試験で確認するという手順が効果的であった。

本橋の塔形状については、A形塔を基本として設計を進めてきたが、最終的には景観面から新たな形状が選定された。景観検討は、静的な構造特性や耐風性を踏まえた上で行われたが、耐風性については風洞試験での確認を要した。斜張橋の塔は種々の塔形状が選定可能であることから、結果的には、最初に静的な構造特性及び景観性から塔の基本形状を選定し、次に風洞試験により耐風性を確認し耐風安定化対策を検討した方が、形状決定の早道であったかも知れない。

本橋の塔は、耐風委員会（委員長：宮田利雄横浜国立大学教授）において耐風性に関するご議論を、耐風性を含めた構造特性については多々羅大橋の橋梁計画検討委

員会（委員長：伊藤 學埼玉大学教授）で総合的なご検討を頂き、さらに景観性について景観委員会（委員長：八十島義之助東京大学名誉教授）でご審議を頂いた。貴重なご助言、ご指導を賜った委員各位に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡内、伊藤、宮田：耐風構造 昭和52年5月 p.202～205
- 2) 多々羅大橋風洞試験（その8）報告書 平成3年3月 本州四国連絡橋公団
- 3) 多々羅大橋風洞試験（その9）報告書 平成3年9月 本州四国連絡橋公団
- 4) 多々羅大橋風洞試験（その12）報告書 平成4年2月 本州四国連絡橋公団
- 5) 多々羅大橋塔風洞試験報告書 平成4年7月 本州四国連絡橋公団
- 6) 多々羅大橋塔風洞試験（その2）報告書 平成4年12月 本州四国連絡橋公団
- 7) 多々羅大橋塔大型風洞試験報告書 平成5年10月 本州四国連絡橋公団
- 8) 多々羅大橋の橋梁計画検討委員会報告書 平成3年3月 本州四国連絡橋公団・財海洋架橋調査会
- 9) 多々羅大橋の橋梁計画検討委員会報告書 平成4年3月 本州四国連絡橋公団・財海洋架橋調査会
- 10) 多々羅大橋の橋梁計画検討委員会報告書 平成5年3月 本州四国連絡橋公団・財海洋架橋調査会

ミンダナオ島探訪記

Exploration in Mindanao Island

企画開発部 道路課 長 金澤 克義

Katsuyoshi Kanazawa



1. まえがき

ミンダナオ島はフィリピン第2の島で、面積は北海道の約2倍、人口は約1,400万人、中心都市ダバオはマニラ南東約920kmに位置する(図-1)。

金・銀・ニッケルなどの鉱物資源や天然の観光資源に恵まれた島であるが、今日でもモロ民族解放戦線や共産党がゲリラ活動をしており、社会基盤の整備が大きく阻害されている。

今回フィリピン政府は、地方道路橋梁建設5カ年計画の第3年次として、比較的治安状況の良いミンダナオ島東部の行政区、XおよびXIを対象とする86橋の建設について、日本政府に無償資金協力を要請した。

これを受けて国際協力事業団の派遣する、基本設計調査団の団長として、平成6年3月、5月、10月の計3回訪比した。

調査団は、受入機関であるD.P.W.H(公共事業道路省)との協議、現地における建設の必要性と無償資金協力の妥当性調査および設計資料収集を行った。

調査の結果、29橋が鋼桁のみの供与、10橋が日本側による上下部工建設の対象として選定された。



図-1 ミンダナオ島
Fig.1 Mindanao Island

2. 調査概要

全長6,728kmの国道は2車線道路で、46%が舗装されており、管理状態は良好である。

特に島を南北に縦断するパン・フィリピン・ハイウェイは立派な道路である。

ところが、全長46,773kmの地方道路たるや、96%が砂利道であり、現地人運転手が猛スピードで走るため、車内は激震に見舞われ放しであった。

しかし慣れとは恐ろしいもので、3日も経るとホテルの枕を持ち込んで眠りを貪り、前夜の疲れを癒せるようになる。

援助の第一条件とされた治安の情報は、マニラでは確度の高いものが得られず、現地で国家警察の出先署に確認しながらスケジュールをこなしていった。

さすがに山岳道路で政府軍の武装兵士に停車を命じられると、ドキッとしたものである。

架橋要請86橋の現況は、木橋20、ベアリー橋(仮設トラス)47、河床渡河9、橋なし10橋であり、維持管理不良、過積載荷重と相俟って老朽化が著しく、本当に危険な状態である。

写真-1に示すローワー・シルウェイ橋は、南部のゼネラルサントス市内の幹線道路に架かっているが、ベアリー



写真-1 ローワー・シルウェイ橋
Photo.1 Lower Silway Bridge

も木製床版も損傷が激しく、5月には兩岸の手旗信号で1車線規制して、小型のオート三輪車を通していたが、10月には交通止めして人道橋と化していた。いくつかの河床渡河地点では、おばさんや子供達が水に浸かって竹筏を押して商売にしている有様で、橋の有難さ、大切さに目を洗われる思いがした。我国で架橋に反対する人達に、是非見て貰いたい光景であった。

今回調査の要点を下記に示す。

- ①日本側による上下部工建設は、日本人が常駐可能な治安水準を必要とする。
- ②フィリピン側で上下部工架設が可能な場合は、鋼桁供与とする。
- ③橋の流失を避けるため、杭基礎を基本とする。
- ④転石層では、オーガー先揉みの打込杭とする。
- ⑤洗掘の恐れがある基礎には、フィルター・ユニットによる洗掘防止工を施工する。
- ⑥桁は活荷重合成の鋼単純桁を基本として、鋼桁供与数を多くする。また、耐震連結装置を取り付ける。
- ⑦RC床版には、5cm余分にかぶりをとって、これをコンクリート舗装と見做す。また、端部を山型鋼で保護し、伸縮装置は省略する。

3. 余 話

戦前ミンダナオ島には1万人以上の日本人が移住しており、特にダバオには日本人街が築かれていた。そこにはマニラ麻の製造で財をなした人々や、いわゆる「からゆきさん」達が住んでいた。

写真-2は郊外の日本人墓地であるが、第2次大戦中



写真-2 ダバオの日本人墓地
Photo.2 Japanese cemetery in Davao

の日本軍の乱暴を恨んでか、すべて打ち壊されている。僅かに判読できた墓銘の中に「尾道市久保町出身、昭和3年没、享年21歳」の女性名があった。本四公団の職員が発見したのも何かの因縁であろうか。

ダバオ警察では、山下奉文将軍が、島の黄金で造った仏像5体を、終戦間際に秘かに日本へ送ったという伝説をしつこく聞かされた。山下財宝の伝説は、今でもフィリピン全土に根強く残っているのである。

北端のスリガオ岬では、昭和19年に対岸のレイテ島へマッカーサー元帥が再上陸した際、敗残の日本兵が手漕ぎ船で逃げて来てジャングルに立て籠り、全滅した悲話を土地の古老から聞かされた。

楽しい話としては、ミンダナオ島は熱帯果物の宝庫で、ランブータン、マンゴスチン、ジャックフルーツ、ランゾネスそして悪臭高いドリアン等があきれる程の安価で入手できた。

しかし、何といっても酒場の安さは格別で、不良中年にはこたえられないナイトライフであった。夜の町は危ないと釘を刺されてはいたが、「危ない」と「面白い」は表裏一体で自己規制は効かないものである。

実感としては、マニラや歌舞伎町の夜の方が物騒である。

議事録調印後に開かれたパーティでのスピーチで、ダバオのナイトライフの素晴らしさに触れて大受けしたのは悪乗りであったろうか。

4. おわりに

我国と同様に、橋の建設誘致を政治上の手柄にしようと企む政治家達が行く先々で待ち構えており、これらを回避するのが煩わしかったが、D.P.W.Hのボノアン次官補やリンダ課長（独身女性です！）は、日本の援助案件の扱いに精通しており、また即断即決する権限と能力を有されていたため、調査業務を順調に終えることができた。

今回調査では、橋梁建設の原点を勉強でき、素晴らしい自然やフィリピンの人々の人情に触れることができた。

橋の完成は2~3年後になると予想されるが、その暁には再訪して渡ってみたいと企てている。ダバオのナイトツアーを含んでいることは勿論である。

最後に、現地でお世話になった建設省、国際協力事業団、同行されたコンサルタンツの方々にお礼申し上げます。

オマーンを訪ねて

Visit to the Sultanate of Oman

維持施設部調査役 高 畠 豊

Yutaka Takabatake



オマーンは我国では余り知られていない国であったが、昨年の11月に皇太子殿下御夫妻が初訪問されたことにより、マスコミ報道を通じて、その一部が知られるようになった。

この国と我国との結びつきは、第一次石油ショック以来相当深く、石油関連はもとより、日本のタンカー航行で有名なホルムズ海峡の半分はオマーンの領海である。

1993年7月から1994年6月までの間、オマーン国道路施設整備計画調査にかかる事前調査団長、本調査団監理委員として、同国を三度訪れる機会を得たので、国の概要等を報告する。

1. 国土および社会の概要

オマーンはアラビア半島の東南端に位置し、アラブ首長国連邦、サウジアラビア、イエメンと国境を接している。面積は21万km²（日本の約1/2強）である。海岸線は全長1,700kmにおよび、アラビア海、オマーン湾に面している。国土は北部、中央部、南部に大別され、北部から東端に向かって海岸線と並行して走る山系を境に、沿岸地方と内陸地方に分かれる。同山系中央部に位置する地域は標高3,000mの山を擁するオマーンの尾根と

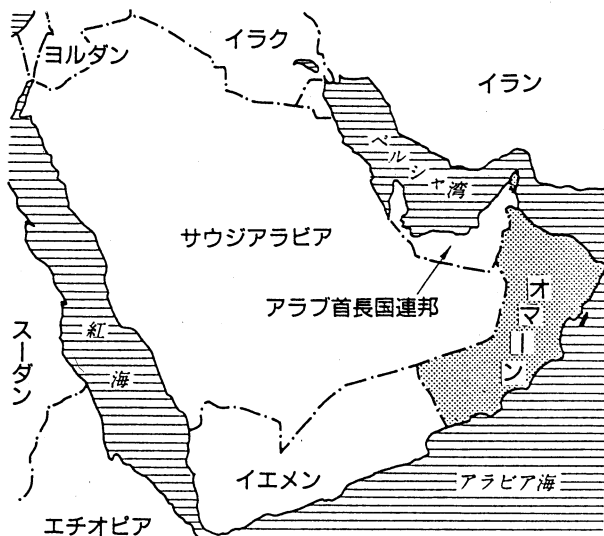


図-1 オマーン位置図

Fig.1 Location map of Oman

なっている。

沿岸地方に幅10km、長さ300kmで広がる平野は、オマーンで最も肥沃な土地の一つであり、首都マスカットは同平野の東端に位置する。中央部は土漠（土と岩が混じったような場所の正式名称）が広がり、その先の砂漠へと通じており、同国の石油、天然ガスの大部分は、この砂漠で産出される。南部は、山脈が土漠地域と耕作地である平野を分け、この平野の中にオマーン第二の都市がある。

気候は地方によって異なるが、沿岸地方の夏は、高温多湿で50℃近い酷暑が続くが、冬は過ごしやすい気候となる。内陸部は高温乾燥型だが、内陸部でも標高のある

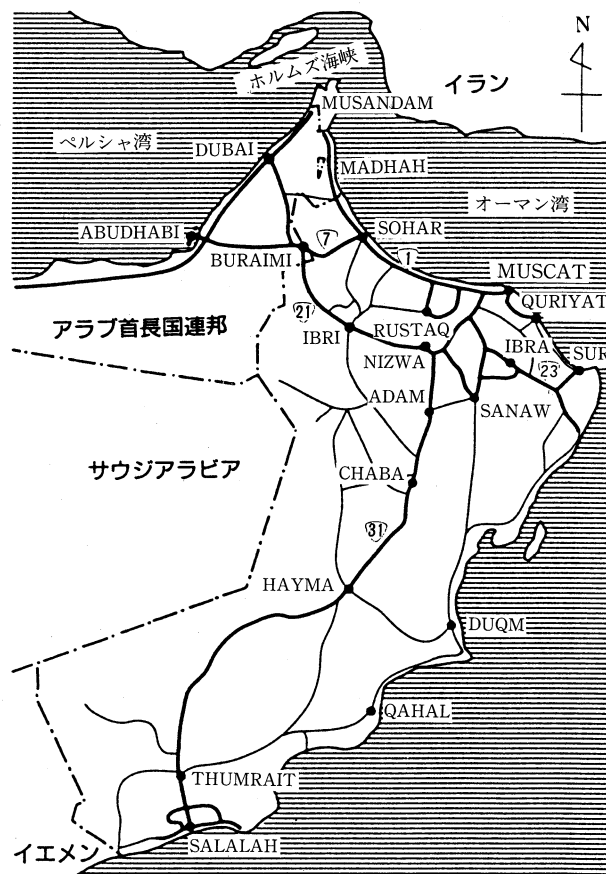


図-2 オマーンの幹線道路

Fig.2 Trunk roads of Oman

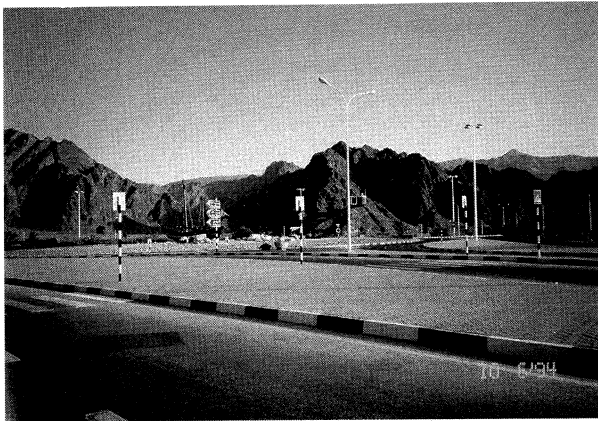


写真-1 首都近郊の山岳道路

Photo.1 Mountain road in the suburb of capital

山岳地帯は、一年を通じて温和な気候となっている。南部地方の気候は一年中温和である。雨量に関しては、南部のモンスーン地帯を除いて少なく、全体的には年間を通じ 40～50 mm 程度である。

オマーンは 19 世紀前から約一世紀間英国の保護下にあったが、国際法上は他国の隷属下に一度も置かれたことはない。政体は君主制で、人口は約 180 万人である。

国民はアラブ系、バルール系、ザンジバル系で構成されるほか、主としてアジア地域からの外国人労働者が居住し、その数は約 35 万人と推定される。

これまで実質的にオマーンの近代化を担ってきた外国人労働者を、自国民労働力で代替しようとする動きがある。その背景には、現国王即位以降の学校建設等教育普及の努力が実り、知的水準の上昇したオマーン人労働力が市場に供給されつつあること、また、人口増加率が年 4% と高く、19 歳以下の人口が全人口の半分以上に達し、今後オマーン人労働力の急増が不可避な状況になるためである。

さらに、現在の生産ペースが続けば、重要な国家収入源である石油の可採年数が約 20 年しかないことも、オマーン人雇用促進政策に拍車をかけている。

同国の国教はイスラム教であり、宗派はインバード派が 60% を示める。また宗教の自由は浸透していて、キリスト教教会もある。オマーンの公用語は、アラビア語であるが、英語がかなり通用し、国内の道路標識や看板にも英語が併記されている。

同国は、基本的には非同盟中立を標榜しつつも、実際は親西側政策を採用している。米国とは、1980 年に軍事協定を結んでいるが、歴史的なつながりの最も深いのは英国である。

我国との関係に於いては、1972 年に外交関係を樹立し、訪日経験のある王族、政府要人も多く、90 年には海部総理大臣が総理として初めてオマーンを訪問している。またオマーンにとって、日本は同国最大の原油輸出国であり、日本からの輸入の割合も大きく、主に自動車（同国の 85% は日本車）、電気製品、プラント、機械類などが



写真-2 運輸次官との本調査計画調印

Photo.2 Signing of a full research program with the vice minister of transport

占める。

経済の現在に至る動向としては、1967 年に石油の採掘をはじめて以来、経済体質を石油依存型経済へ大転換した。それまでは農産物（ナツメヤシ、ライム）、水産物を輸入し、食料品、綿製品を輸出していた。70 年以降、現在のカブース国王に政権が交替してからは、石油収入を活用して、空港、港湾、道路、学校、病院等の整備が急速に進められた。

後ちの第四次 5 年計画（91～95 年）からは、民間の経済活動のベースとなる基幹産業の育成等を行った。これは石油依存型経済から脱却するための、経済構造の改善を目的とした財政基盤造りを目的としている。

また 96 年からスタートする第五次 5 年計画においては、道路改良等が主体となり、今回実施の道路施設整備調査は、この第五次計画に組み入れられる予定である。

2. 道路の概要

鉄道のないオマーンの道路は、重要な社会基盤となっており、運輸通信省所属の道路局により整備が行われており、第一次事業としてはじまった首都マスカットと国際空港を結ぶインフラ整備に続いて、首都と地方都市を結ぶ道路整備を行った。その後二次事業として、近隣諸国のサウジアラビア、イエメン、アラブ首長国連邦への国際道路の建設が行われた。またこれら道路と合わせ、地方部においても、1970 年から 1994 年までの二十数年間で約 3 万 km におよぶ道路が建設された。今後は、これらの構造改良（立体交差化、横断歩道の設置等）及び幹線に架設されている橋梁の耐荷力アップ、地方道の交通標識の整備等、既存道路の維持管理に重点を置く方向である。

この国における最主要幹線は、アラブ首長国連邦の首都ドバイ、石油積出し基地のアブダビに向かって、南北に 250 km 走っているロータリー式交差構造の高速道路である。



写真-3 国道1号線

Photo.3 National highway No.1



写真-5 土漠地帯の地方道路

Photo.5 Rural road in desert area



写真-4 国道1号線、ロータリー式交差点のモニュメント

Photo.4 A monument at a rotary interchange of the national highway No.1

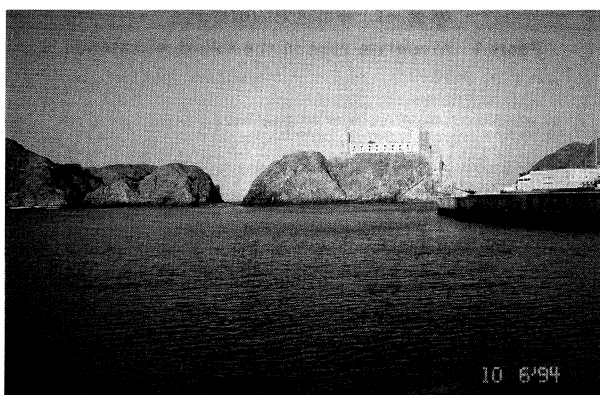


写真-6 旧首都マスカットの港

Photo.6 Port of Muscat, old capital

この道路は、首都から約70 kmの間は、2~3万台/日交通量にもかかわらず、6車線構成であり、その他の区間も4車線区間が大半を占める設計速度120 km/hの構造である。また、ほぼ全線にわたり強制かん水による路傍植栽、中央分離帯には照明灯が設置されている。

しかしこの高速道路は、二つの欠陥がある。立体歩道が全くないこと、高速道にもかかわらず平面交差構造となっていることである。

この国では国王の提唱により、全国土美化公園化計画が進められている。その一環であろうか、道路のいたるところに民俗的特徴を取り入れたモニュメントが建てられており、その周りは緑化されている光景が、幹線道といわず地方の道路においても見受けられた。地方の道路を走るとあちらこちらに放し飼いされたラクダが見られ、道路にもラクダ注意の警戒標識が立てられている。夜間、ラクダに車が衝突する死亡事故も結構多いと聞いている。

また、この国の道路全体にわたる一つの特徴として、ワジと呼ばれる雨が降った時の河道と、道路が平面交差する箇所が随所に見られる。同国は雨は非常に少ない国

であるが、山に全く樹木がないことから一気に水が溢れる。このような場面に一度遭遇したが、人々は水のひくのを嬉しそうに待っている様子であった。このワジの河床と道路面との高低差の大きい箇所には、橋（同国はすべてコンクリート橋）が架けられている。これらの橋梁は、交通量の増加、車輦の大型化により耐荷力不足をきたしていると思受けられるクラック等が発生している。国は、これらの危険性に早くから着目し、現在、荷重制限等の暫定的措置をとっている。96年からはじまる道路整備5ヶ年計画の中で改良、補修等の根本的対策を講じる計画である。

最後に、古代交通の主役は船であり、地理的条件に恵まれた首都マスカットは、古くより商業港として栄えており、既に8世紀にはアフリカはもとより中国の広東までオマーン人が航海したと伝えられている。10世紀半ばには、極東からアフリカに及ぶインド洋交易の中心地となった。千夜一夜物語に登場する船乗り「シンドバット」はオマーンの人である。そういう背景であろうか、現在のオマーンも貿易立国である。

兵庫県南部地震による明石海峡大橋への影響

1995年1月17日 am 5:46。淡路島北部を震源とした「平成6年度兵庫県南部地震」が発生し、神戸を中心として市街地等に壊滅的な被害をもたらしました。

第一建設局は、兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響調査として、地震後、直ちに構造物の点検や、測量、海底地盤の調査等を実施しました。

構造物の点検では、既に完成していた基礎構造物や、主塔・ケーブル本体に損傷は見られないことを確認しました。

測量結果では、基礎が相対的に変位しており、神戸側のアンカレイジと主塔基礎を基準にすると、淡路島側の主塔基礎が約1.3m、アンカレイジが約1.4mほど西方へ変位していることが解りました。

水中カメラや音波探査による海底調査では、基礎が地盤上を滑動した形跡が見られませんでした。周辺地盤にも大きな変状は認められておりません。

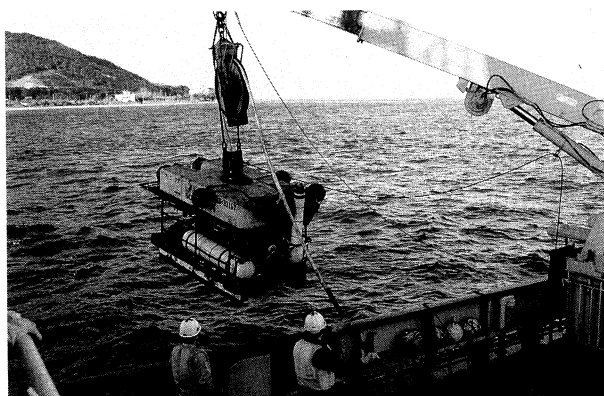
これらのことから、基礎の変位は、支持地盤の変位に伴うものと推定され、橋梁基礎の安全性に問題はないと判断できます。

また、基礎の変位による橋梁上部工への影響を解析しましたが、力学的にも、変位的にも設計上許される範囲内であることが確認できました。長大橋は色々な部材の重ね合わせで作られていますので、製作上は厳密な精度で作るよう管理しています。しかし、大規模な吊り構造はもともと柔軟な構造です。橋長3,910mの中で、この程度の変位は吸収することが可能です。

以上の調査結果は、本四公団に常設されている「本州四国連絡橋公団技術委員会」でも御審議頂き、橋梁計画に及ぼす影響はないとの御意見を頂いております。今後、同委員会の御指導を頂きながら、予定どおり事業の進捗を図りたいと考えております。



明石海峡大橋ケーソン周辺の海底調査(ROV)状況写真



自動船位保持装置の艤装完了

自動船位保持装置は、台船の甲板の四隅に配置する主機関と推進器、自船の位置と方位を自動的に計測する位置計測装置及び操縦制御装置により構成されている。

本装置を台船に艤装したものを自航台船と呼び、来島大橋の補剛桁架設に用いられる。来島大橋の補剛桁ブロックは、架橋海域まで自航台船に載せられ、主ケーブル直下の架設地点に自動的に位置保持を行い、リフティングビームにより吊上げられ架設される。

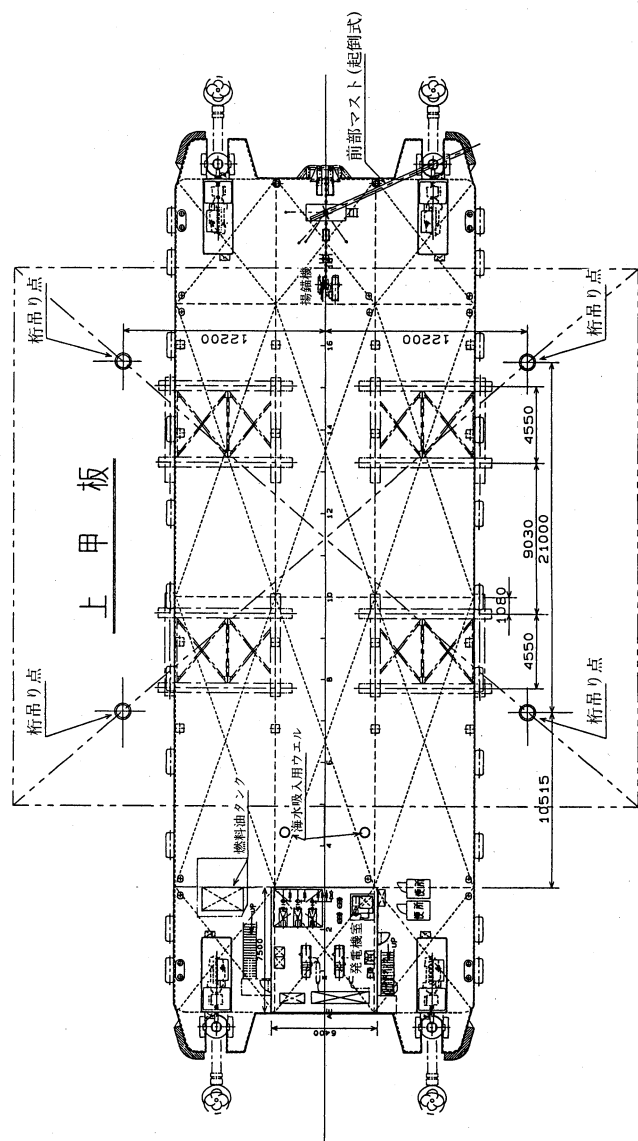
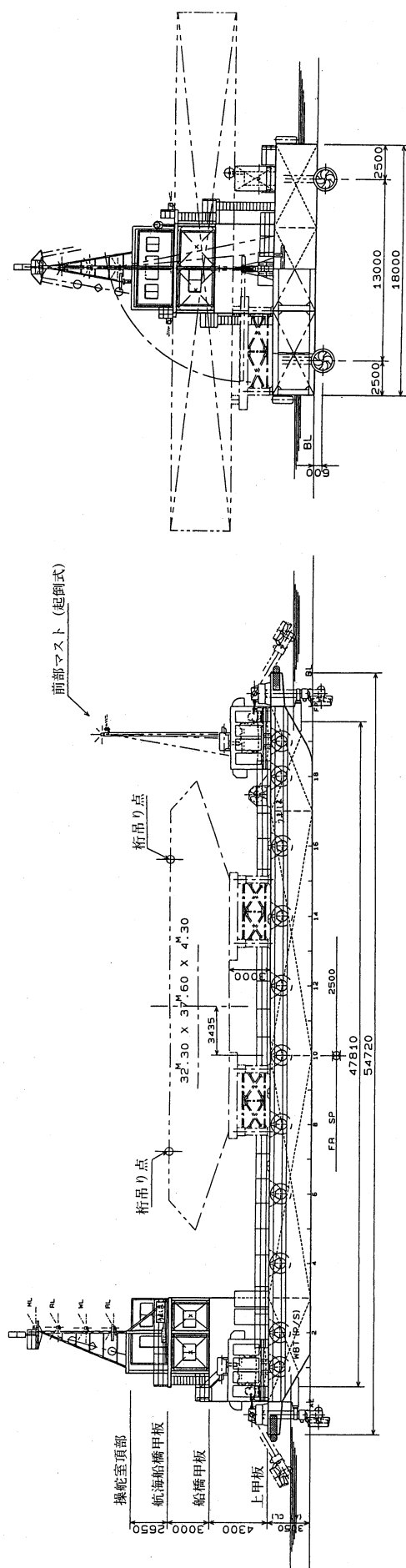
本船は、既往の2,000トン積級台船を使用し構成したものであり、主要諸元は表のとおりである。

平成7年3月28日に、広島県能美町にある造船所において、台船への艤装が完了し「うましま」と命名された。

今後は、平成7年4月より来島海域にて、操船性に関する各種の試験を行い、本工事に備える予定である。

要 目	諸 元
船体長さ	50.00 m
幅	18.00 m
深 さ	3.00 m
計画喫水	1.45 m
主機関	650 ps×4 基
推進器	旋回式 4 翼 φ 1,350×4 基
発電機	64 kW×2 基
航行区域	JG 平水区域

(文責：今治工事事務所 機械電気課長 古賀 昇)



自航台船「うましま」三面図

来島大橋 5P、9P 主塔架設完了

来島大橋の主塔工事のうち、先行していた5P、9Pの架設が完了し、優美な姿を来島海峡に映している。特に9Pは、糸山公園展望台から約200mと近接しているため、連日多くの見学者が訪れている。

5Pは'94年8月29、31日、9Pは9月6、7日にそれぞれ底板、塔柱第1段の架設以降順調に進捗し、5Pは'94年12月24日、9Pは'95年2月22日、55個目の最終ブロックを架設した。本体鋼重は、5Pが約4,390トン、9Pが約4,570トンである。両塔柱とも引き続き塔頂サドル、塔頂クレーンを架設したのち仮設備撤去、維持管理設備等の工事を行っており、5月末までにすべての工事を完了し、ケーブル工事に引き渡す予定である。

来島大橋の主塔工事は、2P・3P、5P・6P、8P・9Pの3件で、'93年3月発注以降、設計・製作・架設を進めている。架設は、各塔ともタワークレーンを使用し、3P、5P、9Pを先行するシリーズ架設である。主塔基礎工事も順調に進捗し、3P、6Pは2月から、8Pは3月から研磨工等の準備工事を進めており、今後は、3Pを4月上旬、8Pを5月上旬、6Pを5月下旬、最後の2Pを10月から架設を開始し、'96年1月末にはすべての主塔架設を完了させる予定である。

(文責：今治工事事務所 第六工事長 佐々木雅敏)



5P 最終ブロック架設



見学者でにぎわう糸山公園

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'95.1～3 月受入分

文献紹介の対象は、公団職員が本四技報以外の刊行物に投稿し、文献抄録票の提出のあったものです。掲載もれの場合は文献複写1部を、公団本社企画開発部・調査課（技術情報担当者）宛送付下さい。

◎著者欄の*印は公団以外の人

題 名	著 者	雑 誌 名	巻 号	年 月	頁
明石海峡大橋の補剛桁に関する空力アドミッタンスの評価	北川信、佐藤弘史* 松野栄明*	第13回風工学シンポジウム		1994.11	131-136
明石海峡大橋全橋模型ガスト応答特性の一検討	金崎智樹、北川信、鳥海隆一 宮田利雄*、井上浩男*	〃		1994.11	233-238
明石海峡大橋大型風洞試験での連成フラッター特性に関する考察	勝地弘、北川信、宮田利雄* 佐藤弘史*、樋上琇一*	〃		1994.11	383-388
扁平箱桁を有する長大吊橋の連成フラッター解析	中尾俊哉、楠原栄樹 山村信道*、田中洋* 小林義和*、畑中章秀*	〃		1994.11	389-394
来島大橋 4A アンカレイジの海底掘削工事における情報化施工	古村学、長谷川芳己 原田雅弘*、西田勝彦* 角田素男*、平野品己*	土木学会論文集VI	504	1994.12	13-22
明石海峡大橋 1A アンカレイジにおける高流動コンクリートの施工と品質管理	糸日谷淑光、徳永剛平 斉藤哲男、西村徹也*	コンクリート工学	33 2	1995.2	38-46
岩盤内に定着された吊橋アンカレイジの荷重伝達機構	吉田好孝	構造工学論文集	41A	1995.3	
側径間に中間橋脚を有する長大斜張橋の構造特性	遠藤武夫、高城信彦	〃	41A	1995.3	
本四架橋来島第三大橋9Pケーソンの曳航及び沈設	吉田茂司、野村硯彦* 竹束正孝*	土木施工	36 3	1995.3	
長大橋の維持管理	佐伯彰一	第 42 回道路講習会		1995.3	
各種掘削工法を用いた山岳トンネルの設計と施工	森章	〃		1995.3	

お知らせ

世界 の 長 大 橋 (第4版) 平成7年4月発行

世界の長大橋梁の最新データベース

吊橋・斜張橋等を橋梁式別に 769 橋を収録

販売価格 2,000 円 (消費税込み)

フロッピーディスク版も別途販売予定

お問い合わせは 財海洋架橋調査会まで

TEL 03-3555-8361

本州四国連絡橋公団の基準類

本州四国連絡橋公団で現在使用している基準類は次のとおりです。この基準類は財海洋架橋調査会 (TEL. 03-3555-8361) で販売しています。

*仕様書・要領等

土木工事共通仕様書	平成 6 年 4 月
調査等共通仕様書	平成 5 年 7 月
電気通信施設標準仕様書集 (3 分冊) (貸出しのみ)	昭和 61 年 4 月
電気通信施設工事等共通仕様書 (貸出しのみ)	昭和 60 年 4 月
電気通信施設管理規程 自家用電気工作物	昭和 60 年 10 月
保安規程 電気通信施設保守基準	
電気通信設備標準図集	昭和 58 年 4 月
図面作成要領 (貸出しのみ)	昭和 59 年 10 月
溶接構造部材における溶接欠陥と疲労	昭和 58 年 1 月
き裂の発生の一例	
植生のり面工施工要領	昭和 62 年 4 月
維持修繕等共通仕様書	平成 4 年 4 月
施工管理試験要領	平成 3 年 4 月
機械設備工事共通仕様書 (案)	平成 5 年 11 月

*設計基準類 (上部工・設計編)

上部構造設計基準・同解説	平成元年 4 月
耐風設計基準 (1976)・同解説	昭和 51 年 3 月
風洞試験要領 (1980)・同解説	昭和 55 年 6 月
吊橋主塔設計要領・同解説	平成元年 4 月
吊橋主塔の塔頂構造設計要領 (案)	平成 5 年 9 月
鋼床版設計要領・同解説	平成元年 4 月
ハンガー設計要領 (案)	昭和 53 年 3 月
ケーブルバンド設計要領 (案)	昭和 53 年 3 月
トラス構造設計要領 (案)	平成 5 年 9 月
吊橋リンク支承構造設計指針・同解説	平成元年 4 月
鋼橋直結軌道および緩衝桁軌道伸縮装置	昭和 59 年 3 月
設計要領・同解説	
下路管理路の設計マニュアル (案)	昭和 53 年 9 月
点検補修用作業車構造基準 (案)	平成 6 年 3 月
明石海峡大橋耐風設計要領・同解説	平成 2 年 2 月

*設計基準類 (上部工・製作・材料編)

鋼橋等製作基準	平成 5 年 5 月
鋳鍛鋼品製作基準・同解説	平成 5 年 9 月
鋼橋等塗装基準・同解説 (案) [平.6.10 一部改訂]	平成 2 年 4 月
橋面舗装基準 (案) [62.6 一部改訂]	昭和 58 年 4 月
鋼床版現場溶接施工基準 (案)	昭和 54 年 3 月
鋼上部構造用鋼材選定要領 (案) [60.3 一部改訂]	昭和 48 年 9 月
HBS 高力ボルト規格	平成 4 年 8 月
HBS 鋼材規格 [53.10 改正]	昭和 52 年 11 月
HBS ケーブル材料規格 [平.元.6 一部追加]	昭和 54 年 6 月
HBS 塗料規格 (案) [平.6.10 一部改訂]	平成 2 年 4 月
HBS リンク支承関係規格	昭和 51 年 3 月
溶融亜鉛めっき処理構造物・高力ボルト	平成 5 年 9 月
製作要領 (案)	

*設計基準類 (下部工編)

下部構造設計基準・同解説 仮設物設計指針	昭和 52 年 3 月
[56.8 一部改訂]	
耐震設計基準・同解説	昭和 52 年 3 月
鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針・同解説	昭和 52 年 8 月
大型鉄骨、鉄筋コンクリート橋脚設計	昭和 54 年 11 月
要領・同解説 (案)	
重力式直接基礎アンカレイジ設計要領 (案)・同解説	昭和 55 年 3 月
橋梁用マスコンクリート設計・施工基準・	平成 2 年 8 月
同解説 (案)	

[付属資料]

1. 低発熱型コンクリート仕様 (案)	平成元年 7 月
2. 高性能 AE 減水剤品質規格 (案)	平成 2 年 8 月
鋼設置ケーソン設計要領 (案)	昭和 54 年 2 月
風化花崗岩の支持特性判定要領 (案)	昭和 55 年 3 月
多室型緩衝工の設計要領 (案)	昭和 55 年 3 月
複合材型緩衝工の設計要領 (案)	昭和 56 年 3 月

※表紙右上記号 (ISSN 0912-6953) 説明

ISSN は International Standard Serial Number (国際標準逐次刊行物番号) の略で、逐次刊行物に付与される国際的なコード番号で、ISSD (国際逐次刊行物データシステム) という組織のもとで逐次刊行物の組織や検索に利用されます。

この番号は、国立国会図書館 ISSN 日本センターより割り当てられたものです。

本四技報編集委員会名簿

(アイウエオ順)

編集委員長	多田和夫		
編集委員	有坂均	高城信彦	
	有馬勇	土谷政治	
	江田征機	鳥海隆一	
	大橋治一	長谷川芳己	
	大廣始	日里正夫	
	尾上一馬	長野節夫	
	金崎智樹	那須清吾	
	栗野純孝	藤原亨	
	栗原敏広	藤田和朗	
	黒木隆晴	古家和彦	
	小出憲博	眞邊保仁	
	古村学	山本茂樹	
	佐藤清隆		
	原澤秀久	(海洋架橋調査会)	

本四技報 第 74 号

発行	平成 7 年 4 月 15 日
監修	本州四国連絡橋公団
発行所	財団法人 海洋架橋調査会
	〒104 東京都中央区入船 3-1-13
	エーユー入船ビル 4 F
	電話 03 (3555) 8361
発行者	井上義光
制作	ニッセイエプロ株式会社

定価 2,200 円

