

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

明石海峡大橋特集
/AKASHI KAIKYO BRIDGE

Vol.22 No.86 '98.4

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第86号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.86

明石海峡大橋にあたって思うこと……………理事 Some Thoughts of the Akashi Kaikyo Bridge		佐伯 彰 一… 1
印象に残る海中工事……………第一管理局 局長 Impressive Undersea Work		加 島 聰… 2
明石海峡大橋と私……………企画開発部 上席審議役 The Akashi Kaikyo Bridge and I		北 川 信… 3
明石海峡大橋ケーブルの製作・架設……………第三建設局 建設部 設計課長 Fabrication and Erection of Cable of the Akashi Kaikyo Bridge		河 口 浩 二… 4
明石海峡大橋補剛桁製作・架設工事……………企画開発部 経済課長代理 Fabrication and Erection Work of the Akashi Kaikyo Bridge Stiffening Girder	第一管理局 保全部 計画課付 第一管理局 垂水管理事務所 橋梁技術課	大 江 慎 一…12 今 井 清 裕 杉 本 健
明石海峡大橋鋼床版舗装……………第一管理局 垂水管理事務所 橋梁管理役 The Pavement of the Steel Deck of the Akashi Kaikyo Bridge	第三建設局 保全部 橋梁技術課長代理	栗 野 純 孝…21 森 下 尊 久
明石海峡大橋動態観測システム……………第一管理局 保全部 部長 Monitoring System of the Akashi Kaikyo Bridge	第二管理局 坂出管理事務所 副所長	阿 部 和 智…29 天 野 耕 一
明石海峡大橋の維持管理設備……………第一管理局 垂水管理事務所 施設課 Maintenance Facility for the Akashi Kaikyo Bridge	第一管理局 垂水管理事務所 施設課 第一管理局 垂水管理事務所 施設課 第二管理局 保全部 電気通信課	越 智 数 夫…35 山 本 浩 之 小 野 祥 史 小 谷 剛
明石海峡大橋のライトアップ……………第一管理局 保全部 部長 Light-up of the Akashi Kaikyo Bridge	第一管理局 保全部 交通技術課長	阿 部 和 智…41 日 里 正 夫
明石海峡大橋の景観検討作業……………第一管理局 保全部 建設課長 Aesthetic Study on the Akashi Kaikyo Bridge		藤 田 和 朗…47
明石海峡大橋の耐震設計と兵庫県南部地震時の地震応答解析……………設計部 設計第三課長 Seismic Design of the Akashi Kaikyo Bridge and Seismic Response Analysis during The Hyogo-Ken-Nanbu Earthquake	設計部 設計第三課長代理 設計部 設計第三課	森 谷 俊 美…55 栗 原 敏 広 後 藤 敦
明石海峡大橋のケーブル防食システム……………第一管理局 垂水管理事務所 橋梁技術課長 Corrosion Protection System of Cable of the Akashi Kaikyo Bridge	維持施設部 維持企画課 企画開発部 企画課	下 村 稔…63 杉 山 剛 史 花 井 拓
技術ニュース……………		72
The Latest Information		
明石海峡大橋公表論文一覧表……………		75
Summery of Public Articles on the Akashi Kaikyo Brige		

本四技報総目次：次回掲載予定：第95号

本四技報 第87号 (H10.7) 掲載予定

- ・石の寝屋切土の施工と動態観測
- ・大規模盛土と濁水対策
- ・鶴崎川橋の設計
- ・立石川橋の架設工法
- ・多径間連続鋼鈹桁の施工上の特徴
- ・舞子BS連絡施設のジャッキ・アップ工法
- ・舞子トンネル換気防災設備
- ・淡路島内の切土法面樹林化工法
- ・舗装工事の概要

※ 本四技報掲載予定は変更する場合があります。

明石海峡大橋開通式

Akashi Kaikyo Bridge Opening Ceremony



総裁式辞
Address of president

(平成10年4月5日)
(April 5, 1998)



テープカット (神戸側)
Tape cut (on Kobe side)

(平成10年4月5日)
(April 5, 1998)

明石海峡大橋開通式

Akashi Kaikyo Bridge Opening Ceremony



テープカット（淡路側）
Tape cut (on Awaji side)

（平成10年4月5日）
（April 5, 1998）



開通パレード
Opening parade

（平成10年4月5日）
（April 5, 1998）

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



全景

Overview

(平成10年 1月)

(January, 1998)



アンカレイジ全景

Overview of anchorage

(平成10年 2月)

(February, 1998)

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



4A ケーブルアンカーフレーム
4A Cable anchor frame

(平成5年1月)
(January, 1993)



ケーソン曳航
Towing a caisson

(平成1年3月)
(January, 1989)

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



主塔ケーソン水中コンクリート打設
Casting underwater concrete for caisson of main tower

(平成 1 年10月)
(October, 1989)



主塔架設
Erection of main tower

(平成 4 年10月)
(October, 1992)

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



ケーブルサグ調整
Arrangement of cable sag

(平成 6 年 8 月)
(August, 1994)



補剛桁架設
Erection of stiffening girder

(平成 8 年 3 月)
(March, 1996)

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



補剛桁架設
Erection of stiffening girder

(平成 8 年 3 月)
(March, 1996)



舗装完了
Completion of pavement

(平成10年 3 月)
(March, 1998)

明石海峡大橋

Akashi Kaikyo Bridge



全景
Overview

(平成10年1月)
(January, 1998)



ライトアップ
Light-up

(平成10年3月)
(March, 1998)

明石海峡大橋にあたって思うこと

Some Thoughts of the Akashi Kaikyo Bridge

理事 佐伯 彰 一

Shoichi Saeki



夢の架け橋と言われていた中央支間1,990mの明石海峡大橋が完成し、いよいよこの4月5日に開通する。明石海峡への架橋が言われて以来、この橋に直接あるいは間接的に関係した人は数えきれない数に上るであろう。そうした人々が、完成間近の明石海峡大橋を現場で見て“正に夢の実現だね。当時のことを考えると感無量だ。”と異口同音に言われる。私自身は、目先の事柄に追われている所為だろうか、まだそのような感慨を感じるに至っていないが、多分、完成後にゆっくりこの橋を見て何かを感じるのかもしれない。

私が本州四国連絡橋に関わりを持ったのは、今から約35年前の昭和38年である。建設省土木研究所に本州四国連絡橋に専任する部署ができ、そこに配属された時であった。その前年の昭和37年には、我が国最初の本格的吊橋と言える中央支間367mの若戸大橋が完成していたが、当時の我が国の吊橋架橋技術は、吊橋の先進国である米国に比べると遥かに劣っていた。私も吊橋の知識は殆どなく、吊橋のバイブルの感があった平井敦著「鋼橋Ⅲ」や海外文献を読みあさり、設計理論、設計基準、構造ディテール、施工法等を勉強したり、設計用の電算プログラムを作成すべく、当時最大の記憶容量32Kを誇っていた電子計算機IBM7090と格闘していたことを今でも思い出す。また、その時計画されていた明石海峡大橋は、確か中央支間が1,200m～1,300mであったと思うが、こんな吊橋が本当に架けられるのかとも思ったものだった。

その後、日本道路公団の関門橋、長崎県の平戸大橋、そして因島大橋、大鳴門橋をはじめとする本州四国連絡橋の吊橋が次々と架けられ、我が国の吊橋架橋技術は大きな進歩発展を遂げてきた。そして、これらの架橋に関係した人々は、勿論その架橋に全力を傾注されたであろうが、頭の中には常に明石海峡大橋があったに違いない。つまり、明石海峡大橋はこれら一連の吊橋架橋の最終目標でもあった。

明石海峡大橋では、それまで蓄積された技術が結集されたのは勿論であるが、それだけでは済まされない独自の問題も多々あった。その一つは、今までにないその巨大さに伴うものであり、さらに、急潮流、大水深、航行船舶の多さ、基礎地盤等の現場条件の過酷さであった。

ここでは、一つ一つ触れることはできないが、これらを克服していよいよ完成となった。それは、我が国の吊橋架橋の一つの区切りと言えよう。

明石海峡大橋の完成させた我が国の吊橋架橋技術は、世界の最高水準であると言ってよい。しかしながら、今後の吊橋を考える時、これを契機に、今一度我が国の吊橋架橋技術について見つめ直す必要があると思う。その理由は主としてその建設費と工期にある。これは単なる海外との比較によっているのではなく、また、明石海峡大橋においてこれを軽視したとも思っていない。各国によって自然および社会的条件は異なるし、また、明石海峡大橋という世界に類のない未経験な巨大吊橋の架橋にあたって、これを無事完成させることを第一に考え、慎重を期したのはごく自然なことだったと思う。私自身も、疑問に思いながらも、無事完成第一とした事柄も少なくない。しかしながら、安全過ぎたのではないか？高品質過ぎたのではないか？という疑問はなかなか払拭しきれず、何となくもやもやしているのも事実である。

我々は、これまでの一連の吊橋架橋によって、多くのことを経験し知った。そして、明石海峡大橋と言う、一つの大きな目標をクリアーした。しかし、これでよしとしてはならない。今後の新しい海峡横断道路プロジェクト実現のためにも、そしてあらゆる面で世界に通用する吊橋架橋技術とするためにも、今一度新たな気持ちでこれを見直すことが必要だと思う。設計基準については、設計荷重・許容値・照査法等で過大な安全性を有するものになっていないか、また、材料や製作・施工精度は必要以上の品質のものになっていないか、施工方法や施工設備も慎重を期したために妥当性を損なったものになっていないか等いろいろなことが頭に浮かぶ。これまでの吊橋架橋において、関係者はいろいろ感じるものがあつたに違いない。その人たちと吊橋架橋のあるべき姿について忌憚のない議論をしてみたいものだと思っている。

本州四国連絡橋公団にとっては、まだ、来島大橋に代表される尾道今治ルート建設が残されている。明石海峡大橋の完成に酔うことなく、その来春の完成を目指し頑張らねばと思っている。

印象に残る海中工事

Impressive Undersea Work

第一管理局 局長 加 島 聡

Satoshi Kashima



長年の夢であった明石海峡大橋は着工時の予定通り、10年の工程で完成した。

明石海峡大橋はこれまでの吊橋基礎と違って、軟岩の神戸層や砂礫の明石層に基礎を設置せざるを得ないので、着工に至るまで、継続して地質調査を行いながら、同時に海中基礎施工法を決めるための調査も行っていった。

明石海峡といえば潮流条件の厳しいところであるが、はじめて海上工事の厳しさを体験したのは1979年の田之代観測台撤去の時であった。田之代観測台は建設省の調査時代に施工実験を兼ねて淡路島沖の水深15mのところに建設した平面寸法10×12mの作業足場で、海象気象観測台として利用されていた。そして、1979年には海象気象観測の役割を終えた事と老朽化した事によって撤去する事になり、それをクレーン船で吊って漁組の要望する位置に魚礁として投下する事になった。ところが、そこは明石海峡の朝夕表とは全く逆の流れのある地域で、予想外の潮の流れのため定位置に設置するのに非常に苦労した。その後、瀬戸大橋の工事を経験し、再度、垂水工事事務所に3年半勤務することになり、基礎工事等を担当する機会を得た。この時もまた、ケーソンの設置等で厳しい潮流との闘いを余儀なくされた。

潮流条件の最も厳しい3Pケーソンの設置を1年で一番条件の良い6月の潮で実施する事を基本として、2Pケーソン設置の工程を決定した。2Pケーソンは直径が80mあり、三重県の造船所で製作され、そこから小豆島沖のケーソン設置習熟訓練の場所まで曳航する必要があった。3Pケーソンの設置を6月にするためには2Pから3Pへの艤装品の転用、訓練を考慮すると、太平洋を曳航するには年間でも最も条件の厳しい時期になった。そこで、ケーソン曳航の1週間前に大型のクレーン船による試験航行を実施して本番に臨んだのであるが、1週間後には黒潮が予想より陸に近づいていて、潮岬沖で丸一日ケーソンが進まない事態を生じた。その時、強風予報が入り、オーシャンタグの船長は『このような事は太平洋での曳航では常識』として前進を主張されたが、後退待避をすることになった。そして紀淡海峡を通過する際にオーシャンタグの前方に繋いで先導する予定で、田辺港で待機していたハーバータグが待避場所まで行って、そこから紀淡海峡通過時の船団で曳航することとし、3日遅れたものの小豆島沖に到着し予定通りの訓練をこなした。

鋼ケーソンは外縁部が密閉された2重の筒構造になった直径80mもある巨大な浮体構造物である。このため海底に設置したシンカーとワイヤーで連結して係留する必要がある。明石海峡大橋では桁外れの図体を持つケーソ

ンを直径120mmという今までにない太さのワイヤー8本で係留するために高速・低張力の巻き取りは従来のドラムウィンチで、低速・高張力の巻き取りはリニアウィンチという組み合わせにした。また、ケーソン側のワイヤーとシンカーからのワイヤーを繋ぐのに従来の方法では短時間で係留作業を終える事ができないため、クイックジョイントが開発され、採用された。新規導入された各種システムの作動実験は繰り返し行われ、その信頼性は確認済みであったが、2Pでは8個のクイックジョイントの内、最後のクイックジョイントがうまく作動せず予備品と取り換えるというアクシデントが起きた。しかし、霧の発生を見越した早めの入域・作業開始に助けられ、係留完了時間は予定通りという一幕もあった。これら2Pでの経験はすべて3Pに反映する事が出来、潮流条件のより厳しい3Pではスムーズに係留設置作業を終える事が出来た。

ケーソンが設置されると、周辺に洗掘防止工を施工する。昔から河川の橋脚周辺の洗掘についてはいろいろ検討されていたが、海中基礎の洗掘防止工は明石海峡大橋が初めてである。1974年ごろ、明石海峡のボーリング調査の終盤で、φ9×16mの鋼管を設置したら、鋼管の周辺が洗掘されて鋼管が傾斜してしまい、洗掘防止が大きな問題だという事になり、その後継続して調査を行った。捨石が最も効果的という事は初期の段階でわかっていたが、どの範囲まで施工するかが問題であった。中央支間長を1,780mとしていた頃は淡路島側の主塔基礎位置の潮流が9ノットで条件としては最も厳しかったが、中央支間長を1,990mにした事により最大潮流が8ノットのところに基礎位置がきたので何とか手の内に入ったという感じがした。

そして、次の段階としてケーソンの中に水中コンクリートを施工する。瀬戸大橋ではプレパックドコンクリートを採用したが、明石海峡大橋では水中不分離性コンクリートが採用された。そのころ、大規模な施工は初めてだったので、平面的には実物大の実験まで行って確認したが、大水深での実験は適地がなく、直接本番に臨まざるを得なかった。やはり、海底60mにコンクリートを打つには苦労が多く、第1回目は予定の6割しか施工できず、2回目以降はいろいろな改良を加えて予定通り施工する事が出来た。

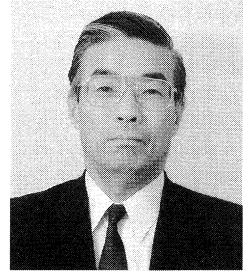
いろいろ印象に残る事は多いが、明石海峡大橋が阪神淡路大震災でも大きな被害も無く、予定通りの工期で完成できたのは、本四架橋の吊橋の最終目標としていろいろな機会を捉えて技術の積み重ねを行ってきた成果の賜物であり、関係者の努力の結晶である。

明石海峡大橋と私

The Akashi Kaikyo Bridge and I

企画開発部 上席審議役 北川 信
(前) 第一建設局 垂水工事事務所長

Makoto Kitagawa



明石海峡大橋の完成を目前にして、この橋に対する私の様々な関わりが思い出される。昭和58年に私は垂水工事事務所の工務技術課長だった。当時、工事実施計画上の橋梁計画は中央支間1780m、側支間890mの道路鉄道併用吊橋であった。この案については、計画策定とほぼ同時期に施行された海上交通安全法に定める明石海峡航路と橋梁との競合関係が事業上の問題となっていた。

というのは、2Pは現在の橋脚位置とほぼ同じなのだが、3Pが明石海峡航路に接していたことから、3P地域での将来の施工に際して航路内施工が避けられないのではないかという点であった。未だ、事業化の見通しが無い状況での議論であったが、スパン割の見直しを含めた内々の作業が進められていた。ちょうどこの時期に、公団に対して道路単独橋の可能性調査の指示が出された。これで、橋梁計画の見直し作業が正式に行われるようになった。その時に提案されたのが、3Pの位置を200mほど南へバックし、また、1A、4Aの位置を岸側に寄せた現在の案の計画であった。スパンの増大による上部工のコスト増を、下部工のコスト減で対応することで航路との競合問題を解消するという考えであった。もちろん、洗掘対策を含めた主塔基礎の施工方法や耐風安定性については、その課題の解決が橋梁計画の大前提であり、検討がさらに継続されていった。

平成5年から私は本社設計第一課長として、明石海峡大橋の大型風洞試験結果のまとめやケーブル防食システムの検討などに携わっていた。その中で、とんでもない事件が発生した。言うまでもなく、阪神淡路大震災の発生である。現場からの最初の報告は橋梁本体の損傷は殆どないということでひとまず安心したが、その後の測量結果の報告で事態は急変した。明石海峡大橋の橋軸線が直線に乗らない、あるいは、基礎間距離が広がった、などの情報が断片的に伝わってきて、たいへんなことが起きたと実感した。その後、忙しい思いをして基礎移動の影響解析を行ったところ、桁の製作長さをスパンが広がった分だけ長くすることで、橋本体への影響が殆ど問題ないことが確認されたため、その方向で工事再開に至った。

他の構造物の被害を見て、設計荷重を超えれば構造物が破壊するのだという当たり前のことをこの時ほど実感

したことはなかった。また、何が起こるか分からないと言う意味において、適切な安全率の設定の必要性を教えられた。それにしても、地震の発生時期がケーブル架設の直後であったのは全く不幸中の幸いであり、これが明石海峡大橋の被害を最小限にとどめたともいえる。また、基礎の移動がスパンが拡大する方向だったというのも、橋の剛性という点で有利だったともいえることから、この橋の運の強さを感じずにはいられなかった。

平成8年から私は垂水工事事務所長として現場に赴任した。ちょうど、補剛桁の張り出し架設が最盛期であった。桁先端部が上向き勾配になった状態で、28mずつのサイクル架設であった。多くの人からあのような上向き勾配でドッキングができるのかと質問された。張り出し架設は順調に進み、8月11日の早朝に中央径最終パネルの連結となった。このような場面に立ち合うことができるのはこの時期の現場担当者冥利である。太陽が昇り、温度上昇とともに部材間の間隔が狭まっていく時は実に厳粛な気持ちになる。しかも、最終パネルは地震でスパンが拡大した分だけ長く製作した調整パネルである。そんな中、無事連結が終了して現場はお盆休みに入った。3日後の8月14日、台風12号が襲来し、2P塔頂で瞬間最大風速45m/sの強風が吹き荒れたが桁本体はびくともしなかった。台風の襲来時期が桁連結直後だったのも本橋の強運の現れである。

平成9年7月1日明石海峡大橋総合労働災害防止協議会は死亡ゼロを含めたその災害防止活動の優秀な成績により労働大臣表彰を受けた。着工以来、公団、JVなど数多くの現場関係者の努力の結晶がこの結果につながったものである。東京會館で岡野労働大臣から直々に表彰状をいただくという光栄に浴したが、同時に、10年間の長い工期の安全確保の重さを実感するとともに、残された工期内での無事故への決意を新たにした。

開通間近となった今、公団以前の調査の時代から今日に至るまでのすべての努力の集積が大きく開花しようとしている。これまでにこのプロジェクトに関わった数多くの方々に対する感謝の気持ちを持ちつつ、この仕事に関わることができたことへの誇りの気持ちを持って4月5日の開通を迎えたいと思う。

明石海峡大橋ケーブルの製作・架設

Fabrication and Erection of Cable of the Akashi Kaikyo Bridge

第三建設局建設部
(前)第一建設局垂水工事事務所

設計課長
第二工事長

河 口 浩 二

Koji Kawaguchi



概 要

明石海峡大橋のケーブル工事は、本橋が既設吊橋の施工実績をはるかに超える規模であるため、従来の経験の延長線上では対処しきれず、計画・設計・製作・架設のあらゆる面で種々の新技術、新工法を検討し、採用することが必要となった。本稿では、ケーブルストランド、ケーブルバンド製作の品質管理、ケーブルストランド架設、ケーブルスクイズの施工の概要を報告するものである。

The cable work of the Akashi Kaikyo Bridge required various latest technology and methods in planning, design, fabrication and erection in addition to ordinary ones, because the scale of bridge would be far beyond the precedent. This paper reports quality control in fabrication of cable strands and cable bands, and work on strands installation and cable squeezing.

1. まえがき

明石海峡大橋のケーブル工事は、ケーブルストランドの製作長が約4,073m、重量が約50,500tに達し、既設吊橋の施工実績をはるかに超える大規模な工事となった(南備讃瀬戸大橋と比較すると、長さが2.3倍、重量が2.6倍)。このような規模に対応するため、以下のような新技術、工法を採用した。

- ①ケーブル素線には、新規に開発した180kgf/mm²の高強度亜鉛めっき鋼線を採用した¹⁾。
- ②パイロットロープの渡海には、航行船舶に影響を与えず、また潮流の影響を受けないヘリコプター工法を採用した。
- ③工程短縮、工費低減を図るため、キャットウオークにはストームロープを設けない構造とし、作業時の振動を抑制するための制振装置を設置した。
- ④ケーブルストランドの長さが非常に長いため、1ケーブル当たり2系統のストランド引き出し設備を配置し、工程短縮を図った。
- ⑤維持管理の省力化を図るため、本橋のハンガーには従来のワイヤーロープに代えて、ポリエチレン被覆ケーブルを用いた。また、これに対応するようケーブルバンドはピン定着方式バンドとした。

本工事に関しては、既にいくつかの報告を行っているので^{2)~5)}、本報文では、製作物の品質管理、架設工事の要点と架設精度等について述べることとする。

2. ケーブルストランドの製作

明石海峡大橋のケーブルの諸元を表-1に示す。ケーブルの製作においては、線材および素線に対してそれぞれHBS G 3507、HBS G 3508を適用し、亜鉛めっき鋼線の引張強度が従来のものより20kgf/mm²高い180kgf/mm²となっている。これは、主にシリコンの含有量を0.25%から1%に増加させることにより、亜鉛めっき時の熱による強度低下を抑制させることで可能となったものである。この鋼線は引張強さが高いだけでなく、延性、遅れ破壊特性、耐食性は従来の鋼線と同程度で、疲労、クリープ、低温じん性、側圧・曲げへの抵抗力、ソケット定着性については同等以上の特性を有している。

図-1に亜鉛めっき鋼線の主な検査項目の結果をヒストグラムで示す。また、他橋との対比を表-2に示す。高強度にもかかわらず、従来の160kgf/mm²級と同様に高い品質を確保することができた。特に引張強さは平均187.7kgf/mm²、標準偏差1.85kgf/mm²であり、品質のばらつきが非常に少ないことを示している。また、伸びは平均6.51%と規格値を大きく上回るとともに、ねじり回数は平均26回ときわめて耐ねじり特性に優れた結果となっている。写真-1にケーブルストランドを示す。

3. ケーブルバンドの製作

本橋ではケーブルバンドの形式としてピン定着式を採用している³⁾⁴⁾。図-2にピン定着式ケーブルバンド、ハンガー、補剛桁の取り合い構造を模式的に示す。ピン定

表-1 主ケーブルの諸元

Tab.1 Dimensions of main cable

ケーブル	直径	112cm
	本数	2本/橋
	構成	127素線/ストランド×290ストランド/ケーブル=36,830素線/ケーブル
	長さ	4,085m (形状長)
ストランド	素線径	φ5.23mm
	許容応力度	82kgf/mm ² (180キロ級鋼線)
	寸法	68mm×60mm
	長さ	4,071~4,074m (製作長)
総素線延長		4.07km×127×290×2 = 300,035km

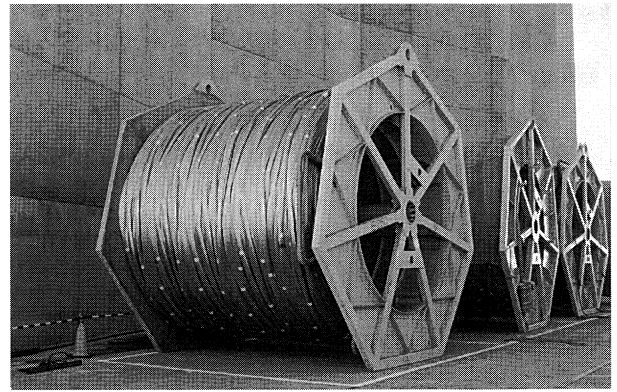


写真-1 ケーブルストランド

Photo.1 Cable strand

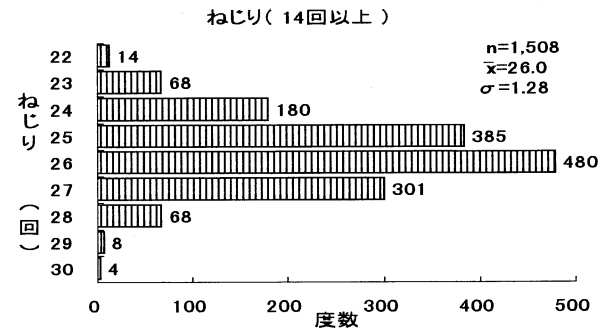
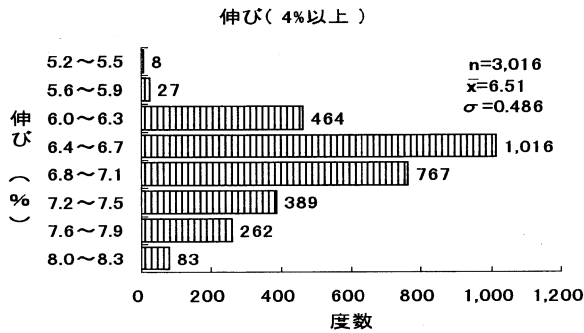
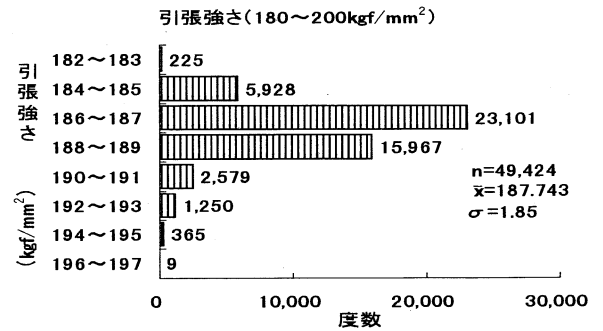
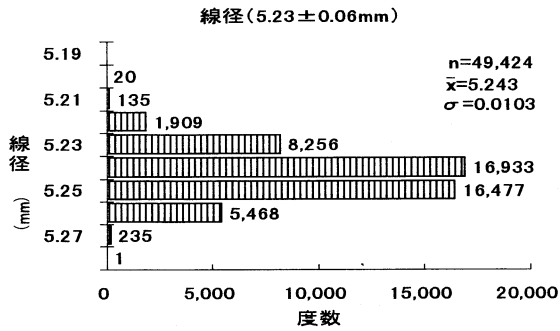


図-1 亜鉛めっき鋼線の品質

Fig.1 Quality of galvanized wires

表-2 亜鉛めっき鋼線の品質比較

Tab.2 Comparison of quality of galvanized wire

		因島大橋	大鳴門橋	北備讃瀬戸大橋	南備讃瀬戸大橋	明石海峡大橋	
寸法	線径 (mm)	規格値	5.17	5.37	5.18	5.12	5.23
		平均	5.176	5.374	5.186	5.130	5.243
		標準偏差	0.013	0.010	0.011	0.011	0.010
機械的性質	引張強度 (kgf/mm ²)	規格値	160~180				180~200
		平均	167.5	168.6	167.8	168.7	187.7
		標準偏差	2.27	2.30	2.20	1.96	1.85
	伸び (%)	規格値	4%以上				
		平均	6.71	6.75	6.74	6.63	6.51
		標準偏差	0.40	0.40	0.37	0.39	0.49
	ねじれ (回)	規格値	14回以上				
		平均	23.1	22.8	22.7	23.4	26.0
		標準偏差	1.20	1.50	1.50	1.54	1.28

注) 線径の許容値は規格値±0.06mm

着バンドは、橋軸方向にのみ回転できる一方ピンバンドと橋軸直角方向にも回転可能なユニバーサルバンドの2タイプに大別される。

バンドに用いた鋳鋼品の材料は、溶接構造用鋳鋼品SCW480とした。機械的性質は、引張強さ49kgf/mm²以上、降伏点28kgf/mm²以上、伸び20%以上、シャルピー値27J以上である。

鋳鋼品には引け巣、ブローホール、砂かみ等の铸造欠陥が生じることは避けられず、このため土木構造物としては圧縮部材として使用され、引張部材として使用されることは希である。しかし、押湯の位置、大きさ、その他の铸造方案を適切に設定すれば、欠陥を最小限に抑えられる。また、設計上の必要強度に対して十分な品質を確保できれば、引張部材として使用することも可能と考えられる。よって、要求品質の規定、铸造方案の修正を目的とした以下の実験を実施した。

(1) 人工欠陥内在試験体による試験

人工欠陥を有する試験体の引張試験により、欠陥が強度に与える影響の程度を調べた。これにより、許容し得る欠陥のサイズを決定し、非破壊検査の管理基準を確立することを目的とした。

図-3に試験体の種類を示す。試験体Aは無欠陥のものである。B1はJIS-G-0581放射線透過試験に規定される1級欠陥を有する試験体である。B2は2級欠陥を有するグループであるが、欠陥のサイズ、個数、位置を変えた3種類とした。B3はJIS 3級相当の欠陥で、径3mmのブローホールを12個有している。試験体の断面は75mm×50mmであり、欠陥は中央20cmの部分を通した。実際には欠陥がこのように連続することはあり得ず、実際より過酷な条件になっている。なお、B3を除いて試験体種類ごとに2個ずつ試験した。

試験結果を表-3に示す。これより以下のことが明らかになった。

- ①RT 2級であれば、SCW480の強度特性（JIS規格値）としては問題ない。
 - ②同じ2級でも、小欠陥を多く含む場合より、1個の大欠陥があるものの方が低強度であり、3級相当欠陥を有するものより劣る場合もあり得る。
- これらの結果を踏まえて、本橋では、2級を基本とし、安全側となるよう最大欠陥寸法を10mmに抑えた。

(2) 実物大試験体による試験

実物大の試験体を作成し、非破壊検査で探傷した後、検出された欠陥位置で切断し、欠陥の確認を行った。これにより、铸造方案の妥当性を検証し、また非破壊検査の適用限界を探ることを目的とした。試験体は、一方ピンバンド一体とユニバーサルバンド一体の合計二体とした。

表-4に試験結果を示す。試験体をUT探傷（超音波探傷）およびRT探傷（放射線透過探傷）により欠陥の種類、サイズ、位置を検出した後、その位置で切断し、確認した。同表より欠陥の種類、サイズが一方ピンバンド

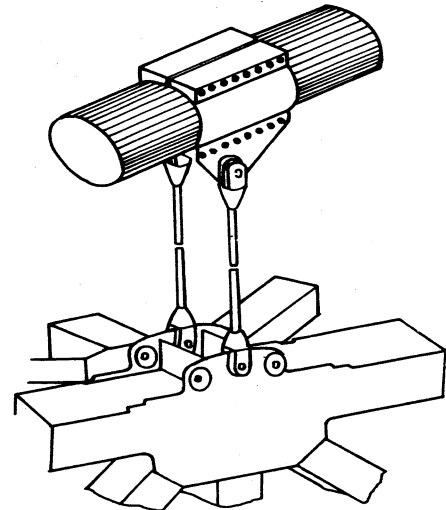


図-2 バンド・ハンガー結合部

Fig.2 Joint of band and huger

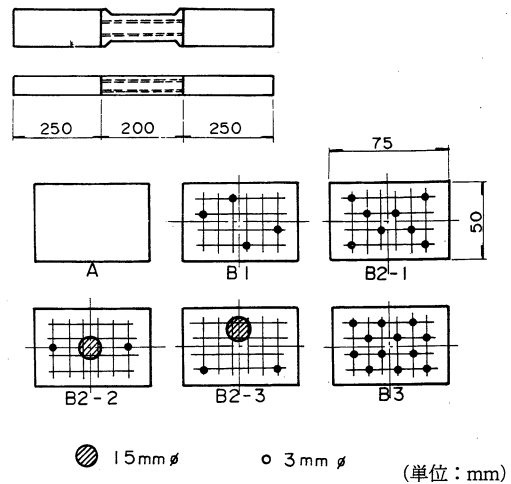


図-3 引張試験の試験体

Fig.3 Specimen for tensile test

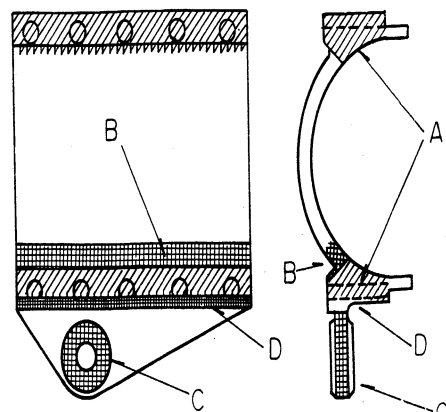


図-4 非破壊検査部位

Fig.4 Part of non-destructive test

表一 3 人工欠陥を有する試験体の引張試験結果

Tab.3 Result of tensile test on specimens with artificial defects

供試体の種類	引張強度 kgf/mm ²	降伏強度 kgf/mm ²	伸び %	溶 鋼 ロ ッ ト
A	54.08(1.000)	33.16(1.000)	32.0	a
	53.98(0.998)	32.86(0.991)	33.0	b
B 1	53.67(0.998)	32.65(0.985)	32.9	b
	53.78(0.994)	32.76(0.988)	32.3	b
B 2 - 1	53.78(0.995)	32.76(0.988)	33.9	c
	52.86(0.977)	31.12(0.938)	34.3	c
B 2 - 2	49.18(0.909)	29.29(0.883)	34.8	d
	51.73(0.957)	31.63(0.954)	32.9	c
B 2 - 3	49.59(0.917)	30.00(0.905)	35.0	d
	50.71(0.938)	29.90(0.902)	32.9	a
B 3	51.22(0.947)	30.51(0.920)	34.9	d

注：() 内はAを1.0としたときの比率を示す。

表一 4 実物大試験体を用いた欠陥探傷結果 (単位：mm)

Tab.4 Result of defect detection on full model specimen

(a) 一方向バンド

番号	部位	欠陥種類	RT探傷	UT探傷	切断確認
1	B	砂かみ	φ 7	φ 15	φ 5
2	B	砂かみ	φ 6		φ 3
3	B	砂かみ	φ 8	φ 18	φ 5
4	B	引け巣	L12		φ 8
5	B	未検出	-	φ 10	未検出
6	B	砂かみ	φ 5	φ 12	φ 1

(b) ユニバーサルバンド

番号	部位	欠陥種類	RT探傷	UT探傷	切断確認
1	A	ブローホール	φ 4	φ 4	φ 4
2	A	引け巣	L 7	φ 3	φ 3
3	A	引け巣	L 6	φ 5	φ 3
4	A	引け巣	L 2	φ 3	φ 1
5	A	引け巣	L 2	φ 3	φ 1
6	C	未検出	-	φ 5	未検出

(注) 部位の記号は図-4による。

表一 5 内部欠陥判定結果の総括

Tab.5 Summary of quality checks on internal defects

判定基準		無 欠 陥	1 級	2 級	不 合 格	合 計
個 数	組	363	57	0	0	420
率	%	86	14	0	0	100

注：検査数量は制作組数の2倍である。

とユニバーサルバンドで偏りが見られるが、これは鑄造方法、製作方法の違いによるものであり、この実験結果を踏まえて、実際の製作時にはこれらを修正した。

この実物大試験により、RT・UTの2種類の非破壊検査により、内部欠陥の存在は確認できたこと、ただし、欠陥サイズはやや大きめに検出しがちになり安全側の評価を与えることがわかった。

(3) 品質管理検査

以上の試験結果を踏まえてピン定着式バンドの非破壊検査基準を定めたが、その内容はすでに報告している⁴⁾、ここでは省略する。

全てのピン定着バンドの非破壊検査の結果を表一5に示す。全ての欠陥はJIS1級の判定基準を満足しており、無欠陥製品率は86%であった。検出された内部欠陥のサイズと箇所数を表一6に示す。実物大試験の結果を踏まえて鑄造方法を修正した結果、引け巣、割れは皆無で、すべてブローホールであった。ほとんどの欠陥サイズは8.0mm以下であった。

4. ホーリングシステム機械設備

キャットウオークの架設、ケーブルストランドの架設等に使用される主要設備がホーリングシステムである。図一5に、この設備によるストランドの架設要領を示す。ホーリングシステムにはループ式と単線式があるが、本橋では高張力に対応できる単線式を採用した(図一6参照)。本方式は瀬戸大橋等で既に実績があるが、表一7、8に示すように最大55tの引き能力を有するとともに、

表一 6 UTで検出された内部欠陥のサイズ・箇所数

Tab.6 Number and size of internal defects detected by ultrasonic test

部位	欠陥寸法 (mm)					合計
	≤2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1-8.0	8.1-10.0	
A	0	1	0	0	0	1
B	0	0	0	1	0	1
C	0	4	59	25	1	89
D	0	0	0	0	0	0

(注) 部位の記号は図-4による。

空荷状態では最大90m/分の速度が出るようにし、工事のスピードアップを図った。

5. ストランドのサグ調整

ストランドの相対サグ調整の目的は、各ストランドを出来る限り平行に張り渡すことにより、ケーブル応力度の誤差を最小化するとともに、スクイズ後のケーブルを所定の断面形状、空隙率となるようにすることである。このため、相対サグ誤差はスペックでは±50mm以下、実施上は±30mm以下とした。

過去の経験から知られているように、最初に架設され基準ストランドとなる最下方のNo.1ストランドは、その後架設される上方のストランドの調整誤差(マイナス側)の影響や、被調整ストランドの方が下のストランド群より温度が下がりやすいことの影響を受けて、フリー

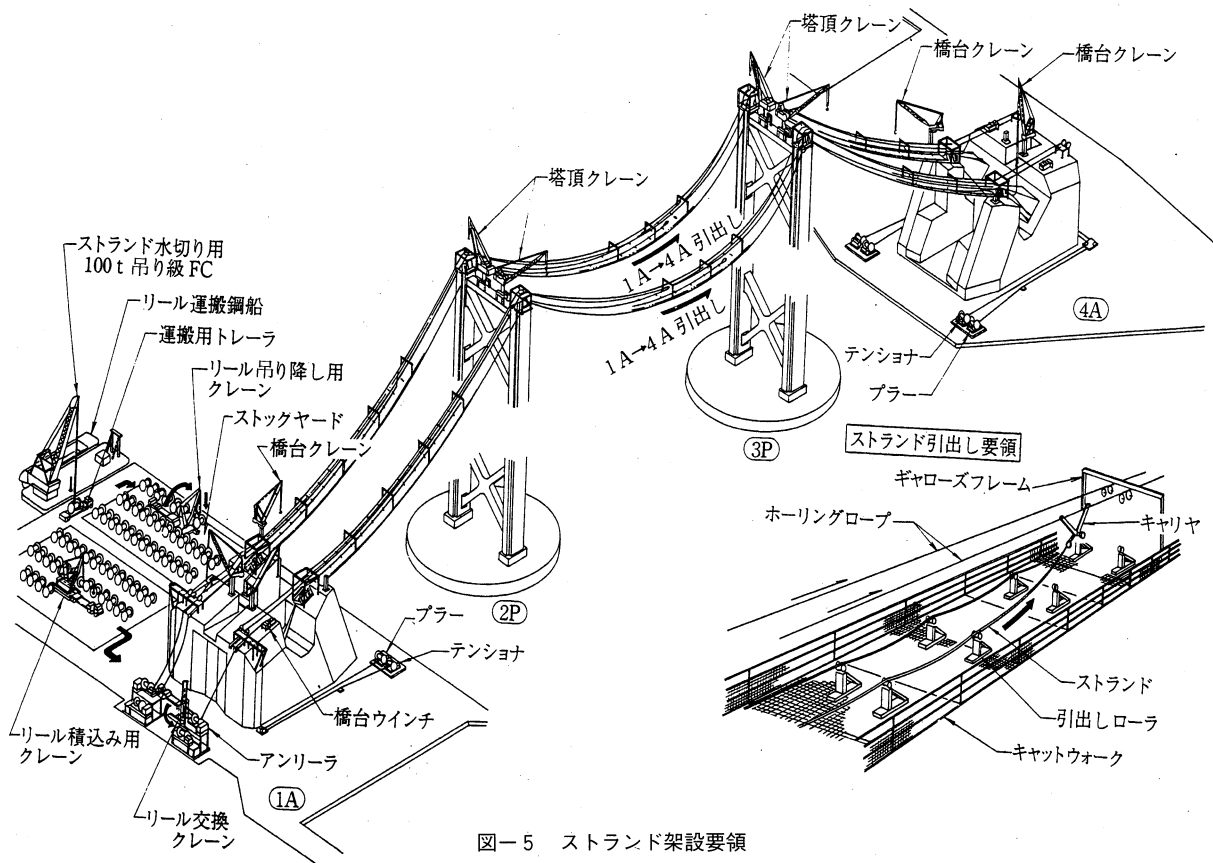


図-5 ストランド架設要領

Fig.5 Work sequence of cable strand installation

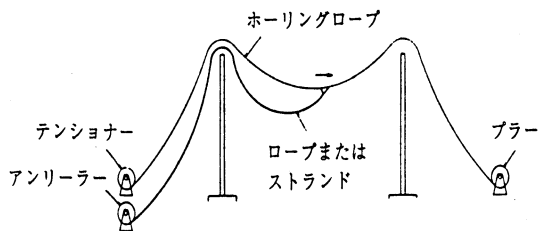


図-6 ホーリングシステム

Fig.6 Hauling system

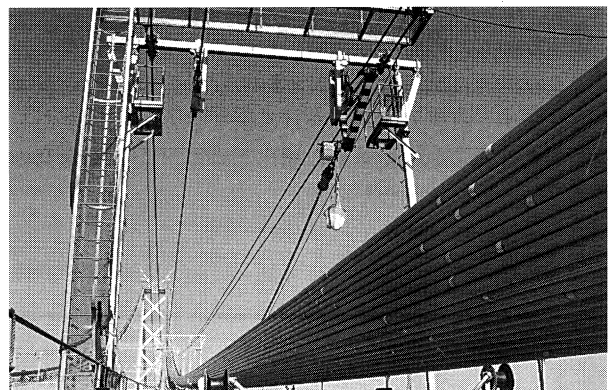


写真-2 ストランドの引出し状況

Photo.2 Installation of strands

表-7 プラーの仕様、能力

Tab.7 Specification and ability of puller

	CWR架設時		PWS架設時		PWS架設時 (キャリアバック時)	
	巻込み	惜しみ	巻込み	惜しみ	巻込み	惜しみ
ロープ張力	max. 55ton	max. 35ton	max. 25ton	max. 15ton	max. 15ton	max. 15ton
ロープ速度	0 ~ 30m/min		0 ~ 60m/min		0 ~ 90m/min	

表-8 テンショナーの仕様、能力

Tab.8 Specification and ability of tensioner

	CWR架設時		PWS架設時		PWS架設時 (キャリアバック時)	
	巻込み	惜しみ	巻込み	惜しみ	巻込み	惜しみ
ロープ張力	max. 35ton	max. 35ton	max. 25ton	max. 15ton	max. 15ton	max. 15ton
ロープ速度	0 ~ 30m/min		0 ~ 60m/min		0 ~ 90m/min	

ハンク状態を確保出来なくなり、サグが下がる現象が起こる。

本橋のケーブルは長径間で大ストランド群からなるため、このような現象が顕著に現れることが予想された。このため、ひとつのアイデアとして、ストランド群から離れた位置に別のガイドストランドを張り渡し、これとの相対サグを調整しようと考え、そのための金物をサドル部に準備した。しかし、これは当初計画にないものであったため、仮引きラインと干渉してストランド架設そのものをディスターブすることが予想され、架設目前で断念した。そこで、次善の策としてサグ測量および調整を以下のように行うこととした。

- ①No.1ストランドの絶対サグ測量および調整を行う。
- ②No.2～No.60ストランドはNo.1ストランドとの相対サグ調整を行う。
- ③No.60ストランド以降の段では、図-7に示すように基準ストランドをNo.1から順次段毎にフリーハンクとなる上層ストランドに盛り替える。この基準ストランドから各々の段毎のストランドを調整する。
- ④架設期間中4～5回の絶対サグ測量を行う。
- ⑤スクイズ後のケーブルの絶対サグ測量を行う。

しかし、この方法では基準ストランドの盛り替え時の誤差の集積が懸念されるので、サグ調整の結果のみでなく、各サドルのゲージワイヤマークおよびシム量の分布等総合的見地から大幅なエラーがないかどうかを随時見ながら進めた。なお、他橋で行われたようなケーブル形状の目標値の上げ越しは行わなかった。

ケーブル架設完了後のサグ測量結果を表-9に示す。目標値が東ケーブル、西ケーブルで異なるのは、吊構造部の橋軸直角断面内の死荷重トルクを考慮しているためである。実績値は目標値に対して100～200mm程度の誤差となっているが、ハンガーロープ製作の際に、このサグ誤差を吸収するようロープ切断長を決定し、ソケット付けを行っている。サグ誤差は、絶対量としては従来よ

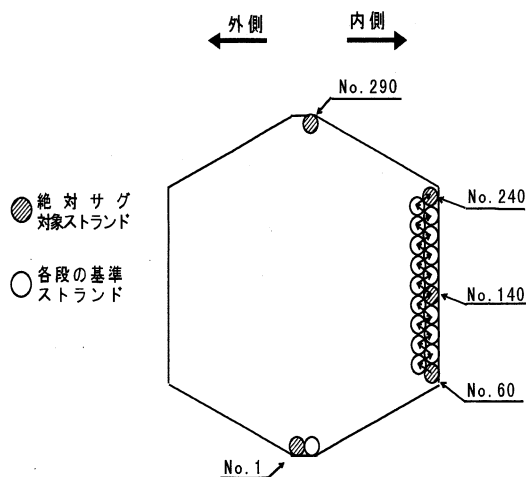


図-7 各段の基準ストランド
Fig.7 Gauge strand for respective levels

り大きめであるが、長さとの比較においては従来と同程度といえる。

ストランドの製作誤差、現場架設誤差の精度を知る一つの指標となるケーブル定着部のシムプレートによる調整量（シム厚）の実績を図-8に示す。設計シム量に対する増加率は、4箇所平均で+18.9%であった。

6. ケーブルスクイズ

架設が完了したストランド群をケーブルバンド取り付けに支障がないように、空隙率 $20 \pm 2\%$ 、直径1,122mmを目標とする円形断面に整形するスクイズを行う。

スクイズマシンは300t油圧ジャッキ6連動で、どの特定方向からでも締め付けが可能な構造とした。ワイヤの集合体であるケーブルの締め付け効果を増すためには、ワイヤ間の摩擦抵抗を減少させる振動を与えることが有効である。従来は、締め付け時にケーブル表面を木製ハンマー（カケヤ）でたたくことにより打撃を与えていた。しかし、ケーブル径が増大すると人力による打撃では効果が少なくなるので、本橋ではケーブル円周方向に配置した打撃装置を組み込み、締め付けと同時にこの装置を作動させるようにした。図-9にスクイズマシンを示す（写真-3参照）。スクイズは、以下の3段階で行う計画とした。

①第一段階プレススクイズ

夜間の各ストランドの配列が正位置へ戻る時間帯にストランドの配列修正を行い、帯鋼又はワイヤロープで固縛し、形状を保持する。作業間隔10m毎。

②第二段階プレススクイズ

スクイズマシンを使用し、塔頂から中央および橋台に向かって、作業間隔5m毎にほぼ円形に仕上げる。

表-9 ケーブル架設完了後のサグ測量結果

Tab.9 Sag surveyed after cable erection

径 間	1A～2P		2P～3P		3P～4A	
	東	西	東	西	東	西
ケーブル						
目標値(T.P)	131.058	131.070	113.665	113.437	131.067	131.144
測量値(T.P)	130.892	130.849	113.563	113.290	130.921	130.974
サグ誤差 Δf (mm)	-166	-221	-102	-147	-146	-170
$\Delta f/L$	1/5,700	1/4,300	1/19,500	1/13,500	1/6,500	1/5,600
(参考) 南備讃瀬戸大橋の $\Delta f/L$:						
$\left\{ \begin{array}{l} \text{側径間の平均} \approx 1/5,800 \\ \text{中央径間の平均} \approx 1/14,100 \end{array} \right.$						

(注) Lは各支間長

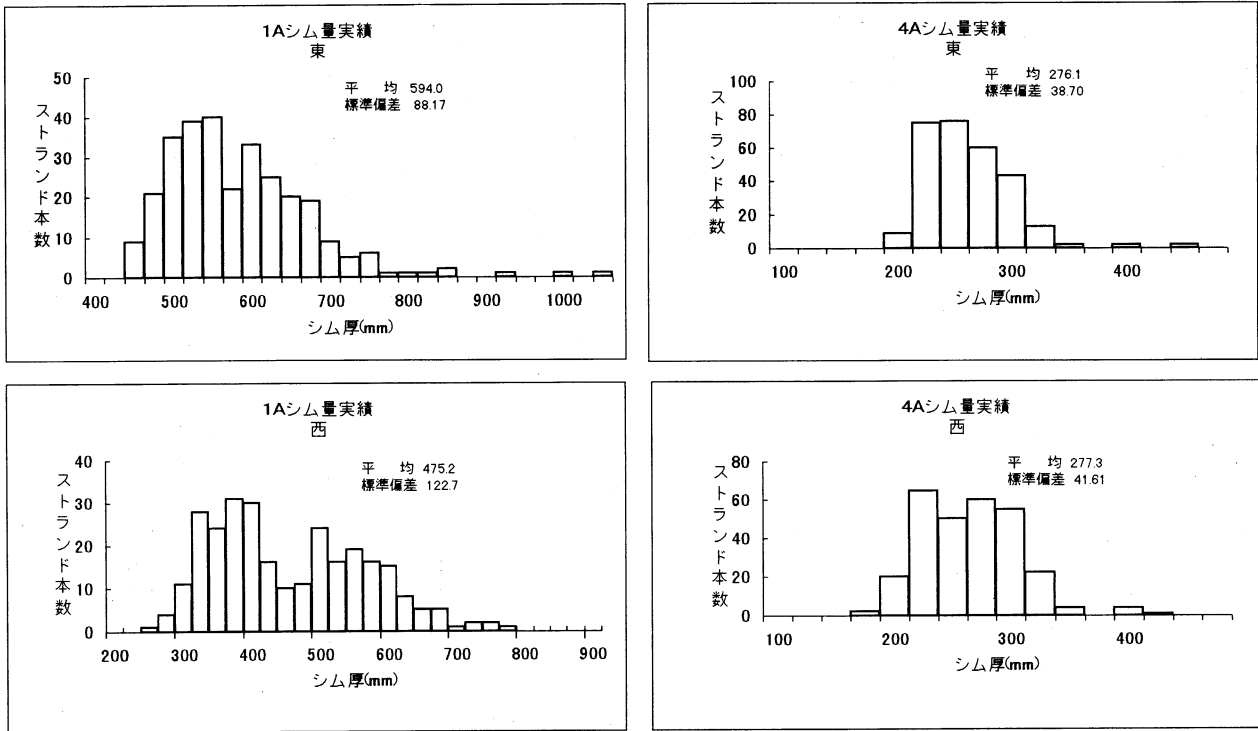


図-8 定着部シム量の実績
Fig.8 Work record on shim adjustment

目標空隙率は20~25%。

③本スクイズ

スクイズマシンを使用し、中央径間中央および橋台より塔頂へ向かってスクイズマシンを使用して、作業間隔1.5m毎にケーブルが所定の空隙率となるように仕上げる。空隙率の管理はケーブルの縦径、横径、円周の測定により行う。

図-10に本スクイズ完了後の一般部の空隙率の実績を示す。また、表-10にケーブルバンド架設完了後の空隙率の平均値を他橋と比較して示す。従来の橋梁と同等の品質を確保することができた。

第一段階プレススクイズは、本作業が12月初旬であり日中の温度上昇の影響による配列の乱れも無く、スムーズに作業を行うことができた。

第二段階用のプレススクイズマシンとして、新たに開発した油圧ジャッキ+打撃装置を組み合わせたマシンを使用する予定であったが、補剛桁工事との関係からスクイズ工程を出来る限り短縮する必要があり、このため打撃装置を使用せず、2度締め効果のねらって油圧ジャッキによる5mピッチのスクイズを行った。

本スクイズ作業においても、第二段階プレススクイズ同様所定の空隙率を容易にクリアすることが出来た。瀬戸大橋等では、所定の空隙率を得るために1mピッチの本スクイズを2回行った場合もあり、本橋のように南備讃瀬戸大橋を超えるケーブル径に対しいかなる方法でスクイズするかは大きな課題であった。これに対して、打撃装置付スクイズマシンを開発して対応することとしたが、結果的にはプレススクイズ段階から予想以上のスクイズ性

能が得られ、打撃装置を使用しなくてもスムーズに作業が進んだ。その主な要因としては下記のことが考えられる。

- ①本橋では、長スパンのためにストランド架設時のフリーハング張力が瀬戸大橋等と較べてはるかに大きくなっており、そのため架空ストランドの型崩れや素線間の交差が減少し、平行度が上がり、容易にスクイズが出来たものと考えられる。
- ②ケーブル内部ストランドのシーリングテープの有無がスクイズ効果に影響する。したがって、ストランド架設時にシーリングテープの約半数(1つおき程度)を間引き、ケーブル内の異物を極力無くしストランドや素線の配列が容易になるようにした。

これまでケーブルの計画・設計においてケーブル径の限界を約1.2mとし、それ以上はダブルケーブルにすべきであると考えられていた。その理由は、ケーブルの二次応力の問題よりも、むしろスクイズの限界が1.2m位と考えられていたことによる。しかし、スクイズに対して長スパン化に伴う上述のメリットがあることから、スクイズ可能な径はもっと大きいと考えられ、これは今後の長大吊橋の計画に大きく影響を与えることである。

5. あとがき

明石海峡大橋のケーブル工事は、その規模の大きさのため、従来の実績の延長では対処しきれず、設計、製作、架設の各段階で新技術、新工法を駆使した工事となったが、十分満足できる成果が得られたと思う。また、未曾

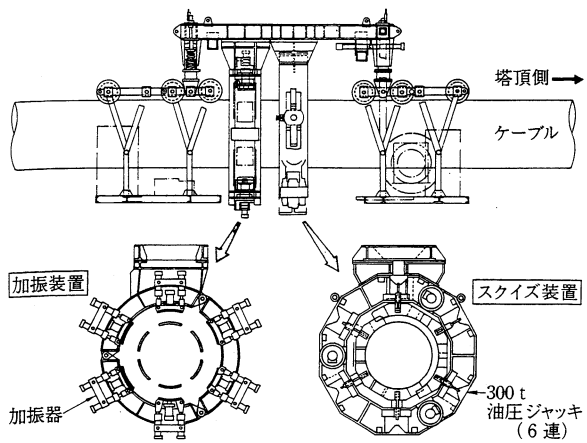


図-9 スクイズマシン
Fig.9 Squeezing machine

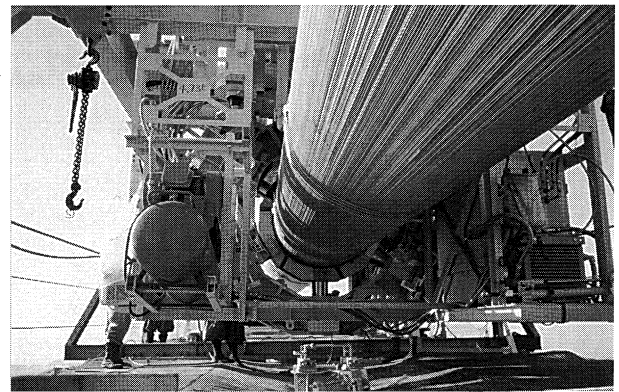


写真-3 スクイズの状況
Photo.3 Cable squeezing

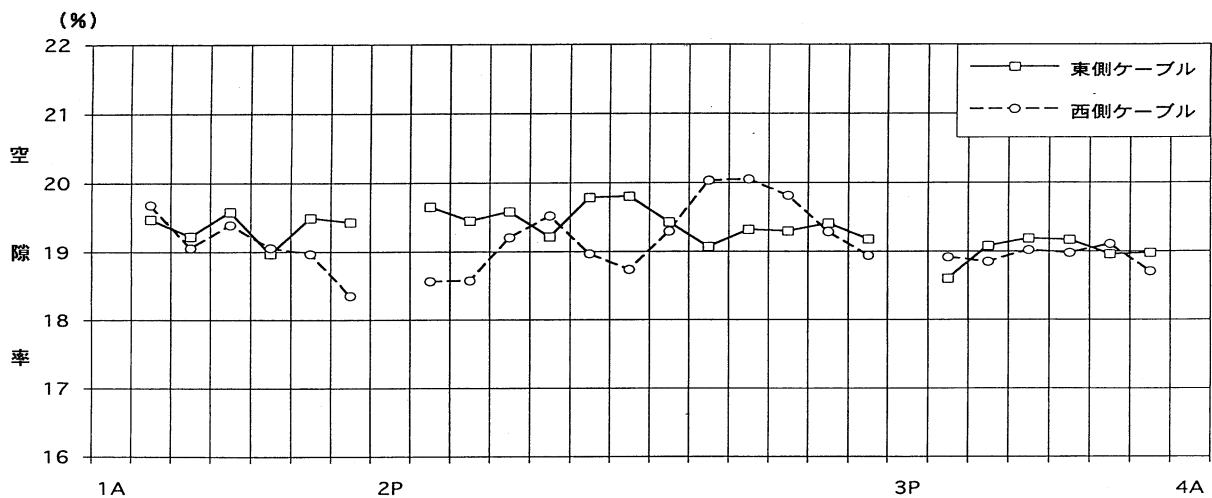


図-10 本スクイズ後の空隙率
Fig.10 Void ratio after finish squeezing

表-10 バンド架設後のケーブル空隙率の平均値
Tab.10 Average void ratio of cable section after band installation

橋名	素線径×本数 (mm) (本)	工法	平均空隙率 (%)			バンド部ケーブル径 (mm)	
			バンド		一般部	設計値	実績空隙率からの 換算値
			設計値	実績値	実績値		
因島大橋	φ5.17×11,557	PS	17.0	17.2	19.9	610	611
南備讃瀬戸大橋	φ5.12×34,417	PS	18.0	17.8	19.9	1,049	1,048
明石海峡大橋	φ5.23×36,830	PS	18.0	17.6	19.3	1,108	1,106

有の兵庫県南部地震がケーブルスクイズ工事中に発生し、基礎の相対的位置関係が変化し支間長が変わるといふ被害を受けたが、関係者が一丸となって細部点検、修正設計等を行い、また約1ヶ月の工事中断の後、工事体制や周辺環境に不自由さが残る中でその遅れを挽回し得たのは、本橋に携わった方々の本橋にかかる熱意以外の何物でもなかったと思う。

最後に、設計、製作、施工の全てにおいて多大の尽力をされた新日鐵・神鋼特定建設工事共同企業体の方々に紙面を借りて謝意を表するものであります。

参考文献

- 1) 森山：主ケーブル材料としての高強度鋼線、本四技報、Vol.13 No.53 '89.4
- 2) 河口、福永、北川：明石海峡大橋のパイロットロープ渡海、本四技報、Vol.18 No.71 '94.7
- 3) 河口、福永：明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造（その1）、本四技報、Vol.18 No.70 '94.4
- 4) 河口、福永：明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造（その2）、本四技報、Vol.18 No.71 '94.7
- 5) 河口、福永：明石海峡大橋のキャットウォーク構造、本四技報、Vol.19 No.74 '95.4

明石海峡大橋補剛桁製作・架設工事

Fabrication and Erection Work of the Akashi Kaikyo Bridge Stiffening Girder

企画開発部
(前)第一建設局垂水工事事務所

経済課長代理
技術課長

大江 慎一
Shinichi Ohe

第一建設局保全部
(前)第一建設局垂水工事事務所

計画課付
技術課長代理

今井 清裕
Kiyohiro Imai

第一建設局垂水管理事務所
(前)第一建設局垂水工事事務所

橋梁技術課
技術

杉本 健
Takeshi Sugimoto



概要

明石海峡大橋補剛桁の製作上の特徴は、本四橋として初めて予熱低減型調質高張力鋼を用いたこと、PWSハンガーロープ定着構造がピンプレートとなっていること等が挙げられる。

また、架設工法は架設当初のFCによる大ブロック架設とその後の面材架設とからなる。そのうち、面材架設の特徴として、橋上の部材輸送にゴムタイヤ式の自走式運搬台車を用いたこと、短ハンガー部の面材架設に特殊天秤を採用し、従来の主ケーブルへの盛替架設を回避したこと等が挙げられる。

本報告は、これらの補剛桁の製作・架設上の特徴を中心にその概要を述べたものである。

Fabrication of stiffening girder of Akashi Kaikyo Bridge was featured by the use of low preheat type quenched and tempered high-strength steel, which was for the first time employment in the Honshu-Shikoku Bridges, and a pin-plate structure for the PWS hunger ropes. Erection work of the girder consists of large block work by floating crane and the succeeding work for plane blocks. These works adopted self-propelling type carriers of rubber wheels for plane block transportation on the deck and developed several hunger device for installation of the block, which made unemployment of ordinary double action erection work using a main cable of the suspension bridge.

1. まえがき

明石海峡大橋の補剛桁工事は、平成6年4月に製作に着手し、平成7年6月の2P側径間塔部大ブロック架設を皮切りに、9月までに6回の大ブロック架設を終え、9月から面材架設を開始し、平成8年8月には補剛桁が閉合した。その後、鋼床版溶接、橋梁付属物の設置等の工程を経て、平成9年秋にはほとんどの工事を完了した。

本報告では、明石海峡大橋補剛桁の特徴を踏まえて、製作・架設の概要を、報告するものである。なお、製作については、本橋での特徴的なものみに限定し、架設のうちの大ブロック架設については、既に報告済みなので、本報告では面材架設以降について記述した。

2. 製作

本橋の補剛桁の製作は、基本的には瀬戸大橋までのトラス形式の補剛桁の製作方法を踏襲しているが、それ以外に以下の特徴を有している。

2.1 製作上の特徴

- (1) 補剛桁弦材に本四橋として初めて予熱低減型調質高張力鋼材を使用したこと。
- (2) PWSハンガーロープの定着方法に、ピン定着形式

を採用しており、ピン孔に精度を要したこと。

- (3) 20径間連続鋼床版を採用しており、補剛桁上への鋼床版支承の設置に配慮する必要があったこと。

- (4) 4JV20社による製作となったために、統一的に製作方法・品質管理について検討する必要があったこと。

2.2 溶接施工性試験

製作に先立ち、以下の溶接施工試験を実施し、実施工に反映している。

- (1) 予熱低減型調質高張力鋼材の溶接施工試験

予熱低減型調質高張力鋼材の本四橋への適用は、本橋が初めてであったために、実施工に先立ち、溶接施工試験を実施した。供試鋼材は、実施工で使用する最高板厚のものを用い、表-1に示す試験項目で実施した。試験結果の一部を表-2、図-1および図-2に示す。

- (2) 鋼床版Uリブすみ肉溶接溶込み確認試験

輪荷重が直接荷重されるUリブのすみ肉溶接については、疲労き裂発生防止のため、あらかじめ溶接施工試験により、約4mm以上の溶け込み深さが得られる溶接条件を確認し、実施工に反映させた。

2.3 製作

- (1) 部材区分

補剛桁の部材は、調質高張力を使用した主構トラス弦材(特部材)とそれ以外の一般部材に区分して、製作した。

表一 予熱低減型調質高張力鋼の溶接施工試験

Tab. 1 Welding test for low preheat type quenched and tempered high-strength steel

試験項目	試験目的	溶接法	試験項目	供試鋼材
最高硬さ試験	最高硬さ ・室温、50℃、75℃	GMAW SMAW	硬さ試験	SM570 HT780
斜めy型溶接 割れ試験	割れ停止温度 ・室温、50℃、75℃	GMAW SMAW	割れ率の測定	SM570 HT780
突合せ 継手試験	(1)機械的性質 (2)溶接欠陥 (3)外観	SAW	引張試験 側曲げ試験 衝撃試験 マクロ試験 硬さ試験 放射線透過検査	HT780
かど継手 試験	(1)仮付けの再溶融 (2)高温（低温）割れ (3)外観	SAW	引張試験 (溶着金属試験片) マクロ試験 硬さ試験	HT780
すみ肉継手 試験	(1)仮付けの再溶融 (2)高温（低温）割れ (3)外観	SAW	引張試験 (溶着金属試験片) マクロ試験 硬さ試験	HT780

表一 2 溶接総試験66試験体のうちの割れ発生数

Tab. 2 number of occurrence of cracks in 66 welding specimens

溶接方法	SMAW			GMAW		
	室温	50℃	75℃	室温	50℃	75℃
表面割れ	3	0	0	0	0	0
断面割れ	6	0	0	0	0	0
ルート割れ	6	0	0	0	0	0

(2) 原寸

補剛桁は、20社での製作となったため、製作の基本となる原寸要領の考え方を統一して実施した。

(3) 組立・溶接

特部材の製作は、瀬戸大橋の調質高張力鋼を用いた補剛桁弦材の製作方法を踏襲した。また、特部材のかど溶接部には一部材の溶接線4線のうち1線の割合で、自動超音波探傷試験で検査している。

ハンガーピンプレート部の組立は、精度を考慮して、ピン孔の孔明け等をピンプレート組立溶接後に実施する等により精度向上を図った。

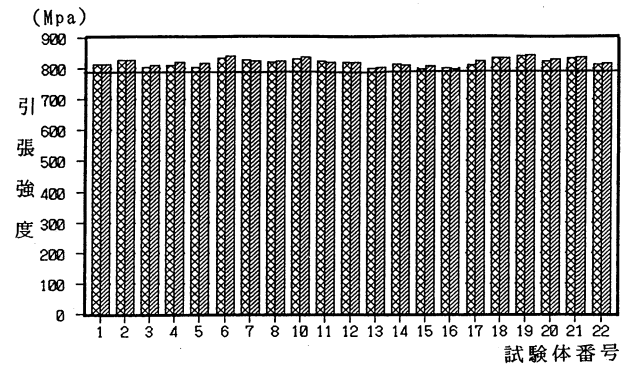
(4) 仮組立

補剛桁の仮組立は、全数立体仮組立を行うこととしたが、各仮組単位間での重複仮組は行わなくても良いこととし、検証治具および仮組境界の誤差許容値を1/2とする等により対処した。

また、鋼床版支承の据え付けに当たっては、補剛桁仮組時に鋼床版支承間隔の仮組検査データを基に、支承据え付け位置を決定することを基本とした。このことにより、鋼床版と補剛桁の製作精度を鋼床版支承の据え付けに反映させることとした。

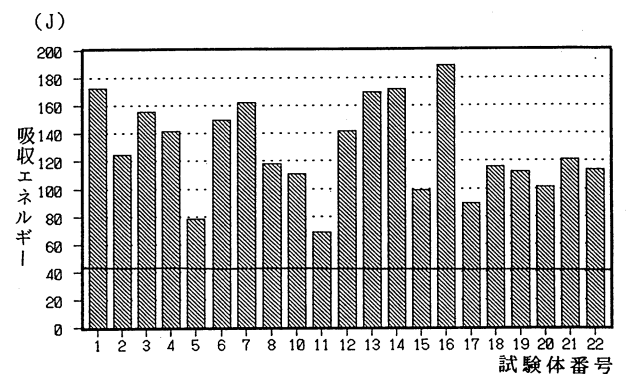
2. 架設工法の概要

本橋の補剛桁架設工法は、以下に示す特徴を有している。



図一 継手引張試験結果

Fig. 1 Result of joint tensile test



図二 シャルピー衝撃試験結果（-15℃）

Fig. 2 Results of Shalpy test (at-15 degree contigrade)

(1) 面材張出し架設を採用

航行船舶の状況から長時間の海面使用が塔付近の工事作業海域内と海岸を埋め立てて造られたアンカレイジ作業ヤード岸壁前面とに限られること、及びブロック架設を行っても鋼床版や添架桁の架設に別の揚重設備が必要となり経済的でないこと等から、面材張り出し架設を採用した。

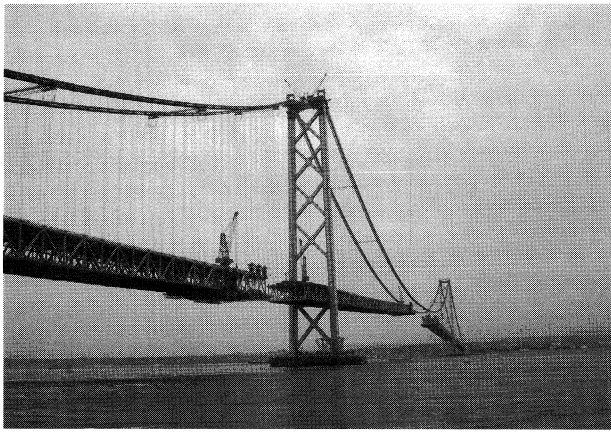


写真-1 面材架設時全景

Photo. 1 Overview of plane block erection

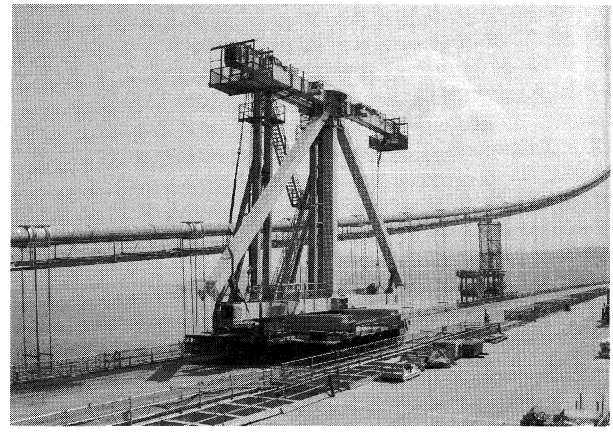


写真-2 タイヤ式運搬台車による面材運搬

Photo. 2 Transport of plane block by wheel carrier

表-3 主要架設機材一覧表

Tab. 3 Summary of main erection facility

名称	能力及び仕様	設置台数	使用目的
荷揚げクレーン	主巻 120t×33m 補巻 15t×45m	4台	補剛桁部材及び架設機材の水切り、橋上吊り上げに使用する。
トラベラクレーン	主巻 120t×33m 補巻 15t×45m	4台	補剛桁部材及び架設機材の架設に使用する。
自走式運搬台車	積載能力 150t 走行速度 積載時 0.9km/h	4台	補剛桁部材及び架設機材の橋上での運搬に使用する。
ハンガー引込装置	一格点当たり 800t×4000mm(3000mm)ストローク	12組 (12組)	ハンガーロープを補剛桁に引き込み定着するために使用する。
移動防護工	自走式 バイブトラス構造	4台	補剛桁架設先端の作業員墜落防止、機材及び小物部材の飛来落下防止のために使用する。
移動安全足場	自走式 バイブトラス構造	4台	現場塗装、下段ネットの取付け及び足場の解体等に使用する。

() は、側径間

面材架設は、逐次剛結工法とし、架設先端3格点を調整引き込みとした無ヒンジ工法を採用している。

(2) 側径間の架設方向として、アンカレイジから塔に向かって架設することとした。

張り出し中の架設が上り勾配でできること、および作業ヤードを分散できること等の理由から、アンカレイジから塔に向かって架設することにした。(写真-1)

(3) 架設当初に大ブロック架設を採用

本橋の補剛桁の架設では、架設当初に6回の大ブロック架設を実施した。大ブロックには、架設機材を搭載することにより、現地作業を軽減し、安全確保・工程短縮を図った。

(4) 短ハンガー部の架設にあたり特殊天秤を使用

ケーブルと補剛桁上弦材とのクリアランスが小さくなる短ハンガー部の主構面材の架設は、従来の吊橋で実施されてきた盛り替え架設を回避し、作業の煩雑さを減少させることにより、安全性の向上、工程短縮が図れることが可能な特殊天秤で行った。

(5) 部材の橋上運搬台車として、ゴムタイヤ式の運搬台車を採用

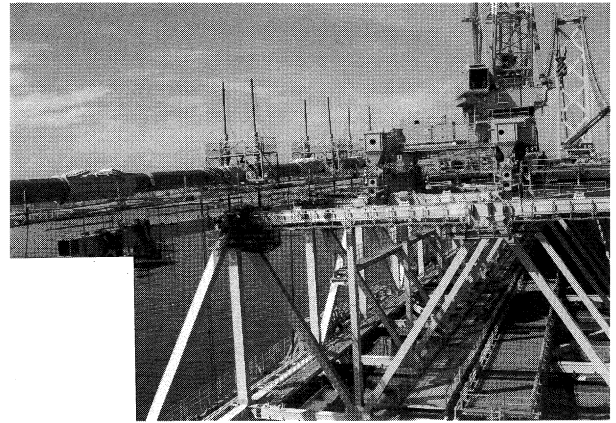
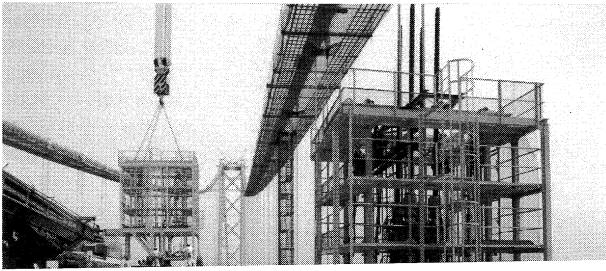
従来の面材架設に用いていた部材の運搬台車は、鋼製の軌条式運搬台車を用いていたが、本橋ではレールの敷設長さが4kmにも及ぶことから軌条の必要ないゴムタイヤ式運搬台車を用いることにした。このタイプの運搬台車では軌条の敷設・撤去が必要ないために、工程短縮にも寄与している。(写真-2)

(6) 形状計測の測量方法としてGPS測量を採用

補剛桁架設途中の形状計測方法として、従来から用いられてきたレベル・スタッフの盛り替えによる方法、連通管による方法および塔頂部から測定の距離・俯角を測定して高度を算出する方法に替え、GPS測量により補剛桁架設途中の形状計測を実施した。

3. 主要架設機材

主要架設機材一覧を表-3に示す。明石海峡大橋補剛



訂正箇所	誤	正
82頁 12行目 85頁 3行目	辰巳正明・藤田和朗・池末泰輔 No.59 '90.7	保田雅彦・藤田和朗・池末泰輔 No.59 '91.7
13行目	岩黒島橋下部工の詳細設計	岩黒島橋上部工の詳細設計

下記のような誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

本四技報 No. 85 正誤表

RCハンガー引き込み装置 (ステップロッドタイプ)
Pulling-in device for CFRC hunger (step rod type)

必要となる。運搬台車は、1軸に8輪のゴム
1付けた6軸の牽引台車を2台組み合わせて

ハンガー引き込み設備

引き込み設備とは、補剛桁架設途中において
ハンガーロープ下端のロープソケットを引き
の所定の位置に定着させるための設備である。
ここでは、ハンガー引き込み装置は、使用する
ロープおよび定着部の構造により、PWS用と
種類が必要となる。

ロープ用引き込み装置は、主構上弦材上側に
コンプレートと連結されたワイヤーまたはス
をソケット上のセンターホールジャッキで
により定着した。(写真-3)

ロープ用は、仮バンドにより主ケーブルに反
からワイヤーまたはステップロッドとセン
ジャッキにより主構上弦材を吊り上げるこ
とれる。ワイヤーロープを用いた引き込み装
ターホールジャッキは上弦材下側に(写真
ステップロッドを用いた引き込み装置では、セ
ジャッキは主ケーブル上に(写真-5)、

架設暴風時のハンガーとハンガー定着部に
するが、ワイヤーロープタイプではロープ
ステップロッドタイプではヒンジで角折れを
にした。

3.2 荷揚げクレーン

面材、鋼床版の輸送台船からの水切り、橋上への荷揚
げおよび管理路等その他部材や資機材の橋上へ荷揚げ用
に使用した。

3.3 橋上運搬設備

補剛桁の面材張り出し架設では、架設先端までの部材

3.5 防護上設備

架設工事期間中の落下防護設備として、移動防護工、
移動安全足場を設置した。移動防護後工、移動安全足場
ともに走行方法としては、この種の設備としては初めて、
ボールネジを用いた尺取り虫方式を採用した。

3.6 形状計測システム

補剛桁架設工事では、面材架設中は4サイクル毎に形

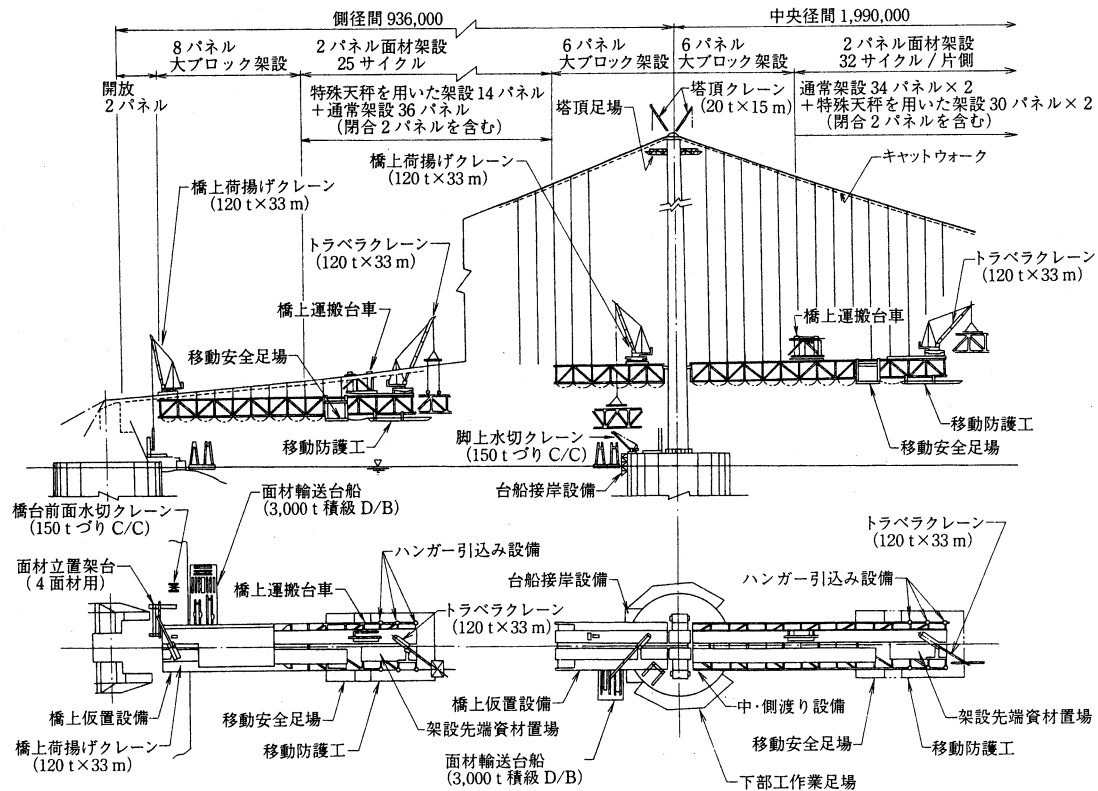


図-3 面材架設概要

Fig. 3 Outline of plane block erection

形状計測を実施し、補剛桁が所定の形状に架設されていることを確かめながら、工事を進めた。明石海峡大橋補剛桁工事では、橋梁延長が4 kmにも及ぶことから、計測作業を迅速にできる「高速スタティック測量」によるGPS測量を形状計測に用いた。

4. 面材の架設

大ブロック部以外の部材の架設は、主構トラスは2パネルを1面材とし、主横トラスについても1格点分を1面材とした面材架設とした。それ以外の横構、管理路等の桁内添架物は単材とし、鋼床版は片側車線分2パネルを一体として架設した。面材架設の概要を図-3に、サイクル架設フローチャートを図-4に、サイクル架設工程の実績を図-5に示す。

4.1 一般部面材の架設

工場で架設する形状に組み立てた部材は、補剛桁面材と鋼床版を別の台船により輸送した。部材の水切りは、中央径間が主塔基礎の側径間側、側径間がアンカレイジ前面で行った。なお、水切りに用いる重機は、主構・主横トラス面材および鋼床版の水切りには、橋上の荷揚げクレーンを、その他の部材は主塔基礎上またはアンカレイジ前面の作業ヤード内に設置した水切りクレーンとした。また、水切りした部材仮置き場所は鋼床版は橋上とし、その他の部材については、主塔基礎上またはアンカ

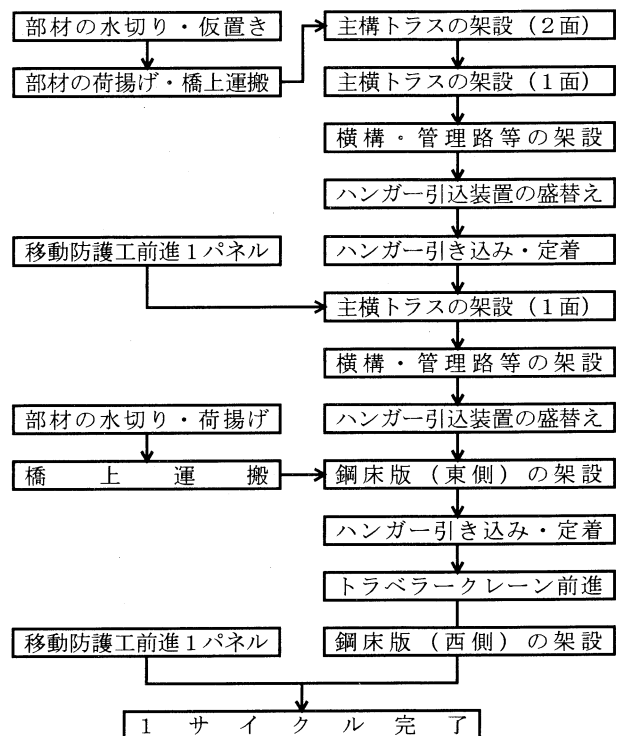
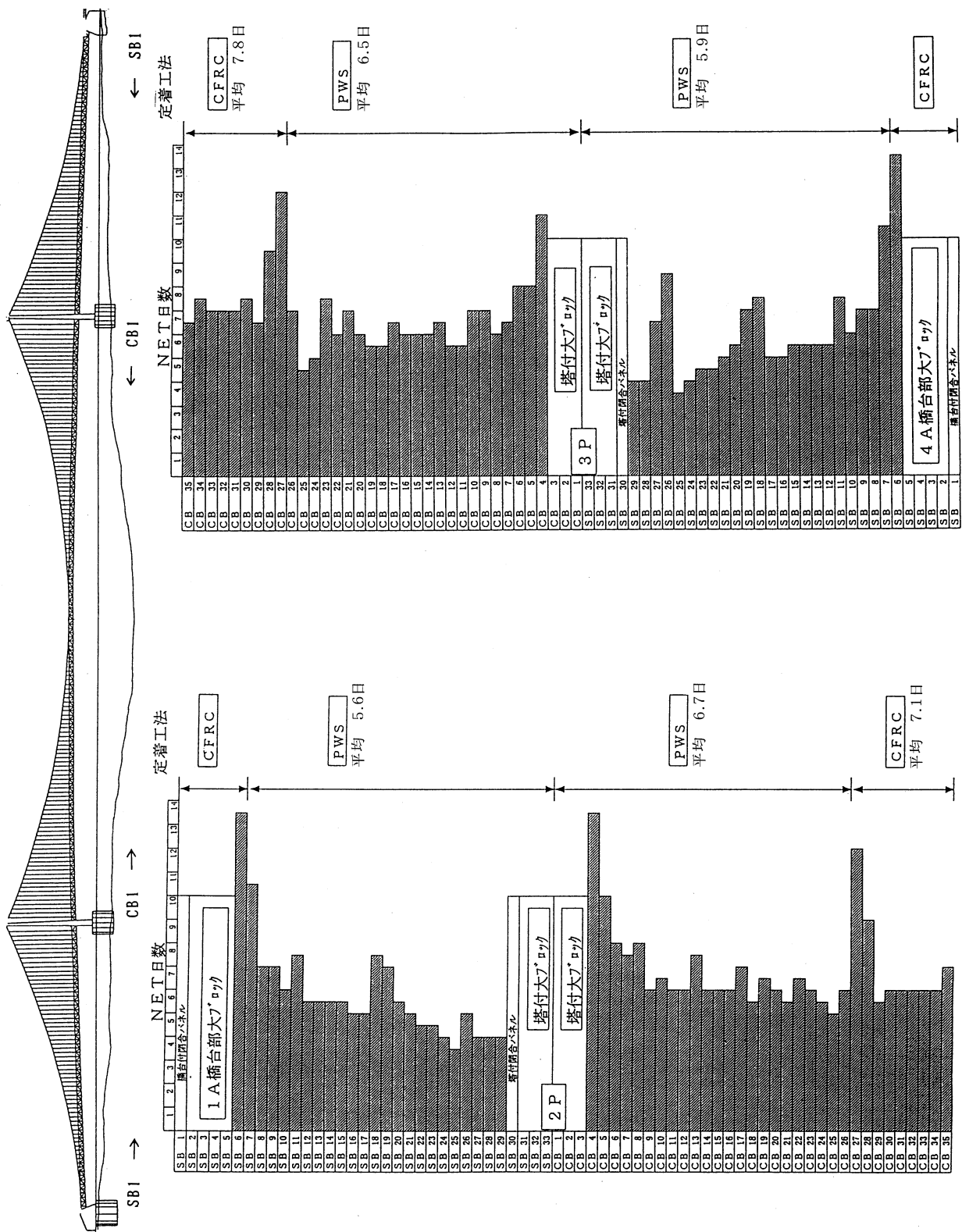


図-4 面材サイクル架設フローチャート

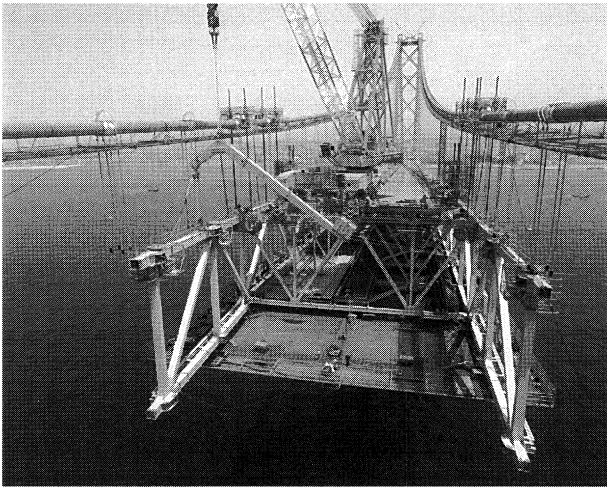
Fig. 4 Flowchart of plane block erection

レイジ前面とした。

仮置きされた部材は、架設サイクルに合わせて荷揚げ

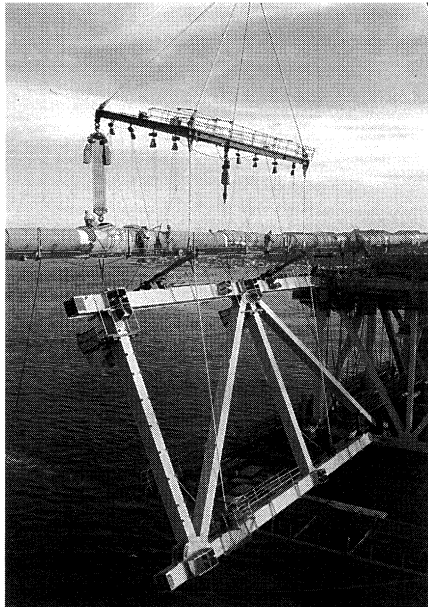


図一5 面材サイクル架設工程実績
Fig. 5 Result schedule of erection work



写真一六 への字天秤による面材架設

Photo. 6 Plane block erection by a bent balancing beam



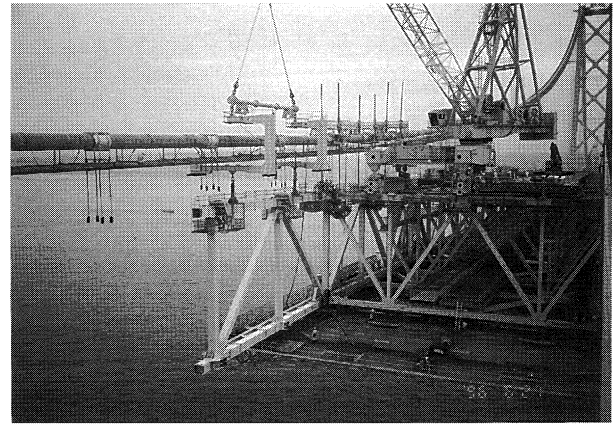
写真一七 上下天秤による面材架設

Photo. 7 Plane block erection by frame type balance

を行い、運搬台車に搭載・運搬し架設先端のトラベラークレーンで架設した。

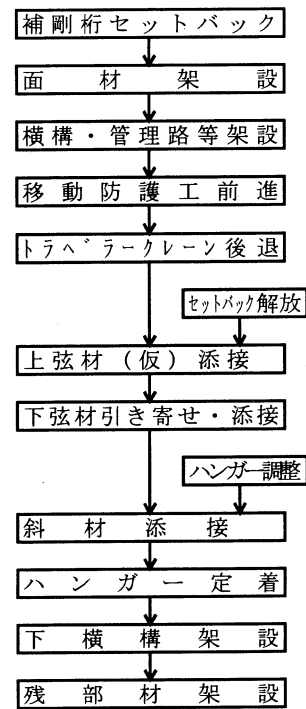
4.2 短ハンガー部面材の架設

明石海峡大橋のように補剛トラス主構面と主ケーブル面と同一鉛直面にある場合、短ハンガー部（ハンガー長40m以下）では、トラベラークレーンのジブが主ケーブルと干渉するために主構面材の直上を吊ることができず、大鳴門橋等ではトラベラークレーンで吊った主構面材を一旦主ケーブルに盛り替え、主ケーブルをかわした状態でトラベラークレーンに吊り直す盛替架設工法により施工していたが、作業が煩雑なうえ、時間も要すことから、明石海峡大橋では盛り替え架設を回避するために、への字型の特殊天秤（への字天秤）を用いて施工した。への字天秤は写真一六に示す形状をしており、トラベラーク



写真一八 コの字天秤による面材架設

Photo. 8 Plane block erection by open rectangle type balance



図一六 中央径間中央・側径間塔部閉合フローチャート

Fig. 6 Flowchart of closure of deck at center of center span and tower part of deck

レーンの吊り点を主構トラス面上から離すことにより主ケーブルとの干渉をかかず構造となっている。

4.3 超短ハンガー部面材の架設

前述したへの字天秤により面材を架設する場合、超短ハンガー部（ハンガー長10m以下）において部材解放時に天秤が移動防護工と干渉するため代替工法の検討が必要となった。代替工法として「上下天秤」(写真一七)及び「コの字天秤」(写真一八)が考案され施工された。両者を比較すると、コの字天秤は上下天秤に比べ天秤重量が重いものの作業性に優れており、作業時間も短かった。

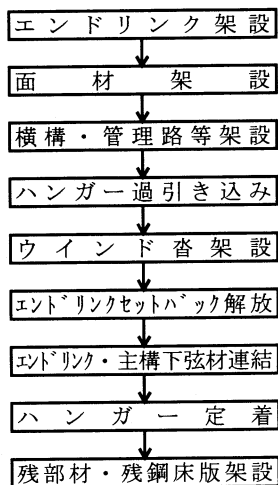


図-7 橋台閉合フローチャート

Fig. 7 Flowchart of closure of deck at anchorage part

4.4 ハンガー引き込み要領

ハンガー引き込みは、大鳴門橋、瀬戸大橋で実績のある3格点調整引き込みを採用した。本橋のハンガー引き込み方式は、ロープの種類により異なったものとなっており、PWSハンガーではハンガーを直接引き込む直接引き込み方式、CFRCハンガーでは仮ハンガーにより補剛桁の上弦材を吊り上げる間接引き込み方式を採用している。

5. 閉合

補剛桁の閉合は、側径間塔部2ヶ所、側径間橋台部2ヶ所および中央径間中央部1ヶ所の順序で計5ヶ所で行われた。

5.1 側径間塔部閉合

側径間塔部の閉合は、当初に架設した塔部大ブロック6パネルと橋台部から面材架設により張り出してきた桁を連結する作業である。作業フローを図-6に示す。

側径間塔部の閉合においては、中央径間の架設重量が小さいほど下弦材の引き込み力が大きくなるため、架設計算を行い引き込み力が設計値以下となるよう施工時期を決定した。

閉合作業に先立ち、大ブロックパネルを塔側にセットバックさせ作業空間を確保したうえで閉合パネル面材を架設する。閉合パネル面材架設後、トラバークレーンを後退させ大ブロックと面材架設部分の勾配を近づけて閉合作業に入る。

閉合作業は、セットバックを解放させることにより大ブロックと面材部の遊間を狭めていき、先の上弦材上フランジを仮添接させた後、下弦材に設置されたジャッキで引き込み、下弦材および上弦材ウェブ・下フランジを添接する作業である。また、ハンガー引き込み装置の調整により、斜材の添接およびハンガーの定着を行った。

5.2 側径間橋台部閉合

側径間の橋台部前面の2パネルは、このパネルを開放することにより暴風時の曲げモーメントを緩和でき部材補強が少なく済むこと及び他工事との干渉回避等のために後架設とした。

この端部2パネルの架設は、側径間塔部の閉合が完了した後に実施した。作業フローを図-7に示す。

閉合作業に先立ち、閉合パネル架設時に主構下弦材との干渉を防ぐためにエンドリンクを橋台側に立てかけておくとともに、エンドリンク連結時に主構上弦材とキャットウォークとの干渉を防ぐためにキャットウォークの上げ越しを行った。

閉合パネル主構面材の架設は、コの字天秤を用いて実施し、その他の部材は面材架設と同様の架設方法を用いた。また、橋軸直角方向力に対抗するためにエンドリンク連結前にウインド杓の架設を行った。

閉合作業は、エンドリンク建て起こし時の主構との遊間を確保するためにハンガーの過引き込みを行い、エンドリンクを建て起こした後、ジャッキを解放し、エンドリンクと主構下弦材とを連結する作業である。

5.3 中央径間中央部閉合

中央径間中央部の閉合作業は、両側の主塔から張り出してきた桁を連結する作業であり、基本的な流れは、側径間塔部閉合同様である。

6. 閉合後作業

補剛桁の閉合後は、以下の作業を実施した。

6.1 グレーチング桁、オープングレーチングおよび自動車防護柵の架設

面材架設中の耐風安定性の確保および面材架設期間の短縮のため、グレーチング桁、オープングレーチングは、一部を除き、閉合後にトラッククレーンにより架設した。

6.2 鋼床版の溶接、鋼床版支承調整および鋼床版伸縮装置の設置

鋼床版の継ぎ手構造は、デッキプレートが溶接、縦リブ、縦げたは、高力ボルト継ぎ手となっており、鋼床版の連結は、先に鋼床版デッキプレートを溶接した後、縦リブ、縦げたを添接した。

現場溶接においては、前もって溶接施工性試験で確認した上、現場での施工性を考慮してルートギャップを局部的に15mmまで許容した。

支承調整作業としては、上杓、下杓間の鉛直隙間調整作業と、支承の設計移動量が確保されているかを確認する作業がある。鉛直隙間調整量は、隙間量だけではなく完成時に杓に設計死荷重反力が加わるように調整プレートを増厚するとともに、同一支承線上の隣接する杓の調

整による影響も考慮して調整板厚を決定した。

6.3 主塔部桁間管理路の架設

本橋は、2ヒンジ吊橋となっているために、中央径間と側径間の補剛桁は主塔部で連続していない。そのため、鋼床版は主塔下部水平材上に設置するとともに、管理路についても桁間管理路と呼ばれる渡り設備を設置することにした。

主塔部桁間管理路は主塔下部水平材から吊り下げる構造であり、架設は工場または主塔基礎上で組み立てられた断面方向の面材を橋上の荷揚げクレーンおよびトラッククレーンの相吊りで架設し、他の骨組み部材を単材で架設した後、添架桁を架設した。

6.4 道路伸縮装置の架設

本橋の道路伸縮装置としては、リンク式伸縮装置を使用している。

道路伸縮装置の架設においては、あらかじめ現地計測を実施し、下沓の調整板及びユニバーサルジョイントを取り付けておき、伸縮装置を遊間より縮めた状態に治具で固定してラフタークレーンで吊り上げ、下沓上面に設置後治具を調整し球ジョイントを密着させボルトの締め付けを行った。なお、主塔部中央径間側の道路伸縮装置の中央部分のユニットについては、ウインドタングをかわすために大きなユニットとなっていることから重量が大きく、荷揚げクレーンで架設した。

7. 架設時耐風対策

本橋では、鋼床版全載で面材架設を進めたが、二次元部分模型試験および三次元全橋風洞試験結果により、中央分離帯側の鋼床版端部に25cmの物止め板を耐風安定化部材として設置すれば、架設時の耐風安定性が確保できることが分かっていたため、この断面で架設を進めた。

しかし、閉合が8月と早まったことにより、閉合後の架設時断面でも、台風時期を迎えることになった。閉合後では張出サイクル架設時と比べて路側および中分部の足場設置によりグレーチング部下側が閉塞されることから耐風安定性の悪化が懸念されたため、閉合後の断面を対象に二次元部分模型試験を実施した。

この結果、中分部に下面足場を設置した場合には、耐風安定性が悪化し、迎角 $+3^\circ$ で発振風速39mと架設時の限界風速を満足しないことが分かった。そのため、工程調整を行い、中央径間での中分部の下面足場の設置は10月以降として、台風時期を避けることとするとともに、中分部下面足場の設置期間をなるべく短くすることとした。

また、面材サイクル架設中は、台風を対象とした架設暴風時 ($V_{10}=37\text{m/s}$) と、それ以外の架設突風時 ($V_{10}=26\text{m/s}$) に分けて架設計画を検討した。面材サイクル架設中では面材を架設した直後に、先端のハンガー張力が最大となり、この状態で架設暴風時の風速を受けると先端ハンガーは許容張力を超えるため、台風の来襲が予

想される場合には、工程調整を実施し、サイクル架設の中で張力の小さい状態で台風を迎えることとしていた。幸いにして面材サイクル架設中での台風の直撃は免れ、工程調整を実施することはなかった。

8. 考察

(1) 面材架設サイクル1サイクルあたりの所要日数は、ゴムタイヤ式運搬台車の採用などや、橋上運搬能力の増強や重複作業の増加等により、南備讃瀬戸大橋に比べ2~3日短縮することができた。ただし、CFRCハンガー区間での引き込み装置の移設作業に予想外の時間を要した。今後、同種の施工法をとる場合の改善の余地がある部分と言えよう。

(2) 本橋では鋼床版に初めて20径間連続鋼床版を採用したが、支承の設計移動量の設定にあたって、支承の大型化を避けるために暴風時について製作・架設誤差を見込まなかった。そのためもあり、鋼床版溶接完了後に実施した支承の移動量確認時に暴風時の移動量不足がみられた支承がいくつか発生し、補修を行うことになった。今後の同種の構造を設計する場合には、鋼床版支承の暴風時必要移動量を整理して、製作・架設誤差を見込むか、または端部の支承以外についてはストッパーを付けないことも一つの方法と考えられる。

(3) 道路伸縮装置としてはリンク式伸縮装置を採用したが、橋の製作・架設誤差については、設計移動量に余裕量を見込むことにより、対処することとしていた。ところが、兵庫県南部地震により地盤が変動し、その余裕量が橋軸線の折れに対処するために必要となったこと、地震による支間長の変動量の測量誤差が大きかったこと等から、閉合後の遊間測定では、伸縮装置の実測移動量が設計移動量に足りなくなった。結果的には、ストッパーの遊間調整等の対策により、設計移動量を確保することができたが、同種の伸縮装置を設計する場合には、桁の架設後に施工誤差を測定し、製作・架設誤差を補正できるような構造を考えた方が良いと思われる。

(4) 従来、補剛桁架設時の耐風安定性は、面材架設時を対象としていたが、閉合後においても、中分グレーチング部を閉塞する等の耐風安定性の悪化が懸念する断面となる場合には、その断面の期間、時期等を勘案して、耐風安定性を検討しておく必要があると思われる。

9. あとがき

明石海峡大橋の補剛桁の製作・架設工法は、過去の本州四国連絡橋の吊橋補剛トラスを基本的に踏襲し、幾つかの点で改善を図ってきたものであるが、これらの工法は多くの方々により過去数年間にわたり検討されてきたものであり、ここに感謝の意を表する次第である。また、補剛桁工事は、工事着手以来、無事故で工事を進めており、工事関係者各位のご努力に感謝する次第である。

明石海峡大橋鋼床版舗装

The Pavement on the Steel Deck of the Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局垂水管理事務所
(前) 第一建設局垂水工事事務所

橋梁管理 役 長
技 術 課

栗野 純孝

Sumitaka Kurino



第三建設局保全部
(前) 第一建設局垂水工事事務所

橋梁技術課長代理
技 術 課 長 代 理

森下 尊久

Takahisa Morishita

概要

明石海峡大橋の舗装工事にあたっては、最大20径間の超多径間連続鋼床版上に高温のグースアスファルトを舗装することから、鋼床版の挙動について種々の検討を行った結果、支承部のボルトを緩める、縦断方向施工長に制限を持つ横断方向5レーン分割の舗装パターンを採用する、などの事前対策を講じ、安全な施工を実施した。本文では、上記の対策を採用した経緯等について報告する。

The pavement on the Akashi Kaikyo Bridge is composed of the Guss asphalt, which would be paved over a 20-span continuous steel deck with a high temperature. Heat analysis on the steel floor was thus conducted for various factors, and the prior counter-measures were taken such as loosening of floor bolts before the paving work and adoption of the pavement patterns composed of 5-lane longitudinal divisions with a length limit and safety construction was executed. This paper reports the course of study on the pavement system.

1. はじめに

明石海峡大橋の道路床組の設計においては、車両の走行性を向上させるとともに、構造上の弱点となりやすい伸縮装置の数を減らすという維持管理面からの要請を踏まえ、従来例のない20径間連続非合成鋼床版(図-1参照)が採用された¹⁾。

この鋼床版上に防水性を付与するためのグースアスファルト舗装の施工にあたっては、過去の経験から、舗装熱による鋼床版の挙動に配慮する必要性が指摘されており、本橋においては種々の検討を行ってきた。

本文では、明石海峡大橋鋼床版舗装の施工概要と、グースアスファルト舗装の施工法に係る種々の検討とその結果について報告する。

2. 明石海峡大橋鋼床版舗装工事

2.1 概要

鋼床版舗装工事は、施工面積が約92,000m²に及ぶ海峡部工事である。

その主な内容は、①厚さ12mmの鋼床版表面の錆等を除去するための「研掃工」、②その上に施工する「接着層工」、③プリスタリングの発生防止、耐流動性および上層との層間すべり抵抗性を増大させるためにプレコート碎石を配する40mm厚の「グースアスファルト舗装工」、④基層上に施す「タックコート工」、⑤表層として、35mm厚の「改質アスファルト舗装工」、⑥構造物と舗装との接触部から雨水等の浸入を防止する「成型目土工」、「注入目土工」である。

舗装構成を図-2に、工事工程を表-1に示す。

なお、鋼床版は、道路床組構造の違いにより、上下線中央部および路肩部にグレーチングを有する「補剛桁一般部鋼床版」(図-3左側参照、舗装対象の88.5%)、グレーチングを有しない「補剛桁全幅部鋼床版」(図-3右側参照、同 8.5%) およびアンカレイジ上の「道路桁全幅鋼床版」(同 3.0%) に区分できるが、舗装構成は同一である。(以下、それぞれを、「一般部」、「全幅部」および「道路桁部」と称する)

2.2 研掃工

明石海峡大橋の鋼床版表面は、補剛桁面材を架設サイトまで運搬する自走式台車の走行路として使用したこと、および約2年に及ぶ海峡部での長期間暴露により、そのほぼ全面にわたって赤錆、白錆、タイヤ汚れ等が観察された。

したがって、鋼床版表面のケレンは、遠心式バキュームブラスト機によるショットブラストを基本とした。ショット材の照射密度は、試験施工の結果に基づき、錆等の要因ごとに300, 250, 200および100kg/m²に設定した。これを、鋼床版表面の0.7m(研掃機幅)×1.0m(単位長さ)メッシュごとに適用し(図-4参照)、実施工はそれらを包括する照射密度により行った。

2.3 グースアスファルト舗装

基層工として施工したグースアスファルトの品質は、橋面舗装基準(案)²⁾における試験基準値を満たすものとした。なお、バインダー量は、室内および現場配合の結果により8.3%とした。

グースアスファルトは、2箇所の市中プラントにて製造したのち、クッカー車により現地搬入した。敷きなら

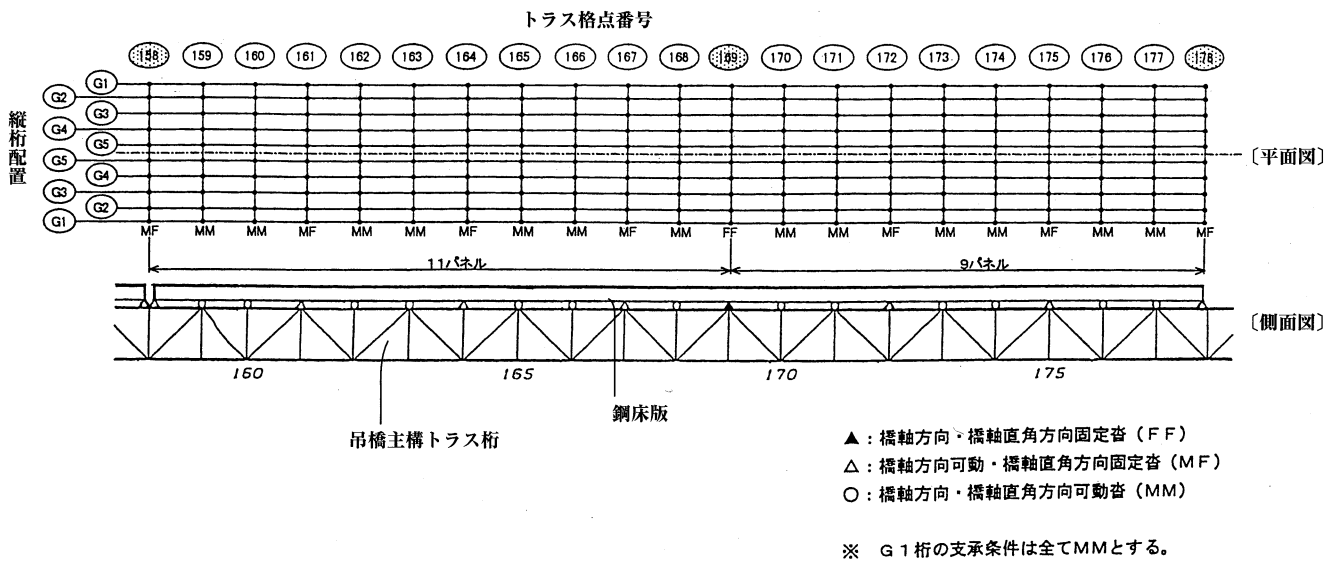


図-1 20径間連続鋼床版支承配置図 (格点158~178の例)

Fig.1 Arrangement of bearings for 20-span continuous steel deck (panel point 158 to 178)

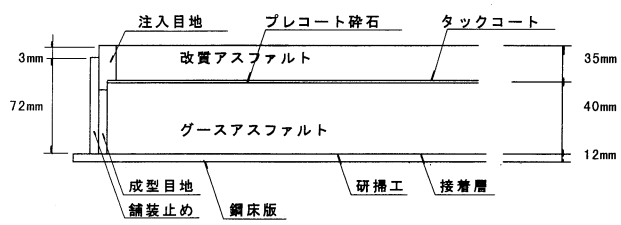


図-2 舗装構成

図-2 舗装構成

Fig.2 Composition of pavement

表-1 工事工程

Tab.1 Construction schedule

工種 \ 月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
準備工	□					
研掃工	□	上り	下り	□		
基層工	□	上り	下り	□		
表層工					下り上り	□

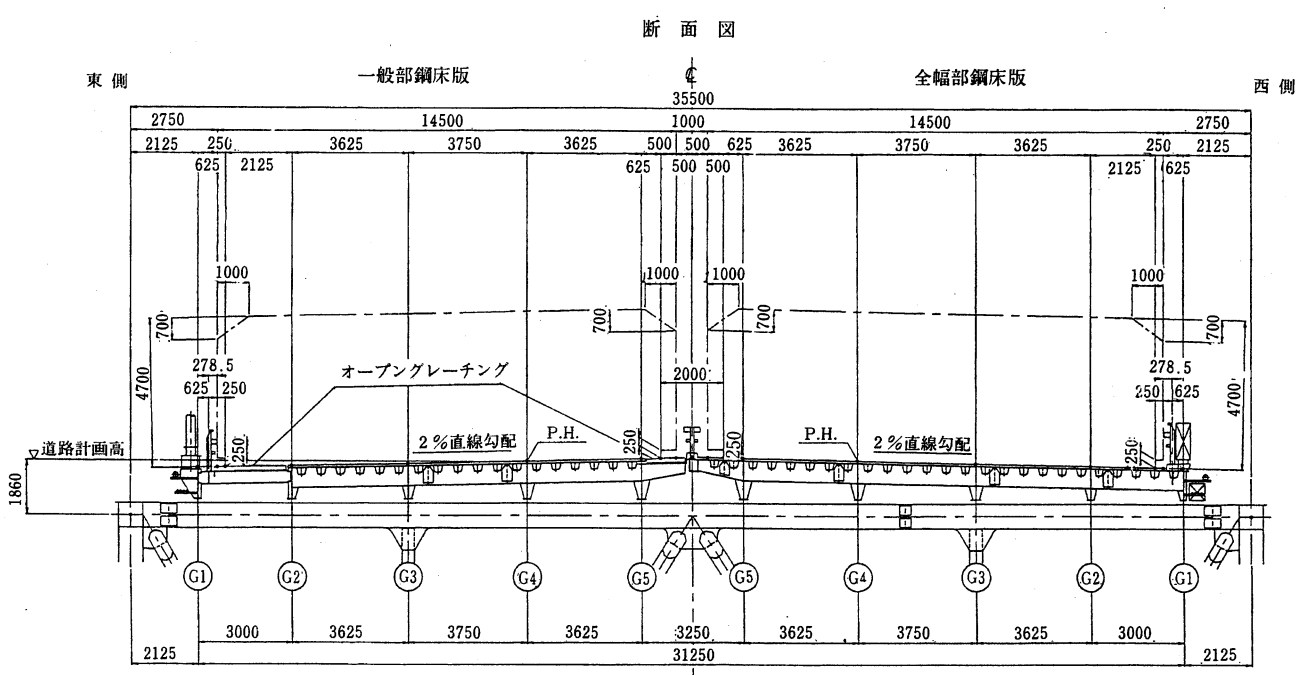


図-3 道路床組標準断面図

Fig.3 Typical cross section of roadway deck

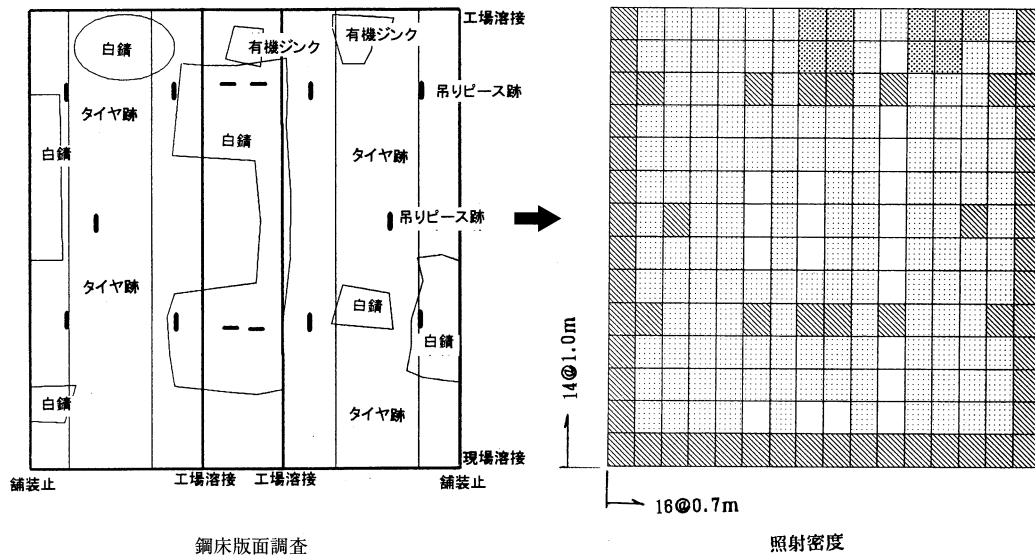


写真-1 5レーン分割2レーン同時施工

Photo.1 Simultaneous works of 2 lanes in 5-strip division

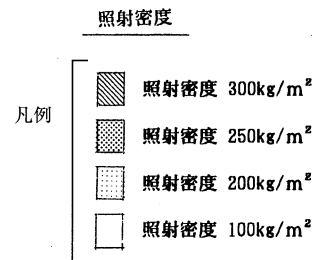


図-4 鋼床版面調査と照射密度の一例

Fig.4 Surface check and its irradiation on steel floor

表-2 グースアスファルト舗装パターン一覧表

Tab.2 Summary of work patterns of Guss asphalt

鋼床版 区分	横断方向		施工概要図 (模式図)	縦断方向
	分割数	施工ステップ		施工長
一般部	5レーン 分割	① 2レーン同時施工 ↓ ② 2レーン同時施工 ↓ ③ 1レーン単独施工		・制限のある連続施工 補剛桁と鋼床版の温度差 15℃の場合：計画時1～17径間
全幅部	5レーン 分割	① 2レーン同時施工 ↓ ② 2レーン同時施工 ↓ ③ 1レーン単独施工		・1径間 (14.2m) ごとの 不連続 (飛び地) 施工
道路桁部	4レーン 分割	① 1レーン単独施工 ↓ ② 1レーン単独施工 ↓ ③ 1レーン単独施工 ↓ ④ 1レーン単独施工		・連続施工 (3径間)

しは、次章に示す諸検討により決定した舗装パターンとした。その概要を表-2に示す。また、小型グースフィニッシャを併用した2レーン同時施工の舗装状況を写真-1に示す。

なお、本橋のグースアスファルト工において、ブリストリングがほとんど発生しなかった。これは、入念な研掃工、適正なグースアスファルト材の選定およびプレコート碎石（5号碎石）の散布に伴う転圧の効果によるものと考えられる。

2.4 改質アスファルト舗装

表層工として施工した改質アスファルトの品質は、橋面舗装基準(案)²⁾における本四I型の試験基準値を満たすものとした。なお、バインダー量は、室内および現場配合の結果により5.9%とした。

改質アスファルトは、2箇所の中中プラントにて製造したのち、荷台に温度低下防止用に二重のシート養生を施したダンプトラックにより現地搬入した。施工は、アスファルトフィニッシャ2台による2レーン同時施工のホットジョイントとし、継ぎ目を設けないよう配慮した。

3. グースアスファルト舗装にあたっての諸検討

3.1 明石海峡大橋における課題

鋼床版上のグースアスファルト舗装にあたっては、過去の経験から、240℃に達するグースアスファルトの熱に起因する鋼床版の挙動について、十分な配慮が必要なが知られている。

たとえば、南備讃瀬戸大橋では、鋼床版伸縮装置のフィンガーが接触し塗装が剥離したこと、グレーチング受梁に損傷（腹板の曲がり、ボルトの滑り、塗装の割れ）が発生したこと、支承の浮き上がりが生じたことが報告されている³⁾。これらに対し、南備讃瀬戸大橋では作業足場を使用して損傷を補修する一方で、鋼床版の水平曲がりと負反力を計算することにより現象を確認し、北備讃瀬戸大橋の舗装パターンを変更するなど、応急的な措置がとられてきた。

以上の経験を考慮したうえで、明石海峡大橋では、さらに、①鋼床版に、今まで例のない超多径間連続の非合成鋼床版を採用していること、②舗装幅も今までの最大であること（①、②とも表-3参照）、③補剛桁工事の進捗状況から、舗装工事時点では補剛桁下面の足場はすべて撤去された状態となるが、海上（国際航路）への落下物は絶対に許されないこと、から事前措置を講じることが必要となった。

上記を受け、道路床組の設計段階では、瀬戸大橋まで上下線一体であった鋼床版を中央分離帯位置で切り離れた構造（図-3中央参照）とし、舗装工事発注段階では、上下線それぞれ横断方向に3レーン分割の舗装を行うとしたうえで、想定される鋼床版の挙動について検討し、負反力対策として、支承部のボルトを緩める対策をとることとした。

ところが、舗装工事発注後の平成9年4月中旬の陽気で舗装前の鋼床版が予想外の伸びを示し、伸縮装置の遊間が0となり、フィンガーの塗装が剥離する損傷が生じた。この原因は、架設機材による遊間の減少と、橋梁架設時（グースアスファルト舗装前）の補剛桁と鋼床版の温度差が25℃程度にまでなったためである。温度差がさらに大きくなる場合には、構造的不具合が発生したり、舗装能率が極めて低下することから、実際の舗装条件（施工幅や施工速度に基づくデータ）を考慮した詳細検討（安全性評価）が必要となった。

3.2 グースアスファルト舗装時の安全性評価

(1) 検討内容

安全性評価の検討フローを、図-5に示す。（以下、一般部および全幅部を対象として記述する）

ここで、鋼床版の安全性評価にあたっては、図-6に示す支承の水平反力および負反力、支承および伸縮装置の遊間について検討することとした。

解析に用いたモデルの概要を表-4に示す。

(2) 検討結果

一般部についての検討結果を、図-7に示す。ここで、舗装幅決定時には、舗装割れが生じないように、縦桁や輪荷重載荷位置に舗装継ぎ目を設けないこと、フィニッシャの作業幅員が通常機2.5~4.5m、小型機1.4~2.0mであることを考慮した。

検討により、以下のことが明らかとなった。

- 1) 横断方向3~5レーン分割で単独施工した場合、いずれも水平反力が許容値を上回る。水平反力を軽減するためには、2レーンを同時施工する必要がある。
- 2) 3、4レーン分割とも、水平反力の照査を満足した場合でも鋼床版の負反力の許容値を上回る。ただし、縦断方向に1パネルおきの不連続施工は可能である。
- 3) 5レーン分割では、縦断方向の連続施工が可能となる。
- 4) 5レーン分割の際に可能となる縦断方向の連続施工パネル数には、支承部および伸縮装置の遊間量による制限がある。たとえば、温度差が25℃の場合、その時点で施工できない箇所がでてくる。

全幅部については、5レーン分割としても水平反力が許容値を大きく越えるため、縦断方向に1パネルおきの不連続施工が必要となることが明らかとなった。

道路桁部については、パネル長が短く、ゴム支承を適用していることから、中間支点の支承部ボルトを緩めることにより、4レーン分割での3径間連続施工とした。

(3) 舗装パターンの決定

舗装パターンの決定にあたっては、①横断方向の舗装継ぎ目は、極力減らし連続施工とすること、②縦断方向の舗装継ぎ目についても数を極力減らすことが望ましいが、鋼床版部の安全性確保により重点を置き、入熱量を

表-3 本四連絡橋における鋼床版寸法

Tab.3 Dimensions of steel deck for Honshu-Shikoku Bridges

橋梁名	連続径間数(連続長)	幅員(舗装幅)
因島大橋	5(50m)	7.40m
大鳴門橋	4(42m)	10.72m
瀬戸大橋	6(78m)	7.50m
明石	一般部	20(284m)
	全幅部	12(168m)
	道路桁部	3(58m)

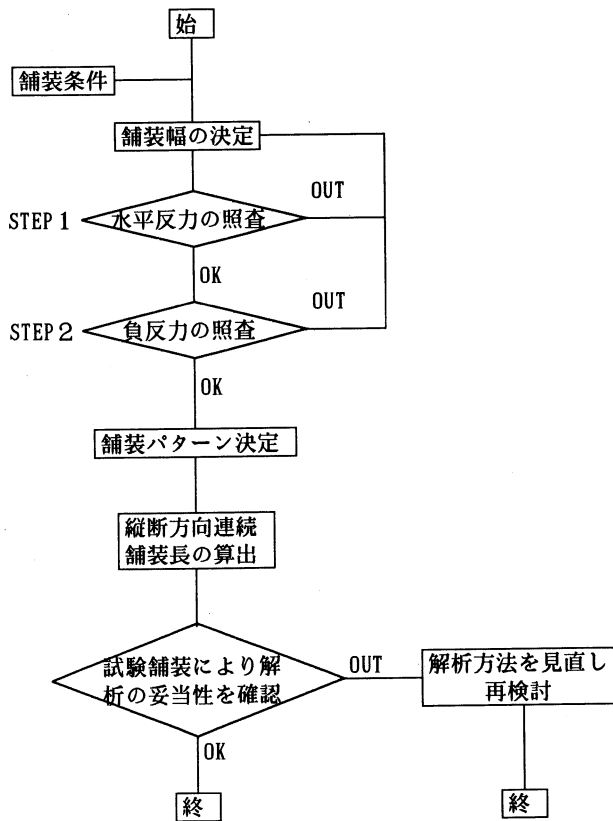


図-5 安全性評価の検討フロー

Fig.5 Flow of safety evaluation

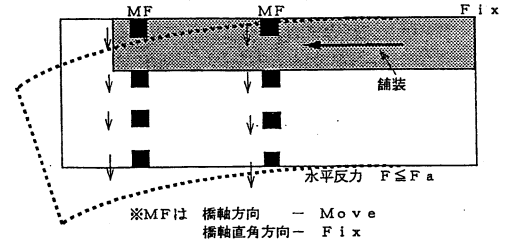
抑える方法をとることとし、前出の表-2に示す施工パターンを決定した。

3.3 グースアスファルト試験施工

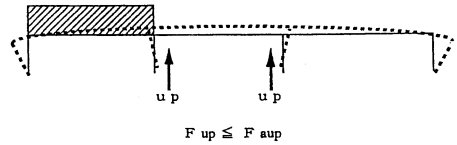
以上の決定は、種々の仮定に基づく解析に拠ることから、その妥当性を検証するために3パネル分のグースアスファルトの試験施工(5レーン分割、2レーン同時施工)を現地にて実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 鋼床版のデッキプレートや縦桁の温度分布は、計

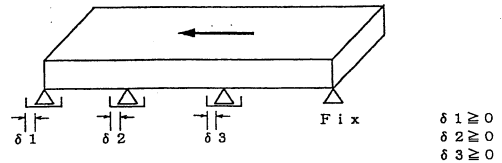
1. 鋼床版支承の水平反力 (上から見た図)



2. 鋼床版支承の負反力 (断面から見た図)



3. 鋼床版支承の遊間確保



4. 鋼床版継目伸縮遊間確保

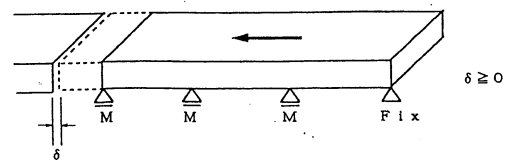


図-6 鋼床版解析概念図

Fig.6 Concept of analysis on steel floor

算上の仮定値とほぼ同じである。

- 2) 支承部の浮き上がりは、予測値より大きい。(予測値はG4桁で6.8mmに対し、実測値は9.7mm)
- 3) 支承部の移動量は、予測値より小さい。
- 4) 鋼床版の平面曲がり、橋軸直角方向への伸びを含み3mm程度であり、予測値とほぼ同じである。
- 5) 伸縮装置の遊間移動量について、最大値は予測値とほぼ同じであるが、予測値は温度冷却を考慮していない値であるので、実測値についても温度冷却を考慮しない場合を推察すると、15.3mmに対し24.0mmとなる。

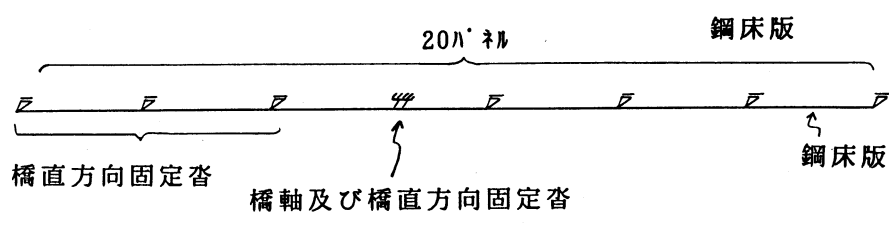
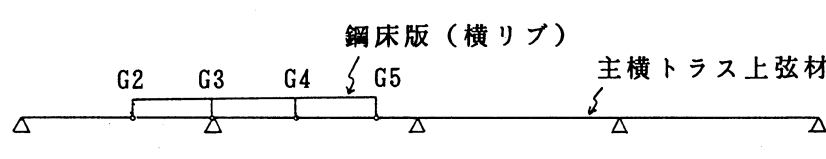
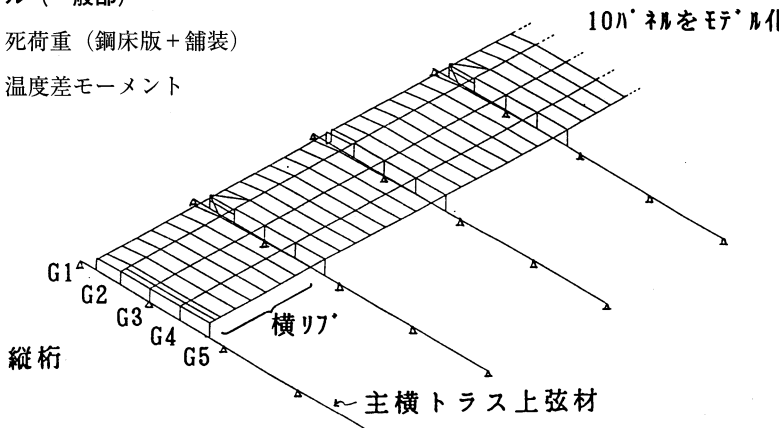
以上の結果のうち、2)については、支承の浮き上がりを考慮する立体骨組みモデル(上査と下査は同一座標内の別々の格点とすることで、2点間の隙間として変位を表現する。表-4参照)により、再検討を行った。なお、検討にあたっては、支承部の許容応力度の割り増し係数を1.70(降伏レベル)とした。

その結果を踏まえ、舗装パターンは5レーン分割としたうえで、以下の対策を行うこととした。

- 1) 負反力対策として、一般部については図-8のとおり、G3、G4桁中間部の支承ピンチプレートのボルト(図-9参照)を15~10mm緩める。
- 2) 全幅部については、図-8のとおりG2~G4桁の鋼床版端部の支承セットボルト(図-9参照)を15mm、支承ピンチプレートのボルトを10mm

表-4 解析モデルの概要一覧

Tab.4 Summary of analytical models

<p>水平反力の検討</p>	<p>梁モデル</p> <p>荷重：温度差モーメント</p> 
<p>負反力の検討</p>	<p>横リブモデル (一般部)</p> <p>荷重：温度差モーメント</p> 
<p>立体モデルの検討</p>	<p>立体モデル (一般部)</p> <p>荷重：死荷重 (鋼床版+舗装)</p> <p>温度差モーメント</p> 

緩める。

- 鋼床版の伸び変形については、試験施工結果を反映した伸縮装置の遊間による管理を実施する。

3.4 遊間の管理手法

一般部の舗装にあたっては、鋼床版等の安全性を確保するために、縦断方向の連続舗装長に制限を加えることとした。しかし、舗装計画では主構と鋼床版の温度差を15℃としているものの、現実にはこれを下回る場合もあることから、施工長を増やす指標として、伸縮装置の遊間量を用いることとした。これは、温度差を指標とした現場管理を行うことに比べ、温度冷却による効果も考慮

でき、合理的であるためである。

たとえば、FF沓（橋軸・橋軸直角方向固定支承）から伸縮装置まで施工する場合に、どの位置の支承遊間がなくなるか判別し、その時の伸縮装置遊間量を管理値として、これを越えなければ連続施工してよいということになる。（図-10参照）

なお、管理値の設定には、安全代として20mmを見込むこととした。この内訳は、鋼床版の伸びが舗装に遅れて現れる際の変位10mm、外気温による橋梁全体系の変位5mm、その他の安全代5mmである。

	許容値	端支点	STEP1 水平反力照査(1支線あたり)		STEP2 負反力照査(同時施工)			
			単独施工	同時施工	G3桁	G4桁		
		中間支点	127.0		19.2	19.2		
		中間支点	146.4		19.6	31.5		
3 レーン 施工	CASE-1 	端支点	198.4 <OUT>	0.00 <OK>	29.8 <OUT>	0.1 <OK>		
		中間支点	389.7 <OUT>	0.00 <OK>				
4 レーン 施工	CASE-2 	端支点	161.6 <OUT>	95.0 <OK>	/	/		
		中間支点	317.4 <OUT>	186.6 <OUT>				
	CASE-3 	端支点	200.3 <OUT>	172.4 <OUT>				
		中間支点	393.5 <OUT>	338.7 <OUT>				
	CASE-4 	端支点	132.4 <OUT>	36.6 <OK>			34.8 <OUT>	15.5 <OK>
		中間支点	260.0 <OUT>	71.8 <OK>				
5 レーン 施工	CASE-5 	端支点	110.5 <OK>	5.00 <OK>	5.5 <OK>	0.0 <OK>		
		中間支点	217.1 <OUT>	9.80 <OK>				
CASE-6 	端支点	162.1 <OUT>	86.8 <OK>	/	/			
	中間支点	318.5 <OUT>	170.4 <OUT>					

図-7 水平反力と負反力検討結果(一般部)

Fig.7 Calculation of horizontal reaction and negative reaction

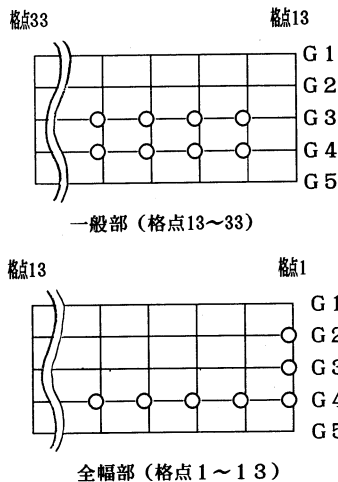


図-8 負反力対策箇所図

Fig.8 Points of countermeasure for negative reaction

3.5 舗装継ぎ目の対策

明石海峡大橋のグースアスファルト舗装は、横断方向には5レーン分割施工とし、縦断方向には施工長に制限を持つなど、従来に比べ舗装継ぎ目が増加することとなった。

これについて、隣接レーンとの層厚調整を入念に行うこと、隣接レーンの舗装をできるだけ早期に行うこと、その際、舗装継ぎ目をフィニッシャーに取り付けた二重のバーナーで加熱すること、全幅部においては隣接する横断方向継ぎ目の位置を縦断方向に3m程度離すこと(表-2参照)等により対処した。

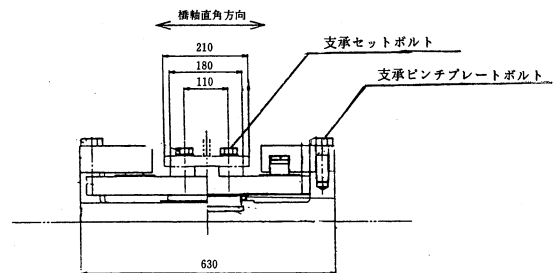


図-9 支承部ボルト

Fig.9 Bolts at bearing

4. 結論と今後の方針

- 1) 明石海峡大橋の鋼床版は、今までにない超多径間連続の非合成構造であり、かつ補剛桁下面に足場がない状況での海上部舗装工事となり、十分な配慮が必要となった。
- 2) 検討の結果、5レーン分割施工により鋼床版に与える入熱量を抑えることで、安全な鋼床版施工が可能となった。ただし、負反力対策として支承ピンチプレート等のボルトの一部を緩める対策を施した。
- 3) 一般部は、5レーン分割で2レーン同時施工により、伸縮装置の遊間管理値内での連続施工となった。

全幅部は、5レーン分割で2レーン同時施工と

FF沓から伸縮装置に向かって舗装する場合

※ 伸縮装置方向（舗装方向）の数字を見て最大値で管理する

- 図中の数字は、その位置の支承遊間 δ_N が安全代(20mm)になるときの伸縮装置遊間量を表す。
- 「空欄」は伸縮装置が先に接触する場合の管理値： $\delta_B=20\text{mm}$ 。

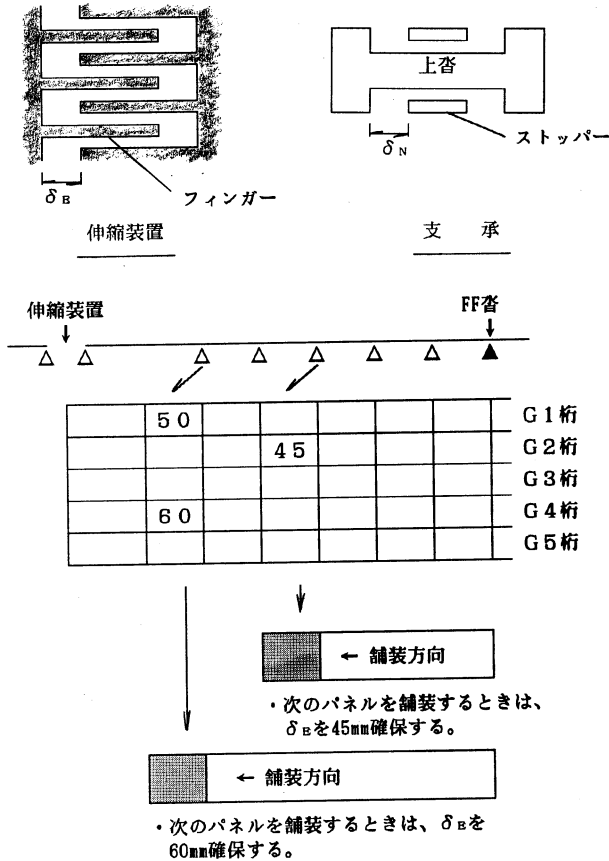


図-10 伸縮装置の遊間管理手法

Fig.10 Method of room check for expansion joint

したが、1パネルおきの不連続施工となった。
道路桁部は、4レーン分割で1レーン単独施工

による全長施工となった。

- 4) 伸縮装置の遊間管理による連続施工の可否判断は、工事進捗に有効な手段であった。
- 5) 非合成鋼床版の今後の計画にあたっては、発生熱量の小さな舗装の検討、グースアスファルト施工時期の検討、支承構造の検討、鋼床版伸縮装置の後架設を検討する必要がある。

5. あとがき

明石海峡大橋の鋼床版舗装は、約92,000m²に及ぶ非合成鋼床版の舗装という点で本四連絡橋の中でも最大規模となった。特にグースアスファルト舗装では、過去の事例を検討し、事前対策を講じたうえで、3車線分の舗装幅を5レーン分割するという過去に例のない施工方法を採用することにより、安全な施工に努めることができた。検討にあたっては、舗装工事と補剛桁工事の関係者が協議を重ね、現在の工法にたどり着いたものである。

工程的には、連続施工が困難な工法の中で、日曜・祭日および時間外の作業ができない前提条件のもと、鋼床版温度が高い夏期の施工を避けるために舗装開始を1カ月遅らせ、しかも厳冬期以前に終了させるという、非常に厳しい工程運営を迫られたが、伸縮装置の遊間管理および一部3編成による施工を行うことによりネット52日で終了し、平均で1,770m²/日の良好なグースアスファルトを施工することができた。

ここに、関係者すべての忍耐と努力に対してお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 金崎、大江、井上：明石海峡大橋の道路床組の設計、本四技報、Vol. 19, No. 73, 1995. 1
- 2) 本州四国連絡橋公団：橋面舗装基準(案)、昭和62年6月一部改訂
- 3) 奥田基：グースアスファルト舗装時における鋼床版の挙動、本四技報、Vol. 13, No. 48, 1988. 10

コラム

■死亡事故ゼロの快挙

明石海峡大橋には、大水深・急潮流下に基礎を施工したこと、世界最大の中央径間長を有すること等の技術的な困難さを克服して完成させたことはもちろんであるが、それ以外に誇るべきことがある。それは、死亡事故がゼロであることである。工事着手以来の明石海峡大橋工事に携わった延べ労働者数は約210万人にも上るが、このような大規模プロジェクトで、また、世界初の施工法を駆使して建設した事業としては、非常に稀有なことであり、工事関係してこられた人々にとって、世界に誇るべき快挙と思っている。そのこともあり、昨年7月1日に明石海峡大橋総合労働災害防止協議会は、労働大臣団体賞を頂いた。その活動は、3ヶ月毎に労働基準監督署の方々や、明石海峡大橋に関わる請負者の方々および公団職員が集まり、労働安全についての取り組みや工程報告をした後、数班に分かれて現場パトロールを実施したことである。また、各企業体とも、この工事については労働安全に特に重点をおいており、取り組み姿勢は真剣なものであったように思う。明石海峡大橋の開通を祝うとともに、死亡事故ゼロの快挙も祝いたいものである。(S.O.)

明石海峡大橋動態観測システム

Monitoring System of the Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局 保全部 長 阿部 和智

Kazutomo Abe

第二管理局坂出管理事務所 副 所 長 天野 耕一
(前)第一建設局維持施設部 橋梁技術課長

Koichi Amano



概要

明石海峡大橋の設計にあたっては、その規模、構造的特徴から明石海峡大橋の検討用に新たに開発、実用化した耐風・耐震設計理論や、明石海峡大橋用の諸定数等を使用している。台風や地震など不確定要因の多い自然外乱に対する長大吊橋の動的応答は、複雑な挙動が予想されることから、本動態観測システムで実橋の応答を観測することにより、明石海峡大橋の強風及び地震時における設計を検証し、そのデータは今後の超長大橋の設計に資するものとする。観測設備は、強風及び地震時に確実にデータ収録出来るシステムであること、また観測データとシステム自身の監視並びに障害の通知機能を有することに重点を置いた。

The design of the Akashi Kaikyo Bridge adopted some newly developed design codes for aerodynamic and seismic stability, and design constants because of the bridge scale. The dynamic response against the strong wind and the earthquake are subject to unknown factors and uneasy to predict. Therefore, the monitoring system aims at collection of the data on dynamic response of the bridge in order to verify the design assumptions used for the strong wind and the earthquake, and develop the further design in more rational way. The observation system was developed to be a reliable device to monitor the bridge in earthquake or typhoon accurately, and to have a self-check function to monitor the disorder of the system itself.

1. まえがき

明石海峡大橋は、世界最大の吊橋である。本橋の桁は従来の長大橋より細長く、非常にたわみやすい構造となっている。

また、基礎形状は極めて大規模なものであり、主塔基礎および神戸側アンカレイジ基礎位置での支持地盤は未固結な推積層である。このため、設計に際しては、耐風安定性および耐震性などいわゆる動的安定性について、風洞試験をはじめとする各種の詳細検討が行われ、細心の配慮が払われている。

しかし、台風や地震など不確定要因の多い自然外乱に対する本橋の動的応答は、複雑な挙動が予想される。

このため、実際の自然外乱に対する実橋の応答を観測し、設計理論、諸定数等の妥当性を確認することは今後の超長大橋の設計に対して非常に大切である。

本動態観測システムは明石海峡大橋の設計検証を行うと共に、今後の超長大橋に対する設計方法の精度向上に資することを目的として構築したものであり、本文でその全体概要を紹介する。

2. 基本方針

動態観測システムでの観測データは、設計において橋体挙動を予測する場合に用いられた風特性及び地震特性と、それによる橋体応答予測の妥当性を検証するために

必要不可欠なデータである。

設計検証に際し、データの欠測等の不備があればその目的を達することは出来ない。

そこで、本システムでは観測データとシステム自身の監視および障害の通知機能を有することに重点を置くものとする。

3. 観測データの利用とセンサ配置

3.1 設計検証

明石海峡大橋のような長大吊橋では、各種設計荷重の内、風荷重が支配的であり、動態観測も耐風設計検証が主体となる。最近の長大橋耐風研究によれば長大橋に作用する自然風の特長（特に空間相関）が現行設計基準と異なる可能性も指摘されている。特に、本橋の場合、規模が大きいことから、この影響が顕著に現れ、明確に実測確認できることが期待されている。

一方耐震設計検証についても、兵庫県南部地震以降、動態観測の重要性が広く認識されており、長大橋に対する地震データが極めて乏しい現状においては、地震データの集積により現行耐震設計法の検証に大きな貢献が期待される。

設計検証の着目点と必要な観測データを表-1に示す。

3.2 観測センサと配置

表-1の項目を検証するために必要なセンサとして、以下の機器を設置することとしている。

表一 主な設計検証項目

Tab.1 Items to reviewed in design

設計検証項目	着目点	必要な観測データ
風の特性	基本風速 設計風速 風の変動特性 ・変動風速の乱れ強さ ・変動風速の空間相関 ・風のパワースペクトル	風向・風速
風による橋体応答	固有振動数 モード形状 構造減衰 ガスト応答	応答加速度(速度) 変位 卓越振動数 風向・風速
地震特性	地震動と大きさ 周期特性 地盤特性 位相差	加速度
地震による橋体応答	作用地震力 変位量 固有振動数 制振装置の作動状況 上部工入力地震動	応答加速度(速度) 変位 振動 加速度

- ①風向風速計
- ②速度計
- ③TMD変位計
- ④桁端変位計
- ⑤加速度計

⑥地震計

また、センサの配置は以下のように考えている。

(1)風向風速計の配置

明石海峡の現地の風特性を検証するため、高さ方向と橋軸方向の風向風速分布を観測する。

高さ方向分布は2P主塔塔柱の塔頂と塔腹（桁高さ付近）に配置した風向風速計により観測することとしている。

橋軸方向の水平方向分布は、神戸側の側径間中央に1基、中央径間中央付近に5基、中央径間3/4点に1基配置した風向風速計により観測することとし、このうち中央径間中央付近の5基は水平方向の空間相関測定用として利用する。風向風速計の設置方法としては、橋上の付帯設備の内、風速計の設置可能な照明柱や標識柱を利用して配置することとしている。図-1に配置図を示す。

(2)速度計の配置

桁および主塔の、風および地震による振動応答を観測するため、速度計を配置する。

明石海峡大橋の桁は長大ゆえに比較的柔な構造であり、それに伴い応答振動は長周期振動となる。そこで計測機器には加速度計よりも観測データから動的変位換算する場合に誤差が小さく有利である速度計を設置することとしている。

桁の速度計設置位置は、対称モードで応答の一番大きい中央径間中央と、逆対称モードを対象に中央径間の3/4点位置に設置することとしている。

また、東西の主構トラスに鉛直成分のセンサを設置す

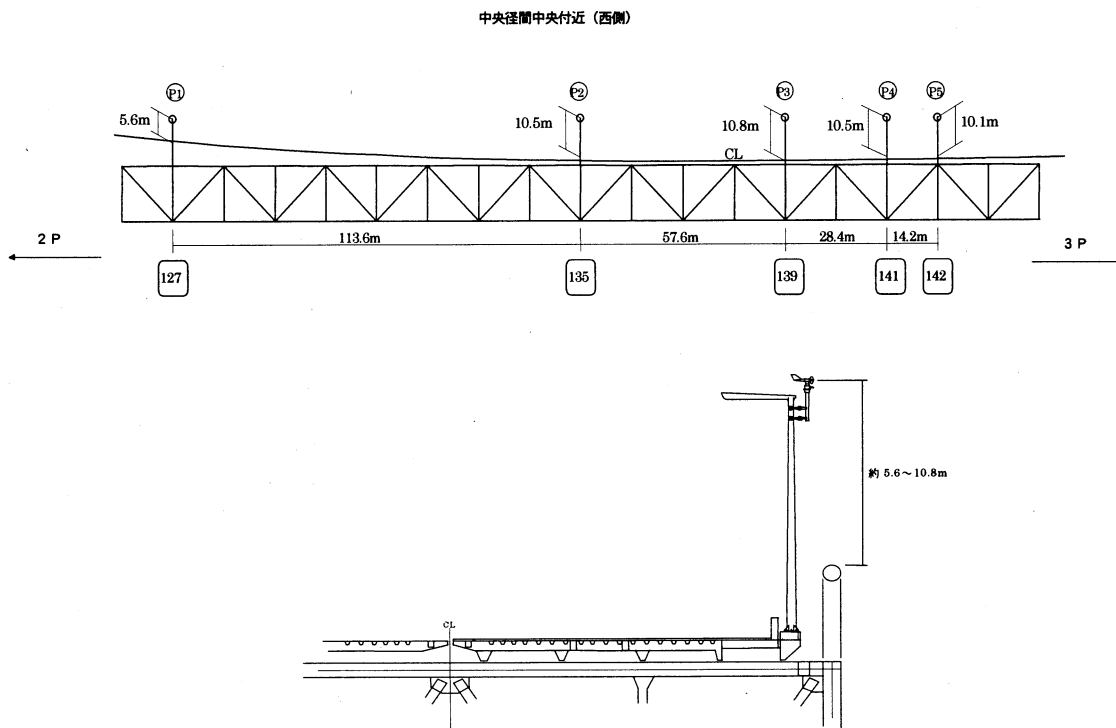


図-1 空間相関検証用風向風速計の配置

Fig.1 Arrangement of anemometer for verification of spatial correlation

ることにより、ねじれ応答も観測できるようにしている。

主塔に配置するセンサは架設時から使用されていた速度計を利用するものとし、測定範囲の改良およびオーバーホールを加えるものとする。配置は2P、3Pとも塔頂付近と塔腹の設計上予想される応答の大きな部位に設置されているものを利用することとした。

観測成分は2P、3Pの塔頂、塔腹とも東側塔柱に橋軸方向および橋軸直角方向の水平2成分を、また塔頂のねじれ応答も観測できるように2P、3Pとも西側塔柱の塔頂に橋軸方向成分を設置することとしている。

(3)TMD変位計の配置

明石海峡大橋は、主塔の高さが約300mにも及ぶため架設中はもちろんのこと、完成後も設計風速(塔高の65%高で66.7m/s)以下の橋軸直角方向のある風速領域において限定振動の発生することが風洞試験で確認され、制振対策としてTMDが設置されている。この機能を常に正常に維持する必要があることから、TMDの作動状況を把握するため架設時より設置されているTMD変位計を利用することとしている。

TMD変位計は、40台のTMDの内4台のTMDに設置されており、場所は2P、3Pとも東側塔柱の第19段と第22段の側径間側である。

(4)桁端変位計の配置

桁端変位計の設置位置は2P中央径間側の東西両端及び3P側径間側の西側に設置することとしている。

桁端移動量を常時観測することにより、桁端移動を生じさせる温度変化等の要因と移動量の関係を定性的に把握しておくことは、橋体の異常発生の感知にも有効である。

さらに、前述のとおり、主塔の制振対策は主としてTMDで対処するが、TMDは機械製品のため故障などを起こす可能性がある。このため、ダブルセーフティとして桁間ダンパーを設置している。ダンパーは2P、3P側径間側に設置されており、側径間側の桁端変位計は桁間ダンパーの動作確認にも有効である。

(5)加速度計の配置

地震後速やかに各基礎の地震時挙動と設計値を比較するため、各基礎最低1ヶ所3成分の加速度計を設置する。この測定値は、上部工の地震時挙動解析時の入力波として利用できる。1Aアンカレイジは堆積軟岩の根入れ基礎という特殊な例となるので、その応答を検証するために、基礎1基あたり3ヶ所6成分の計器を設置することとした。また、2P基礎にはロッキング計測のため鉛直成分を追加している。

(6)地震計の配置

地震計は、主に現地地震動の特性把握と基礎構造物の挙動の関係を評価するため、橋梁の規模から1A及び4

Aにそれぞれ1基ずつ設置することとした。

明石海峡大橋の耐震設計では基礎設置地盤の関係から、各基礎位置の地盤条件および基礎と地盤の接触領域を考慮して評価される有効地震動の概念を用いて設計されている。そこで1A側地震計は、1A基礎の応答振動により本来の地震動に影響を受けない距離をとり設置するものとし、弾塑性解析モデル図を参考に1A部の橋軸線より100m程度離れた位置とした。且つ設置深さは、1A基礎設置地盤である神戸層上面のTP-60m付近とした。4A側は躯体の直近位置の基礎岩である花崗岩岩盤上TP-20m付近に設置することとした。

表-2に各観測センサの必要な性能を示す。

図-2に各観測センサの配置を示す。

4. 設備の概要

4.1 システムの基本構成

システムは以下の装置等で構成されている。

- (1)観測センサ
- (2)ターミナル局
- (3)通信制御装置
- (4)データ処理装置
- (5)監視/制御装置

データ処理装置及び通信制御装置は1A通信機械室に設置し、監視/制御装置は垂水管理事務所に設置する。

また、各観測センサを設置位置によりブロック分けし、それぞれにターミナル局を設けてデータ変換伝送装置等を設置することとし、各センサ群とターミナル局間のメタリック回線の距離短縮を図り、データの精度を確保することとしている。

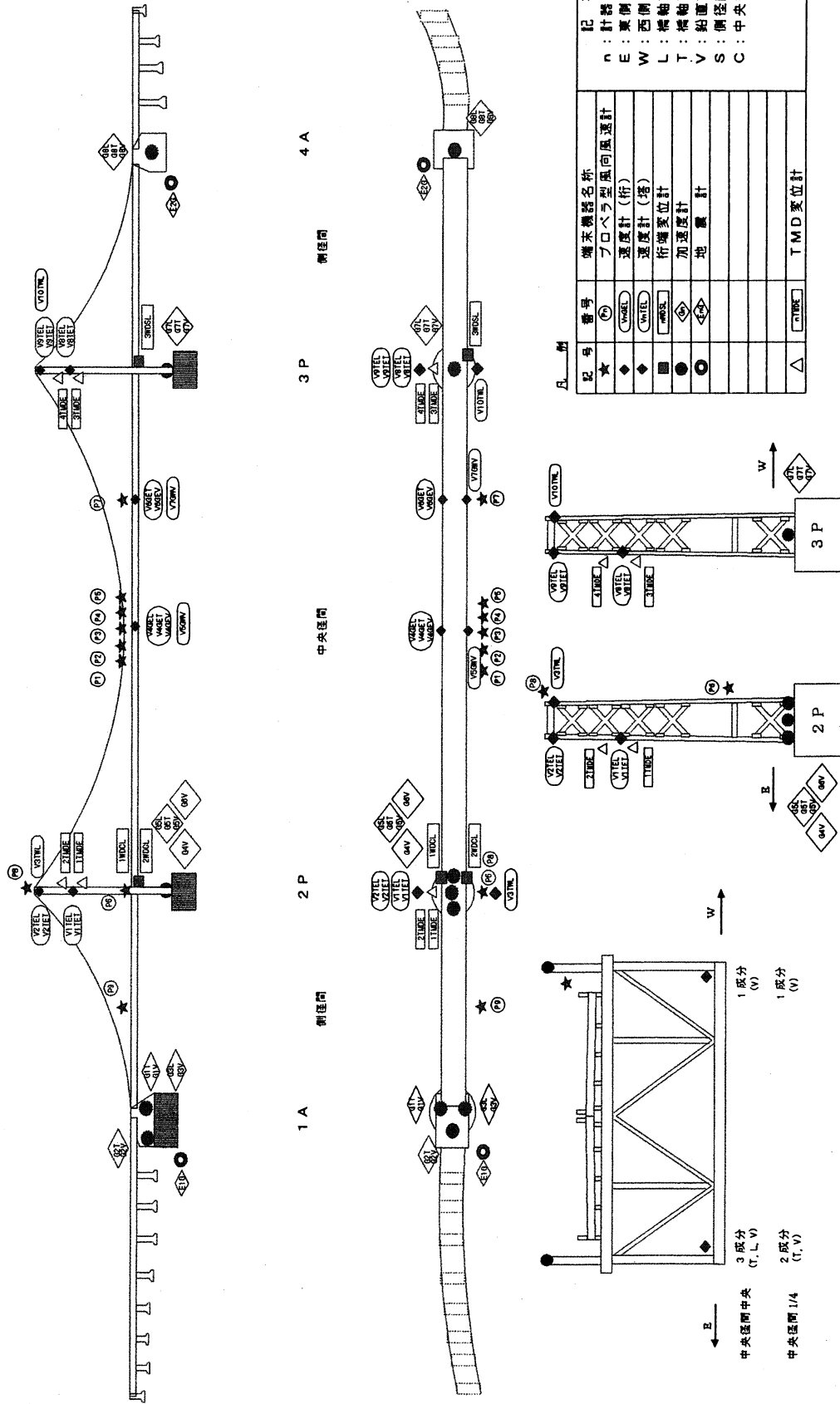
また、各ターミナル局にそれぞれ収録されたデータは光伝送路を介してデジタル伝送を行い、1A通信機械室に設置された通信制御装置へ集約する。橋梁区間の伝送路は光ファイバーにすることにより誘導障害を効率的に防止することとしている。

1A通信機械室内の通信制御装置とデータ処理装置は

表-2 観測センサの必要性能

Tab.2 Required performance of sensors

センサ種別	測定範囲	感度	応答周波数	分解能
風向風速計	全方位 0.4~90m/s	—	—	0.06m
速度計	±300kine ±200kine	10V/kine 100mV/kine 10m/gal	0.025~70Hz (±3%)	100μkine
TMD変位計	±200mm	倍率2mV/V (4000μ)	—	非直線性 ±0.5%RO
桁端変位計	±1500mm	1.365パルス/ mm	—	0.73mm
加速度計	±2G	15μA/gal	0.1~30Hz	0.3mgal
地震計	±2G	15μA/gal	0.1~30Hz	0.3mgal



図一2 観測センサの配置

Fig.2 Arrangement of sensors

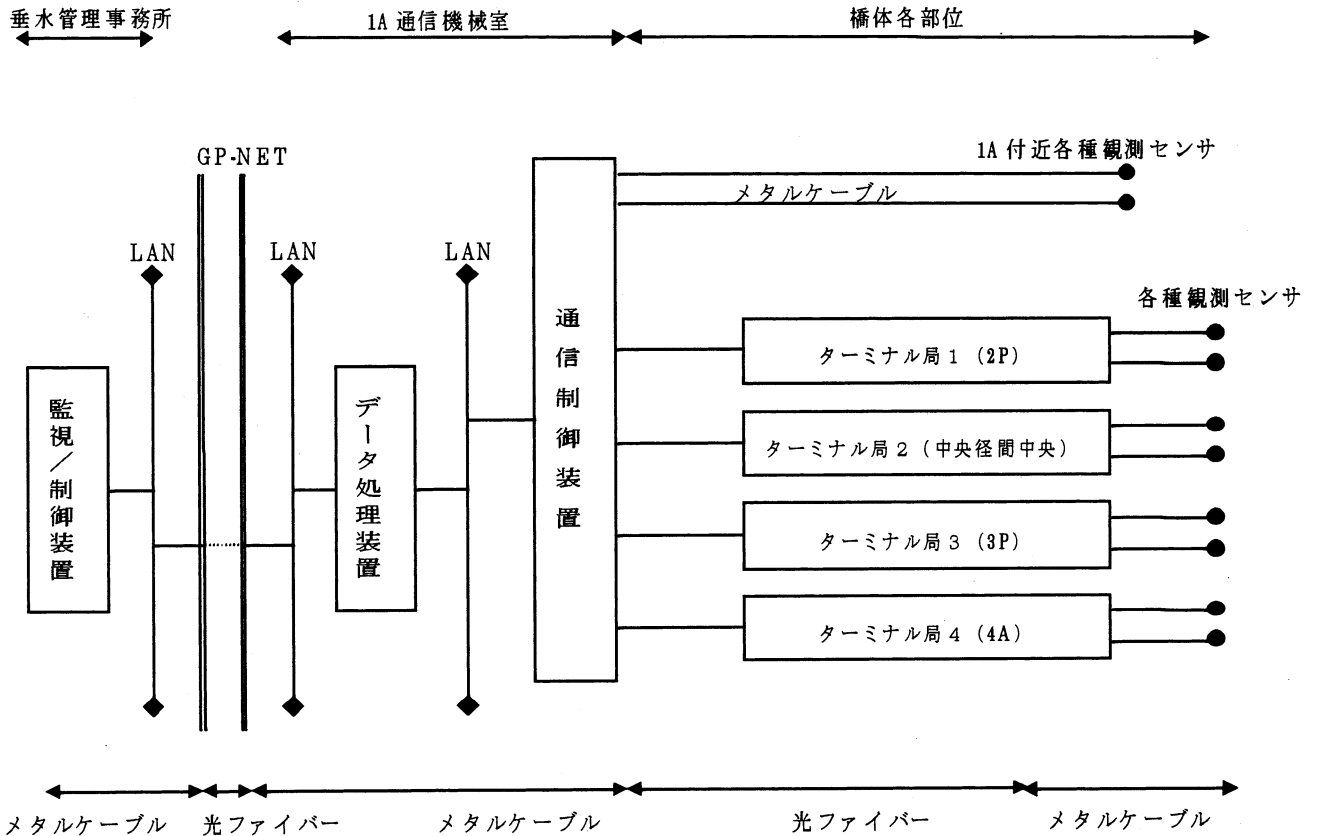


図-3 明石海峡大橋動態観測システム概略系統図

Fig.3 Monitoring system diagram of the Akashi Kaikyo Bridge

LAN接続することとし、収集データの高速転送を図っている。

データ処理装置と垂水管理事務所に設置されるデータ監視/制御装置はGP-NETを介して接続する方式とし、データ回線のトラブルに対処するため通常ルートと淡路島の洲本GP-NET端局経由の迂回ルートを確認することとしている。

また、この間は1A通信機械室のデータ処理装置にて収集データの再編集処理を行い、垂水管理事務所の監視/制御装置向けにそれぞれ64kbps回線各1CHに集約して転送することにより伝送回線の経済化を図るものとしている。

図-3に動態観測システムの概略系統を示す。

4.2 設備機器

(1)ターミナル局

各観測センサの検出データをアナログ信号/デジタル信号で受信し、所定のサンプリング周期(100Hz、20Hz)で収集、タイムスタンプを付加して再編集し、上位系へデジタル伝送する機能を持つ。装置はキュービクルに収納し消費電力を極力抑えたものとしている。

(2)通信制御装置

通信制御装置は、各ターミナル局の伝送回線を集約し、データ処理装置へ高速伝送する機能を持たせ、データ処理装置の通信処理を大幅に削減する効果を持たせる。

また、全二重通信を利用し、制御方向に時刻補正信号、サンプリングタイム信号、センサ試験信号を送信することで、回線の有効利用を図る。時刻補正はNHK-FMを受信し、毎日1回以上の補正が可能である。

(3)データ処理装置

データ処理装置は、トリガ検出とデータ保存を主として行うデータ収録部と、その運用および観測データの表示等を行う処理部で構成される。

1) データ収録保存

センサデータの保存は、各ターミナルの時刻歴毎の全データをバッファリングし、ハードディスク内の観測データファイルに一時保存すると同時に、あらかじめ操作者によってパラメータで指定された地震および強風のチャンネルデータに対して、トリガ検出を行う。

トリガの検出が行われた場合、パラメータ管理により保存対象とする任意の風向風速計、地震計、速度計等のセンサデータを、地震または強風データファイルとして

表-3 パラメータ種別の一覧

Tab.3 Summary of parameters

区 分	パラメータの種別	備 考
システムパラメータ	① 地震トリガ検出レベル	gal
	② 地震検出トリガ時間長	ms
	③ 地震検出下限周波数	Hz
	④ 地震検出上限周波数	Hz
	⑤ 地震トリガ前保存時間長	S
	⑥ 地震トリガ後保存時間長	S
	⑦ 強風トリガ検出レベル	m/s
	⑧ 強風トリガ検出時間長	S
	⑨ 強風トリガ前保存時間	S
	⑩ 強風トリガ後時間長	S
チャンネルパラメータ	① センサ種別	
	② センサ名称	
	③ センサ設置場所	
	④ ディスク保存区分	保存/未保存
	⑤ センサ状態設定	運用/試験/停止
チャンネル群パラメータ	① チャンネル群名称	
	② チャンネル番号 (名称)	複数指定

ハードディスクに保存する。

トリガ保存データは、データベース化され、監視/制御装置からのデータ要求に応答する。

一時保存されたデータは保存期間を過ぎると消去されるが適時光磁気ディスク等にバックアップすることにより、常時データとして蓄積する。

2) 運用処理機能

運用処理機能は、動態観測設備のソフトウェアを制御する機能であり、ターミナル局およびセンサデータを管理し、障害が検知された場合は、垂水管理事務所に設置される監視/制御装置に通知できる機能を持つこととしている。

また、センサのゲイン確認および調整できる機能を有すると共に、動態観測設備で使用される全パラメータを管理し、システム運用中もパラメータの変更が可能である。

表-3に設定/変更が可能なパラメータを示す。

(4)監視/制御装置

垂水管理事務所に設置される監視/制御装置はデータ処理装置でデータベース化された観測データを統計および解析処理等を行う装置である。

統計、解析処理された結果は種々のデータの波形、数値等により簡潔にディスプレイ表示および任意のネットワークプリンターでプリントアウトできるものとし、処理結果の保存機能を有するものとしている。

統計および解析処理の主な内容を以下に示す。

1) 強風観測データの処理結果一覧表作成

強風時の処理結果一覧表作成は、強風時観測10分間データの統計処理結果の一覧表であり、各観測データの

最大値、平均値を表示するものである。

風速のデータについては、標準偏差、ガストファクター、乱れ強さについても表示し、速度計の観測データからは変位換算した値も表示するものとしている。

なお、10分間の区切りの位置は、通常1つの連続データの開始から順次区切るものとするが、任意の10分間ファイルを利用しての作表も可能なこととしている。

2) 地震観測データの処理結果一覧表作成

地震時の処理結果一覧表作成は、地震時の観測されたデータの処理結果の一覧を表示するものであり、各観測データの最大値および卓越周波数を表示する。速度計のデータについては加速度および変位に換算した値についても表示することとしている。

3) 経時変化図作成

経時変化図の作成は、強風、地震時に観測されたデータの瞬間値を利用し、経時変化グラフを作成するものである。

なお、グラフ表示は複数の観測データの相関をみるために、同時刻歴の2つ以上のグラフを同時に表示できるものとし、使用するデータは任意に選択が可能なこととしている。

4) 卓越振動数一覧表作成

卓越振動数一覧表作成は、FFT解析処理を行い求められた卓越振動数の一覧表およびモード表示するものである。

なお、使用するデータは任意のセンサデータの選択が可能なこととしている。

5) 観測障害通

観測障害通知は、明石海峡大橋の1Aに設置されている処理装置からの障害発生信号を受けた場合に、その通知を行う。通知の方法はピープ音およびディスプレイ表示するものとし、表示は自動的に任意のネットワークプリンターでプリントアウトが可能なこととしている。

5. あとがき

本システムは明石海峡大橋の設計検証を行うことを主目的に構築しているが、さらに詳細な設計検証を行うために橋体の静的変位を観測するためのGPSシステム、主ケーブルの温度観測センサの設置を予定している。

また、解析プログラムに関しても現状では別途解析業務にゆだねているが、コンピューターの機能の向上および各種ソフトの一般ユーザーへの普及等により解析そのものが容易となり、それに伴い即時対応が必要な維持管理の分野でも、橋体応答と管理基準値とのリアルタイムな比較が可能となると考えられる。

今後、本システムにより得られる強風および地震時の観測データは、長期にわたって蓄積、監視することにより、長大橋の維持管理に、より有効に活用できることとなる。

明石海峡大橋の維持管理設備

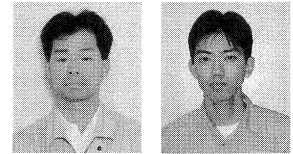
Maintenance Facility for the Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局垂水管理事務所
(前)第一建設局垂水工事事務所

施 設 課
機 械 電 気

越 智 数 夫

Kazuo Ochi



第一管理局垂水管理事務所
(前)第一建設局垂水工事事務所

施 設 課
機 械 電 気

山 本 浩 之

Hiroyuki Yamamoto



第一管理局垂水管理事務所
(前)第一建設局垂水工事事務所

施 設 課
機 械 電 気

小 野 祥 史

Yoshifumi Ono

第二管理局保全部
(前)第一建設局洲本管理事務所

電 気 通 信 課
施 設

小 谷 剛

Tuyoshi Kotani

概要

明石海峡大橋の維持管理設備は、既設橋梁の維持管理設備を手本にしているが、これまでの管理経験から得た知見、及び新技術等を設備の計画、設計、製造に反映しておりこれらを含めた機械設備（桁外面・桁内面作業車、塔作業車、エレベータ設備、海峡部防災設備）及び電気・通信設備（受配電・自家発電設備、ITV設備、道路照明設備、航行援助設備）について報告するものである。

Although the maintenance facility for the Akashi Kaikyo Bridge was designed along with the basis on the previous Honshu-Shikoku Bridges, there are some improvements on the planning, design, and fabrication, which reflected new technologies and experience on the maintenance works ever done. This paper introduces various facility as machinery (work vehicle, elevator, emergency device), and electrical and electronic devices (electricity, ITV, roadway light, sea navigation lights, etc.)

1. はじめに

神戸-鳴門ルート of 全通により、本格的な維持管理の時代を迎えるが、管理水準を低下させることなく維持管理費を削減することがこれからの重要な課題である。このためには、橋梁本体あるいは交通流を維持管理するための機械、及び電気・通信設備の維持管理費削減も重要である。

明石海峡大橋の維持管理設備は、既設吊橋の維持管理設備を基本としているがこれまでの維持管理経験を生かし、より安全で使い勝手がよく管理費が安価な設備とすべく創意・工夫を図った。本稿では、これらを含め明石海峡大橋の維持管理設備の概要を報告する。

2. 桁点検補修作業車

桁点検補修作業車は、補剛桁、鋼床版及び添架施設の点検補修、塗装作業のための足場設備であり、その使用目的より対象部材全てに直接接触出来ることが理想である。

このため明石海峡大橋では、桁外面作業車（以下「明石桁外面作業車」という。）を各径間に1台（計3台）と、桁内面作業車（以下「明石桁内面作業車」という。）を1台配置して接触範囲の拡大を図っている。

ちなみに既設橋梁の作業車による接触範囲は、因島大

橋で約30%、北備讃瀬戸大橋で約67%である。

明石海峡大橋は両作業車で約85%をカバーし、不足部分は補剛桁中央の幅広管理路より高所作業車でカバーする計画である。

2.1 桁外面作業車

明石桁外面作業車は（写真-1）、補剛桁外面をU字型に囲む構造で下面作業台、側面フレーム、昇降台車、伸縮足場で構成している（表-1に主要仕様を示す）。下面作業台が橋軸方向に、伸縮足場が桁の上下方向と橋軸直角方向の3次元に動く機構であり、瀬戸大橋の桁外面作業車（以下「既設作業車」という。）と基本的に同一構造であるが、既設作業車の不具合内容を調査し設計・製作に反映しており主な対策、改良点を次に示す。

(1) 風琴対策

既設作業車は下面作業台、側面フレームを管トラスで構成しているが、カルマン渦による風琴振動により側面トラスの一部が損傷した。このため、同じように管トラスで構成する明石桁外面作業車は風琴対策として、トラスを構成する部材の固有振動数(A)と、設計風速によるカルマン渦の発生周波数(B)を計算し、 $A > B$ を確認した。また、既設作業車ではトラスを構成する部材径(D)と部材長(L)の関係が、 $L/D = 22$ 以下の部材に損傷がなかった事実に着目し全部材の確認を行い、これを

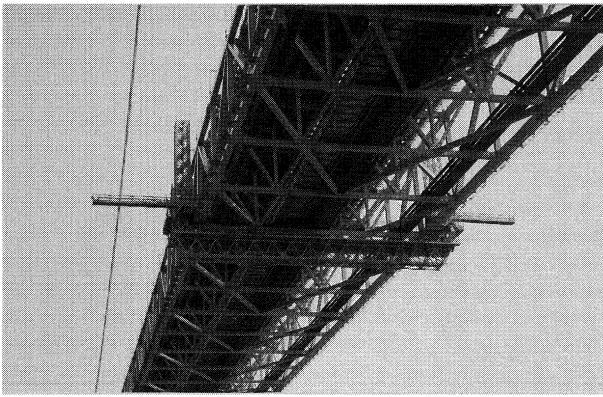


写真-1 桁外面作業車
Photo.1 Work Vehicle

表-1 桁外面作業車主要仕様

Tab.1 Dimensions of work vehicle for outside girder

車体寸法 (下面作業台)		(巾) (長さ) 6 m × 44m
積 載 荷 重	乗員 10名 × 75kg	750kg
	機材	2,000kg
	レンタル足場 2台 × 900kg	1,800kg
	計	4,550kg
速 度	走 行 速 度	0 ~ 30m/min インバーク速度制御
	昇 降 速 度	5 m/min (ストローク: 10.5m)
	伸 縮 速 度	5 m/min
電 動 機	走 行 用	22kw × 2台
	昇 降 用	11kw × 2台
	伸 縮 用	0.4kw × 2台
レールクランプ装置	カウンターウェイト作動/油圧押し機解放式	
係留装置	ピン差込式	
操作方式	ガイダンス式運転装置	
車体重量	85.3t	
構造材質	アルミニウム合金	
その他	通話装置一式	

を大きく超える下面作業台の対傾構 (L/D=35) には、 $\phi 12\text{mm}$ (部材径の 1/10) のアルミ線を螺旋に巻いて対策を行っている。

(2) 伸縮足場の昇降機構

既設作業車は側面フレームの側面に伸縮足場を配置し、昇降台車をワイヤーロープで吊り、巻揚機により昇降させる機構のため、ゴンドラ構造規格の適用を受けている。

一方明石桁外面作業車は、側面フレームの中央に伸縮足場を配置し、昇降台車をラック・ピニオンで昇降させる機構とし、法の規制をなくしている。

この結果、既設作業車で実施している法定検査の定期自主検査 (月毎に 8 項目 16ヶ所/台) と、ゴンドラ検査証の更新に伴う年 1 回の性能検査が不要となった。

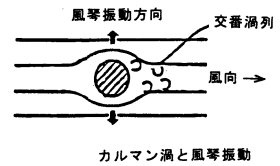
(3) 補助昇降足場

既設作業車には下面作業台に補助昇降足場を常設した例もあるが、明石桁外面作業車は桁中央の幅広管理路より必要の都度作業車に搭載可能であり、レンタルの昇降作業台で対応する計画とした。

(4) 運転装置

作業車の運転は、有資格者が運転マニュアルに基づき行う。既設作業車の場合は、主電源の投入から各装置の操作等全てマニュアルに記されている 17 項目の順に操作

流れの中に置かれた円柱の後流に規則的に発生する交番渦列をカルマン渦という。風琴振動は、カルマン渦の作用によって構造部材が風向直角方向のたわみ振動を生じる現象であり、従来から比較的スレンダーな構造物でしばしば認められてい



る。この現象は、交番渦列の発生周波数と構造物の固有振動数が一致する風速において発生する。

しなければならない。従ってマニュアルが複雑になるほど誤操作が起きやすくなる。

また運転制御には、安全性を高めるためにインターロック機構を設け作業条件を制限しており既設作業車、明石桁外面作業車共その作業条件が約 40 項目にもなる。

例えば、ある 1 条件でインターロックが働き作動しない場合既設作業車では、操作盤にリミットスイッチの作動ランプが点灯するのみで作業条件を一つずつ確認しなければならない。

このため明石桁外面作業車では、大三島橋桁外面作業車の操作盤更新時に導入され、ケーブル補修作業車でも有用性が実証された「ガイダンス方式」の運転装置を採用した。これにより、操作手順は全て操作盤のディスプレイに表示されるため、運転者による判断操作が減少した。また、作業条件を満足するまで作動せずかつ対処方法もディスプレイに表示するため操作ミスが解消され、作業時間の短縮、安全性の向上が図られている。

2.2 桁内面作業車

明石桁内面作業車は、明石桁外面作業車で接近不可能な主横トラスの垂直材に囲まれた斜材、上弦材及び鋼床版下面の点検・補修に使用する。

作業車は図-1 に示すように「補助昇降足場」、2 台の補助昇降足場が走行する「伸縮足場」、伸縮足場を左右に収納している「旋回足場」、旋回足場を昇降させる「昇降架台」及びこれらを搭載し幅広管理路を跨ぎ走行 (管理路外側に軌条を設置) する「走行架台」により構成している。

点検・補修作業を実施する場合は

- 作業位置のパネル中心まで作業車を走行する。
- 旋回足場を 90 度旋回し橋軸直角向きにする。
- 作業位置まで作業車を微速移動する。
- 昇降架台を上昇し、伸縮足場を張り出す。
- 補助昇降足場を移動、上昇させ目的位置の点検・補修作業を行う。

手順となる。主要仕様を表-2 に示す。

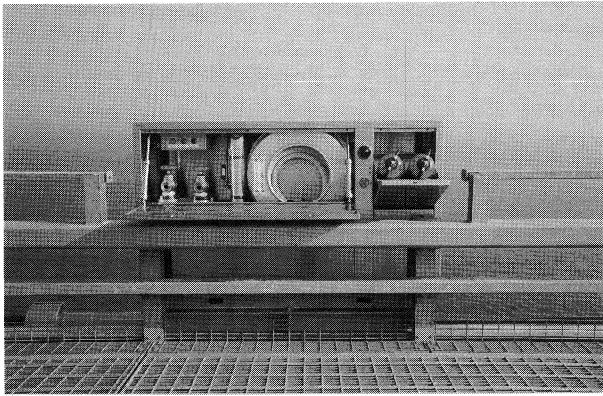


写真-2 消火栓箱
Photo.2 Hydrant box

圧に降圧し、供給している。

(2) 保安区分

自家用電気工作物の保安区域は、1Aと4Aで受電している関係から、それぞれの区域が混在しないように橋梁中央で区分した。1Aの区域は、舞子高架橋から橋梁中央までであり、4Aの区域は、橋梁中央から松帆高架橋までである。したがって、道路照明設備などの交通管理設備も全て橋梁中央で分離されている。ただし、中央径間の桁外面作業車のみは、絶縁トロリー方式の給電であることや、作業車の使用上の性質から、橋梁中央で区分することが困難であるため、1Aの区域としている。

(3) 各構造物への供給方法

当公団では、主塔内の維持管理設備、例えば塔内照明、コンセントやエレベータに電力を供給するために、電気室から低圧の460Vにより送電を行い、主塔内に設置された低圧変圧器によってそれぞれ必要な電圧に降圧していた。しかし、明石海峡大橋では、1Aから2Pまで約1Kmあり、主塔の高さが約300mとなっている。これでは、従来通りの低圧による送電を行った場合、配電線路における電圧降下が大きいと、電力ケーブルのサイズを非常に大きく選定しなければならなくなり、その配線スペースの確保も困難である。また、将来負荷設備が増加した場合、最悪の場合、電力ケーブルを追加して敷設する必要が生ずるおそれがある。そこで、当公団としては初めて主塔下部水平材に電気室を設け、6.6KVにより受電することとした。2Pにおいては、1A電気室内の主塔送りフィーダー盤から、3Pにおいては4A電気室内の主塔送りフィーダー盤から直接供給している。これにより、主塔内または主塔から供給する負荷設備が増加した場合でもスムーズに対応できることとなった。なお、主塔内の受電盤は主塔工事の時期から設置された。

6.2 自家発電設備

(1) 原動機

電気室や発電機室は地上に設けられるものであるが、1Aと4Aは1階をエントランスホールとしたため、2階となっている。通常はディーゼル機関を用いるが、振

動が大きくなる。前述のとおり2階に設置するには、振動に対する床の補強が必要であるが、これは不経済なため、当公団としては初めてガスタービン機関を採用した。これにより、振動、騒音が著しく軽減した。

燃料はA重油、軽油、灯油が使用できるが、緊急時に直ちに入手できる軽油を採用した。これはAルート全域で統一した思想である。なお、主燃料槽は地下に設置した。

(2) 発電機容量

発電機容量は、1Aでは875KVA、4Aでは500KVAである。停電時にバックアップしなければならない負荷設備の容量から算定するが、代表的なものとして道路照明などの照明設備、エレベータなどの動力設備及び直流電源設備などがある。橋梁での負荷としては、1Aと4Aでほぼ同等であるが、1Aは舞子BSが含まれるため、若干大きくなっている。

7. ITV設備

ITV設備(写真-3)は、交通状況を視覚により、正確かつ即時の情報として捉え、放送設備により円滑な交通を促すために橋梁部において、2P、3Pの第2斜材に各2台ずつ設置している。レンズは、2km(主塔間距離)離れた地点での確認が必要なことから40倍(エクステンダー含む)を採用している。しかし、高倍率であるため風等による揺れによって正確な状況把握が困難となることを防ぐため制振装置を設置した。以下制振装置について述べることにする。

風等による揺れによって撮影レンズが振動により動くと、被写体からの光線をレンズによって撮影面に導くとき、被写体からの光線も撮影面上を動くことになりいわゆる横ブレが生じる。

特にレンズの焦点距離が長いときは、受ける振動は同じでも撮影される画としては、焦点距離に比例して像ブレが大きくなる。

そこで、バリアングルプリズムを利用し光学的にブレ補正を行う。

制振装置の動作原理は、物体と撮影光学系の間バリアングルプリズムを配置し、振動によるレンズ光軸のブレ角に応じてプリズムの頂角を変化させ、物体からの光線の屈折角をコントロールする事により撮影面に届く光線をブレのない一定の状態に保持する。

レンズが振動を受けていないときは、図-2aのように撮影されるが、振動を受けたときは、図-2bcのようにレンズが傾くと、それに同期してバリアングルプリズムの片方のガラス板が傾き、光軸を傾ける。それにより撮影される画としては、物体が中心になるように補正される。

制振装置のシステムは、図-3に示すようにバリアングルプリズム、プリズム駆動用アクチュエーター、プリズム頂角センサー及びマイコンを含む制御系より構成されている。

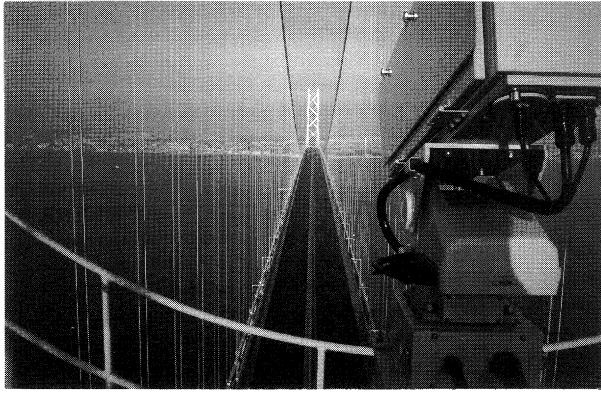


写真-3 ITV設備
Photo.3 ITV device

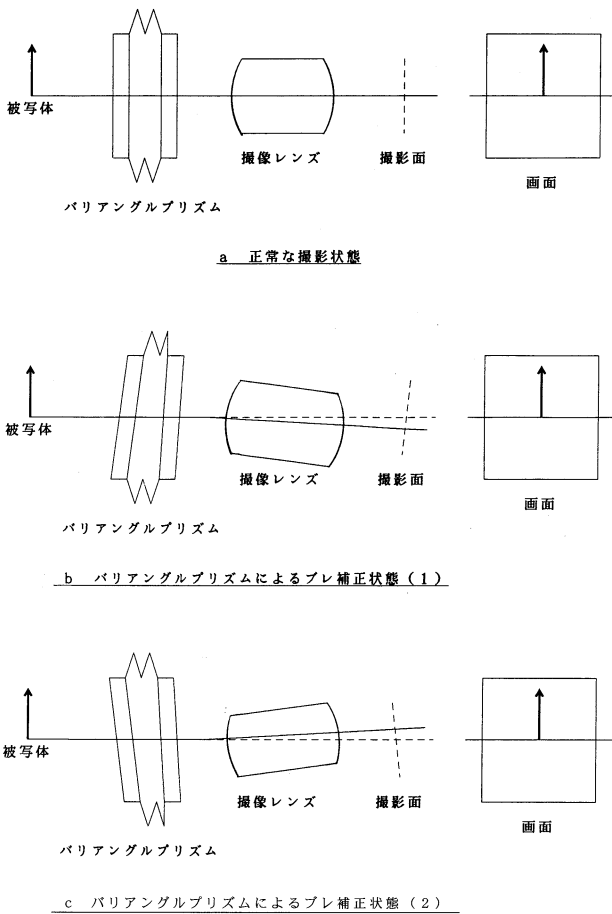


図-2 制震装置の動作原理
Fig.2 Concept of dumping device

振動を受けると、それに応じた信号がプレセンサーより出力され、その出力があるべきプリズム頂角に変換される。頂角センサーから得られた頂角があるべきプリズム頂角になるようにアクチュエーターによってプリズムが駆動される。バリアングルプリズムの2枚の平行ガラス板の各々を独立に駆動して、2方向（ピッチング方向及びヨーイング方向）の振動を補正する。

バリアングルプリズムの構造は図-4に示すように、

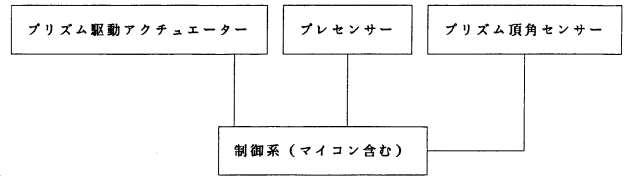


図-3 制震装置のシステム系統
Fig.3 System flow of dumping device

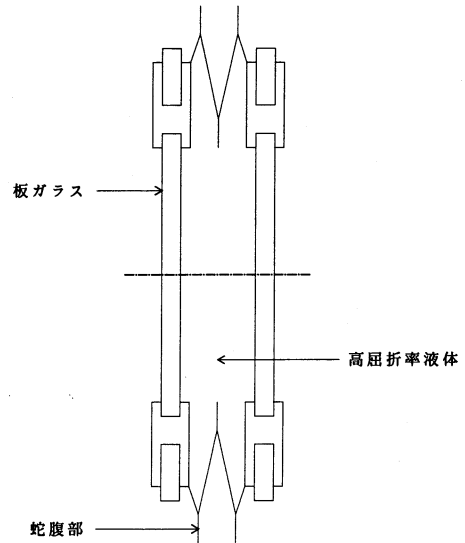


図-4 バリアングルプリズムの断面図
Fig.4 Cross section of Vari-angle prism

2枚の平行ガラス板と特殊フィルム製蛇腹で構成され、その内部空間に高屈折率液体を封入し、蛇腹部が伸縮することにより、頂角が自在に変化するプリズムが形成される。

8. 道路照明設備

道路照明設備は、道路の安全と快適な通行を確保するために設置している。

照明は、橋全体の構造美との融合と景観との調和を意識したデザインポールを採用し、カルマン渦励振対策として瀬戸中央自動車道の海峡部照明で採用しているポール内部取付型チェーンダンパーを取付けた。

灯具は、海面への漏光を極力低減させ且つ路面照度の明暗の均一化を図るためランプ角度を橋軸と直角方向とし、高圧ナトリウム灯により路面平均輝度を0.5cd/m²とした。(写真-4)

また、円滑な交通を促すための放送設備（スピーカ）を構成するにあたり、瀬戸中央自動車道で行ったポールに抱き合わせる方法はデザインポールにそぐわないため、灯具内蔵方式とした。

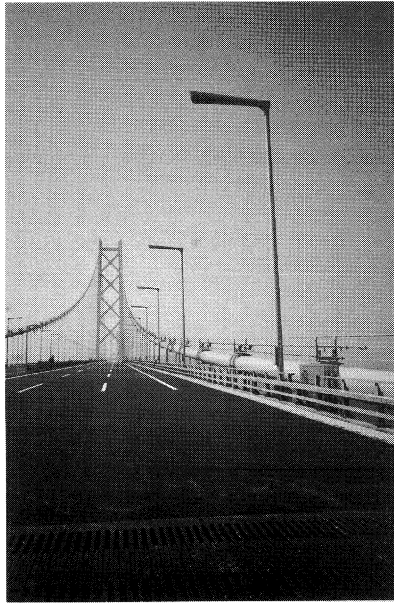


写真-4 道路照明

Photo.4 Roadway lighting

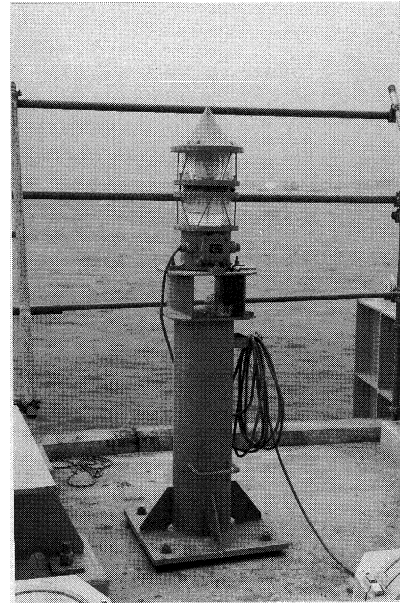


写真-6 橋脚灯

Photo.6 Pier light

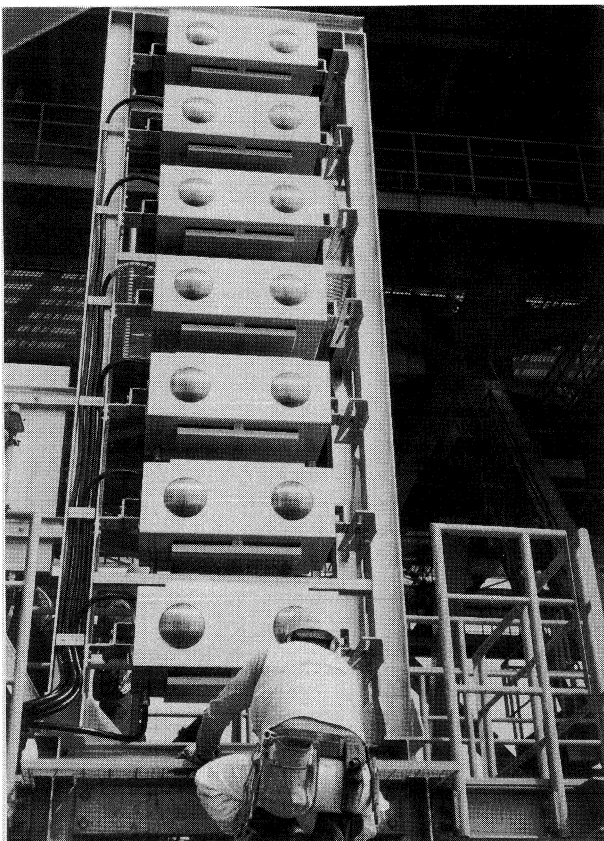


写真-5 橋梁灯

Photo.5 Navigation lights

9. 航行援助設備

9.1 橋梁灯

橋梁灯は、国際航路標識協会の勧告を踏まえ、航路標識法に基づき設置するもので、その灯質については従来方式の不動光とした。形状については、利用距離が航路

筋より6 km程度、1日平均通行隻数が約1,400隻となる海上交通の要衝であり過去の実績等を勘案して7段2列とした。調光については、照度計による昼間、薄暮、夜間の3段階切替として運用する。

また、明石海峡の船舶航行の特性を考慮した新たな航路側線の認識できる境界灯の設置が検討され、視認上の有効性が認められたことを踏まえ、海上保安庁と協議の上、橋梁灯(側端灯)の附属施設(副灯)として設置することとした。側端灯の上方に設置し、灯色は側端灯と同色で、灯質については、不動光及び等明暗光とした。(写真-5)

9.2 橋脚灯

海上交通安全法により1,500mと設定されている航路幅の近傍に橋脚が設置されており、その存在を明示するため橋脚灯を設置した。照明器具は黄色不動光の明弧角を360°として、橋脚側面の航路法線と同方位の東西2ヶ所に設置し、利用距離を1 km程度の広範囲において十分な視認が可能とした。尚、橋梁灯、橋脚灯とも光度については、海事関係者立合いのもとに見え方調査を行い決定した。(写真-6)

10. おわりに

以上、明石海峡大橋の維持管理設備を紹介してきたが、この他にも1A・4Aのスプレー室の除湿設備がある。既設橋梁とは違ったシステムであり平成10年1月現在、据付を完了し性能確認を開始するところであり、これらを含め別途報告したいと考えている。

各設備は、4月5日に向けて試運転、調整を行っているところである。今後は、これらの設備を健全に、長期間使用するための維持管理に創意・工夫を重ねる所存である。

明石海峡大橋のライトアップ

Light-up of the Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局 保全部 長 阿部 和智

Kazutomo Abe

第一管理局 保全部 交通技術課長 日里 正夫

Masao Hisato



概要

明石海峡大橋の橋梁照明は、平成5年11月に兵庫県及び神戸市から提出された設置要望を受ける形で、橋梁周辺に良好な夜間景観を創出し、明石海峡大橋（神戸淡路鳴門自動車道）の利用促進を図るとともに、観光をはじめとする地域の活性化を図るため、魅力的かつ効果的な照明の実現を目的として検討が開始された。本稿では、橋梁照明のデザインコンセプト、機器配置及び点灯要領を中心として、明石海峡大橋のライトアップの概要を報告する。

Light-up scheme of the Akashi Kaikyo Bridge was evolved in November 1993 after the proposal from the local governments of Hyogo prefecture and Kobe city, which demanded installation of an attractive and effective lighting on the Akashi Kaikyo Bridge in order to increase users of the bridge and stimulate the local economy as tourism by creating better night environment. This paper introduces the outline of light-up plan of the Akashi Kaikyo Bridge, focusing on the design concept, device arrangement, and light-up operation.

1. はじめに

明石海峡大橋の橋梁照明は、平成5年11月に兵庫県及び神戸市から提出された設置要望を受ける形で、橋梁周辺に良好な夜間景観を創出し、明石海峡大橋（神戸淡路鳴門自動車道）の利用促進を図るとともに、観光をはじめとする地域の活性化を図るため、魅力的かつ効果的な照明の実現を目的として検討が開始された。

本州四国連絡橋公団は、平成6年4月、学識経験者により構成する本州四国連絡橋明石海峡大橋橋梁照明委員会（委員長：伊藤学 東京大学名誉教授）を組織し、明石海峡大橋の橋梁照明のあるべき姿についての基本的事項を審議、検討した。

第一建設局では、この委員会の基本的な検討事項に基づき、橋梁照明の実施に向けての細部事項を検討するため、平成9年9月、学識経験者、海事関係者、デザイン関係者等で構成する橋梁照明運用検討委員会（委員長：鳴海邦碩 大阪大学教授）を組織し、橋梁照明の目的にかなう魅力的かつ効果的な照明について検討した。

本稿では、橋梁照明の機器配置及び点灯要領を中心として、明石海峡大橋のライトアップの概要を報告することとする。

2. 基本コンセプト

明石海峡大橋の周辺環境の特徴は次のとおりである。

【神戸側】

- ・南に海を望み、北側の陸地に山を配した明るく開放的な眺望景観
- ・美しい砂浜、松林、緑豊かな山並と海水浴場、公園、漁港などで構成される自然環境に恵まれたウォーターフロント景観
- ・五色塚古墳、移情閣などの歴史的遺産がかもし出す、深みのある歴史景観

【淡路島側】

- ・万葉集や新古今和歌集に詠われた白砂青松の海岸
- ・国立公園第2種特別地域に指定された緑豊かな丘陵景観

また、周辺の人々とのかかわり合いを見ると、明石海峡大橋を眺望できる海岸沿いに、神戸側は広大な住宅地が広がるとともに、国道2号、JR、山陽電鉄が、淡路側には国道28号、福良江井岩屋線が通っており、深夜まで人々の往来が途絶えることがない。

さらに、明石海峡大橋の完成時には広域的な経済活動の活性化、生活利便の増大と生活圏の拡大、観光客の増大などの波及効果が期待され、ますます人々と明石海峡大橋とのかかわりが深くなるものと考えられる。

このような立地条件をふまえ、次世代に伝えてゆくことができるとともに、人々の心に心象風景を作り出す、品位と風格を持った橋梁照明を行うために、次のようなデザインコンセプトを設定した。

象徴性：世界最長の橋梁部に照明対象を限定することにより、主塔の構造美、ケーブルの曲線美などの

各部位の特徴を象徴的に生かした照明デザインとし、本橋梁が品位と風格を備えた光のランドマークとなるよう計画する。

未来性：季節感、時の流れなどの「自然のうつろい」を、最新のテクノロジーを利用したハードとソフトのコンビネーションにより具現化する。

国際性：橋梁の各部位にふさわしい光を配し、昼の景観と同様、世界に誇れる夜の景観を創造する。特に、世界最長の桁とケーブル及び主塔の高さを忠実に表現しうる手法を用いる。

普遍性：いつの時代においても見る人に感動を与え、美しい心象風景となるようなデザインとする。また、いつまでも人々に親しまれるよう耐久性に工夫を加え、容易な維持管理方法を実現する。

快適性：周辺環境に即した照明計画を行い、重要な視点を始め、橋の利用者にとっても快適な光環境を提供できるようにする。特に、投光を行う場合には、上空及び海面に無駄な光が飛散しないよう配慮する。

【航行船舶に対する配慮】

明石海峡には、海上交通安全法に指定された航路があり、1日の航行船舶数は1400隻をこえる。また、好漁場にも恵まれており、船舶が輻輳する海域となっている。

このため、明石海峡大橋の建設にあたっては、種々の航行安全対策を実施してきているとともに、橋梁の完成後には、補剛桁に航路灯（中央灯及び航路の両側端灯）を設置するなど、航行の安全に大きな配慮を払っている。また、照明による漁業（水産資源）への影響を可能な限り低減する必要がある。

以上のとおり、航行船舶あるいは水産資源への影響に

最大限配慮することが、橋梁照明のデザインにあたって重要な課題となる。この観点から、航路灯の視認性を低下させないよう、あるいは、海面の照度を極力低下させるため、具体的には次のとおり照明デザイン上の配慮を行った。

- ①照明の輝度や取付角度等を調整し、上空や海面に有害な光の発散を避ける。
- ②けばけばしい色彩の照明を避ける。
- ③輝度や色彩が短時間に極端に変化する等の動的な照明を避ける。

なお、橋梁照明の実施案作成に先立ち、航行安全上の配慮として、上記の課題を念頭に置いて、CGシミュレーションによる仮想の操船体験を実施し、航行船舶に支障をきたさない運用方法等について検討した。また、運用検討委員会と歩調を合わせ、海事、漁業等の関係者に対して、現地での試験点灯を行い、航行船舶からの見え方調査等を実施し、関係各界からの意見を幅広く採り入れるよう配慮した。

3. 照明のデザインコンセプト

ライトアップを行うにあたり、照明設備等のハード構成の基本となる点灯プログラム（点灯部位、点灯時間、照明カラー等の演出）のデザインコンセプトを検討した。

デザインコンセプトの検討にあたっては、橋梁の各部位を空間的に照明するだけでなく、季節感、曜日変化、時刻変化などの時系列の変化を取入れることにより、デザイン上の基本コンセプトを具現化できるよう配慮し、各種の運用パターンを検討した結果、表-1のとおりデザインコンセプトを設定した。

表-1 点灯プログラムのデザインコンセプト

Tab.1 Design Concept of light-up program

変化パターン	評価	採用コンセプト
イヤーリー	1年毎に変化するのは普遍性に欠ける。	1年毎に変化させない。
シーズンリー	季節感を演出するのに有効な方法である。	1年を4シーズンに区分し、光色等の変化により季節感を演出する。 ①春季：4～6月 ②夏季：7～9月 ③秋季：10～12月 ④冬季：1～3月
マンスリー	毎月毎の変化は過度な印象を与える。	月毎には変化させない。
ウィークリー	ウィークデー、ウィークエンドの変化は有効である。 (例：光色、点灯部位、光量の変化など)	通年を平日と土日祝の2種類に区分し、照明パターンを検討する。 ①平日 ②土曜、日曜、祝祭日
デイリー	夕方→夜→深夜 の変化は有効である。 (例：光色、点灯部位、光量の変化など)	点灯部位、光量などについて時間的な変化を与える。
スペシャル	祭日、催事、記念日、時節などの対応は有効である。 (例：光色、点灯部位、光量の変化など)	特別の日に点灯するプログラムとして品位と風格を損ねない範囲で、普遍的な照明パターンを検討する。

4. 照明設備

デザインコンセプトを具現するための照明設備の機器選定及び機器配置について検討した。

橋梁照明は、あらかじめ設定した点灯プログラムに基づいて、コンピュータ（パソコン）制御により自動制御される機構とした。

4.1 制御設備

橋梁照明は図-1の概念でコンピュータ制御により総合的に制御される。

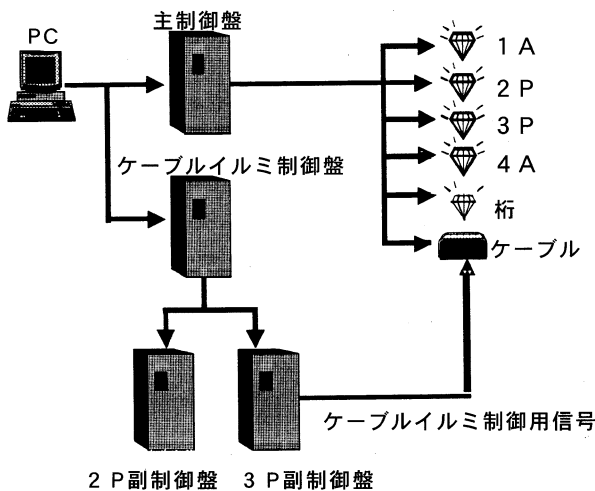


図-1 照明設備制御の概念
Fig.1 Concept of hardware control

4.2 照明器具

(1) 器具配置の基本方針

照明のデザインコンセプトを考慮し、周辺の自然環境、歴史的景観、船舶航行への影響等に配慮し、かつ、光のバランス等を考慮しながら、品位と風格を備えた橋梁照明とするため、照明器具は、次の基本方針で配置することとした。

- ①主塔は、主塔全体を浮び上がらせるよう投光照明を行う。
- ②ケーブルは彩色照明を行い、曲線美を表現できるよう配置する。また、色彩の変化により、季節の変化や時間的変化を表現できるようにする。
- ③補剛桁は、連続感とボリューム感を表現するため、道路床版下部へ投光照明する。
- ④アンカレイジは、構造物全体を柔らかく浮び上がらせるよう投光照明を行う。

(2) 光源の選定

①主塔・補剛桁

主塔・補剛桁の色はグリーングレー（5GY7.5/1.5）であり、この色彩を効果的に演出する光源として、色温度の高い蛍光水銀灯、メタルハライドランプ、

又は蛍光灯が考えられる。また、主塔が高さ約300mと非常に高いため、効率が良い灯具が必要となる。以上の条件とランプ寿命など総合的な検討の結果、主塔・補剛桁の照明にはメタルハライドランプを使用することとした。メタルハライドランプは水銀ランプの欠点といわれた演色性を大幅に改善し、自然光により近い色の見え方を可能にしたランプである。

②アンカレイジ

アンカレイジはコンクリート製の巨大な構造物であるが、この壁面（グレー系の無彩色であり、特に演色性を考慮する必要がない）全体を投光照明する光源として水銀ランプを使用することとした。

③ケーブル

ケーブルは、ハンドロップ両側にそれぞれ一列、計2列の無電極点灯装置（RGBイルミネーションと公団で呼称しているもので、光の3原色である赤、緑、青の無電極ランプを1セットにして、各光源の明るさを変化させることにより多種の色彩を出せるようにした灯具）による彩色照明を行う。

無電極点灯装置は、高周波電源から供給される電流が発光体（ガラスバルブ）周囲のコイルにより磁力線を発生し、この磁力により発光体内部の水銀蒸気を励起し、紫外線を放出、この紫外線がガラスバルブ内面に塗布した蛍光体に当たって可視光に変換されるものである。（図-2）

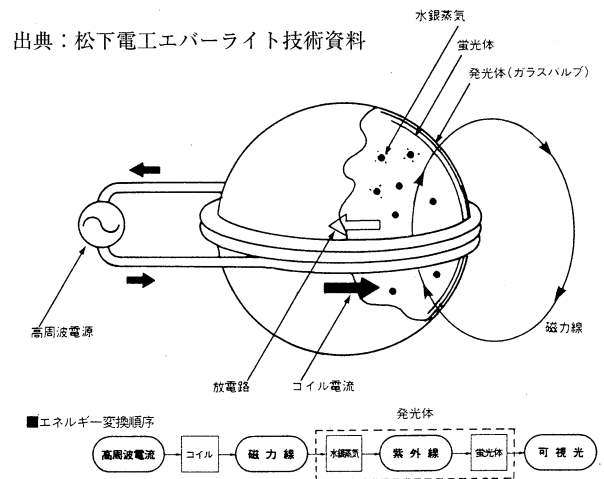


図-2 無電極点灯装置の動作概念
Fig.2 Concept of luminance mechanism

(3) 灯具配置

器具配置の基本方針にしたがい、効果的な照明計画となるよう灯具を配置した。

設置した灯具数及び灯具一般図、設置位置を表-2及び図-3にそれぞれ示す。

表-2 照明器具設置数量表

Tab.2 Bill of quantity of lamps

名称	設置場所	仕様	灯数	色
主塔照明	主塔基礎	メタルハライドランプ 2000W	10台×2基	白
	補剛桁上	メタルハライドランプ 1000W	32台×2基	白
	主塔基礎	メタルハライドランプ 1000W	4台×2基	白
	主塔基礎	メタルハライドランプ 700W	12台×2基	白
補剛桁照明	桁内管理路付近	メタルハライドランプ 250W	132台×2列	白
		メタルハライドランプ 100W	1台×2列	白
		メタルハライドランプ 100W	139台×1列	白
ケーブル照明	ハンドロープ支柱	カラー高輝度放電管 27W×3色	271台×4列	RGB
アンカレイジ照明	アンカレイジ全周	水銀ランプ 250W	66台×2基	白

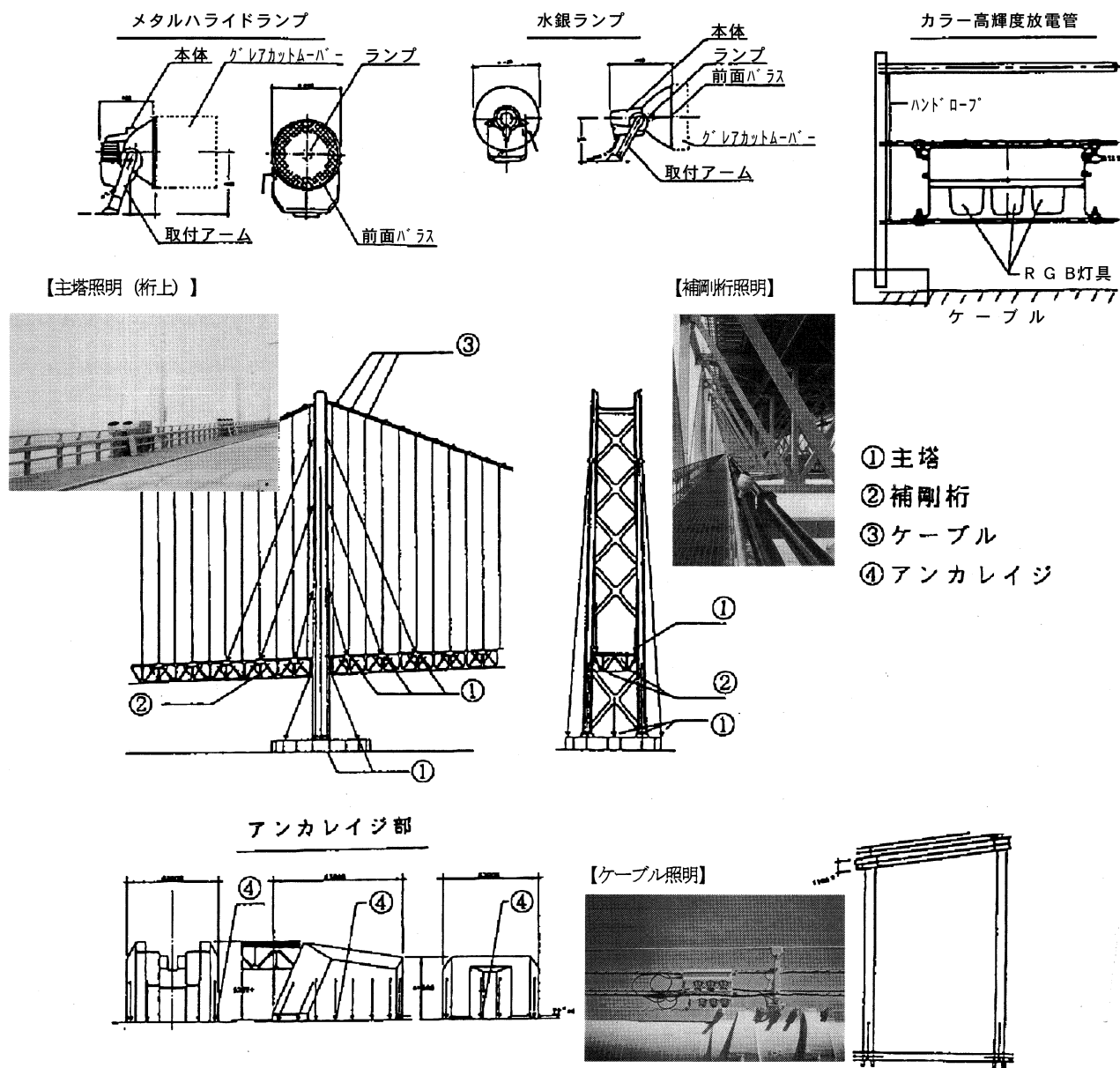


図-3 照明器具配置図

Fig.3 Arrangement of lamps

果、当面、以下のとおり運用することとした。

- ①点灯プログラムは、1年を平日（4シーズンで4プログラム）と土日祝祭日（通年で1プログラム）に大別する。…合計5プログラム
- ②また、神戸まつりやルミナリエ等の特別の日や期間について15プログラムを設定し、それぞれのプログラム毎に独特のケーブル照明色を設定する。…合計15プログラム
- ③さらに、明石海峡大橋が東経135度（日本標準時の基点）の直近に位置することから、午後5時、6時、7時…などの毎正時および、午後5時半、6時半、7時半…などの毎30分時に、時報を兼ねて、ケーブル色の色変化（月別誕生石及び虹のケーブル色）を5分間にわたり行う。…合計10プログラム

以上に述べた基本となる30プログラムについて、それぞれプログラム毎の照明を効果的に演出できるように、点灯する部位と点灯時間を選定した。以上検討の結果、ケーブルの照明色は、計28パターンを設定した。

これら点灯プログラムとケーブル照明パターンの一覧

を図-5~6に示す。

6. 最後に

ケーブル照明に採用した無電極点灯装置によるRGBイルミネーションは、光の3原色を自在に操り、グラデーションなどの豊富な色彩変化を可能にしたもので、橋梁照明としては世界初の設備である。これらの色彩変化は、今回決定したパターンが絶対的なものではなく、今後、点灯プログラムを固定化せず、時代のニーズに合わせて柔軟に運用して行くことが必要である。

最後に、明石海峡大橋橋梁照明に関係されたすべての方々に厚くお礼申し上げて本報告を終える。

【参考文献】

- ・HIDランプガイドブック H7.7.25 (社)日本電球工業会
- ・無電極点灯装置エバーライト技術資料 松下電工(株)

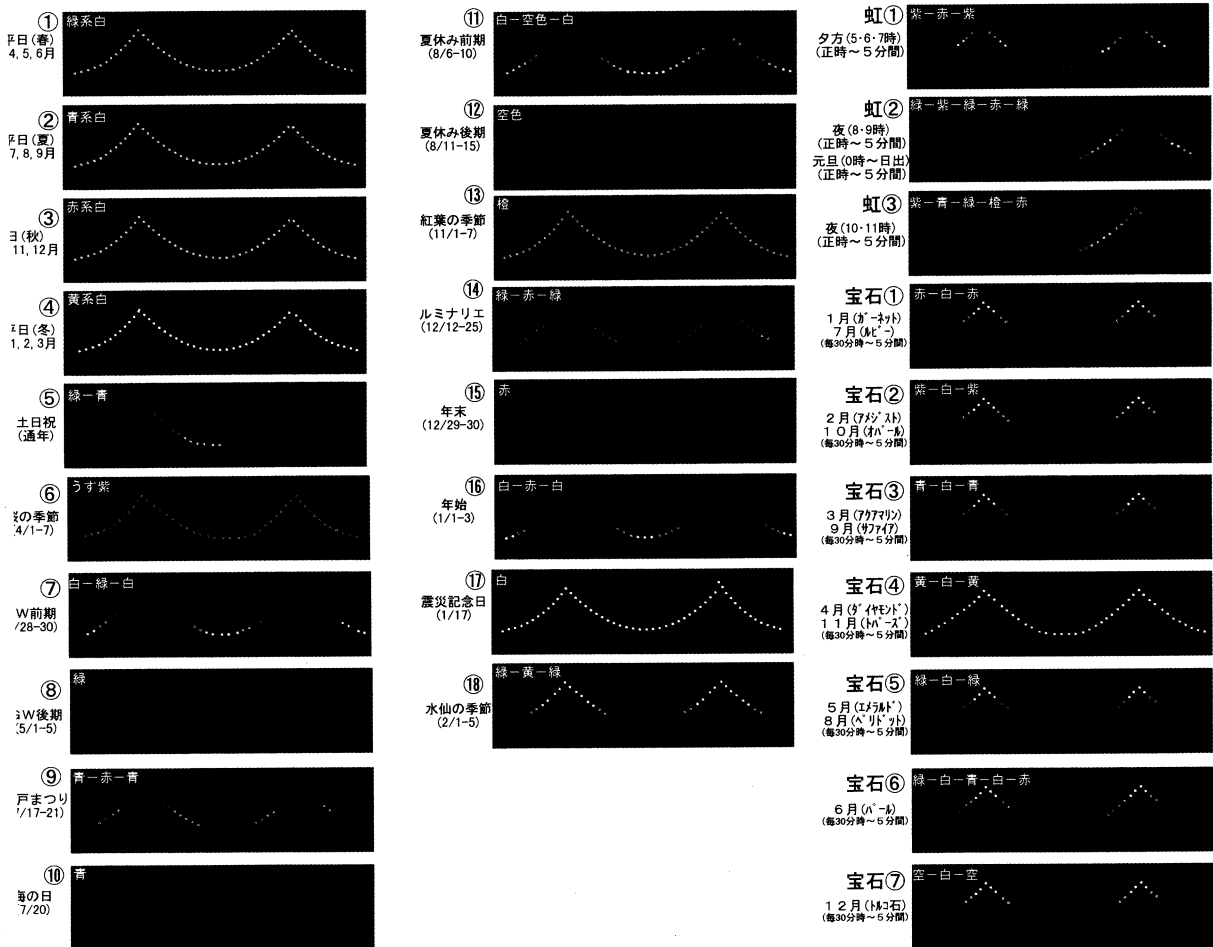


図-6 ケーブル照明パターン一覧

Fig.6 Cable lighting colors

明石海峡大橋の景観検討作業

Aesthetic study on the Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局保全部 建設課長 藤田和朗

Kazuro Fujita



概要

明石海峡大橋の景観設計は、昭和63年8月から、本州四国連絡橋景観委員会の審議、指導のもとで行われ、環境庁協議、地方自治体説明を経て、平成3年12月の記者発表で完了した。本報告書は、この間に行われた検討資料作成の経緯や事情について報告するものである。

Aesthetic study on the Akashi Kaikyo Bridge was initiated in August 1988, under the guidance of the aesthetic committee on the Honshu-shikoku Bridges. The study was concluded through negotiation with the Environmental Agency, and explanation to the local government, as well as public announcement on December 1991. This report introduces the course of study and circumstances on the aesthetic arrangement.

1. まえがき

明石海峡大橋の景観については、本州四国連絡橋景観委員会で第1回委員会（昭和63年8月）から第13回委員会（平成3年9月）まで審議が重ねられた。

検討事項を実際に検討した順序にしたがって示すと、①主塔腹材形式、②アンカレイジ外郭形状、③上部工塗色、④アンカレイジテクスチャー、⑤取付高架橋の桁形状・橋脚断面形状・付属物である。

上部工塗色とアンカレイジ外部仕上げについては環境庁協議事項であったため個別に環境庁協議を行い、平成3年2月に上部工塗色の記者発表、同年12月にアンカレイジ外部仕上げの記者発表を行った。

景観検討作業終了後6年余を経た現在、橋の完成間近であり、本格的に世間の評価を受ける時節となった。筆者は平成元年8月から平成3年12月までの間、第一建設局設計課において検討作業に携わった。景観設計の成果については、別にまとめられているので、ここでは、これまで書き残さなかった作業の実務面を中心に記述することとする。

2. 共通事項

2.1 検討業務体制

業務体制としては本社調査課が景観委員会の事務局をつとめ、第一建設局設計課が委員会資料作成作業を担当し、委員会での説明は局長または建設部長が行った。環境庁協議は計画課（環境担当専門役）が主管、記者発表は総務課と計画課が主管であったが、使用する資料の作

成は設計課が行った。なお、委員会の開催頻度は平均して3ヶ月に一度であり、その都度、事前に工事事務所説明、局長説明、本社担当課説明、本社部長説明、本社役員説明を行った。

景観検討資料作成は3件の外注業務で行った。CG（コンピュータグラフィックス）やフォトモンタージュの作成をK社、高架橋の景観検討資料作成をD社、委員会資料素案や模型の作成をT社が担当した。K社は優秀なコンピュータオペレーターとフォトモンタージュ画家を擁しており、時間的に無理な注文もスピーディにこなしてくれた。T社の担当者は建築士の資格を有しており連日深夜に及ぶ打合せや電話での議論を通じて大変有益な知識、物の見方、考え方を提供してくれた。D社の担当者は舞子高架橋の構造設計も担当しており景観検討案に対する構造照査にも威力を発揮してくれた。いずれの会社の担当者も非常に熱心かつ真面目に業務を遂行してくれたおかげでハードスケジュールをこなすことができたものと思っている。また、垂水工事事務所および舞子工事事務所の技術課長や各工事長にも工事工程や構造物設計について適宜調査を依頼した。

2.2 委員会に臨む姿勢

(1) 検討対象範囲を明確に提示すること

明石海峡大橋は長大橋技術の限界に近い所に位置するだけに、基本的な構造寸法や材質、形状等で変更不可能な部分が多い。また、有料道路事業であることから工費工期的にも制約がある。したがって、いじれる部分といじれない部分および検討の期限を各委員にしっかりと理解していただいた上で検討を進めないと、誤解や混乱を

生じたり無為な時間を費やすことになってしまう恐れがある。

(2) 既往事例を可能な限り集めて参考にすること

我が国における長大橋建設の歴史は未だ日が浅く、施工例が豊富にあるわけではない。外国のものを含め既往事例を可能な限り集めて、吊橋のデザインがどのようなものかを認識することは重要である。吊橋デザインのうち普遍的な部分と工夫のしどころを見極めるといふ意味で参考になる。

(3) 検討課題を見出し案を提示すること

「検討課題を見出す」ということは非常に難しい。作業担当者に予備知識と問題意識が備わっていないければ検討のための検討を繰り返すことに終始し、いつまでも解決策が見えてこない。ある事柄については解決策なしというのも一つの答えかもしれない。その場合に重要な事は「何故そうなのか？」に対する答を徹底的に追究する姿勢である。解決策と言わないまでも、策は見えてくる。

なお、提示案の数について経験上のコツを一つ。色々な案を検討すべき段階では8案を提示する。まとめなければならない時は3案を提示する。

(4) 最終案の決定の仕方

委員会では細部にわたり熱心に検討、審議が行われたが、最終案は公団が決定するというケースが多かった。公団案を決定する際にはそれまでの委員会審議内容の整理と明解な理由付け作業が不可欠であった。これはしんどい作業であるが、次の段階に進むためには良い復習となった。

なお、筆者が平成8年1月に米国TRB会議で明石海峡大橋の景観設計について発表した際、米国人から意志決定プロセスについて質問を受けた。景観委員会での意見をもとに公団が意志決定したと答えたものの、正直なところ公共事業での最適な景観検討システムとは何であろうかという疑問が今でも残っている。

2.3 景観検討の基本テーマ

委員会審議の初期段階で、その後の検討に際し時々振り返りチェックしてみる道しるべのようなものが必要ということで次のような景観検討の基本テーマがとりまとめられた。

①信頼感

本州と淡路島を陸路で結ぶ唯一の交通機関として、台風地震および重交通に耐えられる頼もしさを人々に感じさせる。

②未来性

伸び、広がり、力強さを表現し、未来への限りない可能性を暗示するとともに、21世紀への架け橋を感じさせる。

③光と陰

瀬戸内海風景の特徴である光と陰が織りなす変化をモチーフとし、架橋地域のイメージを表現する。

当時はバブル崩壊以前の好景気に湧いた時期であり、道路関係の各機関において景観の議論がさかんに行われはじめていた。しかし、本四公団および景観委員会においては、公共事業とりわけ有料道路事業としての経費的・時間的な制約や将来の社会的評価を十分念頭に置くべしとの意見が主流であった。原則的に華美は避けるという暗黙の了解があったように思う。また、維持管理段階の労力、費用ができるだけ少なくなるようにすることも重要なことであるとされていた。資料提供する身にとっても、これは最も原則的な事と認識していた。と同時に、景観検討の基本テーマは、最初は難解な禅の公案のように重苦しくさえあったが、検討作業にのめりこむにつれ少しずつ道しるべと感じられるようになった。

3. 主塔形状

(1) 形状検討経緯

主塔の基本形状は、昭和63年8月第1回委員会から第3回委員会までに2案に絞られた後、本四公団で総合評価の結果トラス形式に決定し、平成元年3月第4回委員会で報告がなされた。

しかし、細部デザインの検討はその後も続けられた。特に、塔頂部のデザインは見た人の印象に強く残る。吊橋の個性が最も発揮される部分であることから塔頂サドルカバー形状や塔頂壁高欄のデザインについては、景観委員会委員による指導も得て詳細に検討が行われた。

(2) 斜塔

シャフトが斜めになっている事は、景観上良い効果を生みだしている。上に向かうにつれて東西のシャフト間の距離が短くなっており、下から見ると天高くそびえているような印象を与える。委員会では、これがもしも斜塔でなかったら、近くから見上げた時倒れかかってくるような錯覚を与えたであろうという意見があった。

(3) トラス形状の堅さの緩和

一般にトラス形式主塔の吊橋では、ラーメン形式に比べるとごつごつした堅い雰囲気を感じさせる。しかし、明石海峡大橋ではシャフトの隅切による陰影効果やグリーンレイの色彩により柔らかみが出ているように思われる。

4. 上部工塗色

4.1 タイムスケジュール

平成元年7月から開始したアンカレイジの検討は、審議が進むにつれ検討案作成作業に多大の時間を要する状況となってきた。一方、現場の基礎施工や主塔製作は順調に進捗していたので、アンカレイジ形状と上部工塗色の決定が急務であった。そこで、平成2年1月の第7回委員会でアンカレイジ形状を決定した後、テクスチャー検討は一旦中断し、色彩の検討に入った。

スケジュール的には、主塔の工場塗装が平成2年夏から始まり上塗りが年末頃となるため、それまでに環境庁

協議回答を得ることが目標となった。最初の委員会を平成2年3月と仮定すると、その先は6月、9月の2回の委員会で審議を終了し、公団案決定、環境庁協議終了までが12月というスケジュールとなる。このため1回目に3色系統に絞り、2回目に2色系統に絞り、3回目に1色に決定という流れを設定した。

実際の景観委員会の推移は、平成2年3月14日に1回目、5月28日に2回目、8月8日に3回目が開催された。この間の7月13日明石海峡現地での大型見本パネル観察を実施した。

景観委員会の結論としては、ライトグレーまたはグリーングレーが適切とされ、それらの景観上の評価が示された。これを踏まえてフォトモンタージュにより比較検討してグリーングレー（マンセル記号：5GY7.5/1.5）に決定し、平成3年1月28日環境庁に協議書を提出。2月6日に異存ない旨の回答を得た。これと並行して関係地元自治体の兵庫県、神戸市、淡路町、徳島県に説明を行って2月7日に記者発表を行った。

4.2 世界の橋の色、地域の色彩

最初の委員会で世界の長大橋の 슬라이ドを上映した。これは長大橋の色と時代の流れを調査することが目的であった。最近の傾向は、色味が薄く明度が明るくなってきている。もっとも、これは最近になって次々と完成した本四連絡橋の色（ライトグレー：マンセル記号N7.5）の影響が大きく作用している。国外の吊橋の色は、調査した20橋のうち7橋がグレー系、次いで5橋がグリーン系であった。日本の長大橋の例では、関門橋が柳茶、関西空港連絡橋が明るいグリーン系のグレー、阪神高速道路の鋼桁色もグリーン系である。

一方、兵庫県および神戸市の地は、以前から緑化に力が注がれており、昔禿げ山だった六甲山も今日では緑豊かな山となっている。

このように長大橋の塗色としてはグリーン系はポピュラーな色であり、神戸の地域の色彩にも馴染みやすい色と思われる。

平成7年1月17日の大震災を経た今日、明石海峡大橋が明るいグリーン系の塗色であることは復興イメージとしても良い選択であったと思う。

4.3 ペイントの褪色性

景観委員会でもペイントの褪色性は色彩選定上重要な要素と考えられていたのでペイントメーカー数社にヒアリングを実施した。明石海峡大橋上部工の塗料は耐候性に優れるフッ素樹脂塗料に決定されていたが、高価な塗料であり施工実績が少なかったことから、各種の塗色に関する優劣については、あまりはっきりした答えは聞けなかった。しかし塗料の一般論としては、レッドは褪せると目立ちやすい、ブルー系は微妙な色を選定してしまうと色むらが出る可能性がある、グリーン系は特に問題なし、グレーは最も無難、ということが各社共通の認識

であった。また、塗替え時の色合わせの容易さの点でもグリーン系とグレーは有利とのことであった。

なお、景観委員会で紫がかかったブルー系は委員からの「大きなものに採用すると失敗する危険性がある。」という指摘により検討対象からはずされたのであるが、色の調合の難しさの点でペイントメーカーからもあまり推奨されなかった色である。

4.4 色の表現方法

橋梁上部工の色彩は、人が自然光のもとで見たペイントの色である。これを室内で正確にシミュレートすることは容易なことではない。配布可能な媒体を使ってねらい通りの色を正確に人に見せることが難しい。それは次のような事情による。

- ・印刷物で表現できる色の範囲は限られる
- ・写真の場合、現像、焼き付けの際に色が変わる
- ・カラースライドは映写機の調整具合で明度が変わる
- ・CGディスプレイはブラウン管の調整で色が変わる
- ・模型では照明光源によっては模型や写真等の色が変わって見える

また、小さなものと大きなものとは、同じ色でも人の受ける印象が異なり、さらに物質の材質感との複合作用により人の評価は変化する。例えば布の小さな切れ端を見た感じと大きな布地を見た感じ、さらには裁縫された服を見た感じはそれぞれ異なるものである。

実際の検討は次のようにして進めていった。

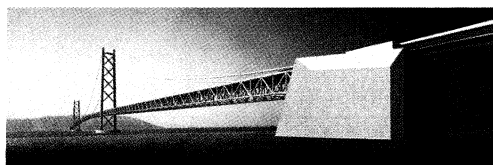
(1) 日本塗料工業会色見本からの抽出

日本塗料工業会色見本は、普通ペイントメーカーが使用している小さな色見本であり、1色の見本の大きさは1cm×4cm程度である。世界の長大橋の色を中心に合計30色を選びA3版用紙に色見本を切って貼り付けた。上の方には明石海峡大橋を神戸側から見たCGフォトモンタージュ（5cm×12cm）を貼り付けた（写真-1参照）。

これを用いて、本四公団内部の第一建設局、垂水工事事務所、洲本工事事務所、鳴門管理事務所の全職員および施工管理員、約400名にアンケートをとった。問いはふさわしいと思う色を1つ、ふさわしくないと思う色を複数回答してもらうものであった。結果はライトグレー系が圧倒的に人気が高く、レッド系、薄い青紫系、薄いイエロー系なども人気があった。一方、ふさわしくない色の第1位はレッド系であった。レッドは人により好き嫌いがある色のようなものである。グリーン系については、ふさわしいという回答もふさわしくないという回答もほとんどなかった。

(2) CGフォトモンタージュ

先のアンケート結果から、ふさわしくないという回答された色をはずし、残った色のうち似合った色を集約して13色にまとめた。これら13色についてCGフォトモンタージュを作成して30色の色見本とともに委員会に提示し、3色系統を抽出すべく審議を依頼した。結果はライトグ



1 1P26-217 5YR4/5	6 1P20-419 5GY7/1.5	11 1P32-550 2.5G4/8	16 1P30-738 10B3/5	21 1P18-8462.5PB5/8	26 1P35-048 2.5RP4/12
2 1P33-145 7.5R4/14	7 1P20-360 5Y8/1.5	12 1P15-435 10GY6.5/3	17 1P28-708 10B4.5/5	22 1P13-853 5PB6.5/7	27 1P1-1003 N-7.5
3 1P33-205 2.5YR6/13	8 1P7-368 5Y8.5/2	13 1P11-410 10GY8/4	18 1P13-707 10B7/6	23 1P22-802 2.5PB7/3	28 1P1-1032 N-8.5
4 1P19-201 7.5YR8/2	9 1P6-301 2.5Y9/3	14 1P8-510 7.5G8/1.5	19 1P22-742 7.5B7/2	24 1P5-851 2.5PB8.5/1	29 1P1-1036 N-9.5
5 1P6-239 2.5YR8.5/2.5	10 1P5-457 5GY9.2/0.9	15 1P8-533 5G9/2	20 1P9-733 5B8/2	25 1P9-801 2.5PB9/2	30 1P5-939 5P9/1

写真-1 アンケートに用いた30色見本 (40%に縮小したもの)

Photo.1 30 colors sample used in inquiry study (concreted to 40%)

レー、グリーングレー、ラベンダーブルーの3色系統が選ばれた。

その委員会では、議論だけでは明確な意見集約が難しかったので、結局委員による無記名投票が動議され、その投票結果を参考にして意見集約が図られた。

(3) 色票

色票とは、要するに色紙である。3色系統に絞られた結果、次は2色系統に絞ることが課題である。公団内部では、3色系統選定のために便宜上選ばれた3色の色見本について、明度、彩度、色相を微妙に変えた複数の色について、色見本(色票)やフォトモンタージュを作成する必要があるとされた。

しかし、任意に指定されたマンセル記号どおりの色票を作成できる専門職人は少なく難儀したが、資料作成業務を担当したT社職員が個人的に知人に作成を依頼し明度、彩度を変えた33色の色票を何とか準備した。

この色票は指定されたマンセル記号どおり正確に作られたものだったので、その後、現地観察で使う大型色見本や工場塗装用の塗板見本を作成する際にも利用した。

今はカラーコピーやコンピュータグラフィックスもかなり普及してきたが、任意に指定したマンセル記号どおりの色票を簡単に作成できる方法はないものかと思った。

(4) フォトモンタージュの大量生産

手描きのフォトモンタージュは高価であり作成に時間がかかる。CGフォトモンタージュは安価に短時間で大

量に作成できる。当初はそう思っていたが、視点場を変え、季節と時刻の設定を変え、橋梁色彩を微妙に変えるとなるとケース数は飛躍的に増え当時のコンピュータ能力では相当の時間を要することがわかってきた。結局、2色系統に絞り込むために準備できたのは、手描きフォトモンタージュ6枚とCGフォトモンタージュ17枚であった。この他、500分の1の主塔模型3体と先述の色票33色を用いてプレゼンテーションを行った。その結果ライトグレーとグリーングレーが選定された。

この委員会の資料準備中に、現地観察の必要性を強く感じた。というのは、極めて巨大な吊橋の色を検討するのに室内で見れるサイズのものばかりをあくせくと作成し、それらを東京の会議室で披露することが本当に色彩の検討なのかという疑問が湧き起こったからである。

(5) 大型色見本の現地観察

現地観察は空や海を背景として出来るだけ大きな色見本を観察することが目的であった。色見本のサイズをどの程度にするかは課題であったが、次のように考えて決定した。

まず、この吊橋は主塔が海面上約300mあり非常に目立つ。人が主塔を見た時、高さに圧倒され視線は上方に向けられ空を背景として見ることになる。よって、色見本は高所に置いて観察することを主にする。こうして1Aアンカレイジ用のコンクリートプラント屋上(地上35m)を設置場所とした。次に、同時に何枚かを設置して



写真-2 大型色見本の現地視察（地上35mのコンクリートプラント屋上）

右側の2番は5GY7.5/1.5、左側の5番は5GY5.5/1.5。

「光と陰」の効果が同時にみられるよう工夫したもの。

Photo.2 Field test by large color sample (roof of concrete plant at 35 meters above the ground)

Right-hand 2nd is 5GY7.5/1.5, left-hand 5th is 5GY5.5/1.5 devised being able to see the effect of light and shade

観察するためのスペースの余裕、設置作業が人手に頼らざるを得ないこと、大きくしすぎると風に飛ばされる危険があることなどを考慮し色見本サイズは2m×2mとした。

次に、光と陰という景観検討基本テーマから、光を受ける部分と陰になる部分を同時に観察すべきと考えた。最も簡単な方法は2枚の色見本板を屏風のように組み合わせて立てることである。こうして2m×2mの色見本板を2枚組み合わせて立てることにした(写真-2参照)。

委員会による観察は、平成2年7月13日に行った。陸上からの観察と公団船上から距離と方向を変えて観察し、また朝から夕方まで時刻を変えて観察した。観察の後、準備したグリーングレー5色、ライトグレー3色についてアンケートを行った。このアンケートで得られた意見を整理して平成2年8月8日の委員会に提示した。

本物の橋に比べて色見本は小さ過ぎたかもしれないがむしろ現地観察により背景となる空、海、住宅や植物などの環境色がしっかりと認識されたことの方が大きな収穫だったように思う。

なお、委員会による観察の前に局・事務所職員、本社職員・役員による観察が連日行われ、その対応も結構な

仕事であった。

(6) グリーングレー

古来、日本人は緑色に敏感で、緑色の種類を呼び分けるための日本名は非常に多いのだそうである。特に自然の中に置かれた緑系の色は色相・彩度・明度を慎重に選ばないと失敗すると言う学識経験者もおられる。その後折りにふれ色々な人に感想を求めてきたが、実際に明石海峡大橋の色を見た人々の評価は結構いいようなので安心している。

5. アンカレイジ

5.1 形状

(1) 計画設計段階の形状不統一

計画設計段階では、1Aと4Aとでは、形状の不統一があった。その時の基本形状は大鳴門橋のアンカレイジと同じように側面に数段の板を張り付けたような形状であり、これを接合案と呼んでいた。しかし、1Aと4Aとでは、襲の数に相違があった。これは景観設計の結果、面取案として形状統一が図られることになった。

(2) スケッチと模型

アンカレイジの形状検討にあたっては、数多くのス

ケッチパースを作成した。初期のころは多くの検討案があったため、多数の枚数となった。検討の後半になって立体感のあるもので検討する必要を感じ、小さな紙の模型を多数作成した(写真-3参照)のであるが、最初からそうしておけば良かったと思った。普通、検討の初期段階で模型を作ることは躊躇されがちだが、思い切って作成した方が後々の検討にとって有益な事が多い。変更が生じれば模型を修正すればいいのだから。

(3) 陸側の面のデザイン

吊橋全体に着目すればアンカレイジの陸側の面は背面であるが、陸側の人々から見ればそれは正面である。景観委員会では、この面が巨大な平面であると威圧感を与えるので工夫が必要ということになった。平面に表情を持たせることは凹凸を付けるということであり、実に様々な凹凸の付け方が考えられる。それらをスケッチし、委員会の幹事会で選択・整理していただくことになった。結果的には、中央に大きなくぼみを付けその周りは額縁のように斜面にするというものになった。次の問題は詳細寸法であった。これについても多くの案を作成し幹事会で選択・整理していただいた。このようなわけでアンカレイジ形状について通算5回に及ぶ幹事会が開催された。

(4) 台座付き接合案(図-1、写真-3参照)

景観委員会審議の過程では、次第に候補案が絞られていき、アンカレイジ形状が決定された委員会では、最後の比較案として接合案に台座を付けた案と面取案を提示した。前者は公共添架物のダクトがアンカレイジ全面から突出して地下に潜り込むので、これを隠すために台座を付けるという案である。しかし委員会の評価は低く面取案の方が採用された。

5.2 外部仕上げ

(1) PCパネル割付

アンカレイジ表面は、マスコンクリートの耐久性向上、工期短縮、美観向上を目的として、工場製作されたコンクリートパネル(PCパネル)を最初に設置しこれを埋殺し型枠としてしてマスコンクリートを打設することとしていた。PCパネル同士の目地は結構目立つものになるので、面取形状に似合う目地の付け方を検討した。建築的な見方で数案を比較して最も似合いそうな案としたが、構造設計で要求される基本寸法の関係で一部分調整しきれない結果となった。造形と建築と土木の世界の調整の難しさを感じた。

(2) 外装材

建築的な外部仕上げで用いられる各種の外装材を検討した。まずは実例の観察が必要と考え神戸市内の建物調査を行った。建築では常識的なことでも土木では異例なことである。タイル、擬石タイル、自然石、ペイント等の可能性を調べるため数多くの素材メーカーにヒアリングを繰り返し、施工性、耐久性、工期、工費、メンテナンスなど多岐にわたる情報を得たが、アンカレイジの外

部仕上げに採用するには主として費用対効果の点で問題があり、いずれも採用には至らなかった。以下には、多数の素材メーカーの御協力を得て調べたことの一部を記述しておく。

①タイル

小さなタイルは安価だが、最近開発された大きなタイルは高価。焼成する過程で大きなものは歩留まりが低いため高価になるそうである。また大きなタイルは重いのであらかじめPCパネルに打ち込むタイプの施工になる。

②擬石タイル

石の粉を焼き固めたもの。厚みは10センチ前後で耐久性に優れる。歩道等に使用されている。高層建物の壁に使用した例はない。取付け金具を仕込めないのが問題。

③自然石(大理石、花崗岩)

PCパネル打ち込みは建築では一般化している。かなり高価である。また材料入手に相当な時間がかかる。

④ペイント

クリアー塗装には光沢ありと艶消しがある。コンクリート表面保護性能は高いが高価である。

(3) コンクリート素地の美観保持

景観委員会では、アンカレイジはアンカレイジらしくコンクリート素地を見せるという考え方にまとめられたが、コンクリート表面の汚れ対策が課題となった。

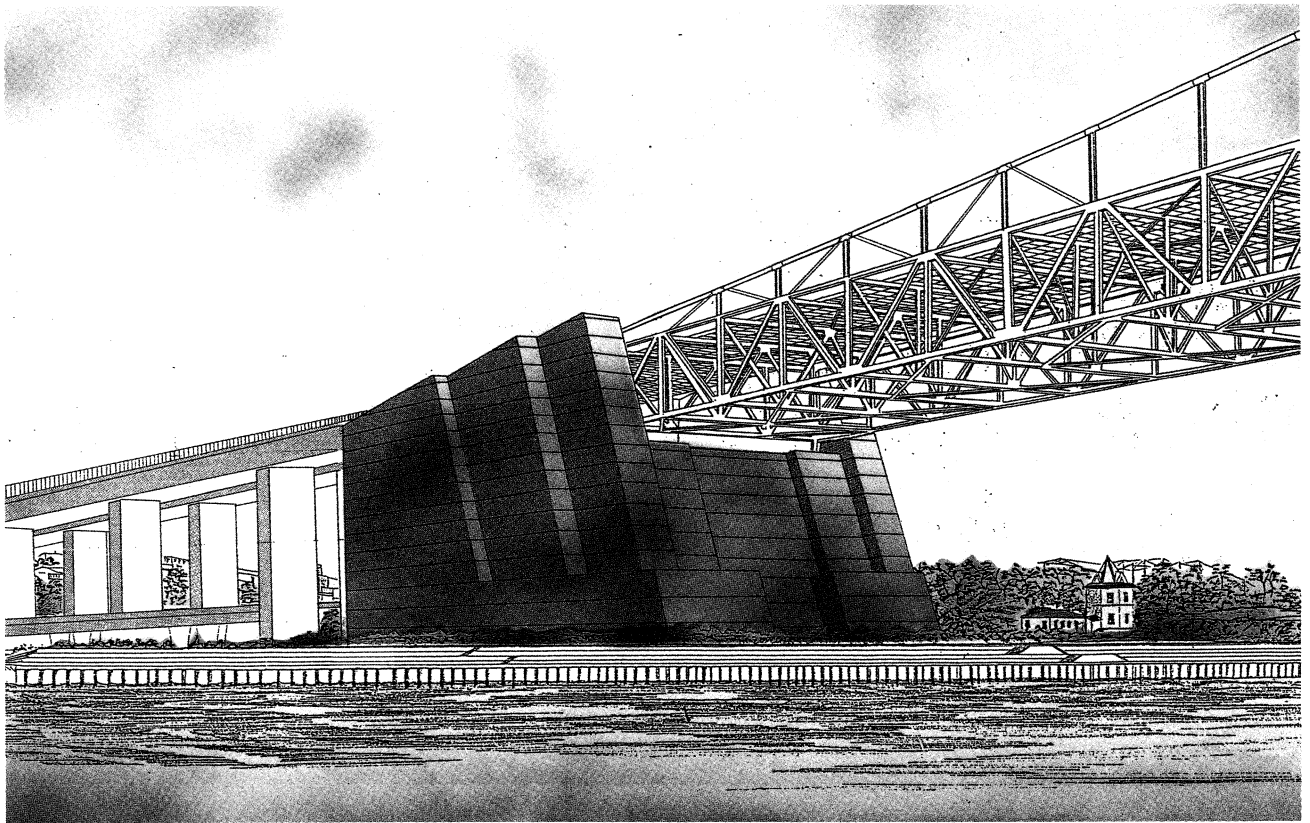
既往の研究によればコンクリート表面の黒い汚れはカビや苔類の繁殖が原因である。これは汚れた黒い部分をこすると普通、灰緑色になることでわかる。コンクリート表面の微細な穴が保水効果を持ち、そのサイズがカビや苔類の繁殖に都合が良いことに起因している。

これに対する対策は、まず雨水の供給を断つことであり、アンカレイジ上部の斜面からの雨水を鉛直面に垂れさせないようにするため、稜線部を樋構造にした。当初はステンレスの樋を設置することを考えたが、アンカレイジ内部への防水が難しいため、稜線部のPCパネルに樋形状を組み込み一体化したPCパネルを製作することにした。

また、コンクリート表面の微細な穴に浸透して固まり水の侵入を防ぐ、安価な含浸材も開発されている。表面の撥水効果は期待できず1年ほどで撥水効果はなくなるが、微細な穴がふさがっていれば、雨水で濡れても乾燥が早く、カビ等の繁殖が防げるというものである。寒冷地では凍結融解作用を防ぐ目的でテトラポッドなどにも使用されている。明石海峡大橋では、試験的にPCパネル表面に塗布することとした。

(4) 鉛直面の粗面仕上げ

面取形状のアンカレイジの側面は大きな鉛直面となり近寄ってみた場合に威圧感を与える。これをできるだけ軽減するため、化粧型枠によりPCパネル表面を粗面仕上げにすることとなったが、凹凸のサイズをどのように



図一 台座付き接合案のスケッチパース
最後の比較案として提示したが、面取案の方が採用された

Fig.1 Illustration of plan of joint with plinth. An alternative plan for final selection, rejected.

して決定するかが課題となった。

神戸市内の建築物でも化粧型枠で施工された鉛直壁は存在するが、すべて塗装がなされているので忠実な供試体とは言えない。CGでの表現も行ってみたが、数センチ程度の凹凸といった細かいテクスチャーをアンカレイジの広大な面積についてCGで表現することは無理であった。凹凸なしの場合と同じように見えるのである。

そこで、コンクリートパネルの実物模型（1.8m×1.8m）を8体製作し現地観察することにした。

現地観察は、前年7月に大型色見本観察を行った経験があったので、多少要領よく実施することができた。景観委員会委員には平成3年7月30日前後に観察を行っていただき、アンケートの結果を整理して平成3年9月9日委員会に提示し、最終案が集約された。

(5) 兵庫県有識者説明

上部工塗色と同様地元自治体に説明したところ、兵庫県としては県内の有識者13名のコンセンサスを得て置くべく説明を行うこととなった。筆者は公団決定案について質問が出ればそれに答える役割で、アンカレイジのプラスチック模型を携えて兵庫県職員に同行することになった。ほとんどのかたがた、特に大学関係者はおおむね好意的な意見を述べられたが、コマーシャルベースの仕事をしているかたがたは色々な意見を言われた。いづれにしても景観委員会とは違った立場の有識者の意見

をかたわらで聞くことが出来たのは大変貴重な経験となった。

6. 舞子高架橋

(1) 等断面か変断面か

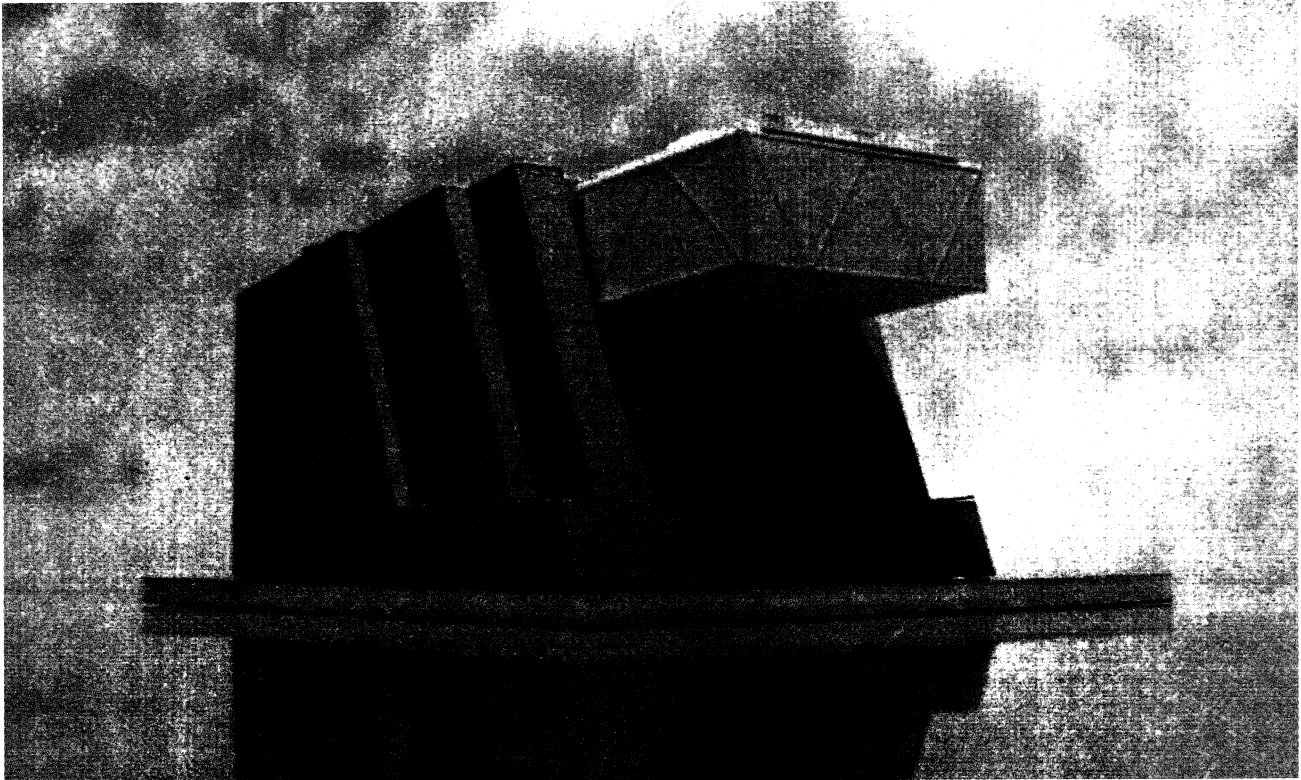
当初計画は桁高一定、すなわち等断面桁であった。しかし、国道・鉄道駅、公園等と立体交差する際、見上げる人々への威圧感を少しでも軽減することが最も重要との考えから、1Aより山陽電鉄に至る区間は桁下面がアーチ状の変断面桁を採用する事になった。また、淡路島側の松帆高架橋も県道交差するため同様に変断面桁にした。

(2) 橋脚の断面形状

橋脚の基礎は圧入式オープンケーソンで施工する。ケーソン平面寸法は小さい方が経済的となるが、そのためには橋脚幅も小さくする必要がある。構造計算の結果、幅約10mのスレンダーな橋脚に統一することが可能となり、景観上もすっきりして良い傾向となった。一方では、アンカレイジの面取形状の印象に合わせ、橋脚断面も四角断面の角を面取りして八角形断面にした。そこで桁幅が広がる部分へのすり付け方が課題となった。

(3) ピルツすりつけ形状

八角形断面の橋脚を変断面箱桁の下面にどのように接



写真一 3 台座付き接合案の紙製模型（20cm角程度の大きさ）
他の案も含めて8個製作した。
検討の初期段階で作っておくべきだった。

Photo.3 Paper craft model of plan of joint with plinth (cubic about 20cm). Total 8 pieces were made including other plans. Models should be made at initial stage of aesthetic study.

合させるかが最後の課題となった。委員会ではピルツすりつけも捨てがたいという意見で終わった。その後、曲面すりつけを検討し工事発注したが、現場施工の段階で型枠の製作が極めて高価となることがわかり、曲面と平面の組み合わせで処理することとした。

(4) 蛇玉

舞子高架橋バスストップ部では径間中央で橋面幅が広がるうに、桁高が小さくなることによりさらに下面幅が広がり、ちょうど蛇が卵を飲み込んだような形に見えて不細工になることが指摘された。これを略称「蛇玉」と呼んでいた。しかし、等断面とすると桁高が大きくなり威圧感が増すので敢えて変断面とした。

結果的には、高架下には舞子駅北駅前広場が建設されており、高架橋桁下面はちょうどドームの屋根のような感じになっており、蛇玉も悪くない感じがしている。

(5) 高欄張り出し基礎隠し化粧版

高架橋の壁高欄の外側には照明柱の基礎が張り出したり、維持管理用の給水管等が設置される。これらを隠すために化粧板をつけることにした。しかし、高架下は道路、鉄道駅、公園、駅前広場等があり、化粧板を大きくすると将来、化粧板そのものの維持管理が大きな問題となる。そこで必要最小限の面積を化粧板で隠すこととし、取り付け方は、雨水が溜まらぬよう、壁高欄から浮かせ

て底なしの状態に取り付けることにしている。

(6) 配水管デザイン

配水管は橋脚に溝を設けそのなかに納めることとし、配水管の断面形状は四角とした。橋脚側面のスリットはアクセントの効果も期待したものであり、配水管を設置しない側にも同じようにスリットを設けることにした。これらの細部検討においては名古屋都市高速道路公社からいただいた資料や助言が大いに役立った。

7. あとがき

筆者にとって景観検討作業は、試行錯誤の連続であった。景観設計の点で自分がレベルアップしたとはとても思えない。ただ、どのような形・色・風合いにすればどのように見えるかを予測し、地域の人々にとってどう感じられるだろうかと徹底的に考えたのは事実である。あることに注意を集中して観察し続けると何かが見えてくる。色の検討、テクスチャーの検討の際の経験である。この経験はその後、人相手の仕事にも非常に役立つように思う。

ここに述べたことが多少なりとも未来の長大橋景観検討の作業担当者の参考になればと思う。

明石海峡大橋の耐震設計と兵庫県南部地震時の地震応答解析

Seismic Design of the Akashi Kaikyo Bridge and Seismic Response Analysis during The Hyogo-Ken-Nanbu Earthquake

設 計 部 設 計 第 三 課 長 森 谷 俊 美

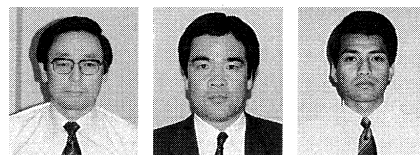
Toshimi Moritani

設 計 部 設 計 第 三 課 長 代 理 栗 原 敏 広

Toshihiro Kurihara

設 計 部 設 計 第 三 課 後 藤 敦

Atsushi Goto



概 要

明石海峡大橋の耐震設計は、和泉層群や花崗岩など、比較的硬質の風化岩を支持地盤とするそれまでの橋と異なり、未固結の砂礫層あるいは堆積軟岩を支持地盤としていることなどから、新たに耐震設計基準が策定された。この基準は、海洋型の大規模地震の考慮、基礎と地盤間の動的相互作用の考慮など、橋の重要度、基礎の大型化を考慮したものであった。

兵庫県南部地震により、仮設物の若干の損傷、地盤の変動に伴う基礎の相対位置の変化が生じたものの橋梁本体は健全であった。残念ながら本橋に入力された地震動を直接的に推定できる地震記録は得られていない。このため周辺の地震記録及び塔に設置された速度計による観測記録などを手掛かりに入力地震動の推定を行い、これを用いて、地盤のひずみ依存性など最新の知見を取り入れた応答解析法による基礎の応答解析を行い、基礎の健全度評価の一資料を得た。

本報文は、明石海峡大橋の耐震設計法を概説したうえで、兵庫県南部地震による基礎の応答解析の内容を報告するものである。

The seismic design of the Akashi Kaikyo Bridge required a new seismic design codes because the foundations of the bridge would stand on an uncompacted gravel layer and an alluvium soft rock layer, which was different from the layers for what the ordinary seismic codes were established. This new codes referred to great oceanic earthquake, kinetic interaction between foundation and baserock, priority of structure, and expansion of structure scale. The Akashi Kaikyo Bridge suffered from The Hyogo-Ken-Nanbu earthquake. However, there were little damage besides temporary facility and geometrical displacement of the foundations due to topographic deformation of the ground. Although no data was recorded of wave form of the quake hit the bridge, input wave data were analyzed based on quake data on the peripheral points around the bridge as well as based on the observed data of displacement speed gage installed on the bridge. The soundness of the foundation was checked by dynamic response analysis using this wave data analyzed. This paper reports the response analysis of the foundation of the Akashi Kaikyo Bridge on The Hyogo-Ken-Nanbu Earthquake, after introduction of the seismic design codes of the bridge.

1. まえがき

従来の本州四国連絡橋の耐震設計は、新第三紀を含めそれより古い花崗岩や和泉砂岩のような岩盤に基礎を設置することを前提としていたが、明石海峡大橋においては、対象となる地盤が未固結の砂礫層あるいは堆積軟岩であり、また構造物が大規模となることから、基礎と地盤間の動的相互作用の考慮、基礎の大型化などを考慮して新たに「明石海峡大橋耐震設計要領(案)」¹⁾などを制定し、耐震設計を行った。

1995年に発生した兵庫県南部地震は、建設中であった本橋においても大きな地震応答を発生させたが、震災後、直ちに点検・調査を行った結果、基礎地盤の移動に伴う径間長の変化以外、本体構造物への影響は見られなかった。しかし、主塔に設置した速度計による観測記録から、主塔頂部においては、約1,100gal(橋軸直角方向)の加速度応答があったと推定された。また、基礎地盤の沈下

量を計測したところ、2P基礎地盤において約20mmの沈下が確認された。

これらの結果から、兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響及びその健全度を評価するために、地盤のひずみ依存性など最新の知見を取り入れた応答解析法による基礎の動的解析を行って、基礎の健全性の確認を行った。

本報文は、明石海峡大橋の耐震設計の概要について説明したうえで、兵庫県南部地震による影響とその後実施した応答解析の概要について報告するものである。

2. 明石海峡大橋の耐震設計の特徴

明石海峡大橋は、従来の橋梁に比べて次のような特徴がある。

- ①上部構造から要求される下部構造の必要寸法が大きい。
- ②架橋地点においては花崗岩層が極めて深いため、その上部に厚く分布する新第三紀中新世の軟岩(神戸

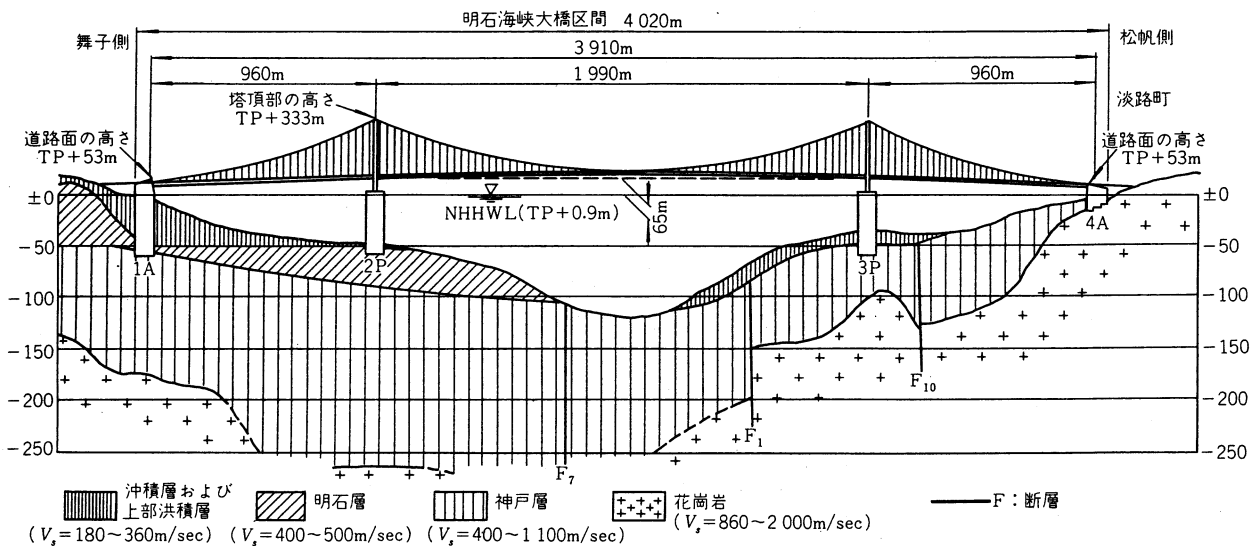


図-1 明石海峡大橋の地質縦断面

Fig. 1 Geological profile at Akashi Kaikyo Bridge

層)や鮮新世から洪積層の未固結な砂礫層(明石層)が支持地盤となる。(図-1)

このため、地震時の地盤の非線形性や基礎と地盤の間の動的相互作用が無視できないものとなることから、この効果を取り入れた耐震設計要領が制定された。ここで、「基礎と地盤の動的相互作用」とは、次の2つの概念に大別される。

①有効地震動

地盤上に基礎が存在すると、地盤下方から伝わる地震動を基礎が拘束するため、基礎に入力される地震動は、基礎がないとしたときの自由地表面における地震動とは異なったものとなる。このとき基礎に入力される地震動を、基礎を有効に加振する地震動として有効地震動としている。基礎の拘束の程度は、地盤の物性、基礎の寸法、根入れ深さによる。有効地震動の効果としては、基礎の剛性に比べて十分剛性の低い表層地盤が存在する場合、あるいは基礎の根入れが深い場合、基礎に入力される地震動は小さくなる。特に、地震動の短周期成分の減少が著しくなることが明らかになっている。

②動的復元力

基礎に地震動が入力されることによって基礎は振動するが、そのエネルギーが地下逸散することで振動は減衰する。また、地盤も地震動によって振動する振動体であると考え、その上にある基礎と連成して振動すると考えられる。この基礎と地盤の連成振動を考慮した、振動数に依存する復元力を動的復元力としている。動的復元力の効果としては、有効地震動の場合と同様に、基礎の剛性に比べて表層地盤の剛性が十分に低い場合、また、根入れが深い場合、基礎に入力される地震動が小さくなる。

入力地震動については、海洋型の大規模地震を考慮するためマグニチュード8.5程度の地震を考慮していると

ともに、それを補完するため、架橋地点を中心とした半径300km以内のマグニチュード6.0以上の地震活動を、確率論的に評価している。

3. 兵庫県南部地震による影響

1995年1月17日5時46分に発生した兵庫県南部地震は、震源が明石海峡の直下であったため、建設中の明石海峡大橋に大きな地震応答を発生させた。塔頂部に設置されていた速度計では、100kineを越える速度が記録されており、これを加速度に変換した結果、橋軸直角方向成分で約1,100galの最大加速度が得られた。

地震後、直ちに目視点検及び測量調査などが行われた。²⁾

- ①目視点検の結果、既に完成しているアンカレイジや主搭基礎、主搭本体やケーブルなどの橋梁本体には損傷はみられなかった。
- ②測量調査の結果、1A、2Pが略北東方向に約80cm、3Pが略西北西方向に約50cm、4Aが略西南西方向に約50cm変位した。この結果、中央径間長が約80cm、淡路側側径間長が約30cmそれぞれ長くなった。これらの相対変位は、その後実施された広域的な測量結果及び海底地盤調査の結果から、基礎が設置された地盤そのものが移動したために生じた結果と確認された。(図-2)
- さらに、1Aと4Aを結ぶ橋軸線から2Pは橋軸直角方向東側に約20cm、3Pは西側に約40cmそれぞれずれを生じた。
- ③詳細点検として、主搭基礎工事中から基礎位置において計測していた基礎地盤の沈下量について、スライディングマイクロメーターを用いた計測を行ったところ、2P基礎地盤において約20mmの沈下を確認した。

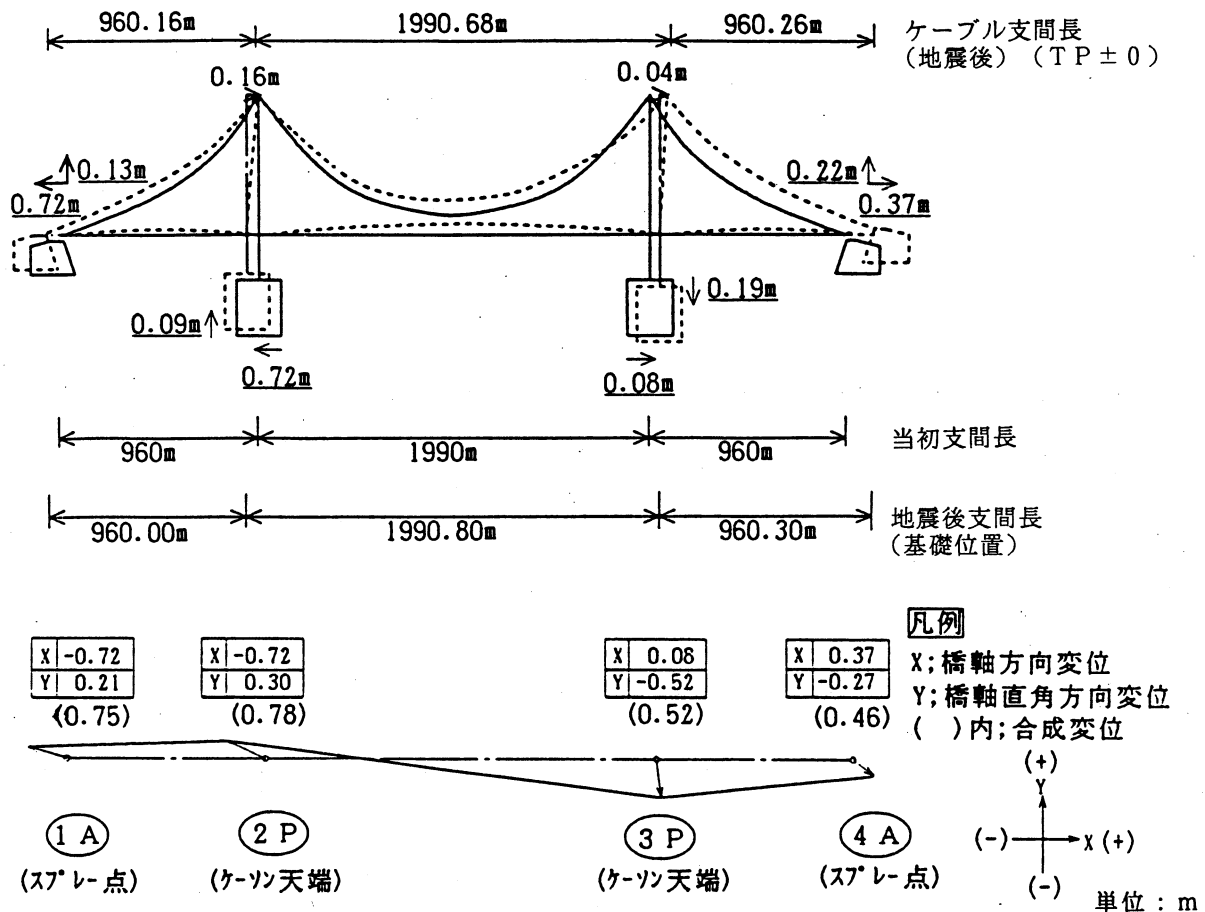


図-2 明石海峡大橋の変位

Fig. 2 Displacement of the Akashi Kaikyo Bridge

上記の点検・調査結果から、基礎の変位に伴って新たに発生する付加応力とその対応について検討を行った。

計画完成形状に対して、下部工の変位を強制変位として与えた全体解析を実施した。次にその結果を用いて、ケーブル、主塔基部などについての応力照査を行った。

その結果、ケーブル、主塔基部、塔頂サドル部などに対する付加応力はいずれも許容値以内であり、問題はなかった。ただし、基礎の変位に伴う橋長の変化など、吊橋形状の変更に対しては、中央径間2パネルで80cm、淡路側側径間のアンカレイジ側端パネルで34cm、補剛桁長を変更するなどの対応を行った。

4. 地震応答解析

直下型大規模地震である兵庫県南部地震による入力地震動は、明石海峡大橋の設計で考慮していた入力地震動の範囲を超えるものであったと考えられた。

このため、地震時の明石海峡大橋の挙動を検証し、その健全性を評価するとともに、完成後の明石海峡大橋の耐震性の資料を得ることを目的として、兵庫県南部地震で観測された地震動を入力した地震応答解析を実施した。

すなわち、2P基礎のみを取り出した2P基礎単独系、地震発生時の架設状態をモデル化した架設系、および完

成後の状態をモデル化した完成系に対して全体系応答解析を実施した。本報文では、このうち2P基礎単独系の地震応答解析について報告する。

また、解析に用いる入力地震動については、本橋で観測された地震動を用いるべきであるが、残念ながら入力された地震動を直接的に推定できる地震記録は得られていない。このため、解析に用いる入力地震動の推定を行った。これらの検討結果について、以下に述べるものとする。

4.1 入力地震動の推定

兵庫県南部地震時に、明石海峡大橋に入力された地震動を推定するために、本橋周辺で観測された記録を用いる方法、断層モデルによる方法、距離減衰式による方法など、各種の推定方法による推定を実施し、その結果を比較検討した。

その結果、基本的には観測記録を用いるのが望ましいと思われたこと、断層モデルによる推定結果は短周期側での精度が落ちることなどから、入力地震動の推定方法としては観測記録を用いる方法とした。採用する観測記録としては、最大加速度が記録されていること、2P基礎の基礎地盤と観測地点の地質状況が似ていることなどから、神戸海洋気象台（以下JMA神戸とする）の観測

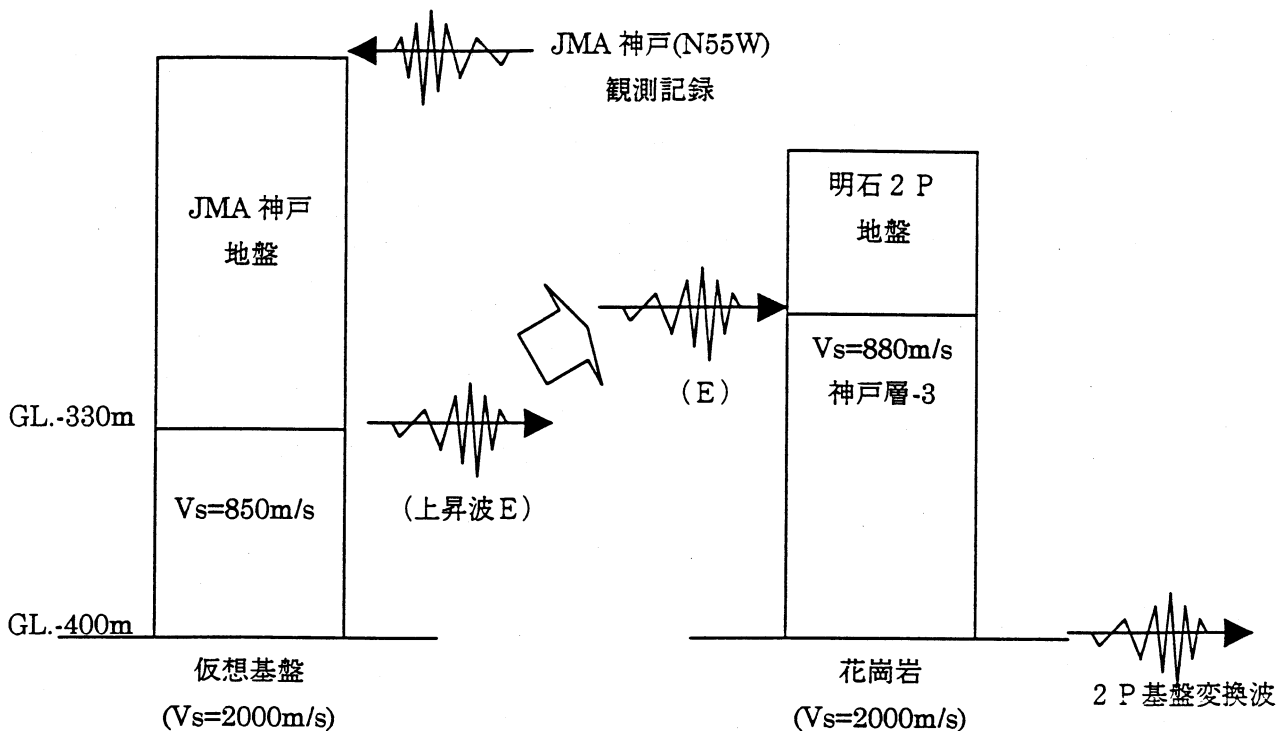


図-3 基盤変換波の推定方法概念図

Fig. 3 Concept of transformation method to wave form at baserock

記録を用いて推定を行うこととした。

その推定方法を以下に、その概念図を図-3に示す。

- ① JMA神戸地点において、GL-400mに花崗岩 ($V_s = 2000\text{m/s}$) を仮定した地盤モデルを作成する。
- ② JMA神戸観測波 (N55W)[※]をJMA神戸地表面に照射し、1次元波動伝播解析 (SHAKE) によりJMA神戸地点のボーリング試験で得られている最深部 (GL.-330m, $V_s = 850\text{m/s}$ 層上面)の上昇波を求める。
- ③ ②で得られた上昇波を明石海峡大橋2P地盤の V_s 同等層 (神戸層, $V_s = 880\text{m/s}$) 上面に照射し、明石海峡大橋2P地点FEM基盤 (花崗岩 ($V_s = 2000\text{m/s}$) 上面) 波を求める。

※) 主塔観測記録との比較を行う意味で、入力地震動をよりよく整合させるために水平動については、明石海峡大橋橋軸直角方向に相当するJMA神戸観測波 (N55W) を用いた。

また、鉛直動に関しては、地盤の非線形効果の影響が小さいことが知られているため、気象台地点でのボーリング調査結果をもとに、JMA神戸観測波 (鉛直成分) から仮想基盤上の入力地震動を求めて用いることとした。

推定の結果、得られた基盤変換波の加速度応答スペクトルを図-4に、その地震動波形を図-5に示す。

4.2 修正Ramberg-Osgoodモデル

本解析に用いる地盤モデルについては、地盤のひずみ依存性を考慮した。地盤のひずみ依存性は、応力-ひずみ関係を修正Ramberg-Osgoodモデル (以下、修正R-Oモデル) に適用することにより考慮した。修正R-Oモデ

ルの骨格曲線を次式に、その概念図を図-6に示す。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} (1 + \alpha |\tau|^p) \dots\dots\dots(1)$$

しかし、(1)式はMasing則にのっているために、応力-ひずみ関係は図-6に示すように閉じた形となる。このため、繰り返しせん断が働いても残留ひずみが生じない。3.③に記したとおり、2P基礎地盤に、せん断ひずみの累積によるものと考えられる残留沈下が観測されており、これを解析で再現するため、本解析では修正R-Oモデルの応力-ひずみ関係を以下のように補正し、繰り返しせん断における残留ひずみを考慮した。図-7に修正を加えた応力-ひずみ関係を示す。

$$\text{載荷時と徐荷時} : \gamma = \frac{\tau}{G_0} (1 + \alpha |\tau|^p)$$

$$\text{再載荷時} : \gamma = \frac{\tau}{G_0} (1 + \alpha |\tau|^p)$$

$$\text{ただし } \bar{G}_0 = \frac{G}{F} \dots\dots\dots(2)$$

なお、 F の値については、明石層地盤における既往の非排水繰り返し試験結果を参考にして決定した。

4.3 弾塑性FEM解析

4.1で推定した入力地震動を使って、弾塑性FEM解析を実施した。また、主塔観測記録との比較を行うため、2P主塔をモデル化した。

(1)解析モデル

地盤については、二次元平面ひずみFEMモデルとし、明石海峡大橋の設計地盤定数を初期物性値として与え、

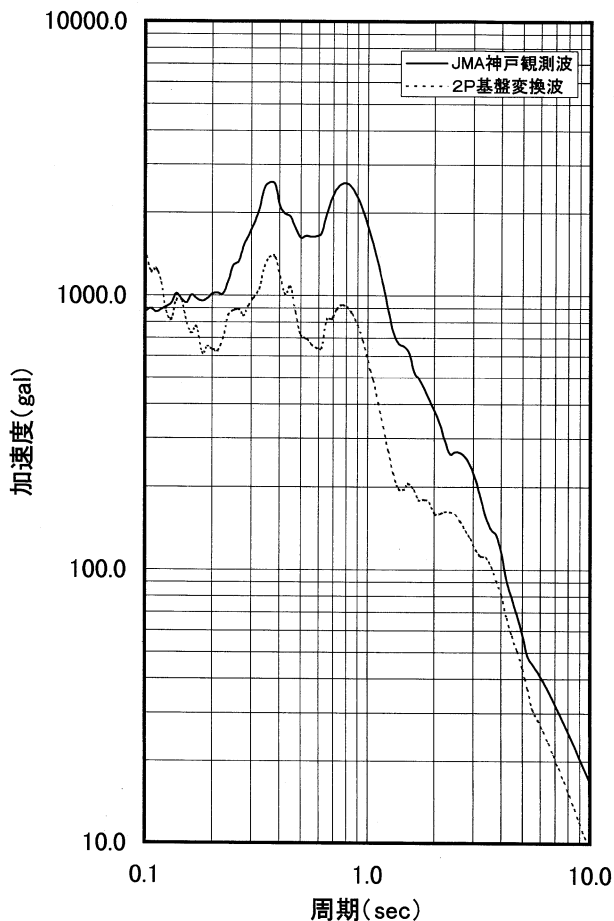


図-4(1) 2P基盤変換波の加速度応答スペクトル(橋軸直角方向)

Fig. 4(1) Acceleration response spectrum of 2P (transverse direction)

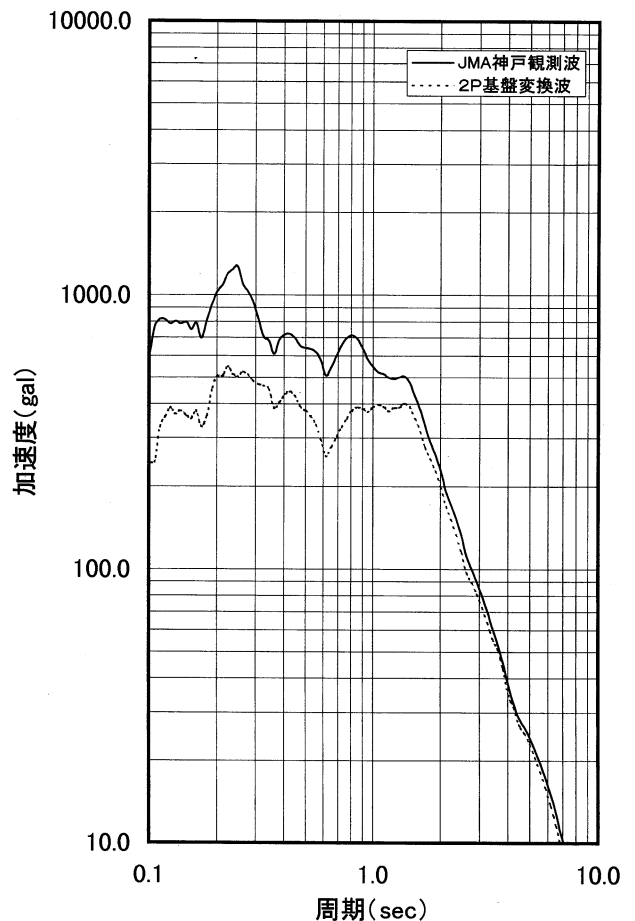


図-4(2) 2P基盤変換波の加速度応答スペクトル(鉛直方向)

Fig. 4(2) Acceleration response spectrum of 2P (vertical direction)

地盤のひずみ依存性は応力-ひずみ関係を修正R-Oモデルに設定することにより考慮した。

地盤モデルの境界条件は、基盤面は固定境界、側方は粘性境界と設定した。また基礎は剛体と仮定し、基礎重量を基礎重心位置に集中させたモデルとし、基礎・地盤間には剥離を考慮した非線形ばね (joint要素) を設定した。ただし、基礎側面については、地盤のせん断弾性係数より求まる弾性ばねで考慮し、基礎底面については剛ばねで考慮した。

モデル化した主塔の東西の塔頂部には、ケーブルの影響を考慮するために、1420tの質量を付加した。付加質量の値は、兵庫県南部地震時の主塔観測記録において、自由振動の卓越している区間のフーリエスペクトルより得られた、橋軸直角方向の固有振動数に合わせた値である。

図-8に解析モデルを、表-1に解析条件を示す。

(2)解析結果

1) 主塔応答値の比較

主塔応答値の解析結果と主塔観測記録との比較として、図-9~11に塔頂及び塔腹の速度波形図、速度フーリエスペクトル図、加速度応答スペクトル図を示す。解析結果は、観測記録に比べて最大振幅値は若干大きめの値となっているが、定性的には良い相関を示している。特に塔腹部では、振幅量、振動

数特性ともに良く再現出来ていると考えられる。観測値と解析結果の時間的な整合はとれていないが、振幅量、周期特性の相関などの結果から、推定した入力地震動は妥当であったものと考えられる。

2) 基礎地盤の地震終了時沈下量の比較

基礎地盤の地震終了時の沈下量の比較として、観測値と解析値との比較結果を図-12に示す。観測値に対して解析結果は、明石層では定性的、定量的に良い相関が得られている。しかし、神戸層においては十分な評価は出来なかった。

3) 地震時安定計算結果

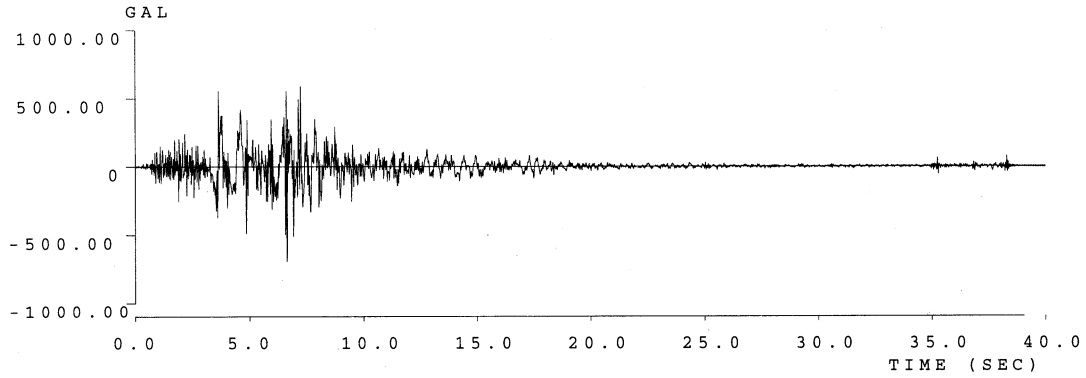
表-2に地震時安定計算結果を示す。この結果より、兵庫県南部地震時における2P主塔基礎の安定性は確認された。

(3)考察

兵庫県南部地震時の明石海峡大橋の挙動を検証し、その健全性を評価するために、本橋に入力された地震動を推定し、それを用いて2P基礎単独系の弾塑性FEM解析を実施して、観測結果と比較した。

この結果、主塔の応答など観測記録を比較的良く再現できたことから、神戸海洋気象台の観測記録から推定した入力地震動は妥当なものであった。また、2P主塔基礎の安定性についても確認できた。

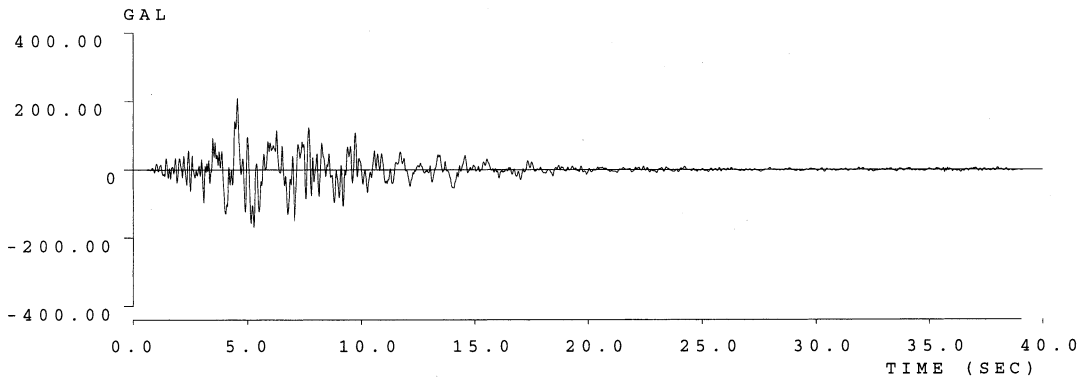
MAX. 693.91 GAL (T = 6.78 SEC) N = 2048 DT = 0.020 SEC



図一5(1) 2P基盤変換波の地震動波形図(橋軸直角方向)

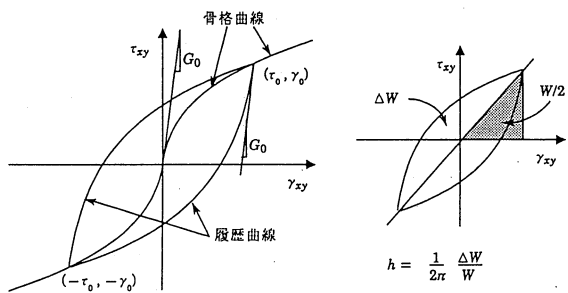
Fig. 5(1) Seismic wave form of 2P (transverse direction)

MAX. 208.48 GAL (T = 4.66 SEC) N = 2048 DT = 0.020 SEC

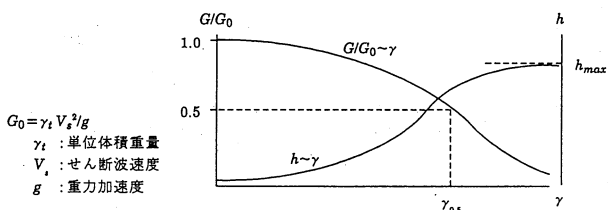


図一5(2) 2P基盤変換波の地震動波形図(鉛直方向)

Fig. 5(2) Seismic wave form of 2P (vertical direction)



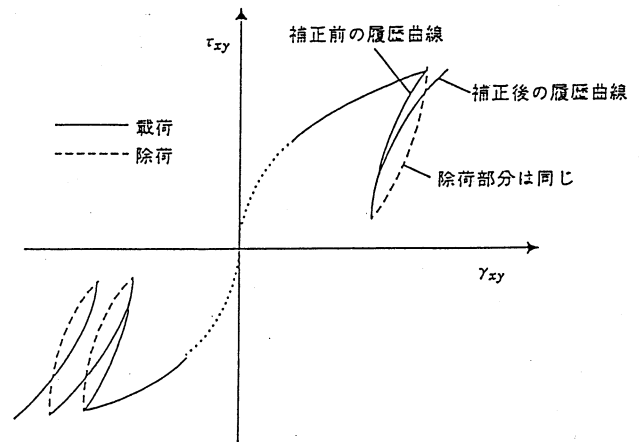
(a) 応力-ひずみ関係と減衰定数 h



(b) $G/G_0 \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係とパラメータ $\gamma_{0.5}$, h_{max}

図一6 修正R-Oモデルの概念図

Fig. 6 Concept of modified R-O model



図一7 補正後の応力-ひずみ関係図

Fig. 7 Relationship of stress and strain after calibration

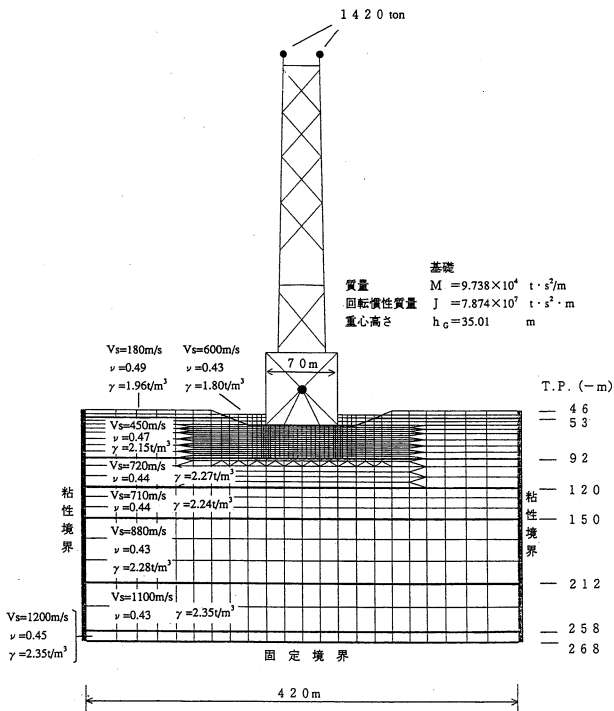


図-8 解析モデル図

Fig. 8 Analytical model

表-1 解析条件一覧表

Tab. 1 Summary of analytical conditions

入力地震動	水平、上下同時入力
解析時間	20秒
積分間隔	0.005秒
地盤モデル	修正Ramberg-Osgoodモデル
基礎-地盤間	側面 弾性ばねにより剥離を考慮 底面 剛ばねにより剥離を考慮

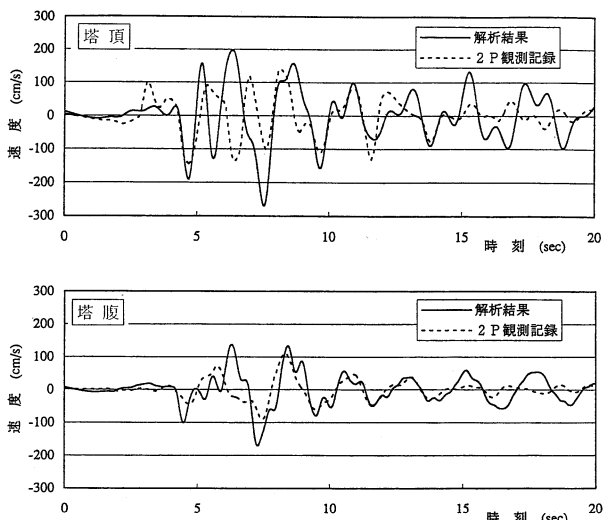


図-9 主塔観測記録との比較図(速度波形図)

Fig. 9 Comparison of observed data at tower (velocity wave form)

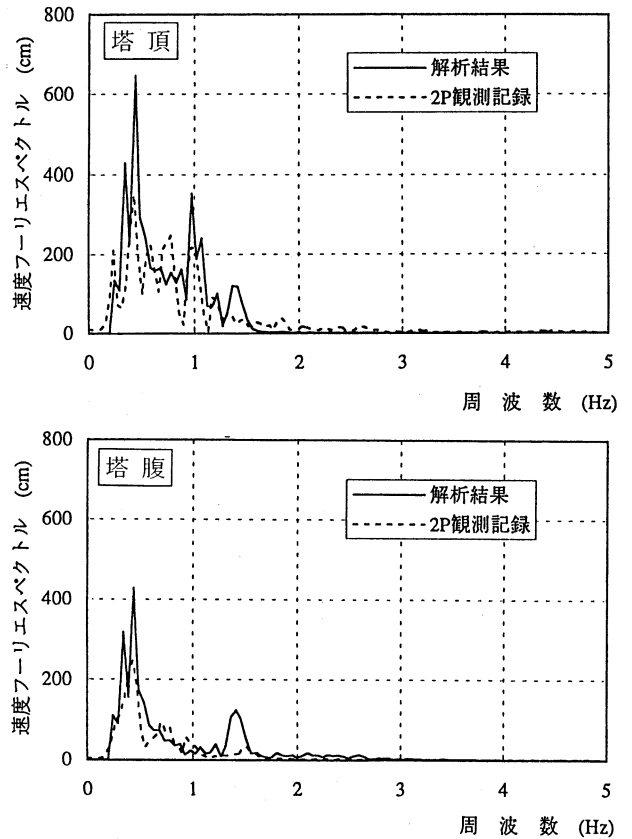


図-10 主塔観測記録との比較図(フーリエスペクトル図)

Fig. 10 Comparison of observed data at tower (Fourier spectrum)

表-2 地震時安定計算結果一覧表

Tab. 2 Summary of stability calculation for earthquake

項目		完成系 (設計値)	弾塑性 FEM解析	備考
固有周期	1次 T_1 (sec)	1.01		
	2次 T_2 (sec)	0.35		
減衰定数	1次 h_1 (%)	8.88		
	2次 h_2 (%)	46.35		
ロッキング中心	1次 l_1 (m)	55.98		重心から下向きを正
	2次 l_2 (m)	-17.80		
応答変位	天端 U_c (cm)	4.72		弾塑性FEM解析の応答変位は、基礎との相対変位
	重心 U_G (cm)	2.92	15.2	
	底面 U_B (cm)	1.42		
	回転 θ (rad)	5.46×10^{-4}	1.50×10^{-3}	
重心位置水平加速度 (gal)		150	394	
底面諸力	鉛直力 N_B (t)	604,448	680,947	弾塑性FEM解析の底面諸力は、モーメント最大時
	水平力 H_B (t)	134,592	194,395	
	モーメント M_B (t·m)	7,069,802	11,579,971	
底面諸力	偏心量 e (m)	11.7	17.0	
	荷重傾斜角 θ (°)	12.6	15.9	
	有効荷重幅 B' (m)	50.1	35.6	
	有効荷重面積 A' (m ²)	3,308.4	2,162.4	
支持	接地面積 A'' (m ²)	5,026.5	3,435.4	
	極限支持力 Q_u (t)	1,937,317	1,134,596	
滑動	支持安全率 $F_{SB} = Q_u / N_B$	3.21	1.67	≥ 2.0
	せん断抵抗力 H_u (t)	604,315	390,542	
	滑動安全率 $F_{SS} = H_u / H_B$	4.49	2.01	≥ 1.2
偏心率 $d = (B/2 - e) / B$		0.354	0.288	

兵庫県南部地震 明石海峡大橋主塔(橋軸直角)
塔頂 加速度応答スペクトル(h=5%)

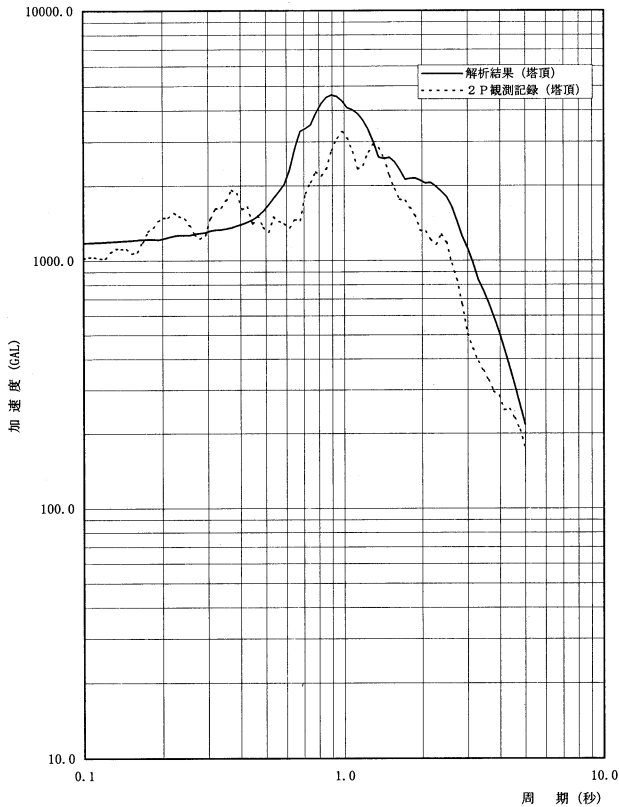


図-11(1) 主塔観測記録との比較図 (加速度応答スペクトル図: 塔頂)

Fig. 11(1) Comparison of observed data at tower (acceleration response spectrum at tower top)

兵庫県南部地震 明石海峡大橋主塔(橋軸直角)
塔腹 加速度応答スペクトル(h=5%)

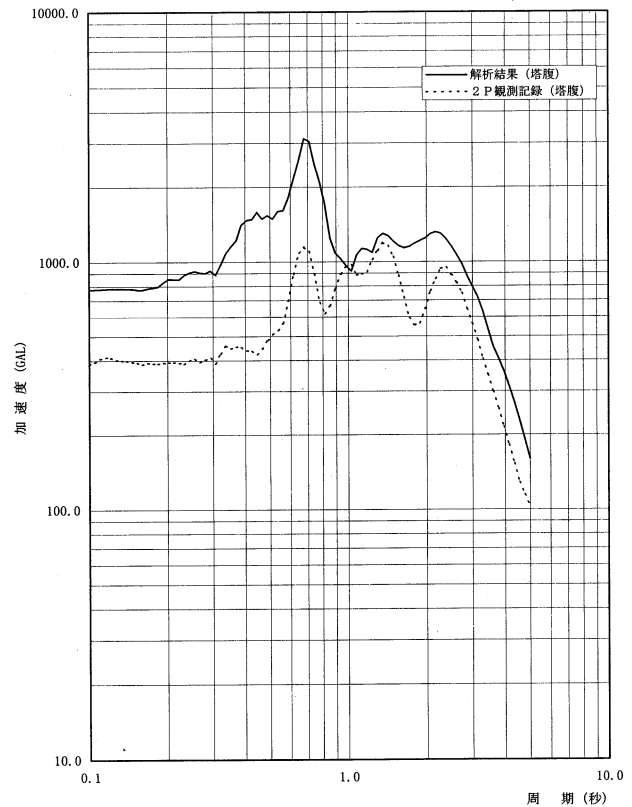


図-11(2) 主塔観測記録との比較図 (加速度応答スペクトル図: 塔腹)

Fig. 11(2) Comparison of observed data at tower (acceleration response spectrum at middle height of tower)

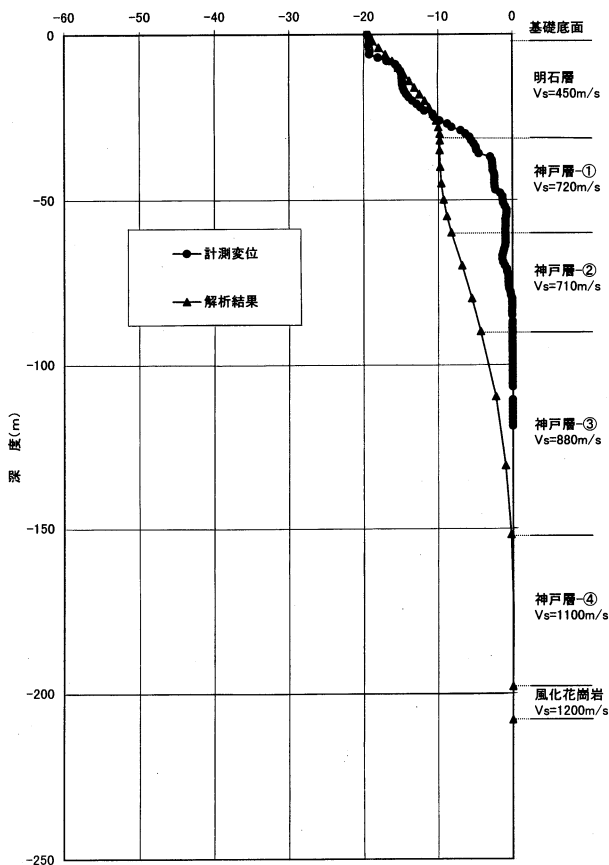


図-12 地震終了時の沈下量比較図

Fig. 12 Comparison of displacement after the earthquake

5. まとめ

明石海峡大橋の耐震設計は、それまでの耐震設計に対して、最新の知見を取り入れた基準として新たに策定された。直下型大規模地震であった兵庫県南部地震による入力地震動は、想定していた入力地震動を越える範囲のものであったと考えられたが、本体構造物に損傷は見られなかった。また、このときの入力地震動を推定して行った地震動解析においても、基礎の安定性は確認された。

しかしながら、上部工を含めた全体系における健全性の評価、および完成後の耐震性などの確認が必要であると考えており、今回の結果をもとにして、架設系および完成系それぞれに対して全体系応答解析を行っている。この結果については別途報告する予定である。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：明石海峡大橋耐震設計要領(案)(昭63.3)
- 2) 本州四国連絡橋公団：兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響調査報告書(平7.8)
- 3) 海洋架橋調査会：本州四国連絡橋の海洋架橋技術に関する調査研究「耐震・基礎委員会報告書」(平9.3)

明石海峡大橋のケーブル防食システム

Corrosion Protection System of Cable of Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局垂水管理事務所
(前)第一建設局垂水工事事務所

橋梁技術課長
第二工事長

下村 稔

Minoru Shimomura

維持施設部
(前)第一建設局垂水工事事務所

維持企画課
第二工事長付

杉山 剛史

Takeshi Sugiyama

企画開発部
(前)第一建設局垂水工事事務所

企画課
第二工事長付

花井 拓

Taku Hanai



概要

明石海峡大橋のケーブル防食システムは、大別してケーブルへの腐食要因(水分)の侵入を防止するラッピングと、これを強制排除する乾燥空気の送気システムからなる。ラッピングシステムは従来のワイヤラッピングに加え、ケーブルの気密性を高めるために、ゴムラッピングを施工した。さらに、除湿・除塩した空気をケーブル内に送り込むことによって、ケーブル内に侵入・滞水した雨水等を強制的に乾燥させる送気システムが本格的に初めて採用された。本文では、明石海峡大橋のラッピングシステム及び乾燥空気送気システムの概要並びに現在施工中である送気システム特性確認試験の中間結果の報告を行う。

The corrosion protection system for the Akashi Kaikyo Bridge consists of the wrapping to prevent water penetration into the cable section and the dried air injection system to eliminate moisture inside the cable section. In addition to the ordinary wire wrapping, the rubber wrapping was employed to heighten water-tightness. Furthermore, the compulsory dehumidifying system was for the first time employed to dry up the penetrated water inside the cable section by injecting dried and desalted air. This paper reports the outline of wrapping system and dry air injection system including the interim results of ongoing performance confirmation test on the injection system.

1. まえがき

明石海峡大橋では、ケーブルの防食システムとして従来のラッピングシステムに加え、各部からの水の侵入を防止するため気密性を高めたゴムラッピングが施される。さらに、除湿、除塩した乾燥空気を送気し、建設中もしくは建設後に侵入、滞水した雨水等を強制的に乾燥させる送気システムが併用される。

この新しい防食システムは、本州四国連絡道路の既存吊橋において1989年以来様々な角度から各種の実験・試験が行われている。本防食システムを全橋にわたり本格的に採用するのは初めてであり、その設計にあたっては、現在までに把握確認された事象等を基に、明石海峡大橋ケーブルを対象に検討した。本稿は、この明石海峡大橋ケーブル防食システムの設計と施工の報告を行うものである。

2. 明石海峡大橋ケーブル防食仕様概要

明石海峡大橋のケーブル防食システムは以下の3システムで構成する。

- ①ラッピングシステム
- ②乾燥空気送気システム
- ③モニタリングシステム

2.1 ラッピングシステム

明石海峡大橋のラッピングシステムは従来の防錆ペースト+ワイヤラッピングの仕様を変更し外部からの水の侵入を防止するためワイヤラッピング上にゴムラッピングを施工した。また、防錆ペーストは、劣化すると水をためる保水体となる問題点があること、送気による空気の流れをさまたげる恐れがあること、の理由により使用しないこととした。図-1にラッピングの仕様を示す。

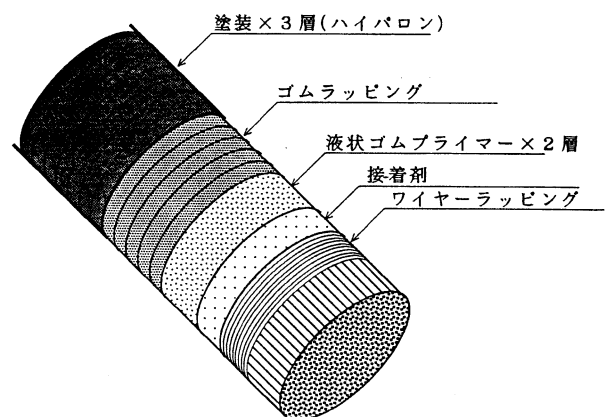


図-1 明石海峡大橋防食仕様

Fig.1 Dimensions of corrosion protection system

2.2 乾燥空気送気システム

除湿、除塩した乾燥空気をケーブル内に送気し、建設中もしくは建設後に侵入、滞水した雨水等を強制的に乾燥させるシステムである。

2.3 モニタリングシステム

ケーブル送・排気カバーに透明のアクリル窓を取付け、素線を定期的に見視観察し、素線の腐食状況を監視する。また、カバー部において、定期的に内部の温湿度測定を行い内部状況を監視する。

3. 乾燥空気送気システムの検討

明石海峡大橋のケーブル防食システムは、吊橋防食検討会の検討結果を踏まえ「明石海峡大橋ケーブル防食仕様（案）」として送気システムを含む防食システムの仕様が示され、これに準じ設計を行うものとした。

ここでは、本システムを明石海峡大橋ケーブル防食に適用するに当たり検討した、乾燥空気送気システム仕様決定に至る経緯を示す。

3.1 送気系統

(1) 送気長

送気長については、まず以下の仮定条件を整理した。

①ケーブル内の状況

ケーブル内の保水量は空隙率の15%とする。(実験より)

②ケーブル内空気流推定式の仮定

$$Q_n = Q (1 - x)^n$$

$$\Delta P = CQ \{1 + (1 - x) + (1 - x)^2 + \dots + (1 - x)^{n-1}\}$$

Q_n : n点での流量

Q : 初期流量

x : 単位長さあたりの漏洩率

(既往橋梁の実験では、 $x = 0.014$ 。ゴムラッピングを採用した明石海峡大橋ではこれ以下を想定)

ΔP : 送気距離nのときの圧力損失

C : ケーブル径に依存した係数(既往橋梁の実験より)

③送気圧力

既往橋梁の実験結果、コーキング材の耐久力を考慮し、300mmAq以下とする。

④乾燥させるまでの期間

1年(ワイヤの腐食が始まるまでに除湿することを前提とする)

⑤乾燥空気の状態

現地付近の気象条件より、温度20℃、相対湿度18% RH

以上の条件より計算した結果、送気距離は140m以下と決定した。

具体的な送気カバーの取付位置の選定については、前述の送気長に関する検討に加え、次の点に考慮しながら設定した。

①水が最も保水されやすいと想定される中央径間センター付近やアンカレイジ近傍のケーブル傾斜角が水平に近くなる部位は、重点的に乾燥させるために送気長を出来るだけ短くする。

②ケーブルバンド位置及びラッピングワイヤー等の施工を考慮する。

(2) 送気系統

送気系統の検討にあたっては、以下の条件を考慮した。

①配管延長を極力短くする。

②配管径をできるだけ細くする。

③ランニングコストの軽減をはかる。

④設備機器や配管等の送気設備の維持管理性を考慮する。

⑤送気機器(特に送風機)は放熱が考えられるので極力屋外(自然冷却)が望ましい。

以上の条件の下に検討した結果、図-2に示す系統とした。

3.2 配管材料の選定

ケーブル上配管材料は、鋼管と樹脂管について、耐久性、施工性、経済性などの観点から比較検討を実施した。

その結果、ケーブルの挙動に追従できる点、伸縮継手等の構造が複雑でない点、現場での施工の取り扱いが容易である等の点から高密度ポリエチレン管を採用することとした。また、桁内の配管材料については、送気設備機器付近の送気温度が高いことと、桁内の配管支持架台が強固なものであること等からステンレス鋼管とした。さらに、塔内の配管は送気温度による熱の影響は受けるものの紫外線劣化の影響は受けないため、主として消防用のホースを採用することとした。

3.3 送・排気カバー

(1) 送気カバー長

送気カバーは、必要送気量を大きな圧力を必要とすることなく注入でき、十分な気密性を確保できる構造にする必要がある。送気カバーの長さは、カバー内の空気圧が、シール構造の耐力を考え300mmAq以下に押さえら

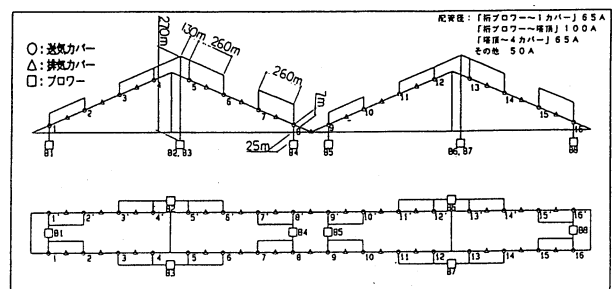


図-2 配管ルート

Fig.2 Piping arrangement

れかつ、十分な送気量を確保できるよう定める必要があった。そこでカバー長の変化による影響を確認するため、1m及び2mのカバーを用いて現場での確認試験を行った。試験結果を図-3に示す。試験の結果、両カバーとも送気流量及び送気圧力もほぼ同じであったが、若干1mのカバーのほうが圧力損失が低い傾向を示した。これについては、因島大橋で同様な試験において同じ傾向の試験結果が得られている。送気カバーについては1mとして設計することとした。

また、排気カバーについては、送気カバーのように大きな空気圧や気密性は求められないものの、将来送気ピッチを延ばして行く場合、送気カバーへの転用を可能とするため送気カバーと同様の構造とした。

(2) 送排気カバー取付位置

外観上目立ちにくい箇所とするため、出来るだけケーブルバンド近傍に取り付けることとした。ケーブルバンド部は一般部に比べ空隙率が低く空気の注入には不利となる恐れがあったが、現地での計測結果によれば、ケーブルバンドから50cm程度離れればほとんどケーブル周長の変化がないことが確認された。また、ケーブルバン

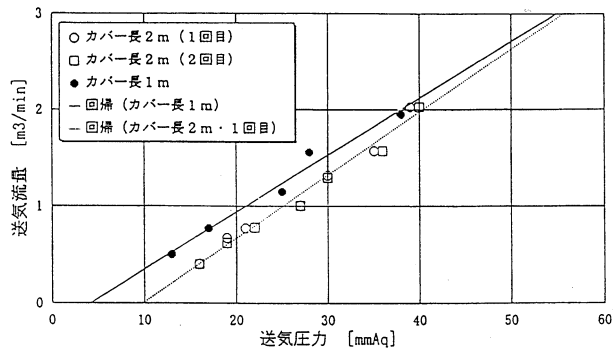


図-3 送気圧力と送気流量との関係

Fig.3 Relation between injection pressure and air flow

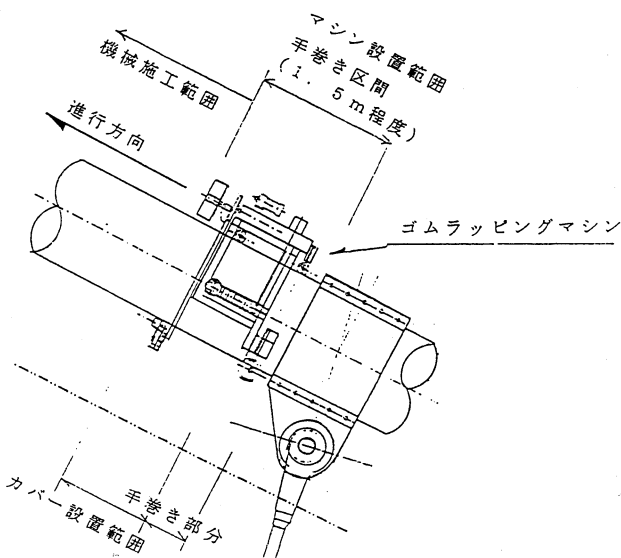


図-4 ゴムラッピングセット位置

Fig.4 Position of rubber wrapping setting

ド端部及び送排気バンド端部には、コーキングを施工するため作業性を考慮するとある程度の離れが必要である。さらに、ゴムラッピングマシンをセットするためには図-4のように、ケーブルバンドから高位置に1.5m程度の幅が必要であり、この区間はゴムの手巻き施工となる。このため、送排気カバーをこの位置とすることによりゴムラッピングの手巻き施工範囲を軽減することが可能となる。よって、送排気カバーの設置位置は、ケーブルバンドから50cm離れた位置とし、ケーブルバンドの高位置とすることとした。

3.4 送気設備

(1) フィルターユニット

鋼材の腐食にとっては塩分は悪影響を及ぼす大きな因子となる。海峡部に設置したブローアから送気を行った場合、海塩粒子を含んだ空気をケーブル内へ供給することとなり、ケーブルの腐食を促進させることとなる。このため、取り込む空気中に存在しケーブルに悪影響を及ぼす因子をフィルターによって取り除く事が必要となる。

このため、大鳴門橋での試験結果を参考としフィルター構成の検討を行った(表-1, 2)。

表-1 各種フィルターの名称と仕様目的

Tab.1 Usage and name of various filters

分類	種類	使用目的	対象となる汚染物質粒子径
粗塵	ラフフィルター	粉塵・埃除去 (一般用)	粗大な汚染粒子 10~20 μm程度
中性能	海塩粒子フィルター	海塩粒子除去 (ビル空調、室内用)	微細な汚染粒子 2 μm程度
吸着	ケミカルフィルター	超微粒ガス除去 (クリーンルームにて使用)	—
高性能	HEPAフィルター	微粒除去 (クリーンルームにて使用)	極微細な汚染粒子 0.3 μm程度
高性能	ULPAフィルター		極微細な汚染粒子 0.1~0.2 μm程度

表-2 フィルター構成の検討

Tab.2 Examination on filter construction

	ケース1	ケース2 (大鳴門橋タイプ)	ケース3
フィルター	ギャラリー	○	○
	ラフフィルター	○ 2層	○ 2層
	海塩粒子	○	○
	ケミカル	—	○
	HEPA ULPA	○ —	○ —
捕集効率	海塩粒子	検出限界以下	検出限界以下
	微少粒子	99.97 (0.3 μm)	99.97 (0.3 μm)
	有害ガス		90%期待 NOx, SOx HCl, HNO ₃

表-2のフィルター構成による比較を行うと次のようになる。

- ①海塩粒子に対する捕集効率は、いずれの場合も検出限界以下で差がない。
- ②海塩粒子を含む微小粒子の捕集効率はHEPAフィルターで99.97%以上(0.3 μ m粒子)に対してULPAフィルターで99.999%以上(0.1 μ m)と高い。
- ③ケミカルフィルターによる微粒ガス捕集効率は、上流側濃度が希薄であるため90%期待のレベルである。また、対象ガスに合わせてケミカルフィルターの種類を選定する必要がある。

上記までの検討結果をもとにケース3からケミカルフィルターを除いたフィルター構成を決定した(図-5)。

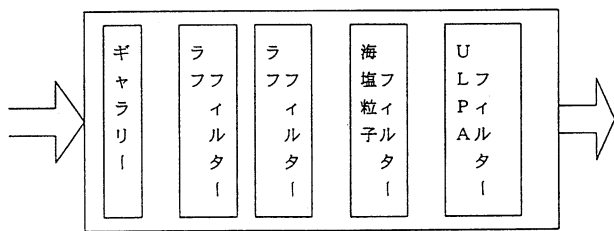


図-5 明石海峡大橋送気システム用フィルター構成

Fig.5 Filter unit for injection system

ケミカルフィルターについては、性能が90%期待というレベルであり、費用対策効果が不明確である点とフィルターの単価が非常に高く、ランニングコストが大幅にUPする(交換は年1回必要)ため採用しないこととした。

(2) 送気設備機器仕様

各送気の実長、配管の圧損抵抗、温度分布等から設備の必要能力を算出し、設備を表-3の仕様とした。

また、送気設備の一般図を図-6に示す。

表-3 送気設備機器仕様

Tab.3 Dimensions of injection device

	橋台前面及び 中央径間中央	主塔部
除湿器	シリカゲルハニカム式(カバー取付仕様) 乾燥空気流量 12 Nm ³ /min 入口 DB20℃ RH80%のとき 出口露点 DP7℃以下	
ブロアー	ルーツブロアー(防音カバーは1A、4A前面のみ) 空気量 12 Nm ³ /min 最大圧力 5750 mmAq 出力 22 kW	ルーツブロアー 空気量 12 Nm ³ /min 最大圧力 6650 mmAq 出力 30 kW
アフタークーラー	空気顕熱交換器 空気量 12 Nm ³ /min 入口温度 130℃ 出口温度 60℃	空気顕熱交換器 空気量 12 Nm ³ /min 入口温度 150℃ 出口温度 60℃

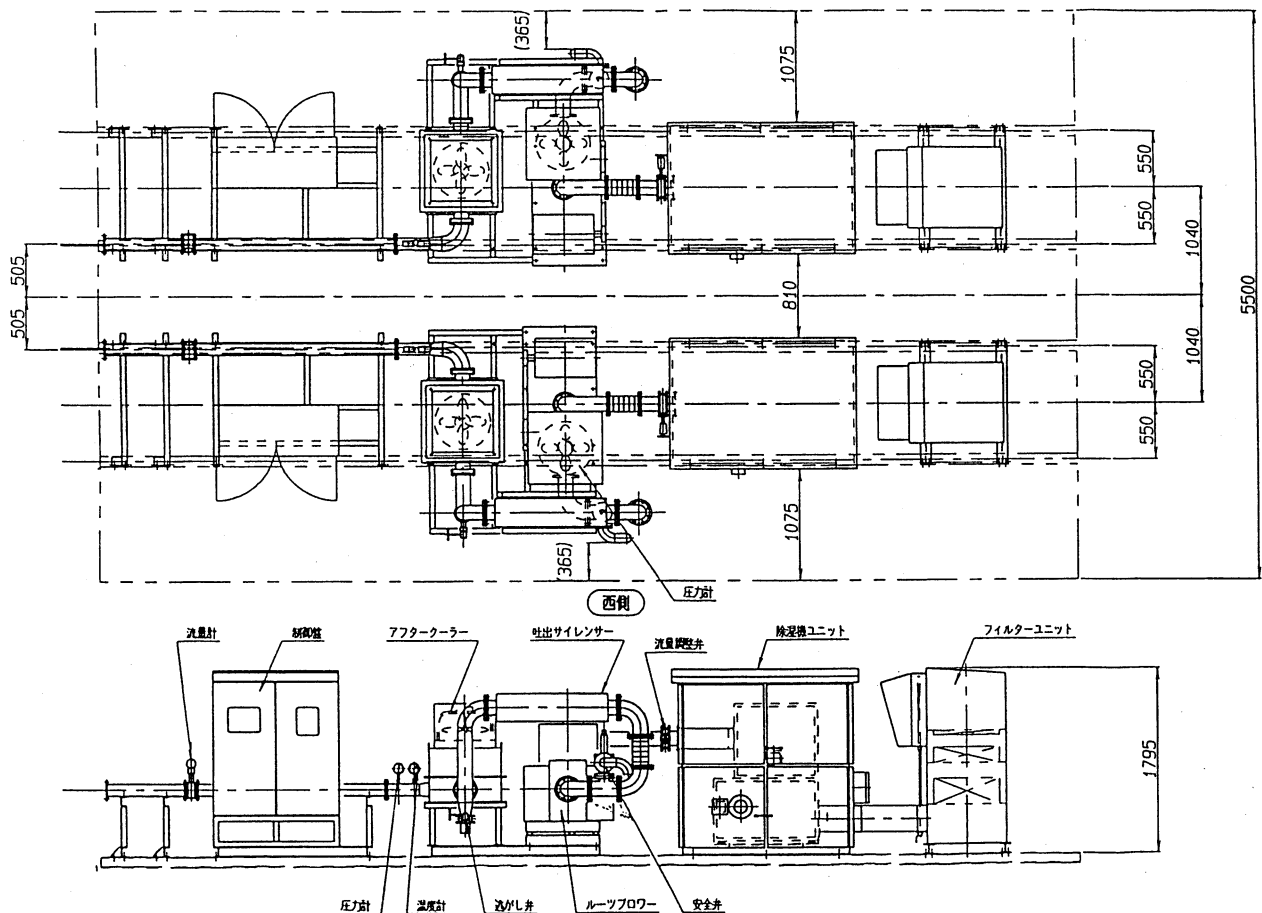


図-6 送気設備一般図

Fig.6 General drawing of injection system

4. 施工概要

ケーブル防食システムの施工は、ケーブルラッピングと乾燥空気送気システムの施工からなる。それぞれの施工手順を図-7に示す。

4.1 ケーブルラッピング

ケーブルラッピングは、①ワイヤーラッピング、②ゴムラッピング、③バンド部コーキング、④ハイパロン塗装からなる。以下に、施工順に従って、施工方法を示す。

(1) ワイヤーラッピング

本橋のワイヤーラッピングは、4台のワイヤーラッピングマシンにより施工した。

ラッピングマシンはガイドフレーム部とロータ部からなり、ロータ部の回転に同調してガイドフレーム上を走行する事によりワイヤーを巻き付ける構造である。巻き付け方向は従来上り勾配の施工であったが、雨水の強制的な排除を目的としてケーブルバンド間の1パネルにお

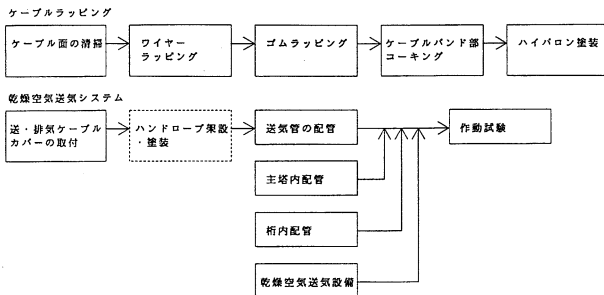


図-7 施工手順図

Fig.7 Work sequence

いて高位置から低位置へ進行した(図-8)。このため、ワイヤーラッピング間に隙間が生じやすくなることが懸念されたが、ロータの走行幅を規定値より狭める事により(規定値8mmに対し7.8mm程度)ワイヤーをラップ気味に巻き付けることにより隙間なく巻き付ける事が出来た(表-4)。また、ラッピング時の導入張力は桁架設に伴うケーブル張力増加分を考慮し、巻き付け張力を250~280kg/本で管理する事とした。

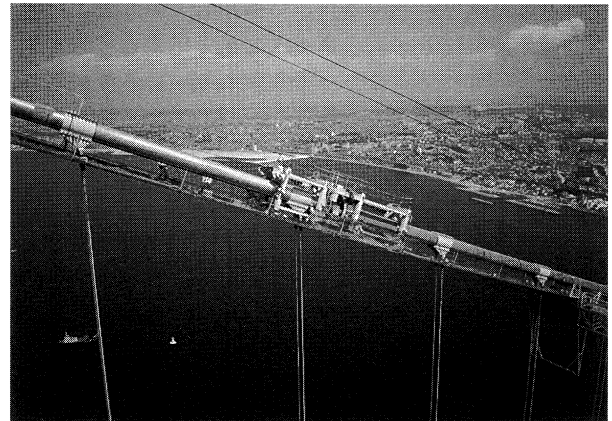


写真-1 ワイヤーラッピング状況

Photo.1 Wire wrapping

表-4 ケーブル1本当たりのワイヤー巻き付け本数

Tab.4 Number of wires coiled per cable

ワイヤー製作の規定値(4.0±0.1mm)からの本数	243.9~256.4本
現場実測本数(8本/径間 全32点の平均)	251.2~255.0本

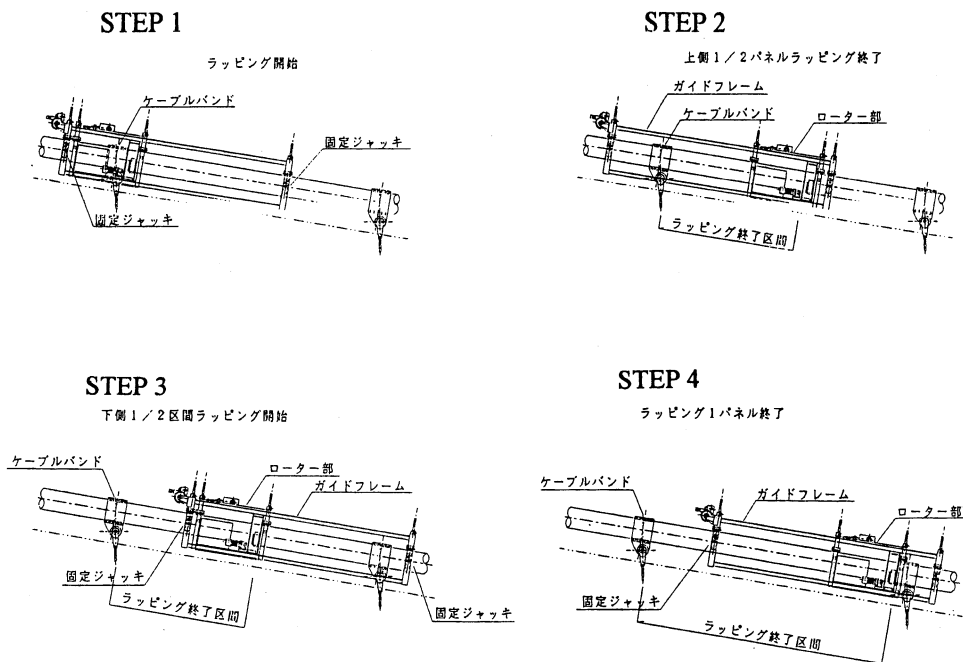


図-8 ワイヤーラッピング施工要領図

Fig.8 Work procedure on wire wrapping

(2) ゴムラッピング

ゴムラッピングは、接着剤（接着剤+液状ゴムプライマー×2回）の塗布と、ラバーテープの巻き付け作業からなる。

ラバーテープ（幅150mm、厚1.6mm、ネオプレン未加硫ゴム）をゴムラッピングマシンにより、ケーブルバンド間の1パネルを低位側から高位側へ、ラバーテープ幅の半分を重ねながら（水勾配に対し順目）巻き付けた。ゴムラッピングマシンは、巻き付けロータ部と走行フレームで構成され、巻き付ける回転に同調し主ケーブル側面部の走行フレームのキャタピラーによって自走する構造となっている。また、計8個の転圧ローラにより、空気の巻き込み防止とゴム同士の接着性を高めている（図-9）。

ゴムラッピングマシンは巻き付け後のラバーテープ上を走行するため、アルミ合金製とし重量の低減を図った（重量600kg/台）。

(3) ケーブルバンド部コーキング

ケーブルバンドは、縦割りに2分割の構造となっており、従来この合わせ面及びバンド端部にコーキングを行い、雨水等の侵入防止を図ってきた。しかしながら、今回のケーブル防食は送気システムを行うため従来のコーキングのみの仕様では、気密性や耐力に問題がある。そのためコーキング構造を2層構造とし、それらの機能向上を図った。気密材に使用されるブチルゴムは、気体透過率が極めて小さい特性を持つ合成ゴムである。

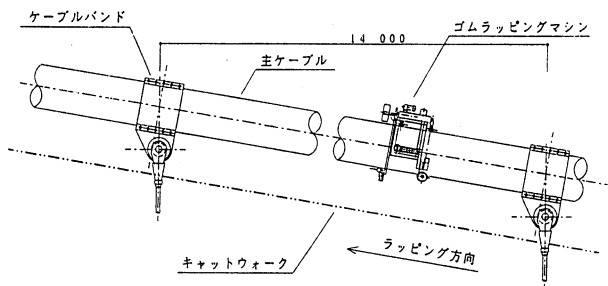


図-9 ゴムラッピング施工要領図

Fig.9 Work procedure on rubber wrapping

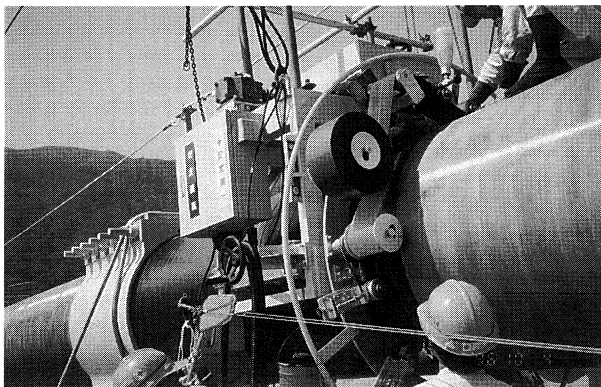


写真-2 ゴムラッピング状況

Photo.2 Rubber wrapping

(4) ハイパロン塗装

ラバーテープの材料であるネオプレンゴムは、耐候性に優れたゴムであるが、さらなる耐候性の向上と美観保持のため、保護膜としてネオプレンゴムと親和性の高いハイパロン塗装を3層塗布した。さらにケーブル上歩行面にはノンスリップ加工を施した。

4.2 乾燥空気送気システムの施工

乾燥空気送気システムは、①送・排気カバーの取付、②送気管配管（主ケーブル上、主塔内、補剛桁内）、③乾燥空気送気設備の設置からなる。

(1) 送・排気カバーの取付

送気用カバーと排気用カバーは、上下2分割になっており（図-10）、現場でボルト締めし、取り付けた。

バンドの合わせ面は発泡ゴムとネオプレンゴムで気密性を保つこととした。カバーの両端部はブチルゴム及び



写真-3 コーキング作業中（ブチルゴム）

Photo.3 Caulking(Butyl rubber)

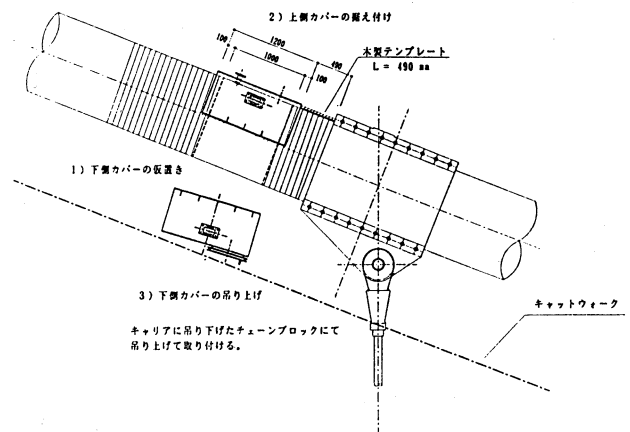


図-10 送・排気カバー取付要領図

Fig.10 Installation of injection and exhaust cover

コーキングにてゴムラッピングとの隙間を埋めた（図-11）。

送・排気カバーの架設後に、小型のプロアーをキャットウォーク上に持ち込み、施工確認を行い（圧力は最大300mmAq、流量は最大3m³/min）、空気漏れ箇所の確認、ゴムラッピングの膨れ箇所の確認を行った。その結果、バンド端部のブチルゴムとバンド合わせ面のゴムの付着が悪かった境界部分より、空気漏れが確認され、コーキングを増し打ちすることで対応した（写真-4）。

また、この施工確認時にゴムラッピングに多数の膨れが確認されたが、これはゴムをドライヤーで加熱し、転圧ローラーで押しつけることによって補修した。

(2) 送気管配管

1) 主ケーブル上配管

主ケーブル上の送気管は、鋼帯外そうポリエチレン管を下段ハンドロープ上にそわせることとした（図-12）。暴風時のたわみ量が大きくなるため、配管を密にハンドロープに固定する必要があり、取付ピッチは1mとした。固定金具については既然大鳴門橋で送気実験に使用して

いる吊り金具を採用した。

2) 主塔内配管

主塔内配管に使用したエアーホースは、主塔内側径間側のケーブルラックに沿って配管し、ダクタークリップによってケーブルラックに留めた。

3) 補剛桁内配管

塔内配管へつながる箇所では、配管場所が桁間管理路と下段部のグレーチング上となり作業足場は、特に不要であった。

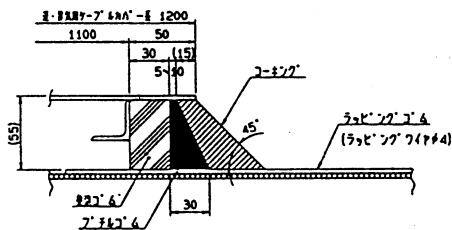


図-11 カバー端部コーキング

Fig.11 Caulking at cover nose

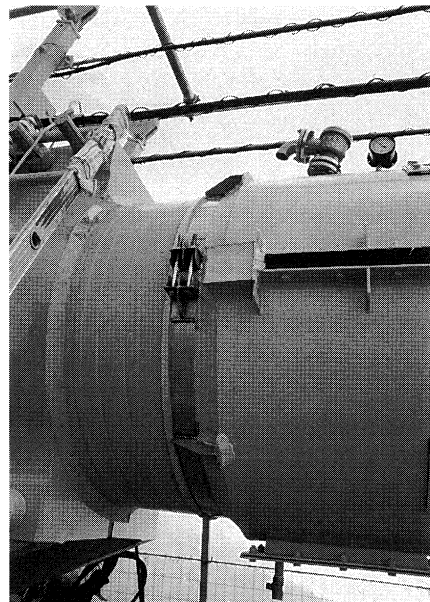


写真-4 カバー端部コーキング増し打ち状況

Photo.4 Overlaid caulking at cover nose

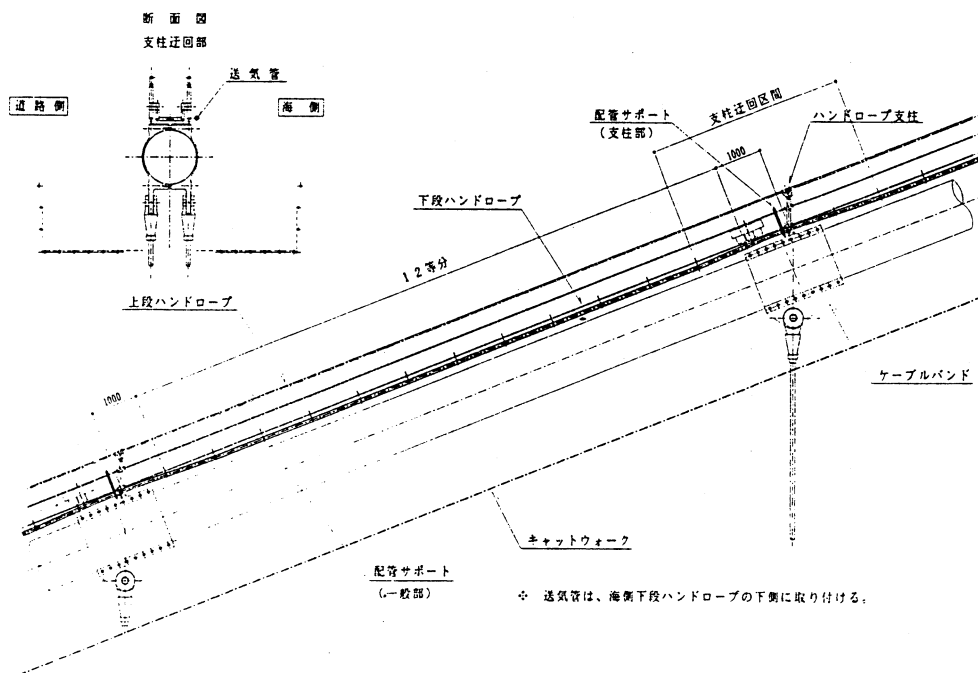


図-12 送気管架設一般図

Fig.12 General drawing of air pipe

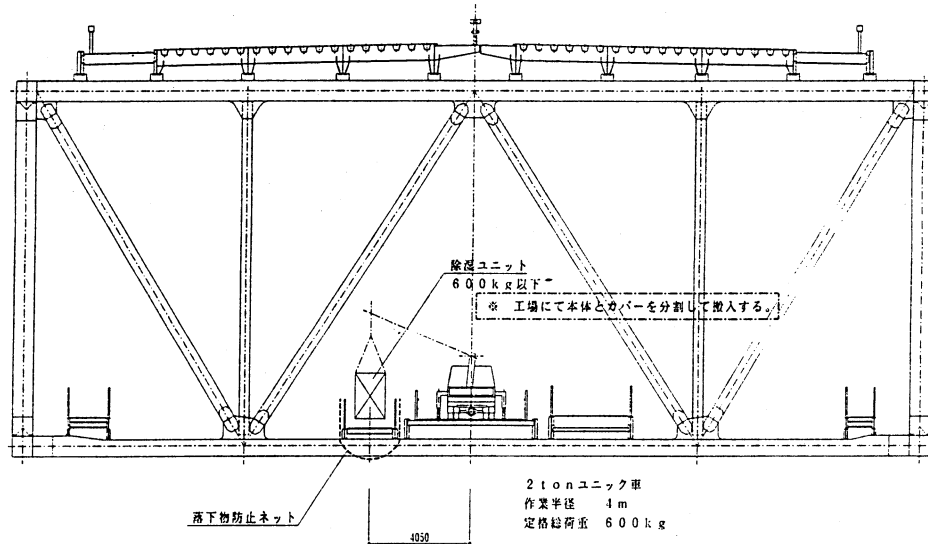


図-13 送気設備据付要領図

Fig.13 Installation procedure of injection device

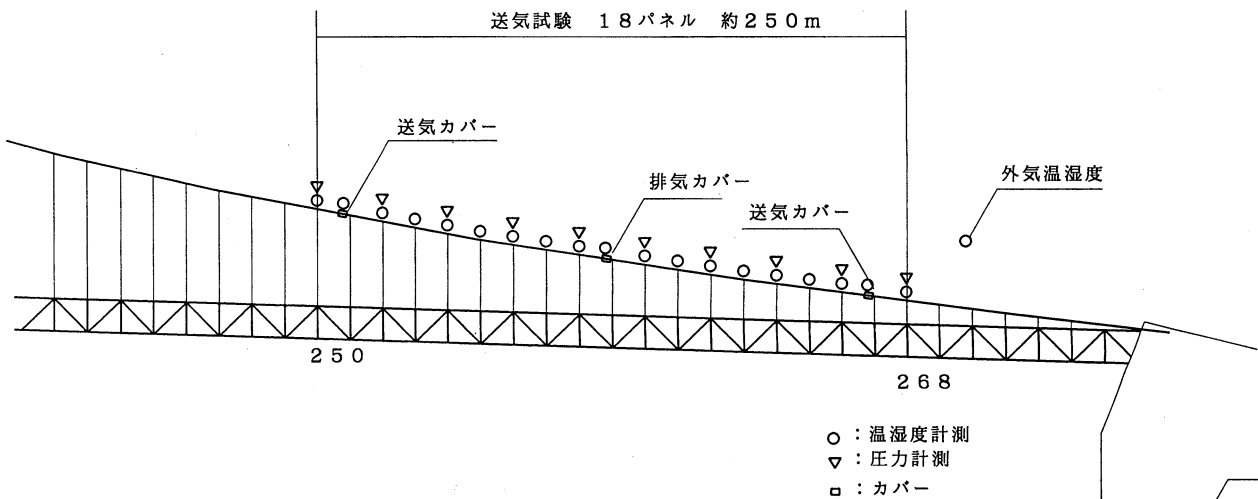


図-14 計測機器配置

Fig.14 Arrangement of measurement instrument

その他の部分の桁内配管では、基本的に外面作業車を使用した。

(3) 乾燥空気送気設備の設置

乾燥空気送気設備は中央幅広管理路より搬入し、ユニック車を使用して架設した(図-13)。

5. 送気システム送気特性確認試験

5.1 試験概要

乾燥空気送気特性の確認を主として、送気システムの運用計画の基礎資料とするため平成9年11月より3ヶ月を目途として特性確認試験を実施した。

確認試験の内容は以下に示すとおりである。

- ①空気漏れ率の確認：圧力計・水頭差による送排気カバー間の圧力変化
- ②送気効果の確認：ケーブル内の温湿度変化

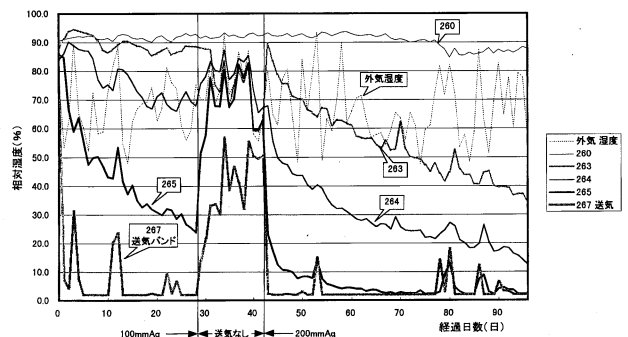


図-15 ケーブル内相対湿度計測結果

Fig.8 Data of measurement on relative humidity inside the cable

③塩分除去性能の確認：塩分測定

④設備機器の運転状況：騒音・振動計測

試験箇所は、3P~4A間の一部区間(西側)を使用

した。
試験の計測機器配置は、図-14のとおりである。

5.2 試験要領

4A橋台側送気設備機器（桁内）より送気を行った。
送気設備は4つの送気カバーへ乾燥空気を供給する設備であるため、温湿度計測等は西側ケーブルのみで行うが、乾燥空気の送気は全てのカバーへ行った。送気設備は昼夜連続運転を実施した。

- ①各送気カバーにおける送気圧力を100mmAq（1/100気圧）となるように、流量・圧力を調整した。
ケーブル延長方向への温湿度変化を、ケーブルバンドに設置したセンサーにて自動計測するとともに、圧力変化による空気漏れ率の確認及びゴムラッピングに不具合が生じていないかを、昼間時目視により確認した。
- ②上記の状態を平成9年12月まで継続したが、ゴムラッピングに不具合が見られず良好な状態であったため、平成10年1月より各送気カバーにおいて送気圧力200mmAq（2/100気圧）となるように設定し、計測を継続した。

5.3 試験結果（速報値）

送気圧力100mmAq～200mmAqでの送風時期における計測結果を図-15に示す。

- ①送気開始前のケーブル内湿度は90%（相対湿度）程度であった。
- ②約2週間で、2～3パネル（距離=28～42m）までの送気効果が見られたが、年末の運転停止期間中に

初期状態となった。

- ③3ヶ月間の送気試験により4パネル（距離=約56m）までの送気効果がみられた。

5.4 塩分除去性能の確認

フィルターユニットによる塩分除去性能の確認計測を11月27日から28日にかけて行った。サンプリングは、フィルターユニット前面付近と除湿冷却後の温度計配管から行った。その結果、温度計配管では計測対象のNa・Clとも定量下限値（計測限界）以下であり、良好な除去性能を有していることが確認された。

6. あとがき

乾燥空気送気システムは、吊橋の重要部材であるケーブルの長期的な防食を図る目的で構想されたシステムであるが、まだ十分理論的に確立されていないものであるため、今後さらに経過を観測していく必要がある。

供用後の連続送気により、送気効果が順次顕れるものと期待する。

最後に本システムの開発にご尽力をいただいた、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吊橋ケーブル防食システム検討報告書 1996年3月 本州四国連絡橋公団
- 2) ケーブル後期工事工事報告書 平成10年3月 本州四国連絡橋公団 第一建設局

コラム

■水中不分離コンクリートの流動実験裏話（失敗は成功のもと）

明石海峡大橋主塔基礎の建設に用いた水中不分離性コンクリートの流動距離は、実験により10m以下（実際の配置は8m程度）に決められました。

このコンクリートの水中流動距離を決定する実験を行うにあたり、型枠の長さ、形状、打設方法を決定する必要がありました。その際に参考にしたのは、某ゼネコンが実施した水中不分離性コンクリートの水中打設実験（長さ20m×幅1m?の矩形型枠を使用）でした。型枠の長さは、「某ゼネコンが20mなら公団は30m」、型枠形状は、直感で「型枠の影響をなすために扇形」と決めました。また打設量は、現地における施工を考慮して「10³程度/時間」としました。

その実験結果は、悲惨なものでした。流動距離15mを過ぎるころからコンクリートがボロボロにひび割れし、流動距離20数mのコンクリートの先端はモルタルばかりでした。

この実験の結果、コンクリートを遠くまで流動させるためには、「コンクリートの流動を保持する時間」を規定し、流動距離は「強度低下の比較的少ない10m以下」とすればよいということがわかりました。大規模な実験をし、失敗をした結果の結論です。

(M.K.)

■橋の科学館オープン

明石海峡大橋1A西側に「橋の科学館」がオープンしました。「橋の科学館」は公団が、広く一般の人々に公団事業の社会的、経済的効果について理解と橋梁技術の啓蒙、普及と本四道路の利用促進にも寄与することを目的として設置しました。

この「橋の科学館」では、本州四国連絡道路の概要及び明石海峡大橋、多々羅大橋を始めとする長大橋の建設技術・維持管理技術をパネルや模型を使いわかりやすく紹介しています。

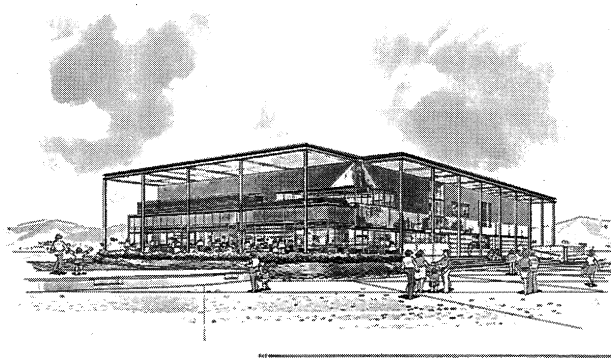
展示されている模型は、大型風洞試験施設で実際に使用された全長40mの大型風洞模型の他、上下部工の施工を再現した模型、塔維持管理用ロボットなどです。

さらに、映像により長大橋架橋技術を分かりやすく説明するとともに、200インチ大型スクリーンを備えたシアターでは、3次元映像により臨場感あふれる映像をお楽しみいただけます。

また、ビデオライブラリー、パソコンコーナーでは利用者が自らQ&A等に参加、体験していただけます。

ぜひ一度「橋の科学館」へお越しください。

(文責：企画開発部調査課長代理 北口雅章)



■明石海峡大橋ハンガーロープの風による振動の制振

明石海峡大橋のハンガーロープが、風により振動する現象が工事中の段階から観測された。振動は、風速が5～10m/s程度の低風速で発生するものと、風速20m/s以上の高風速で発生するものの2種類が見られた。両振動とも振幅・発生頻度からハンガーロープの疲労などの問題はないものと考えられたが、ドライバーの不安感などの二次的な影響を考慮して、制振対策を施した。

低風速側の振動は、塔から31本までのハンガーロープで観測され、発現風速と振動数の関係などから渦励振と判断された。明石海峡大橋のハンガーロープはPE管で被覆されているため表面が平滑であり、また、構造減衰が非常に小さいため、渦励振が発生したものと考えられる。

一方、高風速側の振動が観測されたのは塔付近の長いハンガーロープの一部であり、最も短いハンガーは塔から14本目であった。この振動の特徴として、並列されている2本のハンガーロープのうち下流側のみが振動し、振動モードは2本のケーブル面内が卓越した1～3次の低次モードとなっている。これらの特徴から、並列ケーブルであるがゆえの振動と考えられるが、明石海峡大橋のハンガーロープ間隔は、既存の研究成果を基に並列であることによる振動が生じない範囲で選定しており、既存の見解では明石海峡大橋のこの振動のメカニズムを説明できない。

これらの振動の対策として、並列している2本のハンガーロープを連結する形でダンパーを設置した。写真-1にダンパーの設置状態を示す。

(文責：設計部設計第一課長代理 鳥海隆一)

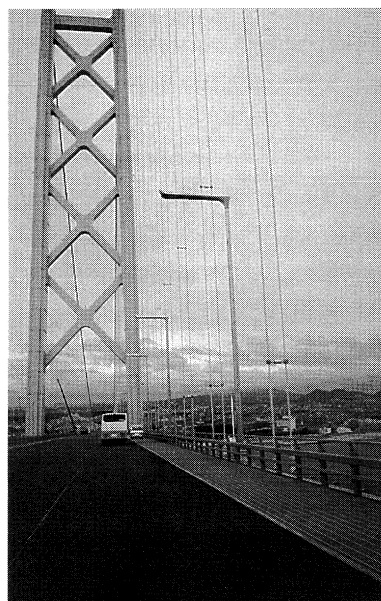


写真-1 ダンパーの設置状態

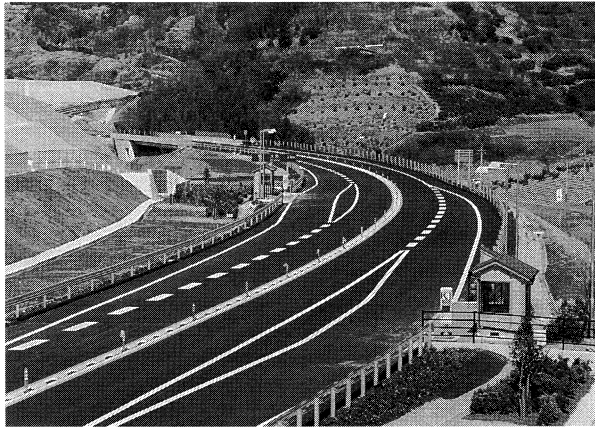
■西瀬戸自動車道 因島北IC・因島南IC間供用開始

西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）の因島北IC～因島南IC間（3.4km）を平成10年4月1日、午前0時に開通する予定である。

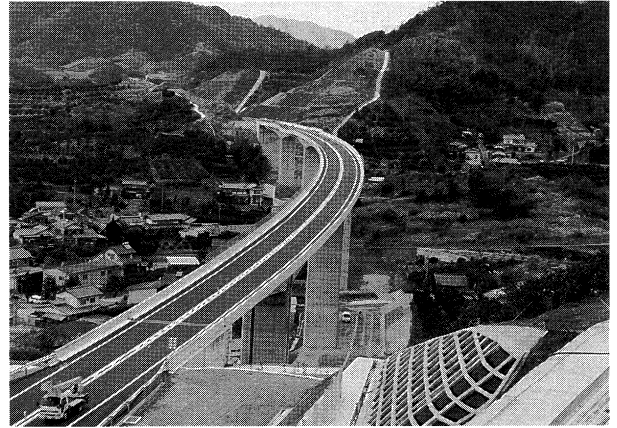
開通に先立ち、3月30日に因島市芸予文化情報センターで工事完成式を、31日には、同区間の市民解放を行う予定である。

当該区間の開通により従来、因島北IC・因島南IC間は県道を経由していたが、同区間の完成により約10分の時間短縮になるとともに、一般道路の渋滞緩和に寄与するものと思われる。

（文責：第一管理局保全部技術管理課長 中元雄治）



重井BS付近



西浦高架橋付近

■新尾道大橋 建設急ピッチ

平成8年9月より現地工事に着手していたが、3月末までに6A（4月完了予定）を除く5基下部工工事を終了した。現在は、上部工製作および側径間の主桁架設を実施中である。

今後、工事ははいよいよ4月から主塔架設、6月から中央径間の主桁架設それぞれ着手し、今年12月には主桁が閉合する予定である。平成11年春の供用に向け急ピッチに工事を進めている。

本橋上部構造の主な特徴は、以下のとおりである。

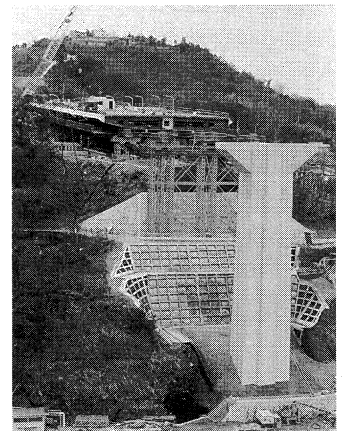
- ・主塔の継手に溶接構造を採用したこと。
- ・ケーブルにPC鋼より線を採用したこと。
- ・主桁内面に無塗装除湿システムを採用したこと。

上部工の架設工法区分を下図に、概略数量を下表に示す。

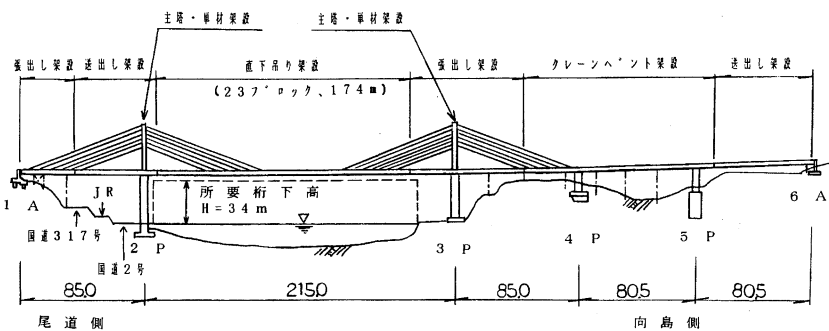
（文責：第一管理局保全部技術管理課長 中元雄治）



尾道側施工状況



向島側施工状況



架設工法区分図

概略数量表

区 分	重 量
主 塔	300ton
鋼 桁	7,050
ケ ー ブ ル	250
総 鋼 重	7,600

■来島大橋補剛桁架設工事いよいよ最終第二大橋に着手

補剛桁工事は、第一大橋では中央径間および3P・4A間の側径間の架設を終え、大島側側径間の架設を平成10年4月までに終える予定である。

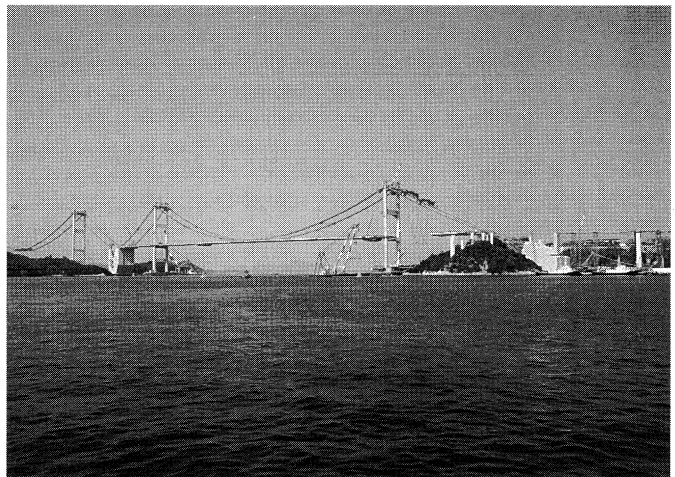
第三大橋は平成10年1月から中央径間の直下吊り架設を開始し3月11日までに終えた。また、今治側側径間にあたる小浦高架橋の大ブロック架設を4月初旬に行う予定である。

3月15日現在の架設ブロック数は、第一大橋26ブロック（全32ブロック）、第三大橋33ブロック（全34ブロック）で、3橋全体の架設進捗率は、約50%である。

なお、航路内における補剛桁直下吊り架設の実績作業時間を下表に示すが、予定の航行制限時間（作業①～⑥≤50分）に対し平均約27分および約35分となり、航行制限時間を短縮し、安全かつ確実に施工することができた。

第二大橋の補剛桁架設は、平成10年3月21日頃から中央径間の直下吊りに着手し、側径間の架設を含め秋頃までに終える予定である。

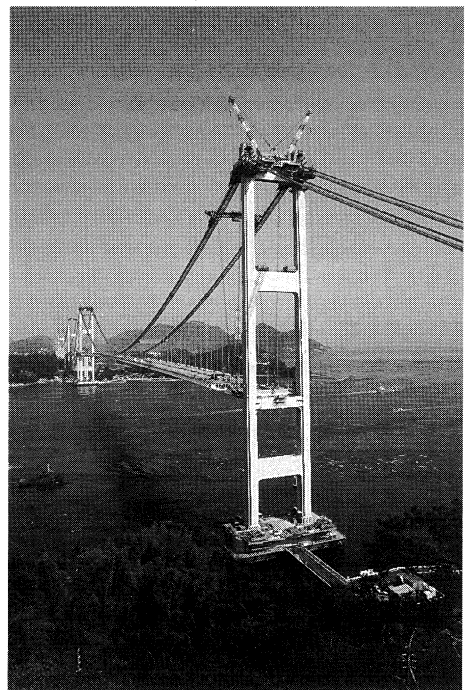
（文責：第一管理局保全部技術管理課長 中元雄治）



来島第一大橋縦取り架設

実績作業時間表

作業項目	第一大橋 (航路内13回)	第三大橋 (航路内25回)
架設作業時間 (①～⑥)	34.2分	26.9分
①. 自航台船進入	(4.4)	(5.9)
②. 定点保持作業	(1.5)	(2.3)
③. 定点保持(フック装着点検まで)	(9.0)	(6.1)
④. 水切り・調整	(6.8)	(2.3)
⑤. 巻上げ(海上25mまで)	(2.8)	(2.6)
⑥. 巻上げ(定着高まで)	(9.7)	(7.7)
ハンガー定着作業時間	33.1分	35.0分
架設ヒンジ連結作業時間	37.2分	36.1分



来島第三大橋直下吊り架設

■西瀬戸自動車道関連道路 建設省施工区間工事順調

西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）は、平成11年春の開通予定である。

現在、各区間ともに土工、橋梁上・下部工工事を順調に進めているが、平成10年3月末現在の進捗状況を以下に示す。

（尾道大橋関連区間）

尾道側の建設省施工（合併・権限代行）区間は、西瀬戸尾道IC～新尾道大橋1A橋台間の約3.0kmである。土工工事の他、高須B・C・Dランプ橋上下部工および山

婆橋上部工を施工中で、進捗率は約65%である。

（来島大橋関連区間）

今治側の建設省施工区間は、今治トンネル～今治南IC間（阿方高架橋の一部は本四公団施工）の約3.2kmである。今治南ICおよび高地地区の土工工事の他、今治トンネル（延長1,138mのうち約770m掘進）、阿方高架橋の上下部工などを施工中で、進捗率は約56%である。

（文責：第一管理局保全部技術管理課長 中元雄治）

明石海峡大橋公表論文一覧表

表 題	執筆者	掲載誌等	発表年月
■一 般			
施工計画(神戸・鳴門ルート)	六車真一	施工技術	1973.01
本四連絡橋の計画調査を振り返って	相良正次	橋梁	1977.07
明石海峡大橋	北川信	橋梁と基礎	1984.08
明石海峡大橋への課題	大橋昭光	本四技報no.35	1985.10
明石へのみち	高橋弘篤	本四技報no.37	1986.01
本四連絡橋の現況—明石海峡大橋の着工にあたって—	住吉幸彦、森章	道路セミナー	1986.05
明石海峡大橋建設の意義	山根孟	高速道路と自動車	1986.08
明石海峡大橋	住吉幸彦	建設業しんこう NO,128	1986.08
「明石」の事業再開にあたって	遠藤武夫	本四技報no.40	1986.10
明石海峡大橋の計画と現況	溝口忠	道路	1987.01
明石海峡大橋	溝口忠	土木学会誌	1987.01
明石海峡大橋の計画と意義	田島照義	コンクリート工学	1987.01
明石海峡大橋の計画	花市頼悟	土木技術	1987.01
明石海峡大橋	加島聰、高澤勤、鈴木幹啓	基礎工	1988.01
明石海峡大橋の建設計画	林義信、高澤勤、鈴木幹啓	セメントコンクリート	1988.04
明石海峡大橋の計画	保田雅彦、岡野哲	橋梁と基礎	1988.08
明石海峡大橋の橋梁計画	保田雅彦、岡野哲	第43回土木学会年次学術講演会	1988.09
ビッグプロジェクト明石海峡大橋	保田雅彦、平原伸幸	土質学会関西支部30周年記念誌	1988.11
明石海峡大橋の計画概要と現況	高嶋勤、宮崎辰夫	橋梁	1989.01
明石海峡大橋	松本弘輝、保田雅彦	土木技術44巻2号	1989.02
着工一年	森本隆也	本四技報no.51	1989.07
本四連絡道路神戸～鳴門ルートの建設概要	松本弘輝	建政、(株)建設行政研究会	1989.08
明石海峡大橋の設計と施工	松本弘輝、保田雅彦	Civil Engineering in Japan(英語)	1990.00
明石海峡大橋の設計概要	加島聰、保田雅彦、成井信	橋梁と基礎	1990.01
本四連絡橋の概況—明石海峡大橋、多々羅大橋、来島大橋の現況	肥田木修	土木技術	1992.00
明石海峡大橋	山縣守	JICA研究テスト(英語)	1992.08
明石海峡大橋の架橋技術	荻原浩	明日の兵庫と関西をつくる明石海峡大橋研究会議	1993.01
世界最大の吊橋 明石海峡大橋	辰巳正明	セメントコンクリート	1993.02
世界最大吊橋・明石海峡大橋を支える技術—空間をまたぐ技術大地と結ぶ技術	古屋信明	JACIC情報	1993.04
明石海峡大橋と次の海峡横断プロジェクト	駒田敬一	基礎工	1993.05
明石海峡大橋と関連区間の計画と現況	霜島稜一	基礎工	1993.05
明石海峡大橋の技術	北川信	道路交通経済	1993.07
明石海峡大橋のアンカレッジと塔	保田雅彦、古屋信彦、秦健作	Structural Engineering International(英語)	1993.11
明石海峡大橋における技術開発の一例	古屋信明、大江慎一	第47回建設省技術研究会論文集	1993.11
本四連絡橋工事における計測の一例	古屋信明	第8回建設ロボットシンポジウム論文集	1994.01
瀬戸大橋から明石海峡大橋へ	加島延行	瀬戸内海科学	1994.01
建設中の明石海峡大橋	遠藤武夫、北川信、西野文雄	ASCE Congress and IASS Symposium94(英語)	1994.04
明石海峡大橋の設計と施工に適用したコンピュータ解析	多田和夫、吉田修、山田善一	The 3rd World Congress(英語)	1994.08
明石海峡大橋の実現に向けての技術革新	古屋信明、辰巳正明	イギリス土木学会構造論文集(英語)	1994.08
吊橋の発展について—明石海峡大橋を中心とした日本の経験—	遠藤武夫、多田和夫、大橋治一	Deauville Conference(英語)	1994.10
明石海峡大橋の技術面	佐伯彰一、多田和夫、北川信	ASCE Structures Congress in Boston(英語)	1995.04
明石海峡大橋	藤田和朗	橋梁と基礎	1995.08
明石海峡大橋の設計と施工	保田雅彦	第16回中日技術検討会論文集(英語)	1995.11
明石海峡大橋		日経コンストラクション	1996.00
明石海峡大橋	中山晋一	駒井技報Vol.16	1996.00
明石海峡大橋の計画と架橋の意義—架橋の効果及び設計計画を中心に—	保田雅彦	建設機械	1996.11
大勢が心に秘めたマイブリッジ	北川信、藤原武夫、田邊邦彦	橋梁	1997.01
明石海峡と千鳥の飛翔	田邊邦彦	橋梁	1997.01
明石海峡大橋関連道路工事	安倍保博	土と基礎	1997.08
■下部工(一般)			
直接潜水による海底調査報告	多田浩彦、喜岡直太郎、林泰三	橋梁と基礎	1970.04
海中橋脚の諸問題	相良正次	水工学に関する夏期研修会講義集	1973.08
Aルート下部工	村上憲司	橋梁と基礎	1973.10
明石海峡の海底地形、地質、潮流について	木村洋、高橋幸蔵	橋梁	1976.06
明石海峡における海中防食試験	森本隆也	本四技報no.01	1977.07

海洋の橋梁基礎	奈良平俊彦	基礎工	1978.04
海洋の橋梁基礎	奈良平俊彦	基礎工	1978.04
神戸層水ジェット掘削試験	藍谷武紀	本四技報no.05	1978.07
明石海峡大橋海中基礎の調査概況	奈良平俊彦	本四技報no.15	1981.01
明石海峡大橋舞子沖施工調査	岩屋勝司、土田宝	第14回日本道路会議論文集	1981.10
深いニューマチックケーソンの掘削工法に関する検討	金光宏、野村直茂、大町武司	本四技報no.09	1982.01
深いニューマチックケーソンの掘削工法に関する検討	野村直茂、大町武司	建設の機械化	1983.01
ウォータージェットによる軟岩掘削実験	藍谷武紀、神弘夫、片山修	第33回土木学会年次学術講演会	1983.09
明石海峡大橋松帆沖施工調査	岩屋勝司	基礎工	1984.01
高度システム化による本四明石海峡大橋建設海域の調査	山縣守、神崎正	土木学会誌	1985.09
明石海峡松帆崎周辺の海浜地形変化特性に関する一考察	伊藤進一郎、北川信、宇多高明	第40回土木学会年次学術講演会	1985.09
高度システム化による本四明石海峡大橋建設海域の調査	山縣守、神崎正	土木学会誌	1986.09
明石海峡大橋の施工調査、水理実験	高澤勤、鈴木幹啓、金沢克義	橋梁と基礎	1988.08
明石海峡大橋の基礎—調査と計画—	吉田巖	土木学会論文集	1990.06
海峡内での明石海峡大橋の海中基礎の建設	森本隆也、加島聰、岡田凌太	Strait Crossing(英語)	1990.06
明石海峡大橋の建設が潮流に及ぼす影響の予測について	森本隆也、高澤勤	IABSE Colloquium in Denmark(英語)	1991.05
「明石海峡大橋」下部工の施工	辰巳正明	コンクリートセミナーテキスト	1992.09
250メートル水深での橋脚への夢	吉田巖	基礎工	1993.05
土留め工の施工(鋼管柱列杭とアースアンカー)	金成猛 田中修市 中岡史男	基礎工	1993.05
明石海峡大橋基礎工の機械設備	坂本光重	基礎工	1993.05
明石海峡大橋下部工の設計	吉田好孝、那須清吾	基礎工	1993.05
明石海峡大橋基礎の変位測定の詳細とその評価	山縣守、新田、A、山本茂樹	Rock Foundation(英語)	1995.09
明石海峡大橋プレキャストパネルの設計・施工	那須清吾、齊藤哲男	本四技報no.76	1995.10
地盤工学会技術業績賞を受賞して	加島聰	土と基礎	1997.08

■下部工(アンカレイジ)

明石海峡大橋ケーブルアンカーフレームの設計と製作	辰巳正明	鉄構技術	1933.04
明石海峡大橋4A土留め・止水壁の計画と設計	阿部明弘 栗原敏弘	基礎工	1990.11
明石海峡大橋1A止水壁	佐野幸洋	基礎工	1990.11
明石海峡大橋アンカレイジにおける低発熱型高強度コンクリートによる地下連	加島聰、佐野幸洋、酒井和吉	コンクリート工学	1991.04
明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎の設計・施工(その1)	加島聰、佐野幸洋	本四技報no.59	1991.07
明石海峡大橋1A地下連続壁コンクリートの設計と施工	佐野幸洋	基礎工	1991.08
明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎の設計・施工(その2)	加島聰、佐野幸洋	本四技報no.60	1991.10
明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎—地下連続壁工事—	古屋信明、山岡禮三、船越敦	土木技術	1992.02
明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎の施工	越野勝	土木施工	1992.02
明石海峡大橋1Aアンカレイジにおける大型厚土留め連続の設計と施工	加島聰、古屋信明、佐野幸洋	土木学会論文集	1992.03
明石海峡大橋4Aアンカレイジ土留工の設計と施工	有馬勇、末永清冬、村田知司	本四技報no.62	1992.04
低発熱型高強度コンクリートによる地下連続壁工事の施工管理	古屋信明、齊藤哲男、佐野幸洋	第5回土木管理技術懸賞論文入選論文集	1992.05
明石海峡大橋ケーブルアンカーフレームの設計	平野茂、矢野賢晃	本四技報no.63	1992.07
明石海峡大橋4Aアンカレイジ建設工事	村瀬佐太美、有馬勇	土木施工	1992.09
世界最長の吊橋となる明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎の施工	竹内功	土木クォータリーno.98	1993.03
明石海峡大橋ケーブルアンカーフレームの設計と製作	辰巳正明	鉄構技術	1993.04
地下連続壁の施行	船越敦、後藤英夫、竹内均	基礎工	1993.05
明石海峡大橋1A下部工の施工	古屋信明、山岡禮三、船越敦	長大橋下部工の施工技術	1993.06
明石海峡大橋1Aケーブルアンカーフレームについて	糸日谷淑光、河上良明、恒藤恭一	クリモト技報	1993.07
1900m ³ /日を可能にしたアンカレイジの施工 明石海峡大橋	保田雅彦、古屋雅彦、糸日谷淑光	セメントコンクリート	1993.08
明石海峡大橋1Aアンカレイジ基礎における大深度掘削の計測結果とその評価	古屋信明、辰巳正明、齊藤哲男	土木学会論文集	1993.09
巨大アンカレイジをつくる(明石海峡大橋1Aのコンクリート工事を見る)	糸日谷淑光、後藤英夫、十河茂幸	セメントコンクリート	1993.11
明石海峡大橋1A、4Aケーブルアンカーフレーム工事架設報告	糸日谷淑光、有馬勇	本四技報no.69	1994.01
明石海峡大橋1A(神戸側アンカレイジ)の設計	古屋信明、佐野幸洋、糸日谷淑光	橋梁と基礎	1994.03
明石海峡大橋西側アンカレイジの施工	古屋信明、山岡禮二、Boyd C. Paulson Jr.	Journal of Construction Engineering(英語)	1994.06
プレキャストコンクリートパネル工法とパネルの挙動に関する計測結果	有馬勇、中岡史男、池田龍也	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋1A、4Aアンカレイジの施工報告	有馬勇、糸日谷淑光	本四技報no.73	1995.01
長大吊橋アンカレイジの大深度基礎の設計・施工に関する研究	古屋信明		1995.10
明石海峡大橋アンカレイジコンクリート工事における効率化の一例	徳永剛平	第21回日本道路会議論文集	1995.10
PCパネルによるアンカレイジ外面型枠の施工と安全	後藤英夫、河北茂一	第32回全国建設業労働災害防止大会研究発表	1995.10
ビッグプロジェクト技術支援体制(明石海峡大橋1A:大林組)	入江桂史郎	土木施工	1996.08
1A工事の施工と機械設備—舞子側アンカレイジ基礎工事に使用した大型機械	古屋信明、星谷輝雄	建設機械	1996.11
4A工事の施工と機械設備	有馬勇、金成猛、栗林棟一	建設機械	1996.11
明石海峡大橋アンカレイジの上屋計画	徳永剛平、石原和幸	本四技報no.81	1997.01
橋梁基礎の即時沈下予測と室内・原位置試験	龍岡文夫、小高猛司、新田篤志、井上昭生	土と基礎 VOL.45 No.2	1997.02

■下部工(主塔基礎)

明石海峡大橋主塔基礎の地盤変位計測とその評価	那須清吾	不明	不明
------------------------	------	----	----

明石海峡大橋主塔基礎支持地盤の変位特性	山口浩二、山岸一彦、那須清吾	不明(英語)	不明
大型海中構造物の抗力係数に関する検討	奈良平俊彦、加島聰、渡部洋八郎	第34回土木学会年次学術講演会	1979.09
明石海峡大橋主塔基礎の施工法検討	奈良平俊彦、加島聰	本四技報no. 16	1981.04
明石海峡大橋主塔基礎施工調査	岩屋勝司、土田宝、植村和宏	本四技報no. 34	1985.07
構造物の吃水及び潮流迎角が抗力係数に及ぼす影響	北川信、今井貫爾、利徳吉彦	第40回土木学会年次学術講演会	1985.09
大水深・強潮流下における大型海上作業足場の挙動について(1)	青木俊彦、百崎和博、鈴木明人	大成建設技術研究所報no. 20	1987.12
明石海峡大橋主塔基礎の調査と設計	山田勝彦	基礎工	1988.09
明石海峡大橋現地水理実験	高澤勲、樋口康三	第42回建設省技術研究会	1988.10
強潮流下における大型構造物の建設に当たっての事前掘削の効果に関する実験	加島聰、高澤勲、阿部明弘	土木学会海洋開発シンポジウム	1988.11
明石海峡大橋2P・3Pケーソン設計・製作	鈴木幹啓、佐々木雅敏、鳥海隆一	本四技報no. 51	1989.07
明石海峡大橋2P鋼ケーソン製作及び設置	坂本光重、樋口康三、佐々木雅敏	橋梁	1989.09
明石海峡大橋主塔基礎の設計(第一報)	保田雅彦、鈴木幹啓、樋口康三	本四技報no. 52	1989.10
明石海峡大橋主塔基礎(鋼ケーソンの沈設)	加島聰、坂本光重、樋口康三	基礎工	1989.10
明石海峡大橋主塔基礎のケーソン沈設	加島聰、坂本光重、樋口康三	建設の機械化	1989.10
明石海峡大橋鋼ケーソン沈設設備	坂本光重、藤原洋一、広田照次	本四技報no. 53	1990.01
明石海峡大橋2P・3P鋼ケーソン設置	高塚正修、佐々木雅敏、北口雅章	本四技報no. 53	1990.01
明石海峡大橋主塔基礎の施工	加島聰、鈴木幹啓、樋口康三	橋梁と基礎	1990.03
明石海峡大橋鋼ケーソンの沈設設備	中沢克彦、坂本光重、牧野康孝	建設電気技術	1990.03
明石海峡大橋鋼ケーソンの沈設設備	中沢克彦、坂本光重、牧野康孝	建設電気技術 NO. 89	1990.03
明石海峡大橋主塔基礎の設計・施工	加島聰、平野茂、岡田凌太	橋梁	1990.11
明石海峡の主塔基礎の巨大鋼ケーソンに使用する自動ロボット化した水中コンクリート施工	加島聰、坂本光重、岡田凌太	建設の自動化に関する国際シンポジウム(ドイツ)(英語)	1991.06
大規模円柱ケーソンに作用する抗力の現地計測	岡田凌太、上田忠夫、中込國喜	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
強潮流下の円柱基礎周辺に係留された作業船の現地動揺特性	岡田凌太、上田忠夫、中込國喜	海岸工学論文集第38巻	1991.11
明石海峡大橋主塔基礎2Pの施工	西谷雅弘	土木施工	1991.12
明石海峡大橋の主塔基礎の完成	佐伯彰一	本四技報no. 62	1992.04
明石海峡大橋主塔基礎の地盤変位計測	那須清吾、吉田好孝、岡田凌太	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
海峡に形成される大規模渦の計測例	岡田凌太、大谷英夫、上野成三	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
明石海峡大橋主塔基礎の地盤変位計測と解析	山縣守、岡田凌太、那須清吾	土と基礎	1993.02
明石海峡大橋の主塔基礎地盤変位の計測と評価(第一報)	山縣守、吉田好孝、岡田凌太	本四技報no. 66	1993.04
明石海峡大橋2P、3P気中コンクリート工事	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	本四技報no. 66	1993.04
主塔基礎気中コンクリートの施工	中平淳	基礎工	1993.05
鋼ケーソンの設計と製作	前田直寛	基礎工	1993.05
鋼ケーソンの曳航と設置	城所靖夫	基礎工	1993.05
明石海峡大橋3P下部工の施工	岡田凌太、中川良隆	長大橋下部工の施工技術	1993.06
明石海峡大橋主塔基礎の地盤変位計測とその評価	那須清吾	月刊 生コンクリート	1993.10
明石海峡大橋主塔の基礎	秦健作、小林義弘	鋼橋塗装	1994.04
極超臨界レイノルズ数領域における円柱構造物後流域大規模渦の水面流況現地観測	河口浩二、石野和男、藤田一郎	水工学論文集第39巻	1995.02
堆積層軟岩を支持層とする大型橋梁基礎の安定照査法	金沢克義、河口浩二、松本修一	ISURUM	1995.09
極超臨界レイノルズ数領域における円柱構造物後流域の大規模渦の水面流況	河口浩二、石野和男	第26回国際水理学会講演会論文集(英語)	1995.09
3P工事の施工と機械設備―海底掘削から気中コンクリート打設まで―	廣田昭次、山田邦興	建設機械	1996.11

■下部工(地質)

本四連絡橋地質調査用ボーリング足場	古閑新也	橋梁と基礎	1972.07
本四連絡橋海底地盤(明石海峡)の調査について	高橋幸蔵、杉田楽	土と基礎	1972.09
地質調査(神戸・鳴門ルート)	越智啓登	施工技術	1973.05
明石海峡大橋における創成2号金剛による海底ボーリング調査について	宮島圭司	橋梁	1973.06
明石層の力学試験	塩井幸武	橋梁と基礎	1973.10
洪積世明石層における地質調査用ケーソンの施工	越智啓登	基礎工	1974.07
神戸層載荷試験	高橋幸蔵、有田稔	本四技報no. 05	1978.07
軟岩の支持力模型実験	加島聰、大橋治一、小泉国士	第33回土木学会年次学術講演会	1978.09
軟岩の変形解析に関する一手法	山田勝彦、加島聰、大橋治一	第33回土木学会年次学術講演会	1978.09
三紀軟岩層(神戸層)での岩盤試験	能戸代、横川巖	基礎工	1979.01
舞子沖地質調査工事報告(その1)	神弘夫	本四技報no. 10	1979.10
舞子沖地質調査の概要	神弘夫、島田喜十郎	橋梁と基礎	1979.12
舞子沖地質調査工事報告(その2)	神弘夫	本四技報no. 17	1981.07
本四連絡橋(神戸～鳴門ルート)の地質調査	宮島圭司	応用地質学の最近の研究	1982.05
舞子沖地質調査工事報告(その3)	神弘夫、岩屋勝司、土田宝	本四技報no. 23	1983.01
傾斜二層地盤の支持力に関する検討	塩井幸武、神弘夫、栗野純孝	本四技報no. 25	1983.07
松帆地質調査	岩屋勝司、土田宝、小林克己	本四技報no. 28	1984.04
神戸層(軟岩)の原位置載荷試験による支持力の簡易推定	栗野純孝、宮島圭司、三宅裕次	第19回土質工学研究発表会	1984.06
明石海峡大橋地質調査の概要	佐伯康二、西垣好彦	地質ニュース	1984.08
明石海峡大橋における支持力の検討について	塚原修	第40回土木学会年次学術講演会	1986.09
明石海峡におけるサンプリング	山縣守、鈴木幹啓、藤原武夫	地質と調査	1987.02
明石砂礫層のサンプリングとその試験結果	山縣守、西垣好彦、能戸代	第22回土質工学研究発表会	1987.06
明石海峡大橋の土質調査と主塔基礎計画	山田勝彦	最近の土質基礎に関する諸問題講習会講演会	1988.07

地盤調査と設計定数—明石海峡大橋地盤調査の考え方—	山田勝彦、高橋幸藏	基礎工	1988.09
大型不攪乱砂礫試料の非排水繰返し三軸試験による変形・強度特性	保田雅彦、山田真一、山下哲郎	土質工学会	1988.12
大型不攪乱砂礫試料の非排水繰返し三軸試験結果の解析	山田勝彦、真鍋進、羽守紀幸	土質工学会	1988.12
明石層砂礫試料の繰返し非排水三軸試験結果の解析	山田勝彦、羽守紀幸、龍岡文夫	第24回土質工学会研究会	1989.06
本四連絡橋の地質調査—明石海峡大橋を例として—	山縣守	基礎工	1990.10
岩盤力学と明石海峡大橋への適用	遠藤武夫、山縣守	Rock Mechanics in Japan(英語)	1991.07
明石海峡大橋の地質地盤	山縣守	基礎工	1993.05
明石海峡大橋塔基礎を支承する軟岩層の歪み特性	那須 清吾	月刊 生コンクリート	1993.10
軟岩の透水特性と水圧破壊強度に関する調査事例	佐野幸洋、山岡禮三、後藤英夫	地下水学会誌	1994.11
明石海峡大橋基礎地盤にある層状の低固結度の堆積岩の地盤調査と地盤モデル	山縣守、高橋幸藏、折原圭二	Int.Seminar in Viet Nam(英語)	1995.00
明石層の大型サンプリングと礫層の力学的性質	加島聰、山本茂樹、高橋幸藏	Rock Foundation(英語)	1995.09
第三紀神戸層のクリープ特性	山縣守、山田勝彦、西垣好彦、村松真一郎	Rock Foundation(英語)	1995.09
■下部工(掘削)			
海底掘削工	池田雅一	基礎工	1930.05
大型グラブ浚渫船による明石海峡大橋橋脚基礎の海底掘削	鈴木幹啓、坂巻秋人	建設の機械化	1989.02
強潮流下における海底掘削—明石海峡大橋主塔基礎掘削工事—	鈴木幹啓、佐々木雅俊、小林一好	基礎工	1989.11
大型グラブ浚渫船による明石海峡大橋橋脚基礎の海底掘削(その2)	鈴木幹啓、高塚正修、坂巻明人	建設の機械化	1990.01
大型グラブ船による橋梁基礎の岩盤掘削の変遷	後藤英一、中川良隆、中林進	土木学会論文集	1991.03
海底掘削の精度管理	佐々木雅敏	第1回技術発表論文集	1991.06
大型グラブ船による大水深・急潮流下での岩盤掘削の高精度化、急速化の研究	鈴木幹啓、後藤英一、中川良隆	土木学会論文集	1993.06
■下部工(洗掘)			
潮流による橋脚周辺部の洗掘特性に関する研究	中川博次、鈴木幸一	第22回海岸工学講演会論文集	1975.11
明石海峡の現地洗掘調査	山田勝彦、岡田哲夫	橋梁と基礎	1976.01
海中基礎と洗掘	藤田秀夫	基礎工	1979.01
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験	加島聰、田中宗博	本四技報no.07	1979.01
強潮流下の洗掘防止工模型実験	奈良平俊彦、加島聰	橋梁と基礎	1980.05
強潮流下の海中橋脚の洗掘防止工模型実験	奈良平俊彦、加島聰、古屋信明	第35回土木学会年次学術講演会	1980.09
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工に関する実験	奈良平俊彦、野村直茂、溝畑進	第34回建設省技術研究会	1980.10
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験	加島聰、古屋信明	本四技報no.14	1980.10
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験(その3)	北川信、森邦久	本四技報no.34	1985.07
強潮流下における構造物周辺の局所洗掘に関する実験的研究	北川信、今井貫爾、小池司	第40回土木学会年次学術講演会	1985.09
海中橋梁基礎の洗掘防止対策	高澤勤、阿部明弘、伊藤進一郎	第41回建設省技術研究会	1987.10
急潮流下における海洋構造物の洗掘防止工の設計	高沢勤、鈴木幹啓、八重田義博	第35回海岸工学講演会論文集	1988.00
潜水円柱の局所洗掘に与える構造物スケールの影響	高澤守、伊藤進一郎、今井貫爾	第43回土木学会年次学術講演会	1988.10
強潮流下における大型構造物用の洗掘防止材料に関する研究	高澤勤、鈴木幹啓、阿部明弘	土木学会海洋開発シンポジウム	1988.11
強潮流下における大型構造物の洗掘防止工に関する研究	高澤勤	博士論文(大阪大学)	1989.08
明石海峡大橋洗掘防止工実験(その4)	高塚正修、佐々木雅敏、土谷政治	本四技報no.52	1989.10
橋脚まわりの流れと洗掘	加島聰	垂水工事	1990.01
底開パージから投入される捨石の出来型予測システム	岡田凌太、土谷政治、今井貫爾	海岸工学論文集第37巻	1990.11
急潮流下海洋構造物の洗掘防止工内の浸透流に関する現地計測	平野茂、坂巻明人、石野和男	海岸工学論文集第37巻	1990.11
明石海峡大橋主塔基礎の洗掘防止対策	高澤勤	第1回技術発表論文集	1991.06
洗掘現象の模型実験による再現性	松本弘輝、高澤勤、今井貫爾	国際水理学会第24回講演会(スペイン)(英語)	1991.09
急潮流下海洋構造物周辺の洗掘防止工内の浸透流特性	那須清吾、石野和男、大谷英夫	第38回海岸工学講演会論文集	1991.11
大規模海洋構造物の洗掘特性に関する研究	岡田凌太、今井貫爾、阪東浩造	NO434 TECHNO-OCEAN92 INTERNATIONAL SYMPOSIUM	1992.10
急潮流下海洋構造物周辺の捨石洗掘防止工に関する研究	岡田凌太、石野和男、後藤英一	土木学会論文集	1993.03
主塔基礎洗掘防止工	中込國喜	基礎工	1993.05
明石海峡大橋2P主塔基礎の洗掘防止工の計画	高澤勤	土と基礎	1994.06
明石海峡大橋主塔基礎の洗掘防止対策	高澤勤	第4回技術発表会	1994.07
■下部工(コンクリート一般)			
超低発熱—海中コンクリート、気中コンクリート—	山田勝彦	第249回コンクリート講演会	1990.02
コンクリート名所案内 明石海峡大橋—超低熱マスコンクリート—	山田勝彦	セラミックス	1990.04
低発熱コンクリート	山田勝彦、新田篤志、二宮仁司	本四技報no.54	1990.04
低発熱コンクリート開発の現状	加島聰 野村直茂	コンクリート工学年次論文報告集	1991.00
明石海峡大橋マスコンクリート温度ひびわれ対策	野村直茂、山岸一彦	基礎工	1991.08
明石海峡大橋の低発熱型コンクリートについて	野村直茂、山岸一彦、森下尊久	第45回建設省技術研究会論文集	1991.10
スラグ微粉末、フライアッシュを多量に用いた低発熱型コンクリートの性質	金沢克義、山田勝彦	Int. Conference in Istanbul(英語)	1992.00
高炉スラグ微粉末フライアッシュを多量に用いた低発熱型コンクリートの性質	金沢克義、山田勝彦、十河茂幸	コンクリート研究会資料	1992.00
明石海峡大橋主塔基礎コンクリートの施工	岡田凌太、梶野茂	橋梁と基礎	1992.02
吊橋主塔の巨大基礎用超低発熱セメント	坂本光重、岡田凌太、井保武寿	Int.Conference On The Concrete Future(英語)	1992.02
スラグ微粉末とフライアッシュを混合した三成分系セメントを用いた地下連続壁	加島聰、古屋信明、山岡禮三	4th Int. Conference (ACI, in Istanbul)(英語)	1992.05

明石海峡大橋主塔基礎 2Pコンクリートプラント船の動揺計測解析	岡田凌太	本四技報no. 64	1992. 10
大型橋梁基礎のコンクリート多品種対応型・大容量コンクリート製造設備—	糸日谷淑光、斉藤哲男、新開千弘	コンクリート工学	1993. 03
低発熱型セメントの開発	金沢克義	基礎工	1993. 05
橋梁基礎用RCCの開発と施工	古屋信明、糸日谷淑光、山鹿正幸	基礎工	1993. 05
最大粗骨材寸法40mmの転圧コンクリートによる橋台基礎の施工	糸日谷淑光、斉藤哲男、後藤英夫	コンクリート工学年次論文報告集	1993. 06
情報化施工によるマスコンクリートの温度ひび割れ制御	村瀬佐太美、有馬勇、中岡史男	第48回土木学会年次学術講演会	1993. 09
骨材水浸冷却によるブレーキング工法の開発	有馬勇、木村信夫、山田隆三	第48回土木学会年次学術講演会	1993. 09
低発熱型コンクリート	那須清吾	月刊生コンクリート	1993. 11
低発熱型コンクリートの温度応力ひび割れ特性	那須清吾	本四技報no. 69	1994. 01
低発熱型コンクリートの耐ひび割れ特性とその評価方法	那須清吾	本四技報no. 70	1994. 04
明石海峡大橋 1Aアンカレイジ基礎中詰コンクリートの施工	糸日谷淑光、斉藤哲男	本四技報no. 72	1994. 10
世界最大の吊橋 明石海峡大橋のコンクリート工事	金沢克義	LOOPno. 2	1995. 06

■下部工(水中コンクリート)

海洋架橋における水中コンクリートの施工計画(明石海峡大橋)	樋口康三、佐々木雅敏、北口雅章	橋梁	1989. 05
明石海峡大橋の水中コンクリート施工計画	加島聰、坂本光重、樋口康三	セメントコンクリート	1989. 06
明石海峡大橋大規模水中コンクリート実験	坂本光重、樋口康三、北口雅章	本四技報no. 51	1989. 07
特殊水中コンクリートの大規模施工実験	北口雅章、坂本光重、樋口康三	土木学会第44回年次学術講演会	1989. 10
コンクリートプラント船「海神」による明石海峡大橋 3P主塔基礎水中コンクリート	平原伸幸、保田雅彦	建設の機械化	1990. 06
水中不分離性コンクリートの練り混ぜ方法に関する研究	中平淳、中川良隆、大友健	水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集	1990. 08
水中不分離性コンクリートの流動性と流動後の品質	加島聰、樋口康三、北口雅章	水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集	1990. 08
水中不分離性コンクリートによる橋梁基礎の合理化施工	加島聰、坂本光重、平野茂	セメントコンクリート	1990. 09
大規模水中構造物に適用する水中不分離性コンクリートの研究	平野茂、中川良隆、中平淳	土木学会論文集	1991. 03
明石海峡大橋 2P・3P主塔基礎特殊水中コンクリートの施工	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	本四技報no. 59	1991. 07
水中不分離コンクリートによる橋梁基礎の大規模施工システムの開発	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	建設の機械化	1991. 08
明石海峡大橋 2P、3P特殊水中コンクリート工事	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	基礎工	1991. 08
明石海峡大橋主塔基礎・特殊水中コンクリートの施工	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	第19回日本道路会論文集	1991. 10
水中不分離性コンクリートの広域層状打込み工法の開発	坂本光重	水中不分離性コンクリートの広域層状打込み工法	1991. 11
大規模海洋コンクリート構造物における水中コンクリートの施工	加島聰、樋口康三、坂本光重	材料	1992. 01
微粉末スラグとフライアッシュを使った低発熱セメントの水中不分離性の適用	加島聰、坂本光重、S. 岡田	Int. Conference in Istanbul(英語)	1992. 05
明石海峡大橋主塔基礎の水中コンクリートの施工	岡田凌太、坂本光重、井保武寿	コンクリート工学	1992. 12
水中コンクリート	中川良隆	コンクリート工学	1993. 03
主塔基礎水中コンクリートの施工	田川寿美	基礎工	1993. 05
水中不分離性コンクリートの開発	樋口康三、加島聰	基礎工	1993. 05
分岐供給システムによる水中分離性コンクリートの施工	坂本光重、山田邦興	コンクリート工学	1994. 03
水中不分離性コンクリートの大規模打設における流動・合流・打継ぎについて	坂本光重、岡田凌太、中平淳	土木学会論文集	1994. 06
2P工場の施工と機械設備—明石海峡大橋 2P下部工工事・水中コンクリート	朝倉義博、木村秀夫、黒田久夫	建設機械	1996. 11

■下部工(高流動コンクリート)

高流動コンクリートの施工例「明石海峡大橋 4Aアンカレイジ基礎工事」	田中健治郎	日本学術振興会建設材料第76委員会	1992. 00
橋梁用マスコンクリートにおける二成分系低発熱型高流動コンクリート開発 1	金沢克義、有馬勇、末永清冬	本四技報no. 62	1992. 04
橋梁用マスコンクリートにおける二成分系低発熱型高流動コンクリート開発 2	有馬勇、末永清冬	本四技報no. 63	1992. 07
二成分系低発熱型高流動コンクリートの基礎物性について	金沢克義、有馬勇、渡部聡	コンクリート工学年次論文報告集	1992. 05
三成分系低発熱セメントを用いた高流動コンクリートの基礎的性質	金沢克義、古屋信明、十河茂幸	コンクリート工学年次論文報告集	1992. 05
三成分系低発熱型高流動コンクリートの基礎物性について	金沢克義、有馬勇、渡辺聡	コンクリート工学年次論文報告集	1992. 05
三成分系低発熱セメントを用いたマスコン用高流動コンクリートの施工性	糸日谷淑光、古屋信明、新開千弘	第47回土木学会年次学術講演会	1992. 09
二成分系低発熱型高流動コンクリートの施工性の検討(1 実験概要)	有馬勇、末永清冬、田中健治郎	第47回土木学会年次学術講演会	1992. 09
高流動コンクリートの開発と施工	有馬勇、佐藤孝一	基礎工	1993. 05
明石海峡大橋 4Aアンカレイジにおける高流動コンクリートの品質	有馬勇、末永清冬、中岡史男	第48回土木学会年次学術講演会	1993. 09
明石海峡大橋の建設用ハイパフォーマンスコンクリートの開発と使用	K. 田中、K. 佐藤、S. 渡辺	不明(英語)	1993. 11
明石海峡大橋アンカレイジのマスコンクリート用高流動コンクリートの開発と適用	古屋信明、糸日谷淑光、有馬勇	ACI Int. Conference(英語)	1994. 00
明石海峡大橋高流動コンクリートの施工概要	保田雅彦、古屋信明、糸日谷淑光	橋梁	1994. 01
自動ゲートバルブによる高流動コンクリートの施工	有馬勇、糸日谷淑光、後藤英夫	コンクリート工学	1994. 03
明石海峡大橋 4Aアンカレイジにおける低発熱型高流動コンクリートの品質管理方法及び品質について	有馬勇、桜井重英	第二回超流動コンクリートに関するシンポジウム	1994. 05
明石海峡大橋 4Aアンカレイジにおける高流動コンクリートの品質	有馬勇、竹口昌弘	コンクリート工学年次論文報告集	1994. 06
高流動コンクリートの製造	佐藤孝一	コンクリート工学	1994. 07
明石海峡大橋 1A・4Aアンカレイジにおける高流動コンクリートの施工	糸日谷淑光、有馬勇	第4回技術発表会	1994. 07
高流動コンクリートの施工—土木構造物—	有馬勇、桜井重英	コンクリート工学	1994. 07
マスコンクリート用高流動コンクリートの品質変動に及ぼす温度及び圧送の影響	糸日谷淑光、斉藤哲男、新開千弘	第49回土木学会年次学術講演会	1994. 09
マスコンクリート用高流動コンクリート設計・施工基準同解説(案)	森下尊久	本四技報no. 73	1995. 01
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	コンクリート工学	1995. 02
高流動コンクリートの施工実績と評価—明石海峡大橋 1A、4Aアンカレイジの施工報告	加島聰、保田雅彦、新田篤志	American Concrete Institute(英文)	1995. 06

■下部工(耐震設計)

大型振動台による下部構造一地盤型の模型実験(その1)	樋口康三	本四技報no.03	1978.01
大型振動台による下部構造一地盤系の模型実験(その2)	樋口康三	本四技報no.04	1978.04
下部構造一地盤系の模型振動実験	樋口康三	橋梁と基礎	1978.07
明石海峡大橋の設計、耐震設計	河口浩二	橋梁と基礎	1988.08
橋梁基礎下砂礫地盤内の地震時ひずみ	山田勝彦、龍岡文夫、真鍋進	第20回土木学会地震工学研究発表会	1989.00
明石海峡大橋の耐震設計	河口浩二	本四技報no.49	1989.01
大型橋梁基礎の地震時変位の予測	山田勝彦、真鍋進、龍岡文夫	第25回土木学会地震工学研究発表会	1990.06
明石海峡大橋の耐震設計用観測システム	保田雅彦、伊豆野和行、中西伸二	世界地震工学会議(マドリッド)(英語)	1992.07
明石海峡大橋の耐震設計に関する2・3のコメント	加島延行	第3回技術発表論文集	1993.07
明石海峡大橋の耐震設計	山本茂樹	第5回技術発表論文集	1995.07
超長大橋梁の基礎に求められる耐震構造	山縣守、田中努	土木学会論文集	1995.09
明石海峡大橋の地震による地盤変位とその対応	森谷俊美	基礎工	1996.10

■兵庫県南部地震

兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響	山縣守、保田雅彦、新田篤志	明石海峡大橋下部工関連技術論文集	1995.00
阪神・淡路大震災と本四連絡道路	神弘夫	道路行政セミナー	1995.04
阪神・淡路大震災と明石海峡大橋	平野茂	高速道路と自動車	1995.07
兵庫県南部地震の明石海峡大橋への影響	多田和夫、神弘夫、北川信	Structural Engineering International(英語)	1995.08
兵庫県南部地震と明石海峡大橋基礎の挙動	吉田巖、多田和夫	Rock Foundation(英語)	1995.09
兵庫県南部地震による明石海峡大橋の修正設計	保田雅彦、河口浩二、大江慎一	本四技報no.77	1996.01
明石海峡大橋への影響(兵庫県南部地震による橋梁の被災と復旧)	鳥海隆一	橋梁と基礎	1996.08
兵庫県南部地震と明石海峡大橋への影響	大江慎一	建設機械	1996.11

■上部工(一般)

上部工の架設	松崎実	本四架橋の計画と施工(講演会テキスト)	1973.01
明石海峡大橋上部工耐震設計法の検討	保田雅彦、藤田和朗、池末泰輔	本四技報no.56	1990.10
明石海峡大橋上部工架設用機械設備安全指針(案)解説	土山正巳	第2回技術発表論文集	1992.06
明石海峡大橋上部工 ミクロ・高さ・風に挑む世界最大の吊橋	保田雅彦	開発往来	1993.05
明石海峡大橋上部構造の設計	北川信、宮田利雄、佐藤弘史	大型風洞の利用に関する国際セミナー(英語)	1993.12
明石海峡大橋の建設と防錆技術	富田大造	防錆処理	1994.09
明石海峡大橋の設計・製作	大江慎一、田中常夫、小澤克郎	高田機工技報No.12	1996.00

■上部工(塔)

超長大橋主塔の耐風性に関する研究	武内隆文、北原俊男	住友重機械技報	1988.04
主塔の制振対策に関する一提案	田中素夫、鈴木泰之、長谷川	横河橋梁技報	1989.01
明石海峡大橋主塔の耐風性(主塔断面形状の選定)	岡野哲、栗野純孝、森下尊久	本四技報no.54	1990.04
明石海峡大橋主塔基礎架設時風洞実験(架設機材の影響)	森邦久、中村幸、谷川浩司	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
明石海峡大橋主塔の制振対策	勝地弘、保田雅彦、森邦久	第19回日本道路会議論文集	1991.10
長大橋主塔の数値的仮組立て	秦健作、焼野保雄	橋梁と基礎	1992.08
明石海峡大橋 2P・3P主塔工事の現況	越村一雄、村瀬佐太美、秦健作	橋梁	1992.10
明石海峡大橋主塔の制振対策	辰巳正明、秦健作	第46回建設省技術研究発表会論文集	1992.11
明石海峡大橋主塔の施工	阪本光重、秦健作	建設の機械化	1993.01
明石海峡大橋主塔の設計一制振対策一	秦健作、佐岡瞬也、土屋昌義	川崎重工業技報	1993.07
明石海峡大橋主塔の制振対策	辰巳正明、秦健作、大倉幸三	土木学会第2回振動制御コロキウム	1993.08
明石海峡大橋主塔の架設時振動特性	秦健作、辰巳正明、大倉幸三	第48回土木学会年次学術講演会	1993.09
明石海峡大橋主塔の架設時動態観測	辰巳正明、秦健作、佐々木伸幸	第48回土木学会年次学術講演会	1993.09
明石海峡大橋の主塔制振対策	辰巳正明、森邦久、秦健作	本四技報no.68	1993.10
明石海峡大橋 3P主塔の製作	秦健作、小林義弘	川崎重工業技報	1994.01
明石海峡大橋超高塔の施工	秦健作、佐岡瞬也、渡辺和明	川崎重工業技報	1994.04
明石海峡大橋主塔の製作・精度管理	秦健作、小林義弘	本四技報no.70	1994.04
明石海峡大橋主塔独立時の耐風特性(その1.渦励振応答)	金崎智樹、秦健作、下土居秀樹	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋主塔独立時の耐風安定性(その2.台風時の主塔ガスト応答)	金崎智樹、秦健作、佐々木伸幸	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋主塔独立時の振動特性試験	秦健作、辰巳正明、大倉幸三	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋主塔の制振対策	秦健作、辰巳正明、大倉幸三	土木学会論文集	1995.01
明石海峡大橋主塔の振動制御に関する研究	辰巳正明	博士論文(京都大学)	1995.06
明石海峡大橋主塔架設工事報告	秦健作、小林義弘	本四技報no.78	1996.04
2P・3P主塔工事の施工と機械設備	秦健作、渡辺和明	建設機械	1996.11

■上部工(ケーブル)

明石海峡大橋の設計、ケーブルに関する検討	森山彰	橋梁と基礎	1988.08
----------------------	-----	-------	---------

明石海峡大橋ケーブル用高強度鋼線	松本弘輝	鋼橋塗装	1989.03
高張力垂鉛メッキ鋼線の開発調査	遠藤武夫、飯島武明、松本弘輝	IABSE Symposium in Leningrad(英語)	1991.09
吊橋ケーブルの防食方法の検討	保田雅彦、鈴木周一、木村一也	本四技報no. 61	1992.01
800Mpa級鋼材を用いた実大トラス弦材各種構造の疲労強度	大江慎一、奥川淳志、三木千寿	構造工学論文集	1992.03
明石海峡大橋ケーブル工事用塔頂クレーン	坂本光重、角田耕一、岡田博幸	建設の機械化	1993.06
明石海峡大橋サドルの設計・製作	吉元郁男、福永勤	本四技報no. 69	1994.01
明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造(その1)	河口浩二、福永勤	本四技報no. 70	1994.04
明石海峡大橋におけるヘリコプター渡海	保田雅彦、河口浩二、武野優	橋梁と基礎	1994.06
明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造(その2)	河口浩二、福永勤	本四技報no. 71	1994.07
明石海峡大橋パイロットロープ渡海	北川竜三	第4回技術発表論文集	1994.07
明石海峡大橋のパイロットロープ渡海	河口浩二、福永勤、北川竜三	本四技報no. 71	1994.07
明石海峡大橋ケーブルストランド引出し開始	中川秋男	土木施工	1994.08
明石海峡大橋ケーブル工事	河口浩二、細川淑	建設の機械化	1994.10
明石海峡大橋パイロットロープ渡海	北川竜三	第48回建設省技術研究会論文集	1994.11
明石海峡大橋におけるケーブル工事	河口浩二	土木施工	1995.01
ケーブル工事雑感	越村一雄	本四技報no. 73	1995.01
明石海峡大橋ケーブルストランド架設完了	中川秋男	土木施工	1995.02
明石海峡大橋のキャットウォーク構造	河口浩二、福永勤	本四技報no. 74	1995.04
明石海峡大橋ケーブル架設工事について	河口浩二	第21回日本道路会議論文集	1995.10
明石海峡大橋のケーブルの設計と架設	加島聰、森章、蟹沢康人	Conference on Bridges (香港)(英語)	1995.10
明石海峡大橋ケーブル用工場製作物の品質管理	河口浩二、福永勤、武野優	土木学会論文集no. 528	1995.12
明石海峡大橋ケーブルの架設	穂山正幸	瀬戸内海	1996.05
ケーブル工事の施工と機械設備	河口浩二、細川淑、桑本俊一	建設機械	1996.11
世界一のケーブル架設 —よもやま話—	山根信、聖生守雄、田邊邦彦	橋梁	1997.01
吊橋ケーブルの防食方法	佐伯彰一、古家と彦	土木施工 Vol. 38 No. 7	1997.07
送気乾燥による吊橋ケーブル防食試験と考察	古家と彦、佐伯彰一	第52回土木学会年次学術講演会	1997.09
送気乾燥による吊橋ケーブル防食の基礎研究	佐伯彰一、古家と彦	第22回日本道路会議	1997.10

■上部工(桁)

ブローホールを含んだトラス弦材角溶接部の疲労強度	奥川淳志、大江慎一、三木千寿	土木学会論文集(英語)	1992.07
高張力の長寿命域での疲労強度	奥川淳志、大江慎一	本四技報no. 66	1993.04
吊橋の補剛トラス—明石海峡大橋における補剛トラスと補剛箱桁—	吉田好孝	橋梁と基礎	1993.08
鋼圧縮部材の残留応力照査	奥川淳志、高城信彦、大江慎一	本四技報no. 68	1993.10
明石海峡大橋の鋼床版多径間連続化に関する検討	金崎智樹、井上純三、山本晃久	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋補剛桁の静的解析	金崎智樹、河藤千寿、内藤靖	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
HT780トラス格点部かど継手の強度	金崎智樹、井上純三、中西保正	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
鋼床版縦リブ継手部の耐力実験結果	金崎智樹、伊藤進一郎、尾下里治	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋の道路床組の設計	金崎智樹、大江慎一、井上純三	本四技報no. 73	1995.01
明石海峡大橋補剛桁工事の詳細設計	河藤千尋	第5回技術発表論文集	1995.07
明石海峡大橋補剛トラスの設計	金崎智樹、大江慎一、井上純三	本四技報no. 75	1995.07
明石海峡大橋補剛桁架設	中川秋男	土木施工	1995.08
明石海峡大橋道路床組の多径間連続化	平野茂、大江慎一	第21回日本道路会議論文集	1995.10
明石海峡大橋補剛桁架設工事について	河藤千尋	第49回建設省技術研究会論文集	1995.11
明石海峡大橋補剛桁架設(大ブロック架設)	大江慎一、伊藤進一郎、河藤千尋	本四技報no. 79	1996.07
予熱低減型調質高張力鋼の橋梁部材への適用について	大江慎一、村瀬佐太美、金崎智樹	第51回土木学会年次学術講演会	1996.09
明石海峡大橋—補剛桁架設工事—	大江慎一	橋梁	1997.01

■上部工(耐風設計)

自然風化での吊橋の挙動について	秋山晴樹、岡内功	第32回土木学会年次学術講演会	1977.10
明石海峡大橋補剛桁風洞実験	加島聰、大橋治一、秋山晴樹	本四技報no. 06	1978.10
明石海峡大橋の耐風設計に関する予備的検討	奈良平俊彦、宮田利雄、岡内功	構造工学論文集Vol. 33A	1987.03
明石海峡大橋の設計、耐風設計	秦健作	橋梁と基礎	1988.08
箱型補剛桁を有する超長大吊橋の全橋風洞試験(速報その3)	多田和夫、古賀健一、伊藤学	第43回土木学会年次学術講演会	1988.10
箱型補剛桁を有する超長大吊橋の全橋風洞試験(速報その2)	多田和夫、岩本政己、篠泉	第43回土木学会年次学術講演会	1988.10
箱型補剛桁を有する超長大吊橋の全橋風洞試験(速報その1)	多田和夫、篠泉、藤野陽三	第43回土木学会年次学術講演会	1988.10
タウトリップ試験による変断面箱桁の対風応答評価について	平原伸幸、橋本光行、武田勝昭	第43回土木学会年次学術講演会	1988.10
明石海峡大橋の耐風設計に関する考え方	飯島武明、竹内政彦、岡内功	第10回風工学シンポジウム論文集	1988.12
吊橋のねじれ振動における重力剛性とその固有振動数への影響	辰巳正明、山口宏樹、宮田利雄	土木学会論文集	1989.10
明石海峡大橋補剛桁の耐風性(中間報告)	保田雅彦、平原伸幸	本四技報no. 52	1989.10
明石海峡大橋耐風設計要領(案)	辰巳正明	本四技報no. 52	1989.10
明石海峡周辺地形模型を用いた風洞実験	多田和夫、秋山晴樹、秦健作	第11回風工学シンポジウム	1990.12
長大吊橋の耐風設計検討の経緯	松本弘輝、保田雅彦、宮田利雄	第8回風工学国際会議(カナダ)(英語)	1991.07
超長大吊橋と風	飯島武明	本四技報no. 59	1991.07
明石海峡大橋：風効果と全橋模型風洞実験	保田雅彦、宮田利雄、横山功一	Int. Sympo. on Aerodynamics in Copenhagen(英語)	1992.02

フラッター解析及び風洞試験による超長大吊橋の耐風安定性の検討	保田雅彦、金崎智樹、勝地弘	第12回風工学シンポジウム	1992.12
明石海峡大橋のフラッター特性	金崎智樹、保田雅彦、鈴木周一	第12回風工学シンポジウム	1992.12
長大吊橋補剛桁における静的変形に関する一考察	勝地弘、保田雅彦、宮田利雄	第12回風工学シンポジウム	1992.12
明石海峡大橋全橋模型風洞試験におけるガスト応答特性	勝地弘、保田雅彦、鈴木周一	第48回土木学会年次学術講演会	1993.09
トラス補剛桁の一樣流中と乱流中での三分力特性の相違について	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘	第48回土木学会年次学術講演会	1993.09
明石海峡大橋の耐風設計	多田和夫、勝地弘、宮田利雄	大型風洞の利用に関する国際セミナー論文集(英語)	1993.12
明石海峡大橋フラッター特性に関する解析的検討	勝地弘、北川信、宮田利雄	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋全橋模型ガスト応答解析の一検討	北川信、勝地弘、鳥海隆一	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋の空力アドミッタンスの測定	北川信、松野栄明、佐藤弘史	第49回土木学会年次学術講演会	1994.09
明石海峡大橋の3次元ガスト応答に関する設計検討	北川信、金崎智樹、宮田利雄	Deauville Conference(英語)	1994.10
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
モード間連成が長大橋のガスト応答に与える影響の検討	勝地弘、秋山晴樹	土木学会第52回年次学術講演会	1997.09

■上部工(大型風洞)

全長40mの長大吊橋模型による大型風洞試験について	辰巳正明、樋口康三、金崎智樹	第11回風工学シンポジウム論文集	1990.12
全橋模型風洞試験用の大型風洞施設	保田雅彦、鈴木周一	土木学会誌	1991.06
大型風洞施設による全橋模型試験の概要	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘	橋梁と基礎	1991.06
長大橋のための大型風洞施設の建設	飯島武明、辰巳正明、金崎智樹	第8回風工学国際会議(カナダ)(英語)	1991.07
超長大橋梁の全橋模型風洞試験計画—大型風洞施設の概要—	勝地弘、保田雅彦、宮田利雄	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
超長大橋梁の全橋模型風洞試験—補剛桁模型の設計検討—	保田雅彦、鈴木政直、樋上秀一	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
明石海峡大橋の大型全橋風洞試験	保田雅彦、鈴木周一、横山功一	道路	1991.09
超長大橋梁の全橋模型風洞試験—主塔模型の設計検討—	勝地弘、荒居祐基、宮崎正男	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
超長大橋梁の全橋模型風洞試験—ケーブルの設計検討—	鈴木周一、藤澤伸光、宮田利雄	第46回土木学会年次学術講演会	1991.09
明石海峡大橋大型風洞試験全橋模型	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘	本四技報no.60	1991.10
明石海峡大橋全橋模型風洞試験	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘	第45回建設省技術研究会論文集	1991.10
超長大橋梁の耐風安定性に関する大型風洞試験	勝地弘、保田雅彦、鈴木周一	構造工学論文集	1992.03
明石海峡大橋全橋模型の静的変形	金崎智樹、保田雅彦、勝地弘	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
明石海峡大橋全橋模型の一樣流中でのフラッター特性	勝地弘、保田雅彦、横山功一	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
大型風洞施設における境界層乱流の生成	鈴木周一、保田雅彦、金崎智樹	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
明石海峡大橋大型風洞試験(一樣流試験結果)	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘	本四技報no.67	1993.07
明石海峡大橋大型風洞試験の乱流試験結果(第一報)	北川信、鈴木周一、勝地弘	本四技報no.68	1993.10
明石海峡大橋の大型風洞実験	遠藤武夫、北川信、住吉幸彦	大型風洞の利用に関する国際セミナー(英語)	1993.12
明石海峡大橋のフラッター特性に関する検討—大型風洞試験と解析との比較—	北川信、鈴木周一、勝地弘	本四技報no.71	1994.07
明石海峡大橋大型風洞試験で観測されたフラッター特性	多田和夫、勝地弘、宮田利雄	Deauville Conference(英語)	1994.10
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	第13回風工学シンポジウム	1994.11
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、宮田利雄	第13回風工学シンポジウム	1994.11
明石海峡大橋の全橋模型風洞試験	宮田利雄、佐藤弘史、鳥海隆一、北川信、勝地弘	第9回風工学国際会議(英語)	1995.01
明石海峡大橋大型風洞試験でのガスト応答特性に関する検討	北川信、金崎智樹、勝地弘	本四技報no.75	1995.07
明石海峡大橋の全橋模型の風洞試験	多田和夫、北川信、金崎智樹	Proceeding of IV International Colloquium(英語)	1995.09
明石海峡大橋の全橋模型風洞試験	佐藤弘史、北川信、金崎智樹、鳥海隆一、勝地弘	風工学会誌no.68	1996.07
Multi-Mode Flutter and Buffeting Analysis of the Akashi-Kaikyo Bridge	勝地弘 秋山晴樹	第八回アメリカ風工学会議	1997.06

景観設計

明石海峡大橋の色彩検討	吉田好孝、藤田和朗、貴志友基	第45回建設省技術研究会論文集	1991.10
明石海峡大橋の色彩検討	吉田好孝、藤田和朗、池末泰輔	第19回日本道路会議論文集	1991.10
明石海峡大橋の景観設計に関する手法	吉田好孝、藤田和朗、貴志友基	第47回土木学会年次学術講演会	1992.09
明石海峡大橋の景観設計	原崎郁夫	高速道路と自動車	1993.05
明石海峡大橋主塔の景観設計	保田雅彦、吉田好孝	本四技報no.67	1993.07
明石海峡大橋主塔景観細部検討	栗野純孝	第4回技術発表論文集	1994.07

その他

海峡連絡橋の測量	後藤英一	橋梁と基礎	1972.10
海中構造物に対する船舶衝突防止施設に関する研究	永井荘七郎、小田一紀	第20回海岸工学講演会論文集	1973.11
橋脚による流況変化が航行船舶に及ぼす影響に関する研究(その1)	永井荘七郎、小田一紀	第23回海岸工学講演会論文集	1976.11
橋脚による流況変化が航行船舶に及ぼす影響に関する研究(その2)	永井荘七郎、小田一紀、岩井聰	第23回海岸工学講演会論文集	1977.11
海中工事における潮流条件の設定	山田勝彦	本四技報no.12	1980.04
明石海峡大橋作業基地の設計と施工	阿部明弘、栗原敏弘、池田定三	本四技報no.55	1990.07
明石海峡大橋における船舶緩衝工の基礎的実験	吉田好孝、那須清吾、貴志友基	第46回建設省技術研究会発表論文集	1992.11
テレビ電波障害影響予測と対策	綾敬三	本四技報no.68	1993.10
橋梁と油圧	秦健作、北川仁志、焼野保雄	日本油圧学会誌	1994.07
航路の安全とその対策	原田英雄	建設機械	1996.11
明石海峡大橋船舶緩衝工の設計	帆足博明、谷口貴成	本四技報no.81	1997.01

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8年4月
調査等共通仕様書	平成8年4月
電気通信施設標準仕様書集	平成8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	
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
きれつの発生の一例	
維持修繕等共通仕様書	平成9年12月
機械設備工事共通仕様書(案)	平成8年4月
機械設備工事施工管理要領(案)	平成8年4月
技術関係資料取扱要領	平成8年4月
長大橋梁点検要領	平成9年1月
一般橋梁塗替塗装要領	平成9年1月
海峡部橋梁塗替塗装要領	平成9年1月
定点塗膜調査要領	平成9年1月
亜鉛めっき面用プラスチック処理標準	平成9年1月

***設計基準額(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
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
尾道・今治ルート耐風設計基準・同解説	平成6年11月
鋼上部構造の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン(案)	平成5年9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
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高力ボルト類規格	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・同解説	平成3年9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)	
本州四国連絡橋大型疲労試験写真集	平成8年1月

***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ISSD日本センターより割り当てられたものです。田中聡史

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成10年4月5日現在

編集委員長	奥川淳志	田中聡史
編集委員	上村博文	土屋義俊
	大江慎一	寺嶋賢策
	大島廣機	徳島永剛
	大橋和一也	尾澤俊一
	小原勝也	原澤秀久
	荻原智樹	辺見泰造
	金口淳一	山田郁夫
	北口雅章	山田和彦
	栗原敏広	山田芳嗣
	古賀昇吉	吉永優
	酒井和幸	
	宮脇幸男	(海洋架橋調査会)

本州四国連絡橋公団

HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22

アーバンエース三宮ビル内

電話番号: 078-291-1000 (代表)

http://www.hsba.go.jp/

本四技報 第86号

発行 平成10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

〒104-0042 東京都中央区入船3-1-13

エーユー入船ビル4F

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

