本四技報

Vol. 3 No. 8 '79.4

本州四国連絡橋公団監修

本四技報　第8号　目次

豊かさは自らの心の中にある……理　事……平石茂義…1

架橋関連地域の経済・輸送構造の予測結果…企画開発部経済課……黒瀧義則…2

長支間道路吊橋の計画（要約）……前理事……川崎偉志夫…10

欧米長大橋視察報告（1）……常任参与……多田安夫…18

設計部設計第一課……松崎　実

大三島橋及び因島大橋の塗装色の選定……第三建設局向島工事事務所……吉川利治…22

企画開発部道路課……阿部和智

因島大橋のエンドリンクの設計……第三建設局向島工事事務所……林　有一郎…30

同　上……淵田政信

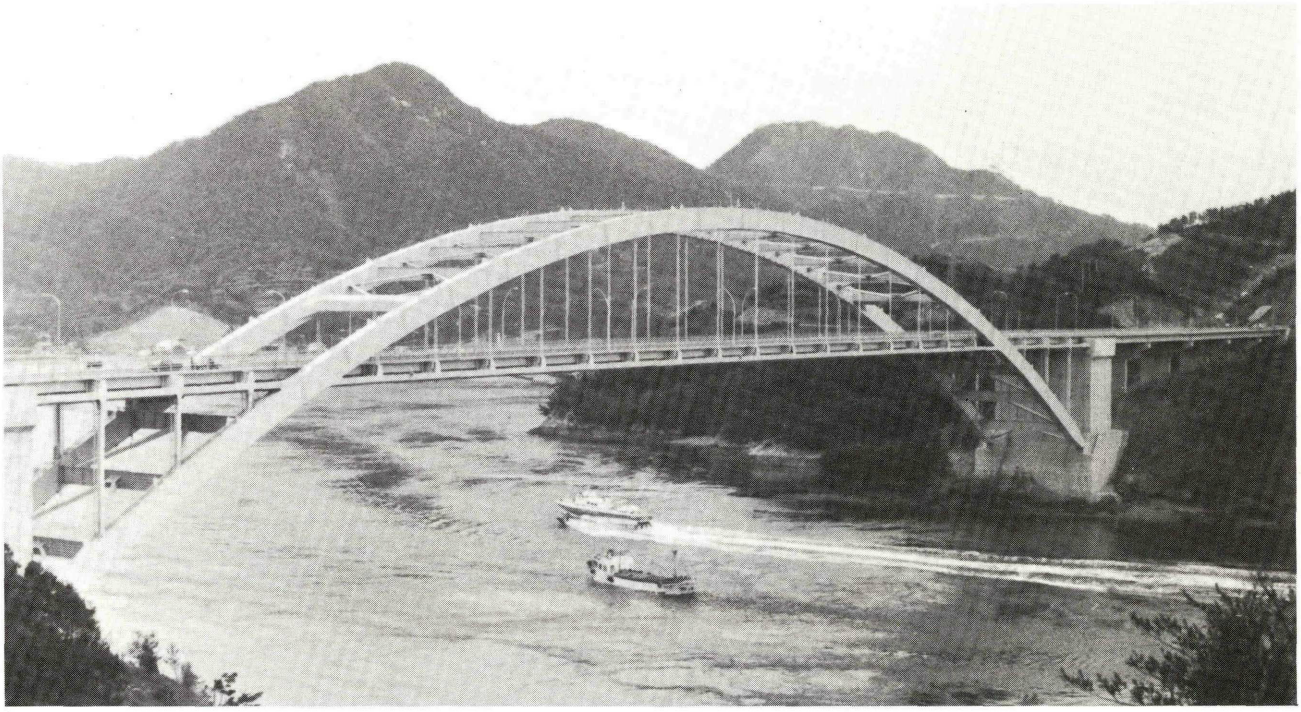
技術ニュース……35

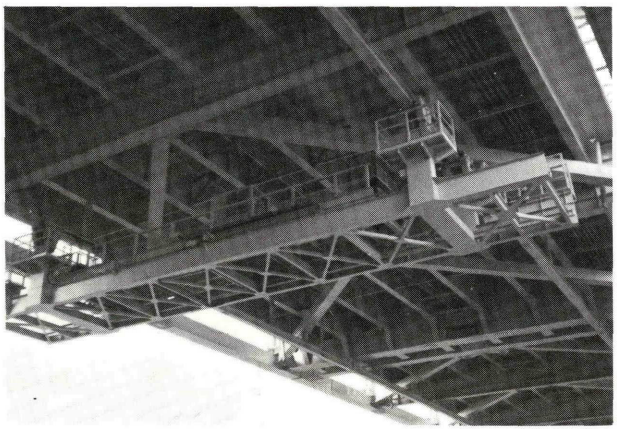
本四技報　第9号（54・7）掲載予定

大三島橋特集

- ●大三島橋関連区間の概要
- ●陸上部工事
- ●大三島橋架設時の耐風対策
- ●鋼橋の塗装
- ●大三島橋の床版と舗装
- ●管理用設備

大三島橋工事





写真上　　供用間近の大三島橋（54年3月）

写真左　　**検査車の全景**

橋面の下に取りつけたレールに沿って移動し、今後維持管理に活躍する。（54年2月）

写真左下　　照明灯、自動車防護柵の取りつけも終り、あとは供用を待つだけである。

照明灯には特殊なカバーを設け、路面外への光の散乱を防止している。（54年3月）

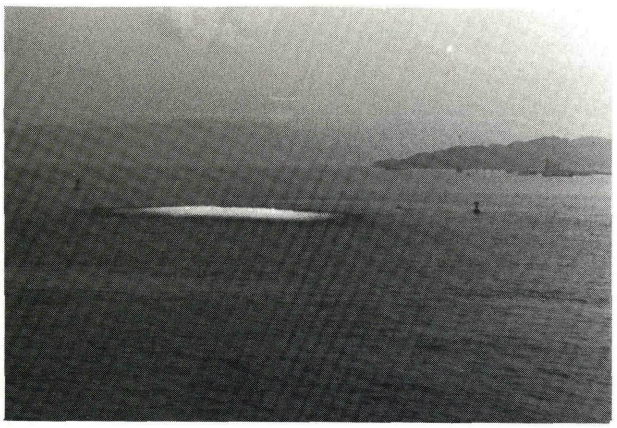
写真右下　　**上浦パーキングエリアの造園**

この他に路傍植栽を行うなど、緑化には特に注意を払っている。（54年3月）

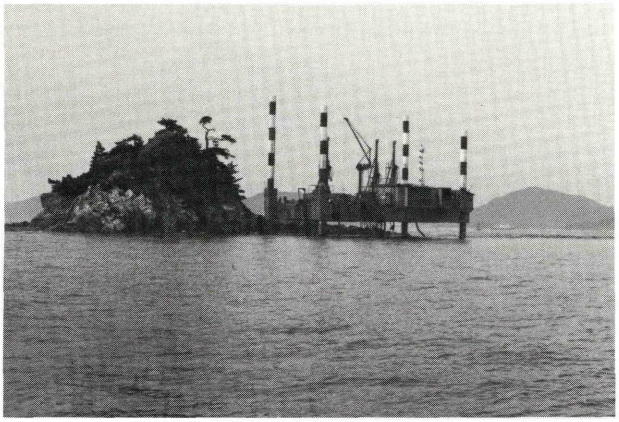




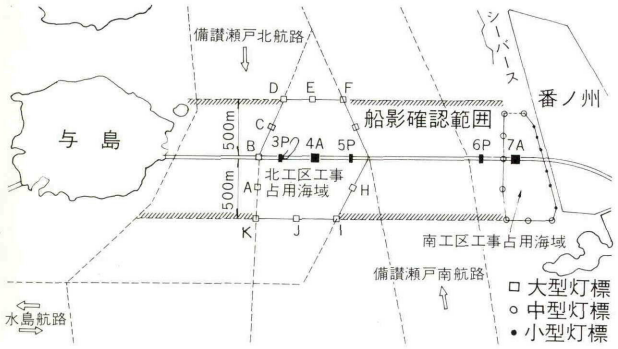
南北備讃瀬戸大橋工事



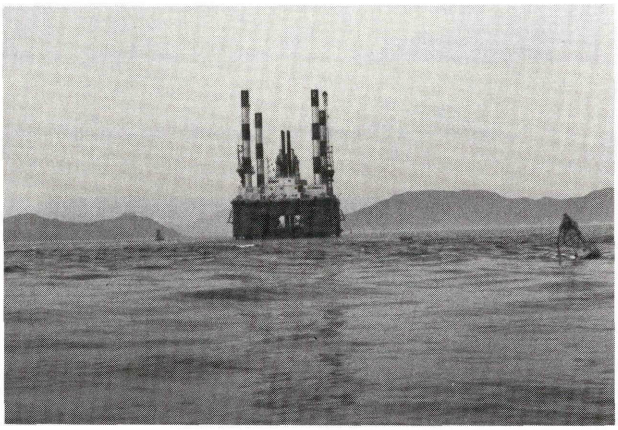
5P地点の海底発破の状況（3月6日、薬量 1,440kg）



4A地点で穿孔作業中のミニSEP「たいせい」
（54年3月）



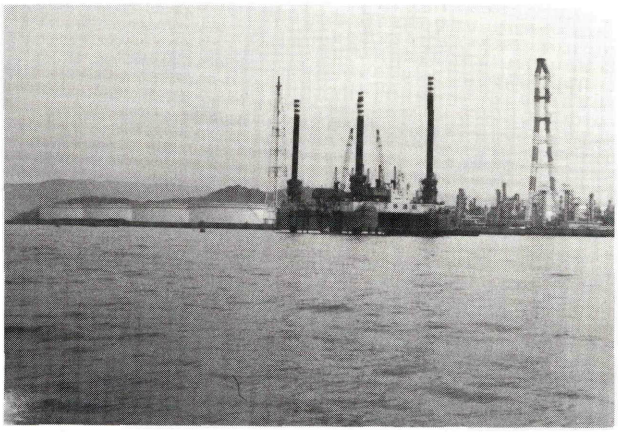
南北備讃瀬戸大橋下部工工事の工事占用海域と発破時における船影確認範囲。



5P地点のSEP「盤石」（54年3月）



3P地点での大型グラブ船による海底掘削
（54年1月）



7A地点で穿孔装薬作業中のSEP「たまの」。後方は番ノ州の工業地帯。（54年3月）

大鳴門橋工事



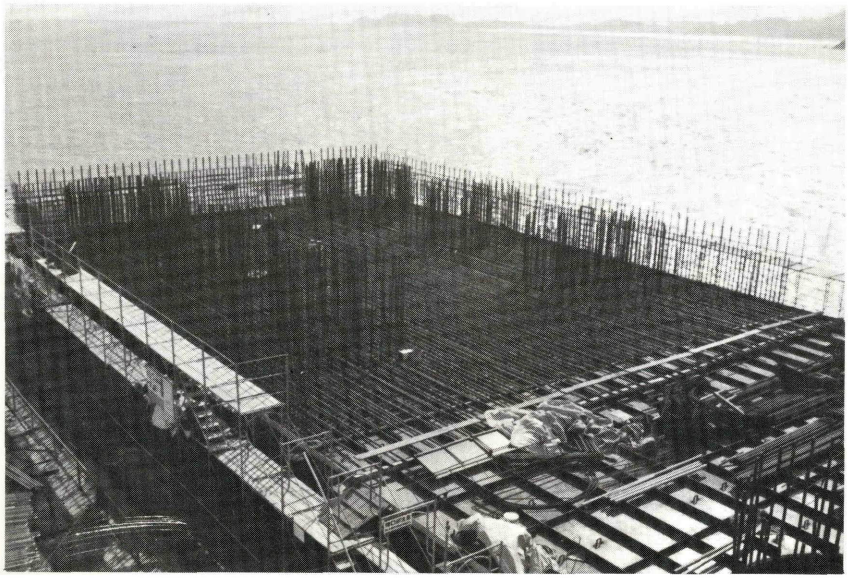
工事状況

多柱掘削も数本残すのみとなり、アンカレイジではコンクリート打設の準備を行っている。（54年2月）



門崎側アンカレイジ（1A）

岩盤清浄の後、湧水箇所をコンクリート打設した。（54年2月）



側塔基礎（2P）

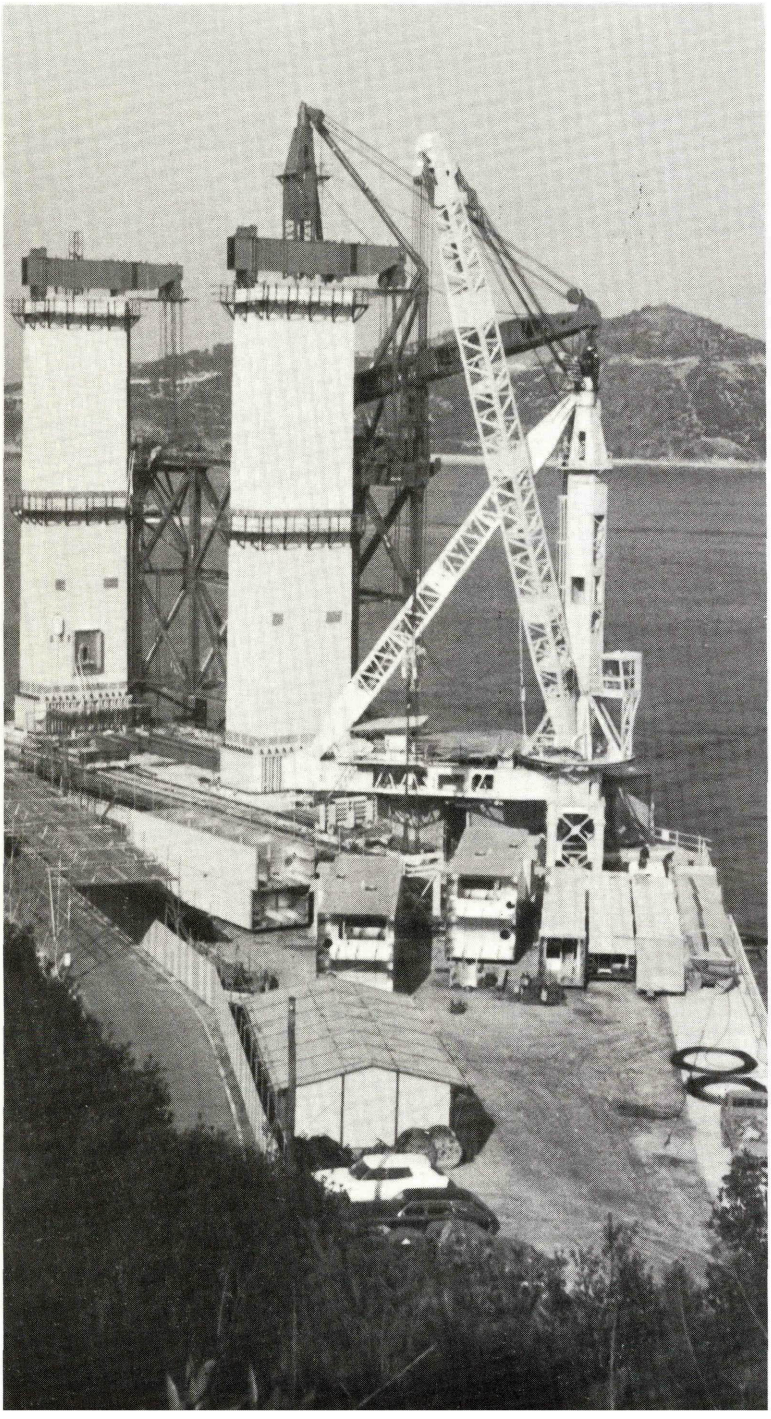
φ3.6m柱の鉄筋が建ちあがり、頂版下面の鉄筋組を完了した。

（54年2月）

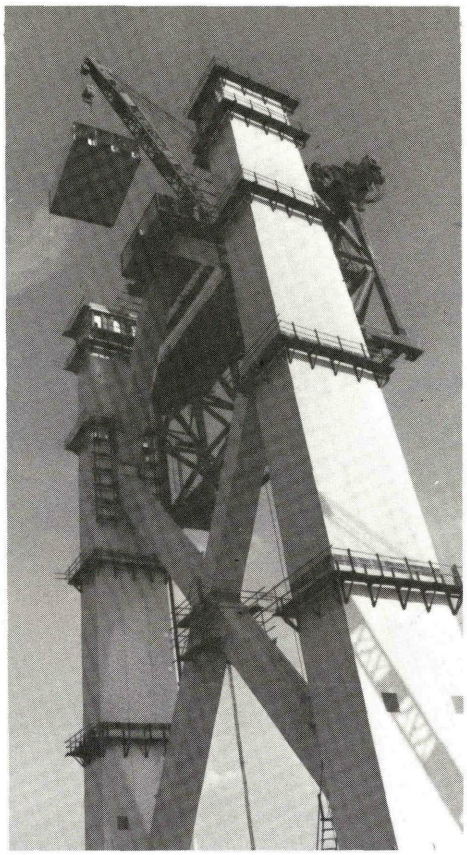
因島大橋工事

塔工事（因島側主塔3P）

クリーパークレーンのせり上げにそなえ、
吊り天秤を取りつけた状態。



（53年12月）



（54年2月8日）



（54年2月28日）

豊かさは自らの心の中にある

理事　平石茂義

イタリア文化館の館長であるイタリア人マルキス氏は、日本に住むようになってから4年になるという。そのマルキス氏の話が、何か月か前のある新聞に掲載されていた。その記事にはパイプをくわえた彫りの深い同氏の顔写真も一緒に載せてあったが、その写真を見た限りでは学者風の柔和な風貌が印象的であり、柔軟な思考力の持主であるように見受けられたが、それでも同氏がヨーロッパ人である以上、日本独特のワビやサビの世界が容易に理解できるようには思われなかった。ところが、そのマルキス氏がおおよそ次のようなことを語っているのである。

「日本に住むようになってからもう4年になるが、この間に日本で得たものは数えきれない程である。最初日本へやってきたとき、日本という国は何とチグハグな国なんだと思っていた。ところが京都の御所を見学した折、建物の前に植えられている2本の木を見ているうちに、日本では文化の象徴である建物と自然の木とが互いに融け合って一つの世界を形造っていることに突然気がついた。イタリアでは全く違う。サンマルコ寺院の前に木が植わっていたら、イタリア人は切ってしまう。しかし日本では文化と自然が見事に調和して共存しているのである。

また、雨の音や雲の色を鑑賞することを覚えた。ヨーロッパ人にとっては、雨が降ることは天気が悪いということであり、晴れたら天気がよいということであって、彼等がそれ以上のことを感ずることはありえない。しかし、日本では雨の音にも微妙に違う色々の音色があり、雲の色にも色々の変化のあることが分るようになった。そして私の心は豊かになった。以前目に見えなかったものが見え、聴くすべを知らなかったものが聴けるようになった。」というのである。それが単なる外交辞令でない証拠に、同氏は繰り返し繰り返しそのことに言及したと、その新聞は伝えていた。

欧米人の間には日本や日本人に対する無知、誤解、偏見がまだまだ広範囲に存在することは、屢々指摘されるところである。ところがマルキス氏は驚く程に偏見を持たないで日本を見ることのできる人であった。そして偏見を持たずに日本を見ることによって、今までついぞ経験したこともない世界を発見しえたのであり、またそれによって自らの心を豊かにすることもできたのである。

このように書いてくると、私自身も似たような経験をしたことを思い出す。日韓両民族の間には今なお、お互いに対する無知、誤解、偏見、蔑視、嫌悪感というような感情が色濃く残っているが、私自身も例外ではありえなかった。たまたま長坂覚氏の書かれた「隣の国で考えたこと」という本を読んで、朝鮮半島の歴史や韓民族について盲を開かれる思いをしたのも無理からぬことであった。

〝朝鮮〟という呼称は、李朝が臣属していた〝明〟に選んでもらった名であって、日清戦争後中国の宗主権が及ばなくなるとともに大韓帝国という呼称に改めたこと。韓国の社会には、日本の公卿と武家に相当する文班と武班という階級があり、両者を併せて両班（ヤンパン）と呼ぶのであるが、この両班と常氏（平民）との間では殆んど婚姻が行なわれなかったこと。伊藤博文を暗殺したために日本では暴漢とされている安重根という人物は、教養の高い李朝の愛国者であり、豪胆不敵で文武両道にすぐれ、学塾を興したり、義兵を募って日本軍と善戦する等、さしづめ日本で言えば幕末の志士でも一流の人物に匹敵するような傑物であり、捕虜とした日本人に対する処遇一つを見ても彼が並々ならぬ人物であることが証明されること。また、朝鮮半島では樹木が少ないことについて色々の説があるが、日本人の手で5億9千万本もの植樹が行なわれた事実があること等々、この一冊の本によって韓国や韓民族についての知識が具体的事例とともにふんだんに提供されたのである。

私にとっては、そのこと自体が驚きであった。そして少し誇張して言えば、干天に慈雨の譬えどおりそれらのすべてが抵抗なく受け入れられ、私の韓国及び韓民族についての認識を一変させる程の影響力をもったのである。そして満足感をもって読み終えた後、隣の国についてそれなりの理解を持ったという感慨とともに、ある種の豊かな感情が心の中に残されているのを感じた。このような充実した読後感の多くは、長坂氏の優れた筆致によるのであろうが、それだけでは説明しえない何かがあったこともまた事実なのである。

架橋関連地域の経済・輸送構造の予測結果

企画開発部　経済課課長代理　黒瀧義則

1．まえがき

本稿は、本誌Vol.2 NO.4 '78.3において報告した「架橋関連地域の経済・輸送構造の予測手法」により、「第三次全国総合開発計画」及び「第8次道路整備五箇年計画」等の国の長期計画を基に、本四架橋計画を1ルート3橋に前提した場合における予測結果である。以下に現況と予測結果の概要について述べる。

2．関連地域の現況

2.1 地域経済構造

昭和50年における架橋関連地域の主要経済指標は表—1のとおりで、人口約3,000万人、生産所得約36兆円と全国値に対して、いずれも27%のシェアを占めている。また土地の利用状況を示す可住地面積は、全国の約18%を占めており、人口、生産所得のシェアと比較して小さく、可住地面積当りの生産所得でみる土地利用密度は全国的にみて高い地域となっている。

次に、可住地面積当り生産所得を地域別にみると、全国平均を1.00とした場合、近畿は2.53と大きく上回っているが、中国及び四国はそれぞれ0.89、0.73と低位にあ

表— 2　関連地域の主要経済指標の推移

	年次	全国に対する構成比(%)			
		近畿	中国	四国	計
人口	昭40	16.1	7.0	4.0	27.1
	45	16.8	6.7	3.8	27.3
	50	16.8	6.6	3.6	27.0
農業粗生産額	昭40	7.4	8.1	5.9	21.4
	45	7.6	7.3	5.8	20.7
	50	6.4	6.9	5.3	18.6
工業出荷額等	昭40	23.5	7.1	2.4	33.0
	45	22.7	7.4	2.6	32.7
	50	20.7	8.3	2.9	31.9
生産所得	昭40	18.9	6.4	3.3	28.5
	45	18.8	6.4	3.2	28.5
	50	17.7	6.3	3.1	27.0
	年次	全国を100とした指数			
生産所得／人口	昭40	117.7	91.1	81.9	105.5
	45	112.1	95.4	85.3	104.3
	50	105.1	95.5	87.1	100.3

表— 1　架橋関連地域の現況

	単位	実数				全国に対する構成比(%)			
		近畿	中国	四国	計	近畿	中国	四国	計
可住地面積（昭和49年）	km²	8,065	8,176	4,998	21,239	7.0	7.1	4.3	18.4
人口（昭和50年）	千人	18,831	7,366	4,040	30,237	16.8	6.6	3.6	27.0
農業粗生産額（昭和50年）	10億円	579	616	478	1,673	6.4	6.9	5.3	18.6
工業出荷額等（昭和50年）	10億円	20,709	9,360	3,049	33,118	19.9	9.0	2.9	31.8
生産所得（昭和50年）	10億円	23,473	8,345	4,179	35,997	17.7	6.3	3.1	27.1
						全国1.00とした指数			
生産所得／可住地面積	億円／km²	29	10	8	17	2.53	0.89	0.73	1.47
生産所得／人口	千円／人	1,247	1,133	1,034	1,190	1.05	0.96	0.87	1.00

（注）可住地面積：朝日新聞社（'74民力）
人口：総理府統計局「国勢調査報告」
農業粗生産額：農林省「農業所得統計」
工業出荷額等：通産省「工業統計表」（産業編）
生産所得：企画庁「昭和50年度県民所得の概要」

り、また１人当り生産所得は、近畿が1.05と全国平均を上回っているのに対し、中国及び四国は全国値を下回り、とりわけ四国は0.87と低い水準にある。

また昭和40年以降10年間における主要経済指標の推移を全国に対する構成比でみると、人口は近畿で横ばい傾向にあるのに対し、中国、四国では漸減している。工業出荷額については、近畿が減少、中国及び四国が増加の傾向にあり、さらに生産所得は、近畿が減少、中国、四国は横ばいないし微減の状況にある（表－２）。

このため関連地域における地域間の土地利用密度及び所得水準の格差は近年縮小の傾向にあるが、今なお人口、産業は、近畿とくに阪神地域に集中化しており、一方四国は瀬戸内海で本州と隔てられている等の制約により所得水準、土地利用密度は低位にとどまっている。

2.2 本州四国間輸送量

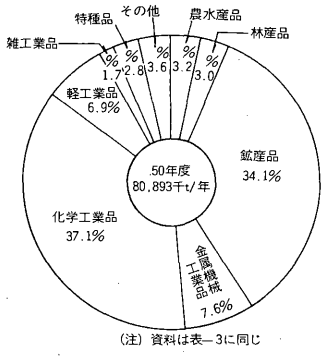
昭和50年度における本州四国間の１日当り輸送量は、旅客約7万7,000人、貨物約22万1,000tとなっている。旅客の輸送機関別の分担率をみると、旅客船（フェリー分を含む）利用によるものが、輸送量全体の約３分の２を占め、以下鉄道（宇高連絡船）約25%、航空約９%の順となっている。また貨物については、内航貨物船によるものが輸送量全体の約80%を占め、自動車（フェリー）、鉄道の分担率は、それぞれ約16%、４%と小さく、船舶輸送が主である本州四国間輸送の特徴がうかがわれる。（表－３）。

表－３　昭和50年度　本州四国間機関別輸送量（１日当り）

輸送機関＼旅客・貨物	旅客		貨物	
	輸送量	分担率	輸送量	分担率
	千人/日	%	千t/日	%
鉄道（宇高連絡船）	19.2	24.8	7.8	3.5
自動車（フェリー）	12.6	16.3	34.8	15.7
船舶（旅客船）	38.6	49.8	179.0	80.8
船舶（内航貨物船）				
航空	7.1	9.2	—	—
計	77.5	100.0	221.6	100.0

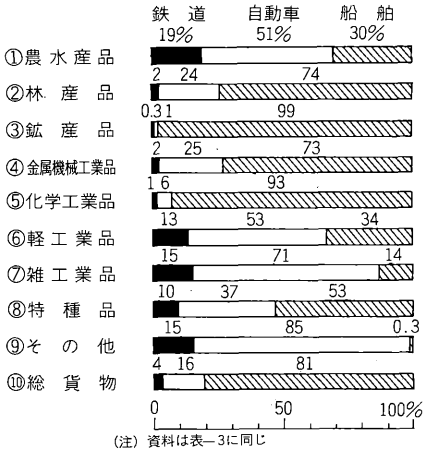
資料：「旅客地域流動調査」「貨物地域流動調査」運輸省

昭和50年度における貨物輸送量の品目別構成比および品目別機関分担率をみると、鉱産品（砂利、砂、石灰石等）と化学工業品（石油製品、セメント、化学肥料等）の両品目で全輸送量の約71%を占めており、両品目のそれぞれ99%、93%が船舶輸送に依存している。自動車輸送のシェアが高い品目は雑工業品（日用品、その他の製造工業品）、その他（コンテナー等分類不能のもの）、軽工業品(紙・パルプ、食料工業品、繊維工業品)、農水産品（穀物、野菜・果物・畜産品等）等である。また鉄道



（注）資料は表－3に同じ

図－1　品目別構成比（50年度）



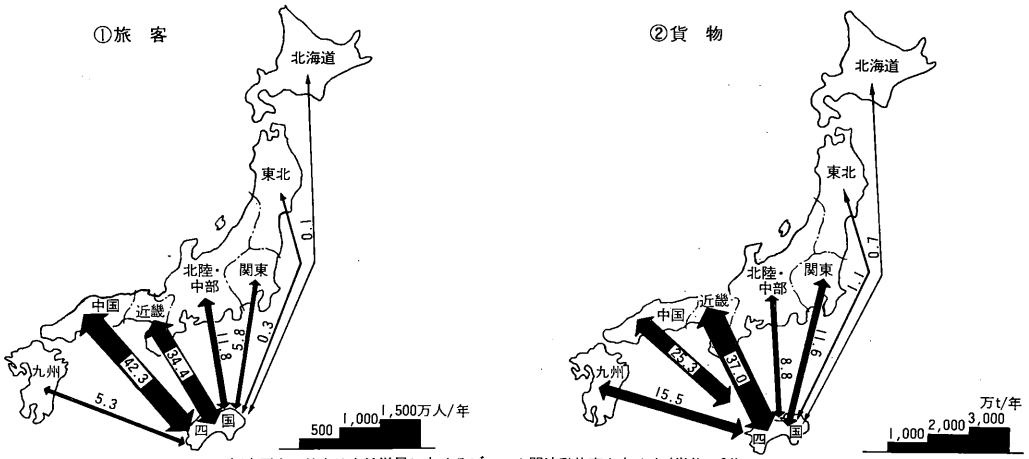
（注）資料は表－3に同じ

図－2　品目別機関別分担率（50年度）

輸送が主体である品目はなく、比較的分担率の高い品目、例えば農水産品、その他といった品目でも20%以下で、ほとんどの品目が10%以下の分担率となっている（図－１．２）。

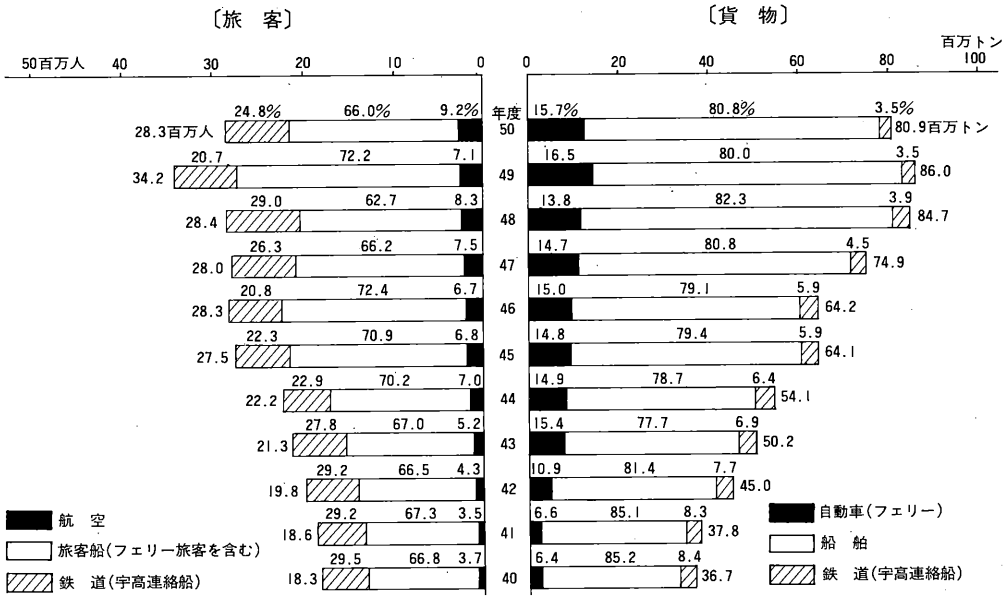
また本四間輸送量のO.D（出発地・目的地）パターンをみると図－３のとおりで、旅客においては近畿、中国へのシェアが全体の４分の３強を占め、東日本へのシェアは10%にみたない。県別には徳島の約51%が対阪神、香川においては約39%が対岡山、愛媛においては約44%が対広島と対岸県との輸送が最も多く、高知においては対阪神との輸送が多い。貨物においては、近畿、中国へのシェアが全体の約３分の２を占め、以下九州、関東、中部の順となっており、旅客輸送に比べ貨物輸送パターンの長距離化がうかがわれる。

続いて本四間輸送量の推移をみると図－４のとおりである。本四間の旅客輸送量は昭和40年度から50年度までの10年間に約1.5倍の増加を示し、年平均伸び率は4.4%となっている。輸送機関別の年平均伸び率は鉄道 2.7%、旅客船 4.3%、航空14.3%となっており、航空の伸びが著しいが、輸送量全体に占めるシェアは50年度において１割に満たない。全輸送量の約３分の２のシェアを占めてきた旅客船による輸送量は、昭和40年度以降全国的な



(注) 図中の数字は全輸送量に占めるブロック間流動比率を占めす (単位：%)

図—3　本州四国間旅客・貨物流動図 (昭和50年)



図—4　本州四国間輸送量および輸送機関分担率の推移

モータリゼーションの進展と道路の整備充実に伴って逐次航路の充実が図られてきたこと等により年々増加してきたが、昭和45年度以降、輸送量はほとんど横ばいの状況にある。一方鉄道輸送量は年々の伸び率は小さく、シェアは低下の傾向にあったが、昭和47年に新大阪～岡山間に新幹線が開通して四国への鉄道利用が便利になったことによりシェアを高め、48年度には29%まで回復したが、49、50年度には再び減少傾向に転じた。

本四間の貨物輸送量は、昭和40年度から50年度までの10年間に約2.2倍に増加し、年平均伸び率は8.2%となっている。輸送機関別の年平均伸び率は自動車18.4%、船舶 7.7%で自動車による輸送の伸びが高いが、輸送量全体に占めるシェアは43年度以降15%程度にとどまっている。一方、大量輸送機関である船舶は、年平均伸び率では自動車に比し小さいが、輸送量全体の約80%を占めており、年々の輸送量の増加は大きい。また鉄道による輸送量はほとんど横ばいであり、逐年シェアは低下している。

次に四国地域の輸送構造の特色を、地理的条件の類似している北海道、九州地域の輸送構造と比較してみる。

昭和50年度における各ブロック（四国、北海道、九州）の総輸送量を、ブロック内々で動く量とブロック外に流出するあるいは外から流入する（発着）量に分け、その割合をみると、四国においては旅客3%、貨物32%がブロック外発着量であるのに対し、北海道においては旅客0.5%、貨物11%、また九州においては旅客1%、貨物20%となっており、四国の他地域への依存度の高いことを示している。さらにブロック別輸送水準を、旅客につ

表— 4　昭和50年度　ブロック別輸送水準

ブロック	① 人口	② 生産所得	ブロック外発着輸送量 ③旅客	④貨物	輸送水準 旅客③/①	貨物④/②
	千人	億円	千人	千t	千人/千人	千t/億円
四　国	4,039	41,788	28,304	80,893	7.0	1.94
北海道	5,338	55,059	10,646	54,029	2.0	0.98
九　州	12.417	125.730	52,654	124,416	4.2	0.99

資料：人　　口：「昭和50年国勢調査報告」総理府統計局
生産所得：「昭和50年度県民所得の概要」経済企画庁
発着輸送量：「旅客地域流動調査」「貨物地域流動調査」運輸省

いては人口あたり、また貨物については生産所得あたりブロック外発着量でみると、いずれの指標も四国は北海道、九州に比し高い水準にある（表— 4）。これは四国地域は、経済社会的条件、地理的条件等から、近畿、中国地域を中心に本州と相互に密接な関連を有しつつ、一体的発展を遂げていることを意味する。

3．関連地域の経済・輸送構造の予測

3.1 モデルの基本前提条件

(1) 経済フレーム

本予測において前提とした国の経済フレームは、「第三次全国総合開発計画」（52年11月）である。これによると国民総生産は、昭和50年代に年平均6％程度の成長率を想定しており、昭和60年には50年の1.8倍にあたる260兆円（50年価格）程度になると予測している。また昭和60年以降は年率5％程度の成長率となり、昭和65年には50年の 2.3倍の約 330兆円程度になると想定している。また産業活動の規模を示す生産額（産業連関表ベース、45年価格）は、昭和50年の 197.5兆円から、60年には約 1.9倍、65年には約 2.4倍になると想定している。

人口については、全国の定住人口が、昭和50年の約1億 1,190万人から、60年には約1億 2,820万人になると予測している。

(2) 交通ネットワーク

全国幹線交通ネットワークの整備に関しては、高速自動車国道について昭和60年までに4,200km、62年に4,800km（現在の整備計画区間）、70年に6,700kmの供用延長を想定している。

また新幹線鉄道については、昭和60年までに約 1,900km（東海道、山陽、上越、東北（盛岡まで））、70年までに約 3,600km（北海道、東北、北陸、九州、長崎等整備計画5線）の開通を前提としている。

本四架橋については、いわゆる1ルート3橋の建設方針に従い、大三島橋54年度、因島大橋57年度、大鳴門橋58年度、児島・坂出ルート62年度に、それぞれ供用開始を前提としている。

3.2 経済構造の予測

(1) 地域別人口および産業生産額

近畿、中国、四国の対象地域15県の年度別人口の予測結果は表— 5のとおりで、昭和60年には50年の 1.1倍の約 3,320万人、65年には1.14倍の約 3,450万人に達するものと見込まれる。対象15県の伸び率は全国平均伸び率に近いが、四国、中国においてはこれを下回っており、特に四国の伸び率は低くなっている。これは人口年令構成の地域的差異による自然動態の相違、四国における若年層の社会減、産業構造の変化に伴う雇用構造の変革等に起因するものである。

架橋関連8府県についてみると、大阪府は50年代は堅調に伸びるものの、60年代にはその増勢は頭打ちとなると予想される。兵庫県は大阪への通勤労働者供給地として増大してきたが、それも限界に近づき、60年代には微増程度と予測される。これに対し岡山、広島、香川などでは60年代においても高い伸び率を持続する。また四国については香川、徳島の伸びが高く、愛媛、高知では低くなっている。これは基本的には、将来の第2次産業の業種構成、第3次産業の動向など地域別の産業構成の変化による労働力需要の差異に基づくものと考えられる。

次に産業生産額の予測結果は表— 6のとおりで、対象15県の総額は、昭和60年には50年の 1.8倍の約105兆円、65年には 2.3倍の約 130兆円に達するものと予測される。50年代の年平均伸び率が全国平均（ 6.6％）を上回っているのは四国（ 7.3％）のみであり、近畿、中国においては全国平均以下の伸びにとどまっている。近畿の伸びの低迷は大阪府、兵庫県の増勢が鈍化することが主要因である。両府県は現在すでに高集積地であり、過密からくる産業立地の阻害要因、例えば土地取得の困難性、水

表— 5　地域別、年度別人口

	人口実数(千人)					対50年倍率(倍)		
	45 年	50 年	60 年	65 年	70 年	60/50	65/50	70/50
全国	103,719	111,940	123,749	128,272	132,719	1.11	1.15	1.19
近畿	17,401	18,831	20,882	21,511	21,943	1.11	1.14	1.17
中国	6,997	7,366	8,107	8,577	9,095	1.10	1.16	1.23
四国	3,904	4,040	4,233	4,413	4,592	1.05	1.09	1.14
計	28,302	30,237	33,222	34,501	35,630	1.10	1.14	1.18
大阪府	7,621	8,279	9,236	9,366	9,422	1.12	1.13	1.14
兵庫県	4,668	4,992	5,382	5,463	5,499	1.08	1.09	1.10
岡山県	1,707	1,814	1,921	2,008	2,099	1.06	1.11	1.16
広島県	2,436	2,646	2,863	3,021	3,177	1.08	1.14	1.20
徳島県	791	805	868	929	988	1.08	1.15	1.23
香川県	908	961	1,048	1,112	1,170	1.09	1.16	1.22
愛媛県	1,418	1,465	1,492	1,522	1,545	1.02	1.04	1.05
高知県	787	808	824	849	889	1.02	1.05	1.10

表— 6　地域別年度別生産額

年度／地域	45	50	60	65	年平均伸び率(%)		
					50/45	60/50	65/60
全国	10億円 161,657	10億円 197,507	10億円 375,299	10億円 475,613	4.09	6.63	4.85
近畿	32,542	36,254	65,700	81,582	2.18	6.13	4.43
中国	11,674	14,653	26,957	33,803	4.65	6.29	4.63
四国	4,901	5,982	12,141	15,485	4.07	7.33	4.99
計	49,117	56,889	104,798	130,870	2.98	6.30	4.54
大阪府	16,264	18,135	32,508	39,831	2.20	6.01	4.15
兵庫県	8,421	9,051	15,703	18,942	1.45	5.66	3.82
岡山県	2,892	3,592	6,707	8,380	4.43	6.44	4.55
広島県	4,349	5,518	9,893	12,307	4.88	6.01	4.46
徳島県	934	1,154	2,506	3,329	4.32	8.06	5.84
香川県	1,235	1,478	2,931	3,773	3.66	7.09	5.18
愛媛県	1,862	2,287	4,602	5,683	4.20	7.24	4.31
高知県	870	1,062	2,103	2,700	4.07	7.07	5.12

確保の問題、環境規制等が表面化してくるものと考えられ、特に重化学工業の伸びが低くなることが予測される。岡山、広島の両県は、中国縦貫道の供用、山陽道の部分供用等により阪神からの分散寄与を受け、各々安定した成長を示すことになる。しかし両県ともに、臨海部は重化学工業が現状においてもかなりの集積をもっていることもあって、これらの産業が大巾に増大することは困難で、徐々に内陸型産業へと変化していくことになろう。四国4県はともに高い成長を示すものと考えられ、なかでも徳島県の高度成長が目立っている。これは香川、愛媛が水供給力に欠けるのに対し、徳島は吉野川をベースにした水供給力の豊富さ、土地供給力、環境容量の余力等によるものと考えられる。なお産業別生産額の内訳をみると、製造業生産額の伸びがとりわけ高くなっている。

(2) 架橋による地域経済の効果

関連地域は架橋により瀬戸内海によって隔てられているという地理的条件を克服し、関連の交通施設の整備とあいまって、地域全体で一体的な産業発展の基盤を整えることになる。農業の面では、野菜、果物、花卉など鮮度を競う農産物が、より速く、より確実に出荷出来るよう流通条件が改善されるとともに市場の拡大が促進され、また工業の面では、地方への工業立地が可能となり、京阪神等大都市地域の過密が緩和され、工業の地方分散の効果が期待されるほか、大都市及び地域相互間の交流の活発化による商業・サービス機能の向上等が見込まれる。

関連地域における将来の地域別産業別生産額及び架橋効果（架橋あり、なしによる生産額の差）の予測結果は、表— 7 のとおりである。

近畿、中国、四国の対象15県の1ルート3橋による産業生産額の架橋効果は、昭和65年において、約 3,480億円（45年価格）であり、このうち第2次産業は約 2,230億円で全体の64%を占め、次いで第3次産業の約 1,200億円となっている。地域的には四国の架橋効果が約 2,120億円で最も大きく、全体の約6割を占めており、産業別には第2次産業に対する効果が最も大きい。架橋効果を県別にみると、香川、岡山、徳島等において効果額が大きく、また効果率も高くなっている。この理由は、架橋計画として1ルート3橋を前提としており、特に1ルートとして児島・坂出ルートを前提としているため、当ルートの直接関連地域である香川、岡山を中心に大きな効果が予測されるためである。

次に架橋効果の大宗を占める製造業について、業種別の生産額効果をみてみよう（表— 8）。

架橋関連地域の製造業に及ぼす効果額は、昭和65年に約 1,850億円であるが、その約8割が四国において生じており、近畿においてはマイナス効果となっている。すなわち、架橋は近畿にあっては工業の分散を促進する方向に機能している。

製造業の業種別効果では、金属加工型産業の効果が大きく、効果額の過半を占めている。金属加工型産業は、環境、水、土地といった地理的、自然的条件に依存するところが比較的小さく、立地の自由度の高い産業といわれており、本四架橋、高速道路等の交通施設の輸送条件に依存して立地が促進される度合が強く、県別にみると香川、岡山、徳島などの架橋効果が大きく算出されている。一方、石油、化学、鉄鋼等の基礎資源型産業は、環境、水等の制約に左右されやすく、本予測では既存の集積地を中心に立地がなされており、愛媛、岡山、広島などで効果が大きく算定されている。阪神地域においては、環境条件の制約等により、将来、基礎資源型産業は他地域へ分散されるものと予測され、サービス業、卸売業等の第3次産業の立地集積効果が見込まれる。

続いて地域別人口に与える架橋の影響についてみてみよう（表— 9）。

表— 7　地域別、産業別生産額及び架橋効果（65年、1ルート3橋の場合）　（45年価格）

地域＼産業	(1)架橋あり（1ルート3橋）				(2)架橋なし				(3)架橋効果 ((1)—(2))				(4)効果率(注)			
	一次	二次	三次	計	一次	二次	三次	計	一次	二次	三次	計	一次	二次	三次	計
	10億円	10億円	10億円	10億円	10億円	10億円	10億円	10億円	億円	億円	億円	億円	%	▲ %	%	%
近畿	567	49,172	31,843	81,582	566	49,181	31,794	81,542	14	▲89	481	407	0.26	0.02	0.15	0.05
中国	720	23,398	9,685	33,803	718	23,327	9,663	33,708	17	714	219	950	0.23	0.31	0.23	0.28
四国	673	9,969	4,843	15,485	672	9,809	4,793	15,273	12	1,607	501	2,120	0.18	1.64	1.05	1.39
計	1,960	82,539	46,371	130,870	1,956	82,317	46,250	130,523	43	2,232	1,201	3,477	0.22	0.27	0.26	0.27
大阪府	42	24,325	15,464	39,831	42	24,338	15,442	39,822	1	▲133	225	93	0.27	▲ 0.05	0.15	0.02
兵庫県	126	11,778	7,038	18,942	126	11,753	7,022	18,901	3	248	160	411	0.23	0.21	0.23	0.22
岡山県	148	6,151	2,080	8,380	148	6,076	2,067	8,291	3	752	137	891	0.18	1.24	0.66	1.08
広島県	127	8,608	3,572	12,307	127	8,589	3,563	12,280	3	187	82	271	0.23	0.22	0.23	0.22
徳島県	173	2,232	924	3,329	173	2,195	913	3,281	3	373	110	486	0.19	1.70	1.21	1.48
香川県	157	2,312	1,304	3,773	157	2,240	1,280	3,677	1	722	233	956	0.09	3.22	1.82	2.60
愛媛県	204	3,878	1,602	5,683	203	3,835	1,592	5,631	4	428	94	526	0.21	1.12	0.59	0.93
高知県	139	1,547	1,013	2,700	139	1,539	1,007	2,685	3	85	64	152	0.21	0.55	0.63	0.56

表—8　製造業業種別生産額及び架橋効果（65年、1ルート3橋の場合）

地域＼業種	生産額（1ルート3橋あり） ㈠金属加工型	㈡雑貨型	㈢基礎資源型	㈣地方資源型	製造業計	効果額 ㈠金属加工型	㈡雑貨型	㈢基礎資源型	㈣地方資源型	製造業計	効果率 ㈠金属加工型	㈡雑貨型	㈢基礎資源型	㈣地方資源型	製造業計
	10億円	10億円	10億円	10億円	10億円	億円	億円	億円	億円	億円	%	%	%	%	%
近畿	17,091	5,291	10,372	7,899	40,653	1	▲13	▲147	▲77	▲236	0.00	▲0.03	▲0.14	▲0.10	▲0.06
中国	7,292	1,604	7,962	2,842	19,700	332	132	100	61	625	0.46	0.83	0.13	0.21	0.32
四国	2,439	751	3,041	1,378	7,609	694	105	382	280	1,461	2.93	1.42	1.27	2.08	1.96
計	26,822	7,646	21,375	12,119	67,962	1,027	224	335	264	1,850	0.38	0.29	0.16	0.22	0.27
大阪府	9,392	2,693	4,869	3,110	20,064	▲13	▲1	▲109	▲93	▲216	▲0.01	▲0.00	▲0.22	▲0.30	▲0.11
兵庫県	3,974	1,060	2,964	1,835	9,833	96	54	▲45	95	200	0.24	0.51	▲0.15	0.52	0.20
岡山県	1,590	526	2,404	753	5,273	387	99	91	121	698	2.49	1.92	0.38	1.64	1.34
広島県	3,512	605	2,325	834	7,276	33	36	61	22	152	0.09	0.60	0.26	0.26	0.21
徳島県	544	195	664	342	1,745	166	17	54	97	334	3.15	0.85	0.82	2.93	1.95
香川県	612	268	500	424	1,804	423	81	▲9	166	661	7.43	3.12	▲0.18	4.07	3.80
愛媛県	967	187	1,457	413	3,024	71	5	311	8	395	0.74	0.28	2.18	0.19	1.32
高知県	317	101	420	199	1,037	35	2	27	9	73	1.10	0.20	0.65	0.47	0.71

（注）(1)製造業分類

㈠金属加工型……金属製品、機械工業

㈡雑　貨　型……印刷、出版、衣服、家具、ゴム製品、その他

㈢基礎資源型……石油、石炭製品、化学、鉄鋼、非鉄金属、紙パルプ

㈣地方資源型……窯業、土石、食品、木材・木製品、繊維

(2)効果率＝$\left(\frac{\text{架橋ありの生産額}}{\text{架橋なしの生産額}}-1.0\right)\times 100$

表—9　地域別人口及び架橋効果（65年1ルート3橋の場合）

	(1)架橋のある場合	(2)架橋のない場合	(3)増加数 (1)—(2)	(4)増加率（注）
	千人	千人	千人	%
近畿	21,511	21,486	25	0.12
中国	8,577	8,552	25	0.29
四国	4,413	4,396	17	0.39
計	34,501	34,434	67	0.20
	千人	千人	千人	%
大阪府	9,366	9,359	7	0.08
兵庫県	5,463	5,452	11	0.21
岡山県	2,008	1,988	20	1.03
広島県	3,021	3,015	6	0.22
徳島県	929	926	3	0.37
香川県	1,112	1,105	7	0.68
愛媛県	1,522	1,517	5	0.29
高知県	849	847	2	0.21

（注）増加率＝$\left(\frac{\text{架橋ありの人口}}{\text{架橋なしの人口}}-1.0\right)\times 100$

表—10　地域別生産所得及び架橋効果（65年1ルート3橋の場合）

（52年価格）

	(1)架橋のある場合	(2)架橋のない場合	(3)所得効果 (1)—(2)	(4)効果率	(5)人口1人当り所得増 (3)／人口
	10億円	10億円	10億円	%	千円／人
近畿	66,559	66,506	53	0.08	2.5
中国	25,555	25,486	69	0.27	8.0
四国	12,182	12,022	160	1.33	36.2
計	104,296	104,014	282	0.27	8.2
大阪府	32,859	32,839	20	0.06	2.1
兵庫県	15,019	14,985	34	0.23	6.2
岡山県	6,037	5,974	63	1.06	31.5
広島県	9,356	9,338	18	0.20	6.3
徳島県	2,588	2,551	37	1.46	40.0
香川県	3,038	2,965	70	2.50	66.7
愛媛県	4,342	4,306	36	0.82	23.2
高知県	2,214	2,200	14	0.58	15.1

（注）効果率＝$\left(\frac{\text{架橋ありの生産所得}}{\text{架橋なしの生産所得}}-1.0\right)\times 100$

対象15県の架橋あり、なしによる人口の差は、昭和65年において約6万7,000人と予測されている。その内訳は近畿、中国がそれぞれ2万5,000人、四国が1万7,000人の増加となっており、増加率では四国が高くなっている。架橋を通じて地域の産業発展とあいまって、通勤・通学、買物、医療、レクリエーション等の生活利便が向上し、生活圏の拡大、人口の地域定着が促進されて、関連地域において安定した活力のある地域社会形成の条件が整えられることを示している。

最後に架橋の地域別生産所得効果についてみてみよう（表—10）。

対象15県の架橋あり、なしによる生産所得の差額は、昭和65年において約2,820億円（52年価格）であり、このうち四国は57%を占め約1,600億円の効果となる。また人口1人当り生産所得の増加額は、四国において最も大きく、約3万6,000円／人と予測される。

また生産所得の増加額を県別にみると、香川、岡山、徳島、愛媛、兵庫……の順となっており、岡山、香川両県の合計額は約1,360億円で、全増加額のほぼ5割を占める。さらに効果率では四国4県が高くなっており、60年代には関連地域における所得格差の是正効果が期待される。

3.3 輸送構造の予測

表—11　本州四国間機関別輸送量及び分担率

	輸送機関	50年度 実績		58年度 架橋あり（大鳴門橋）			62年度 架橋あり（大鳴門橋、Dルート）			65年度 架橋あり（大鳴門橋、Dルート）		
		輸送量	分担率	輸送量	分担率	58／50	輸送量	分担率	62／50	輸送量	分担率	65／50
		千人／日	%	千人／日	%	倍	千人／日	%	倍	千人／日	%	倍
旅客	(1)鉄道	19.2	24.8	26.1	20.5	1.4	35.5	21.0	1.8	35.2	19.6	1.8
	(2)自動車	12.6	16.3	39.2	30.8	3.1	67.7	40.0	5.4	77.3	43.1	6.1
	フェリー	12.6	16.3	23.8	18.7	1.9	22.2	13.1	1.8	22.9	12.8	1.8
	架橋	—	—	15.5	12.1	—	45.5	26.9	—	54.4	30.3	—
	(3)旅客船	38.6	49.8	49.9	39.1	1.3	51.6	30.5	1.3	52.5	29.2	1.4
	(4)航空	7.1	9.2	12.312.3	9.6	1.7	14.3	8.5	2.0	14.6	8.1	2.1
	計	77.5	100.0	127.5	100.0	1.6	169.1	100.0	2.2	179.6	100.0	2.3
		千t／日	%	千t／日	%	倍	千t／日	%	倍	千t／日	%	倍
貨物	(1)鉄道	7.8	3.5	12.0	3.3	1.5	20.6	4.6	2.6	24.8	4.9	3.2
	(2)自動車	34.8	15.7	63.8	17.6	1.8	80.2	2.3	91.9	18.2	18.2	2.6
	フェリー	34.8	15.7	48.1	13.3	1.4	34.9	7.8	1.0	38.2	7.6	1.1
	架橋	—	—	15.6	4.3	—	45.4	10.2	—	53.8	10.7	—
	(3)船舶	179.0	80.8	287.1	79.1	1.6	343.9	77.3	1.9	388.1	76.9	2.2
	計	221.6	100.0	362.9	100.0	1.6	444.7	100.0	2.0	504.8	100.0	2.3

(1) 本四間輸送量と機関分担

本四架橋後の本四間旅客及び貨物の輸送量は表—11のとおりである。

昭和65年時点における1ルート3橋を前提とした本四間輸送量は、旅客17万9,000人／日、貨物50万5,000t／日といずれも昭和50年度の2.3倍に達するものと予測される。その際の各輸送機関の分担率をみると、旅客においては、自動車のシェアが大幅にふえ、このうち架橋利用が全体の約30%を占める。また旅客船による輸送のシェアは、50年度の50%から30%に20%程度減少するほか、フェリー、鉄道のシェアも若干減少する。貨物においては、50年度に比較し、鉄道、自動車の分担率がそれぞれ1.4%、2.5%ふえ、とくに架橋利用の自動車は5万4,000t／日となり、全体の約11%を占めるようになる。一方、船舶の分担率は4%程度低下するが、77%と依然として高い。本四間の貨物輸送については、40年代を通じて品目特性にみあった機関分担が形成されてきており、将来においても輸送品目の構成に大きな変化が見込まれないので、各輸送機関の分担率は比較的小さいものと推測される。1ルート3橋を前提とした旅客船、フェリーへの影響は、架橋と平行する航路等においては、かなりの影響が見込まれる一方、一部の航路についてはむしろ利用量が増大するものと予想される。例えば、大鳴門橋の完成によって四国・淡路島間のフェリーの自動車航送台数は約80%減少すると見込まれているのに対し、本州・淡路島間の航送台数は約60%増加するものと見込まれている。

次に架橋による輸送量の増加分、いわゆる誘開発率についてみると、昭和65年度において旅客約19%、貨物約3%と推計される。貨物の誘開発率は品目別によって、かなりの差異がみられる。すなわち現在においても自動車または鉄道による分担率の高い品目（農水産品、軽工業品、雑工業品、その他）の誘開発率が大きい。これはこれらの品目は時間評価値が高く、速くて高い機関である架橋を利用することになり、結果として経済距離の短縮率が他の品目より相対的に大きくなるためである。また旅客の誘開発率が貨物に比較して大きく計測されるのは、旅客の移動に要する時間評価値が、貨物のどの品目よりも高いためである。

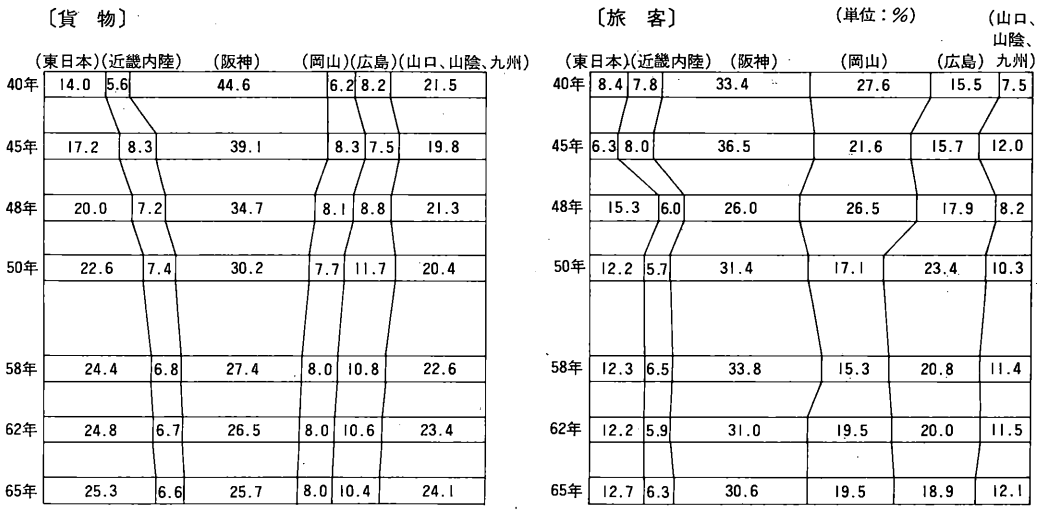
(2) O.Dパターンの変化

昭和40年度以降の四国発着輸送量のO.Dパターンの変化をみると図—5のとおりである。

貨物においては、この10年間に対阪神O.Dシェアは、45%から30%へ15%も減少し、代って東海地域以東の東日本のシェアが急激に増大している。このように貨物流動パターンが近年長距離化している原因としては、新規産業立地の中核であった瀬戸内海臨海部における大規模な工業開発が40年代にほぼ完了したこと、また東日本方面との交流については、東名・名神の高速道路利用の輸送が一般化してきたこと等があげられる。

将来の貨物輸送のO.Dパターンは、このような傾向を持続するものと予想される。すなわち、架橋関連地域の工業生産のシェアでは、阪神地域が低下し、東日本、九州等のシェアが高まることが予想され、高速道路の整備とあいまって、四国発着O.Dの長距離化がさらに進展するものと見込まれる。

次に旅客においては、貨物の場合ほど明確な傾向は見出し難いが、東日本、広島のシェアが近年増大し、岡山との結びつきの低下がみられる。岡山のシェア低下は、40年代前半の自動車普及率の上昇とそれに伴うフェリー航路の充実により、本州との往来の手段が多様化してきたことによる。広島・東日本のシェアが大きく増大した



図—5　本州四国間輸送量のO.Dパターンの変化

(注) 58.62.65年値は、本四架橋ありの場合の数値である。

表—12　1ルート3橋の年度別、架橋別橋上交通量

ルート / 年度	大三島橋			因島大橋			大鳴門橋			D ルート		
	乗用車	貨物車	計	乗用車	貨物車	計	乗用車	貨物車	計	乗用車	貨物車	計
54	230	110	340	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57	330	210	540	3,450	2,100	5,550	—	—	—	—	—	—
58	390	250	640	3,780	2,320	6,100	4,970	6,940	11,910	—	—	—
61	740	600	1,340	4,780	2,990	7,770	6,020	8,260	14,280	—	—	—
62	760	610	1,370	5,090	3,180	8,270	5,250	4,790	10,040	9,800	18,530	28,330
65	810	650	1,460	5,710	4,230	9,940	5,610	11,430	12,920	12,920	21,820	34,740

(注) 乗用車＝乗用車＋バス
貨物車＝小型貨物車＋普通貨物車

のは、山陽新幹線の延長動向との関連からと推測される。

将来の旅客輸送パターンの貨物と大きく異なるところは、阪神地域のシェアがそれほど低下しない点である。これは阪神地域は工業の分散により物流拠点としての機能は低下するが、3次産業を中心として同地域の中枢管理機能の低下はみられず、人的流動面での阪神の優位が保たれると予測されるためである。

(3) 橋上交通量の予測

本四間旅客、貨物輸送量のうち、架橋利用輸送量を、車種別積載原単位及び距離帯別車種構成比により台数換算した橋上交通量は表—12のとおりである。

供用開始時の交通量は、大鳴門橋は約1万9,000台/日、児島・坂出ルートは約2万8,300台/日と推計される。62年度の大鳴門橋および児島・坂出ルートの交通量の合計は約3万8,400台/日であり、これが65年度には約4万6,200台/日に増加するものと見込まれ、その伸び率は高いが、これは四国横断、縦貫の自動車道の主要区間が65年に供用され、中国、四国の主要都市間が直結されるためである。また62年度において大鳴門橋の交通量が減少するのは、児島・坂出ルートが供用し、転換するためである。

なお大三島橋及び因島大橋の交通量は、島しょ部間および島しょ部と本州または四国間の交通量であり、前述の本四間交通量とは性格を異にするため、「全国交通情勢調査」及び「航路別輸送実態調査」の結果を基に、人口、経済距離を説明変数とするグラビティモデル式を作成し、推計したものである。

4．あとがき

以上、架橋関連地域の経済・輸送構造の現況及び予測結果について概要を述べた。

このような将来の予測は、予測期間が長期にわたるため、モデルの与条件となる将来の経済規模、幹線交通網計画、地域計画、輸送条件等の設定の仕方により、予測結果はある範囲内で変動するとともに、経済構造の見通しについては、関連地域の公共団体の政策に大きく左右されるものと考えられる。また橋上交通量については、最近の自動車の大型化、長距離化等について検討を加えるとともに、今春供用予定の大三島橋利用交通量の分析等を行い、より現実的なものとしたい。

なお本予測は、㈱野村総合研究所に委託しとりまとめたものである。

長支間道路吊橋の計画（要約）

前理事　川崎偉志夫

まえがき

吊橋は、引張材であるケーブルを使用することにより、他形式橋梁にみられない長支間橋梁の建設が可能であるが、反面、塔・ケーブル・補剛桁等、力学的性状が異なる部分の組み合わせであるため、複雑な構造物である。

また長支間であることの必然の結果として、各部寸法が大きくなり、製作・施工面での困難性とともに、誤差や二次応力も増大するが、同時に、その変形能が大きいために、誤差等の影響を吸収しやすい一面もある。

このような吊橋の特異点をふまえ、長支間道路吊橋計画上の留意点を、「長支間道路吊橋の計画に関する実証的研究」（海洋架橋調査会、昭和54年5月）にとりまとめたが、本文はその主要点を抜粋要約したものである。詳細ならびに引用文献については、上記文献を参照されたい。

1．誤差

誤差の内容を次のとおり分類する。

1）たとえば補剛トラスの製作誤差のように、一般のトラス橋と差がなく、製作基準等に示す精度を保持すれば、格別の問題は生じないもの。

2）地球の曲率が各径間長に与える影響・ケーブルからの鉛直力による塔の圧縮量など、厳密な意味での誤差ではないが、設計段階で見込んでおくべき事項。

3）ストランドの製作長誤差・支間測量誤差・ケーブル弾性係数の、計算値と実際値との差による形状誤差などは、吊橋の規模とともにその絶対値は増大するが、基準ストランドの視準やケーブルバンド取りつけ順序等、施工法によって形状や応力に与える影響を小さくしうる事項。

4）短かいハンガーロープにおける製作施工誤差・塔柱の鉛直度誤差・定着部でのシム量の差によるアンカースパン内でのストランド応力のばらつき・アンカレイジ支持地盤のクリープやケーブルの見かけの弾性係数の変動による吊橋の形状誤差などのように、製作施工法のみでは解消しえないため、計画または設計段階で見込んでおくべき事項。

以上に例示したほかにも、さまざまな内容の誤差が考えられるが、いずれにしても誤差をその内容によって分類し、その影響の程度によって対策を立てることが重要である。

2．キャットウォーク

キャットウォークは、ケーブル架設をはじめ、吊橋上部工架設のために不可欠な重要仮設物である。中央径間を例にとり、

Ac：キャットウォークロープ片側当りの総断面積(m^2)

w_c：キャットウォーク片側当りの上載荷重（t/m）

l：中央径間長（m）

f：中央径間のサグ（m）

n：中央径間のサグ比　f/l

σa：キャットウォークロープの許容応力度（t/m^2）$=\sigma d+\sigma c$

σd：キャットウォークロープの、自身の死荷重による応力度（t/m^2）

σc：キャットウォークロープの、上載荷重w_cによる応力度（t/m^2）

Td：キャットウォークロープの、自身の死荷重による応力（t）$=Ac\sigma d$

Tc：キャットウォークロープの、上載荷重w_cによる応力（t）$=Ac\sigma c$

とすると、

$$\sigma d=\frac{Td}{Ac}=\frac{\frac{7.85Ac\,l^2}{8f}\times\sqrt{1+16n^2}}{Ac}=\frac{7.85l}{8n}\cdot\sqrt{1+16n^2}\quad\cdots\cdots(1)$$

$$\sigma c=\frac{Tc}{Ac}=\frac{\frac{w_c l^2}{8f}\sqrt{1+16n^2}}{Ac}=\frac{w_c l}{8nAc}\sqrt{1+16n^2}$$

$$\therefore\sigma a=\sigma d+\sigma c=\frac{l}{8n}\sqrt{1+16n^2}\left\{7.85+\frac{w_c}{Ac}\right\}$$

したがってキャットウォークロープ片側当りの所要断面積、

$$Ac=\frac{w_c}{\frac{8\sigma a}{\frac{l}{n}\sqrt{1+16n^2}}-7.85}\quad\cdots\cdots(2)$$

キャットウォークロープは、その作業性から、ストランドロープを用いるが、苛酷な自然条件下に長期間さらされることから、比較的高い安全率を採り（上部工設計

基準4.5)、いくつかのカタログより、

$\sigma a=43,000t/m^2$ ……(3)

とする。また上載荷重w_cについては、足場金網・引き出し用ローラー・クロスウォーク等を等分布荷重に換算して　0.1t/m.

作業員等を同じく等分布荷重に換算(長さ1.5mに1人の割り合い)して　0.05t/m

仮置きストランド2本ぶん　0.04t/m

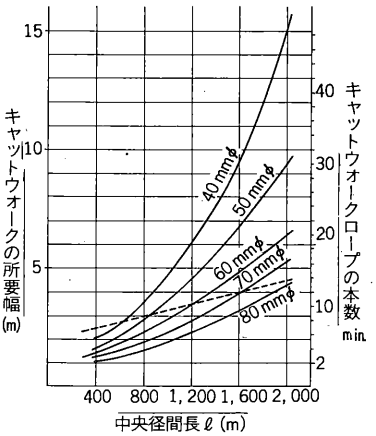
ストームケーブルから伝達される力を等分布荷重に換算して　0.02t/m

(以上いずれも関門橋の例から類推)

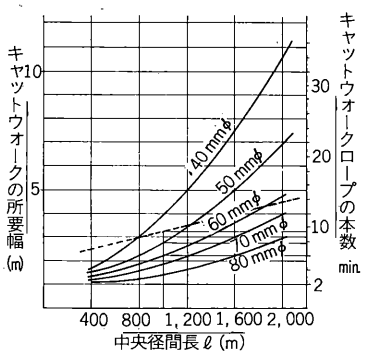
合計して　$w_c=0.12t/m$……(4)

(2)、(3)、(4)の3式から、キャットウォークロープの所要断面積が、l、nの関数として求められるが、キャットウォークロープの配置は、塔頂でのアンカー用ソケットやサグ調整用のシムプレートの大きさから、最小30cmの中心間隔が必要であるし、ハンガーロープ取り付け時に、主ケーブルの直下に、少なくとも1m程度の隙間をとっておきたい。

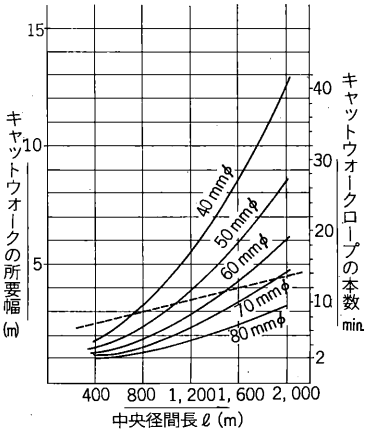
以上のことから、片側キャットウォーク当りの必要ロープ本数と必要幅とを図1～4に示す。一般に架設作業に必要なキャットウォークの幅員は、最大でも5m以下であり、これ以上広い幅員は、風荷重などによる端ロープへの応力集中などで、決して好ましいものではない。



図—1　キャットウォークの所要幅
(サグ比n＝1/9)

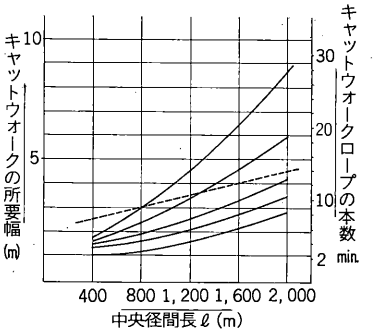


図—2　キャットウォークの所要幅
(サグ比n＝1/10)



図—3　キャットウォークの所要幅
(サグ比n＝1/11)

注)……は、架設作業上最低限必要なキャットウォークの幅を、実績を参考にして示したもの



図—4　キャットウォークの所要幅
(サグ比n＝1/12)

また工事中のわずかな偏心載荷によっても、キャットウォークは傾斜しやすいので、主ケーブルに対して対称にキャットウォークを配置すべきである。

図-2のサグ比n=1/10の場合を例にとり、中央径間長l=1,000mの場合には、キャットウォークの最低幅は、3.25m、これに対し40mmφ ロープは不可、46mmφ 程度以上のロープが必要で、

46mmφ	のとき	ロープ本数	10本
50mmφ	のとき	〃　〃	8本
60mmφ	のとき	〃　〃	6本

が図-2から読みとれるが、劣悪な作業条件下でのハンドリングからは、50mmφ程度以下が望ましい。

また中央径間のサグ比により、キャットウォークロープの所要本数したがって所要幅は、鋭敏に影響を受ける。たとえばサグ比n=1/12、中央径間長l=1,600mの場合には、図-4より最少幅員 4.0mに対して70mmφ 12本が必要となるが、ロープ径はハンドリング上60mmφ 程度が限度であり、この場合にはロープ本数16本、幅員 5.2mとなる。これに対してn=1/9の場合には、図-1より、中央径間長1,600mに対しても、54mmφ 12本、幅員4.0mが可能である。

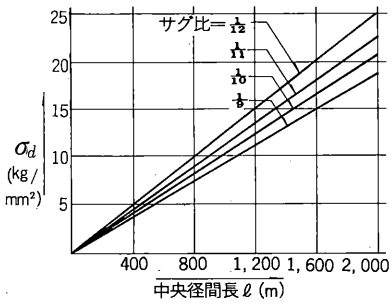
以上のことから、中央径間長が1,500m以上のような超大規模吊橋では、キャットウォークの設計施工面で、サグ比nは1/10程度以上とすることが望ましい。

3．ストランドのサグ調整

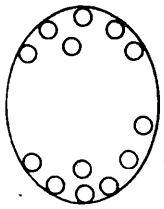
主ケーブルを構成する各ストランドの、自身の死荷重による応力度σdは、式(1)および図-5に示すとおりである。ストランドのサグ調整に際し、各ストランドの間隔をゼロにするという理想をねらいすぎると、上のストランドが下のストランドにもたれかかり、吊橋の規模によっては、ケーブル架設のみで、下層のストランド応力が、許容値を超過する危険もある。

このため各ストランドの間隔をゼロにするのではなく、間隔をなるべく小さくすることに重点をおくべきであるが、この結果ケーブル架設完了時点で、ケーブル形状はいくぶん縦長の形状となる（図-6)。

スクィージングやケーブルバンド取り付けの作業性か



図－5　Own Weight によってストランドに生ずる応力度 σ_d



図－6　架設中のストランドのばらつき

らは、スクィージング前のケーブル形状は、円形に近いことが望ましいので、塔頂サドル内での主ケーブル形状は、やや横長な形状とするのが妥当である。

4．アンカースパン長

アンカーブロックの工事費が、吊橋全体の工事費に占める割合は決して小さくない。アンカーブロックの大きさを決定する要素としては、道路幅員またはケーブル中心間隔のほか、アンカースパン長とアンカーフレーム埋込長が考えられるので、以下に検討する。

主ケーブルを構成する各ストランドの製作長誤差や支間測量誤差を吸収する手段として、プレハブワイヤーストランドの場合、ストランド定着点にシムプレートを挿入する。ケーブル架設時から吊橋完成時までのシムプレートの反りの変化量を、2本のストランドについてそれぞれ δ_1，δ_2 とすると、吊橋完成時における2本のストランド間の応力差 $\triangle\sigma$ は、

$$\triangle\sigma=\frac{E}{la}(\delta_1-\delta_2)=\frac{E}{la}\triangle\delta \quad \cdots\cdots(5)$$

ここに　$\triangle\delta=\delta_1-\delta_2$

la：アンカースパン長

E：ストランドの弾性係数

$\triangle\delta$の値は、シム量とともに、シムプレートの枚数にも関係するが、一般的には吊橋の規模とともに増大する。現在の技術水準からは、シム量最大値は、ストランド長の1/10,000と考え(関門橋での実積、ストランド長1,160mに対してシム量最大140mm)、必要なシムプレートの大きさから、道路橋示方書に示す板の平面度を参考にし、ひとつのプラクティスとして、シム量40mmに対して1mmの反りを仮定する。

またストランド長を中央径間長の2倍として、アンカースパン長 la と応力のばらつき $\triangle\sigma$ との関係を式(5)で計算すれば図－7のとおりである。

図－7に示す値は、上記のとおりいくつかの大きな仮定を含んでいるが、若戸橋での実測結果からは、計画段階での推定値としては、ほぼ妥当な値と考えられる。

つぎに図－8において、ケーブル架設完了時点でのスプレーポイント0が、吊構造部死荷重増大によるアンカースパンストランドの伸びによって、S点まで長さ $\triangle la$ だけ移動したとする。移動方向は図－8に示すとおり、$\frac{\alpha+\theta_1}{2}$ の方向とする。このときS点の座標は、図－8より、

$$\left.\begin{aligned}x&=\triangle la\cdot\cos\frac{\alpha+\theta_1}{2}\\ y&=\triangle la\cdot\sin\frac{\alpha+\theta_1}{2}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(6)$$

最下層ストランドのアンカー点Lの座標は、

$$\left.\begin{aligned}x&=-la\cdot\cos(\alpha+\beta)\\ y&=-la\cdot\sin(\alpha+\beta)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(7)$$

最上層ストランドのアンカー点Uの座標は、

$$\left.\begin{aligned}x&=-la\cdot\cos(\alpha-\beta)\\ y&=-la\cdot\sin(\alpha-\beta)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(8)$$

式(6)に示す $\triangle la$ は、ケーブル架設完了時点でのケーブル応力度をσd、死荷重＋活荷重状態でのケーブル応力度をσaとすると、$(\sigma a-\sigma d)$ によるアンカースパンの伸びである。

このうちσdは、塔の曲げ剛性やスプレーサドル底面の摩擦を微少として近似的に式(1)で示されるが、サグ比nは通常1/10～1/11の範囲が多く、近似計算としては中間値をとって$n=1/10.5$とし、式(1)から、

$\sigma d\fallingdotseq 11l(t/m^2)$　　l：(m)

また$\sigma a=56{,}000t/m^2$

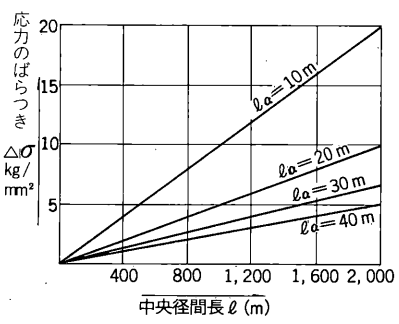
したがってケーブルの弾性係数$E=2.0\times10^7t/m^2$として

$$\triangle la=\frac{la}{E}(\sigma a-\sigma d)=la\frac{56{,}000-11l}{2\times10^7}\quad\cdots\cdots(9)$$

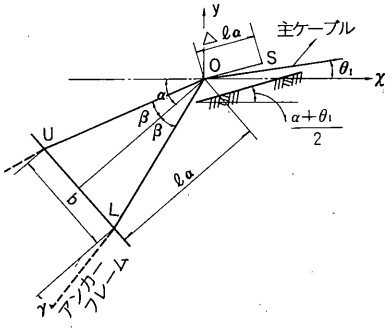
(6)～(9)の4ヶの式より、$\overline{LS}$と$\overline{US}$が求められ、$\overline{LS}-\overline{US}$より、最上層ストランドと最下層ストランドとの応力のばらつき$\triangle\sigma$は、微少項を無視することにより、

$$\triangle\sigma=\frac{\overline{LS}-\overline{US}}{la}E=2(56{,}000-11l)\sin\beta\cdot\sin\frac{\alpha-\theta_1}{2}\quad\cdots\cdots(10)$$

式(10)に示すβは、アンカースパン長laのほか、図－8に示すbの値によって決まる。さらにbの値は、主として



図－7　アンカースパンにおける応力のばらつき$\triangle\sigma$（シム量によるもの）

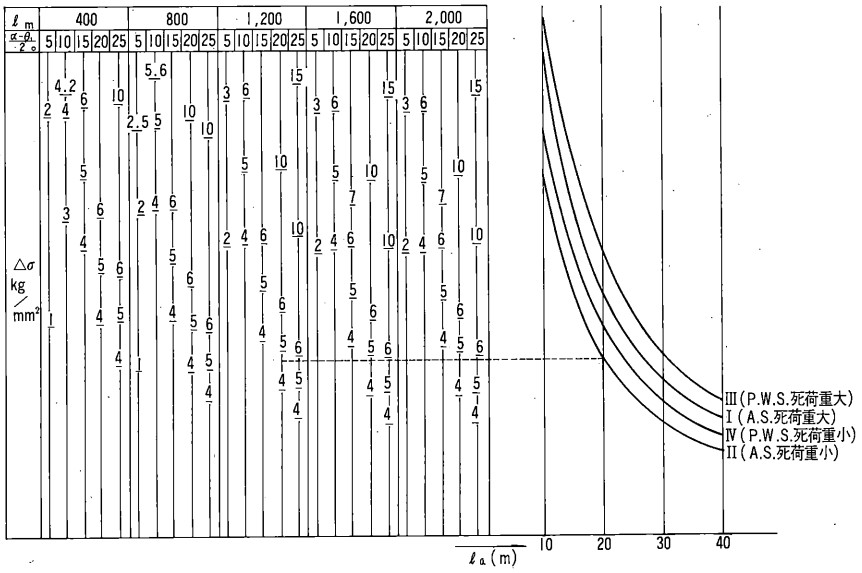


図－8　スプレーポイントの移動説明図

表－1　ケーブル定着面の面積等

施工法＼吊構造部の死荷重		大	小
A.S.	定着面断面積m²	0.060l	0.034l
	同上縦長m	0.245$\sqrt{l}$	0.184$\sqrt{l}$
P.W.S.	定着面断面積m²	0.081l	0.045l
	同上縦長m	0.285$\sqrt{l}$	0.212$\sqrt{l}$

注）l：中央径間長m



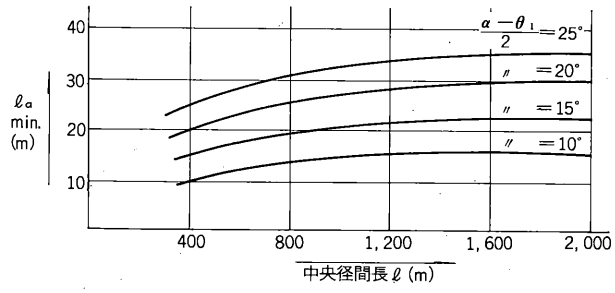
図－9　アンカースパンにおけるストランド応力のばらつき△σ（総括）

1ケーブル当りの総素線数とストランド数とによって決まるが、総素線数は、吊橋の規模のほか、コンクリート床版か鋼床版かなどによる吊構造部死荷重の大小に大きく影響される。また総素線数が一定の場合でも、エアスピニング（$A.S.$）工法とプレハブワイヤーストランド（$P.W.S.$）工法とによってストランド数は変化する。そこでいくつかの実績を参考にし、定着面の形状を正方形とした場合のbの値を表－1に示すとおりとして式(10)に示すβの値を求めることができる。

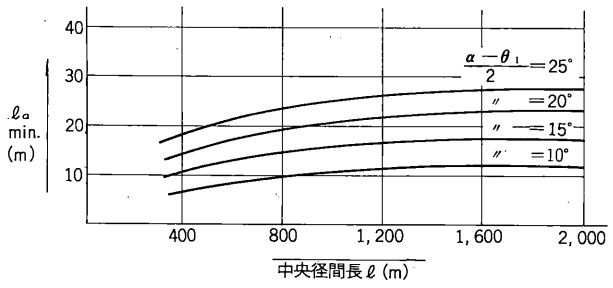
つぎに図－8に示すケーブルの入射角θ_1は、主として側径間比によって決まる値であり、またケーブルの折れ角αは、$\alpha \geqq \theta_1$の條件内で、0°～50°の範囲で考える。

以上により、式(8)に示すアンカースパンでのストランド応力のばらつき最大値△σを計算した結果を、総括して図－9に示す。たとえばケースII（$A.S.$死荷重小）で、$la=20$m、$l=1{,}200$m、$\frac{\alpha-\theta_1}{2}\fallingdotseq 20°$のときの△$\sigma$は、図－9の点線の順序をたどることにより、△$\sigma=4.66$kg/mm²を得る。

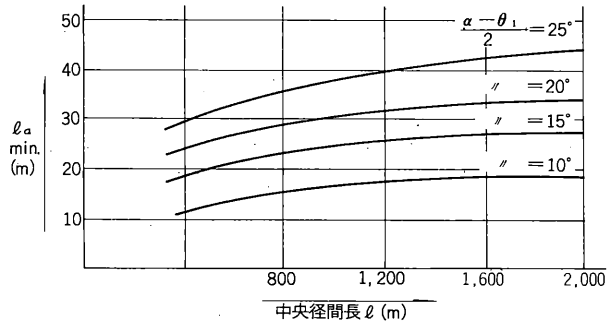
以上定着部におけるシム量の差と、図－8に示すスプレーポイントの移動とによるストランド応力のばらつき△σのうち、前者によるものを一律に4.2kg/mm²（図－7参照）とし、両者合算してのばらつきの許容値を8.4kg/mm²（許容応力度56kg/mm²の15%に相当。道路橋示方書2.1.温度変化に対する割り増し率15%の考え方を準用）として、アンカースパン長$la\,min.$が図－10～13のとおり求められるが、実橋例とも比較的整合しており、計画段階としては、これを一応の目安としてよい。



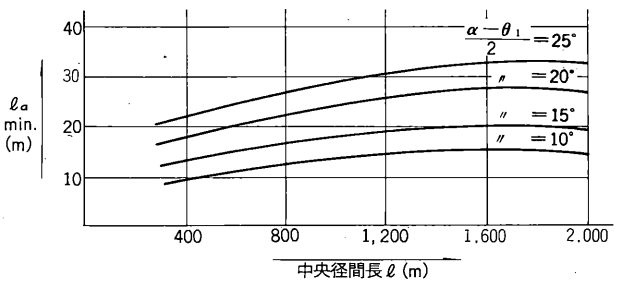
図－10　アンカースパン長 ℓa min.（ケースI　A.S.死荷重大）



図－11アンカースパン長　ℓa min.（ケースII　A.S.死荷重小）



図－12　アンカースパン長 ℓa min.（ケースIII P.W.S.死荷重大）



図－13　アンカースパン長 ℓa min.（ケースIV P.W.S.死荷重小）

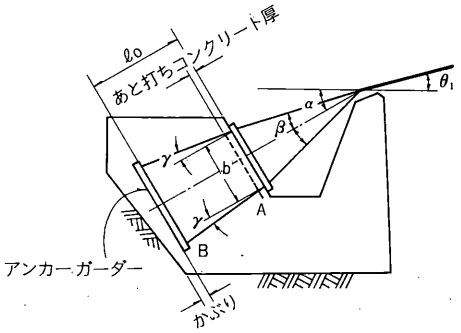
5．アンカーフレーム埋込長

図—14に示すアンカーフレームの所要埋込長loを、ケーブル定着方式が前面定着の場合について求めてみる。

ケーブル定着面の形状を正方形とし、左右にそれぞれ2 mのかぶりを採るものとすれば、せん断抵抗に有効な辺の長さbは、$A.S.$工法で死荷重の大きいケースⅠを例にとれば、図—14と表—1より、ケーブル定着面で、

$4+0.245\sqrt{l}$(m)　l：中央径間長(m)

またアンカーガーダー面で、



図—14　アンカーフレーム埋込部形状略図

$4+0.245\sqrt{l}+2lo\tan\gamma$

ケーブル張力をT、せん断許容応力度をτaとすると、

$$\frac{T\cos\gamma}{lo^2\tan\gamma+lo(4+0.245\sqrt{l})}\leqq\tau a \quad\cdots\cdots(11)$$

を解いて埋込長$lo\ min.$を求めることができる。表—1に示す他のケースについても、全く同じ方法で$lo\ min.$が求められる。

ここでケーブル張力Tは、実例から、

コンクリート床版等死荷重大の場合

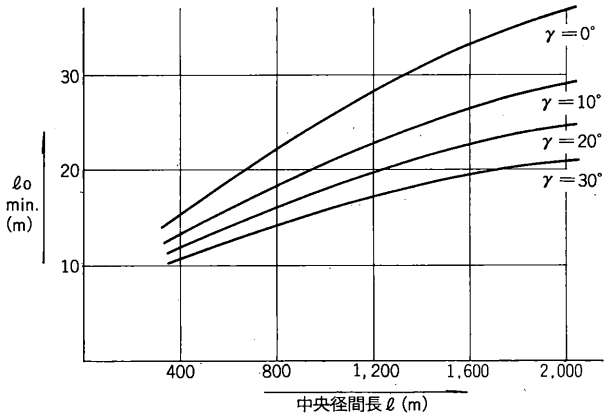
$T(t)=20l$　l：(m)

鋼床版等死荷重小の場合

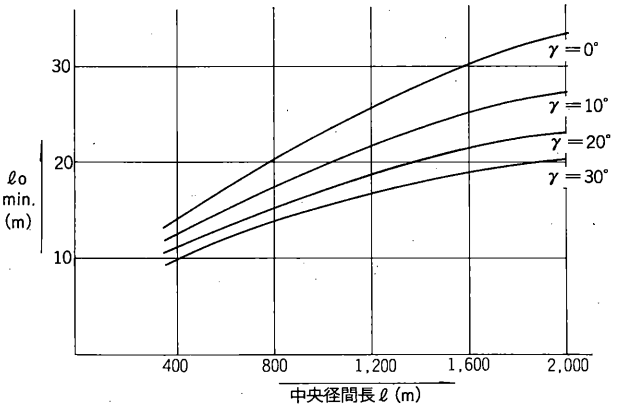
$T(t)=11l$　l：(m)　……(12)

とし、せん断許容応力度τaは、コンクリート標準示方書66條の規定から8 kg/cm²として$lo\ min.$を求めた結果を、図—15～18に示す。これらの値には、アンカーブロック後面のかぶりと、埋込部先端で後打ちするコンクリート部分の厚さ（図—14）として、各場合とも一律4 mを加算している。

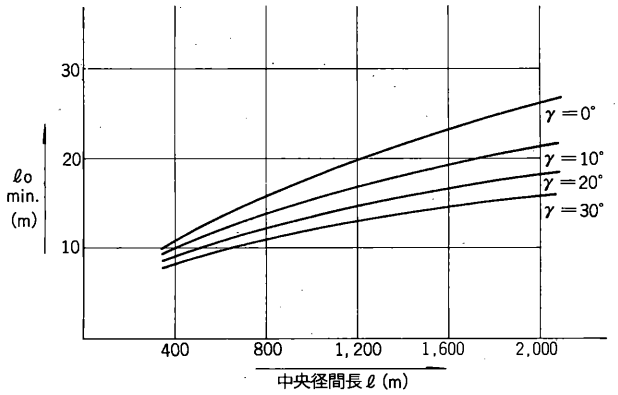
上記$lo\ min.$の導入過程には、いくつかの大きな仮定を含んでいるし、計算方式も厳密解ではない。しかし実橋とも比較的整合しているので、計画段階としては図に示す$lo\ min.$を一応の目安としてよい。



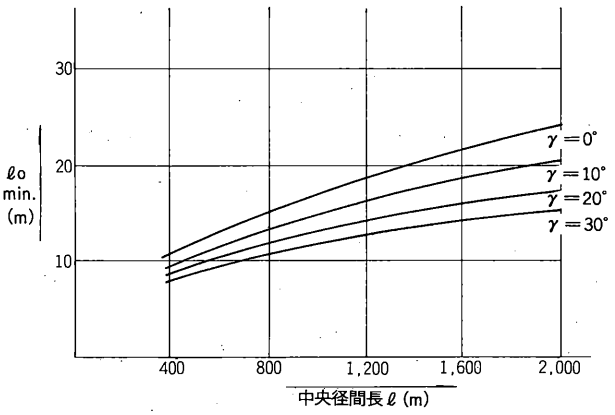
図—15　アンカーフレーム埋込長 ℓ_o min.
（ケースⅠ　A.S.死荷重大）



図—17　アンカーフレーム埋込長 ℓ_o min.
（ケースⅢ　P.W.S.死荷重大）



図—16　アンカーフレーム埋込長 ℓ_o min.
（ケースⅡ　A.S.死荷重小）



図—18　アンカーフレーム埋込長 ℓ_o min.
（ケースⅣ　P.W.S.死荷重小）

アンカーブロックの橋軸方向の寸法決定要素としては、上記アンカースパン長la、アンカーフレーム埋込長loのほか、アンカーブロック前趾の形状があるし、支持地盤面が比較的浅い場合に、滑動に対する安全確保のために必要なアンカーブロック重量を、寸法増でかせぐ場合もある。しかしla、loは、アンカーブロック寸法決定の基本事項であるので、より一層の検討が望まれる。

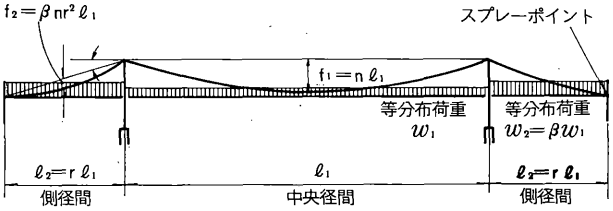
6．吊橋の変形

ここでいう吊橋の変形とは、次の3項目による変形をいう。

1) 基礎地盤のクリープによるスプレーサドルの水平移動量の推定誤差等、橋長の変化Cによる変形。支間測量の誤差等は、ストランド架設時のサグ調整や定着点のシム量で解消しうるものとする。

2) 吊構造部死荷重の仮定誤差、または添架物や舗装補修等、死荷重強度の変化率γによる変形。

3) ケーブルの見かけの弾性係数の、経年による変動率kによる変形。弾性係数の設計値と架設時の実際値との差は、長支間吊橋の場合、架設時の測定によって解消しうるものとする。



図—19 吊橋系略図

図—19に示す吊橋系において、上記さまざまな理由により、$l_1 \rightarrow l_1+\triangle l_1$、$l_2 \rightarrow l_2+\triangle l_2$、したがって$f_1 \rightarrow f_1+\triangle f_1$、$f_2 \rightarrow f_2+\triangle f_2$とすると、塔柱の曲げ剛性を無視して、

$$\frac{w_1(l_1+\triangle l_1)^2}{8(f_1+\triangle f_1)}=\frac{w_2(l_2+\triangle l_2)^2}{8(f_2+\triangle f_2)} \quad \cdots\cdots(13)$$

ここにw_1、w_2は、図—19に示すとおり、中央径間と側径間での吊構造部死荷重強度である。

また、 $\triangle l_1+2\triangle l_2=C$ ……(14)

中央径間と側径間とのケーブル長の関係より、

$$(l_1+\triangle l_1)\left\{1+\frac{8}{3}\left(\frac{f_1+\triangle f_1}{l_1+\triangle l_1}\right)^2\right\}=k\,l_1\left\{1+\frac{8}{3}\left(\frac{f_1}{l_1}\right)^2\right\} \quad \cdots(15)$$

$$(l_2+\triangle l_2)\left\{sec\,\theta+\frac{8}{3sec^3\theta}\left(\frac{f_2+\triangle f_2}{l_2+\triangle l_2}\right)^2\right\}=k\,l_2\left\{sec\,\theta+\frac{8}{3sec^3\theta}\left(\frac{f_2}{l_2}\right)^2\right\} \quad \cdots\cdots(16)$$

これら4ヶの式から未知数$\triangle l_1$～$\triangle f_2$を求めるのに、計算を簡単にするため、側径間比r、中央径間のサグ比n、側径間と中央径間との等分布死荷重強度の比βを用いて、l_2・f_1・f_2等を、吊橋の規模を表わす中央径間長l_1によって次のとおり表わす。

側径間比rより $l_2=rl_1$

中央径間のサグ比nより $f_1=nl_1$

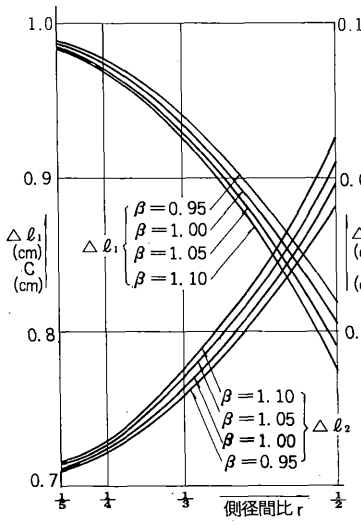
塔頂でのケーブル水平力の釣り合い式に上記l_2、f_1を代入して $f_2=\beta nr^2 l_1$

死荷重の変化率γより $w_2=\gamma\beta w_1$

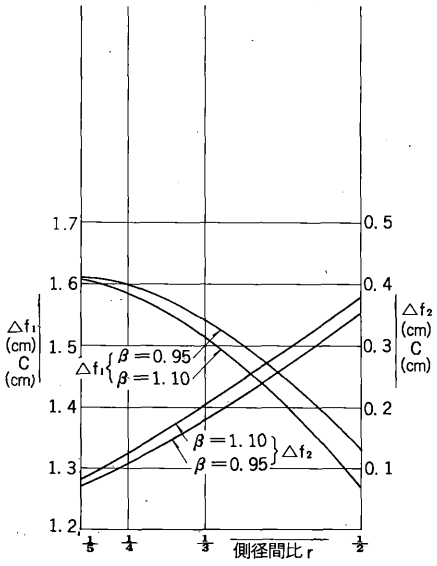
縦断勾配を無視して $sec\,\theta=\dfrac{\sqrt{l_2^2+f_1^2}}{l_2}=\dfrac{\sqrt{r^2+n^2}}{r}$

以上により式(13)～(16)を整理すると、

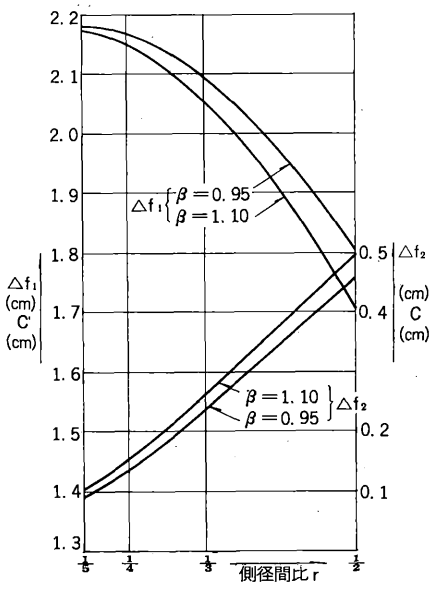
$$\left.\begin{aligned}&\triangle l_1=\frac{\gamma}{r}\cdot\triangle l_2+\frac{\gamma}{2n}\cdot\triangle f_1-\frac{1}{2\beta nr^2}\cdot\triangle f_2+\frac{1}{2}(\gamma-1)l_1\\&\triangle l_1+2\triangle l_2=C\end{aligned}\right\}$$



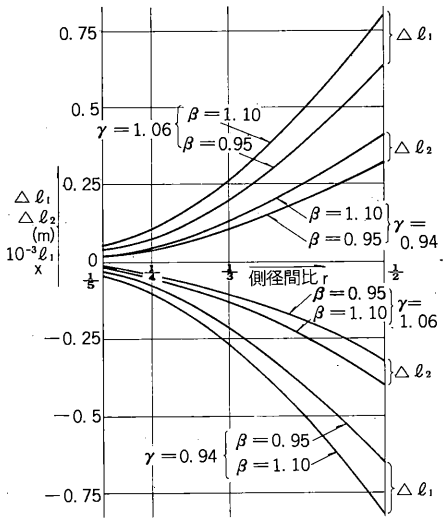
図—20 橋長の変化Cによる△ℓ_1、△ℓ_2（サグ比n＝$\frac{1}{10}$）



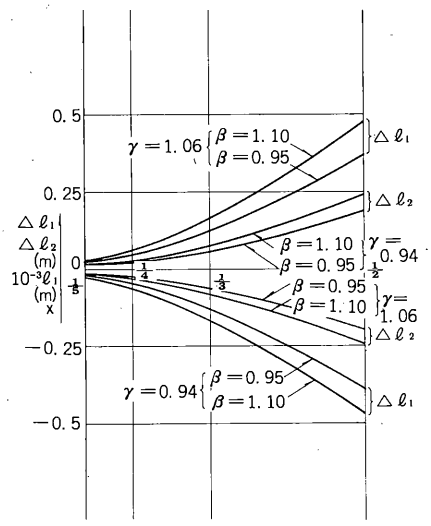
図—21 橋長の変化Cによる△f_1,△f_2（サグ比n＝$\frac{1}{5}$）（△ℓ_1,△ℓ_2と符号を逆にして対応する）



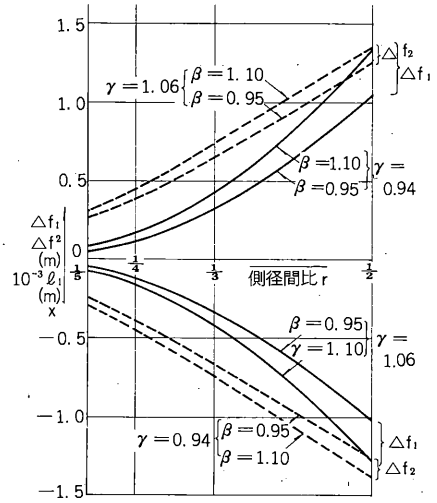
図—22 橋長の変化Cによる△f_1,△f_2（サグ比n＝$\frac{1}{12}$）（△ℓ_1,△ℓ_2と符号を逆にして対応する）



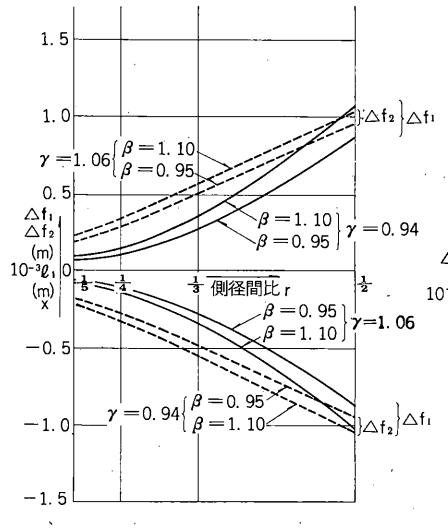
図—23 死荷重変化率γによる△ℓ1，△ℓ2
（サグ比n＝1/9）



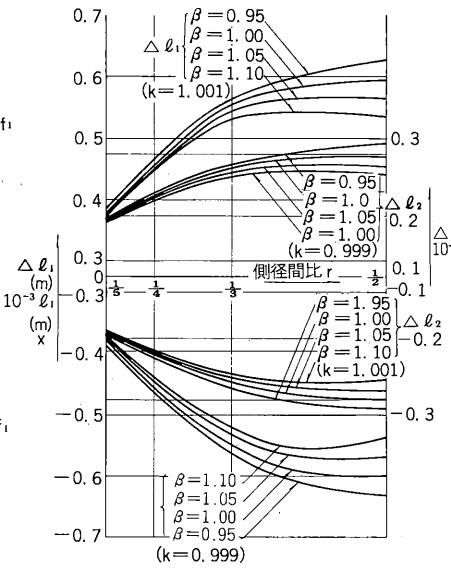
図—24 死荷重の変化率γによる△ℓ1，△ℓ2
（サグ比n＝1/12）



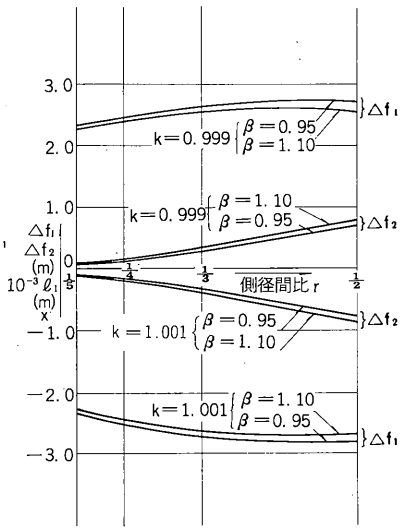
図—25 死荷重の変化率γによる△f1，△f2
（サグ比n＝1/9）



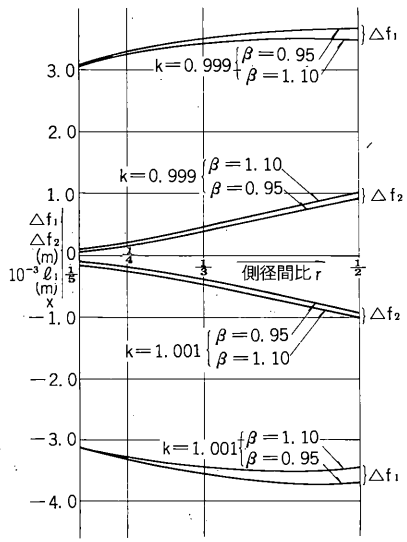
図—26 死荷重の変化率γによる△f1，△f2
（サグ比n＝1/12）



図—27 ケーブルの見かけの弾性係数の変動率kによる△ℓ1，△ℓ2
（サグ比n＝1/11）



図—28 ケーブルの見かけの弾性係数の変動率kによる△f1，△f2
（サグ比n＝1/9）



図—29 ケーブルの見かけの弾性係数の変動率kによる△f1，△f2
（サグ比n＝1/12）

$$\left.\begin{aligned}&\{6-k(3+8n^2)\}\cdot\triangle l_1+16n\cdot\triangle f_1+l_1(1-k)(3+8n^2)=0\\&\{3(n^2+r^2)^2(2-k)-8k\beta^2n^2r^6\}\cdot\triangle l_2+16\beta nr^5\cdot\triangle f_2\\&\quad+rl_1(1-k)\{3(n^2+r^2)^2+8\beta^2n^2r^6\}=0\end{aligned}\right\}(17)$$

式(17)において、$k=1$、$\gamma=1$として橋長の変化Cによる・$C=0$、$k=1$として吊構造部死荷重の変化率γによる・また$C=0$、$\gamma=1$としてケーブルの見かけの弾性係数の変動率kによる$\triangle l_1$、$\triangle l_2$、$\triangle f_1$、$\triangle f_2$の値を、r、n、βの種々の値について求めることができる。図—20～29は、実例からみて、$r=1/2\sim1/5$、$n=1/9\sim1/12$、$\beta=0.95\sim1.10$の範囲での計算結果例を示したものであるが、γの範囲としては、建設省土木工事共通仕様書等を参考にして、0.94～1.06の範囲を、またケーブルの見かけの弾性係数の変動要因としては、工事完了後におけるケーブルバンドボルト張力の弛緩に注目し、これをケーブル空隙率の変化、

したがって素線の一部が遊休化またはその逆と考え、関門橋での実測結果から$k=0.999\sim1.001$の範囲とした。

これらの諸図と式(17)とから、次の諸点を指摘しうる。

1) 橋長の変化Cによる$\triangle l_1\sim\triangle f_2$の値は、$C$に対する一次式であり、$l_1$に無関係であるが、$\gamma$と$k$による$\triangle l_1\sim\triangle f_2$の値は$l_1$の一次式である。すなわち$\gamma$と$k$に起因する変形は吊橋の規模に比例して増大するが、$C$による変形は橋の規模には無関係である。

2) Cによる変形量のうち、nまたはβと$\triangle l_1$、$\triangle l_2$との関係はそれほど鋭敏ではないが、rと$\triangle l_1$、$\triangle l_2$、$r\cdot n$またはβと$\triangle f_1$、$\triangle f_2$との関係はかなり鋭敏である。いずれもr、nなどによる側径間と中央径間とのたわみ剛性の差と解釈しうる。

3) γによる変形量は、nやβの影響よりも、rによる影響が大きい。Cによる変形量と同様、たわみ剛性の差と解釈しうる。

4) kによる変形量は、nやβの影響を受けるが、rによる変形量は、Cやγによる変形と異なり、$r=1/3\sim1/2$の範囲では、むしろ$\triangle l_1$、$\triangle l_2$、$\triangle f_1$の値が減少する傾向にある。側径間比rの増大とともに、側径間ケーブル長の中央径間ケーブル長に対する割り合いが大きくなり、kの値をケーブル全長にわたって一定値としたことにより、側径間のたわみ剛性が大きいことの影響を打ち消す方向になることを意味する。

5) γおよびkと$\triangle l_1\sim\triangle f_2$との関係は、いずれもほぼ線形であり、$\gamma$および$k$の任意の値に対しても、図—20～29等から、$\triangle l_1\sim\triangle f_2$の値を求めることができる。

以上に述べた吊橋の変形計算例として、若戸橋を採り上げる。若戸橋の諸元は、図—30に示すほか、

側径間比　$r=89\div367=1/4.13$

サグ比　$n=35\div367=1/10.5$

側径間のサグ　$f_2=2.2$m

側径間と中央径間との等分布死荷重の比

$\beta=1.07$

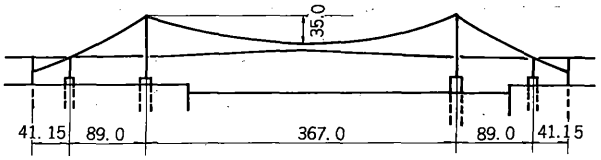
昭和52年2月（完成後約15年）の形状測定結果によれば、完成系に比較しての変形量（標準温度換算）は、

$\triangle l_1=-108$mm

$\triangle l_2=+28$mm

$\triangle f_1=+410\sim430$mm　平均420mm

また完成系と比較しての別の測定結果からは、橋長の



図—30　若戸橋略図（寸法の単位m）

変化$C=0$であること、および$\beta=1.07$を変更するような措置はとられていないので$\gamma=1$とすれば、これら完成系に比較しての変形は、ケーブルの見かけの弾性係数の変動率kに起因するものと考えられる。

以上により式(17)において、rについてはバックステー径間を近似的に側径間の一部と見なして$r\fallingdotseq1/2.85$、n、βは上記のとおり、また$C=0$、$\gamma=1$として、

$\triangle l_1=-108$mmより　$k=0.99944$

$\triangle l_2=+28$mmより　$k=0.99972$

$\triangle f_1=+420$mmより　$k=0.99962$

これら3ヶの値の算術平均から、

$k=0.9996$

このことは、スパイラルロープを用いたケーブルの見かけの弾性係数が、経年変化により、4/10,000だけ低下し、ケーブルが1mにつき0.4mm伸びたことに相当する。

若戸橋程度の規模であれば、これら変形による各部応力はさほど問題ではないが、ケーブルの見かけの弾性係数の変動率kによる$\triangle l_1\sim\triangle f_2$の値は、前記のとおり吊橋の規模を表わす中央径間長$l_1$に比例して増大し、一方補剛桁や塔柱の許容変形量は、断面形状の選び方にもよるが、l_1に比例しての増大はしない。このため各部応力も問題となってくる。

これに対しては、一般的に$k<1$、すなわちケーブルの見かけの弾性係数は、経年変化により小さくなる場合が多いと考えられることから、架設時に補剛桁を、いくぶん上げ越して施工する必要がある。

むすび

長支間吊橋計画に際しては、寸法が大きいための誤差や変形量増大の影響を、その内容に応じて整理し、設計施工面に反映すべきである。また構造の基本形はできるだけ単純化すべきであり、この意味からは、副塔の設置は避けるのが望ましい。

欧米長大橋視察報告(1)

常任参与　多田安夫
設計部　設計第一課長　松崎　実

まえがき

53年度海外調査として、10月下旬より11月中旬にかけ、ヨーロッパ班（多田安夫、佐藤年春、林　宣熙、桜井紀朗）、アメリカ班（井上和夫、園田武臣、松崎　実、森本隆也）の2編成で出張を命ぜられた。目的は、前者が北海油田の海洋構造物、長大吊橋・斜張橋の架設技術調査、後者が長大橋の維持管理と風洞施設の調査である。以下は、ヨーロッパ班がハンバー橋について、アメリカ班が維持管理を中心に報告したものである。なお次回にはケール・ブラント橋（ハンブルグ）の斜張ケーブル張替工事を主とする斜張橋と、西ドイツのレーダー対策の現況について報告する予定である。なお、報告はなにぶんにも短時間に、通訳を通じての調査で、可能なかぎり資料で確めてはいるが、判然としない点があることはご了承いただきたい。

1．ハンバー橋のケーブル架設工事の現況

1.1 ハンバー橋の概要

橋はロンドンの北約 250kmのハンバー河口より約40km上流にある左岸のハル（Kingston-upon-Hull）市とその対岸に架けられる。事業主体は同市に所在する Humber Bridge Board であるが、その構成は関係住民代表からなる委員会のようなものが主体であり、エンジニアリングはすべてFreeman Fox & Partnersにまかせている。資金の75%は国からの借入れで、これは法律によって規定しているとのことである。

1.1.1 主な設計条件[1)]

(1) 道路橋、上下各々2車線の中央分離した車道と両側に歩道及び自転車道を併設する。

(2) 活荷重はＢＳ153に準拠。特殊荷重として176t車両を考慮している。

(3) 基本風速(O.D.+5m)は43.8m/sec.、塔頂(+162.5m）で66.6m/sec. である。

1.1.2 構造概要（図－1参照）

主塔はＲＣ構造で、これは鋼構造と比較し、低廉（約半分）だからとのことである。[2)]

ケーブルは1ケーブルが、37ストランド、1ストランド当り、溶融亜鉛めっきされたϕ 4.98のワイヤ404 本で、計 14.948本（設計張力19,400t）である。中央径間より張力の大きい Hessel 側の側径間には、塔頂サドルにアンカーした 800本のワイヤが加えられている。ケーブルの架設はエアスピンニング（ＡＳ）工法である。

ハンガーは約ϕ 62mmのワイヤーロープで、セバーン、ボスポラス橋と同じように傾斜させており、素線径はセバーン橋と同じく防蝕を考慮し、通常のワイヤロープより太めにしている。

吊構造は、2ヒンジの3径間鋼箱桁で、1ブロック長18.1mのブロックを現場溶接する。横桁は 4.525m間隔である。

1.1.3 工事請負者

エンジニアリングは上述のようにF.F.&P.である。工事契約は次のように四つにわかれている。

(1) 下部構造（RC塔を含む）：John Howard & Co., £7.6m.(760万ポンド)

(2) 上部構造:British Bridge Builders Ltd., £15.1m. このB.B.B.は次の会社のコンソーシアム（consortium;日本の甲方式J.V）である。

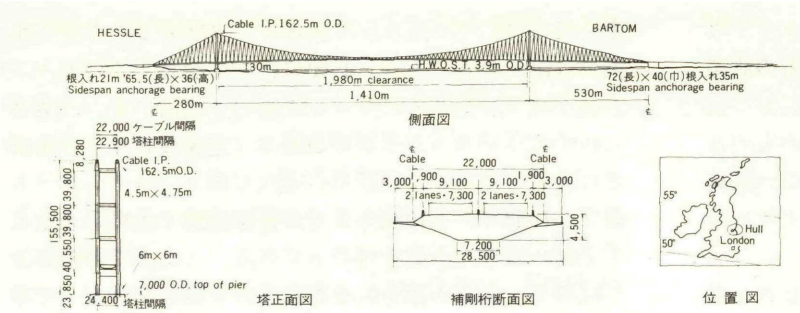
a) Sir. Wm Arrol branch of Clarke Chapman－John Thomson Ltd.,b) Cleveland Bridge and Engineering Co., Ltd., part of the Cementation Group, c) Redpath Dorman Long Ltd., part of the British Steel Corporation

あとは取付道路と管理所などなので省略。£7.15m. 工費計は£29,850,000（73年8月まで1£＝¥864、78年11月は約¥380）であるが、これは72年から73年にかけての入札時契約額であり、報道[3)]によれば、すでに事業費は£67m.になっているもよう。すなわち、当初約 260億の工費が2倍以上になっていることになる。

1.2 ケーブル架設

1.2.1 架設工法

フォース、セバーン、ボスポラスそしてこのハンバー橋と英国業者による長大吊橋はすべてＡＳ工法である。フォースでこそアメリカの技術指導を得ているが、後は英国自体で改良しながらやっている。クリーブランドはこれらの橋のケーブルを施工してきており、機械設備関係



図—1　ハンバー橋一般図

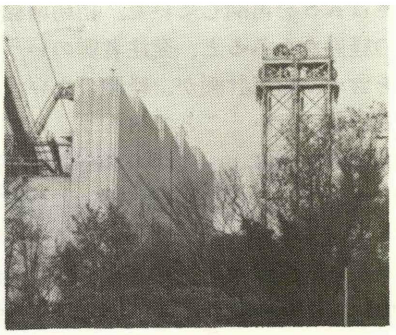


写真-1
ハンバー橋のエアスピニング用カウンターウェィトタワー（ヘッセル側）

はずっと転用しているので架設費は安いようである。ボスポラス橋で、入札がＰＳ工法であったのに、ＡＳ工法で安く入札し落札したのはそのためである。なお、ケーブルワイヤはBritish Steelである。

ハンバー橋の工法は、訪英時、Board側（F.F.＆P.を含む）とB.B.B.側で紛争中であり、F.F.＆P.のDr. Brownには会ったが、細かい内容及び現場立入りは遠慮したので（現場は近くまで視察）、以下は既設3橋の資料[4]と既往の視察された方からの助言を参考に、現場視察から推定したものである。

ハンバー橋の設備配置は、ボスポラスと同様[4]に橋の片側にワイヤリールをおき（Hessel側）、1基のカウンターウエイトタワー（写真—1）を通じ、左右のケーブルにワイヤを供給する。したがって片側がＡＳ中は片側は調整作業である。スピニングホイールは1ケーブル当り2ケ、片側引出しなので1ケがＡＳしているときは、他は空で戻る道にある。1回の前進で4本（死線2本、活線2本）ＡＳするが、ストランドシューに偏心がかからないよう1ヶのシューにセットする2ストランドを対象とするので1ストランド当りは2本となる。

ホィールを駆動するトラムウェイのドライブロープを吊るギャローズフレームは約60m間隔、作業員は120m毎に2名、塔上は5名程度配置される。

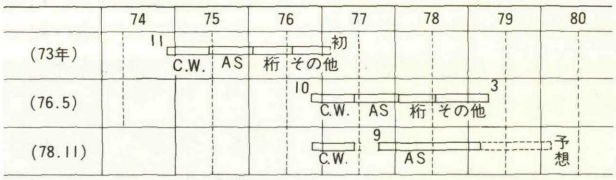
ＡＳ中暴風対策はフォースで4～5ストランドをＡＳした頃、20hr程36～45m/sec.（3″平均と思われる）の風が吹いてワイヤが散乱し、修復に10日程かかった苦い経験から、セバーンからはプラスチックコートされたワイヤロープでキャットウォークにしっかり結びつける方法をとった他、作業員のいる各場所には対風囲いを設けている。これらは何れも有効であったと報告されている。なお、作業限界風速はＡＳが17m/sec.，ストランド調整が15m/sec.としている（瞬間風速と思われる）。

作業時間はフォースが8:00a.m.～4:00p.m.と4:00p.m.～12:00p.m.の8hrシフト2交代、セバーンが6:00a.m.～2:30p.m.と1:30p.m.～10:00p.m.の2交代であったので、これらとほぼ似ていよう。これには9:30p.m.～6:00a.m.のストランド調整シフトも組み合わせられていることはもちろんである。

1.2.2.工程

表-1は上部構造の予定工程と実際である。73年版のは下部工のおくれ前なので、76年版が実際の予定といえよう。キャットウォーク（C.W.）は予定どおりだが、ＡＳまでに全国的なストライキの影響でおくれ、さらにＡＳ工程は78年末ですでに1年以上おくれている。ＡＳ速度はセバーンで1ホイールの最適所要時間が9分40秒で好条件下では実施できたと報告されているので、ハンバーでは12分程度と思われる。（ＥＮＲ[5]には約10分）現場視察の日は工事が再開し、ホィールが走行中であったので時間を計測してみたが、ほぼ10分程度であった。したがって、予定工程をセバーンの実工程131日と比べて約7ヶ月としたのは同程度の能率と考えれば当然であろう。F.F.＆P.でもらったリーフレットには、完成は79年6月とあったが、現在の工程からみると、おそらく80年になるものと思われる。

表—1　ハンバー橋上部工工程



1.3 ケーブル架設工程おくれの考察

おくれ原因として、ＥＮＲ[5]に悪天候と作業員の非能率と報告されている。そこで、工務第二課西野氏にＡＳが開始された77年9月から78年8月までの1年間の風について、河口北岸の岬Spurn Pointの国際気象通報資料を整理していただいたが、高度補正してみても15m/sec.(10分平均)以上の出現頻度はＥルートなみで、垂水、門崎の方が高いという結果が出た。降水現象は架橋地点より約40Km点南西のFinnigleyのものでは、2日以上連続のものが10月～3月に16回あった。しかし、両者を総合しても表-1のような著るしい稼動率低下にはすぐ結論づけられないようである。

一方、10月下旬の英国の報道[3]によれば、B.B.B.が契約額の増額要求をしているのに対し、BoardとF.F.＆P.は、工程遅延の責任は請負人の低生産性にあるとして突放ねたため、下請と労務の支払遅延紛争が政府レベルまで上ったと報じていた。私達がF.F.＆P.を訪問した11月1日には丁度当事者を集めて政府が調停中のようであった。これがまとまったらしく、3日に現場に行ったと

きはＡＳを再開していた。結局増額したようである。この経過からみると、発注者側のいうように技能者の訓練を含めた施工計画が、経験のない大規模の工事にしては甘かったということであろう。ただ契約金額そのものは、業者の云分のようにリスクをあまり計上していない精算方式に近く　安いものであったので、増額に応じたということと思われる。

ハンバー橋の経験から、やはり規模が大きくなると設備はアメリカ式のように施工期間を短くするように配慮し、技能者の初期訓練と施工時期の選択が必要ということが改めて確かめられた。

資料一覧

1) F.F.& P.：Humber Bridge, 1973. 9, 1978. 11, （リーフレット）
2) 欧州長大橋研究会：欧州長大橋の建設技術および海洋構造物の実情調査、日本溶接協会、1951年7月
3) FINANCIAL TIMES Oct.25, 1978/ The Economist Oct. 21, 1978 P.25
4) Forth Road Bridge,I.C.E., 1965/ Severn Bridge ,I.C.E., 1970/ The Bosporus Bridge,I.C.E., 1975
5) ENR, July 27,1978, P.20～21, August 31, P.15

なお、調査の入手全資料一覧表は各局設計課に配布ずみであり、資料は調査会資料室に保管。

2．アメリカ・カナダの長大橋の維持管理

長大橋の建設には多額の資金を要し、建設後の維持管理にも多額の費用を要するので、有料橋にして通行料金収入をもって建設資金を償還し、この間の維持管理費に充当するのが一般的である。

このたび訪れた長大橋においても、全般的に有料橋は良好な維持管理がなされており、無料の橋は財源的な制約を受けているものと思われ、維持管理状態はあまりよくないように見受けられた。ゴールデンゲート橋を管理しているゴールデンゲートブリッジオーソリティは、橋の建設資金はすでに償還を終えているが、通行料金の徴収を継続して橋の維持管理費をまかなっているほか、飽和状態に達している交通の緩和対策として行なっているフェリーボートおよびバス運行事業の補塡にも料金収入の大半を充てており、今後も床版補修工事等の財源のために料金値上げの可能性を示唆していた。マキナックブリッジオーソリティでは、1985年頃に建設資金を償還するが、その後州政府が橋を無料解放する場合には、維持管理が行き届かないことを心配していたが、これらの言葉の中にも良好な維持管理を行なうための自己収入財源の必要性をうかがうことができる。その意味で無料解放されたタコマナローズ橋の維持管理状況の推移は注目される。

2.1 塗装

塗装の塗替え時期は、一般に油性系塗料の場合7年程度を目安にしているようであるが、当然のことながら現実には傷んだところから必要に応じて塗替えている。

セントローレンス川にケベック橋の上流側に並んで架けられているピエールラポルテ橋は、完成後8年目で塗替えに着手している。1937年に完成したゴールデンゲート橋は、1968年から1985年までの長期計画で塗料系を変えて全橋の塗替え作業を行なっている。これまでの補修塗りは傷んだ個所の部分的な重ね合わせ塗装を行なって来ており、厚いところは数層もかけてきているが、このたびはサンドブラストによって完全に地肌を出して塗りなおす本格的な塗装を実施しており、平行して塗装上の欠陥になるシャープエッジの削り取りも行なっている。

作業は、検査車を利用して補剛トラス外周をシートによって覆い環境保全に努めている。塗料等の飛散に対するこのような配慮はどの橋でも行なっているようで、このために検査車が活用されているようである。マキナック橋では、塗装作業中には湖上に船を待機させておいて、塗料等が湖面に落下した場合にすぐ回収出来る態勢をとっている。

ケベック橋は、1917年に完成した道路2車線、鉄道単線の世界最大径間長のカンチレバートラス橋で60年の風雪に耐えており、すぐ隣に並んでいる吊橋を威圧するような重厚な感じを抱かせる。この橋は、入口にあたる門構はきれいに塗装されているが、対傾構、横構等の二次部材や高欄は、塗装の跡も見られないほど放置されており、主構にもあまり手を入れていないようである。床版の荒廃も甚だしく、床版を通して川の流れをのぞき見ることができる。架設中に2度も事故に遭遇するなど、苦労の末に完成した橋の疲弊した姿を見たとき、非常に淋しい思いをした。

2.2 床版

ある年月を経た橋は、床版補修の問題をもっている。ジョージワシントン橋は、つい最近夜間工事によって床版打替えを完了している。

床版の局部的な欠陥は伸縮継手に接してよく現われており、伸縮継手と合わせて時々補修を行なっているようである。20年を経たマキナック橋では部分的にかなりの亀裂が発生しており、打替えか注入かの検討をはじめており、40年を経過したゴールデンゲート橋は老朽がはげしく、打替えから注入工法までいろいろな案を考えているが、4,000万ドルから1,800万ドルの補修費を要するので苦慮しているようである。しかし、破損のひどい部分は小塊となって海中に落下しており、雨、高湿度のたびに亀裂が発達しているので、塗装工事が終るここ数年のうちには手がつけられるであろう。

2.3 オープングレイチング

車道部のオープングレイチングは、マキナック橋で耐風安定性の確保と死荷重軽減のために、中央分離帯と中央2車線の部分 7.7m幅に採用されており、タコマナロ

ーズ橋では耐風安定性を得るために、中央分離帯、路肩および車線分離帯に採用されているが、塗装のはげ落ちもなく、グレイチングを支持する部材との取付部のよごれ、水たまり等もなくよく維持管理がなされている。

タコマナローズ橋は、車線表示を兼ねた塗色をしており、重ね合わせ塗装を行なっているようであるが、マキナック橋ではサンドブラストをかけて念入りな塗装を6ないし7年に1度行なっている。この作業は、作業条件に加えて構造的にも細かい部材がこみいっているので、非常に苦労しているようである。

オープングレイチングの走行については、管理事務所の話では、このような路面は通常用いられないので不慣れがあって、最初の頃にはハンドルが切れない感じがするなどで若干の苦情があった。しかし、慣れてくるにつれて苦情も少なくなり、最近の10年間はまったく出ていないとのことであった。走行してみた感じでは、乗心地は変らないが、走行音は閉床部より大きい。

2.4 防衝工（衝突事故）

航路に面する橋脚には、仮設工をそのまま利用しているものから、単にはち巻をまいたようなものまで、規模、構造等はそれぞれ異なっているが、ほとんどのものに防衝工が取付けられていて、船舶の衝突に対処している。

橋脚への船舶衝突例はいくつかあるようで、具体例をサンフランシスコオークランドベイ橋およびマキナック橋で聞いた。マキナック橋の場合には、霧の日に主塔橋脚に衝突し、塔の足元のコンクリートに船首が楔状に食いこみ、補修に10万ドルを要している。

航空機の衝突事故としては、サンフランシスコオークランドベイ橋の塔に近いハンガーロープにひっかけて、ロープを切断した例が報告されているが、マキナック橋を訪れる数日前に、小型機がやはりハンガーロープをひっかけて湖底に沈んでおり、当日は沈んだところにブイを浮かべてあった。なお、橋の方は健全であった。

3．ニューリバーゴージ橋

ニューリバーゴージ橋は、全長 924m、アーチ径間は世界最長の 518m、幅員20.4mの4車線の橋である。位置は石炭産業で有名なアパラチヤ山脈の西麓に面する渓谷にあって、川面から路面までの高さは 267m もある。

この橋には約19,000tの耐候性鋼材を裸のまま使用している。その採用についていくつかの理由があげられているが、この橋を管理するウェストバージニア州はアメリカ合衆国でも財政的には最も貧困な州と言われているので、将来にわたる塗装に対する維持管理が不要ということが大きな理由になっていると思われる。現場架設は1974年6月にはじめられ、現地を訪れる約1年前の1977年10月に完成したものであって、部分的にはまだ安定錆びが出ていなかったが、全体的にはほぼ酸化膜を形成している状態であった。なお、鋼材は無処理のまま使用し

写真-2
ニューリバーゴージ橋



ているので、安定錆びに落着く過程で橋台や側径間の柱受台のコンクリートが錆びによってムラになって変色していること、床版直下の部材にコンクリート打設時に流れたと思われるあくの跡が気になった。しかし、肌の感じや酸化膜そのものの暗褐色は気にならず、自然にとけこめるように思えた。

4．インターシティ橋（パスコケネウィック橋）

インターシティ橋はコロンビア川中流域に架けられているPC斜張橋で、中央径間はこの形式ではアメリカ最長の299mである。この橋は、現地を訪れる約40日前の9月16日に供用したばかりで、4車線のうち中央2車線だけを供用し、まだ交通規制をしながら防護柵、橋体側面の化粧等の仕上げ工事を行なっていた。これは、旧橋の損傷がはげしいので一刻も早く新橋に切替えたいためにとられた処置と思われる。

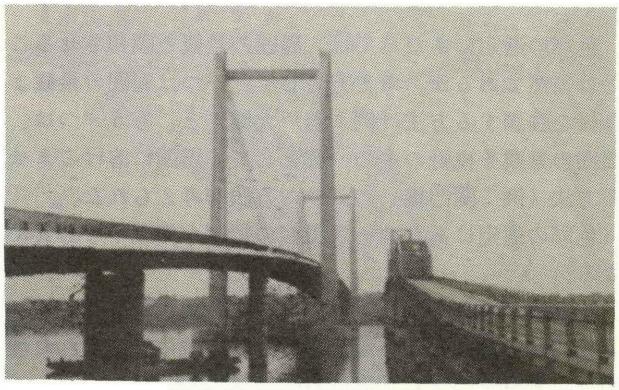
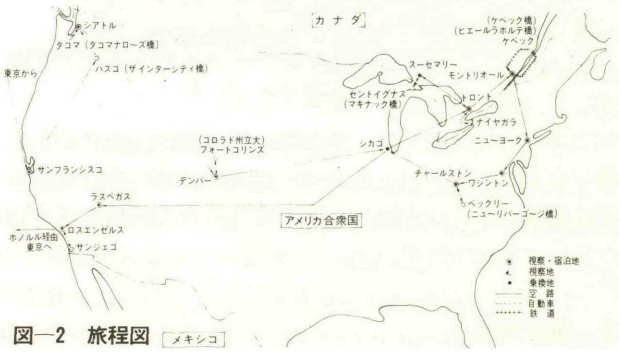


写真-3　インターシティ橋

最後に視察行程は図—2のとおりである。



図—2　旅程図

大三島橋及び因島大橋の塗装色の選定

向島工事事務所　副所長　吉川利治
企画開発部　道路課　阿部和智

1．まえがき

橋梁と自然環境の調和は、構造物の背後にある地域環境特性に合った、橋梁の形態と色彩によって決定されるものと思われる。前者は技術面と相まって橋梁形式及び形状寸法で検討され、後者については、前者に加えて架橋後の景観の最大要素となろう。

大三島橋、因島大橋（以上両橋という）は、自然公園法による環境庁協議の結果は、自然性との調和を重視し、環境庁の意見を求めて上部工色彩を決定することになった。

色彩選定については、浅学のため紆余曲折し、多くの人の貴重な意見及び文献を参考にして段階的経過を踏み、環境庁の同意を得ることができた。本稿では両橋の色彩決定までの概要を報告するものである。（なお、両橋とも同じ経緯で進められた。）

2．選定にあたっての考え方

色彩の選定にあたっては、周囲の景観と調和させることは当然であるが、考え方として、一つは周囲の景観より橋を強調する方法（例：若戸大橋）と、もう一つは、周囲の景観を視野の中の一部として、周囲に溶けこませる方法（例：関門橋）の二つの方法が考えられた。
（色彩の選定にあたり、現景観の把握が先立って必要になる。）

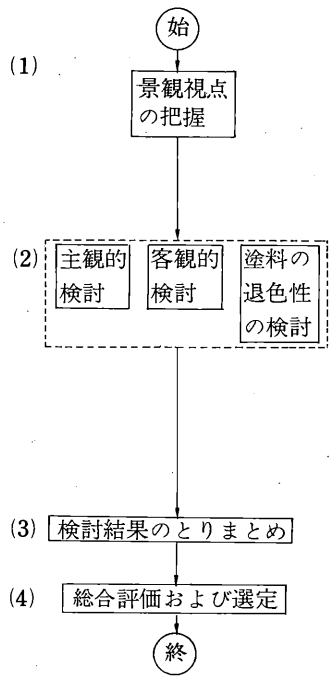
架橋地点の特徴は、瀬戸内海国立公園の一部であり、昭和23年10月に国立公園第2種特別地域に指定された理由は、瀬戸をはさむ両島の自然に富んだ地域の山々の二次的自然景観（ある時期に人工がわずかに加わった自然景観……色彩はアカマツ林の緑）と瀬戸については、両岸が自然性（海蝕地形等に富み、航路からの探勝として）に優れていることである。

このように自然景観価値が高いところであることを考慮して、後者の考え方を基本とした。

公団の当初計画では、海峡部はアイボリーホワイト、陸上部はアイボリーと考えていたが、実施にあたっては、最近進歩してきた客観的技法も採り入れて再検討することにしたものである。

3．選定手順

色彩の選定手順は図－1のとおりである。



図－1　選定手順フロー

(1)　景観を議論するための適正な視点の検討を行なう。視点は、人が集まって橋が展望できる場所を選び、景観の分類は視点での視野範囲から行なった。

(2)　客観的検討として、既往文献などの調査およびカラーフォト・モンタージュ手法を利用した橋梁色彩の検討を試み、塗料の経年変化による退色性を調査し、これらをもとに主観的検討として環境庁の意見を求めることとした。

(3)　(2)から候補色のとりまとめを行なった。

(4)　最後に総合評価により色彩の選定を行なった。

3.1　景観視点の把握

視点は観光客の集中する展望台、瀬戸の航路上または集落の中から選定した。また各視点からの距離により、視野範囲は異なり、景観の特質が感覚的に異なるものとなるため、景観領域を下記のとおり区分し、視点選定の際の参考とした。

近景　　視野が主として橋梁の一部で橋梁の色彩、構造、部材の形状及び下部構造の外部仕上げが問題となる領域。

中景　　視点がやや遠く橋梁の全体部分が展望され、下部構造の形状及び上部工色彩形状が周囲の景観と調和するかどうかが問題となる領域。

遠景　　快晴の場合を除き、霞の中にとけこんでしまうので、橋自体が周辺の景観と調和するかどうかが問題となる領域。

遠望　構造物の存在が瀬戸内海の自然景観を損なわないかが問題となる領域。

両橋の選定された視点は表－1、2、図－2、3のとおりである。

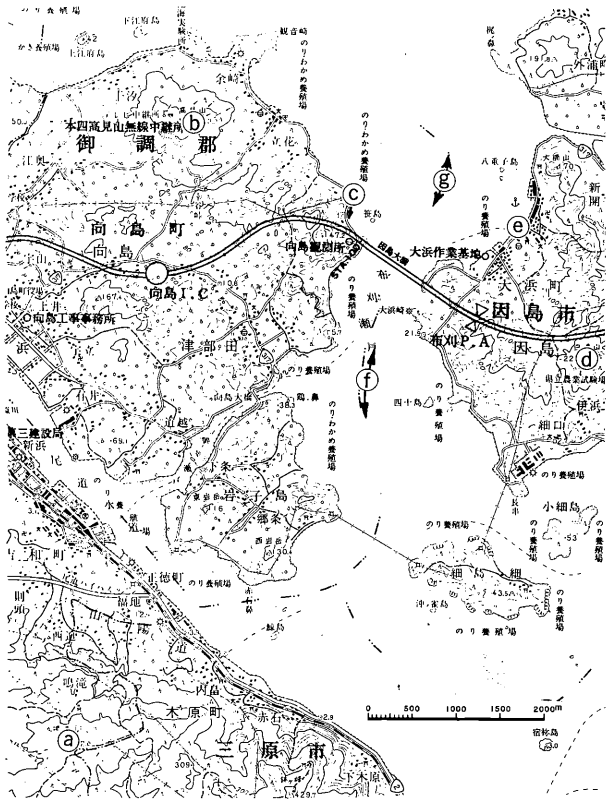
表－1　因島大橋の景観視点

記号	視点		地域の分類	L(m)	景観領域	背景
a	本土	鳴瀧山	第二種特別地域	6,500	遠望	橋が多島景観にとけこんでいる
b	向島	高見山展望台	同上	3,500	遠望	同上
c	〃	立花海水浴場	海水浴場	500～1,300	近・中景	両島の淡い松の緑と本土の霞んだ松の緑
d	因島	白瀧山展望台	第二種特別地域	3,000	遠望	橋が多島景観にとけ込んでいる
e	〃	大浜集落	集落	2,000	遠景	両島の薄暗い松の緑と本土の霞んだ松の緑
f	布刈瀬戸	南航	海域	5,000～	近,中,遠景,遠望	両島の緑の変化から備後灘の海の色の広がり
g	〃	北航	海域	5,000～	近,中,遠景,遠望	両島の緑の変化から海の色と共に本土の緑の重なり

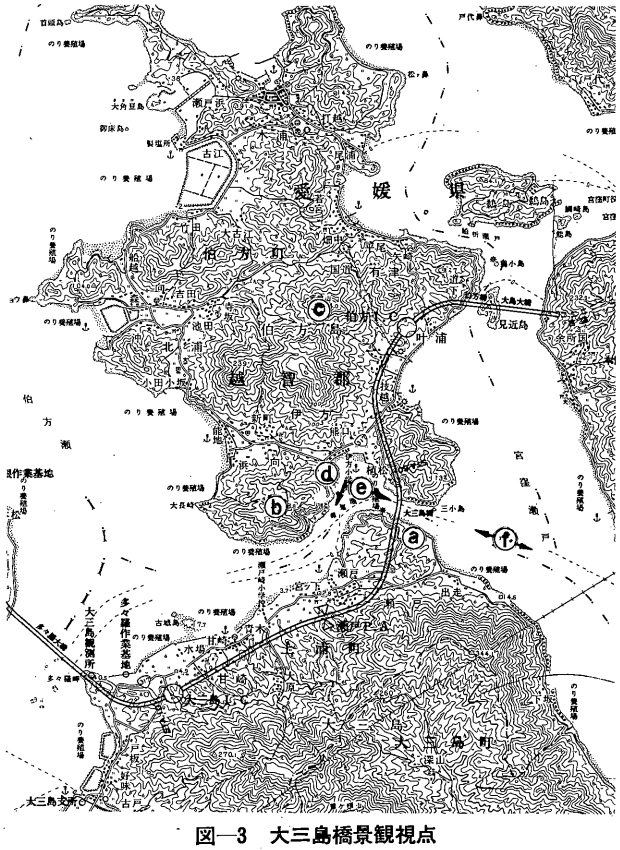
(注) L：橋からの距離

表－2　大三島橋の景観視点

記号	視点		地域の分類	L(m)	景観領域	背景
a	大三島	架橋地点附近展望台	第二種特別地域	500	近景	伯方島の山の松の緑
b	伯方島	開山展望台	〃	1,500	遠望	燧灘及瀬戸の藍色と大島の霞んだ松の緑
c	〃	宝肢山	〃	3,000	遠景	橋が多島景観にとけ込んでいる。
d	〃	熊口集落	集落	1,000	中景	aとほぼ同じ
e	鼻栗瀬戸	南航	海域	700～	近、中景	中景では両島の淡い松の緑の景観頻度が高い
f	〃	北航	海域	6,000～	近,中,遠景,遠望	両島の霞んだ松の緑から常緑の松の緑、景観頻度が高い



図―2　因島大橋景観視点



図―3　大三島橋景観視点

3.2 客観的検討

基本的には、下記「本四連絡橋計画に対する景観報告書」(昭和48年3月、(財) 国立公園協会、以下本四景観報告書という) を念頭におき、別途カラーフォト・モンタージュ手法を、補助的にカラー・シミュレーション手法を用いて検討を行なった。

3.2.1 本四景観報告書の内容

色彩に関して「工作物に対する色彩感覚は、個人的に著しい相違があり、他方一個人が各種の色調を肯定するのも事実であるが、一応万人の嗜好に適する色彩、つまり見慣れていることによる肯定心理の活用であるとし、長大橋の例として、もっとも多いのはシルバー、次いで

グレー、レッドであるが、レッドはどちらかといえば、人工の強調を意味し、グレーはその逆、シルバーは両者の中間と考えられる。自然を尊重する国立公園の立場からは、人工の弱調が望ましいから、ニュートラルな色調のグレー系か適切であろうとし、緑色系の色調も一考の価値があろうし、ブルー系統も考えられよう。」と報告されている。これらを要約すると表－3のとおりである。

表－3　本四景観報告書の推薦色

	自然と調和の場合		人工的に強調の場合
	積極的	検討の必要	適応色の例
色彩	グレー系	緑色系、ブルー系	レッド系
摘要	国立公園の立場		明石大橋＊

＊本四連絡橋景観報告書本文参照

3.2.2 カラーフォト・モンタージュ手法

カラーフォト・モンタージュとは、現地で撮影した風景写真に同一視点および同一縮尺で描いた透視図を重ね合わせたものをいい、カラー写真をベースにしたものである。現段階では、景観工学的検討に際しての有力な資料となる。参考として写真－1～6を示す。

（ここに透視図とは、解析写真測量学を用いて、構造物などを中心に、投影変換し、線画で表現したものである。カラーフォト・モンタージュ作成にあたって、一番重要なことは現地撮影の地点の選定撮影視準線、画角、撮影時間等により、その成果の価値が左右されるので事前に打合せ撮影を行なった。）

本橋のカラーフォト・モンタージュは44cm×54cmの全紙大のものを最終的に表－9について、3.2.1を加味して作成するとともに、20cm×30cmの塗り板を別に作成した塗り板は、実際に塗ったときの塗色の再現性（①塗色業者が2社以上になったとき、塗色の差を防ぐため、②色票の面積の大小および日射量変化による色彩感覚の差を知る）に重点を置く、大きな面積とし、後述の主観的検討の資料とした。

3.2.3 カラー・シミュレーション手法

色彩は多種多様な種類が存在するが、（JIS・Z・8721…標準色標約1,600種）橋梁用塗料からは、塗料の調合面から数が限られる。また最初からカラーフォト・モンタージュ手法によって多数のモンタージュ写真を作成して景観評価を行うには、経費的に問題があるため、色の再現性には多少問題があるものの、カラー・シミュレーション手法によって色変換を行なった橋梁のスライドを作成し、橋梁色彩の意識調査を行なった。（調査は、近・中・遠景の代表視点、3視点で行なった。）なお、カラー変換については「長大橋の色彩に関する研究報告書」（昭和50年12月、（財）日本色彩研究所、以下長大橋色彩報告書という）を参考にして、代表的色彩36種類を選定した。意識調査の結果総合評価値の高かったつぎの4色が公団の第1次候補色となった。○明度が大きく弱調で、芸予諸島の産物のミカンの特色として、マンセル記号7.5YR9/2（薄いダイダイ色）、○景観調和色として10RP8.5/0.5（アイボリーホワイト）、5G9/2（薄い緑色）、5PB8/4（薄い青紫色）

カラー・シミュレーション手法は、橋梁色彩の決定として用いた例はなく研究段階であるが、実用化の可能性も高いので、つぎにそのあらましを図－4により説明す

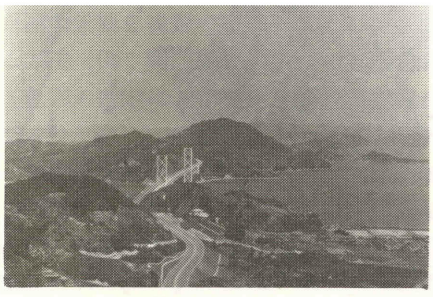


写真-1　因島大橋　景観視点ⓓより

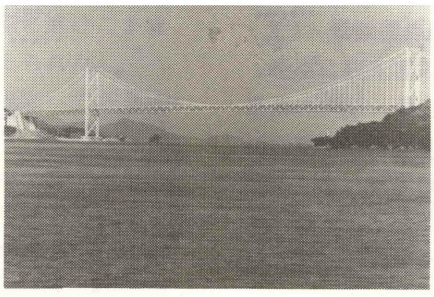


写真-2　因島大橋　景観視点ⓕの右方四十島より

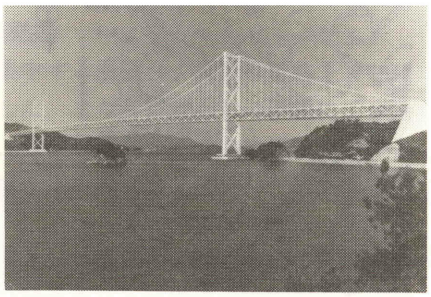


写真-3　因島大橋　景観視点ⓒより

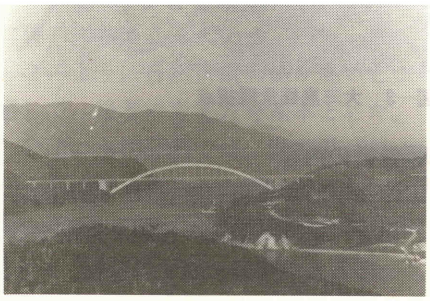


写真-4　大三島橋　景観視点ⓑより

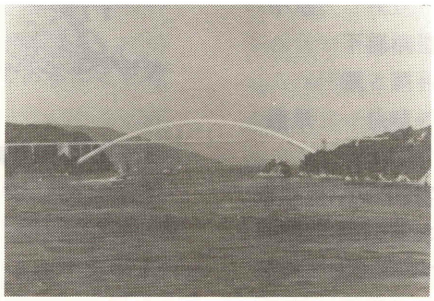


写真-5　大三島橋　景観視点ⓓより

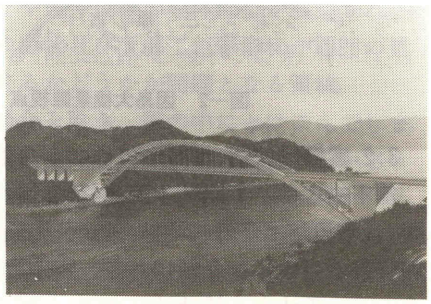
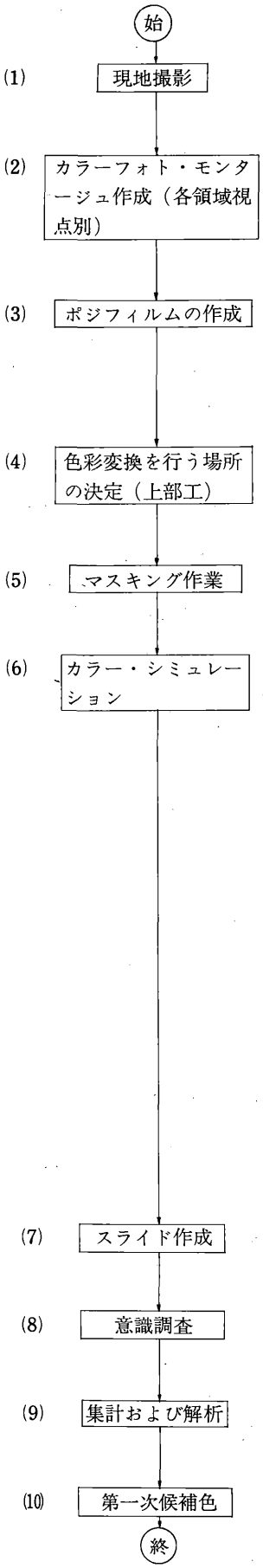


写真-6　大三島橋　景観視点ⓐの本線反対側より



図－4　カラー・シミュレーション手法のフロー

(1) 1/10,000地形図、現地調査により表－1、表－2の景観視点を目安に撮影地点を決定し、写真撮影（カラー）する。

(2) 撮影写真から全紙大（44cm×54cm）のカラーフォト・モンタージュを作成する。（橋の色はアイボリーホワイトとした。）

(3) (2)を撮影し、シミュレーターの規格から4×5インチ板の(6)のカラー・シミュレーション用のポジフィルムを作成する。

(4)(5) 色彩変換を行う場所は上部工とし、(3)のポジフィルムの上部工のみを透明のまま残して、その他の部分は黒く塗りつぶしたマスキング・フィルムを作成する。

(6) (3)のポジフィルムと(5)のマスキング・フィルムからカラー・シミュレーターを使って、必要とする色彩とする色彩をスクリーン上に撮影する。カラー・シミュレーターは2台のプロジェクターにより構成され、1台はポジフィルムを、他の1台はマスキング・フィルムを投影するプロジェクターである。2台のプロジェクターから出た色光が同じスクリーン上に投影される。このときマスキング・フィルムを投影しているプロジェクターの色光をフィルター調節することによって上部工の予定した36種(注1)の色彩が各視点ごとにスクリーン上に撮影される。

(7) スクリーン上に撮影されたものを35mmのスライドに作成する。

(8) スライドを映写し被験者につぎの意識調査を行なった。（イ）色彩イメージ調査（ロ）現況比較調査（ハ）一対比較調査(注2)

(9) 調査結果を集計し、解析を行なう。(注3)

(10) 調査結果から第一次候補色を決定した。(注4)

(注1)カラー・シミュレーション色彩(スライド作成)

代表色の選定にあたっての留意事項はつぎのとおりであり、代表色は表－4のとおりである。

イ）本四景観報告書に重点を置く。
ロ）色調は弱調なものを選び、明度を高くし、これに釣合った彩度とする。
ハ）地味な色は比較程度とする。
ニ）くらい色も参考として考える。
ホ）塗料メーカーが橋梁用として用意可能なもの。
ヘ）長大橋色彩、報告書の例を参考にし、色相、色調の類似色を除く。

表－4　カラー・シミュレーション代表色一覧表（スライド）

色調・色相	V	S	B	P	Vp	L	DL	Dk
R	5R5/14	7.5R5/10		5R4/3	5R8/2			5R3/4
YR		5YR7/10		5YR8.5/4	7.5YR9/2	Y7/6	SYR4/6	
Y	5Y8/12		5Y8.5/8	10Y9/4		2.5Y7/6 10Y7.5/6		
GY		10GY7/6			2.5GY9/2		2.5GY4.5/5	
G						5G9/1 5G9/2	5G4/5	
BG				7.5BG8.5/3 7.5BG8/3			2.5BG4/4	
B		2.5B5/8 10B5/10	2.5B7/8 5B8/6	10B8.5/3				
PB			2.5PB7.5/6	5PB8/4 7.5PB8/4				
RP					10RP8.5/0.5			
無彩色	N9.5、N7.5、N6、		N3					

(注) アンダーラインは一対比較調査に採用したスライド(18枚)

* 派手［V：Vivid（さえた）／Strong（つよい濁色）］くら［Dp：Deep（こい）／Dk：Dark（くらい）／Dgr：Darkgraish（ごくらい）］
あかるい［B：Bright（あかるい）／P：Pale（あわい）／Vp：Very pale（ごくあわい）］地味［Lgr：Light Graish（明灰色）／L：Light（よわい）／Dl：Dull（にぶい）／Gr：Graish（灰色をおびた）］

(注2)意識調査

2.1) 色彩イメージ調査

自然景観と橋の人工景観及び色彩がどのようなイメージで迎えられるかを知るため、各スライドについて表—5の調査票－1により調査を行なった。なお、参考のために、解析のための評価尺度を下段に示した。調査因子は、長大橋色彩報告書の①調和、②目立ち、③たのもしさ、④美しさの4因子とし、評価段階は7とした。

2.2) 現況比較調査

橋のない景観と、架橋後の新しい景観を比較するため、各スライドを次々に比較させ、どちらが景観的に優れているかを表－6の調査票—2により調査を行なった。評価段階及び評価尺度は色彩イメージ調査と同じである。

2.3) 一対比較調査

橋の色彩として望まれている色彩の傾向を知ることと、色彩イメージの調査結果を比較して、橋梁景観として望まれている橋梁イメージを知るため、36色の中からあらかじめ選定された18枚のスライドを2枚組合せて、同時映写し、どちらがよいかを判定させるため表－7の調査票により調査を行なった。

(注3) 意識調査の解析

3.1) 色彩イメージ調査の評価値

調和、目立ち、たのもしさ、美しさのそれぞれについて次式により算出する。

$$Y=-\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{6}(Si-1)$$

表－5　調査票－1（色彩イメージ調査）

スライドNo.

	非常に	かなり	やや	どちらでも	やや	かなり	非常に	
調和した	7	6	5	4	3	2	1	不調和な
目立つ	7	6	5	4	3	2	1	目立たない
たのもしい	7	6	5	4	3	2	1	たよりない
美しい	7	6	5	4	3	2	1	みにくい

評価尺度　1.0 0.92 0.75 0.58 0.42 0.25 0.08 0

良い　　悪い

表－6　調査票－2（現況比較調査）

スライドNo.

	非常に	かなり	やや	変らない	やや	かなり	非常に	
良い	7	6	5	4	3	2	1	悪い

表－7　調査票－3（一対比較調査）

右側のスライドNo. ＼ 左側のスライドNo.	1	2	3	4	…	15	16	17	18
1									
2			○*						
3									
4		○**							
⋮									
15									
16									
17									
18									

＊：3のスライドより2のスライドがよい。

＊＊：2のスライドより4のスライドがよい。

但し、Y：評価値　N：サンプル数　Kij：比較得点（1または0）

3.2）調査による総合評価値

一対比較調査はどちらが好ましいかを問うたもので、その結果は、いわば橋梁景観の総合評価値であるが、それは18色についての結果であり、イメージ調査については橋梁景観を調和等の4因子の36色について、3.1)の評価値を得ている。そのため、それぞれの因子を説明度量として、重回帰式を求めることにより、その結果を各スライドの総合評価とした。

(注4）第一次候補色

候補色の選定にあたっては、次の基準を設けた。表－8に選定色及びその評価値を示す。

4.1）青、黄、緑、アイボリー（グレー系に近い）の色系から4色を選定する。但し、中景領域の調和ゾーン（明度≧8、彩度＜4）から選定する。

4.2）類以色があった場合は、他視点の総合評価値を勘案し1色とする。

4.3）現況比較値が0.5以下は除外する。

表－8　第一次候補色（大三島橋）…中景

マンセル記号	現況比較調査	イメージ調査評価値				総合評価値(重回帰値)
		調和	目立ち	たのもしさ	美しさ	
7.5YR 9/2	0.56	0.55	0.48	0.44	0.58	0.71
10RP 8.5/0.5	(0.63)	(0.57)	(0.73)	(0.55)	(0.69)	(0.79)
5G 9/2	0.52	0.59	0.34	0.38	0.54	0.74
5PB 8/4	0.57	0.57	0.43	0.44	0.58	0.73
解析範囲	0.58～0.24	0.60～0.23	0.89～0.34	0.65～0.38	0.63～0.21	0.74～0.26

＊：（　）はフォト・モンタージュを複写したスライドの評価値であり、他のスライドとは条件が異なるため参考値である。

3.3 主観的検討

自然景観との調和について、いまだ客観的方法が確立していない現状では、美に対する専門家（例えば、風景画家、建築家）の意見を求めることも有意義な方法と考えられる。そこで公団では環境庁担当官を介し、専門家の感触をつぎの経緯でうかがった。

3.3.1 意見照会(第一次)

まず、公団は環境庁担当官に第一次候補色(4色)の経緯を資料（①カラー・シミュレーション手法　②写真集……①のスライドからサービス版の大きさで編集したもの）から説明した。そのときの意見はつぎのとおりであった。

1）色はさわやかで、すっきりしていて、軽快であることが好ましい。
2）原色は避けるべきだろう。
3）海・空・陸を考慮して決めてほしい。
4）白味がかった、青味がかったグレイがよいのではないだろうか。
5）ツートンカラーは合わないだろう。
6）色具合を見るため、明度差を考えて色見本を作成する。

上記を受けて、環境庁担当官からつぎの提案が公団になされた。

マンセル記号$N7.5$（灰色）、$5G9/2$（薄い青紫色）$10RP85/0.5$(アイボリーホワイト)を基本色として、明度、彩度を変えて中景領域のカラーフォト・モンタージュを作成すること。

3.3.2 公団内での再検討

カラーフォト・モンタージュ作成にあたっては、色彩の再候補色(表－9)を11案にしぼり、3.2.2の大きさのカラーフォト・モンタージュと塗り板で環境庁の意見を再度仰ぐことにした。そのフォト・モンタージュの1部を次頁のカラー写真で紹介する。(写真－7～10)

3.3.3 意見照会(第二次)

3.3.2の資料から環境庁の意見は、つぎのとおりであった。

本四技報Vol.3　No.8正誤表

● 26ページ左段、上から3行目

（誤）$Y=-\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{6}(Si-1)$

（正）$Y=\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{6}(Si-1)$

● 26ページ左段、上から4行目に下記を挿入

但し、Y：評価値、N：サンプル数、Si：因子得点（1～7）

3.2）　現況比較調査の評価値

色彩イメージ調査と同じ、得点は7段階であるので3.1)と同じ式により算出する。

3.3）　一対比較調査の評価値

比較得点は、良いを1、悪いを0とし、次式により算出する。

$$Y=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{17}\sum_{j=1}^{17}Kij\right)$$

● 26ページ左段、下から14行目の見出番号

（誤）　3.2）

（正）　3.4）

表－9　第二次候補色

色相		No.	候補色（マンセル記号）		摘　　要
灰色系	N	1	銀灰色（明るい灰色）	N8.5	尾道大橋塔N 9
		2	灰　色	N7.5	新幹線トラス部材
緑色系	G	3	白緑色（ごく薄い緑色）	5G9/1	
		4	淡緑色（薄い緑色）	5G9/2	
	GY	5	灰緑色	5GY7/1.5	関門橋
青色系	PB	6	淡藤色（ごく薄い青紫色）	5PB9/2	
		7	藤色（薄い青紫色）	5PB8/4	
	B	8	空色（薄い青色）	10B8/4	
		9	青　色	10B6/ 8	
		10	暗青色（少しにごった青色）	10B5/6	
アイボリー系	Y	11	アイボリー（象牙色）	2.5Y9/2	
参考			群青色（深い青紫色）	10B3/5	尾道大橋桁
				2.5PB3.5/10	琵琶湖大橋

（注）　選定理由

(1)灰色系：現場塗装仕上りまでを配慮すると、1.0程度の差で有意性が出る。N7以上では暗すぎて環境庁の意向外である。また9以上は白色とみなされ、除外し、N7.5、N8.5を選択した。

(2)緑色系：既設の関門橋と比較できるよう、関門橋の5GY 7/1.5 と調和ゾーンの5G 9/1 と 5G 9/2 の3色とした。

(3)青色系：既設橋の実績を考慮して、青色系を追加した。10B、7.5B、5Bのうち、さわやかですっきりした系統として、10Bを選び、この中から明彩度を変えて3色選択した。10B 8/4は5PB 9/2の調和ゾーンの色彩を対比するため、10B5/6は他の色と系統の異なる強調色を入れて対比するため、10B6/8はその中間色として選択した。

(4)アイボリー系：当初、公団候補案であったアイボリー系として、改めて2.5Y 9/2 を加えた。

(1)　瀬戸内海の景色は、外国の近似した景色に比べて青色でも、コバルトブルーのような鮮やかな色でなく、緑青とか群青の中間色である。

(2)　自然との調和からは、グリーンとか真青とか、コバルトブルーのような色は合わないだろう。

(3)　塗装のグリーンは自然の緑を出せないだろう。

(4)　海の藍色、島の緑という自然の色を映えさせるには、おだやかな色がよいのではなかろうか。それにはグレー系の色が合うと思う。また、橋に塗ったとき、色見本より明度が2.0程度以上上って見えるということであれば、この点も考慮してほしい。

3.3.4 アイボリーホワイト案(公団の検討)

当初、公団としては、海峡部はアイボリーホワイト案として検討していたので、景観実情把握のため、瀬戸からの完成予想図（現況写真を基にして透視図を重ね合わせ、手書きにより作成したもので、フォト・モンタージュとは異なる。）を作成して、竣工後の景観を認識した。つぎに塗料の耐候性から錆の影響調査を行うこととし、昭和50年7月、第三建設局向島・今治両工事事務所構内に設置した無線鉄塔に、公団仕様の塗装を現場で塗る手順および管理手法で、試験的に塗って、それなりの部内検討を行い、経年変化を調査である。

3.4 退色性の検討

橋梁塗装後、色彩を出す顔料の特性である退色の問題があり、このために経年変化で、周辺の景観との調和の違和感が生じないように、持続した3年から5年位の経年変化の問題を塗装維持の見地から総合判断の一要因として検討する必要がある。退色性の問題はまだ体系だったものがなく、未開拓の分野なので、退色性については橋梁塗料メーカーの専門家から聴取することにした。そのときの意見は表－10のとおりである。

表－10から、一般的性質はつぎのとおりである。

1)　灰色系、黄色系（アイボリー）は退色性に対する影響が少ない。

2)　明度は7→8→9、彩度は5→4→3のようになり、経年変化により退色が進行するが、顔料の性質、含有量によって異なる。

3.5 検討結果のとりまとめ

最初に、架橋地点の景観特性を把握するとともに、橋梁色彩に関する既往の知見を検討した。その際、架橋前の情報としては特別地域の指定理由であり、架橋後の調和景観の情報としては、本四連絡橋景観調査報告書の提言を参考にした。つぎに技術的に色彩表現から色彩選択を試み、手法としてカラー・シミュレーションを補助的に作成して、その成果から景観調和の傾向を把握した。これにもとづき、候補案を選定し、カラーフォト・モンタージュを作成した。また、あわせて塗料の退色性の検討を行なった。なお、候補案については、環境庁、専門家等の意見を拝聴して検討を進めた。（なお、主観的検討として、地元意見を尊重するため、県等に意向打診を行なったが、公団にまかされた。）

これらを要約すると、表－11のとおりである。

4．総合評価及び選定

第一次検討における本四景観報告書によれば、調和したグレー系の色彩がよいという意見であり、またカラー

表—10　退色性

色系	No.	候補色	退色の程度	
		マンセル記号	評　価	2～3年後の変化
灰色系	1	N8.5	○	少し汚れる。
	2	N7.5	◎	変化少ない。
緑色系	3	5G9/1	△	少し汚れる。　グリーン→白くなるN9
	4	5G9/2	○—△	〃　黄味減少→5G9/1
	5	5GY7/1.5	○	少し退色する。→5GY8/2
青色系	6	5PB9/2	△	赤味消失し易い→N9
	7	5PB8/4	△	〃　→2.5PB8/4又は10B8/4
	8	10B8/4	○—△	少し退色する。→10B9/3
	9	10B6/8	○	〃　→10B6.5/7
	10	10B5/6	○	〃　→10B5.5/6
アイボリー系	11	2.5Y3/9	○	少し汚れる。

（注）　◎：曝露によりほとんど変色しない　○：わずかに退色し、汚れが生ずる　○—△：○と△の中間　△：変退色、汚れが生ずる　×：変退色が著るしい。

表—11　色彩検討の要約

	I	II	推薦色 グレー系	ダイダイ系	アイボリー系	緑色系	青色系	摘要
第一次検討（調和色の検討）	①		○(弱調)			○(消極的)		
	②			○(薄い)	○(薄い)	○(薄い)	○(薄い)	
		③	○(明るい)					背景に調和した
		④	○(明るい)		○(薄い)	○(薄い)	○(薄い)	4案
		⑤						完成予想図試験塗装
第二次検討（候補色）	⑥		○明るい2案		○1案	○3案	○5案	表-9,11案
		⑦	○明るい					N7.5

（注）　I：客観的検討　II：主観的検討
①：本四景観報告書　②：カラー・シミュレーション(36色から4色選定)　③：専門家意見　④：環境庁提案　⑤：アイボリーホワイト案の検討
⑥：カラーフォト・モンタージュ作成(11色)　⑦：環境庁、専門家意見

・シミュレーション手法による調査の総合評価値も、*N*7.5は高い評価値のグループであった。第二次検討として環境庁の意見を参考にして、選定した推せん色について、カラーフォト・モンタージュを作成し、再度検討をお願いしたところ、明るいグレー系によい評価が得られた。また、ほぼこのとき、並行して経年変化による退色性の調査を行なった。その結果も*N*7.5が曝露により、ほとんど変色しない色として好ましいこともわかった。これら客観的検討、主観的検討、退色性検討から、色彩はグレー系で一致し、マンセル記号*N*7.5がもっとも好ましいと判断し、選定した。

5．問題点及び反省

(1)伝統色の調査(調和色)

その地域伝統色を調査し、反映させると地域住民観光客の共鳴を得ることになる。このためには県の自然保護審議会あるいは地元専門家の色彩検討委員会を発足させて検討を依頼し、他の要素も入れて候補色を提案させる必要があるのではないか。

(2)現景観の把握

景観は四季の変化、天候の変化により色彩感覚は異なるので、その状況を適確に把握（例：四季による天候表を作成し、そのときの景観色も調査し、代表時点の決定）する必要がある。

(3)色彩の心理効果

暖色と寒色を比較すると、実物大とくらべた心理効果は一般的に表—12のとおりで、上部工の構造、色彩、背景によって異なった感覚を持つので考慮する必要がある。

表—12　色彩の心理効果

	遠近感	面積感	重量感
暖　色	近くに見える	広く見える	重くみえる
寒　色	遠くに見える	小さく見える	軽くみえる

(4)判断を仰ぐときの資料

サービス判の写真では、実物と違った感覚をもち、色彩感も異なってくる。また、フォト・モンタージュの複写でも色彩表現に問題が残る。従って、判断を仰ぐときの資料は前述の2からフォト・モンタージュを作成し、上部工の塗色は正確に表現したものでなければならない。また、背景（松の緑、空、海）についても実際の現地の色彩を注記すべきである。

(5)カラー・シミュレーションの問題点

1)　色彩の精度

最終的なスライドが完成するまでに、現地撮影 → フォト・モンタージュ複写 → マスキング・ポジフィルム → カラー・シミュレーションによるスクリーンの映写 → スクリーンの撮影、の5段階の撮影工程になるため、自然色の〝色あせ〟現象がおこり、現実の色彩と比べて現在の写真技術では精度が落ちるので、景観色彩の一手法としては理解できるが、これだけで判断するのは早計である。

2)　アンケート調査の構成員

本調査では、公団職員、地元関係者、コンサル関係の人々で構成員としたが、その構成を変えると、(例えば色彩感覚の優れた美術科の大学生）解析結果は違った値となったかもしれない。(一説には、一般成人者では心理効果はほぼ同じという意見もある。)

3)　解析結果

a.橋梁イメージ因子

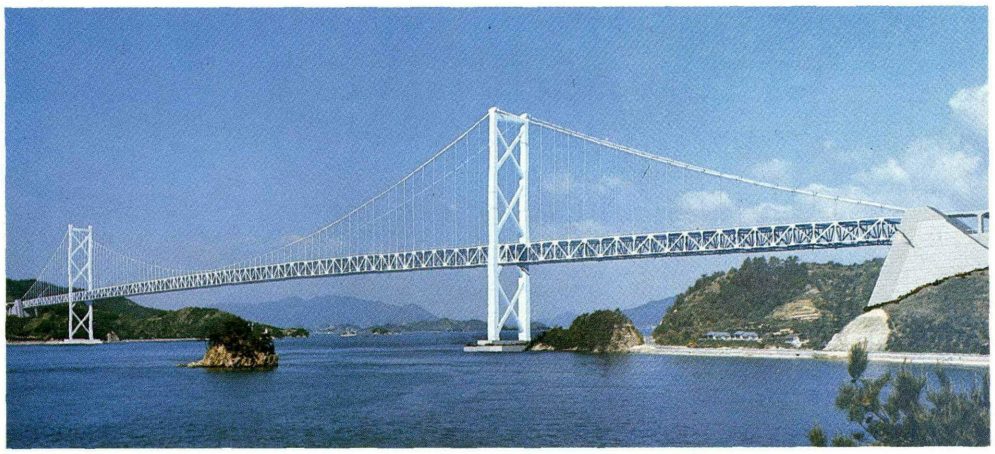
因子尺度として、一般的な表現の調和、目立ち、たのもしさ、美しさの4因子を採用したが、これは今回の調査を通じて、必ずしも適切な言葉ではなかったようである。例えば、調和と美しさの因子は互いに相関が強すぎ



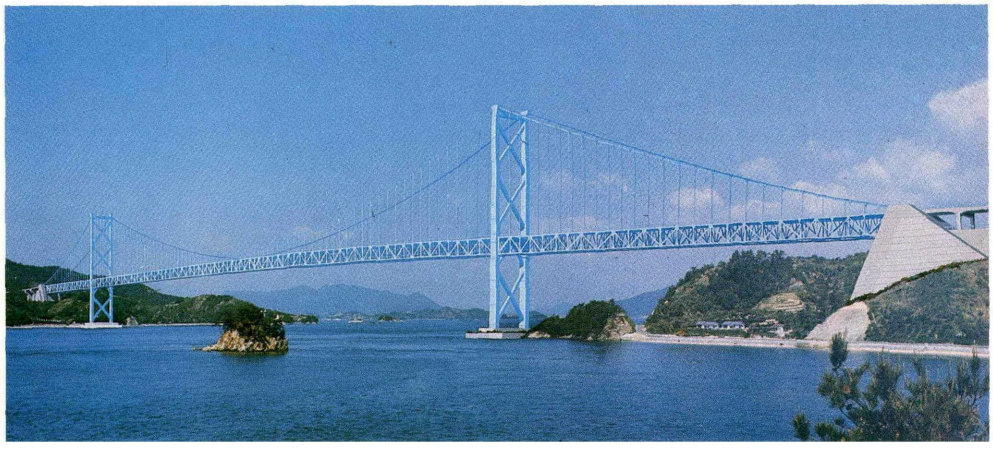
写真－7
大三島橋
（マンセル記号N7.5）



写真－8
大三島橋
（マンセル記号10B$^{6}/_{8}$）



写真－9
因島大橋
（マンセル記号N7.5）



写真－10
因島大橋
（マンセル記号5G$^{9}/_{1}$）

注1）
写真の色彩はオフセット印刷（多色刷）なので、マンセル記号と必ずしも一致していない。

2）
最終的に選定された色彩はマンセル記号7.5である。

る傾向があり、たのもしさの因子は総合評価となんらの相関もなかった。景観を表現する言葉の洗い直しが必要である。

b.一対比較調査

どちらがよいのかわるいのかの二者択一で、集計を加算した。そのため評価値が接近したスライドでは、一対比較調査での順位と、重回帰分析による総合評価値の順位が逆転する現象からみられた。従って、例えば判定尺度を5段階にするような工夫が今後必要である。

6．改訂色彩選定(案)

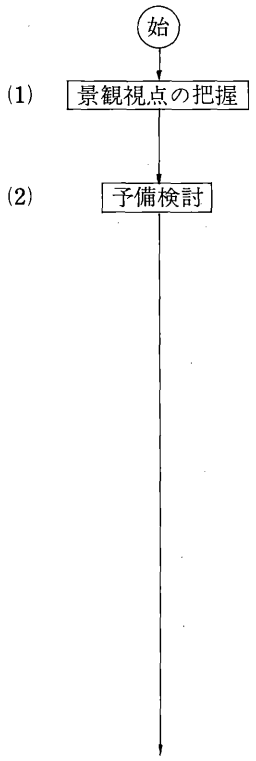
5の反省及び問題点から前掲3のフローを再度見直し、私見として選定手順の詳細なフローを図—5に提案する。基本的には図—4のフローと変わっていないが、改訂案の主な内容はつぎの通りである。

① 地元の専門家の意見を強く取り上げること。

② カラーフォト・モンタージュを色彩選定の柱とし、カラー・シミュレーションは必要があれば、必要部分のみ作成する。

③ 退色性の精度を上げること。

④ 色彩心理効果の検討も行う。



(1).1視点の選定……展望台、航路上、集落等

(1).2 景観領域の分類……1.1を近・中・遠景、遠望に分類

(2).1 本四連絡橋景観報告書、その他の文献整理

(2).2 カラーフォト・モンタージュの作成

(2).2.1 撮影時期の決定、撮影

(2).2.2 撮影時の写真の範囲の景観色の調査（視点から）

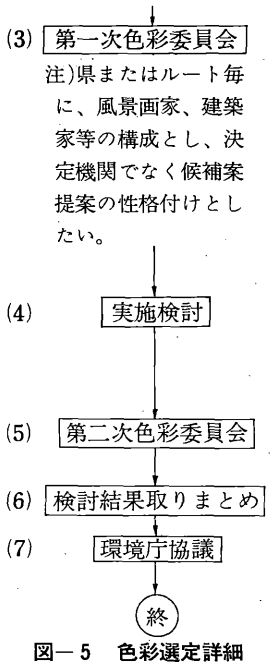
(2).2.3 カラーフォト・モンタージュ作成（冬期視点1板）

(2).3 代表的色相の塗り板作成

(2).4 退色性の傾向調査

(2).5 伝統色の調査

委員会での検討事項



図—5 色彩選定詳細フロー(案)

(3).1 代表視点の決定

(3).2 第一次候補色の決定

(3).2.1 主橋の色相及び調和色か強調色か

(3).2.2 橋梁付属物の配色

(3).2.3 心理効果の意見

(3).2.4 伝統色の意見

(4).1 3の意見から、カラーフォト・モンタージュの作成（彩度、明度を変える）

(4).2 必要に応じ、視点、領域をしぼってカラー・シミュレーション

(4).3 塗り板作成

(4).4 退色性の再調査

(5) 候補色案の決定

(6) 1～5の取りまとめを行う。

7．あとがき

両橋の色彩選定については、自然環境の調和に最重点をおき、試行をくりかえし、環境庁当局の指導を仰ぎながら同意を得ることができた。ここに環境庁当局、地元関係者及び資料作成された関係各位に深く感謝する次第である。

なお、本稿では、橋梁本体のみであるが、高欄、照明灯柱の道路付属物は安全運転の見地から調和色の選定が必要であること（参考文献[7]）を追記する。

参考文献

1) 本四連絡橋計画に対する景観調査報告書、国立公園協会、昭和48年
2) 長大橋の色彩に関する研究報告書、日本色彩研究所、昭和50年
3) JIS Z 8102 色名
4) JIS Z 8721 標準色標
5) 小林重順、道江義頼：応用色彩心理、昭和50年
6) 景観論（土木工学大系13巻)、昭和52年
7) 山本 宏：橋梁の色彩、土木学会誌、1978年11月号

因島大橋のエンドリンクの設計

向島工事事務所　第三工事長　林 有 一 郎
向島工事事務所　第三工事長付　淵 田 政 信

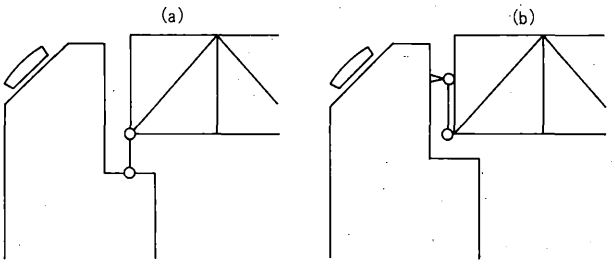
1．まえがき

長大吊橋の補剛桁の端部には、横方向の変形を拘束する支承と鉛直方向の変形を拘束する支承が設けられる。特にアンカレイジ側の側径間に設けられる鉛直支承は、通常エンドリンクと呼ばれている。これは、その部分の鉛直反力が正負の2方向となるのでローラー支承が構造上難しく、図－1に示すように揺動形式のリンク構造となっているためである。特にこの部分は、アンカレイジのケーブルベント部、スプレーサドルのアンカーフレーム部と競合しているため、同図(b)のような上吊り方式が難しく、一部の吊橋でヒンジ支承としている他は、すべての吊橋で(a)のような下支え方式としている。

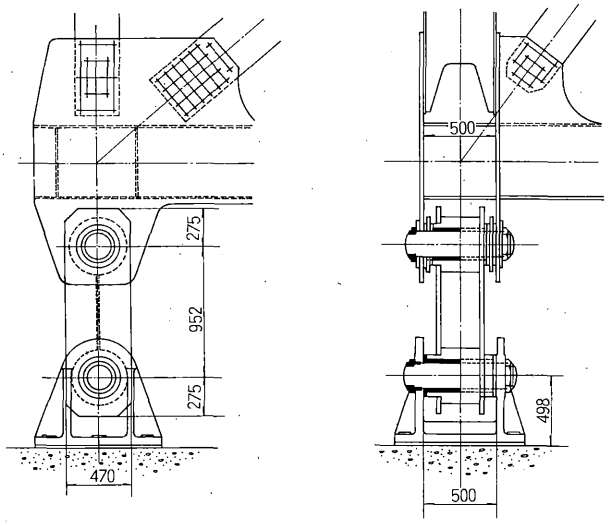
因島大橋のエンドリンク構造は、昭和49年の実施設計においては、図－2に示すようなリンク長0.952 mの下支え方式としていた。因島大橋工事に伴う詳細設計において、そのままでは構造上問題があるのではないかという疑念が生じ、詳細に調べ直してみた。その結果、他の多くの吊橋では、下支え方式ではあるものの、長さは一部を除き4 mから6 mに及ぶものが多いこと、又下支え方式のエンドリンク構造をもつ吊橋のエンドリンク部の水平変位量は非常に非線形性が強く、従来考えられていた計算法では問題があり、元の案では不適当であることが判明した。そのため、種々検討した結果、因島大橋のエンドリンク構造は、下部工工事が進んでいた関係で、対処可能な長さ4 mの上吊り方式に変更することにした。本文は、これらの検討の内容を報告するものである。

2．エンドリンク構造の一般的性状

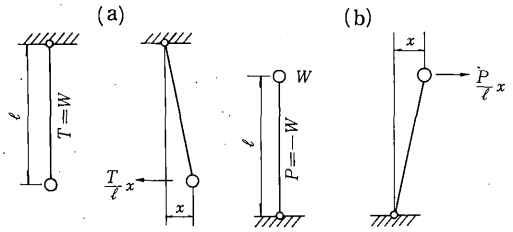
最初に保存力場において軸力を受ける1本の棒部材の力学的性状を調べる。図－3(a)に示すように、1本の剛体棒が軸力 $T=W>0$ なる引張力、及び(b)に示すように $P=-W<0$ なる圧縮力を受けている場合を考えると、周知のように(a)は安定な釣合、(b)は不安定な釣合である。(a)において、質点に棒長と比べて微小な横変位 x を与えると、棒の幾何学的変形を考慮することにより、棒にはみかけ上 x と反対方向の復元力 $(T/l)x$ が生じ、(b)においては x と同方向の力(倒れ力と仮称) $(P/l)x$ が生ずる。[1] 従って棒部材の軸直角方向の力学挙動を調べるには、棒部材は、横方向に T/l (引張部材 $T>0$、圧縮部材 $T<0$) なる横剛性を持つかのように扱うことができる。



図－1　エンドリンク構造



図－2　因島大橋のエンドリンク（旧設計）

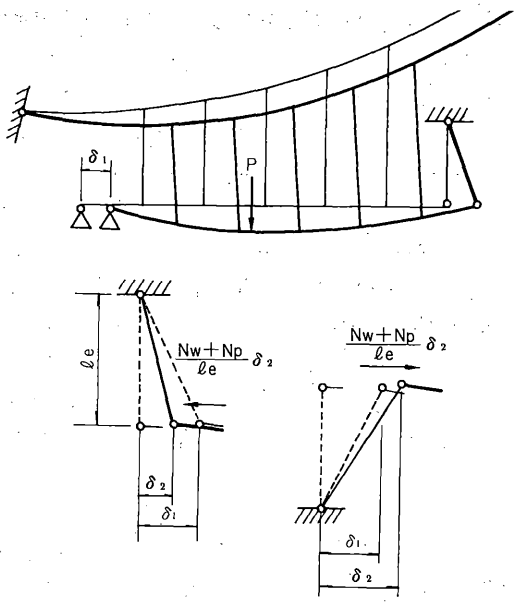


図－3　エンドリンクモデル

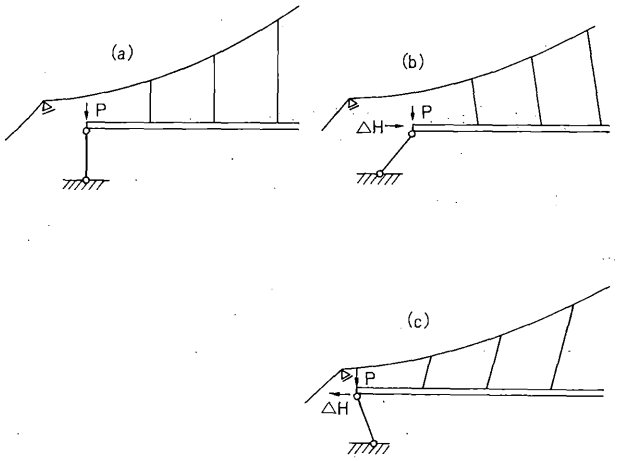
次に図－4に示すような、簡単な吊橋の側径間モデルによりエンドリンクの構造形式とエンドリンク部桁端変位量の関係を調べてみる。エンドリンク部の沓形式をローラーとした時、死荷重支による鉛直支承反力を Nw、補剛桁の適当な位置に鉛直集中活荷重 P を加えた時の鉛直反力

増分をNp、ローラー水平変位をδ_1とする。その状態でエンドリンク部の沓形式をタワーリンクのように上吊りリンク形式に変えると、エンドリンクにより桁には復元力が働くので桁端変位はδ_1より小さい値δ_2となる。逆に沓形式を下支えリンク形式に変えると、エンドリンクにより桁には倒れ力が働き、桁端水平変位は、δ_1より大きな値δ_2となる。特に後者の下支えリンク形式の場合、倒れ力の剛性は$(Nw+Np)/\ell e$と表わされるので、δの値は$Nw+Np$が大きいほど、又ℓeが短いほど大きくなることが分る。

以上の説明のように、棒部材の横剛性、即ち幾何学的変形を考えて繰り返し計算により吊橋の変形を求める場合の構造解析は非線形問題となり、解の唯一性は必ずしも保証されない。例えば、下支えリンク形式の吊橋において、リンク長が短く、活荷重がリンクの真上の位置に載荷される時は、微小水平荷重$\triangle H$を最初に与えておくことにより、その釣合形状は図－5の(a)、(b)、(c)に示すような3通りが生じうる。この場合、釣合形状後$\triangle H$を0にしてもその形状は殆んど変らない。



図—4　上吊りと下支えの違い

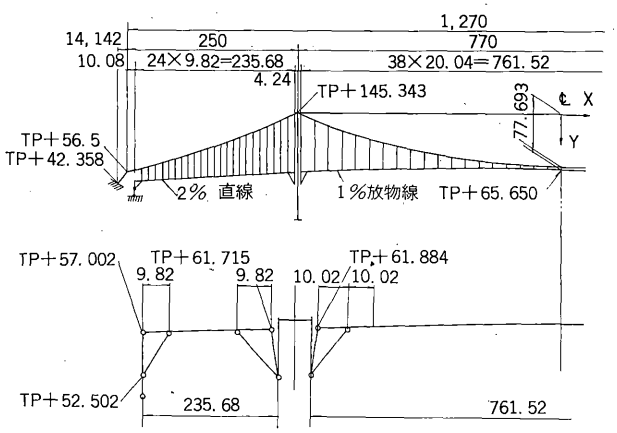


図—5　釣合状態

3．因島大橋における数値解析

3.1 解析モデル

エンドリンク構造形式の違いによる吊橋の変形性状を有限変形法[2]により検討するため、因島大橋を対象にして図－6に示すような吊橋平面骨組モデルを設定した。補剛桁は上弦材位置の梁に置換したが、エンドリンクとタワーリンク部の端部のパネル部には三角形骨組をつけてそれぞれのリンクの機能を正しく表わせるようにしている。補剛桁の分割は、着目側径間については、実橋どおりのハンガー間隔9.82mとし、その他の径間については、ハンガー間隔を実橋の倍10.02m×2としている。断面諸元を表－1、死荷重を表－2に示す。



図—6　解析骨組

表－1　断面諸元

片側当り

構造＼剛性等	断面積 A m²	断面2次モーメント I m⁴	弾性係数 E t/m²
ケーブル	0.2426	———	2.0×10^7
桁　(側)	0.0952	1.9102	2.1×10^7
桁　(中)	0.1223	2.4764	2.1×10^7
主　塔	0.7779	3.23	2.1×10^7
吊材(着目側径間)	0.00608	———	1.4×10^7
吊材(上記外)	0.01216	———	1.4×10^7
エンドリンク	0.03332	———	2.1×10^7
タワーリンク	0.0204	———	2.1×10^7

表－2　死荷重強度

橋軸方向, t/m／片側

構造＼径間	側径間	中央径間
ケーブル関係	2.4265	2.2795
吊構造関係	8.2185	8.3915
合　計	10.645	10.671

3.2 固定集中荷重を桁端部に加えた時の吊橋の挙動

下支え方式のエンドリンクの構造を有する吊橋では、側径間桁端部に集中荷重を加えた時、エンドリンク部材の圧縮力が大きいほど、桁端水平変位は大きくなり、又初期水平荷重の存在により、桁の釣合形状は3種類となりうることを2.で述べた。図—7には、長さ0.95m、死荷重による初期軸力$Nw=-40t$、下支え方式のエンドリンク構造を有する吊橋の桁端に集中荷重Pを加えた時の桁端部水平変位量を示す。[2] 縦軸をはさみ右側は最初に右方向に水平荷重$H=1t$を加えておいたものであり、左側は、逆方向に$H=-1t$を加えておいたものである。図でみるとおり、桁端変位δは、Pに対して非線形性が強いことが分かる。

図—8には、下支え方式のエンドリンクを有する吊橋に対し、桁端部に水平荷重$H=1t$を加え、さらに同位置に鉛直荷重Pを加えていった時のエンドリンク長、エンドリンク初期軸力の違いによる吊橋変形性状を示す。図—7、8によりエンドリンク長が短いほど、又初期軸力が大きいほど、桁端水平変位量は大きくなることが分かる。

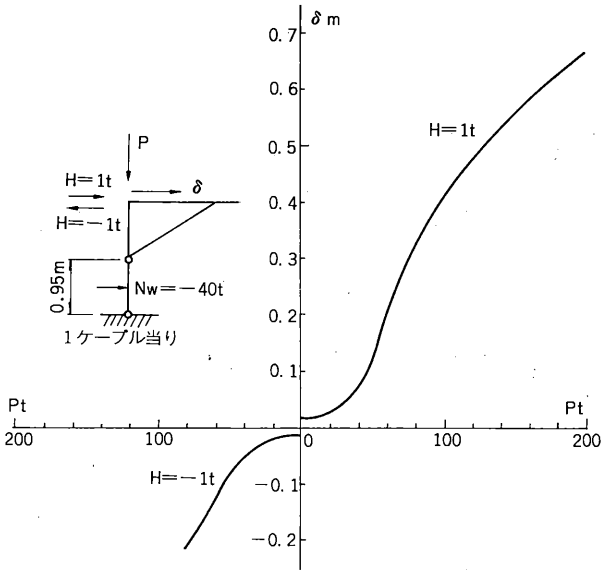
3.3 移動集中荷重を加えた時の桁端水平変位

通常の線形挙動を示す構造物に対し、単位荷重を移動載荷していった場合の力学量の変化は影響線となる。完成系の吊橋においても、大抵の力学量は、ほぼ線形性状を示し、力学量の推定は影響線を使用しても大きな違いはない。しかしながら、桁端水平変位のようにエンドリンク構造の違いの影響を強く受け、非線形挙動を示す場合は、影響線を使用して計算することはできない。

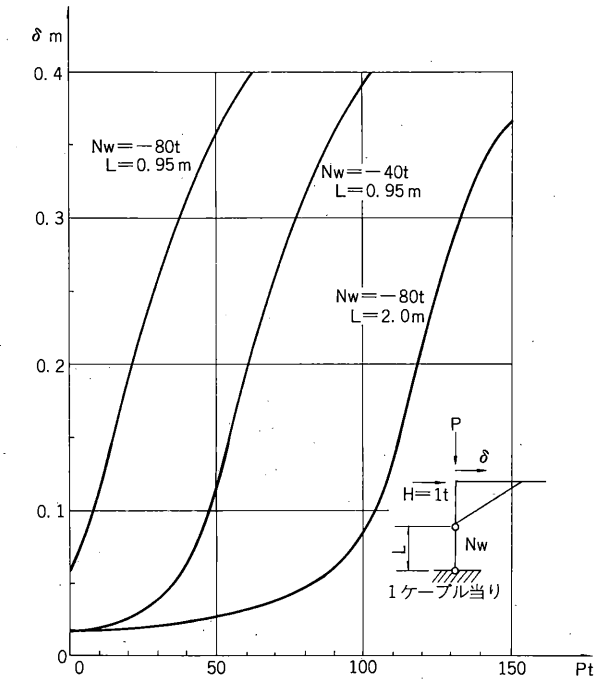
図—9には、側径間部移動集中荷重$P=100t$に対する撓度理論と有限変形理論の解析法の違いによる因島大橋の桁端水平変位量の比較を示す。図中の一点鎖線は、従来撓度理論[3]により求められていた値であり、実線はエンドリンクを長さ0.95mの下支え方式(初期軸力$Nw=-40t$)とした場合に、側径間端部に水平荷重$H=\pm 1t$を加えたうえ、$P=100t$を移動載荷して、有限変形解析により求めた値である。有限変形理論により$H=0t$のままでPを載荷するとエンドリンクに近い方の端部から、3、4パネル位置までの載荷の場合は、載荷条件が特殊なため、なかなか数値解が求まらず、それ以後のパネル位置載荷からは、$H=1t$か$H=-1t$の線の値に近い値が求まる。エンドリンク構造が水平ローラー支承又は上吊り方式の場合の変形性状は、有限変形理論によっても、図の一点鎖線の変位、即ち撓度理論によるものに近くなる。図—9で示されるように、エンドリンク部桁端水平変位は、エンドリンクの吊り方、長さ、初期軸力を無視しては計算できないことが分かる。

3.4 エンドリンク構造形式の違いによる変形量

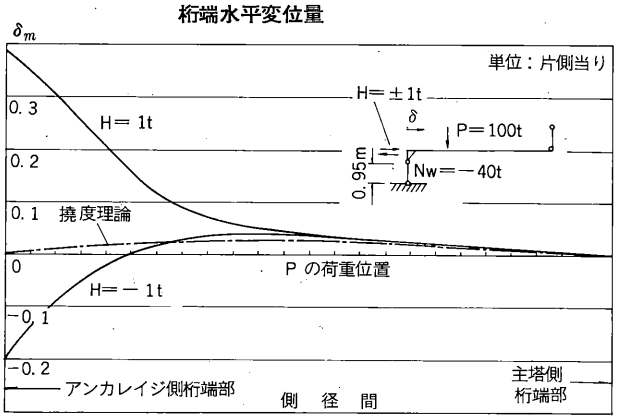
因島大橋のエンドリンクを設計する際の、1基当りの荷重条件は次のとおりである。エンドリンクの死荷重に



図—7 固定集中荷重による桁端水平変位量
(h=0.95m、下支え)



図—8 初期軸力、リンク長の違いによる
桁端水平変位量



図—9 移動荷重による桁端水平変位量

表－3　設計荷重による桁端水平変位量

単位：mm

形　　式	温度T＝±30°	荷重状態 I	荷重状態 II	最大伸縮量
下支え　h＝2 m	±9	446	599 * -328 *	608
上吊り　h＝4 m	±6	80	66	86

注1：着目点は側径間側補剛桁のアンカレイジ側上弦材端部水平変位
注2：荷重状態（片側ケーブル当り）



注3：＊印の値は、最初に温度を上げて、最後に温度を0として計算したものであり、最初の温度の±の与え方により違った値となる。

よる初期反力Rwは、吊構造部、端部主横トラス、伸縮装置を考慮して、$Rw=70.0t$とする。活荷重強度として、上部構造設計基準により、片側当り集中荷重$P=62.5t$、分布荷重$p=2.106t/m$とすると、活荷重反力は、正反力$R_t=236.4t$、負反力$R_t=-163.8t$となる。

このような荷重条件でh＝0.95mの下支え方式のエンドリンク構造を有する吊橋の桁端水平変位量を調べると、図－8、9から観察されるように、桁端部の非線形性状が余りにも強く、釣合状態も違った位置に2種類あり、集中活荷重のみによっても、変形量が相当大きいことからこの構造形式は不適当と判断した。

前述のように、エンドリンク構造の変更時点で、下部工の施工が進んでいたため、下部工とのとり合い上、可能な構造形式としてh＝2mの下支え方式とh＝4mの上吊り方式の2種類を考えた。表－3に2方式の場合の従来、変位が最大と考えられていた荷重ケースIと、下支え方式の際に大きくなると考えられる荷重ケースIIの場合の桁端変位量を示す。表でみるとおり、下支え方式の場合は、h＝2mとしてもまだ変位量が大きく、非線形性も強いことから、下支え方式は止めることにし、h＝4mの上吊り方式の設計を行なうこととした。

4．エンドリンクの設計

上吊り方式h＝4mのエンドリンクに対する設計条件は、表－4のとおりである。伸縮装置部の変形量は、活荷重、温度により＋86mm、－55mmであり、暴風により、－980mmである。

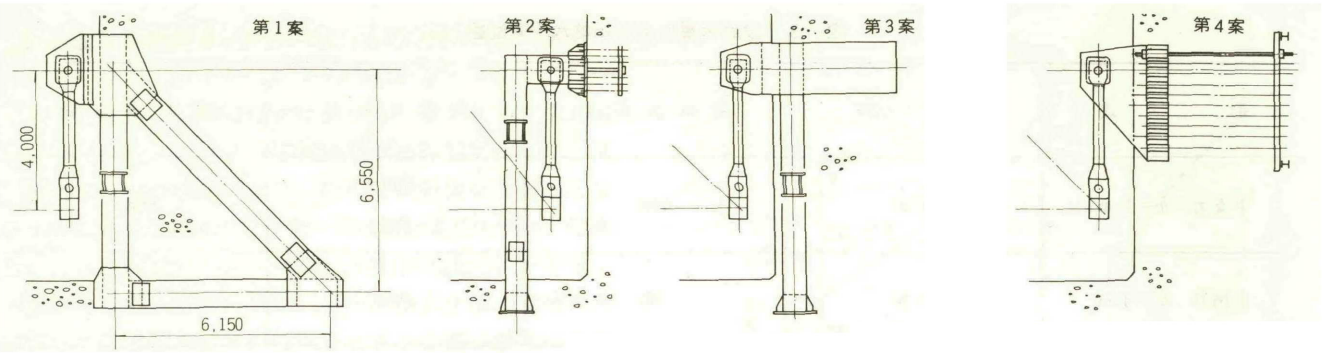
エンドリンクに発生する力は、アンカーフレームを通じてアンカレイジに伝えられる。アンカーフレームを設計するに際し注意した点は、1)エンドリンクに発生する正負の力にコンクリートが耐えられること、2)上部工、下部工の施工誤差に対処できること、3)エンドリンク近辺の補剛桁架設に支障がないこと、などである。

表－4　設計条件

エンドリンク1基当り

反　力	死荷重	活荷重＋衝撃	温　度	合　計	摘　要
正反力	70	236	8	314	
負反力	70	-164	-8	-151	$R_{t+i}\times1.3$

上吊り方式のアンカーフレームとして、図－10に示す4案の構造を考えた。各案の構造上の特徴、問題点を、表－5に示す。これらのうち、力学的に簡明であり、上記の注意点に対し、最も対処が容易であると考えられる第1案を採用することにした。第1案を採用するに当り正負の反力に対しては、実際はコンクリートの共同作用があるので、要所にはスタッドジベルを配して、補強を兼ねてコンクリートとの一体化を図り、エンドリンク結合部の垂直材頂部近辺には、コンクリート打設時に、極薄の発泡スチロールを敷き、コンクリートに悪影響を与えないように配慮した。施工誤差に対しては、アンカーフレームセット時に十分な測量を行なうことにし、なおかつ残る悪影響のある施工誤差には、スプライス部分にフイラープレートを挿入して対処することにした。エンドリンク架設時に対しては、ボルト締め等の作業スペースを確保するために、アンカレイジ沓隠し部分の側壁厚

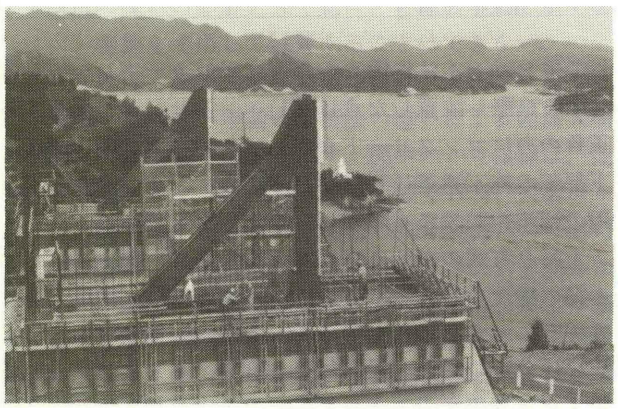


図—10　上吊り形式比較案

表—5　エンドリンク上吊り方式の検討

案 / 特徴	第　1　案	第　2　案	第　3　案	第　4　案
構造上の特徴	○外力は、軀体内に埋込れた三角形骨組だけでもたせる。	○外力は、軀体外の直角ラーメンでもたせる。 ○軀体とラーメンは、アンカーボルトで緊結させる。	○外力は軀体内に埋込れた梁でもたせる。 ○軀体と補強用の鉛直部材は、バネとみなす。	○外力は軀体内に埋込れたブロックのコンクリートとの支圧と、PC鋼棒のプレストレスでもたせる。
問題点	○コンクリートに流れる力が明確でない。	○施工誤差の吸収が難かしい。	○梁の張出し部付け根の部分のコンクリートの圧壊の可能性がある。	○施工誤差の吸収が難かしい。 ○PCコンクリートを打つ必要がある。 ○シースのグラウトが難かしい。

を多少変更した。エンドリンクアンカーフレームのアンカレイジへの据付状態を写真—1に示す。



写真—1

5．むすび

上吊り方式のエンドリンクの設計は、昭和53年6月末に完了し、引続き10月に製作完了し、アンカーフレーム廻りのコンクリート打設も12月無事終了した。アンカーフレームのセット誤差は、ほぼ上部構造のセット誤差内に納まった。

本文の数値解析については、日本構造技術㈱、和田忠治氏、設計については、日立造船・日本鋼管因島大橋塔その他工事共同企業体の協力を得た。エンドリンク構造を詳しく調べ直すに至ったきっかけは、川崎偉志夫前理事の、旧案に対する指摘のあったためであり、合わせて感謝するものである。

本文において、エンドリンク構造形式を、下支え方式から上吊り方式に改めた経緯を報告したが、本文が今後の吊橋のエンドリンク構造の設計に役立てば、幸いである。

〔参考文献〕

1) Y.Hayashi：Linearized Finite Deformation Theory in Suspension Bridges, Proc. of JSCE, No. 257, JAN. 1977
2) 後藤茂夫・羽根悟朗・田中達朗：接線剛性法による骨組構造物の大変形解析、土木学会論文報告集、第238号、1975年6月
3) 日本鉄道建設公団：本州四国連絡鉄道吊橋技術調査委員会中間報告書・軌道専門部会報告、昭和45年2月

技術ニュース

風洞試験基準の改訂

昭和53年度の土木学会本州四国連絡橋耐風研究小委員会において、「風胴試験基準」（1976年3月）の改訂作業を行なった。今回の改訂の主な事項を列挙すると以下のとおりである。

1）基準の全体構成は従来の基準とほぼ同一とするが、模型に関する共通事項は共通編で示すなどして全体としての整合性をはかる。
2）条文の他に「標準書式」を加えて試験結果の統一的整理方法を示し、その相互比較の便をはかる。
3）各条文には「解説」を付し、条文の根拠等を明らかにするよう努め、模型の作成要領などを「付属資料」として示す。
4）適用範囲を拡大し、充腹断面桁、斜張橋なども含める。
5）用語の定義をできる限り明確にする。
6）根拠が明確な場合、従来の基準の条文を改訂する。
7）実験装置の改良、計測技術の向上等により可能と思われる事項については誤差の許容値を小さくし、試験精度の向上をはかる。
8）風洞試験に用いる単位系は重力単位系を踏襲しているが、世界の動向も勘案してＳＩ（国際）単位系の換算値を併記し試験結果の相互比較の便をはかる。

鋼材規格の改訂

従来の鋼材規格は昭和46、47年当時の製造実績をもとに制定されたものであるが、その後の製造実績および技術の進歩を考慮し、昭和53年6月に土木学会本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会において鋼材規格の見直しを行った。その結果、昭和53年11月にHBS G 3101（鋼上部構造用SM50YC）、HBS G 3102（鋼上部構造用70キロ鋼・80キロ鋼）およびHBS G 3104（鋼上部構造用SM50・SM50Yおよび SM58追加規格）を改正した。改正の概要は次のとおりである。

1．SM50、SM50YおよびSM58材の炭素当量ならびに溶接部最高かたさ規定の改正

従来のHBSでは溶接施工性を考慮し、高品質な鋼材を安定して供給する必要があると考え、板厚範囲6mm≦t≦40mmにおける炭素当量を≦0.43に規定していたが、今回諸般の情勢を考慮してこれを≦0.44に緩和した。また炭素当量の改正に伴ない溶接部最高かたさの規定を改正した。

2．70キロ鋼・80キロ鋼における化学成分のうち燐および硫黄の含有量規定の改正

鋼中に存在する燐や硫黄は脆性の原因となり、また層状介在物として鋼板にラミネーションを生じさせるため、できるだけ少ない方が望ましいので今回これらの含有量を≦0.030から≦0.015に改正した。鋼上部構造用鋼材規格の解説は54年3月、設計部によりまとめられている。

上部構造設計基準の改訂

主ケーブル、ハンガーロープの許容応力度の改訂を行う。

(1)主ケーブル用溶融亜鉛メッキ鋼線の許容引張応力度を従来の5600kg/cm²から6400kg/cm²に変更する。

これまでの実績、二次応力に対する検討などを考慮し
①引張強さに対して少なくとも2.5の安全率を有する。
②降伏点に対して約2の安全率を確保する。
③2次応力を含めたケーブル最大応力は引張強さに対して約2の安全率を有する。
こととした。

(2)ハンガーロープの許容引張応力度を従来の保証破断応力度の¼から⅓に変更する。

ハンガーロープの設計は、従来床組反力をハンガー張力と見なす慣用計算法で計算し、ロープの許容引張応力度は、保証破断応力度の¼をとっていた。しかし、この計算法は吊構造部の後死荷重や活荷重については補剛トラスの荷重分配作用の影響が考慮されていないため実際のハンガー張力と異なったものとなる。そこでハンガー張力をより正しく評価出来る全体系による設計方法を採用し、製作誤差、架設誤差、バンド部の曲げ等の影響を考慮し、その応力の引張強さに対する安全率を3.0とすることとした。

多室型緩衝工の設計要領(案)

船舶が橋脚に直接衝突して、船舶が破損するのを防ぐために現在種々の形式の緩衝工が提案されているが、この設計要領(案)は、その中の一つである鋼製の多室型緩衝工に関して設計手順の考え方を要領の形にまとめたもので、対象船舶は数百G.Tから数万G.Tとし、又衝突速度は小型船では十数ノット、大型船では数ノット程度を想定したものである。設計の概略のフローは、船舶が橋脚に衝突する時の形態を考慮して、船首衝突、船腹衝突の2種類について衝突エネルギーを算定し、次に船首船腹の限界許容強度を設定し、船体および緩衝工双方の吸収エネルギーの分担変位量および衝突力を判定して、緩衝工の基本部材を設計するものとする。又製作取付、取替等の施工および維持管理のことも考慮して、全体の骨組構造ブロック割取付部の構造について検討するものとしている。なお衝突時の条件で設定された構造に対して非衝突時の条件で構造部材の照査を行ない最初に設定したすべての条件を満足する緩衝工を設計しなければならない。上記より概略の設計フローを説明した。現在この形式については、模型を利用した実験が継続されておりこれらの成果をふまえて今後十分な検討が必要であるとともに、今迄に先例のない大型構造物となるので、実際の設計にこの要領を適用するためには、さらに海上における実物実験等が必要と考えられる。

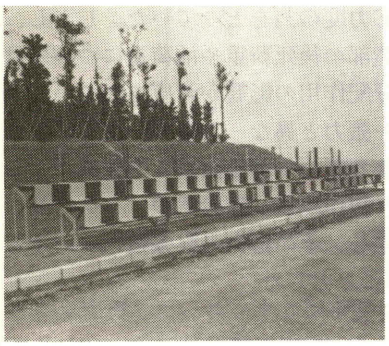
電波吸収材の大気暴露試験

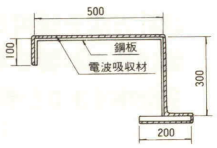
橋梁によって起こる船舶のレーダー偽像が問題となっているが、この減少対策の一環である電波吸収材について耐久性を調査している。大気暴露試験は耐久性調査の一つであり、坂出瀬居基地で実施している。

電波吸収材としては2種のエポキシ系のもの、1種のゴム系のものを対象としており、この他本四塗装系NO.5およびエポキシ系塗料を塗布した供試体各1種を比較材として同時に暴露している。

供試体の据付けは昭和54年2月に完了した。

今後、定期的に目視観察、付着力測定を実施し、約10ヶ年調査を継続する予定である。





大三島橋の管理体制整う

尾道～今治ルートの大三島橋（橋梁部と前後の土工部を含めて、本線延長6.8km）については、いよいよ昭和54年5月に供用をする予定である。

当公団では、初の有料道路としての供用であり、道路管理体制について万全を期するよう公団が一丸となって、業務を遂行することにしている。

現地での直接の担当は、第三建設局今治工事事務所の維持管理課が行うことになっているが、道路の管理、維持、交通処理、それに料金の収受業務等、諸々の事務処理、監督を日常実施することになり、規模や供用延長は小さいものの、その責任は非常に大きいものである。

そうした業務の一環として、今回、道路巡回車と標識車を各一台購入し、管理体制の一助にする計画である。

購入する車両の概要

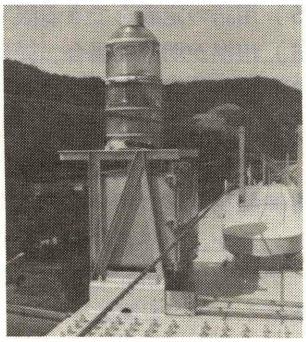
道路巡回車		標識車	
車両名	道路巡回車Bタイプバン		2トン高床式三方開ダブルタイヤ
型式	トヨタ自動車(H-MS87V-KDJ)		ダイハツ工業㈱、V10-T（改）
機関	総排気量1988cc.馬力110PS		総排気量2977cc. 85P.S
主な装備品	モーターサイレン 1台	架装装置（作業装置）	一式
	回転警光灯 2ヶ	標識装置	一式
	作業灯 1ヶ	内部照明式	
	拡声装置 1組	表示文字(工事中、注意、事故)	
	無線装置 一式	点滅灯、回転警光灯	一式
		拡声装置	一式
		照明用投光装置	一式
		発動発電装置	一式
		標識装置	
		照明投光用	

大三島橋航空障害灯設置

工事中であった大三島橋航空障害灯は、去る1月末にアーチリブ中央部（2ヶ所）に設置が完了した。これは、航空法に定める昼間用航空障害標識にかわるものとして運輸省の許可を得たものであり、要目概要は次のとおりである。

型　　式：20K（全方向閃光装置）
発光回数：毎分40回
閃光時間：10m／sec.以内
発光光度：最高20,000cd

なお、本障害灯の実橋実験の結果を運輸省に報告を求められているので、公団は、種々の点滅条件の把握のための観測調査を54年度に照明学会に委託する予定である。

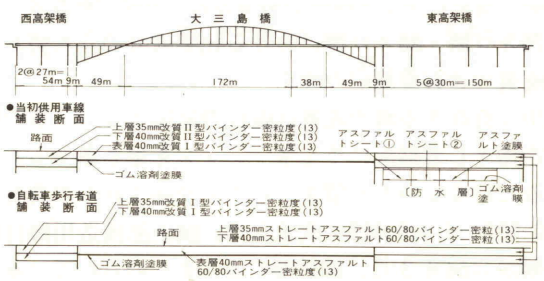


大三島橋で試験舗装を実施

大三島橋と大三島橋西高架橋の橋面では、橋面舗装基準（案）に基づいた試験舗装が実施された。これは、本州四国連絡橋の鋼床版橋面舗装を対象として昭和51年度に日本道路協会でまとめられた上記基準（案）において、従来の舗装より高度な品質を要求しているところから実施されたものである。

今回は、鋼床版実橋の舗設に先立つ大規模な舗設工事を実施し、舗装用混合物の性状を把握するとともに、機械化施工の問題点を抽出、把握して、基準(案)を充実させるのに役立てようとするものである。実施される混合物は改質Ⅰ型およびⅡ型バインダーを使用したもので、下図のように配置されている。

なお、東高架橋ではＲＣ床版上の防水層の試験も実施されている。



図書の頒布について

(財)海洋架橋調査会におきましては、本州四国連絡橋公団監修のもとに、下記の図書を実費にて頒布いたしております。

本州四国連絡橋公団技術関係基準集　上・下巻
昭和53年4月　(在庫なし)

本州四国連絡橋(児島・坂出ルート)環境影響評価書
同評価書資料編　15,000円　昭和53年5月

土木工事共通仕様書　2,500円　昭和53年6月

ご希望がございましたら下記に申し込み下さい。

申し込み先　〒105 東京都港区虎ノ門4丁目3番20号
第22森ビル
(財)海洋架橋調査会
電話03(436)−3896

振込み先　富士銀行虎ノ門支店　口座番号990412
財団法人　海洋架橋調査会

本四技報編集委員会名簿(アイウエオ順)

編集委員長　田島二郎

編集委員　青木忠宗　大町武司
岡留紘　川井幸一郎
黒瀧義則　越村一雄
島田直幸　鈴木隆
高木浩　竹本延弘
津田勝久　戸川春雄
徳原靖久　馬場賢三
山田勝彦　三橋吉信
小野秀男(海洋架橋調査会)

本四技報 第8号

発行　昭和54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
東京都港区虎ノ門4丁目3番20号
第22森ビル　〒105
電話03(436)−3896
発行者　村上永一
印刷　中井編集デザイン事務所

定価 800円