

本州四国連絡橋に関する土木学会における調査の現況

田	中	豊	*
青	木	楠	**
沼	田	政	矩 ***

まえがき

土木学会は建設省並に日本国有鉄道の委託を受けて昭和36年末に本州四国連絡橋の技術的検討を行うために本州四国連絡橋技術調査委員会を設置し、今日に至っている。調査期間は約4ケ年の見込みで、委員会は東大名誉教授田中豊氏、以下委員幹事約40余名から構成されている。

委員会は任務遂行のために上部構造に関する専門部会、基礎に関する専門部会を設け、更に耐風安定性に関する小委員会と耐震問題に関する小委員会が組織されている。

現在世間で本州四国連絡橋の架橋地点として話題に上っているものは5ヶ所があり、また鉄道橋か道路橋か併用橋かなど問題が議論されているが、今日までに委員会の行っている調査は長大橋架設に関する技術的な基本問題の解決に焦点をしばっている。

以下最近まで技術調査の概略をのべることとする。

1. 上部構造に関する専門部会

上部構造部会として、既往の建設省、国鉄の行ってきた本州、四国連絡橋技術調査（気象庁、東大等への外部委託を含む）についての経過報告を受け、これらの討議を行い、今後の調査研究計画について検討を行った。

海洋気象調査として、風向、風速の観測が行われてきたが、自然風の観測および解析、橋梁に対する風の影響の調査、耐風設計法に関する調査研究等重要な問題があり、研究を促進するため、風の小委員会を設けることとした。

耐震調査に関しては、地震動の観測（常時微動の観測、強震計、海底地震計の設置）および振動台による模型試験等が実施または計画されているが、下部構造および基礎との関連もあり、上部、基礎両部会共同の小委員会を組織し研究を進めることとした。

材料調査としては、高強度鋼の調査に着手し、金属材料研究所、製鉄メーカーの方にも参加頂き80 Kg/m²鋼を中心に調査を進めている。その他、高強度コンクリート、ケーブル等についての試験研究が計画されている。また塗料に関しては、現地における曝露試験および室内試験を行って、

* 本州四国連絡橋技術調査委員会委員長 工博

** 本州四国連絡橋上部構造に関する専門部会部会長 工博

*** 本州四国連絡橋基礎に関する専門部会部会長 工博

その結果を得たが主として塗装系の選定の試験であり、今後目標を絞って改めて試験を行う予定である。

構造調査としては、本州、四国連絡橋は従来にない長径間橋が考えられるので、圧縮部材試験、部材の疲労試験、部材接合部及び橋床構造等の試験研究を進めると共に、基本的な問題として、「鉄道吊橋の衝撃、吊橋上の車両走行安定性の研究を東大に委託し、長径間吊橋の鉄道橋としての問題点の究明を図っている。

設計調査としては、主として鉄道、道路の併用橋に関して検討を行い、特に長大径間で併用橋として考えることが困難なものは道路橋として検討することとした。

設計調査の対象を吊橋とし、最初に2ヒンジ補剛トラス吊橋（中央支間500m、1000m、1500mの3種）についての試算設計を行った。

試算設計に先立ち、使用する設計基準案の検討を行った。

その主なものを述べると、併用橋の活荷重としては、道路部は6車道とし、才1車線にT-T-50、才2才3車線にT-20荷重を負載するものとし、吊橋の主部（補剛トラス、ハンガー、ケーブル、塔）の計算には、250Kg/m²の等分布活荷重を考慮するものとした。鉄道部の活荷重は複線とし、荷重Ⅰとして建設規定基準活荷重KS-16を基とした荷重を定め、荷重ⅡはKS-14を基とし、荷重長を小にした荷重を定め、この2種類について設計することとした。荷重Ⅰは現在の山陽線の列車がすべてそのまま通過しうる荷重であり、荷重Ⅱは現行の最大索引列車を2分割して通過させる案である。

衝撃に関しては、吊橋主部に対しては、鉄道荷重に対してのみ考慮し、その値は長支間のものに関しては0.2を採った。

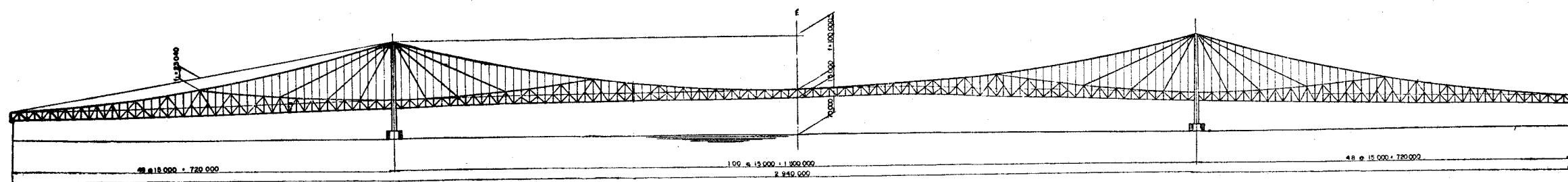
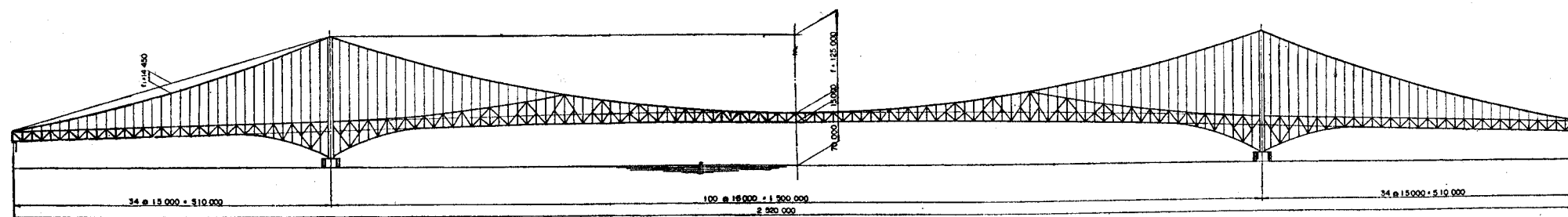
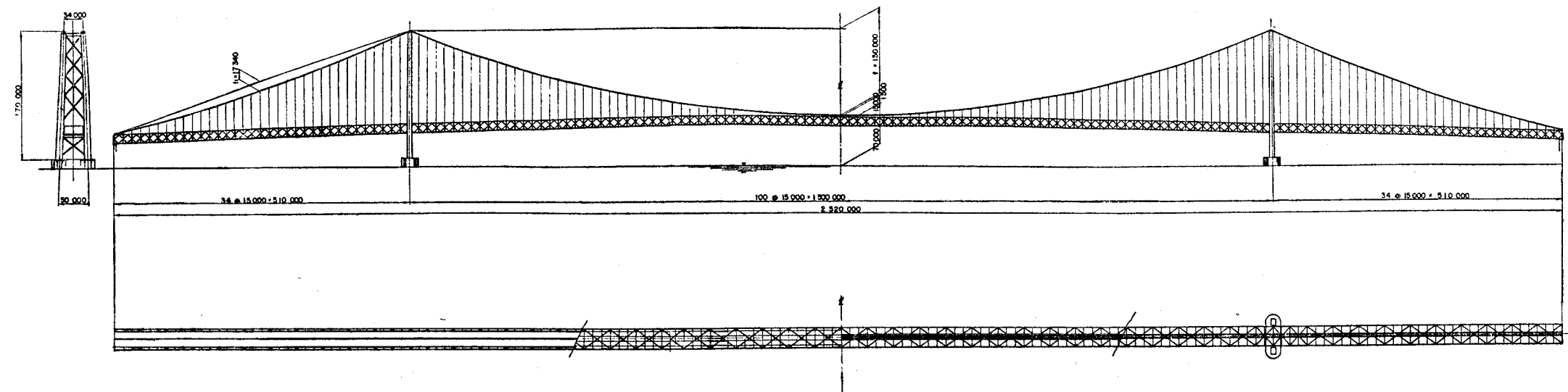
風荷重は一応60m/secと80m/secの風速に対する値を採用し、地震荷重は水平震度0.2の場合のチェックを行うこととし、共に後日再検討することとした。

使用鋼材は、主体をSM50および60Kg/m²鋼とし、必要のある場合は80Kg/m²鋼を用いることとし、許容応力は鉄道部床組を除き、現行道路橋の基準を使用し、その材料の降伏比でスライドして使用する方針とした。ケーブルは素線強度17,000Kg/m²とし、安全率を3.0とした。

上記の概要で試算設計を行ったものを図に示した。

この試算設計結果を基として、中央径間500mのものは、カンチレバートラス等との形式比較を行い、長径間のものについては、連続補剛トラス吊橋、連続変断面補剛トラス吊橋および斜吊りの特殊形式吊橋との形式比較を行う予定である。

資料調査としては、外国文献の調査を継けるとともに、国内各所で行われている本州四国連絡橋の調査研究について、その説明を伺い、今後の調査研究の資料とする予定である。



日本国有鉄道

2. 基礎に関する専門部会

基礎に関する専門部会の審議事項は、

(イ) 海底地形、地質の調査

(ロ) 橋梁基礎の構造、工法

となっており、このために

- (1) 長大橋梁の水深の大なる場所における橋脚構築の施工例を文献により調査する。
- (2) 現地における各種調査の進捗によって、水深、地盤層序が明かになると共にその問題点を検討する。
- (3) 海底地質の工学的性質の調査方法を検討する。
- (4) 上部構造部会の審議の進展によって上部構造の構造、荷重が明かにされて来るのに伴ない、下部構造設計のための設計基準、下部構造の試算設計を行う。
- (5) 施工の対象とすべき水深地質に適応する施工案の検討をすすめる。
- (6) 各種施工案の実施に際しての問題点を明かにすると共にその解明のための準備的な施工試験案を作成する。
- (7) 実施可能な施工案を作成する。

の方針に沿って審議がすすめられている。

現地における調査は建設省、国鉄の手によって進められており、音響測深、ボーリング、ドレッジ、音波探査、物理検層、潜水観察などが行われ、水深図、地質図等が作成されているが、水深が大なること、支持層となる地層の支持力を初めとする工学的性質の調査方法、橋脚位置の変動による地形地質の変化など検討すべき問題点がある。

下部構造設計のための設計基準については現在検討中であるが、上部構造からの荷重、地震の影響、偏心荷重の場合における安定、船舶の衝突、岩盤締着の効果、荷重の組合せた場合の許容応力許容地耐力の割増し等に検討すべき問題があるようである。

水中橋脚の施工方法についても、外国における施工例からみても更に大きな水深の場合となり、また、地震力を受けることもあって橋脚寸法は大きなスケールのものとならざるを得ないと思われる。しかも、海底地形の不陸さ、漂砂、砂礫、粘土層といったOverburdenの有無およびその硬軟潮流の存在と云う悪条件も加わる。更に、これらの施工作業を行う基地としての海中足場も本格的なものとなろうし、その設計と設置方法も一つの大工事と考えられる。海中における掘削方法についても調査検討が加わらねばならない。これらの施工に伴う資材海上輸送や外国の水中基礎において用いられたプレバクト工法もやはり用いられる機会があると思われるので、これらについても

十分調査検討をすすめる必要があると思われる。

以上述べた如く、海中橋脚のための地盤調査、基礎の設計施工については在来の工法を適用することについても数多くの問題があり、我国においてはこの方面での施工経験もなく、当初は冒険と考えられる事柄にも直面しなければならないかもしれない。飛躍した新工法が開発されることも考えられるし、また望ましいことであるが、このためにも海中構造物の設計や施工の経験をできるだけ多く積み上げ、海中作業について国際水準の技術力を習得して行くこともこれらの審議と平行して行われることも重要なことと云えるであろう。

3. 耐風設計小委員会

1. 概 説

1940年の米国ワシントン州タコマ吊橋（スパン 854 m、幅員 12 m）の強風による落橋は、近代的吊橋の設計傾向に対する警告となり、以来、吊橋の振動理論および耐風安定性に関して、空気力学、空力弾性学、構造力学の各分野から幾多の研究がなされてきた。

瀬戸内海をまたいで、本州と四国を橋梁で連絡する場合、支間長から考えていずれの路線についても、わが国としては未経験の長支間の吊橋の建設が必要となるが、台風の来襲地域に位置し、世界有数の強風地帯に属するわが国としては、他のいかなる国の場合にも増して、吊橋の耐風安定性に関する検討を行うことが必要である。このため、特に耐風設計小委員会を設け、昭和38年1月からこの問題に関する調査、検討を行ってきている。

従来にも橋梁に対する各種の示方書中に風荷重の規程があるが、これらは支間の比較的短い橋梁に、静的に風荷重を作用させるものであって、今回の本州四国連絡橋の設計については、従来とは異なった検討が必要となる。

オ1には、設計の基準とすべき風速をどのように定めるかと言う問題がある。オ2には風が構造物におよぼす作用をどのように評価すべきかと言う問題、オ3には強風下における吊橋の応答の問題、オ4には吊橋の耐風安定性を保つ上に必要な因子の問題、オ5として、以上を総合して吊橋の耐風設計方法の確立の問題がある。耐風設計小委員会は発足後まだ8ヶ月を経過したに過ぎず、上記諸問題に対して多角的な検討を加えている途上にあり構造物に関係する問題は今後の検討をまたねばならないので、ここでは従来の審議の結果、大体的見通しを得たオ1の問題についてのみ紹介することにする。

2. 風速の推定

海底をも含めた地形的要因と、船舶航行上の問題とから考えて、考慮すべき風速は、海峡または

内海中央部付近の海面上 60 m ないし 200 m の高さにおけるものとなる。もちろんかかる場所の過去における風速観測資料は皆無である。したがって近傍における測候所等の観測資料から推定を下さなければならないが、これには次の各項が必要となる。

2-1 観測資料による 10 分間平均最大風速値の再現期待値の推定

再現期間を R 年、その再現期待値を V_R とするとき、10 分間平均年最大値の確率分布函数は二重指数函数となり、 V_R の値は次式で求めることが出来る。

$$V_R = \frac{B - \ln(\ln \frac{R}{R-1})}{A}$$

但し、
$$R = \frac{1}{1 - (\frac{q}{100})^{\frac{1}{L}}}$$

ここに、 A, B : 各観測地点毎の平均最大風速値の母集団の平均値および分散によって定まる常数

L : 構造物の耐用年数

q : 年最大値が R 年間に V_R を超えない確率

2-2 海面上の基準標高における風速の推定

前項の値は観測地点の標高、地形、地況、風向等の影響を含んでいるので、特定の海面上の基準標高（当小委員会では 10 m としている）における風速値（ V_{10} ）を推定するには、斉藤鍊一氏*が日本各地の風速観測結果に基づいて行った共配図法等を用いることが出来る。

2-3 高度に対する補正

任意の標高 Z m における平均最大風速値 V_Z は、基準標高（10 m）における風速値（ V_{10} ）からベモ法則に従って次式で推定する。

$$V_Z = V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^P$$

ここに、 P : 地球表面の粗度により定まる常数

P の値については、建設省および国鉄で建設する風速観測塔における観測値を参考にして定めることになっている。前者は 80 m、後者は 150 m の高さである。

*気象庁予報課長、耐風小委員会委員

2-4 風速評価時間に対する補正

設計に考慮すべき風速の評価時間は、構造物の固有周期、風に対する応答を考慮して定めなければならない。前項までの推定値はいずれも10分間平均値(600秒)であるので、これから任意の評価時間 S 秒に対する風速 V_S を求めるには次式を用いる。

$$V_S = V_Z \left(\frac{S}{600} \right)^r$$

ここに r : 常数

r の値は石崎潑雄氏^{*}等の研究によれば標高によって異なるが、前記観測塔の観測結果により定めるものとする。

2-5 突風率

瞬間最大風速 V_{max} を用いる必要がある場合には突風率 G を用いる。 V_{max} は前項における風速評価時間 S を、風速観測機械の応答時間まで減少させた値と考えることもできるが、平均風速の値高度、風の種類(台風、季節風)、地形の影響によって変化するので、その値は前記の観測塔および、瀬戸内海各地に配置された風速観測点(建設省24地点、国鉄6地点)における観測値に基いて定める。

2-6 風の乱れ

風速の乱れが構造物の振動におよぼす影響については、現在風速の乱れのパワースペクトル解析乱れの水平および鉛直方向の分布を含めて検討中である。

4. 耐震設計小委員会

長大橋の耐震設計については、多くの未解決な問題があるが、耐震設計小委員会としては差し当たり次の5つの項目を重点的に研究することとした。

1. 地殻変動
2. 地震の規模
3. 地震の特性
4. 基礎の耐震設計
5. 上部構造の耐震設計

このうち1の地殻変動については南海地震で生じた瀬層についてそれぞれ表、笠原両氏の講演を

*京都大学防災研究所 耐風設計小委員会委員

聞き、委員会としても検討中である。今年度中にはこの問題について何らかの結論をだしたいと思っている。

2の地震の規模については、気象協会に依頼して瀬戸内海を中心としたいままでの地震活動について調査中であり、設計に考えるべき地震の規模について資料がえられるものと期待される。

3の地震の特性に関しては、国鉄、建設省で架橋予定地点にすえた地震計の記録（今までにとれたものは僅かである）、常時微動測定結果の他に、瀬戸内海周辺地区の加速度計、変位計の地震記録を集めつつある。この結果に架橋地点の地盤特性を参照して、設計に考えるべき地震の特性について一応の目安を得ることを目標としている。

4の基礎の耐震設計は特に長大橋特有な問題ではないが、耐震設計方法如何によって、基礎の工費、施工におよぼす影響が大きいので、これを取りあげることにした。まづ、問題点を提示して今後の研究の方向を決る予定である。他に水中橋脚の耐震については既往の研究を対象として具体的な討議をなしつつある。

5の上部構造、特に吊橋の耐震についてはすでに多くの研究があるので、まづそれらの資料を収集、調査している。また米国の吊橋、若戸橋の設計方法も調べ、具体的な設計の参考にしたいと思っている。

（以上）