

本州四国連絡橋・鋼上部構造に関する研究

鋼構造委員会 本州四国連絡橋鋼上部構造小委員会

1. 委員会設置までの経過

本州四国連絡橋に関する調査は、建設省においては昭和34年に道路橋としての調査を開始し、神戸—鳴門ルート(A)、宇野—高松ルート(B)、日比—高松ルート(C)、児島—坂出ルート(D)、尾道—今治ルート(E)について実施された。また、日本国有鉄道においては昭和30年に本四淡路線(A)の調査に着手し、昭和36年からは本四備讃線(B,C,D)も追加され、それらは道路鉄道併用橋として計画された。そして、それらの調査はそれぞれ昭和40年より日本道路公団に、昭和39年より日本鉄道建設公団に引継がれ、昭和45年7月から、本州四国連絡橋公団がすべての調査を行なうこととなった。

この間、昭和37年に建設省と日本国有鉄道は調査の技術的検討を土木学会に共同委託し、土木学会では本州四国連絡橋技術調査委員会を設置して審議を行ない、昭和40年には第一次報告書が、昭和42年には委員会報告書が作成された。

この報告書は、架橋計画の技術的検討を中心としてその可能性を明らかにしたものであり、計画設計を行なうにあたって適用する設計規準なども含まれている。

建設省および運輸省では、これに基づいてそれぞれ道路橋および併用橋の工費・工期をA、D、Eの3ルートについて昭和43年に公表した。

本四架橋計画における橋梁上部工としての鋼材重量は約100万tにのぼり、中央径間660mから1500mをこえるまでの吊橋10連車、中央径間500m級のカンチレバートラス、支間300m級のアーチ、その他多数の鋼

橋が比較設計されている。

このように数多くの巨大橋梁を含み、使用する構造用鋼材は80キロ級鋼までを対象とするため、設計に適用する規準は従来の道路橋・鉄道橋示方書の適用範囲を越え、とくに研究すべき点が多く存在する。また、構造解析についても、一般橋梁に慣用する手法について、さらに検討する必要が認められる。

本州四国連絡橋公団では、前記土木学会報告書、昭和45年に建設省・日本鉄道建設公団によりまとめられ公表された報告書、その他多数の資料を引継ぎ、さらに上部構造の計画設計、各種の調査研究を進めているが、46年春から設計規準として主として問題となる荷重、座屈、疲労の問題、各種高張力鋼に関する事、防錆塗装の問題、構造解析の問題などをおもな項目として、土木学会に調査研究を委託した。これにより標記小委員会が設置され、昭和46年6月22日第1回委員会が開かれて調査研究が始められたものである。

2. 委員会の構成および運営方針

委員会は、委員長以下32名に委託者側委員を加えて構成されており、調査研究はテーマに応じて分科会を設けて進められ、委員会では各分科会での方針・成果などを審議するものである。

昭和46年度分科会は、設計規準に関連して長大橋梁を対象とする活荷重を検討する荷重分科会、吊橋主塔の設計指針をまず取りあげた座屈分科会、疲労強度および公団での疲労試験機設置計画を検討した疲労分科会、高張力鋼規格の検討を行なった鋼材分科会、塗装仕様の検討を行なった塗装分科会、吊橋・トラスの解析上の問題を審議した解析分科会の活動が主体であった。

以下にそれら各分科会での審議の概要を紹介する。

3. 設計活荷重

(1) 自動車荷重

1967年の本四設計指針に示された自動車荷重に対し、
① 将来通行することが予想されるトレーラートラック

ご 案 内

46年7月号に土木学会の常置委員会報告を掲載しましたが、本年は土木学会が受託した研究成果を報告することになりました。すなわち、会誌編集委員会がとくに定めて依頼した11件のうち、本号には6件を登載、残り5件は次号へ掲載いたします。関係委員会に謝意を表します。

会誌編集委員会

などを基準とした check load の要否, ② 吊橋中央支間長を用いて求めた分布荷重を側径間にも用いることの意味, ③ 吊橋補剛トラスとケーブルのように, 影響線の形が違う場合, 支間長をもとに求めた同一の分布荷重を用いることの適否, ④ 単純桁, 連続桁の別にかかわらず支間長だけで荷重強度を決めることの可否, ⑤ 幅員方向の荷重偏載の影響の考慮, ⑥ 道路橋示方書の適用支間限度 200 m での長大橋用荷重とのすりつけの問題などが検討された。これについては交通パターン調査による荷重分布状況の把握なども含めて, 今後さらに荷重体系の検討が行なわれる。

(2) 列車荷重

設計に用いる列車荷重は, 在来線 1 級線に準ずれば, KS 18, 新幹線では NP 荷重であるが, 長大橋梁では単純にそれらを適用することは, 工費の増大, 構造的な困難さを助長する。そのため, 国鉄現有車両および将来のすう勢, 計画路線の輸送需要などに考慮をはらいつつ, 合理的な設計荷重および載荷条件の検討が行なわれている。

なお, 設計上は静的強度の照査, 疲労強度の照査, 列車走行上の問題を検討する場合など, それぞれに対して合理的な荷重を設定するよう努力されている。なお, それらは現行の鉄道橋設計標準 (適用範囲支間 150 m まで) の規定と異なってくるので, その境界での扱いが必ずしも合理的には扱えず, 無理が生ずる可能性がある。

4. 吊橋主塔の設計方法

吊橋主塔における水平変位 (δ) と鉛直反力 (V) との関係は, 吊橋系全体に作用する荷重の組合せによって決まり, V - δ 曲線が塔頂に拘束条件として与えられる。

従来, 橋軸方向の主塔の曲げ剛性は, 設計荷重のもとで水平力 (F) により塔頂を所定の δ まで引張るような形となる比較的剛なもの, あるいは設計荷重のもとで F が 0 となるような剛性が一つのためやすとなって設計されている。

それに対し $F=0$ のもつ意味が検討され, 設計上は F が負の値をとることも支障ないと考えにたって主塔剛性を選定する方針がたてられた。

また, 主塔の応力度および安定の照査においては, 主塔各部に生ずる応力をすべて (軸方向力および橋軸方向の曲げと橋軸直角方向の曲げによるもの) 加え合せて, それがある許容される応力度内にあることの照査のほか, 安定に対しては, 上記応力度の算出において, 橋軸方向の曲げ応力は付加的変形の影響も考慮したものとすれば, 応力度の照査において同時に安定の照査もなし得

たものと考えることができる。

橋軸直角方向の安定の照査では, 橋軸直角方向には塔柱間に綾材が設けられているのが一般的な形式であるため, 通常の骨組の変位を考慮しない解法によって応力を求めるため, Campus, Massonet などの考えに準じた軸力による曲げの効果の導入を行なうことが考えられている。なお, 吊橋全体系のつり合いから定まる V - δ の関係をもとに, 死荷重, 活荷重をある割合で増加させた場合の主塔崩壊に至る V_{max} を計算し, 前記の方法によって設計された主塔の安全度の検討がはかられている。

5. 疲労強度の検討

吊橋吊構造部は, その死荷重の大部分がケーブルによって負担され, また, その影響線の性質から, 活荷重により正負の曲げモーメントが交番する。さらに, 活荷重として列車荷重が考慮される場合, その影響は大きい。したがって, 各種継手の疲労強度を把握することは設計上重要なことである。

疲労を考慮した橋梁の設計は, 50 キロ鋼までは鉄道橋において標準がつくられているが, 60, 70, 80 キロ鋼に対しては, まず既存データの収集から調査が行なわれた。その結果, 200 にのぼる S - N 線図が集められたが, 両振れ範囲の試験結果はほとんどなく, 継手形式においても, なお不足なものが多い。そのため, 疲労許容応力度を合理的に決定するためには, 相当の実験を今後実施する必要が感じられた。

6. 高張力鋼の規格

鋼上部構造用鋼材としては, 41 キロ鋼から 80 キロ鋼までが検討の対象となるが, SM 58 までについては JIS の規格があるため, HT 70, HT 80 について, まず機械的性質の検討が行なわれた。

鋼材の強度レベルの要求は, 設計上適当な間隔をもって適用しうる強さの鋼種があることを考え, その強度レベルにおいて, 適当な降伏比をもつように考えるのがよい。

1967 年本四案では, HT 80 において耐力 70 kg/mm² (降伏比 0.875) で, それは WES 135-HW 70 と同様な値であった。そこで, SM 58 が降伏比 0.794 であること, および最近の実績を考慮して, HT 70 に対し耐力 63 kg/mm² (降伏比 0.875) および耐力 60 kg/mm² (降伏比 0.857) の 2 案が検討された。

伸びの規格値の考え方としては, 一樣伸びの概略値は $\epsilon_u = \frac{1}{2}(1 - \sigma_Y/\sigma_B)$ で与えられ, 高降伏点鋼を用いるからには, 伸び (なかでも一樣伸び) が小さくなることはさ

けられない。

構造材の伸びの所要限度については、応力集中の程度、ボルト孔などによる断面欠損率など、設計にも依存するところがあるが、材料試験において伸びの規格値を設けることには、なんらかの原因による材料のばらつきをチェックする目的と、材料の降伏比がいたずらに高くなることを防止する目的も考えられる。

最近の鋼材試験の実績を考慮し、上記のことを含んで伸びの妥当な規格値、およびそれを求めるために適用すべき試験片形状の検討が進められている。

溶接継手の脆性破壊発生に影響を与える因子には、作用応力、温度、切欠きの大きさ、拘束応力、残留応力、継手の角折れ、目違い、あるいは予ひずみなど各種のものがあるが、それらの影響をクラックの成長によるひずみエネルギーの解放率を表わすパラメーター (K 値) をもって統一的に考え、上記各要因の値を種々に仮定して K 値を計算し、鋼材のじん性を表わす値として一般に用いられている V ノッチシャルピー衝撃試験での吸収エネルギーと関連づける試みがなされた。

溶接継手に必要なじん性が与えられたとしても、それを保証するための鋼材の性質、溶接施工法などの検討もあり、今後になお多くの問題を残している。

6. 塗 装

海上の長大橋の防錆に適した塗装系の選定、塗装の施工方法および維持管理方法と、それに必要な設備の検討などを目的として審議を行なっている。

橋梁の構造部分は、腐食環境と塗替塗装の難易が異なるので、構造部分を、トラス一般部と床組、プレートガーダー、吊橋主塔とに分け、さらにそれらの内面、外面での差異を検討し、それぞれに適切な塗装系のいくつかあげられた。

これらの塗装系は、防錆性、施工性などを考慮して現在の時点で適当と予想されるものを暫定的に選んだもので、今後検討を要する問題点を含むものも多数含まれている。また、同一名称で呼ばれる塗装系でも、組成によって大幅に性質が変化することに注意しなければならない。

施工上とくに要望される点は、さび止めペイントとし

て油性系またはエポキシジンクリッチペイントを使用する場合のほかは、製品プラストが望ましいこと、現場塗装は少なくし、極力工場塗装で仕上げるのが望まれた。

7. 構造解析

現在までに建設された吊橋は、主として Melan, Steinman, Peery, Bleich, Moisseiff らによって発展せられたたわみ度理論によっており、最近のものに一部有限要素法 (骨組構造解析法) で検算されたものがある。

たわみ度理論は吊橋応力を全般的に捕えるためには不十分であり、計算精度も実験と比べてそれほど誤差はないようである。しかし、補剛桁端での伸縮量、センタータイの応力、ハンガーのゆるみ、補剛桁支点付近の補剛桁応力などを精度よく求めることは、たわみ度理論組立ての仮定上もともと無理なことである。

本四連絡橋では、列車走行性に着目して桁端伸縮量や折れ角は重要な意味を持つものであり、また、荷重偏載を考慮した場合のねじれによる変形および応力の把握も大切である。

また、上層に道路、下層に鉄道と2層の構造をとるため、対傾構の剛度が構造によっては十分なものでなくなるおそれも考えられ、構造物を三次元的に取り扱って、十分な照査を要する場合が生じてくる。

これらのことから、吊橋およびトラスのねじれ解析において、対傾構の剛度の影響も考慮して、微分方程式表示による解法と骨組解析法の比較がなされた。なお、吊橋の微分方程式解法においては、曲げとねじりの速成による非線形挙動を忠実に解いている。これら数値計算の結果に基づき構造物の性状の検討が行なわれている。

8. あとがき

上記のように、当委員会は本四連絡橋の鋼上部構造に関連して各面からの検討が行なわれているが、委員会開始2年目以降、それらの調査研究の結果は、それぞれの項目に応じて規準、指針などの形にまとめられ、設計にあたっての手順を与え、またさらに今後研究すべき問題を明らかにしていく予定である。

(委員長・奥村敏恵/執筆・田島二郎)

日本鉄道建設公団・本州四国連絡橋公団編集 ● 45年度までの公式報告書・限定版につき至急お申込み下さい ●

本州四国連絡鉄道吊橋技術調査報告書 ● A 4・576 6 500 円 (〒 500)

本州四国連絡橋基礎調査実験報告書 ● A 4・968 10 000 円 (〒 600)