

長大吊橋上部構造の設計のシステム化について

大阪大学 正員 小松定夫
大阪大学 正員 西村宣男

1. まえがき

本州四国連絡橋を中心として長径吊橋の建設が計画されて以来、関係官庁及び研究機関において、長年多岐にわたる調査、研究がなされ、多くの成果をあげてきた。1970年代はいよいよ、我国においても長大吊橋の架橋が実現しようである。吊橋の実施設計に際して、調査研究からの情報を有効に組合せて合理的設計を可能にするために、次の3点から、吊橋上部構造設計のシステム化を論じてみた。

1) 情報の整理と設計への結びつけ 2) 長大吊橋上部構設計の自動化 3) 合理的断面の選定

2. 情報の整理と設計への結びつけ

吊橋上部構造の自動設計若くは最適設計を行うに必要な多くの情報、例えば外力に関する情報、材料の種類と強度に関する情報、Costに関する情報等を整理し系統化する必要がある。これら情報の入手先(関係官庁、研究機関等)との間の情報交換のシステム化とともに、自動設計プログラム内に最新の情報が反映されるように、図1に示すように大別した情報群と設計プログラムを結びつける。

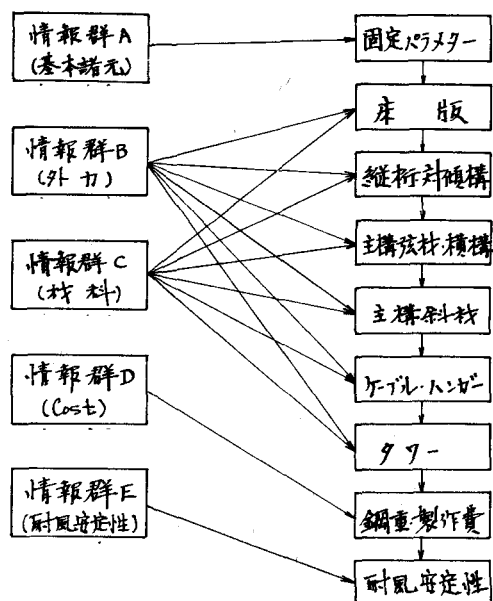
1) 情報群A (吊橋の基本諸元に関する情報) 基本諸元とは下部構建設のための制約(水深、地盤)により決まるスパン割、将来交通量を見越した上での車線数より決まる幅員、設計風速等設計プログラム上でInput dataの固定パラメータに相当する。又吊橋を道路橋とするか、あるいは鉄道との併用橋とするかも重要な情報である。

2) 情報群B (外力に関する情報)

活荷重、活荷重に対するたわみ及びたわみ角制限、衝撃、地震荷重、風荷重(抗力係数) 風荷重に対するたわみ制限等で地震、風等に対しては設計された断面諸元をFeed backして情報の正確性の検討を必要とする項目もある。

3) 情報群C (材料に関する情報)

図-1 情報群と設計プログラムの関係



材料の種類と許容応力に関する情報に例えば、材料の信頼性をふまえて高張力鋼をどの程度使用するか、架設法を考慮したケーブルの選定、耐風安定性を高め施工の容易さを考えるどのような床版を用いるか等の調査検討が必要である。

4) 情報群D (Costに関する情報)

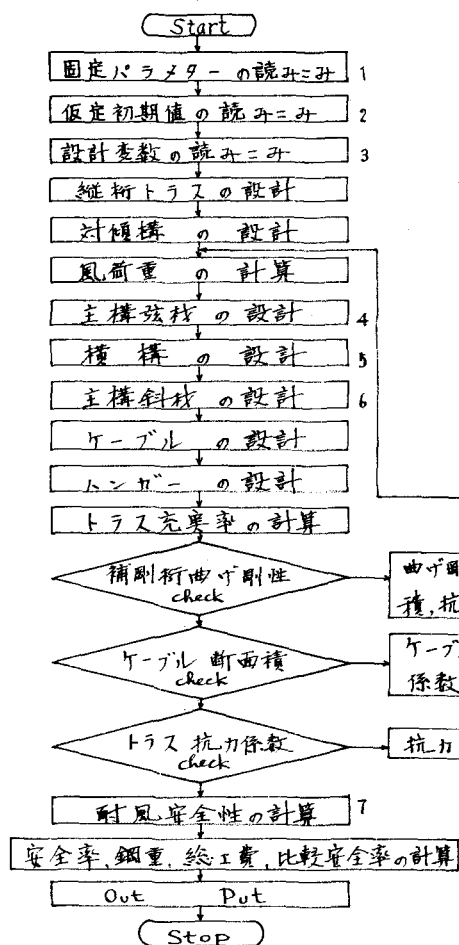
前記情報群Cに対応してそれぞれの材料の単価、加工費、架設費、輸送費等を考慮した換算鋼重(例えばすべての材料をSS41材に換算した重量係数を用いる)を求めておくこと総工費の計算が容易である。

5) 情報群E (耐風安全性に関する情報)

風洞による模型実験結果より、フラッター及び橋座層限界風速をある程度公式化できると計算上都合がよい。その場合曲げ及びねじり固有振動数、 μ 、 λ 値の他に床版形式、充塞率、(トラス高/トラス幅)等の影響が入ることが望ましい。

3. 長大吊橋上部構造設計の自動化

図2 フローチャート(タワーを除く)



- 1) 固定パラメター: スパン、ケーブル間隔
タワー高、ケーブルサグ、縦桁間隔、設計
風速
- 2) 仮定初期値: ケーブル断面積、吊構造部抗
力係数、主構弦材断面積、死荷重(ケーブル
吊材、主構弦材、同斜材、横構)
- 3) 設計変数: トラス高、主構パネル間隔、床
版タイプ(重量)
- 4) 風荷重応力と温度応力の組合せで設計
- 5) 風荷重応力で設計
- 6) 活荷重応力と温度応力の組合せで設計

7) フラッター及び橋座層について安全性を検
討する。橋座層に関しては平井式、フラ
ッターに対してBleich式を用いる。(図4、
図5の風洞実験結果参照)

現段階では図2に示したフローチャートで77%を含めず、ケーブルのスパンサブ比を一定とした上で計算を行っている。図3に示すように外力、部材及び剛性の間に複雑な関係があり、設計の際は図示の全てのループを繰返し収束計算を行っている。特に補剛トラスの曲げ剛性、ケーブル断面積及び吊構造部の抗力係数について厳密に check し最終的に収束した後耐風安全性の検討を行う。

図3. 外力と各部材及び剛性の関係

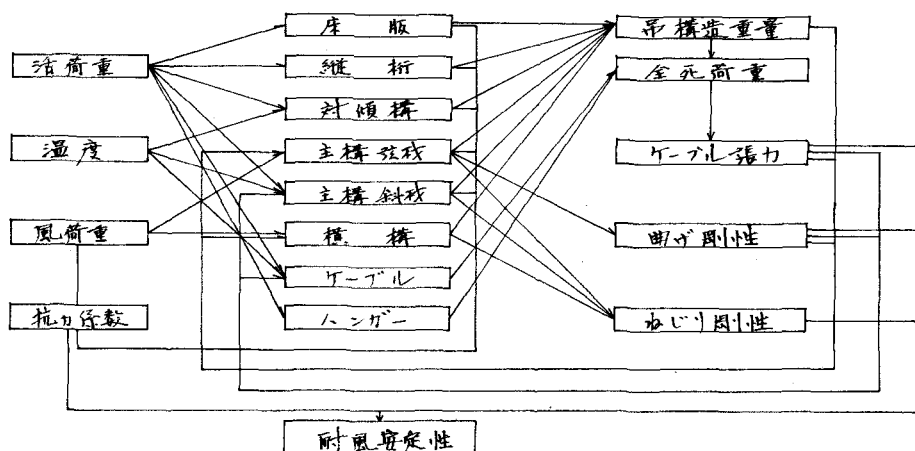


図4 抗力係数(補剛トラス)

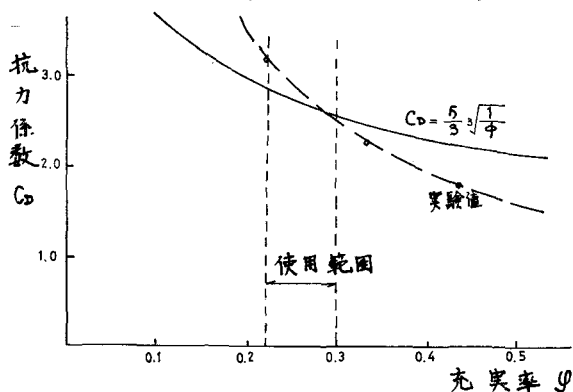
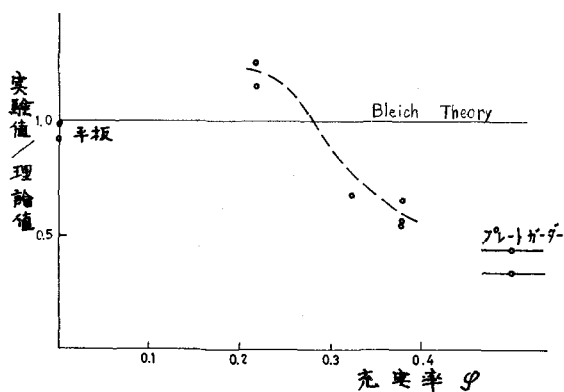


図5 Bleich理論と実験の比較



4. 合理的断面の選定

目的(評価)関数 吊橋上部構造の最適設計において目的関数として次の3種類を考へる。その内吊橋上部構の合理的設計に対し最も適切な評価を与える目的関数の選定について目下研究中である。

1) 総工費 本研究ではSS41(補剛トラス)の鋼重を基準とし他の材料鋼種は材料単価、加工費、架設費等を考慮した換算係数を掛けた換算鋼重を目的関数とする。勿論、これは総工費と等価な評価を与える。この際、横座屈フラッターに対しては本州四国連絡橋耐風設計指針に示された安全率を伴てばよい。

2) 比較安全率 吊橋上部構造の設計に際しては横座屈とロフラッターといった吊橋

の致命的破壊現象に対する安全性が重要な条件である。安全率そのものを目的関数とする
ことは不適当だから、安全率を換算鋼重で割った値(比較安全率と呼ぶ)を目的関数とす
る。横座屈に対し $D_b = D_b / \text{SUMP}$ 、フラッターに対し $D_f = D_f / \text{SUMP}$

こゝで D_b, D_f はそれぞれ横座屈、フラッターに対する安全率、SUMP は換算鋼重
3) フラッターに対する比較安全率 概略計算の結果、横座屈安全率はほぼ鋼重に比例
し現象的に理論値とよく一致する。そこで設計指針の安全率1.7をもてばよいこととする。
フラッター現象はBleich理論でも多少の誤差を有する。突発率の大きいトラスでは欠速
フラッターとなりBleich理論値よりかなり低い限界風速となる。フラッターに対してはでき
るだけ安全率を高くとりようフラッター比較安全率を目的関数とする。

設計変数 本研究では補剛トラス高H、パネル間隔入及び床版重量 W_b を設計変数とし
他の断面諸元はすべてこれらの従属変数と考えている。

左下を示すような基本諸元に対し数値計算を行った結果の一部、床版重量10 t/m、パネ
ル間隔15 mのものについてトラス高Hの変化による上記の評価関数の傾向を図示した
ものが図7～図9である。総工費(換算鋼重)及び安全率の面ではとりえらとH=12 m
あたりが最適と考えられるが、比較安全率の面ではこれだけの資料で最適値を論ずるこ
とはできない。

諸元

メインスパン 1500 m
サイドスパン 750 m
タワー高 162.6 m
ケーブルヤグ 150 m
ケーブル間隔 3.6 m
設計風速
ケーブル 65.9 m
補剛トラス 60.5 m
縦梁間隔 1.75 m

図6 上部構造物の重量百分率

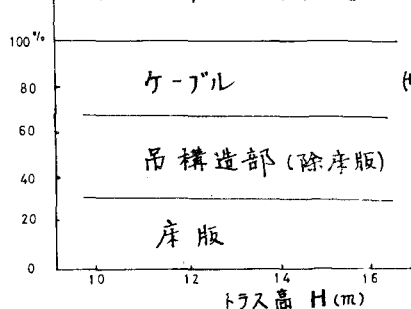


図7 鋼重, 死荷重

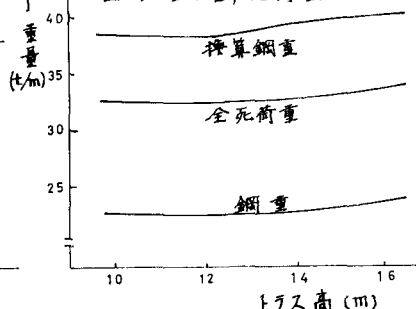


図8 安全率

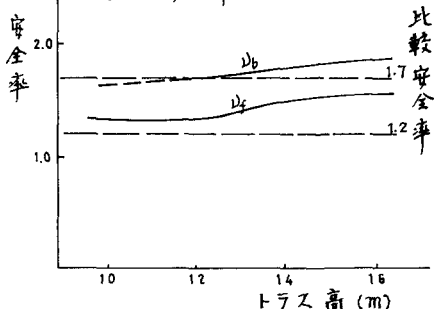
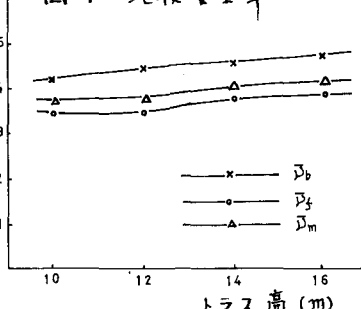


図9 比較安全率



5. あとがき 数値計算は京都大学大型計算センター FACOM 230-60を使用して周下
継続計算中であり、講演当日には より豊富なDataをもとに目的関数について 詳しく
傾向を論ずることができると思う。なお、本研究は道路本州四国連絡道路調査事務所
の協力を得て行っている。関係各位に対し謝意を表する。