



構造解析法の体系化と力学教育への反映

西村 宣 男*

1960年頃からの電子計算機とソフトウェアの発達は構造解析法に一大変革をもたらした。前計算機時代における構造解析は膨大な数値計算を避けるように工夫された構造形式に特有な理論によって処理されていた。これらは電子計算機の出現によって逐次改良され、そして計算機利用を前提とした今日の有限要素法に到達することとなった。このような構造解析法の変遷は構造物の種類ごとに若干の相違はあるものの年代的にはほぼ計算機の発達過程と符合している。したがって特定の構造物についてその解析法の変遷を観ることによって、構造解析法の一般的な動向を知ることができる。

一方、大学の学部レベルの構造力学教育は依然として前計算機時代の古典的解法を中心とし

た教科書が中心であり、これに補助的に計算機時代に即応した解析法の説明が加えられている。時代の要求に沿った後者を充実することはカリキュラムの増大や教育設備等の制約があり、力学教育に携わる者にとっての大きな悩みとなっている。

ここでは筆者が関係した2つの研究、吊橋の構造解析法、および鋼橋の全体解析における実用解法について略述し、これらの体系化を通して痛切に感じた力学教育の再編成に係る一試案を述べてみたい。

図-1は吊橋の構造解析法の変遷を3つの現象すなわち鉛直曲げ、水平曲げ、およびねじり（偏心荷重による鉛直曲げとねじりの連成を含む）について纏めたものである。各項目の左の

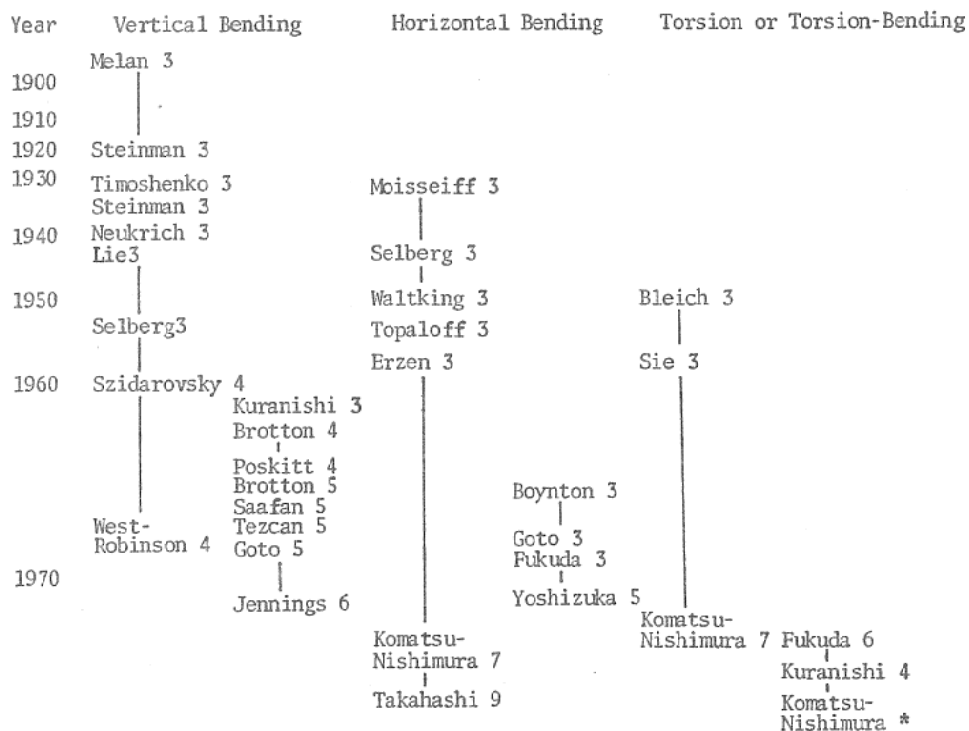


図1. 吊橋構造解析法の変遷

* 西村宣男 (Nobuo NISHIMURA), 大阪大学, 工学部, 土木工学科, 小松研究室, 講師, 基本構造学・構造論

列は前計算機時代からの膜理論と称される連続体モデルに関する理論系列, 右は計算機時代に出現した離散系モデルに対する理論系列である。

吊橋の近代理論は1888年 Melan の鉛直曲げに関する撓度理論に始まる。これは Steinman らによって設計計算に適するように改良され米国における長大吊橋建設の引金となった。また風による水平曲げ変形に関しては、1932年の Moisseiff 理論に始まる。1960年まではこれら2つの基本理論の実用計算法について、多くの研究者が貢献した。更に1940年 Tacoma 橋の崩壊に関連して、風によって惹起されるねじり振動の解析法が Bleich によって発表されている。以上は離散的に配置されている吊材を一種の膜と考え連続的モデル化が行われている。これに対して1960年以降の電子計算機の発達に伴って、吊材を離散的なままで取扱う手法が、鉛直曲げおよび水平曲げ解析に適用された。それらは吊橋に限定された解法であり、吊橋の一横断面について考える変位自由度(図1中の数値)は膜理論における自由度と同様であり、単に連続体モデルを離散系モデルに変換したに過ぎなかった。更に1960年代後半に至り有限要素法(マトリックス変形法)が導入された。この

解法は現象をより正確に解析するという一義的な効果のみならず、その汎用的特長から新しい形式の吊橋 (Severn 型) や架設工法の改善 (逐次剛結工法) などをもたらした。1970年代に入り我国において道路・鉄道併用橋の建設計画が具体化する中で、大きな偏心荷重による立体変形や、風による立体変形を正確に把えることが必要となった。設計段階において吊橋の立体変形を一般の有限要素法を適用して計算することは計算コストの面から不適切である。そこで従来の膜理論を拡張した実用的解析法¹⁾²⁾の開発と、支点付近の局部的応力を求めたり、架設系の立体解析に適用できる汎用性を持ち、且つ計算効率の優れた解析法³⁾の開発とが実施された。後者は吊橋に限らず、一般的橋タイプの骨組構造に適用できるが、補剛トラスを有する吊橋に適用した場合について、その特長を紹介する。標準的な吊橋の1横断面の節点数は6である。吊橋が軸力部材から構成されているものとするれば1節点の変位自由度は3, したがって吊橋1横断面につき18個の変位自由度を有する。これらは図2に示す18個の断面の一般化変位モードと対応している。これらの変位モードの中で実用的に省略できるモードが含まれている。

筆者らの研究ではこの自由度の選択が必要に

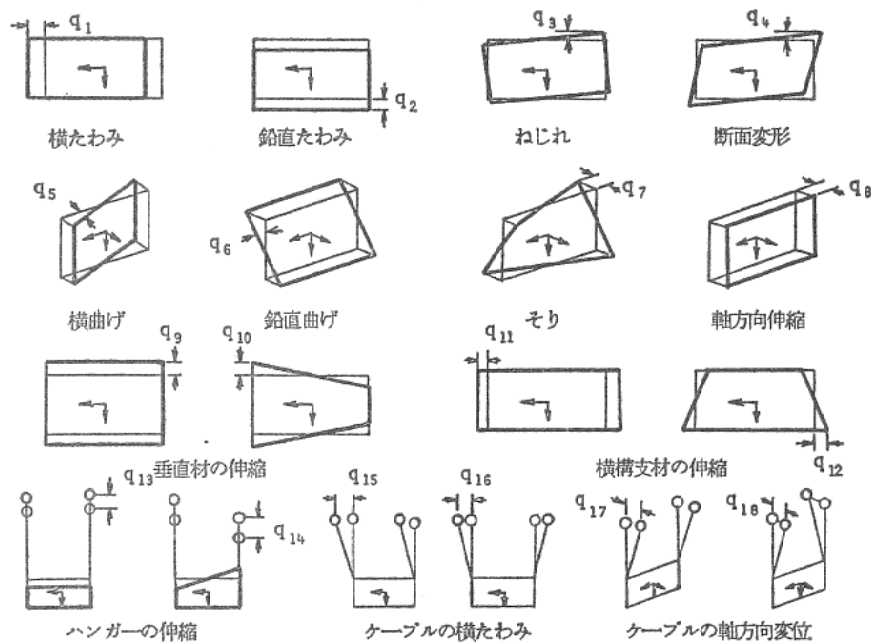


図2. つり橋断面の一般化変位 (18 DOF)

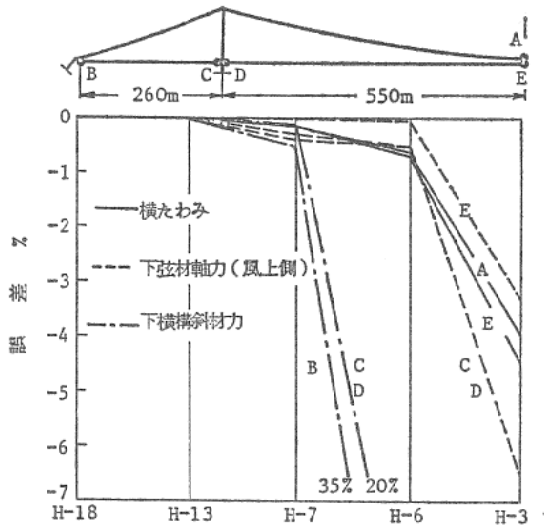


図3. 横断面の変位自由度と誤差 (水平横荷重を受ける連続吊橋)

応じて自在である。そこでこの変位の代表化操作と称している手法によって、全ての吊橋解析用の各理論に適用されている変位自由度レベルの変位場を再現することができて、その精度、適用性を評価することができる。例えば水平横荷重を受ける場合の解析において、構造各要素の応力を正確に求めるには、1横断面の変位自由度と精度の関係を表わす図-3より、7自由度 ($q_1, q_3, q_4, q_5, q_7, q_{15}, q_{18}$) の変位を考慮する必要があることが判る。そしてこれは拡張した膜理論²⁾における変位自由度と同一である。

完成系および架設系の各荷重状態についての同様の検討により、吊橋の構造解析法を総括す

ると、

1) 吊橋の一般的力学性状を理解するには、Melan, Moisseiff らによる解析理論は有用である。

2) 架設計算も含めた近代吊橋の構造設計に対しては有限要素法に基き、且つ計算効率を改良した手法が適している。

3) 電子計算機の発達の過程において逐次開発された理論のうちで、一般性に欠けるものは自然淘汰されるであろう。

いま一つの事例として、各種鋼橋の実施設計における全体解析に用いられる実用解析モデル (アナロジー) を表-1に掲げる。これらの構造物の静力学的挙動や耐荷力を精密に評価するには、現在では有限要素法が用いられるが、実施設計においては、構造物を簡単なモデルに置換え、これに対する簡易設計法が用いられる。実用設計法は単に計算効率の面で優れているだけでなく、現象の把握の手助けとなり、合理的な構造設計を行う上で重要な手段となっている。

以上、僅か2つの事例からも、構造物とその解析法による多様化の傾向を伺い知ることができる。これらを体系化し、力学教育に反映させることが私共に課せられた責務である。その第一歩として次のような構造力学の再編を考えている。

1) 初等力学と弾性論の基礎については従来通り重点的に教授し、力学の素質を養成する。

表1. 鋼橋の実用計算法におけるアナロジー

構 造 物	現 象	ア ナ ロ ジ ー
平行弦トラス橋	立体安定 立体振動	薄肉ばりの横倒れ座屈 薄肉ばりの立体振動
ポニートラス橋	弦材横座屈	弾性床上的のはりの座屈
二主桁橋	立体安定	薄肉ばりの横倒れ座屈
鋼床版二主桁橋	下フランジ付加応力	弾性床上的のはりの曲げ
補剛アーチ橋	面内耐荷力	はり柱の耐荷力
複弦アーチ橋	面外耐荷力	はり柱の耐荷力
つり橋	鉛直曲げ 水平曲げ ねじり	引張力を受るはりの曲げ 引張力を受るはりの曲げ 薄肉ばりのねじり
箱桁橋	断面変形による付加応力	弾性床上的のはりの曲げ

2) 前計算機時代の一部の解析法は、力学の教科書の中から削除しなければならない。

3) アナロジー相当力学を導入し、複雑な構造物の力学性状を把握する能力を養成しなければならない。

4) マトリックス解析法の比率を増して、コンピュータ時代に対処できる能力を養成する。そのためには学部学生でも、かなり自由に計算機の実習が行えるよう、教育機器としての計算機周辺装置が前提となる。

後れ馳せながら、我々の周辺も時代の要求に沿うような施設の充実が計画されていると聞く。その実現が一日も早いことを願って筆を置へ。

参考文献

- 1) 小松, 西村: 吊構造の横断面変形を考慮した吊橋の立体解析, 土木学会論文報告集, 1975
- 2) 小松, 西村: 横荷重を受ける吊橋の変形と応力について, 土木学会論文報告集, 1976.
- 3) 小松, 西村, 中川: グループ変形法による吊橋の立体解析, 土木学会論文報告集, 1978.



限りある資源を大切に……
の姿勢を守るDNT

●創造と調和をめざす●

DNT
大日本塗料

●大阪市此花区西九条6-1-124
〒554 ☎(06)461-5371(大代)

●東京都千代田区丸の内3-3-1
〒100 ☎(03)215-1861(大代)

現在は、「鉄の文明」と評され、今日の世界から鉄を無くしたら、恐らく一切の文化は終息するだろうといわれています。
DNTは、創立の礎となった重防食塗料「ズボイド」を通じて既に半世紀近く私たちの大切な鉄を守りつづけてきました。
そして、これからもDNTはズボイドを生みだした重防食技術をベースに、独自の技術開発を進め、さらに、海外の優れた技術と協力しあって、より優秀な重防食システムとして結合させ、限りある資源を守りつづけていきます。