

米国における鋼橋の補修補強の事例と我が国の建設業の国際化への課題

CASE STUDIES ON REHABILITATION IN STEEL BRIDGES IN THE UNITED STATES
AND SOME ISSUES IN GLOBALIZATION OF JAPAN'S CONSTRUCTION INDUSTRY

大橋治一

Harukazu OHASHI

ABSTRACT: This paper contains two topics; the first one describes of two case studies from recent rehabilitation in steel bridges in the United States, an emergency installation of cables for the Waldo-Hancock Suspension Bridge and an improvement of fatigue damaged structure in the orthotropic steel girders for the Throgs Neck Bridge. The second topic introduces the author's views on some issues toward globalization of Japan's construction industries.

KEYWORDS: 鋼橋, リハビリテーション, 国際化, 技術基準, 建設業の執行形態
Rehabilitation, Steel Bridge, Globalization, Technical Standards, Execution System

まえがき

米国の橋梁インフラの老朽化に伴うリハビリテーションの必要性が叫ばれて久しい。タコマ橋以来の惨事として有名な1967年12月のSilver橋のアイバーの脆性破壊による崩壊事故を機に、連邦道路局(FHWA)はAASHTOの協力を得て*Federal-Aid Highway Act of 1968*を制定し、これによって支間6m以上の橋について定期点検が義務付けられ、台帳作成、点検員の資格などが法的に定められた。その後、Mianus River橋、Schoharie Creek橋などで相次いで起きた脆性破壊、洗掘、疲労破壊による事故を受けて、1987年のThe Surface Transportation and Uniform Relocation Assistance ActにはFracture Critical Members(通常、FMSと呼ばれ、部材の破壊が橋の崩壊につながる、リダンダンシーの無い部材のこと)および水中での点検が追加された。

最新の道路長期計画は、*TEA-21 (Transportation Equity Act for the 21st Century)*と呼ばれる1998年から6ヵ年で約2000億ドル(うち道路関係1600億ドル)の国家プロジェクトである。橋梁についてみると、この連邦予算の年額40億ドルに州などの地方予算を含めると年間平均70~80億ドルの規模¹⁾であるといわれている。このなかには新たに*IBRC (The Innovative Bridge Research and Construction Program)*²⁾が含まれている。この計画は2003年度が最終年度であった、執筆時点(2005年6月)において、後継のTEA-21 Successorの議会承認が得られず繰返し延長運用されてきている。

筆者は2000年7月以来、米国のコンサルタントにおいて橋梁設計に従事している。本文は、第一部として、鋼橋の維持補修の事例として、Waldo-Hancock橋におけるケーブルの緊急補強工事、鋼床版桁橋のThrogs Neck橋における疲労損傷に対する構造ディテイルの改良設計について、これらの概要を述べる。第二部として、筆者の米国でのコンサルタント技術者としての経験から、我が国の鋼橋を通してみた建設業が国際的な環境でより効果的に機能するうえでの課題について考察する。

第一部 米国における鋼橋の補修補強の事例

連邦政府は橋梁ストックの状態を、建設年度、橋梁形式、材料ごとに毎年公表している。その統計データによると、図1に示すように、2004年時点で、スパン6m以上の全593,000橋(鋼橋32%, コンクリート橋62%, 木橋5%, 石橋, アルミニウム橋を含む)のうち、77,600橋がStructurally Deficient

*工博 Parsons (Former Steinman), 100 Broadway, New York, USA

(床版, 上下部の耐力不足), 80,400 橋が Functionally Obsolete (狭幅車線等の幾何構造規格が標準でないもの) にランク付けされており, 構造的あるいは機能的に問題があるとされる橋梁は合計 158,000 橋で全体の 27% を占める. 建設のピーク時期にあたる 1955~1970 年に建設された橋梁は 35~50 年を経過しており, 床版の架け替え, 主要な構造部材の補修補強, 交通量増大に対応するための車線増設あるいは架け替えの時期にきている. なお橋梁の平均供用年数は 45 年といわれている.

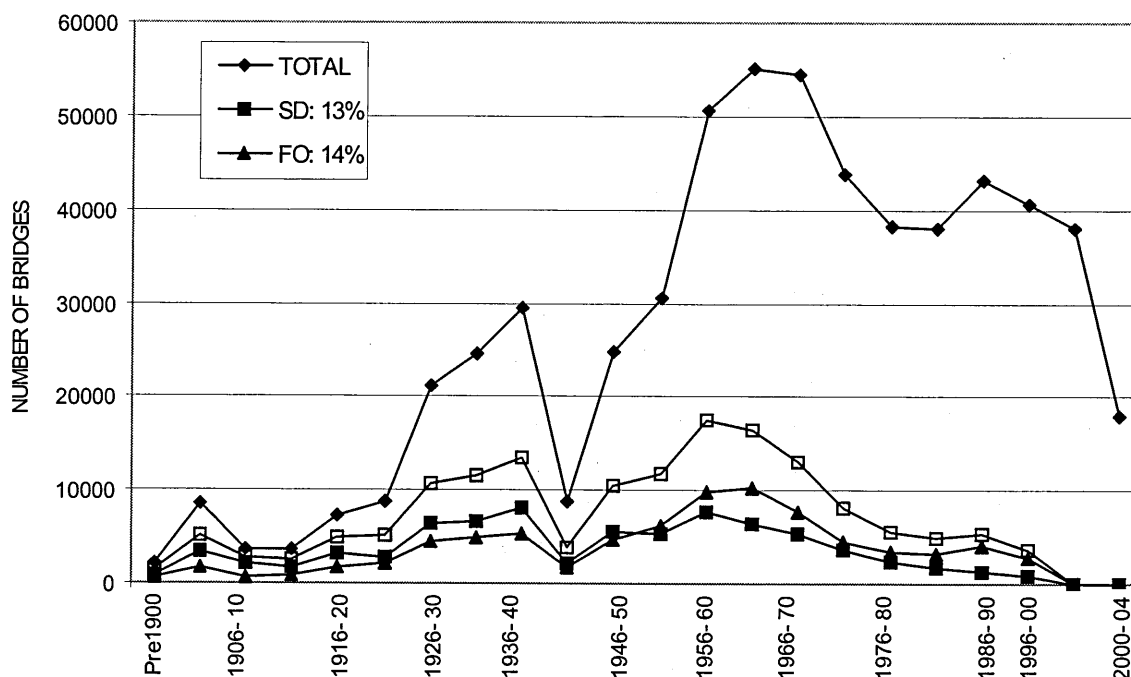


図1. 全米の建設年次毎の道路橋の不具合状況(FHWA)³⁾

また吊橋（全米 98 橋）について, 近年の補修補強の動向を表 1 に示す. 約 1 世紀以上もの間供用されている Brooklyn 橋, Manhattan 橋, Williamsburg 橋のイーストリバーに架かる吊橋においては 1970 年代後半に開始されたケーブル, 補剛桁の大規模な刷新工事も残すところ数年で完了する計画である.

次に, 供用後 30 年から 70 年を経過した吊橋については, ケーブルの補修と床版軽量化の検討が行われている. これは, 交通量の増大による活荷重の増加や, 腐食や応力腐食割れによるケーブルの耐力低下が原因となって, 3~4 あった設計時の安全率が限界 (2 程度) に達するとの予測に基づいている. このため対策として, 死荷重の大きなコンクリート床版 (後述の Waldo-Hancock 橋では床版重量が 63% を占める) に代えて軽量の鋼床版へ取替える事例が増えている. ここで注目すべきことは, 既設の横桁位置に鋼床版横リブを配置するため, その横リブ間隔が 6m 程度と, 我が国で一般に採用されている 2~3m と比べて長いスパンであることである. その基本的な構造は, 16mm 厚のデッキプレートを 8~9mm の大型閉リブで補剛した構造で, 鋼材は Grade 50 (SM50Y 鋼相当) が用いられている.

一方ケーブルについては維持保全のためにインヒビターの注入やペースト, ワイヤラッピングの更新が行われているが, 交通量の増大に対応するための車線増設やケーブル腐食による耐荷力不足から, 所要の安全性の確保ができない場合にはストランドの増設が一つの選択肢となっている. すでに, Tagus River 橋 (葡), Tancarville 橋⁵⁾ (仏), Aquitaine 橋⁶⁾ (仏), Tamar 橋⁷⁾ (英) ではそれぞれユニークな工法で追加ケーブルが施工され成功している.

また鋼床版採用による吊構造の軽量化によって耐風安定性の検証も重要となっている. これらの吊橋には, タコマ橋落橋前に建設され風洞試験が実施されていないものや耐風安定性の確保のため

に様々な改良が行われているものも多い。

リハビリテーションにおけるもう一つの理由が耐震性の向上を目的としたものである。AASHTO に定める Seismic Performance Category の最も厳しいカテゴリーD(基準とする加速度係数 0.29 以上) に属する吊橋がその主な対象となるが、カテゴリーの低い東部の吊橋においても Safety Evaluation Earthquake として再現期間 50000 年地震に対する性能設計が行われている。サンフランシスコの Golden Gate 橋⁸⁾では、現在タワーの補強工事が施工中である。また Carquinez Bridge や East Bridge では既設橋の耐震補強を諦めて橋の架替えが選択された。

橋梁名	支間長	完成年度	主な補修補強
Wheeling	308 m	1860	オープングレーチング床版への架け替え (完了)
Brooklyn	486 m	1883	ハンガー・床版の架け替え, ケーブル補修 (完了)
Williamsburg	488 m	1903	鋼床版への架け替え, 塔・補剛トラスの補強, 自歩道設置, ハンガー架け替え, ケーブル補修 (工事中)
Manhattan	448 m	1909	補剛トラスの捩れ補強 (工事中)
Bear Mountain	497 m	1924	ケーブル補修, ケーブルの補強 (調査中)
Mt. Hope	366 m	1929	リンク取替え (設計中)
Waldo-Hancock	244 m	1931	ハンガー取替え, 緊急ストランドの架設 (完了), 斜張橋の架け替え施工中
San Francisco Bay	704 m	1936	耐震の補強およびトラス桁の架け替え (工事中)
Golden Gate	1,280 m	1937	耐震補強 (工事中)
Carquinez		1927	ゲルバートラス橋の吊橋への架け替え (完了)
Lions Gate	472 m	1938	ハンガーおよび補剛トラスの架け替え (完了)
Deer Isle	329 m	1939	耐風フェアリング設置 (完了)
Bronx-Whitestone	701 m	1939	鋼床版への架け替え, トラス撤去およびフェアリング設置 (完了) 車線追加およびケーブルの追加 (検討中)
Throgs Neck	549 m	1961	鋼床版への架け替え, 主桁および鋼床版の疲労き裂の補修・改良 (工事中)
Verrazano-Narrows	1298m	1964	床版の架け替え (検討中)
Walt-Whitman	610m	1957	床版の架け替え (検討中)

表 1. 米国の吊橋の近年の補修補強の事例

(1) 事例 1: Waldo-Hancock 橋のケーブル補強⁹⁾

東北部メイン州の Waldo-Hancock 橋は 1931 年完成した, 中央支間長 243m の側塔を有する 3 径間 2 ヒンジ補剛トラス吊橋である (図 2)。

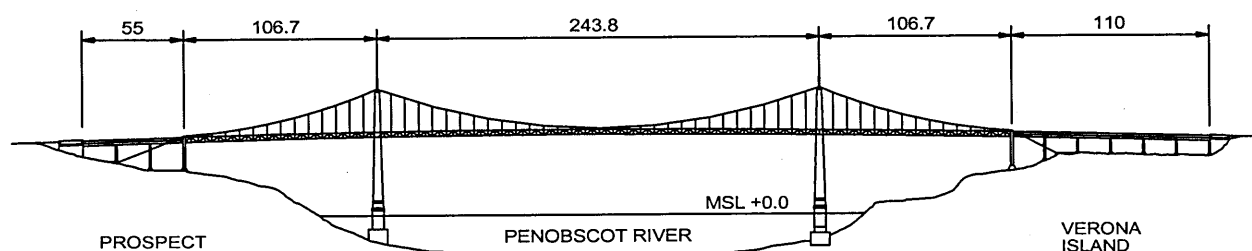


図 2. Waldo-Hancock 橋

本橋のケーブルには5mm径の37本の亜鉛めっき鋼線を撚り成形したスパイラルロープが用いられている。37本のストランドは六角形状に積上げられ、そのコーナー部を木製フィラーによって円形状に整形され、その上からラッピングワイヤが施工されている。このようなストランドケーブルではウェッジング（楔打ち込み）によってストランドの表面観察はできるが個々のワイヤの状態を見ることができない。そのため、非破壊検査方法として電磁法や磁気歪法が開発されてはいるが、ワイヤの腐食度や破断状況の定量的評価ができるほどの信頼性は得られていない。

本橋のケーブルについては、1992年に支間中央部の一箇所のみでラッピングワイヤを除去し外面からの点検とウェッジングによる内部の調査が行われ、その結果、13本（ケーブル全体の0.95%）の破断ワイヤが発見された。1998年には外観調査のみ実施された。限られた予算のもとで、腐食環境の最も悪いと考えられる支間中央部の状態を見れば十分であると判断されたのである。この時点ではケーブル安全率は2.8程度と推定された。この調査結果をもとに2003年、リハビリテーションプログラムの一環としてラッピングワイヤが全面的に取り除かれ、ペーストおよびラッピングワイヤの更新およびハンガー取替えが計画された。この際、ケーブルの安全性の詳細な評価を行うために、図3に示すようなウェッジングによる調査が実施された。ワイヤの破断がケーブル長手方向に多数見られたので、ある断面で破断したワイヤが他の断面で見られる破断ワイヤと同一のものであるかどうかの判断が必要とされた。この識別は撚りピッチを調べることにより可能であるが、膨大な量の調査を効率的に実施する方法としては不適當である。そこで、ハンガー間パネル7.3mを約1.5m間隔に分割し、区間毎に破断ワイヤのカウントおよびワイヤの腐食ランク付けを行う方法が採用された。調査が進展するにつれてケーブルの劣化が予想以上に進行していることが判明した。この結果を以下に総括する。

- ① ワイヤの破断は支間中央部より支間1/4点付近の方が進行していた。
- ② 表面に健全な鉛丹ペーストが残留していても、内部のストランド間には広範囲に白錆が発生し、またワイヤ同士の接触点には黒錆や破断がみられた。

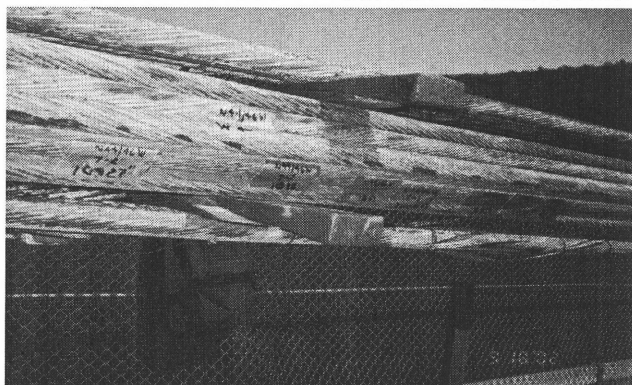


図3. ウェッジングによる調査

- ③ 塔頂付近の白錆の発生していない健全に見えるワイヤにも破断が見られた。
- ④ 破断の著しい箇所では、ストランドの表層のみならず第二層目のワイヤに破断がみられた。

ワイヤ破断の原因は図4に見られる応力腐食割れ¹⁰⁾であり、図5のように強度のばらつきは広範囲に及んでいた。試験後の破面調査によって、この強度のばらつきの原因が腐食による断面欠損によるものではなく、ワイヤに内在する微小なき裂つによるものであることがわかった。

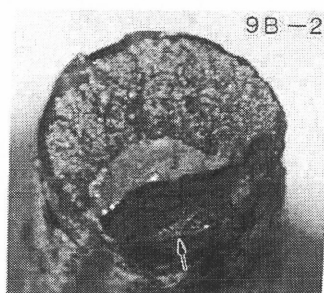


図4. ワイヤ破面

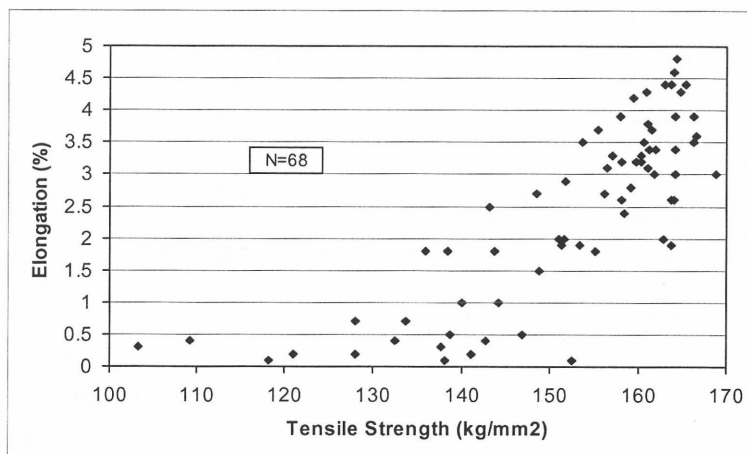


図5. 現場から採取した腐食ワイヤの伸び・強度特性

ケーブルの安全性の評価の基準となる安全率を算定するためには、ケーブル全体としての強度の評価が必要である。そのために、破断ワイヤの空間的分布（ストランド内部などの隠れた部分の未調査の影響）、腐食ランク別のワイヤの強度評価、引張破断時のひずみの不均一性が全体強度に及ぼす影響、ワイヤの破断後の張力再配分効果（破断点から十分離れた位置ではワイヤ間の摩擦により荷重が伝達される）などの検討が行われた。

ケーブルの現地調査は 2002 年 9 月から 11 月にかけて実施され、翌年からワイヤ破断の進行状況と破断位置を把握するために超音波法による自動モニタリングが開始された。こうしたなか、同年 6 月、ストランドの 1 本が完全に破断する事故が発生した。そこで破断ストランドから採取した試験片を用いてストランドの強度試験による残存強度の評価が行われた。その結果、ケーブルの最小安全率は 1.5 程度と推定され、劣化速度が急速であるため長期的使用に問題があること、また床版を支持する鋼部材の腐食や疲労が著しいことから、大規模補修を行うとする当初の方針を変更して、新設の橋梁を斜張橋形式として施工することが決定された。そして新橋完成までの約 3 年間の応急対策として、補助ケーブルが施工されることになった。

補助ケーブルは、既設ケーブルから約 0.6m の高さ（中心点間距離）の位置で、既設ケーブルの両側に直径 5cm のスパイラルロープ 4 本を配置した。既存のアンカレイジ上には補助ケーブルを定着するためのアンカレイジを継足施工され、塔頂及び側塔上には既存サドル上に機械加工の不要な簡易サドルが嵩上げ施工された。ケーブルバンドはオープン形式とし、これにロッドのハンガーをピン定着され、新設ケーブルには既存のハンガーに固定した横梁を介して荷重伝達する構造が採用された（図 6）。既設ケーブルが 3 年後に腐食等によって 25% 断面欠損した場合を想定し、既設ケーブルと補助ケーブルの全体で、破断に対して安全率 2.5 が確保されるように補助ケーブルの断面が決定された。

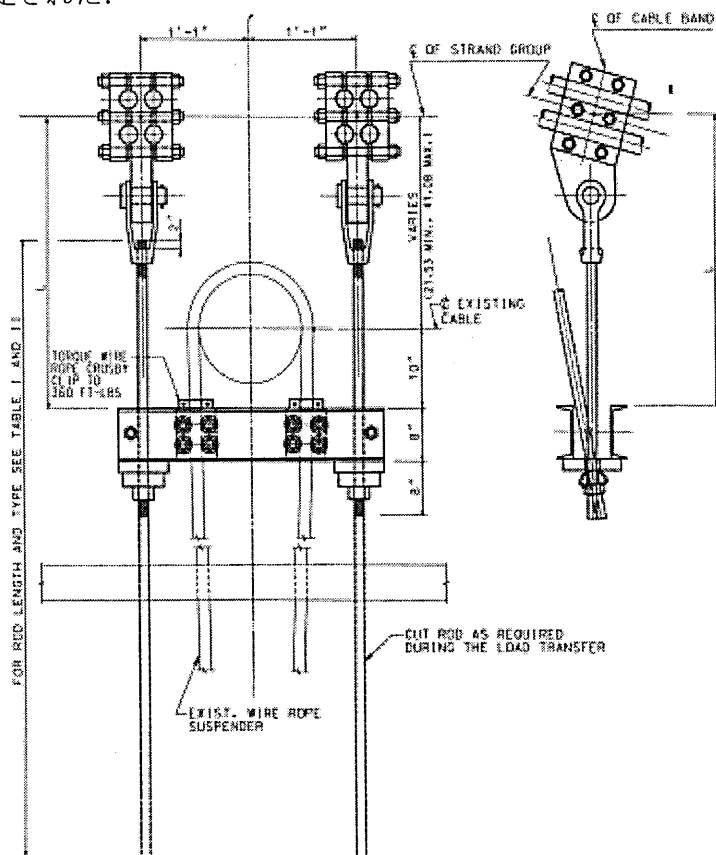


図 6. 補助ケーブルとハンガー定着構造

補助ケーブルを固定するアンカレイジは既設アンカレイジとジベルによって一体化された。ストランドはこのアンカレイジに埋め込んだアンカーロッドに固定された。ストランドは長さ調整およびジャッキによる引き込み作業の可能な Bridge Bowl Socket がロッド先端に取り付けられ、これに固定された。補助ケーブルのサドルには曲面の機械加工を無くした溶接構造が採用され、既設サドル上に嵩上げ施工された。新設サドルはタワー外壁と高力ボルトによって固定された。なお、ストランド架設後にストランドに渦励振が発生したので、ストランドを簡易バンドで固定した。

補助ケーブルの架設後に行われる、既設ケーブルから補助ケーブルへの荷重の移行作業は多格点同時引き込みによって行われた。

ジャッキによる引込み量は支間中央位置で約 1m であった。補剛トラスは死荷重載荷時に無応力として設計されているので、死荷重の補助ケーブルへの移行に伴い引込み点近傍の補剛トラスに負の曲げモーメントが導入される。そのため、引込み時に補剛トラス、ハンガーが過応力状態とならないように、また端支点にアップリフトが生じないように、引き込みの順序や引き込み量が決定された。補剛トラスの抵抗断面力については、最新の点検結果(As-inspected)に基づき、部材の腐食状況等を考慮して算出された。

応急対策に向けた設計が始まったのは 2003 年 6 月であった。まず、夏季レジャーシーズン時の通行車両止めを避けるための対策として、ケーブルの安全率を高めるためにコンクリート製の地覆歩道が撤去され、木製のものに取り替えられた。さらに、橋上のトラック台数 (1 台)、荷重 (12T)、速度の制限を行いつつ供用された。設計と施工計画、架設設計は平行して進められ、設計は現場状況 (アンカレイジのコンクリートの劣化状況、岩盤の露出状況、補強構造取付け面のリベットピッチのトレース、補剛トラス部材の腐食や疲労きれつの状況) を反映するために常駐したエンジニアからの最新情報をもとに進められた。また、調達期間の短縮のために、サドルについては鋳物ではなく溶接構造とし、ハンガーには P C 鋼棒が使用された。工事が全て完了し、載荷試験による荷重分担の確認を済ませ、一般開通したのは 11 月の Thanksgiving 休暇直前であった。この間わずか 5 ヶ月という短期間に設計施工が完了できたのは、発注者、施工者、設計者の三者が Teleconference による緊密な連絡調整が行われたことに起因していると言えよう。

(2) 事例 2 : Throgs Neck 橋の疲労損傷と改良構造 ¹¹⁾

Throgs Neck 橋は、ニューヨーク市のマンハッタンとクィーンズ地区を連結し、インターステイト 295 の一部を構成する、6 車線の吊橋(874.3m)とアプローチ部の支間約 58m の多径間単純スパン鋼床版桁橋(Bronx 側 1436.1m, Queens 側 980.7m)から成る。このアプローチ部は 14.7m の主桁間隔と 5.8m の張出しの大きな 2 主桁橋として 1961 年に完成したが、完成直後に端横桁に疲労きれつが生じた。また供用 20 年後にはコンクリート床版の主桁上に縦方向きれつが生じた。そのため 1980 年代には、パネル施工による施工時間が少なく、また主桁上に発生する負の曲げモーメントによる引張に抵抗できる構造として鋼床版への架替えが行われた。

鋼床版パネルの現地施工を短時間で実施するために、既設の横桁に近接して補助横桁を新たに設置し、これに鋼床版を預けさせる、施工性を優先した構造が採用された。補助横桁、横桁と縦桁とはクリップアングルによってウェブのみが連結された。

この構造システムでは、鋼床版に載荷された活荷重は、補助横桁(Subfloorbeam)に先ず伝達された後、2m 間隔に配置された縦桁を経由して横桁(Floorbeam)に、そして最終的に主桁(Girder)へと伝達される、複雑な荷重経路を辿る (図 7~9)。

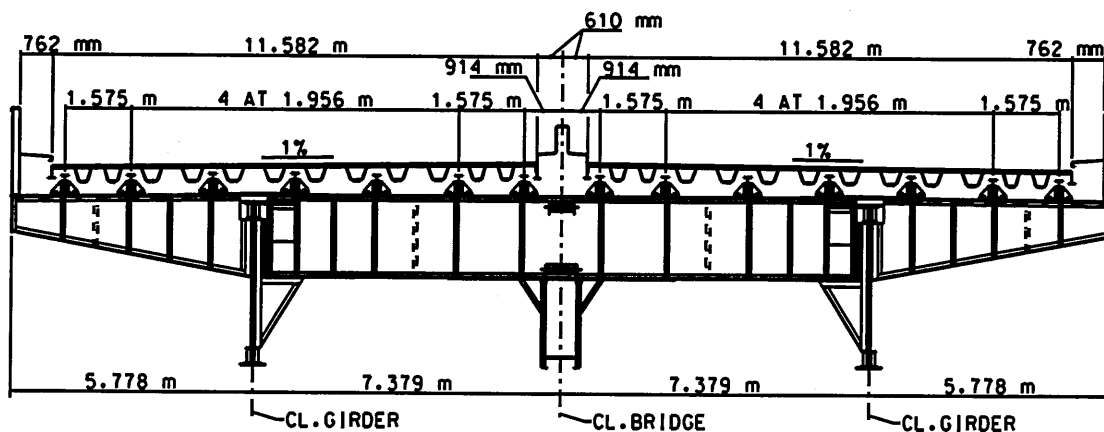


図 7. 横桁(Floorbeam)位置の断面

(現行 AASHTO の HS20 の 25%増しの活荷重：3 軸トラックの総重量 41Ton, 輪重 9.1Ton) によった。

横桁の横構ガセットの接合部の疲労き裂の原因は、横桁ウェブに取り付く横構ガセットが固定点となり、面外変位を拘束する影響であることが明らかになった。縦桁は中間横桁上で設計上は可動（面接触支承）としていたが現実には錆によって固結状態であり、このため活荷重の载荷にともない横桁に生じる面外変位が横構ガセットによって拘束される。交差部切欠きとガセット接合部に生じた疲労き裂は Distortion Induced Cracking である。この対策として、ウェブのみ連結された交差部の上下フランジをボルト接合とするモーメント連結構造に変更し、切欠き部およびガセットのウェブとの定着部を縦横のスティフナーで補剛することにより応力軽減を図った (図 11)。

補助横桁の切欠き部のき裂は、ガス切断による鋭角部の形状的な応力集中と、横桁ウェブの面外変位に起因した応力によるものと考えられた。(注：当初のコンクリート床版では縦桁は荷重を面的に支持する構造であったが、鋼床版への変更によって縦桁の役割は支点支持に変わり、これによって横桁の面外変形が助長され、ウェブの面外曲げ応力が増大したと考えられる。) 改良の補助横桁では、縦桁を貫通する構造とし (補助横桁の縦桁交差部でのフランジ切欠きを無くするため、補助横桁を分割して縦桁に連結)、縦桁ウェブとの連結部をより剛な構造とした (図 12)。

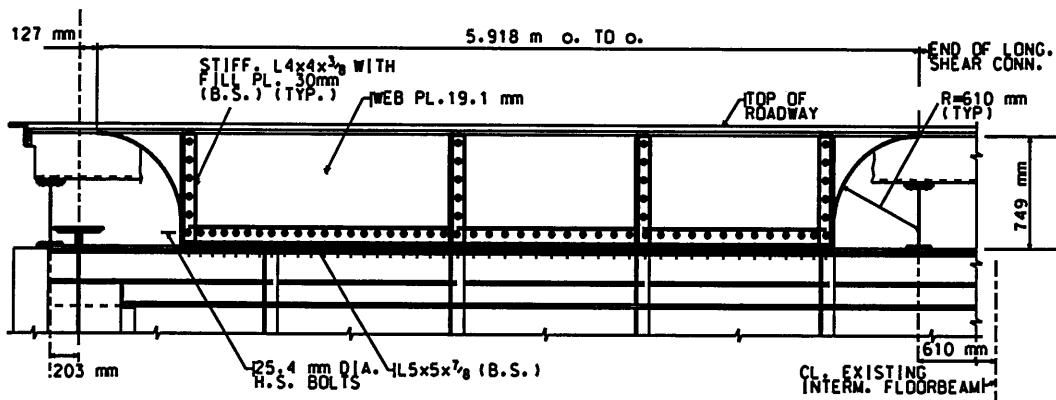


図 10. 鋼床版デッキと主桁上フランジ部の Shear Connector

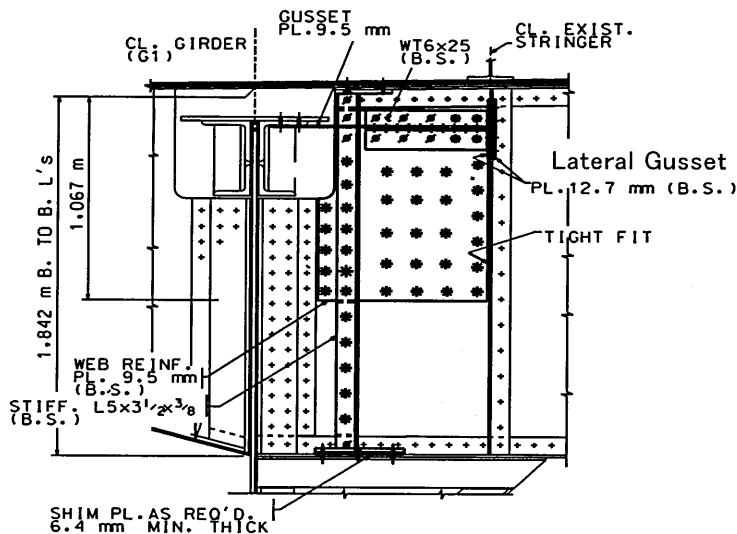


図 11. 横桁・主桁交差部の補強

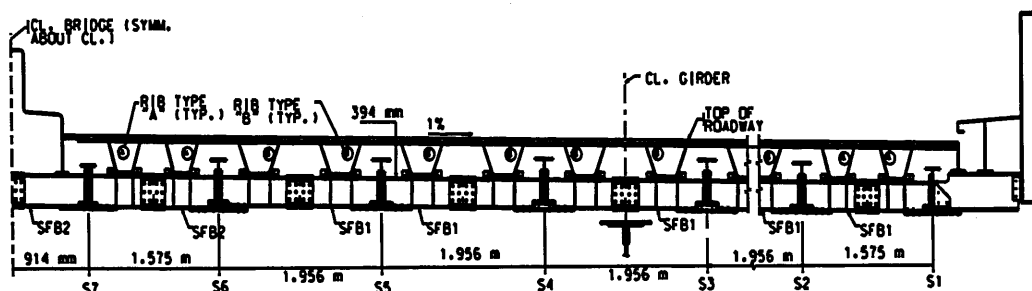


図 12. 補助横桁(Subfloorbeam)の改良

ベアリングプレートの連結ボルトの破断の原因は、ボルトが補助横桁上面と密着の無い状態で強制的に接合され、しかも活荷重の载荷によって、テコ作用により増幅された引張応力が繰り返し作用する疲労であることが分かった。この改良対策としては、密着性を確保するためにシムを挿入し、ボルトの軸応力変動を軽減するために厚板の座金を用いることとした(図 13)。

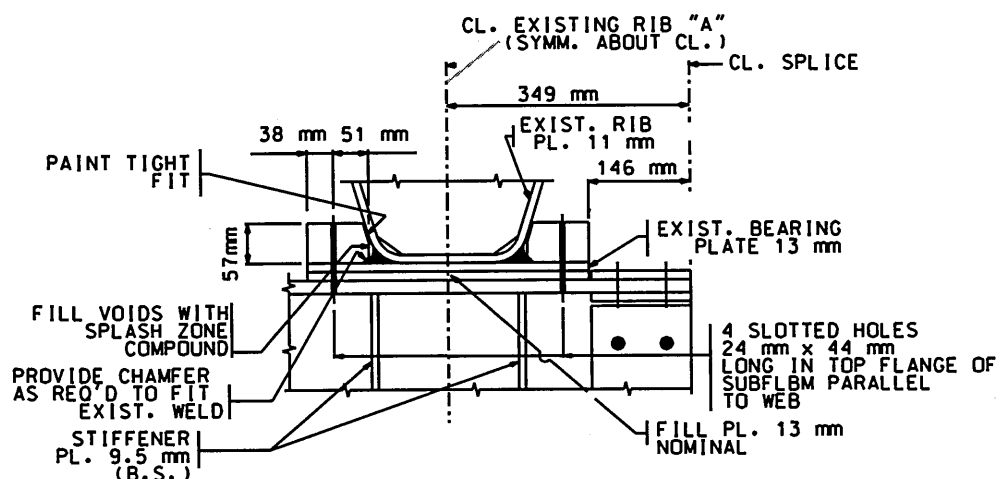


図 13. トラフリブと補助横桁との定着部の改良

提案した改良設計の効果については、改良前後の構造に対してシェル要素を用いた約 50,000 要素から成る構造モデルの FEA を実施し、着目箇所での応力集中の低減効果を確認した。

今後、パイロット的に代表的なスパンにおいて、提案された改良構造の現場での施工性試験(Shear Connector の現場溶接、ベアリングプレートとの密着性確保)及び歩掛り調査が行われる。その後、改良前と改良後のスパンにおいて荷重車載荷でのひずみ計測を行い構造改良の効果の確認、ならびに 1 ヶ月程度の期間、供用状態でひずみ計測を継続し、累積疲労の予測を行った上で最適な改良構造を決定し、残りのスパンの改良工事が行われる予定である。

(3) まとめ

米国の橋梁ストックには、最古のものは 19 世紀後半のものが現在も道路橋として立派に利用されている。これらを含めた約 60 万橋を数える橋梁の平均供用年数は 45 年を過ぎており、床版の架け替えや構造部材の補強や取り替えが必要となっているものが多い。さらに、交通量の増大から車線の追加や、耐震性能の向上などのために、大規模な補修補強・改造工事が行われている。

本文は、近年実施された 2 つの代表的な鋼橋のリハビリテーションの事例を紹介した。鋼材の腐

食、疲労、コンクリート床版の劣化は不具合橋梁における共通の問題である。

以下に、上記の2つの事例から得られた知見をまとめる。

- ① ケーブル外面調査のみの点検ではケーブル内部の状態を把握することができない。数箇所、定期的に内部点検を実施する必要がある。
- ② 目視点検を補完する、非破壊検査を含めた、効率的で定量的な評価のできるケーブルの点検方法を開発する必要がある。
- ③ 環境ファクターが及ぼすワイヤの応力腐食割れについての研究が必要である。
- ④ 補助ケーブル(追加ケーブル)の設置は、既設ケーブル耐力の不足を補う有効な方法である。
- ⑤ コンクリート床版から鋼床版への取り替えに伴い、死荷重、支持構造、剛性が変化する場合には、力の流れの変化に留意する必要がある。
- ⑥ 今回のような力の流れが複雑な構造の解析には全体を忠実にモデル化したFEAを用いることが有効である。
- ⑦ 現象を正確に捉え、それに対する適切な対策を検討するためには、建設以降に実施された、構造変更や床版の取替えなどにともなう死荷重や構造系の変化について、追跡解析を行う必要がある。
- ⑧ 横桁上の縦桁の支承のような当初設計において可動と考えていたものについても、実挙動を考慮した解析を行う必要がある。

第二部 我が国の建設業の国際化の課題

第二部においては、我が国の建設業に従事したことのある筆者が、米国の設計コンサルタントにおいて技術者として経験するなかで、我が国の建設業の国際化に対して感じたことを以下に述べる。なお、国際競争力に関して、2003年の橋梁と基礎の特集号「競争力の時代」の拙著¹²⁾に、ここでは触れていない、技術者に求められるコミュニケーション能力の必要性、我が国の建設業の情報収集から情報発信への転換の必要性についても取上げているので参考にされたい。

我が国では公共事業の急激な減少により、これを支えてきた技術者ならびに世界有数の生産規模を誇る鋼橋メーカーはその対応が急務となっている。その一つの動きが国内での発注量の減少分を海外からの受注で補填しようとするものである。さらに一部では、英国、米国などの橋梁技術立国に見られるような、我が国の技術者の国際舞台へのより積極的な参画も視野においている。

そこで、この機に我が国の企業が海外進出する際に考えなければならない課題を改めて整理しておきたい。それは一言でいえば、国際的な競争力がハードおよびソフトの両面で備わっているかということである。このソフト・ハード両面に関連するのが、国際的に適用されるルールと国内のそれとの違いから派生するものと考ええる。そして我が国の建設業の国際的において求められるものの代表的なものとして、①グローバルな技術基準に向けた対応、②業務の執行システムと技術者の育成について以下に説明する。なお、鋼橋の国際的な価格競争力についても、後述する執行システムと関連があると考ええる。

(1) グローバルな技術基準に向けた対応

海外においては建設業におけるグローバル化が急速に進みインターネットの普及がこれに追い討ちをかけている。グローバル化は国際市場で適用する標準的なルールへの対応のことであるが、我が国の建設業はこれまで潤沢な公共事業に支えられたため、海外とは異なる我が国特有の、発注者、施工者、コンサルタントの業務分担と責任のもとで企業の成長があった。そのため、海外の主だった国々がグローバル化を念頭に、国際市場への影響力すなわち国際競争力の確保といった戦略的視点で捉えてきたのに対して、我が国の国外事情を考慮する意識あるいは海外事業への取り組みは弱いものであった。

その一つの現れが技術基準である。今日、国際的に最も広く適用されているものはAASHTO及び

BSで、これらはいずれもLRFD（荷重抵抗係数設計法）に基づく設計法であり、Euro Codeなどの基本思想と合致している。これらの特徴はMyint Lwin¹³⁾が述べているように、規定を陽な形で表現し、アカウンタビリティの高い基準とすることに精力が注がれたことである。

一方、我が国は橋梁の規模および数の上では世界有数の橋梁立国であるが、それでは海外での影響度、競争力は如何であろうか。もし、これらに対する評価が低いとすれば、その原因はどこにあるのであろうか。それは冒頭で述べた我が国で適用されているルールが国際的に適用されているルールと乖離していることに深く関係していると筆者は考える。はたして、技術者が国際的な環境で違和感なく、対等に活躍できるような国内環境が整備されているであろうか、また我が国の代表的な技術基準は国際的に受け入れられるように整備されているであろうか。

我が国の技術基準は国際的に利用されることを想定してこなかったし、それを必要だとは考えてこなかった。しかし、今後、技術者が国際的な場で活躍するためには、国際的な基準を意識しながら、我が国独自の優れた技術を含め、国際的にも利用可能な形で整備されることが望まれる。今後、異なる技術文化のもとで育った技術者が凌ぎを削る世界に直面することが増えよう。技術者が技術の拠り所とする自国の技術基準が国際的に評価されることは、国際的な事業において技術者が優位に立つためにも重要なことである。何故なら、技術基準は理論に加えて過去の経験、実績をもとに規定されたもので、理論のみで説明できないものではないからである。

我が国が世界の橋梁界をリードするためには、国際的に適用される（あるいは引用される）、最新の技術的成果を包含、アカウンタビリティの高い、我が国を代表する技術基準の制定が必要となろう。当然、これらについては英訳版が同時発行されることが期待される。

（2）業務の執行システムと技術者の育成

海外では個々の技術者の評価が企業の競争力につながる。我が国の橋梁は長大橋の分野などで形の上で世界一の座を占めているが、果たして技術者の個人としての評価はどうであろうか。この評価に影響を与えているものとして、コミュニケーションの問題のほかに、他の国と異なる業務の執行形態を運用していることから生まれる、技術者の執行能力の違いにあるのではないかと筆者は考えている。

我が国の発注者、施工者、設計者の三者の業務の執行形態においては、最終設計は施工者に委ねられ、コンサルタントの技術者の所掌範囲は工事発注までの設計に限定され、製作・施工にも直接関与しないのが通常であり、最終設計および施工に関する技術に対して全面的に責任を負わされる欧米のコンサルタントの技術者に要求される能力とは異なる。よって、そのような環境で育成された欧米の技術者と我が国の技術者が対等に競争することは容易でないことが予想される。

これに代わり、最終の設計および施工に関わる我が国の施工者の技術者が国際の場において国内と同様な立場で活躍できる場が与えられるであろうか—欧米においては、設計と施工を同一の技術者が担当することは“*Conflict of Interest*”という観点から、両者は相容れないものとして、現状では排除されている。そのため施工者は設計を実施できる技術者を要していないのが一般であり、施工に関わる技術(Construction Engineering Support)についてもコンサルタントに依存している。*Design and Build* 契約で実施されている設計においてさえ、請負者に設計技術者が備わっていないので必然的ではあるが、その設計については中立的立場からコンサルタントによって実施されている。これが我が国と基本的な考え方の違いである。

このようなことを考えると、結局は我が国の発注者、施工者、コンサルタントの三者のなかでコンサルタントの役割と責任をどのように位置付けるかの問題に帰着する。仮に、これを欧米の形態に近いものに変更するとすれば、技術に関する一切の業務と責任（架設設計など施工そのものに関わる技術を除く）をコンサルタントの技術者に負わせる制度改革とコンサルタントの技術者の、質・量の充実が必要となろう。

繰り返すと、現状の執行形態のもとでは技術の分業体制となり、欧米に見られるような、広範か

つ細部に亘る技術力を個々の技術者が育むことは一般に難しいであろう。

以上述べたことは、我が国が国際的な環境のなかで海外の技術者と競合するために考えなければならない最も基本的な課題であると考ええる。これらの課題を克服することによってはじめて競争力ある建設業が構築される。技術者個人の技術に対する価値が評価され、技術者が技術に対して責任を担う、こうすればプロフェッショナルな技術者としての自覚の高揚が生まれる。技術の必要性和それを評価する基盤があつて初めて技術に対する競争意識が高まる。技術は競争によって発展し、高い技術に対する価値の付与によって技術者にはモチベーションが与えられ、有能な技術者が育成され得る環境が整うのである。

こうした技術者の意識変革とこれを機能させるための社会環境の整備を促進し、我が国の建設業が国際分野で競争力を発揮し、その技術力を活用できる時代が到来するものと筆者は期待している。

21世紀は始まったばかりである－技術力を軸とした魅力ある建設業の発展と、我が国の技術者が世界へ翔く時代の到来を待望する。

(6月17日ニューヨークにて)

参考文献

1. Benjamin Tang: FRP Composite Technology Bridges Advantages to the American Bridge Building Industry, 2nd International Workshop on Structural Composites for Infrastructure Applications, December 2003.
2. <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/frp/ibrcweb.htm>
3. <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/yrblt04.htm> <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/material.htm>
4. <http://ecfr.gpoaccess.gov/> Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR)
5. Michel Virlogeux: Replacement of the suspension system of the Tancarville Bridge. – Journal of the Transportation Research Board, Record N° 1654, Paper N° 99-0604, National Academy Press, Washington D.C., pp 113-120, 1999.
6. Bruno Godart and Thierry Kretz: “Replacement of the Suspension of the Aquitaine Bridge in Bordeaux, ASCE Structures Congress, Washington DC, 2001.
7. Richard Fish: Tamar Bridge Strengthening & Widening – A Case Study, 2nd Suspension Bridge Operators’ Conference, West Point, New York, 2000.
8. Famed Golden Gate Span Undergoes Complex Seismic - Demanding and well-choreographed operation is part of a planned three-part retrofit, *Engineering News-Record*, pp.24-30, January 3, 2005.
9. Harukazu Ohashi *et al.*: Safety Assessment and Health Monitoring of Suspension Bridge Cables, International Workshop on Structural Health Monitoring of Bridges, Kitami, September 2003.
10. R.E. Pollard: Stress-Corrosion of Bridge-Cable Wire, A.I.M.E Symposium on Stress-Corrosion Cracking, Philadelphia, December 1944.
11. Roger Haight *et al.*: Orthotropic Deck Rehabilitation at the Throgs Neck Bridge, ASCE Structural Congress, New York, April 2005.
12. 大橋治一：コンサルタント技術者からみた我が国の国際競争力，特集「競争力の時代」，橋梁と基礎，Vol.37, No.8, pp.116-118, 2003.
13. Myint Lwin 著 “Why the AASHTO Load and Resistance Factor Design Specifications?” より要点を抜粋
 - Based on technological advances in bridge engineering, sound scientific principles, and systematic approach to ensure constructability, safety, serviceability, inspectability, economy, and aesthetics.
 - Has the inherent advantage of a more uniform level of safety in new bridges, which means low maintenance and repair and low life-cycle cost.
 - Allows engineers to take advantage of the properties of new construction materials or to expand the

applicability of existing materials.

- *Helps bridge engineers understand the rationale and the background of the specifications.*
- *Takes the "black box" out of the specification requirement.*
- *Fulfills a vision to design and build quality bridges with a high level of reliability for the 21st century.*

14. 米国で一般に適用される鋼橋の技術基準

設計・製作関係の基準

- (1) AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, 1996.
- (2) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 3rd Edition, 2004.
- (3) Fatigue Evaluation Procedures for Steel Bridges, TRB 1987.
- (4) AASHTO Guide Specifications for Fatigue Design of Steel Bridges, 1989.
- (5) AREMA (The American Railway Engineering and Maintenance of Way Association), 2004.
- (6) Bridge Welding Code, AASHTO/AWS D1.5, 2002.
- (7) Structural Welding Code, Steel, AWS D1.1, 2000.
- (8) HPS Designer's Guide, April 2002.
- (9) Guide Specifications for Highway Bridge Fabrication with HPS 70W (HPS 485W) Steel, June 2003.

維持管理関係のマニュアル

- (10) AASHTO Manual for Condition Evaluation of Bridges, 2nd Edition, 2000.
- (11) AASHTO Manual for Maintenance Inspection of Bridges, 1983.
 - *Inspection*
 - *Records*
 - *Rating of Bridges*
 - Allowable Unit Working Stress for Inventory Rating and Operational Rating, Evaluation,*
 - Limiting Vehicle Weights, Regulatory Signing*
 - *Specifications for Checking Capacities of Existing Bridges*
- (12) AASHTO Guide Specifications for Fatigue Evaluation of Existing Bridges, 1990.
- (13) Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, Office of Engineering Bridge Division, FHWA, December 1995.

Sufficiency Rating (0%~100%) = $S_1 + S_2 + S_3 - S_4$

- Structural Adequacy and Safety, S_1 : 55% Max.

Superstructure, Substructure, Culverts, Inventory Rating

- Serviceability and Functional Obsolescence, S_2 : 30% Max.

Lanes, Average Daily Traffic, Roadway Width, Deck Condition, Deck Geometry, Underclearance, Approach Roadway Alignment, Waterway Adequacy, etc.

- Essentiality for Public Use, S_3 : 15% Max.

Detour Length, Average Daily Traffic, Highway Designation

- Special Reductions, S_4 : 13% Max.

Detour Length, Traffic Safety Features, Structural Type