

I-48 合成桁橋と非合成桁橋の合理性に関する比較検討

北海道学園大学大学院

北海道学園大学工学部

北海道開発コンサルタント(株)

学生員 鈴木 巧

フェロー 当麻 庄司

正会員 外山 義春

1. 序論

我国の経済発展が成熟の時代に入につれ、橋梁建設も量より質を問われるようになってきた。橋梁は短期的に要求される機能を満足させるだけではなく、将来の必要性を十分見通したものでなければならない。すなわち、50年程度経って機能的に不十分になってもよいような構造物と、100年あるいは200年にわたって必要とする構造物を建設時点で明確に区分けしておかなければならない。その点橋梁は建設コストを100年あるいは200年の長期で考えるべきであり、架け替えの費用を考えるならば当初からそれだけ投資した方がはるかに経済的であることは明かである。まして交通遮断のできない状況で架け替えとなると、通常の建設費の何倍にもなる。したがって、橋梁は当初からできるだけ長く使

用できるようにしておくべき種類の構造物であると言える。

幸い、ようやく我国でもそのような建設コストの合理性を重要視する機運が出てきている。そのような中で、筆者らは以前合成桁と非合成桁を比較し合成桁の方が合理的であることを示した¹⁾。また同様に合成桁橋の復権を主張する他の論文も見られる²⁾。ここではさらに詳しく両者を比較検討し、合成桁橋の優位性を示すことにする。

2. 合成桁橋の損傷問題

昭和40年代から合成桁橋の鉄筋コンクリート(RC)床版において損傷が目立つようになり、それが合成桁橋の建設が控えられるようになってきたことの主要因であると思われる。図-1に合成桁橋と非

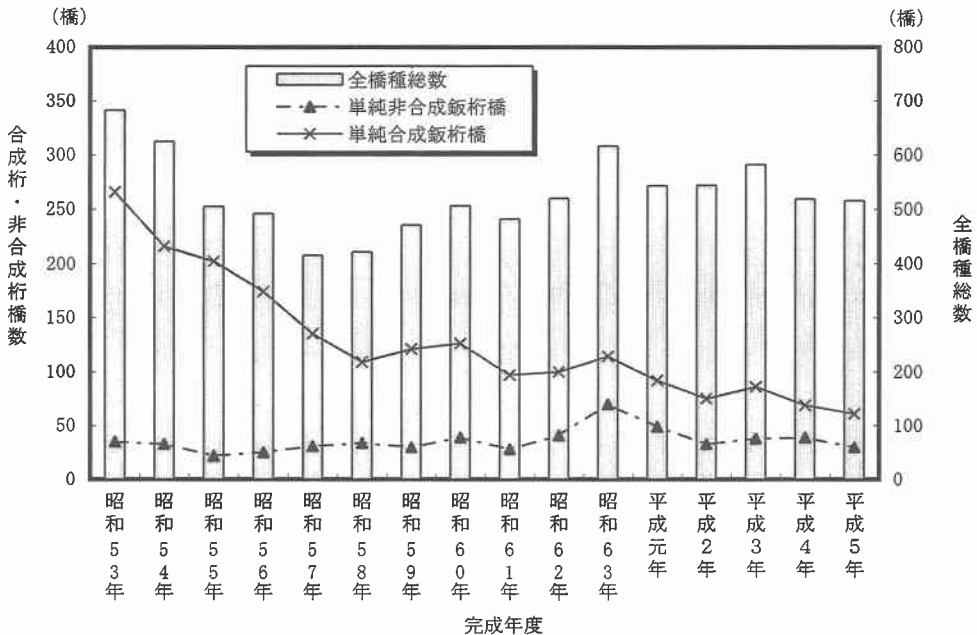


図-1 合成桁橋と非合成桁橋の架設実績比較

A Comparative Investigation on the Rationality of Composite and Non-composite Plate Girder Bridges.
 by Takumi Suzuki, Shouji Toma and Yosiharu Toyama.

合成桁橋の架設実績比較を示す³⁾。これを見ると、データを集積し始めた昭和 53 年から合成桁橋の建設は非合成桁橋に比べかなり少なくなっていることが分かる。しかし、RC 床版損傷の原因は合成桁であることが本質ではなく、過酷な荷重の繰り返しによる疲労問題であると言える。すなわち、床版の損傷は合成桁という構造全体のシステムの問題ではなく、主として床版自体の局所的な強度の問題であって床版の強度を上げればある程度解決できる。

また床版以外にも、鋼桁と 2 次部材との取り合い部等にも疲労損傷が目立つようになってきた。これは取り合い部の詳細設計を工夫することにより解決できる面もあるが、根本的には橋全体の剛性が低いことに主要因があるように思われる。

3. 床版の挙動

合成桁と非合成桁とで床版の挙動が異なるのかどうかについて考察してみる。まず合成桁の場合、主桁としては橋軸方向に圧縮力を受け、一方床版としては橋軸直角方向に曲げを受ける 2 軸応力状態となる。これが非合成桁では理論的には橋軸直角方向の曲げのみ受けるとして設計している。すなわち、非合成桁橋では RC 床版の剛性を主桁構造として無視しているが、現実には鋼桁と RC 床版とはスラブ止めにより合成された挙動を示していることが報告されている⁴⁾。合成桁橋と非合成桁橋で実測された応力分布を比較すると、合成桁橋ではほぼ計算値に近い応力分布であるのに対し、非合成桁橋もほとんど合成桁として挙動しているということである。合成桁のずれ止め程ではないにしても、非合成桁ではスラブ止めがずれ止めの役割をはたしている。そこでは非合成桁橋の RC 床版が主桁の剛性に大きく寄与しており、結果的に同じ設計条件で設計すると合成桁よりも大きな剛性を持つようになっている。このような剛性の違いが両者の損傷の違いに影響していると思われる。剛性が低いとたわみが大きくなり、床版や 2 次部材の負担が大きくなる。

補修の際についても、ずれ止めがあることにより合成桁では若干手間がかかるが、非合成桁でもスラブ止めがあるので根本的な大差とはならないと考えられる。また合成桁はずれ止めにより橋軸方向の拘束が大きくコンクリートの乾燥収縮による橋軸

方向のひび割れが出やすいということもあるが、これも合成桁の大きな長所を考慮した場合マイナーな問題であると思われる。

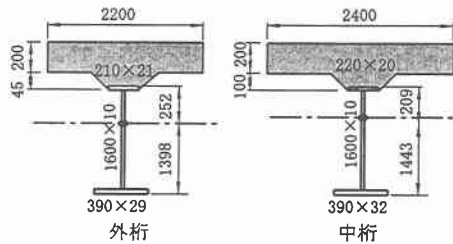
4. 比較設計

4. 1 中央断面の比較

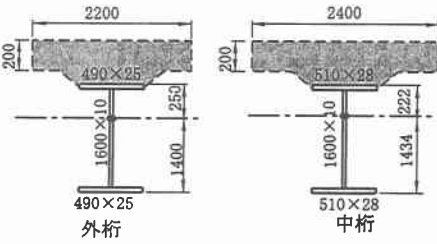
ここでは、表-1 に示す同一設計条件を基に非合成桁と合成桁の設計を行い、両桁の剛性及び作用応力について比較する。設計の基準を一定にするため両

表-1 設計条件

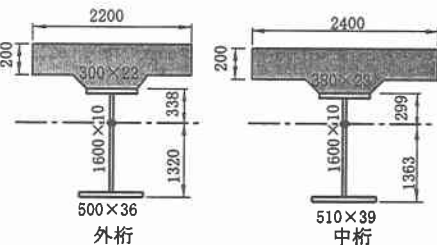
支 間	: 30.000m	主 桁 数	: 4本
幅 員	: 8.000m	主桁間隔	: 2.400m
地覆幅	: 0.600m	対傾構間	: 5.000m
地覆高	: 0.250m	床 版 厚	: 0.200m
活荷重	: B 荷重	アスファルト	: 0.050m



(a) 合成桁の中央断面



(b) 非合成桁の中央断面



(c) 調和合成桁の中央断面

図-2 中央断面の設計比較

形式とも許容応力度ぎりぎりにとって経済設計（最少重量設計）を行い、得られた主桁中央断面の結果を図-2(a)及び(b)に示す。合成桁の設計については自動設計プログラム⁵⁾を用いたが、そこでは非合成桁の設計と同様に荷重分配を考慮していない。荷重分配を考慮した方が望ましいが、本論文の主旨に対しては荷重分配をしなくても大差はないと判断した。図2(a)と(b)を比較すると、非合成桁の上フランジが合成桁に比べかなり大きいことが分かる。実際には、先に述べたように非合成桁の床版も有効に働いているので、この上フランジの応力度が小さく材料が無駄に使われている。もしこの上フランジの材料を下フランジに配分して上下フランジをバランスよくすれば全体の剛性をかなり増すことができ、作用応力度も低く抑えることができる。それが結果的に橋

の寿命を延ばすことになる。鋼材の量を同等にして剛性を比較するため、図-2(b)の非合成桁（鋼桁）の断面積と等しくし上下フランジのバランスをとった合成桁を調和合成桁と呼び、その断面を図-2(c)に示す。

4. 2 剛性の比較

一般的に構造部材の断面を大きくすることは鋼材を多く使用することであり、一方ではそれだけ構造物の安全性は高まると言える。しかし、コスト面では鋼材を多く使用することは製作費に跳ね返り、必要以上の使用は不経済となる。構造物の設計においては安全性と経済性のバランスが必要である。図-3は図-2の3タイプの断面積比較を示すが、当然合成桁の方がかなり小さくなっている。そして調和合成桁の断面積は非合成桁に等しい。同一設計条件であるため、明らかに合成桁の方が経済的と言える。

また、図-2に示す3タイプの断面をもとに断面2次モーメントを比較した結果を図-4に示す。非合成桁に関しては、設計上の非合成桁を合成効果率0%とし、合成桁と同様に床版と鋼桁とが完全に合成されている場合を合成効果率100%としてその中間における断面2次モーメントも求めた。なお、合成効果率については、床版の断面積が有効に寄与する割合をもって合成効果率と定義した。当然、合成効果率が上がれば断面2次モーメントも高い値を示している。既存の非合成桁橋が、鋼桁と床版とが合成さ

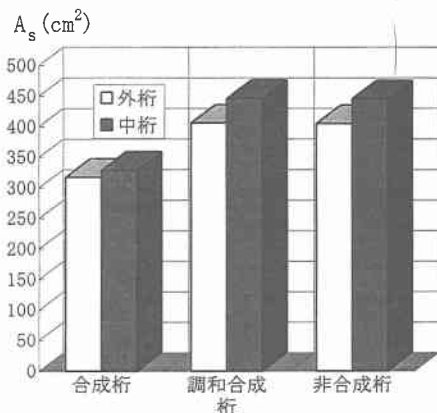


図-3 中央断面の鋼桁面積比較

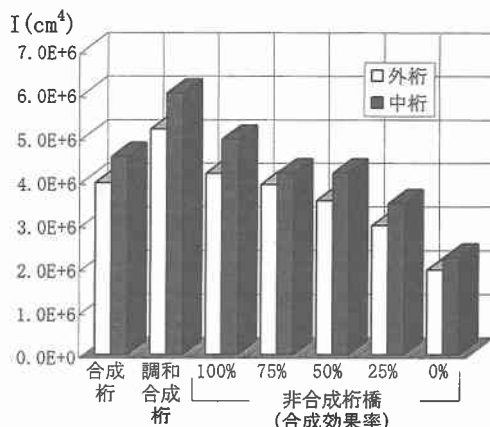


図-4 中央断面の断面2次モーメント比較

れた挙動を示しているとの報告⁴⁾があるので、実際の非合成桁はこの合成効果率の範囲内にあると言える。同図によれば非合成桁（鋼桁）の断面と等しくした調和合成桁は、経済設計による合成桁の約1.3倍も断面2次モーメントが大きくなっていることが分かる。つまり、非合成桁橋と同じ鋼材量で合成桁橋を建設する場合、調和合成桁橋とすればかなり安全な橋を作ることができる。

4. 3 作用応力度の比較

図-2の中央断面をもとに架設時応力度及び主荷重による作用応力度の比較を行い、その結果をそれぞれ図-5と図-6に示す。図-5,6の縦軸には作用応力度と許容応力度との比を示している。ここでの荷重は3タイプとも等しくとっている。また、図-5の架設時作用応力度に関しては架設時に問題とな

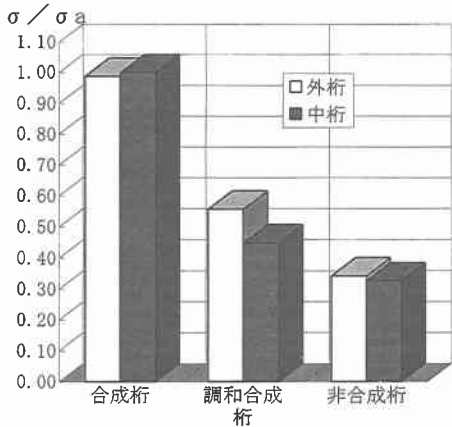
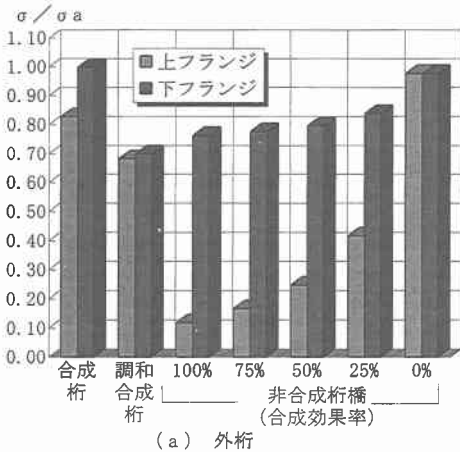
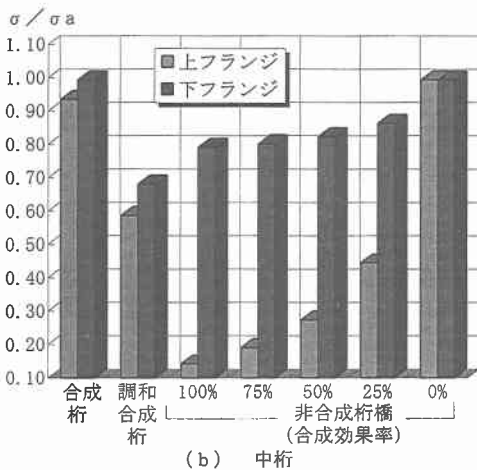


図-5 架設時応力度の比較 [上フランジ]



(a) 外桁



(b) 中桁

図-6 主荷重による応力度比較

る上フランジの作用応力度のみを示した。図-5 をみるとその設計法から当然予想されるように経済設計した合成桁が許容応力度ぎりぎりであるのに対して、非合成桁のほうはかなり低い値を示している。これは図-2 に示す上フランジ断面の差が大きく寄与しているためである。また、調和合成桁では上下フランジの断面を許容応力に関してバランスよく決定したため両形式の間に位置している。

次に図-6 の主荷重による応力度比較では上下フランジを対象として比較している。主荷重について合成桁橋では合成前後の死荷重、活荷重、コンクリートの乾燥収縮及びクリープによる増加応力度を非合成桁橋では死荷重及び活荷重のみを考慮している。非合成桁の上フランジでは合成効果率の増加に伴い極端に作用応力度が小さくなっていることが分かる。これは合成効果により床版が上フランジに大きく寄与することを示している。同様に下フランジに関しては上フランジ程影響がないが徐々に小さくなっていることが分かる。また、調和合成桁は経済設計した合成桁橋及び非合成桁橋（合成効果率 0%）の約 3 割程度低い値を示している。

以上の架設時応力度及び主荷重による応力度の比較から、合成桁橋の合理性が伺える。鋼桁断面を等しくした調和合成桁と非合成桁（合成効果率 0%）を比較すると、主荷重では許容応力度に対してかなり低い値を示している。このことは構造上の耐久性に大きく影響し、橋の寿命を長くする。すなわち、同じ建設費を使うならば、非合成桁よりも調和合成桁を建設すべきであると考えられる。

5. 製作費の比較

合成桁橋と非合成桁橋は構造的に類似であり、製作費も鋼重が同じとすれば基本的に大差はないと考えられる。構造的には合成桁は鋼桁とコンクリート床版とを連結するずれ止めが必要になるが、その差は全体の製作費から考えて大きくはない。やはり製作費に最も大きく影響するのは鋼重であると思われる。同一設計条件の場合、合成桁橋の方が鋼重が少なく、したがって経済的であるとされてきた。もし両者の鋼重が同じとすれば、製作費もほぼ同等と考えて差し支えないと思われる。

合成桁橋と非合成桁橋の平均鋼重の比較を図-7 に示すが⁶⁾、これによると両者の間にはかなりの差

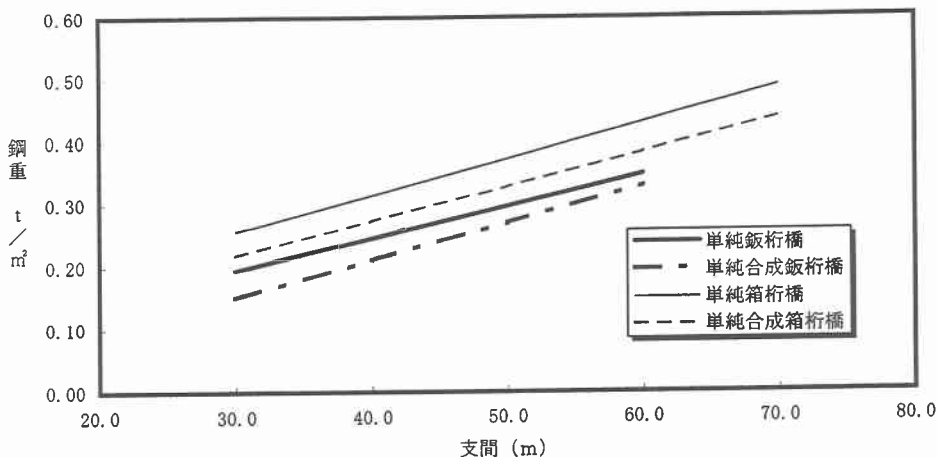


図-7 合成桁と非合成桁との鋼重比較

があることが分かる。この差が両者の製作費の違いになり、また断面寸法すなわち剛性の差にもなっている。図-3 に示す両形式の断面積比と、図-7 の鋼重による両形式の比を表-2 に示す。これを見ると両比にはほとんど差はない。言い換えれば鋼桁の断面積の比は直接この部分の製作コストの比と言うことができ、橋全体の建設費にも大きく影響する。つまり非合成桁と同じ断面積をもつ調和合成桁は、建設コストを上げることなく橋の耐荷力を大幅に上げることができる。

表-2 断面積比と鋼重比

	断面積	鋼重
非合成桁／合成桁 (支間=30m)	1.32	1.29

6. 道路橋示方書の扱いについて

道路橋示方書⁷⁾の許容応力度設計では、通常作用応力度が許容応力度を越えない範囲でできるだけ許容応力度に近づけるようにする。そのような考え方に基づいて設計をする限り、床版を有効とする合成桁が非合成桁よりも経済的な剛性の低い橋ができてしまうのは避けられない。合成桁を用いてより剛性の高い橋を作るためには、作用応力度を下げた設計をしなければならない。これは設計荷重を上げたことあるいは安全率を上げたことと同等である。

そもそも現在の自動車荷重の体系が最初に作られたのは昭和 31 年の道路橋示方書に遡るが、その

ときの背景を述べた論文⁸⁾には示方書でとられている自動車荷重を絶対視すべきでないことが指摘されている。そこでは、「荷重を 2,3 種類に分類することは無理であるが一種の必要悪として行った」、「場所によって必要とする橋の耐荷力に差があるはずであってこの点示方書は設計者の良識に期待している」、「規定そのものにとられないで規定の趣旨を尊重すること」等と唱われている。現在ではこのようにして決められた自動車荷重が余りにも一人歩きしてしまっているようである。

また、米国の道路橋示方書である AASHTO/LRFD⁹⁾では、プレートガーダーはそうのようにできない特別な場合を除き合成桁とするように解説の中で推奨されている(条項 C.6.10.1)。すなわち、橋の設計を総合的にみると非合成桁とする合理的な理由は見当たらないというのが AASHTO の考え方である。日本の橋梁設計は現在少し枝葉の部分、言い換えると計算上のつじつまにとらわれすぎていて全体の合理性を忘れがちであると思われる。

7. LCC設計

最近建設省でもライフサイクルコスト (LCC) の考え方が出され、200 年橋や工学的永久橋の設計のあり方が検討されている¹⁰⁾。そこでは維持管理負担を最小にする橋が研究されているが、その一環として剛性の高さを考える必要がある。剛性の高い橋は建設後の維持負担を少なくすることは明かであ

ろう。しかし、作用応力度を下げた合成桁の建設は初期コストを押し上げ、現在の設計の基本となっている初期コスト最小化の方針とは矛盾する。LCC 設計には構造的にミニマムメンテナンスとなるように工夫する面と、初期コストは少し多めにしてライフコストを下げるという 2 面性がある。LCC 設計を推進するためには作用応力度を下げた橋の設計を行い、ライフコストを下げる必要がある。特に交通量の多い橋では先に述べたように示方書の趣旨⁸⁾の原点に立ち返って設計のあり方を考えなければならない。

8. 結論

筆者らは、床版の損傷から始まった合成桁橋は問題があるという誤解は正されなければならないと考えている。真の原因は剛性不足であり、非合成桁橋を同等な調和合成桁橋とすることにより剛性を高める設計をすれば非合成桁橋よりも合理的な橋となる。本論文では、合成桁は合理桁であり非合成桁は非合理桁であることを具体的に示した。今後は初期コスト最小化設計から脱却し、LCC 設計の観点に立って作用応力度を抑えた調和合成桁の設計をしていくべきであると思われる。

参考文献

- 1) 合成桁橋と非合成桁橋の合理性について、土木学会第 50 回年次学術講演会、平成 7 年 9 月。
- 2) 松井繁之：合成桁橋の復権と合成構造の開発と研究、鋼構造論文集、第 1 巻第 2 号、1994 年 6 月。
- 3) 日本橋梁建設協会：橋梁年鑑、昭和 55 年～平成 7 年版。
- 4) 竹本邦仁、他：既設橋梁の載荷試験による耐荷力判定に関する考察、土木学会北海道支部論文報告集、第 52 号 (A)、1996 年 2 月。
- 5) 当麻庄司：BASIC による橋梁工学、共立出版、1989 年。
- 6) 当麻、本多：鋼道路橋の鋼重データベース、橋梁、1993 年 8 月。
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書、Ⅰ 共通編、Ⅱ 鋼橋編、平成 6 年 2 月。
- 8) 川崎偉志夫：道路橋の荷重について、鋼橋示方書とプレストレストコンクリート指針、昭和 30 年 8 月。
- 9) American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 1994.
- 10) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理、土木学会論文集、No. 501/I-29、1994. 10.