

新しい長支間橋梁

複合ラーメン橋 ・ ラチストラス橋 ・ 合成斜張橋



社団法人 日本橋梁建設協会

経済性、耐久性、安全性・・・ 合理化された橋梁建設の最新モデル 長支間橋梁がここにあります。

公共工事に求められる、経済性、耐久性、安全性、等の要求性能の向上実現を目指して、社団法人 日本橋梁建設協会はこれまで、「新しい橋梁の誕生」、「新しい橋梁の誕生・II」、「新しい橋梁の誕生・II 改訂版」を発行し、順次新しい形式の橋梁を提案して参りました。その間、各形式の実績も次第に増え、各種合理化構造をご採用いただく範囲も一層広がりを見せております。つきましてはこうした実績を踏まえ、大規模支間長の橋梁に関する新しい形式のご提案、小冊子「新しい長支間橋梁」をお届けすることといたしました。

第I編 複合ラーメン橋

少数主桁橋の経済性と複合構造の合理性を融合させ、複合ラーメン橋として長支間化を目指した橋梁形式です。更に、橋脚付近の下フランジ側にコンクリート版を設けた二重合成構造や、横構を設けて耐風安定性を確保した、長支間に対応できる橋梁形式も提案しています。

第II編 ラチストラス橋

合理化トラスで培われた技術を更に推し進め、ラチス構造や型鋼の積極的採用により、確かなコストダウンを計ることができる合成トラス橋です。また、更なる改良・合理化案として、部材、構造共に、究極まで絞り込んだ三角断面のトラス案も提案しています。

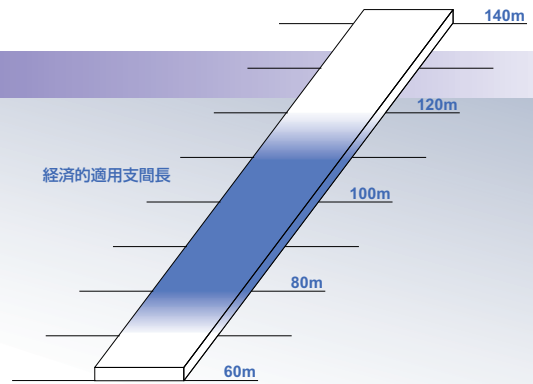
第III編 合成斜張橋

海外を中心に数多く採用されている形式で、2主桁桁を合成床版やPC床版と合成させた合理性に優れた斜張橋です。200mを越える長大支間長にまで適用できる、コストパフォーマンスに優れた形式です。

これらの形式は、当協会が長年に亘って培ってきた、設計から製作、架設に至るまでの高い橋梁建設技術がベースとなっております。

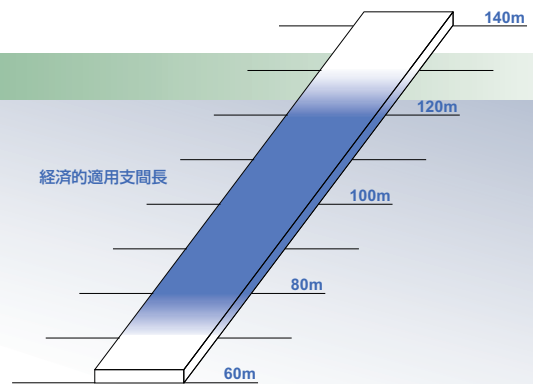
第I編 複合ラーメン橋

- 1 はじめに
- 2 特徴と利点
 - 1) 構造の合理化と経済性
 - 2) 耐風安定性
 - 3) 安全で経済的な架設工法
- 3 剛結部構造
- 4 複合ラーメン橋の架設
- 5 複合ラーメン橋の実績
 - 1) 高月橋
 - 2) 北只高架橋
 - 3) 今別府川橋
- 6 二重合成複合ラーメン橋
 - 1) 概要
 - 2) 特徴
 - 3) 確認試験



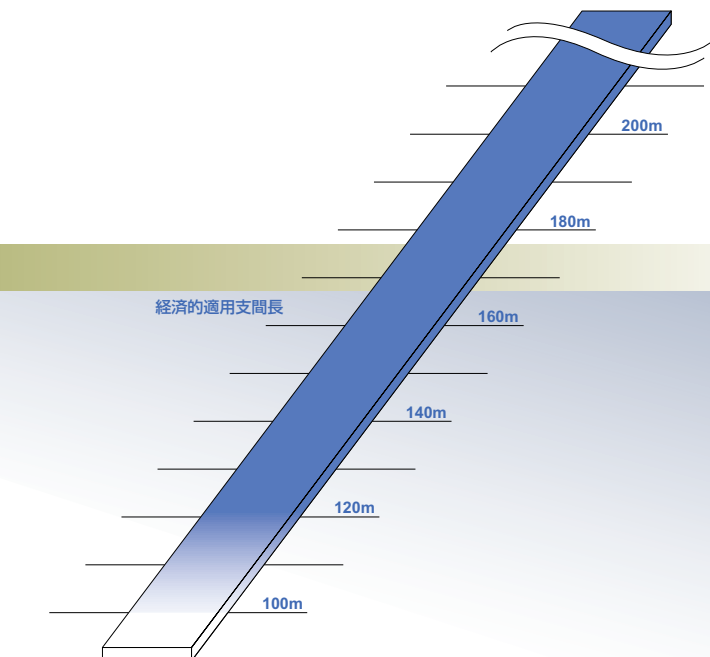
第II編 ラチストラス橋

- 1 はじめに
- 2 特徴と利点
 - 1) ダブルワーレン（ラチス）形式の主構造
 - 2) PC床版または合成床版との合成構造
- 3 基本構造
 - 1) 主要部材
 - 2) 主構高さと同間長
 - 3) 床版上弦材との結合
 - 4) 格点構造
 - 5) 製作キャンパの処理
- 4 実験による検証
 - 1) 合成トラスとしての全体挙動の確認
 - 2) 床版ずれ止め強度特性の確認
- 5 ラチストラス橋の実績
 - 1) 中日本高速道路(株)宮川橋
 - 2) 福島県・渡瀬橋
- 6 三角断面のラチストラス
 - 1) 概要
 - 2) 特徴



第III編 合成斜張橋

- 1 はじめに
- 2 特徴と利点
- 3 合成斜張橋の実績
- 4 基本構造
 - 1) 一般形状
 - 2) 定着構造
- 5 施工例



第 I 編 複合ラーメン橋

はじめに

少数主桁橋は、支間70m程度までは合理的で経済的な上部構造形式である。それ以上の支間長の場合、架橋地点の条件によっては、耐風安定性、耐震性、架設などの問題に起因して、少数主桁橋の採用が困難な場合がある。

近年、少数主桁の弱点をカバーし、より長支間の領域まで適用することができる少数主桁複合ラーメン橋を採用するケースが増えている。(写真-1)

少数主桁複合ラーメン橋は、少数主桁橋とRC橋脚とを剛結した形式で、少数主桁橋に比べて長支間に対応できるとともに、耐震性や耐風安定性が飛躍的に向上する。特に、山岳部において、張出し架設工法を用いることにより、現場条件に左右されない合理的な架設が可能となるなどの利点がある。

最近では、更なる長支間化を目指した二重合成複合ラーメン橋の開発が進められており、長支間橋梁の新形式として注目されている。



写真-1 今別府川橋

特徴と利点

1) 構造の合理化と経済性

① 鋼桁とRC橋脚の剛結ラーメン構造 (図-1)

- ・ 支承を省略できる
- ・ 耐震性能が向上する
- ・ たわみを低減できる

② 少数主桁構造の採用

- ・ 合成床版やPC床版を用いることで、主桁間隔を大きくし、鋼重を低減できる

③ ライフサイクルコストの軽減

2) 耐風安定性

架設時の座屈、耐力向上のために横構を設置するので、耐風安定性が向上する

3) 安全で経済的な架設工法

現場条件に合わせて種々の架設工法が採用可能

- ・ トラッククレーン張出し架設工法
- ・ トラバークレーン張出し架設工法
- ・ TEGクレーン張出し架設工法

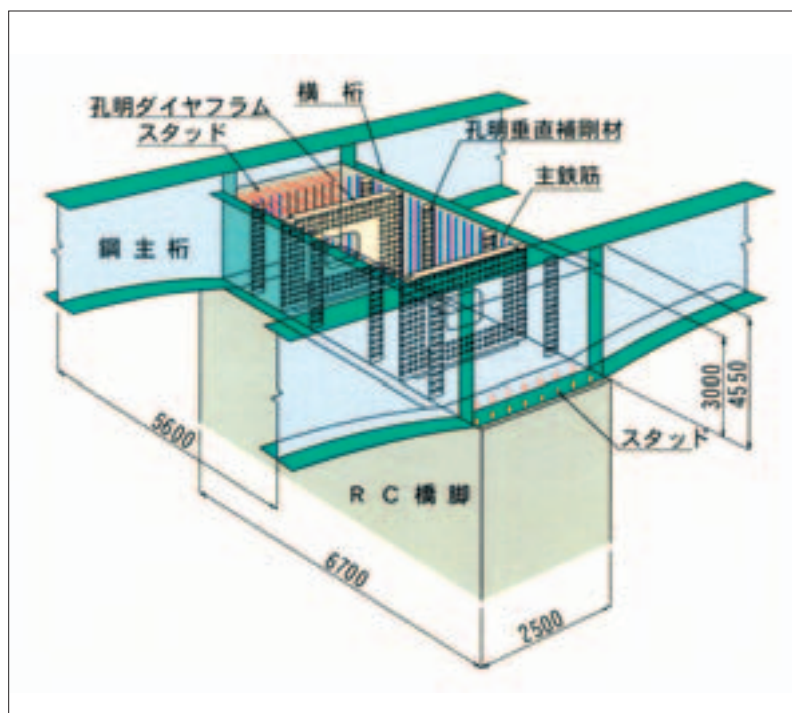


図-1 剛結構造例

3 剛結部構造

国内における複合ラーメン橋の剛結部構造の変遷を表-1に示す。

複合ラーメン橋において最も重要となる鋼桁とRC橋脚との剛結部構造については、設計手法や構造詳細に関する技術基準が確立されているとはいえず、計画橋梁ごとに解析や実験による各種検討が行われているのが現状である。

また、複合ラーメン橋は少数桁橋だけではなく、写真-2~3に示すように、箱桁とRC橋脚とを剛結する形式も可能である。

連結方式	剛結部構造図	応力伝達機構	適用例
初期の連結構造 (1991年) PC連結方式 (PC鋼棒)		鋼桁の中間支点部に箱状の鋼製横桁を設け、この横桁内にコンクリートを充填し、PC鋼棒を緊張することにより、RC橋脚と連結する。	例:阿古那橋 形式:3径間連続4主桁桁橋 支間(m):36.0+36.5+36.0 幅員(m):11.2
PC連結→RC連結への移行期 (1995年~) RC連結方式(1) (スタッドジベル)		鋼主桁により作用する断面力は、主桁下フランジおよび横桁腹板に配置したスタッドジベルから鉄筋を介してRC橋脚に伝達する。	例:伊予高架橋 形式:11径間連続4主桁桁橋 支間(m):44.25+9@50.0+44.25 幅員(m):10.4
2主桁への適用期 (2002年以降) RC連結方式(2) (孔あき鋼板ジベル)		鋼主桁により作用する断面力は、横桁腹板に配置した孔あき鋼板ジベル(垂直補剛材、ダイヤフラム)から鉄筋を介してRC橋脚に伝達する。	例:今別府川橋 形式:3径間連続2主桁桁橋 支間(m):48.2+81.5+57.2 幅員(m):9.25

表-1 国内における複合ラーメン橋の剛結構造の変遷



写真-2 横浜青葉IC



写真-3 下浜鮎川橋

4 複合ラーメン橋の架設

複合ラーメン橋の架設工法は、現場条件に合わせて種々の架設工法が採用できる。架設工法の例として図-2に示すようなTEG(トラベリングエレクションガントリー)クレーン張出し架設工法、トラベラー

クレーン張出し架設工法、トラッククレーン張出し架設工法などがある。地形条件によっては、ベント設置による架設も可能である。

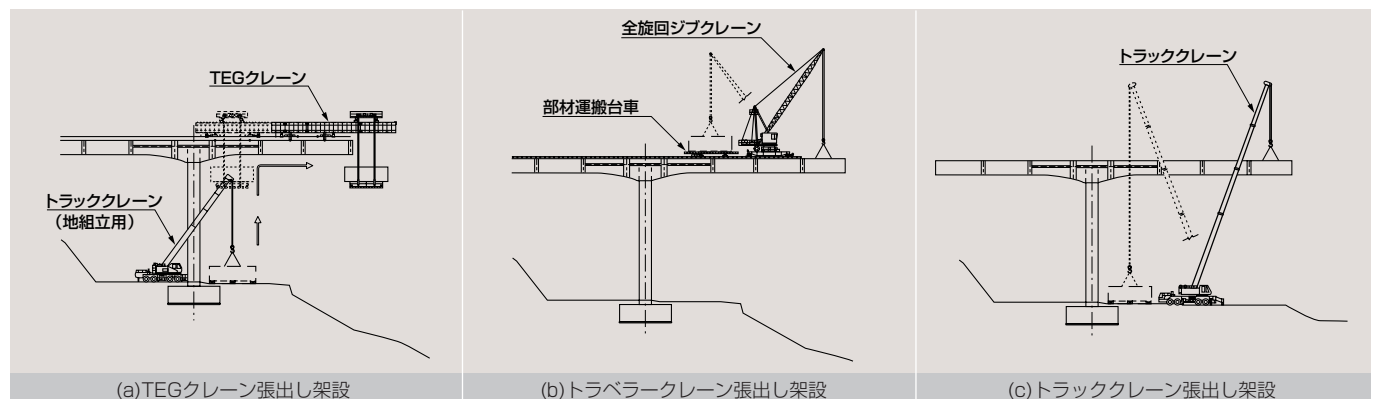


図-2 複合ラーメン橋の架設工法

5 複合ラーメン橋の実績

現在までに50橋以上の複合ラーメン橋が施工されており、図-3に示すとおり適用されている支間長は、鉸桁形式で30~70m、箱桁形式で35~90mの範囲である。また、単位鋼重は鉸桁形式が0.20~0.35t/m³、箱桁形式が0.33~0.45t/m³程度である。

1) 高月(こうづき)橋 (写真-4)

形式: 3径間連続複合ラーメン鋼2主桁橋
 橋長: 124.8m
 支間: 38.0m+47.5m+38.0m
 有効幅員: 9.3m
 床版: PC床版(場所打ち) t=300mm
 剛結部構造: RC連結構造(スタッドジベル)
 架設工法: クローラークレーンベント工法

2) 北只高架橋 (写真-5)

形式: 7径間連続複合ラーメン鋼2主桁橋
 橋長: 343m
 支間: 56.1m+57.5m+4@46.5m+41.8m
 有効幅員: 10.250m
 床版: PRC床版 t=300mm
 剛結部構造: RC連結構造(孔あき鋼板ジベル)
 架設工法: トラッククレーンベント工法

3) 今別府川橋

形式: 3径間連続複合ラーメン鋼2主桁橋
 橋長: 188.5m
 支間: 48.2m+81.5m+57.2m
 有効幅員: 9.250m
 床版: PRC床版 t=300mm
 剛結部構造: RC連結構造(孔あき鋼板ジベル)
 架設工法: TEGクレーン張出し架設工法

本橋では、橋脚周辺部のみの作業ヤードを用いて、鋼主桁の「TEGクレーン張出し架設」が実施された。(写真-6参照)

トラベリングエレクションガントリー設備を用いることにより、地形・現場条件に左右されない張出し架設工法の採用が可能となった。また、サイクルブロック架設が導入できるため、架設作業の合理化と工期短縮を図ることができる。

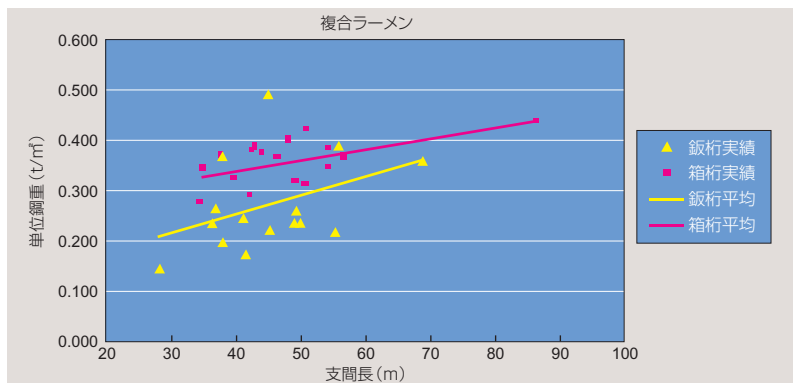


図-3 複合ラーメン橋の支間長、単位鋼重グラフ



写真-4 高月(こうづき)橋

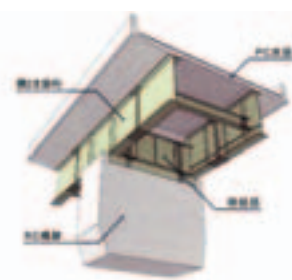


図-4 高月橋の鋼・コンクリート合成構造



写真-5 北只高架橋



写真-6 TEGクレーン張出し架設

6 二重合成複合ラーメン橋

1) 概要

二重合成複合ラーメン橋は、少数主桁複合ラーメン橋の中間支点付近の下フランジ圧縮領域において、下コンクリート床版を設置することによって、鋼桁と上下コンクリート床版を合成した二重合成構造を形成している。(図-5参照)

本形式は、中間支点付近の桁剛性を合理的に増加させているため、中間支点部の桁高および板厚を低減することが可能となる。

わが国では、箱桁橋に二重合成構造を採用した事例は鉄道橋を中心に数橋の実績があるが、少数主桁橋に二重合成構造を採用した実績はなく、現在、少数主桁複合ラーメン橋の更なる長支間化へ向けて開発が進められている。

2) 特徴

- ①二重合成I桁橋は、通常の連続合成I桁橋の中間支点領域に下コンクリート床版を設けることで、支間長を100m程度に伸ばすことが可能である。
- ②複合ラーメン橋をさらに発展させた構造形式で、二重合成部分は上・下コンクリート床版を有する箱断面となるため、ねじり剛性の増大が期待できる。
- ③連続合成桁橋の中間支点部の負曲げ領域に下コンクリート床版があるため、全橋長にわたって、鋼桁の圧縮域にコンクリート床版があり、合理的な断面構成が可能である。
- ④施工は、柱頭部からの張出し架設が可能であり、柱頭部と下コンクリート床版の打設を先行してから順次鋼桁を張り出していく。山岳部における架設作業の合理化および工期短縮を図ることができる。



図-5 二重合成複合ラーメン橋の構造

3) 確認試験

①負曲げ載荷試験

二重合成構造の力学的特性を確認するため、実験供試体による負曲げ載荷試験を実施しており、設計手法の妥当性を検証している。

②合成効果確認試験

鋼桁と下コンクリート床版との合成効果を確認するため、スタッド配置などを変化させた5種類の実験供試体を用いて合成効果確認試験(写真-7参照)を行い、構造詳細の妥当性を確認している。

③耐風安定性

二重合成複合ラーメン橋の振動特性および耐風安定性を確認するため、風洞試験(写真-8参照)を実施している。



写真-7 合成効果確認試験

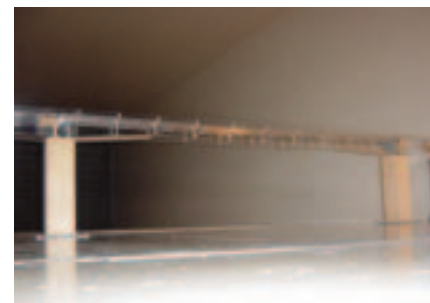


写真-8 風洞試験

第Ⅱ編 ラチストラス橋

はじめに

ラチストラス橋は、主構形式をダブルワーレン（ラチス）とすることで骨組長が短くなり、ほとんどの部材がH断面やT断面などの形鋼で構成されている。部材の省略については、床組構造は省略しているが、対傾構や横構は道示に従って設けており、部材数から言えば従来トラスと大差ない。しかし、一つ一つの部材は、両端にボルト孔を開けた直線部材であり、加工度が極めて少ないことから全体として製作費の大幅な低減が実現できている。特に、無塗装耐候性鋼材が採用できる環境であればLCCも含めて本形式の特長が最大限に生かせることとなる。

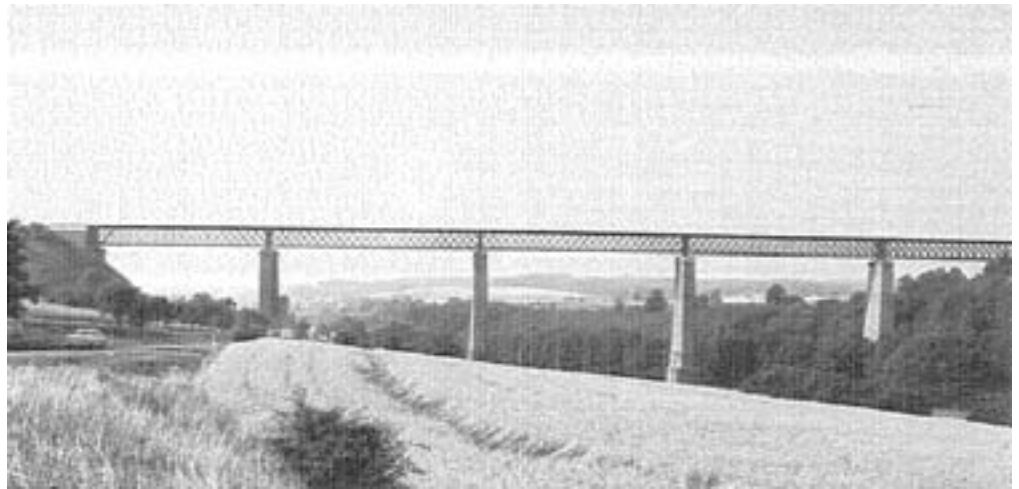


写真-9 19世紀後半に欧州で建設されたラチストラス橋 (Bridges, Fritz Leonhardt, 1982より)

19世紀後半の欧州では、鋼材ロールの制約から小断面部材を合わせたラチストラス橋が盛んに建設されたが、現代の技術を持ってリニューアルした本形式は、山岳部長大橋の合理化の有力形式となりつつある。

特徴と利点

1) ダブルワーレン（ラチス）形式の主構造

- ・座屈長が短くなるのでH形鋼などでも断面構成が可能になる
- ・格点作用力が分散化されて小さくなるので、格点構造が簡略化できる
- ・格点間隔が3m程度と小さいので、上弦材の床組作用の影響が小さくなる
- ・主構高さが一定、格点間隔が短い、自重が小さく剛性が大きいことなどから、送り出し架設や張出架設に適している

2) PC床版または合成床版との合成構造

- ・上弦材で床版を直接支持することで、床組を省略できる
- ・合成トラスとすることで鋼重の減少と剛性のアップが図れる

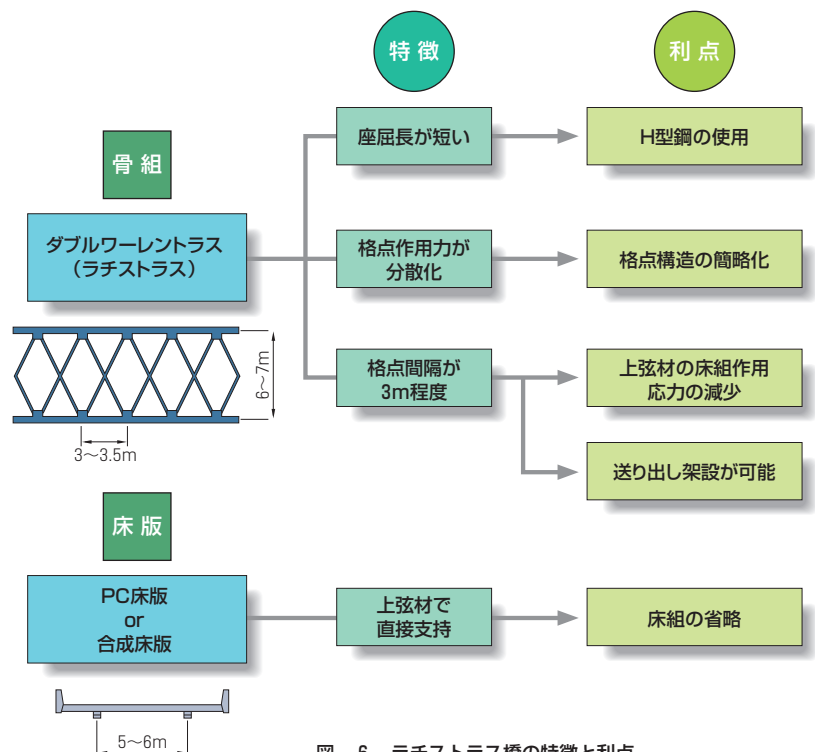


図-6 ラチストラス橋の特徴と利点

基本構造

1) 主要部材

弦材や斜材はH断面を基本とし、出来るだけ形鋼を使用している。ビルトHを採用しても鋼重減が見込めるので経済性はさほど変わらない。

2) 主構高ささと格間長

合成トラスであることから主構高さは支間長の1/13~1/15程度と低くできる。格間長は主構高さの1/2程度と短いので、弦材の床組作用や座屈に対して有利になる。

3) 床版と上弦材との結合

PC床版あるいは合成床版をH断面の上弦材で直接支持している。両者の結合は長尺のスタッドによる。

4) 格点構造

弦材と斜材とは、ガセットプレートを兼用した添接板により高力ボルトで接合する。斜材同士の交差部についても引張側斜材を分断して添接板を用いて連結している。

5) 製作キャンバーの処理

製作キャンバーは中間支点部の部材以外は、現場継手部で角折れさせて対応させている。よって、ほとんどの部材は直線部材となり、製作工数の低減が図れる。

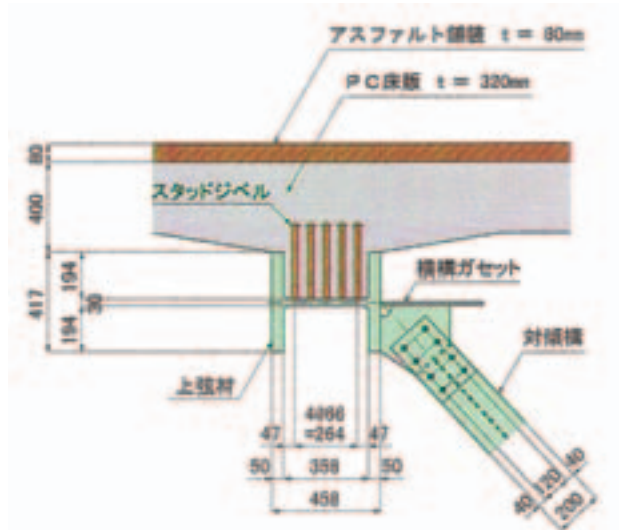


図-7 上弦材と床版との結合構造

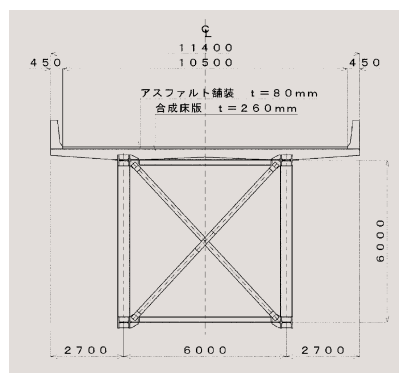


図-8 断面図

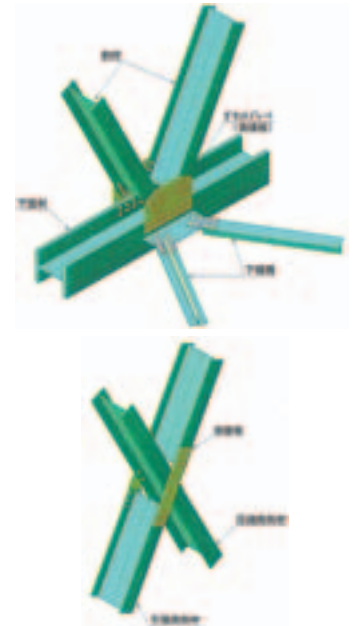


図-9 格点構造

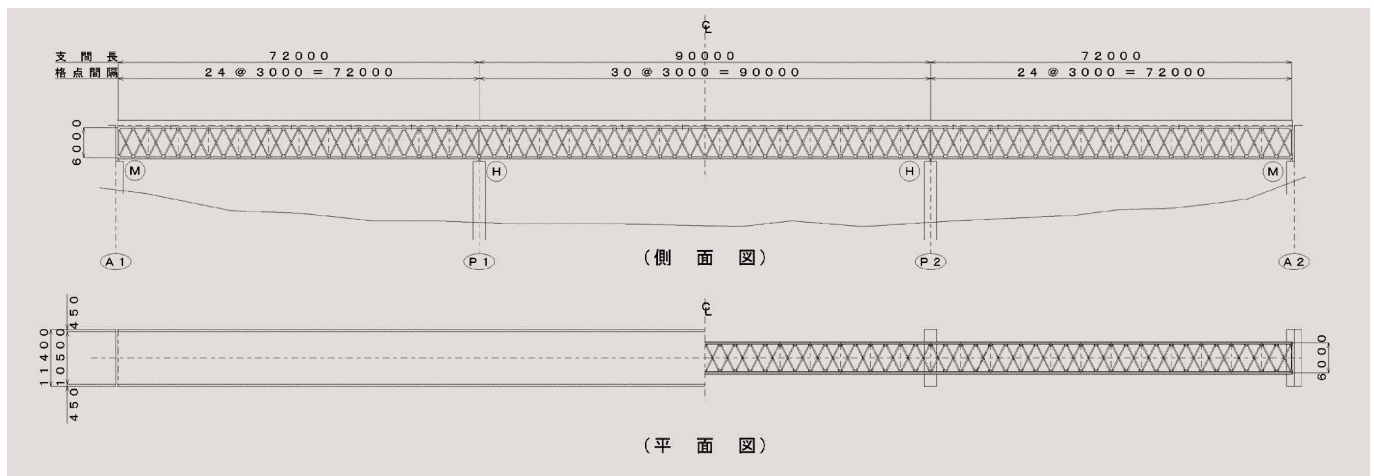


図-10 一般図

4 実験による検証

1) 合成トラスとしての全体挙動の確認

鋼部材とコンクリート床版との合成挙動を確認するために、1/3.5縮小モデルを用いて正曲げと負曲げ状態における荷重載荷試験を実施した。



写真-10 荷重載荷試験

2) 床版ずれ止めの強度特性の確認

H形鋼に長尺のスタッドを設けた特殊な結合構造であることから、実大試験体による押抜き試験を実施し、設計のための基礎資料とした。

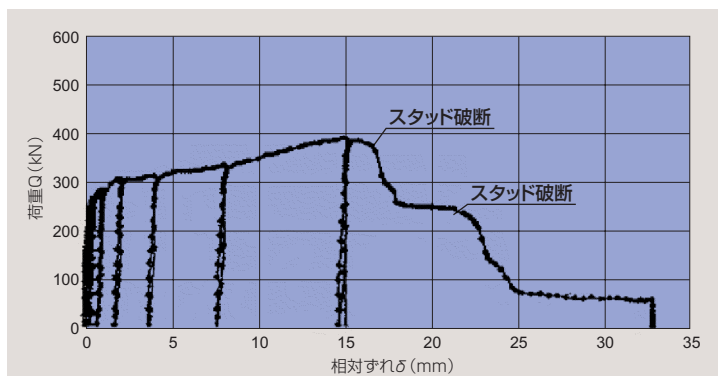


図-11 ずれ止めの荷重-相対ずれ曲線

5 ラチストラス橋の実績

1) 中日本高速道路(株)宮川橋

橋長: 537.0m

支間長: 56.25+81.5+3@90.0+70.0+57.75m

総幅員: 10.45m

完成: 平成17年11月

床版は場所打ちPC床版、中間の4橋脚とトラス主構は剛結構造となっている。

架設はベント併用のトラベラー・クレーンによる張出架設工法による。主構部材は地上で面組し、橋上を台車で運搬して面材架設した。



写真-11 宮川橋の完成写真



写真-12 宮川橋の架設時

2) 福島県・渡瀬橋

橋長: 176.6m 支間長: 46.8+80.8+46.8m

総幅員: 8.2m

完成: 平成18年8月予定

耐候性鋼材を使用した無塗装仕様で、床版は鋼・コンクリート合成床版。

架設はケーブルクレーンを用いた張出架設工法による。主構部材を橋台付近でブロック組した上で架設した。



写真-13 閉合時の渡瀬橋

6 三角断面のラチストラス橋

1) 概要

ラチストラス橋の更なる改良・合理化案として三角断面とする案が提案されている。これまでも三角断面のトラス橋の施工例があるが、下弦材の格点部分が複雑になる点や架設の困難さから成功例は少ない。今回提案する三角断面のラチストラス橋は、二面の主構をそのまま傾けて下弦材は二本のまま格点位置で剛結合したことから、これまでのラチストラス橋の合理化した構造が生かされている。

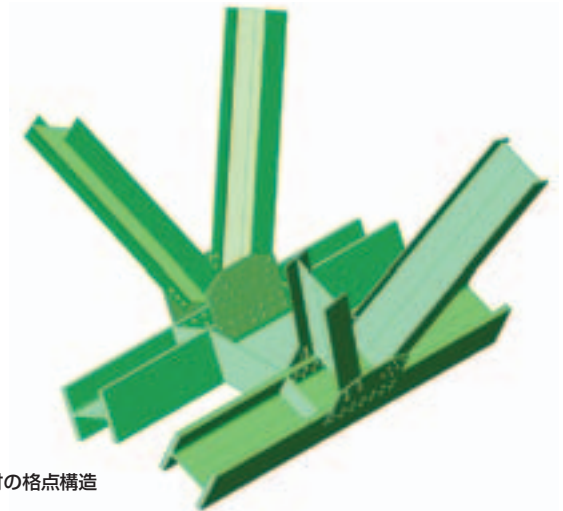


図-12 下弦材の格点構造

2) 特徴

- ・下横構や対傾構が不要となり、更なる構造の簡素化が図れる。
- ・合成床版の底鋼板を活用することで上横構も不要になる。
- ・支承条件は下弦材に1個の鉛直脊と上弦材位置に水平脊を配置。



写真-14 三角断面ラチストラス橋の外観

第Ⅲ編 合成斜張橋

はじめに

斜張橋は大きく分けて鋼斜張橋、PC斜張橋、合成（複合）斜張橋の3形式が知られている。ここで紹介する合成斜張橋は、鋼桁とコンクリート床版とを合成させた主桁を、斜めケーブルで支持した合成斜張橋という橋梁形式で、PC斜張橋に比べると死荷重を軽減でき鋼斜張橋に比べると鋼重を削減できる経済性に優れた構造である。また、合理化トラスやエクストラードーズが多く採用されている支間である100m～200mにおいても、経済性に優れていると考えられる。既に海外では数多くの建設実績があるが、日本での実績はまだほとんどないのが現状である。



写真-15 アレックス フレーザー橋

2 特徴と利点

- 1) 海外では1990年代から合成斜張橋の建設数が急増し、さらに2000年以降も特にアジア地域での建設が目立っている。
- 2) コンクリート床版を大幅に活用しているため、鋼床版桁に比べ主桁鋼重は減少する。
- 3) 構造は非常にシンプルで、部材数が少ない。
- 4) 鋼床版桁に比べ死活荷重比率が大きくなり、ケーブルの疲労に対して有利になる。
- 5) 海外の設計コンペでは、経済性と工期の面における優位性から合成斜張橋が選定されるケースが多い。



図-13 床版と床組構造

3 合成斜張橋の実績データ

1) 支間長別内訳

主径間長は年々長支間化されてはいるものの、全体でみると100m弱から600m程度のもので満遍なく建設されており、300m未満の支間が半数を占めている。中国では、多々羅大橋（鋼斜張橋）のスパン890mに匹敵するスパン850mの合成斜張橋が計画されている。

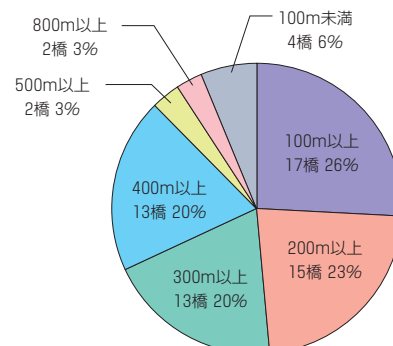


図-14 支間長別内訳（計66橋）

2) 主桁形式

コンクリート部を圧縮部材として考慮しているため、経済性における利点から、I桁を配置したエッジガーダー形式が採用される例が多い。

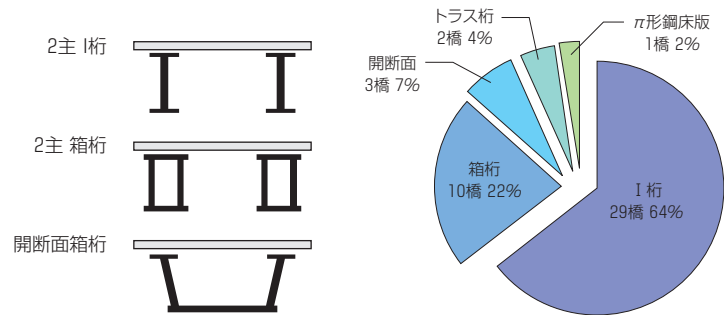


図-15 主桁形式 (データ数 45橋)

3) 鋼重と支間長の関係

単位面積当たりの鋼重はI桁形式の場合、支間長に関わらず0.25t/m²程度の実績が多い。

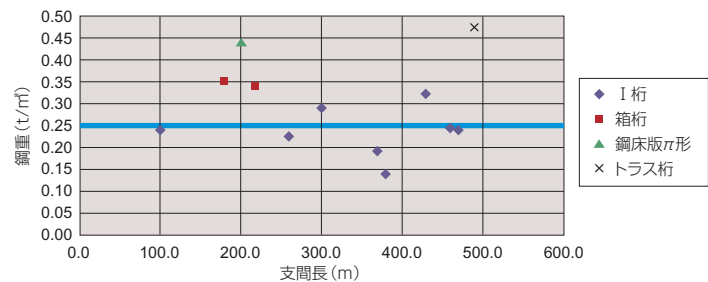


図-16 鋼重と支間長の関係 (データ数 12橋)

4) 桁高と支間長

桁高は支間長に関わらず、2.0m程度の実績が多い。

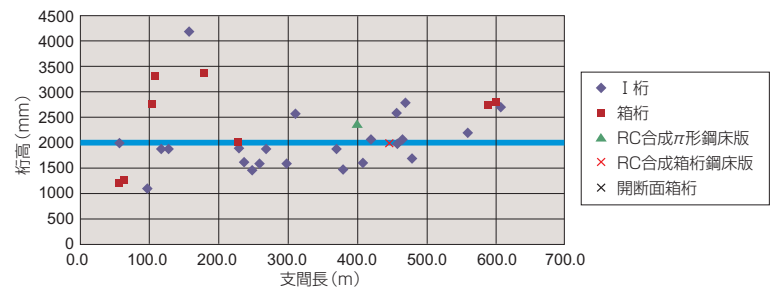


図-17 桁高と支間長 (トラス除く)

5) 完成年

海外では1990年代から建設件数が急増し、さらに2000年以降も特にアジア地域での建設が目立つ。

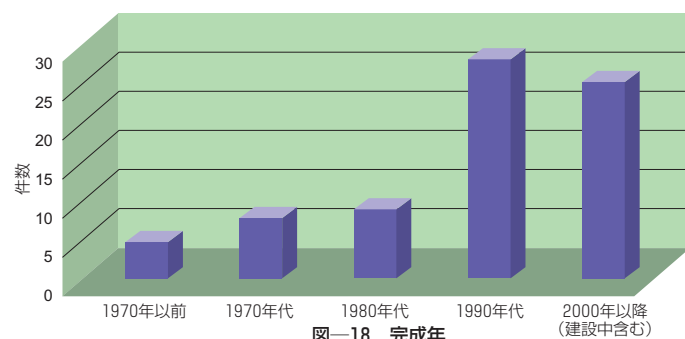


図-18 完成年

6) 地域別

地域別の件数で見ると、アジア、ヨーロッパ、北中米でほぼ同数ずつの件数となり世界中で幅広く建設されている。

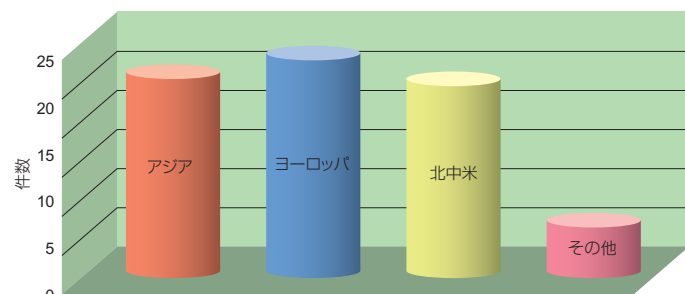


図-19 地域

4 構造

1) 一般形状

概略試設計を実施した一例を図-20に示す。下图の条件で試算した結果、桁高は2.3m、平米鋼重は0.33t/m²となり、経済的に優れた形式であることがわかる。

試設計で行った合成斜張橋の標準部の断面を図-21に示す。2主桁のエッジガーダー形式としており、床版部は合成床版を適用した形にて検討した。

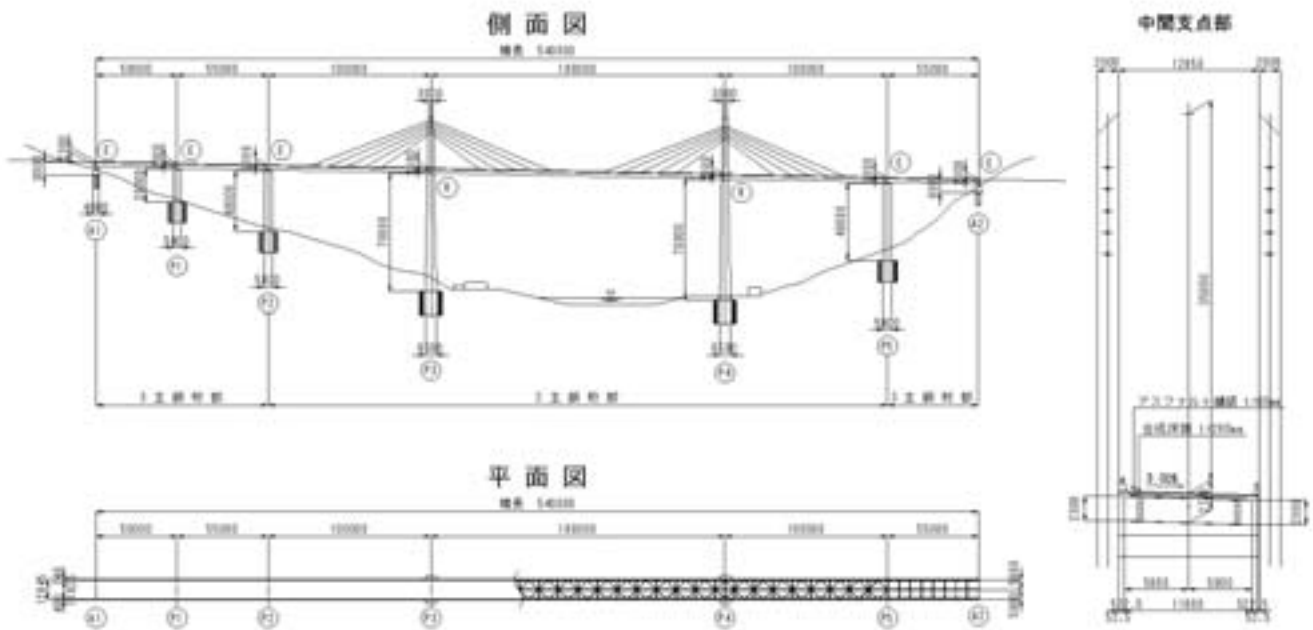


図-20 一般図



図-21 断面図

2) 定着構造

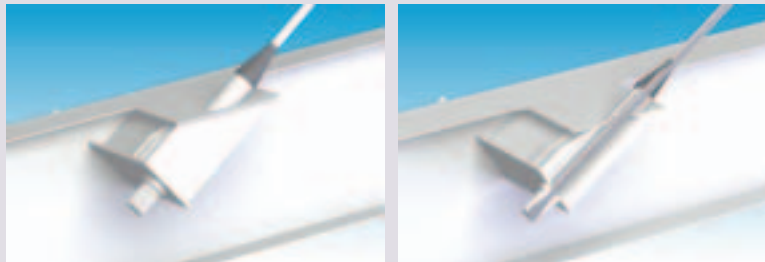
合成斜張橋では主桁構造がほとんどの場合、経済性を考慮して I 桁が採用されていることから、ケーブルの定着構造としては、その I 桁との取付け構造をどのように設計するかが重要な課題となる。

ケーブル張力を定着構造から横桁等を介して主桁に伝達し、主桁はコンクリート床版と合成されているため、床版でもケーブル張力による軸力を分担することとなる。その際、定着構造の位置や方向によって3次元的な応力伝達の検討が必要となる。これまでもさまざまな構造が採用されており、その定着構造（I 桁における）を大きく分けると、横軸直角方向の取付け位置によって、下記の4種類のタイプに分類できる。

- ①主桁外側に張出し梁を設置しケーブルを定着する構造
- ②主桁腹板の外側面に定着する構造
- ③主桁上面に定着する構造
- ④主桁内側に定着する構造

上記の定着構造の中でも採用実績の多い①と③のタイプについてイメージ図を下図に示す。

①主桁外側に張出し梁を設置しケーブルを定着する構造



③主桁上面に定着する構造



図-22 定着構造

5 施工例



カルナリ川橋



フェローブリッジ



ラバト橋



楊浦大橋
写真-16



南浦大橋



銚子大橋(施工中)

新しい長支間橋梁

初版発行 2005年12月

発行人 野田 清人

発行所  社団法人 日本橋梁建設協会

〒104-0061 東京都中央区銀座2-2-18

鉄骨橋梁会館1階

TEL.03 (3561) 5225 FAX.03 (3561) 5235

<http://www.jasbc.or.jp/>