

連続合成桁橋およびずれ止め構造の現状と課題

The State of the Arts and Problems for the Design and Construction of the Continuous Composite Girder Bridge and Shear Connectors

大山 理*, 蝦名貴之**, 矢戸康彦***, 嶋田昇一****

Osamu OHYAMA, Takayuki EBINA, Yasuhiko SHISHIDO and Shoichi SHIMADA

*博士(工学) 片山ストラテック(株) 技術本部橋梁設計部橋梁設計一課 (〒552-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21)

**ドービー建設工業(株) 本社技術センター (〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6)

***住友重機械工業(株) 鉄構・機器事業本部 技術開発部 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-10-8)

****東綱橋梁(株) 生産部設計課 (〒329-0502 栃木県下都賀郡石橋町下古山 143)

A bridge type consisting of a few number of the main steel girders and durable deck slab, i.e. pre-stressed concrete slab or composite slab, has been gotten into the limelight by their advantages for economy and durability. This paper directs a spotlight on to the continuous composite girder bridges, which are more rational system than simple span bridges and shear connectors, which are the key elements of the connection between main girder and deck slab. Pre-stressing for deck slab in longitudinal direction at the intermediate bearing supports, stiffening and thinning of the web plates, and comparison of the design method of the various specifications for continuous composite girder bridge, etc. are surveyed and evaluated.

Key Words: continuous composite girder bridge, shear connector, design rules, design method

1. はじめに

プレストレストコンクリート床版(以下、PC床版という)や合成床版といった従来の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版という)に比べ耐久性が高く、かつ床版支間長の長大化に対応できる床版の研究・開発に伴い、鋼橋では主桁本数を削減するなどした合理化とこれらの高耐久性床版とを組み合わせた形式が脚光を浴びてきている^{1),2)}。

また、耐久性の高い床版を構造部材として有効に活用することで、更なるコスト削減を図ることを目的に、このような橋梁形式を適用した連続合成桁橋が復活する動きも出てきている^{3)~7)}。

このような流れの中で、土木学会 鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会 第3分科会(構造設計分科会)では、床版の構造、連続合成桁橋、床版の解析、ずれ止め構造に着目する4つのWGを立ち上げ、各々のテーマについて現状の分析と問題点の抽出を行った上で、これらの課題に対する調査研究を進めているところである。

本論文では、上記分科会活動の中間報告という位置付けで、連続合成桁橋ならびにずれ止め構造に着目して行った1998年から2002年までの文献調査、実橋調査、担当者のヒアリング、ならびに連続合成桁橋、ずれ止め構造に関する既往の規準類の収集と調査を行っ

た成果と、これらを通じて浮かび上がってきた今後の課題について報告する。まず、連続合成桁橋およびずれ止め構造に関する設計規準類について文献調査を行った成果を表-1に示す。

ここで、表-1における主な特徴をまとめると、以下のとおりであり、各公団公社において、より合理的な設計手法を模索する取り組みが行われてきている。

- ① 床版作用と主桁作用の重ね合わせを照査する場合、日本道路公団関西支社および静岡建設局は、現行の道路橋示方書・同解説⁸⁾(以下、道示という)と異なり、L荷重の60%とT荷重を重ね合わせ、かつ許容応力度の割り増しは行わないこととしている。
- ② ひび割れ幅を算出する場合、日本橋梁建設協会を除いて、コンクリート標準示方書式⁹⁾を適用している。ただし、日本道路公団関西支社のみ、ひび割れ発生後、ひびわれを起こしていないコンクリート部分が部材の剛性に寄与するテンションスティフニング効果を考慮している。
- ③ ずれ止めの許容せん断力を算出する場合、日本道路公団関西支社のみ、土木学会鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物¹⁰⁾に準拠している。

表-1 連続合成桁橋の設計規準類の調査結果一覧表

| 項目 | 日本橋梁建設協会 | 日本道路公団 (関西支社) | 日本道路公団 (静岡建設局) | 名古屋高速 道路公社 | 福岡北九州 高速道路公社 | | | | | | |
|-------------------------|--|---|---|---|--|----|------------|-----------|--------------------|---------|-----------------------------|
| 出典 | PC床版を有する プレストレスしない 連続合成2主桁橋の 設計例と解説 ³⁾ | PC床版を有する 鋼連続合成2主桁 橋の設計法 ^{11)~13)} | 長支間場所打ちPC 床版の設計・施工 マニュアル ^{14),15)} | 鋼構造物 設計要領(案) ¹⁶⁾ | 都市内高速道路 における合理化 橋梁 ⁷⁾ | | | | | | |
| 適用床版支間長 | 6m | 6m(標準) | 10m(標準) | 3.3m | 6m | | | | | | |
| 中間支点部の 照査項目 | 各荷重ケースに対し て、鉄筋応力度で照査 | <table border="1"> <tr> <th>荷重ケース</th> <th>制限</th> </tr> <tr> <td>D+PS+CR+SH</td> <td>ひび割れを許さない</td> </tr> <tr> <td>D+PS+CR+SH+(T)+(L)</td> <td>ひび割れ幅制限</td> </tr> </table> <p>D:死荷重, PS:プレストレス, CR:クリップ, SH:乾燥収縮, T:温度差, L:活荷重</p> | | | 荷重ケース | 制限 | D+PS+CR+SH | ひび割れを許さない | D+PS+CR+SH+(T)+(L) | ひび割れ幅制限 | 各荷重ケースに 対して、鉄筋 応力度で照査 |
| 荷重ケース | 制限 | | | | | | | | | | |
| D+PS+CR+SH | ひび割れを許さない | | | | | | | | | | |
| D+PS+CR+SH+(T)+(L) | ひび割れ幅制限 | | | | | | | | | | |
| 床版作用と 主桁作用の 重ね合わせ | 道示Ⅱ11.2.5による | 床版作用と重ね合わせを行う場合は活荷 重による主桁作用には活荷重を0.6×L 荷重に低減し、許容応力度の割増しは考 慮しない。 | | 道示Ⅱ11.2.5による | | | | | | | |
| 許容 ひび割れ幅 w_a | 鋼材の腐食に対する 環境条件により規定 ただし最大許容値は 0.2mm | $w_a = 0.0035C$ [mm] C:ひび割れに抵抗す る鉄筋の純かぶり、 ただし最大許容値 は0.2mm | 床版上面:0.0035C [mm] 床版下面:0.005C [mm] | $w_a = 0.005C$ [mm] ただし最大許容値 は0.2mm | 最大許容値 0.2mm | | | | | | |
| ひびわれ幅の 算定式 | Hanswille 式 | コンクリート標準示方書式を採用。 ただし、関西支社は、テンションスティフニングの影響を考慮。 | | | ユーロコード (ひび割れ制御設計) | | | | | | |
| 最小鉄筋量 | 道示Ⅱ11.2.3による 中間支点部:2%以上 | 中間支点部:2%以上 支間部:1%程度 | 中間支点部:2%以上 支間部:1.4%以上 | 道示Ⅱ11.2.3による 中間支点部:2%以上 | | | | | | | |
| ずれ止めの 標準構造 | スタッド | | | | | | | | | | |
| ずれ止めの 許容せん断力 | 道示Ⅱ11.5.5による | 鋼構造物設計指針 Part Bに準ずる | 道示Ⅱ11.5.5による | | | | | | | | |

2. 連続合成桁橋の現状

2.1 わが国における連続合成桁橋の変遷

合成桁橋は1940年にドイツで開発された。わが国でも1952年に合成桁橋に関する研究が始められ、1953年に神崎橋(大阪府)、1954年に代田橋(東京都)が建設された。1959年には「鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針」が日本道路協会より刊行され、以降、主に鋼材を節約する観点から多数の合成桁橋が建設されるようになった。

1960年代には、連続合成桁橋の中間支点付近に発生する主桁作用による負の曲げモーメントによってコンクリート床版に生じる橋軸方向引張応力を低減するために、中間支点の上昇・下降(ジャッキアップダウン)や、PC鋼材を用いて中間支点部の床版に橋軸方向プレストレスを導入する、いわゆるプレストレスする連続合成桁橋が建設されるようになり、1965年には道路橋示方書にプレストレスする連続合成桁橋に関する規定が追加されるに至った。

しかしながら、プレストレスの導入は設計および施工が煩雑で工期が長くなるなどの短所があり、必ずしも有利な方式とはならなかった。そこで、このような問題を改善するために、プレストレスしない連続合成桁橋に関する研究が進められるようになり、1973年の道示改訂に反映された。これ以降、連続合成桁橋としては、主にこのプレストレスしない連続合成桁橋を指すようになった。

一方、1970年代より鋼橋で最も一般的に用いられていたRC床版の損傷事例が多発したことから、合成桁橋の採用が見合わされるようになり、わが国独自の考え方である連続非合成桁橋という構造形式が主流をなすようになった。

1990年代に入ると、このようなRC床版の損傷原因を解明する研究¹⁷⁾が進むと同時に、ライフサイクルコストの概念が導入され、RC床版よりも格段に耐久性の高い床版として、橋軸直角方向にプレストレスを導入したPC床版や合成床版が登場するに至った。これ

らの床版は RC 床版よりも長い床版支間長に対応できるため、鋼 2 主桁橋、鋼少数主桁橋、あるいは開断面箱桁橋といった合理化桁と組み合わせ用いられるようになったが、これらの形式も当初は連続非合成桁橋としてスタートした。

その後、スラブアンカー等を用いた連続非合成桁橋も実際は連続合成桁橋としての挙動を示すことが明らかとなり¹⁸⁾、また公共事業におけるコスト削減の要求が極めて強くなったこともあって、再び、連続合成桁橋が脚光を浴びるようになってきた。当分科会で調査した限り、ここ 5 年程の間にわが国で建設された連続合成桁橋は、日本道路公団を中心として約 20 橋にも及んでおり、昨今では連続合成桁橋採用の機運がより盛んになってきている。

2.2 連続合成桁橋に用いられる床版形式

現在、鋼橋に用いられている耐久性の高い床版の代表例は PC 床版である。PC 床版の種類をその施工法から分類すると、場所打ち PC 床版とプレキャスト PC 床版に区別されるが、連続合成桁橋に適用しやすいのは場所打ち PC 床版である。しかしながら、場所打ち PC 床版には乾燥収縮やクリープの影響と、現場工期が長くなることに注意が必要である。

これに対してプレキャスト PC 床版は、工場製品であることから品質が安定しており、乾燥収縮やクリープの影響も少なく、現場工期の短縮も可能である。しかしながら、鋼桁との接合部の構造的条件より、ずれ止めの配置本数が制限されるため、連続合成桁橋に採用されるケースは稀である。

場所打ちとプレキャストの利点を併せ持つハーフプレハブ PC 床版¹⁹⁾の開発も進められているが、これも連続合成桁橋での採用事例は稀である。

一方、合成床版は連続合成桁橋への採用を前提にマニュアル²⁰⁾の改訂が行われるに至り、今後、連続合成桁橋への採用事例が増加するものと思われる。

2.3 連続合成桁橋の中間支点部の対応

2.1 で述べたとおり、近年のわが国において、工費削減という観点からプレストレスしない連続合成桁橋に期待が寄せられている。しかし、負の曲げモーメントにより発生する引張応力に対して、コンクリート床版の耐久性を確保するという観点から、死荷重作用時にコンクリート床版にひび割れを発生させないような設計手法を導入する気運にもある。その代表的な手法として、図-1 に示す逐次ジャッキアップダウンによるプレストレス導入工法が挙げられる⁵⁾。また、施工時における温度応力などを考慮し、カウンターウェイトを併用することで、コンクリート床版施工時において一時的にコンクリート床版に発生する引張応力を 1.0N/mm^2 以下に抑える工法を採用する例もある⁶⁾。

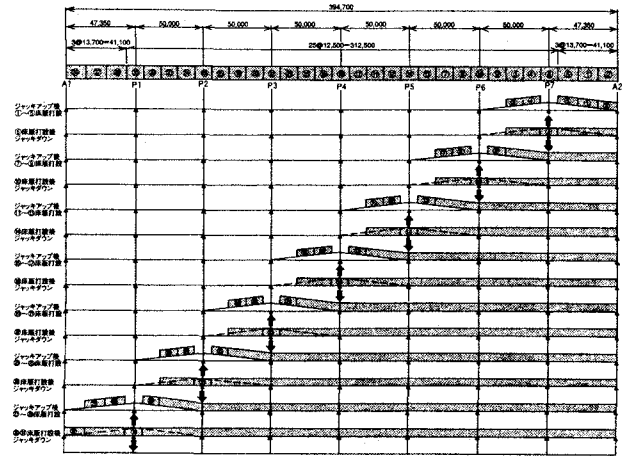
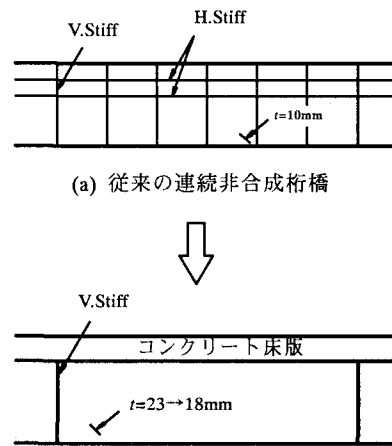


図-1 逐次ジャッキアップダウン工法⁵⁾

2.4 鋼桁の補剛設計

連続合成桁橋の場合、床版が鋼桁と合成した後に作用する後死荷重や活荷重に対して、合成断面としての中立軸が鋼桁の上フランジ近傍に位置することとなる。このため、従来の連続非合成桁橋で配置してきた主桁作用による曲げモーメントが正となる部分の上段の水平補剛材を省略できる可能性がある。

さらに、アスペクト比を 3.0 程度まで許容することで、図-2 に示すような垂直補剛材の削減や腹板の板厚を薄くする、いわゆる薄肉少補剛設計を採用した事例もある^{4),12)}。



(b) 薄肉少補剛設計を採用した連続合成桁橋

図-2 少補剛設計法

文献 21), 22)によれば、I 形断面の降伏限界幅厚比は、フランジと腹板の相互拘束効果が顕著に現れることが示されている。したがって、図-3 より、圧縮フランジの幅厚比パラメータ R_f が小さくなると、腹板の幅厚比パラメータ R_w を大きく(腹板を薄く)することができる。ここで、フランジと腹板の幅厚比パラメータを式(1)に示す。

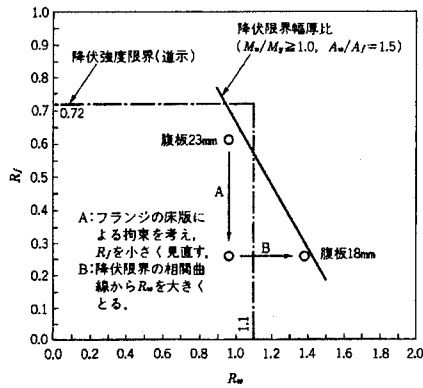


図-3 降伏限界幅厚比

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad (1)$$

- ここに、 σ_y : 降伏点
 σ_{cr} : 弾性座屈応力
 b : フランジの突出幅 (R_f の場合)
 腹板高 (R_w の場合)
 t : 板厚
 k : 座屈係数
 E : ヤング係数
 ν : ポアソン比

少数主桁橋では、従来の多主桁橋に比べて厚板フランジの採用が余儀なくされ、圧縮フランジの断面が大きくなる傾向にあることに加え、合成桁橋の支間中央部の圧縮フランジはコンクリート床版による拘束効果を期待でき、より大きな座屈係数 k が採用できる。

このような水平補剛材や垂直補剛材の省略は鋼桁の工場製作の合理化・省力化にとどまらず、小型材片の削減による建設初期コストならびに塗り替え塗装面積の削減に繋がり、ライフサイクルコスト縮減に大きく寄与するため、今後も採用事例が増えることと思われる。

3. ずれ止め構造の現状

鋼・コンクリート複合構造および混合構造が注目される中、道路橋においても様々な形状で鋼とコンクリートとを接合する方法が要求され、それらの用途に合ったずれ止めの研究・開発が行われてきている。本章では、それらの内、合成桁橋に用いられているずれ止めおよび波形鋼板ウェブ PC 橋の接合方法について紹介する。

3.1 合成桁橋のずれ止め

わが国の合成桁橋のずれ止めは、主に頭付きスタッド（以下、スタッドという）が用いられている。スタ

表-2 各国のずれ止めの設計

| 日本 (道示Ⅱ 11.5.5) ⁸⁾ 2002年3月 | |
|---|--------------------|
| スタッドの許容せん断力 Q_a | |
| $Q_a = 9.4d^2\sqrt{\sigma_{ck}}$ | ($H/d \geq 5.5$) |
| $Q_a = 1.72dH\sqrt{\sigma_{ck}}$ | ($H/d < 5.5$) |
| H : スタッドの高さ(mm), d : スタッドの直径(mm) σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²) | |
| 日本(鋼構造設計指針 Part B) ¹⁰⁾ 1997年9月 | |
| スタッドの水平せん断強度 Q_u | |
| $Q_u = 41.1d^2\sqrt{\sigma_{ck}}$ | ($H/d \geq 5.5$) |
| $Q_u = 7.59dH\sqrt{\sigma_{ck}}$ | ($H/d < 5.5$) |
| スタッドのずれ限界強度 $Q_c = 0.5Q_u$ H : スタッドの高さ(mm), d : スタッドの直径(mm) σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²) | |
| ヨーロッパ (Eurocode) ²³⁾ 1997年10月 | |
| スタッドの終局限界状態における設計せん断耐力 P_{RD} | |
| $P_{RD} = 0.8f_u \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) / \gamma_V$ | |
| $P_{RD} = 0.29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} / \gamma_V$ | |
| f_u : スタッドに用いられる材料の特性終局引張強度 (500N/mm ² 未満), f_{ck} : 材齢を考慮したコンクリートの特性試験強度(円柱強度 N/mm ²), E_{cm} : コンクリートの割線弾性係数の公称値(N/mm ²) | |
| α : $3.0 \leq H/d \leq 4.0$ のとき $\alpha = 0.2\{(H/d)+1\}$ $H/d > 4.0$ のとき $\alpha = 1$ | |
| γ_V : 疲労を除く終局限界状態に対しては 1.25 と定められる部分安全係数、使用限界状態でのスタッドの照査は、 $0.6P_{RK}$ (P_{RK} : $\alpha = 1$ として P_{RD} の式より算出)を超えないように設計する。 | |

ッドは、1950年米国イリノイ大学の Viest らの研究により、スタッドのずれ止めとしての信頼性が確認され、施工性・経済性に優れていることより、国内外で広く用いられている。スタッドは、合成桁橋だけでなく鋼とコンクリートを合成するずれ止めとして、土木・建築を問わず合成構造物に広く使用されている。

日本では、表-1に示すように、合成桁橋に用いるずれ止めのほとんどが、道示に規定されているスタッドの許容せん断力⁸⁾により設計されている。日本を除く主要国では、許容応力度設計法から荷重係数設計法あるいは限界状態設計法に移行しており、静的強度、疲労強度、さらに引抜力に対する制限値が規定されている。

現状における日本、ヨーロッパにおけるスタッドの設計値を表-2に示す。土木学会鋼構造物設計指針 Part

B 合成構造物¹⁰⁾を SI 単位系に変換した強度評価式も同表に示している。表-2 に示した設計値とコンクリート強度との関係を図-4 に示す。ここでは、スタッドの高さ $H=150\text{mm}$ 、直径 $d=22\text{mm}$ 、コンクリートのヤング係数 $E_c=30\text{kN/mm}^2$ とした。

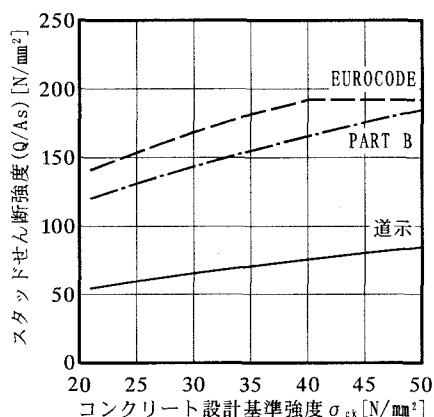


図-4 コンクリート強度とずれ止めの設計値との関係

図-4 より、わが国の許容せん断力を用いた設計法では、スタッドの安全率を大幅に確保していることになる。これは、ずれ止めの許容せん断力の値は、破壊に対して6倍の安全率をもつためである⁸⁾。したがって、道示の設計では、スタッドの本数は、ヨーロッパの標準で設計された本数よりもはるかに多くなり、不経済な設計となる。特に少数主桁橋では、主桁本数が少なくなるほど主桁一本に作用する水平せん断力が大きくなるため、その傾向が大きくなる。

3.2 波形鋼板ウェブ PC 橋に用いられる接合方法

近年、高品質を維持しながら、コスト縮減、施工の省力化、部材の軽量化を図ることを目的とした研究が盛んに行われている。このような状況の中で、従来の PC 箱桁橋のウェブを波形鋼板に置き換えた波形鋼板ウェブ PC 橋が注目されている。この構造形式のオリジナルはフランスであるが、わが国においてもこの技術を導入し、日本道路公団を中心に施工実績を増やしている。

その採用される主な理由は、ウェブを波形鋼板に置き換えることにより従来の PC 橋よりも 20%程度の重量低減を図ることが可能となる。波形鋼板ウェブ PC 橋の床版と波形鋼板の接合方法においては、様々な研究が行われているが、現状ではスタッドおよびアングルジベル方式が多く採用されているようである。

現状における接合方法の代表例と構造特性を表-3 に紹介する²⁴⁾。

4. 今後の課題

連続合成桁橋、ならびにずれ止め構造に関する今後の課題としては、以下のような項目が挙げられる。

4.1 連続合成桁橋

(1) 連続合成桁橋に適用する床版形式の拡充

後述のずれ止めとも関連するが、わが国の連続合成桁橋の施工事例はその床版形式を場所打ち PC 床版としているものが多く、最近になって合成床版の施工事例が出てきたところである。

連続合成桁橋をより普及させるためには、多様な床版形式を適用可能とすべきであり、プレキャスト PC 床版、ハーフプレハブ PC 床版、あるいは RC 床版などについても連続合成桁橋が適用できるようになることが望ましい。

(2) 施工時を含めた床版の橋軸方向の設計

施工時の床版に有害なひび割れを発生させる要因として、温度応力、ならびに主桁作用に起因して床版に作用する引張応力などが考えられる。温度応力の大部分が、床版施工完了後も残存する。一方、床版と鋼桁の温度差、あるいは乾燥収縮などについては、床版施工時よりすでに発生している。現時点において、上記の項目を考慮して床版の施工時から供用開始後までの設計あるいは照査を系統立てて行っている例はないと思われる。この点については、今後の研究の進展を期待したい。なお、この際のキーワードは、「連続合成桁橋としての鋼桁の設計から、連続合成桁橋としての床版の設計への移行」ということになるのではないかとと思われる。

また、中間支点部の負曲げモーメントへの対応としてわが国では近年その実績が増えてきているジャッキアップダウン工法が、ヨーロッパではすでに行われないうと同じ道を、わが国もたどるのかどうかも興味深いところである。

(3) 場所打ち PC 床版における有害なひび割れの定義

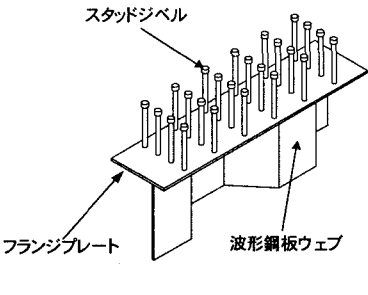
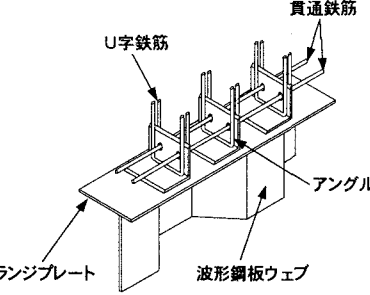
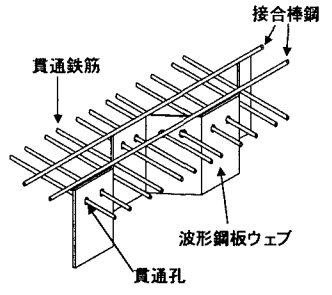
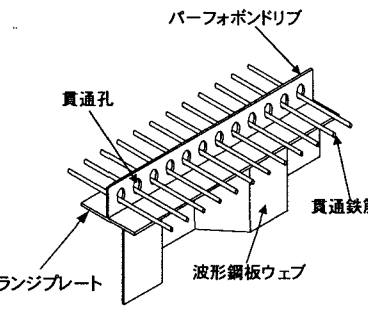
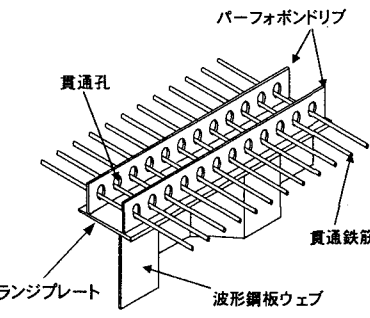
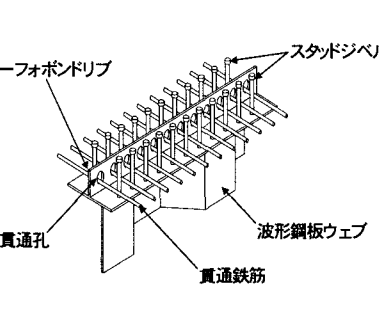
場所打ち PC 床版において、施工時の床版にその耐久性に重大な影響を及ぼす有害なひび割れを発生させることは許されない。しかしながら、床版の耐久性に特に影響を及ぼさないようなごく軽微なひび割れであってもこれを許さないとするのは、工学的にも、施工的にも、経済的にも問題であると思われる。現時点において、このような有害なひび割れと有害ではないひび割れの定義は必ずしも明確になっておらず、非常に重要な今後の検討課題と考えられる。

4.2 ずれ止め構造

(1) スタッドの許容せん断力

4.1 で述べた項目を実現する際のポイントがスタッドの許容せん断力の見直しであろう。本文でも述べたように、わが国の規定は欧州と比較して安全率が大きい。さらに、現行規準のベースとなっている実験結果も古いデータである。

表-3 現状におけるわが国の波形鋼板ウェブ PC 橋の接合方法

| | | | |
|-------|--|--|---|
| 接合タイプ | <p>1.スタッドジベル</p>  | <p>2.アングルジベル</p>  | <p>3.埋め込み接合</p>  |
| | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 一般的な接合方法であり最も実績が多い。 柔ジベルの挙動を示し、ずれ量は大きくなる。 首振りモーメントに対する耐疲労が不明確である。 スタッド本数分の、溶植回数が必要である。 上床版鉄筋の配置は容易である。 | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 柔ジベルの挙動を示し、ずれ量が多い。 フランジプレートにアングルを全面溶接するため、初期不整・初期応力が懸念される。 首振りモーメントには、貫通鉄筋もしくはU字筋で抵抗する。 フランジプレートにアングルを全面溶接するため、溶接延長が長くなる。溶接方向も2方向となる。 | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 折り曲げられた波形鋼板の間のコンクリートが直接ずれせん断に抵抗する。また、異形棒鋼と貫通鉄筋が拘束効果を与え、せん断抵抗性能を助長する。 波形鋼板を直接埋め込むため、界面から結露水等の進入による腐食が懸念される。 フランジプレートを用いないため、溶接延長が短く経済的である。 |
| 接合タイプ | <p>4.パーフォボンドリブ</p>  | <p>5.ツインパーフォボンドリブ</p>  | <p>6.パーフォボンドリブ+スタッド</p>  |
| | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼板に開けた孔の内部に充填されたコンクリートが、2つのせん断面を有するジベルとしてせん断力に抵抗する。 剛ジベルの挙動を示し、ずれ量は小さい。 フランジプレートに孔あきプレートを溶接する必要がある。 | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼板に開けた孔の内部に充填されたコンクリートが、2つのせん断面を有するジベルとしてせん断力に抵抗する。 剛ジベルの挙動を示し、ずれ量は小さい。 首振りモーメントは2枚のパーフォボンドリブと貫通鉄筋が抵抗する。 | <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 水平せん断力に対しては、基本的にパーフォボンドリブで抵抗するとして設計する。 首振りモーメントはスタッドジベルが抵抗する。 剛ジベルの挙動を示し、ずれ量は小さい。 |

(2) ずれ止めの設計法の見直し

ずれ止めに作用する応力は、橋軸方向の水平せん断力のみならず橋軸直角方向の水平せん断力、鉛直方向力、場合によっては曲げモーメントも考えられる。横構を省略したり、床版の張出し長が長くなったりと、現行のずれ止め設計思想の前提条件が崩れつつある今、これらの力を考慮したずれ止めの設計方法の再構築が求められてくる可能性もある。

また、ずれ止めの設計に関する研究を進める際に

床版と鋼桁との付着の取扱いが大きな問題となる。ずれ止めが負担する水平せん断力を小さくしようとすれば、この付着に期待する方法も考えられるが、50年、100年という付着の長期的な信頼性については未だ解明されていないのが現状である。

ずれ止めの解析においては、コンクリート床版と鋼桁との付着の影響を考慮したずれ止めの解析²⁵⁾など、種々の解析が行われている。しかし、コンクリート床版と鋼桁とのずれを完全に再現できていな

いのが現状である。そのため、モデル化を含めた解析方法について検討する必要がある。

ずれ止めの配置については、場所打ち PC 床版において、中間横桁位置の床版下面のひび割れ、あるいは床版と鋼桁上フランジとの隙間を予防するために、同部のずれ止め配置を見直す提案がなされている^{12),13)}が、このようなことを含めて、構造細目的な規定を設ける必要性も感じられる。

その他にも、鋼 2 主桁橋においては、床版厚が従来の多主桁橋のものよりも厚くなる。そのため、スタッドを長尺にする必要があると考えられるが、それらの規準についても、現状において、スタッドの長さに関する規定は必ずしも明確になっておらず、ヨーロッパで見受けられるスタッド高さを変化させる構造なども含めて、スタッドの高さに関する研究も望まれる。

(3) ずれ止め構造に要求される性能の多様化への対応

合成桁橋にプレキャスト PC 床版を採用する場合に、ずれ止めの配置の制限を考慮し、ずれ止めのせん断力を向上させるために、スタッドの強度を増加させた高強度スタッド²⁶⁾や、根元部の断面を大きくした変断面スタッド²⁷⁾が開発されている。また、中間支点付近の負曲げ域における床版の引張力を緩和させるずれ止めとして、スタッドをより柔にすることを考え根元部にウレタンを取付けたスタッド²⁸⁾が開発されている。さらに、PC 緊張時などへの干渉を抑えるために、初期のずれ剛性を低下させ、その後ずれ止めとしての機能を果たす遅延合成スタッドも開発されている²⁹⁾。この他にも、プレキャスト PC 床版の施工性を考慮した群スタッドの検討、長尺への対応および輸送上の制約を考慮してスタッド軸部を高ナットで継ぐカップラージョイントスタッドなどが研究されている³⁰⁾。

このように、合成構造のずれ止めに対する要求性能が多様になってきており、それらに対応するずれ止めの開発も今後の課題である。

5. おわりに

以上に、連続合成桁橋、ずれ止め構造に関する現状ならびに今後の課題について述べた。これらの課題について当 WG では、平成 16 年を目処に研究成果をまとめる予定である。

【参考文献】

1) 高橋昭一, 志村 勉, 橋 吉宏, 小西哲司: PC 床版 2 主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討, 橋梁と基礎 Vol.30 No.2, pp.23~30, (株)建設図書, 1996 年 2 月。

2) 鈴木祐二, 池田博之, 水口和之: 鋼少数鉄桁橋の設計と施工, 第 1 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.39~46, (社)土木学会鋼構造委員会, 1998 年 8 月。

3) (社)日本橋梁建設協会: PC 床版を有すプレストレスしない連続合成桁設計要領(案), 1996 年 3 月。

4) 田村陽司, 川尻克利, 大垣賀津雄, 作川孝一: PC 床版連続合成 2 主桁橋「千鳥の沢川橋」の設計, 橋梁と基礎 Vol.32 No.9, pp.18~22, (株)建設図書, 1998 年 9 月。

5) 端本勝介, 坂本純男, 大久保宣人, 田中啓雅, 福田良夫, 大津呂川橋の設計と施工 -PC 床版連続合成 2 主桁橋-, 片山技報 No.20, pp.49~56, 2000 年 11 月。

6) 本間淳史, 長谷俊彦, 榊原和成, 中村和己, 上原 正, 河西龍彦: 長支間場所打ち PC 床版の設計と施工 -第二東名高速道路藁科川橋-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.10, pp.2~10, (株)建設図書, 2002 年 10 月。

7) 吉崎信之, 常松修一, 石毛立也, 小川克美: 都市内高速道路における合理化橋梁, 第 4 回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.25~33, (社)土木学会鋼構造委員会, 2001 年 8 月。

8) (社)日本道路協会: 道路橋仕方書・同解説 I: 共通編 II: 鋼橋編, 2002 年 3 月。

9) 土木学会: コンクリート標準示方書 -設計編-[平成 8 年制定], 丸善(株), 1996 年 3 月。

10) 土木学会: 鋼構造シリーズ⑨B 鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物編, 1997 年 9 月。

11) 中藪明広, 安川義行, 稲葉尚文, 橋 吉宏, 秋山 洋, 佐々木保隆: PC 床版を有する鋼連続合成 2 主桁橋の設計法(上) -連続合成桁における中間支点部の設計-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.2, pp.27~35, (株)建設図書, 2002 年 2 月。

12) 中藪明広, 稲葉尚文, 大垣賀津雄, 川口喜史: PC 床版を有する鋼連続合成 2 主桁橋の設計法(中) -腹板の少補剛設計法-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.3, pp.47~54, (株)建設図書, 2002 年 3 月。

13) 中藪明広, 安川義行, 稲葉尚文, 坂本純男, 大垣賀津雄, 済藤英明: PC 床版を有する鋼連続合成 2 主桁橋の設計法(下) -床版およびずれ止めの設計法-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.4, pp.33~39, (株)建設図書, 2002 年 4 月。

14) 寺田典生, 本間淳史, 河西龍彦, 松井繁之: 長支間場所打ち PC 床版の設計・施工マニュアル(上) -総則, 設計編-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.11, pp.21~28, (株)建設図書, 2002 年 11 月。

15) 寺田典生, 本間淳史, 河西龍彦, 松井繁之: 長

- 支間場所打ち PC 床版の設計・施工マニュアル (下) -施工編-, 橋梁と基礎 Vol.36 No.12, pp.29~38, (株)建設図書, 2002年12月.
- 16) 名古屋高速道路公社: 鋼構造物設計要領(案), 2001年4月.
- 17) 東山浩士, 松井繁之: 橋軸方向にプレストレスしたコンクリート床版の走行荷重に対する疲労耐久性に関する研究, 土木学会論文集 No.605/I-45, pp.79~90, 1998年10月.
- 18) 三木千壽, 山田真幸, 長江 進, 西 浩嗣: 既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価: 土木学会論文集 No.647/I-51, pp.281~294, 土木学会, 2000年4月.
- 19) ハーフプレハブ PC 合成床版設計・施工マニュアル(案), (財)災害科学研究所, ハーフプレハブ合成床版研究会, 2002年10月.
- 20) (社)日本橋梁建設協会: 合成床版設計・施工マニュアル, 2001年6月.
- 21) 西村宣男, 大崎史淳, 長谷川徹雄: 曲げを受ける I 断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.37A, pp.135~144, 1991年3月.
- 22) 西村宣男, 秋山寿行, 松村達生: 曲げを受ける I 断面はりおよびプレートガーダーの強度設計法の一提案, 構造工学論文集 Vol.39A, pp.165~174, 1993年3月.
- 23) CEN: Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 2: Bridges, ENV1994-2, 1997.10.
- 24) 土木学会鋼構造委員会: 鋼・コンクリート複合橋梁の最新の進歩, pp.52~63, 2001年11月.
- 25) 本間淳史, 長谷俊彦, 河西龍彦, 林 暢彦, 松村寿男: 床版と鋼桁のずれ止めに関する FEM 解析検討(第二東名高速道路藁科川橋), 土木学会年次学術講演会講演概要集 共通セッション部門, pp.470~471, 2001年10月.
- 26) 松野 進, 水口和之, 小松秀樹, 小野辺良一, 倉田幸宏: プレキャスト PC 床版用スタッドの強度特性に関する実験的検討-員弁川橋-, 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(A)Vol.54, pp.312~313, 1999年9月.
- 27) 平城弘一, 壺谷 透, 釣 篤史, 前田泰秀, 石崎 茂, 池尾良一: 変断面スタッドの静的押抜き強度特性に関する実験的研究, 平成13年度関西支部年次学術講演会講演概要, pp. I-51-1~I-51-2, 2001年6月.
- 28) 平城弘一, 松井繁之, 武藤和好: 柔な合成作用に適するスタッドの開発, 構造工学論文集 Vol.44A, pp.1485~1496, 1998年3月.
- 29) 北川幸二, 平城弘一, 渡辺 滉, 橋 吉宏: 遅延合成スタッド(PR スタッド)の押抜きせん断特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(B)Vol.56, pp.558~559, 2001年10月.
- 30) 石川敏之, 寺田典生, 福永康雄, 中村和己, 田中一: カップラージョイントスタッドのせん断耐力および疲労強度特性, 構造工学論文集 Vol.47A, pp.1355~1362, 2001年3月.