

床版と桁の結合構造の変遷と現状

Development and Present Subjects of Connectors between Decks and Girders

高田和彦*

Kazuhiko TAKATA

*Ph.D (株)横河ブリッジ 技術本部研究所技術開発課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地)

Past and present connectors between decks and girders were surveyed and classified according to structural mechanisms and applications. The connectors are structurally classified into 1) mechanical type, 2) clinging type, 3) adhesive type, 4) frictional type and 5) connectors for non-composite girders. The connectors from 1) to 4) are shear connectors for composite girders. The connectors of mechanical type transmit the shear force by bearing pressure between the face of connector and concrete. This type of connectors is further divided into a ridge type and a flexible type according to rigidity of the connector. The clinging type is applied to a structure which has a wide contacting area between a girder and concrete. The connectors of adhesive type compose girders and decks by adhesive agent which is usually epoxy resin. The frictional type uses friction generated by bolts and tie plates to transmit the shear force. This type of connectors are usually applied to precast slabs.

This paper also examined the problems of present connectors and discussed the subjects to be settled in the future.

key words : shear connector, slab anchor, stud, composite girder, precast slab

1. まえがき

近年、鋼橋の世界では床版が、かつてないほどに注目されている。理由は、過去に建設されたRC床版の損傷が数多く報告されていること、また、近年注目されている少数主桁構造に対応するための長支間対応型の床版や、施工の合理化を目的とするプレキャスト床版の開発が求められているからである。

鋼床版を除く床版は、主要な材料としてコンクリートが用いられているのが一般的である。床版と鋼桁は、部材性能に大きな差異があり、この意味で、鋼橋は合成構造物あるいは複合構造物と言える。異部材である桁と床版の結合には、これまでも注意が払われ、多くの研究がなされてきた。しかし、桁構造および床版構造は時代の推移とともに変化しており、結合構造やその設計方法についても、その都度、見直しが必要である。

桁と床版の結合方法に着目し、結合材構造の変遷について調査した。本論文では、結合材構造の変遷と構造上の違いによる分類について述べる。また、結合構造の今後の課題についても検討する。

2. 時代的变化

床版と鋼桁を結合する構造材のうち、特にその力学的特性について多くの研究がなされてきたものは、合成桁のずれ止め(ジベル, Dübel)である。ずれ止めを用いて鋼桁と結合された床版は外荷重に対して両者一体として抵抗する。合成桁は、合理的で経済的な構造として国内外で多

くの施工実績がある。

2.1 スタッド発明以前

日本における最初の合成桁橋は¹⁾、1951年に試験的に架設された「鈴橋(大阪)」(のちに設計不備で損傷)である。1953年竣工の「神崎橋(大阪)」以降、格子桁理論の発展により急速に普及した。1959年には最初の合成桁示方書として、「鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針²⁾」が制定された。この頃のずれ止めにはアングルやチャンネル形鋼を切断したもの、角鋼ブロックに輪形筋を取り付けたものが用いられていた。(図-1(1),(8))

2.2 スタッドの発明

スタッドの原形は1918年イギリスで開発された。1957年頃から、ドイツ流のプレストレスング連続合成桁橋が試験的に施工させるようになり、同じ頃、アメリカ・カナダで現在の頭つきスタッドの実用化がなされた(図-1(5))。日本では1961年竣工の「豊洲橋(東京)」 「土橋(東京)」 「洗玉橋(福岡)」が最初の施工例である。またこの時期は、新しい合成桁構造について多くの研究がなされた。中間支点上の負曲げモーメント域を非合成とした、「部分合成桁」や、この区間のずれ止めを省略した「断続合成桁」、また柔なずれ止めで合成する「弾性合成桁」等の形式が実際に施工されている。頭つきスタッドについては、その後も多くの研究がなされ³⁾⁻⁵⁾、合成桁での一般的なずれ止めとして使用されるようになり、また、その他の合成・複合

機械的なずれ止め				
剛なずれ止め			柔なずれ止め	
(1)型鋼を用いたもの	(2)型鋼を用いたもの	(3)ねじを用いたもの ¹⁰⁾	(4)型鋼を用いたもの	(5)スタッドを用いたもの
<p>アンゲル ティー チャンネル ブロック</p>			<p>チャンネル ゼット 発泡スチロール付H型鋼</p>	<p>スタッド 群スタッド</p>
機械的なずれ止め				付着
柔なずれ止め		剛なずれ止めと鉄筋の併用		
(6)高力ボルトを利用したもの	(7)鉄筋を利用したもの	(8)鉄筋と型鋼を用いたもの	(9)孔明きの鋼材と鉄筋の併用	(10)自然付着
<p>高力ボルト スパイラル鉄筋入高力ボルト</p>	<p>フック筋 ループ筋 スパイラル筋</p>	<p>アンゲルとフック筋 ブロックとループ筋 チャンネルとループ筋 ブロックとフック筋 (馬蹄型ジベル)</p>		
				(11)強制付着
接着		摩擦		(15)スラブ止め
(12)エポキシ樹脂	(13)ボルト軸力	(14)ボルト軸力とタイプレート		
		<p>板ばね ボルト</p>		

図-1 床版と桁の結合構造の種類

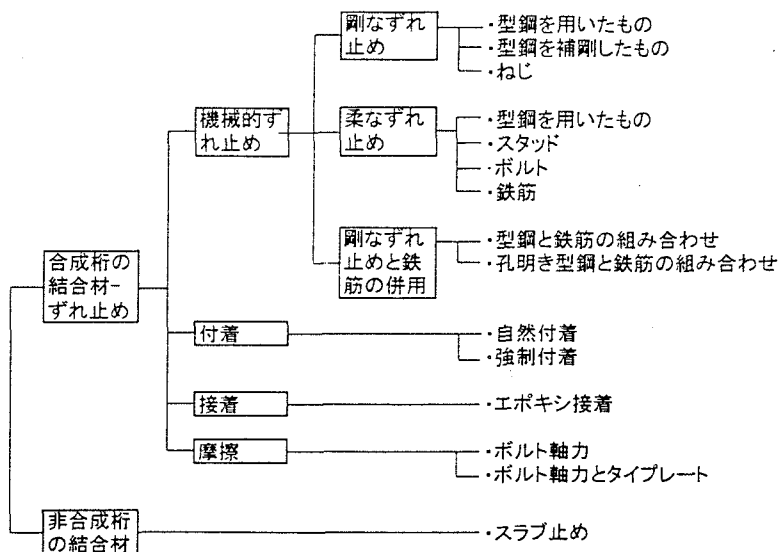


図-2 結合構造の分類

構造物の結合装置として多用されている。

2.3 プレストレスしない連続合成桁

コンクリートの引張強度を全く期待しない形式である「プレストレスしない連続合成桁」は、1971年竣工の「石狩河口橋(北海道)」で最初に採用された。しかしその後RC床板のひび割れ損傷が問題となり、1970年代後半合成桁の施工例はほとんどなくなった。これを踏まえて1980年、関連規定が見直され現在に至っている。この頃の結合材構造としては、ほとんどスタッドが用いられている。

2.4 プレキャスト床板の登場

1980年代にはいと、現場での急速施工や耐荷力増加などの要求が多様化し、鉄筋・コンクリート合成床板やプレキャスト床板が登場した。ずれ止め構造についても数多くの新形式が登場した。これについては、「5. プレキャスト床版と桁の連結」で、改めて紹介する。

3. 構造上の分類

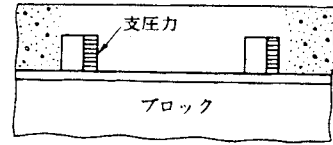
ここでは、床版と桁の結合部材を構造上から分類する。結合材は構造上、図-2に示すように非合成桁の結合材と合成桁のずれ止めに分類される。ずれ止めは、さらに、以下に述べるように分類される⁹⁾。

3.1 機械形(ずれ止め) (図-1 (1)~(9))

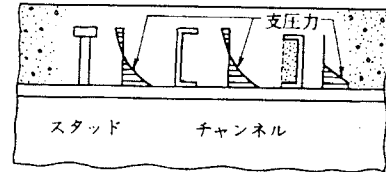
機械的なずれ止めは、「剛なもの」と「柔なもの」とに大別される。図-3は、剛なずれ止めの「ブロック」と柔なずれ止めの支圧応力分布を比較したものである。柔なずれ止めは剛なずれ止めと比較して曲げ剛性が低く、鋼とコンクリートの接触面に作用するせん断力を、ずれ止め自身に変形してコンクリートに伝達するために、支圧応力分布は一様とならずに、ずれ止めに曲げ変形が生じる。剛なずれ止めの場合、コンクリート部の終局耐荷力は、ずれ止め間のコンクリートのせん断破壊または、ずれ止め前面でのコンクリートの圧縮破壊のいずれかで決定されるが、柔なずれ止めの場合、ずれ止めそのものの静的及び疲労せん断耐力も考慮する必要がある。また、ずれ止め自身の強度だけではなく、ずれ止めが溶接された鋼板等の母材側の強度等も考慮する必要がある。

図-3以外のずれ止め構造のほかにも、L形鋼や溝形鋼を切断して溶接したもの、さらに鉄筋を溶接したもの、孔明き鋼板を用いたもの等がある。フック筋・ループ筋にはコンクリートと鋼材の分離を抑制する働きがある。これらのずれ止め構造は、スタッドに比べて溶接量が大きく、鋼板への影響を考慮する必要がある。

現在最も一般的なスタッドは、断面が円形で支圧応力に方向性がないこと、頭付きによって鋼桁からのコンクリートの剥離を抑制できること、専用機器によって能率よくかつ容易に取り付け可能であることから、広く用いられている。



1)剛なずれ止め



2)柔なずれ止め

図-3 ずれ止めに働く支圧応力分布⁹⁾

3.2 付着形 (図-1 (10), (11))

付着形接合は、埋め込み桁橋(SRC構造の一種)や、図-4のプレビーム合成桁橋など、付着面積が大きい構造形式に適用されるもので、突起付き圧延鋼材(縞付き鋼管, 異形H形鋼, 縞鋼板など)を用いることで、さらに付着面積の増大を図ることができる。

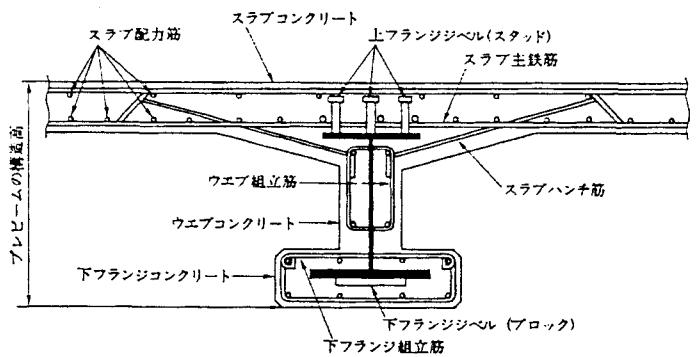


図-4 プレビームの構造¹⁾

3.3 接着形 (図-1 (12))

接着形接合には、エポキシ樹脂系接着剤が用いられている。単独で用いられることは稀で、機械的ずれ止めや高力ボルトによる摩擦形接合と併用される場合がほとんどである。

3.4 摩擦形 (図-1 (13), (14))

摩擦形接合は、主としてプレキャスト床板の鋼桁への接合に用いられている。コンクリートのクリープによるボルト軸力の低下や、接合部の疲労強度の確保等に注意する必要がある。タイアンカーを用いた弾性的な結合方法もある。

3.5 非合成桁の結合材 (図-1 (15))

連続桁の建設が多い近年は、合成桁よりも非合成桁が建設される場合が多い。非合成桁において、桁と床版の結合に一般的に用いられるのは曲げ上げた丸鋼を桁に溶接接合するスラブ止めである。かつて鋼部材同士の結合にリベ

ットが用いられていた時代には曲げ上げたフラットバーをリベットにて鉄止めしたスラブ止めも使用されていた。

また、プレキャスト床版を非合成桁に用いる場合は、頭付きスタッドが多く用いられている。

4. 用途別の分類

4.1 鉄道橋

鉄道橋には、馬蹄型ジベルと呼ばれるずれ止めが一般的で、長らく用いられてきた。これは、チャンネルまたは馬蹄型に曲げられた鋼板にループ筋を組み合わせたもので、ループ筋はスラブの浮き上がりを防止する役目をしている。厚い鋼板（ブロック）にループ筋を取り付けたものが用いられる。（図-1（8））

道路橋で一般的なスタッドは、溶着部の繰り返し載荷重による影響を懸念して、鉄道橋合成桁には用いられなかった。しかし、1990年代に入り国内外の疲労試験等によって信頼性が確認されると、徐々に実績も増え、用いられる

ようになっている。

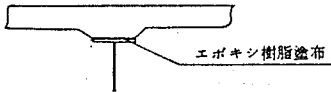
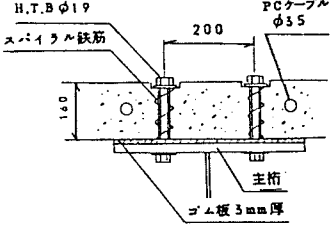
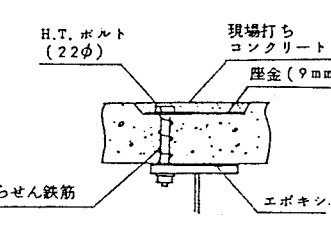
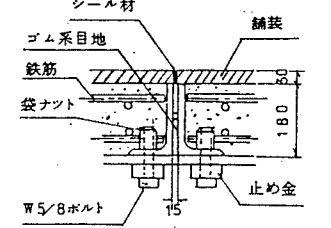
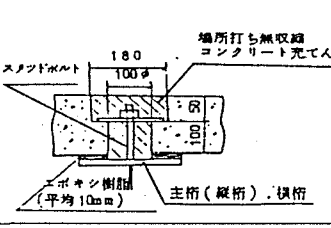
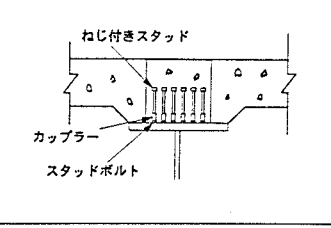
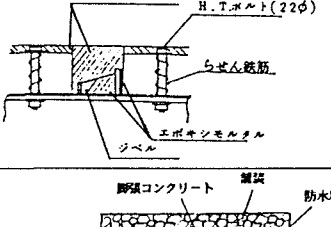
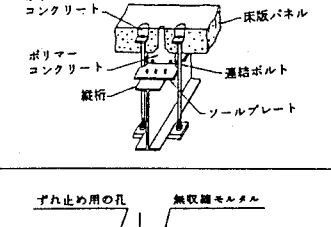
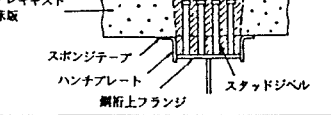
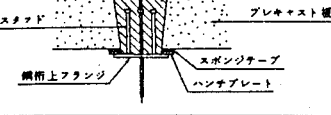
スタッドと同様に柔なずれ止めとして、H型鋼に発泡スチロールを貼りつけた構造等も考案された⁸⁾（図-1（4））。その他、プレキャストスラブを用いる場合などは、ずれ止めの数を減らすために大きいずれ止めを必要とするため、鋼版を溶接で組み合わせたものも用いられる。

4.2 道路橋

現行の道路橋示方書（平成9年度版）では、道路橋の結合構造として、非合成桁ではスラブ止め、合成桁のずれ止めにはスタッドを用いることを原則としている。

初期の合成桁には、剛なずれ止めとして、アングルやチャンネルが用いられてきたが、「施工性がよい」「経済性に優れる」等の理由から、スタッドにとって代わられている。しかし、最近の広幅員少数主桁橋梁において、大きいずれ止めが要求されており、剛なずれ止めや太径のスタッドが用いられた場合もある。

表-1 プレキャスト床版の結合構造

構造	特徴	構造	特徴
(1) 	エポキシ樹脂のみで主桁と結合している。 富士製鋼構内橋（単純非合成桁）	(2) 	H.T.ボルトで主桁と合成する。桁との不陸調整のためにゴム版を敷く。 深沢橋（単純合成桁）
(3) 	H.T.ボルト、エポキシモルタルの併用で桁と合成している。ボルトの頭を隠すために、全長に現場打ちコンクリートを施す。 八ツ道越ヶ谷可動橋（単純合成桁）	(4) 	袋ナットボルトを利用して結合する。ボルト穴の精度を高めるため、型钢を埋め込んでいる。 上吉野川（単径間吊橋）
(5) 	スタッドボルトで結合する。床版に拡大穴、大きなワッシャを用いることで施工性を高める。密着性を高めるため、エポキシ樹脂を使用する。 西栗橋（方丈式3径間連続橋）	(6) 	スタッドボルトにカップラーを介して先端にねじを切ったスタッドジベルを取り付ける。 大府高架橋（連続非合成桁）
(7) 	箱形ジベル、H.T.ボルト、エポキシ樹脂の併用で桁と合成する。 越ヶ谷可動橋（単純合成桁）	(8) 	ポストテンション、乾燥収縮に伴う圧縮力が鋼桁に導入されないように工夫している Woodrow Wilson Memorial 橋（床版打ち替え）
(9) 	スタッドによって結合する。桁に型钢のハンチプレートを設けている。 三共橋	(10) 	スタッドを用いて主桁と結合する。浮き上がり防止のため、ボルトで固定している。

5. プレキャスト床版と桁の連結

プレキャスト床版は、現場施工の工期短縮を狙ったものや、床版の取り換え、耐力向上などのために十数年前より使用されている。プレキャスト床版は版形状が桁設置前に決まっており、そのため、桁との不陸が生じやすく、密着性を高める構造が必要とされる。また、結合材の設置方法に制約も多い。このため、様々な工夫がされており、結合方法も多様である⁹⁾。プレキャスト床版の結合方法を表-1に示した。

結合材としては、一般的にはスタッドが用いられるが、高力ボルトと樹脂(3)、高力ボルトとジベル(7)など複数のずれ止めを組み合わせているものもある。桁との密着性は、ゴム板(2)、樹脂(3,5)、スポンジ(10)等が使用されている。床版に埋め込まれた外筒のねじと主桁に溶接された内ねじによって、ずれ止めおよび不陸調整器の役目を持たせた構造もある¹⁰⁾(図-1(3))。

6. 今後の課題

近年、新しい桁構造や床版構造の提案がされており、桁と床版の結合についても新しい構造が求められている。また、現在の結合方法についての問題点も見受けられる。最後に、現在の結合方法の問題と今後の課題について論じる。

6.1 非合成桁の接合

最近、非合成桁のプレートガーダーおよびボックスガーダーに使用されているスラブ止めに疲労による破壊が生じていることがしばしば発見されている。スラブ止めが疲労破壊に至るメカニズムは、現在のところ明確ではないが、床版の橋軸直角方向の曲げ作用に起因する疲労現象と思われる。通常の非合成桁橋に用いられるスラブ止めのずれ止め効果は、設計計算では無視しているものの、実際には水平せん断力を伝達しており、せん断力の繰り返し作用の影響も考慮する必要がある。非合成桁について設計と実際の挙動を一致させるためには、床版を鋼桁に柔軟に固定させる結合材の開発が必要となる。それゆえ、非合成挙動を示しかつ、疲労破壊を起こさせないような、新しい形式の結合材の開発が望まれる。

図-5は、従来のずれ止め機構の積極的な不完全合成化を図るため、通常スタッドの根本部にウレタンを巻き付けることにより、ずれ剛性を小さくするものである¹¹⁾。

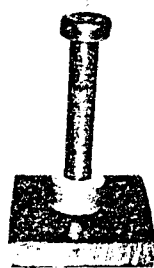


図-5 ウレタン付きスタッド¹¹⁾

6.2 合成桁の接合

フランスやドイツなどヨーロッパ諸国では、2主桁や開断面箱桁による連続合成桁形式が一般的であり、合理的な構造として認識されている。国内の合成桁は、床版の取り替えが困難等の理由から建設例が減少していたが、近年、その合理性が見直されて建設数が増加する傾向にある。桁の設計は床版との接合が合成・非合成により変化する。結合材の設計方法においても同様であり、過去の反省をふまえて、改めて設計方法の議論が望まれるところである。特に、連続合成桁の中間支点近傍の負曲げ区間の接合においては¹²⁾、桁と床版の実挙動を解析し、設計思想の根拠を明確にする必要がある。

6.3 橋軸直角方向の力

これまでの、結合材の設計では、橋軸方向の力のみを考慮しており、橋軸直角方向の力に対しては考慮されていない。このため、非合成桁のスラブ止めに疲労による破壊が生じていることがしばしば発見されている。また、合成桁のずれ止めにおいても同様の損傷が予想される。

6.4 プレキャスト床版の接合

プレキャスト床版を桁に取り付ける接合部構造として施工性の容易さからスタッドを使用していることが多い。スタッドによる接合は、桁が非合成桁として設計されている場合に問題が生じることがある。すなわち、スタッドに大きな接合力があるため活荷重の応力振幅で疲労の問題が生じる可能性が高い。

現場施工上の問題点は、ハンチ高さの変化、フランジ厚の変化、主桁の継ぎ手部のボルトの突出などの床版と桁間の隙間高さの変化にプレキャスト床版が柔軟に対処できないことが上げられる。表-1に示すように現行においても様々な方法が提案されているが、まだ、最良の方法となっていないようである。

プレキャスト床版と桁との接合においては、一般的には床版に結合材設置用の孔を箱抜きしておき、結合材を設置後に、後打ちのコンクリートによって床版と桁を一体化させる。合成桁とする設計の場合には、十分な合成作用を発揮するために多数のスタッドを必要とし、このため、場所を確保するために箱抜き断面を大きく取る必要が生じる。近年の主桁の少数化によって1本の桁上に設置されるジベル数は多くなり、箱抜きは一層大きくなる傾向にある。しかし、孔を大きく取ると支点上の床版断面が失われ、荷重への抵抗力が不足するという問題が生じる。スタッドを非常に密に打設して、床版の断面欠損を小さくする必要があるが、スタッド打設が難しくなり、施工上の問題となる場合もある。

プレキャスト床版のハンチの形状は、型鋼により鉛直に立ち上げたもの、一般のRC床版と同様に斜めに傾けたもの、あるいは、ハンチのないものと様々である。床版のハンチを設けた場合とそうでない場合では、スタッドジベル

の解析上のバネ値は変化することが一般的に知られている。ハンチ形状の違いによってバネ値が変化することも予想される。今後、実験等を行い特性の確認が必要である。

6.5 特殊な橋梁の接合

近年、合理化を目指して様々な複合構造の橋梁が提案されている。例えば、桁の腹板を鋼部材、フランジをコンクリートとする波形ウェブ橋（図-6）や鋼管トラスのウェブとコンクリート床版を用いる合成橋梁（図-7）などである。これらの鋼とコンクリートの接合では、桁橋の合成桁以上に積極的に鋼とコンクリートの合成を期待していることから、一層の結合方法の研究、工夫が必要である。これまでのスタッド接合ではなく、新しい結合方法も試みられている。たとえば、波形ウェブ橋では、波形鋼板に孔を明け、そこに鉄筋を通し、さらに波形鋼板の上・下端に鉄筋を溶接し、コンクリート床版に埋め込む結合方法が試みられている¹³⁾（図-8）。鋼管トラスでは鋼管の先端に鉄筋を取り付け、この鉄筋を介して鋼管と床版と結合する方法が試みられている¹⁴⁾（図-9）。

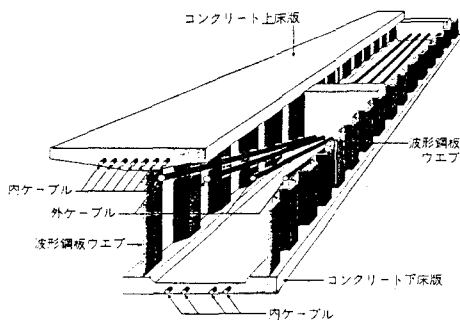


図-6 波形ウェブ橋¹³⁾

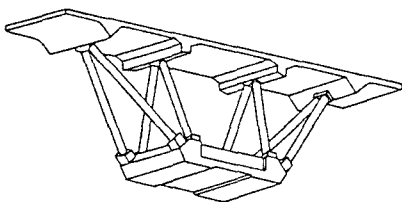


図-7 鋼管トラスを用いる合成橋梁¹⁴⁾

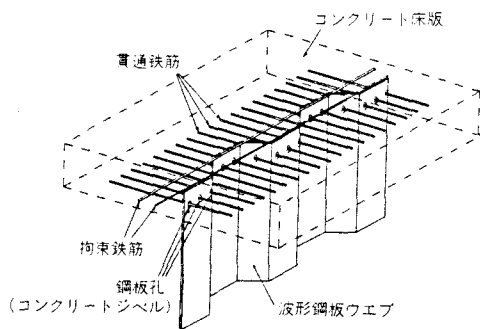


図-8 波形鋼板とコンクリートの接合¹³⁾

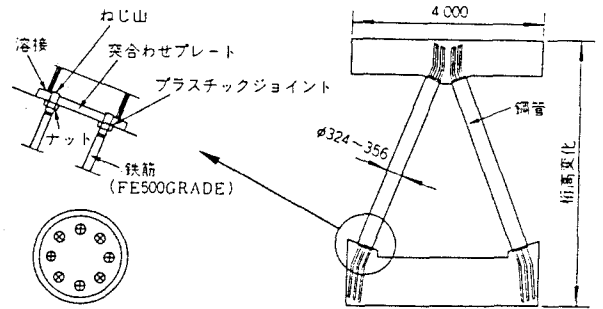


図-9 鋼管トラスとコンクリートの接合¹⁴⁾

以上、桁と床版の結合材構造の変遷について調査し、その構造の変遷と分類についてまとめた。また、結合構造の問題点と今後の課題について検討した。本研究は、土木学会鋼構造委員会「鋼橋床版の調査研究小委員会」の活動として行ったものである。

7. 参考文献

- 1)川田忠樹, 野村國勝, 梶川靖治: 複合構造橋梁, 技報堂出版, 1994.9
- 2)日本道路協会: 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針, 1959.8
- 3)平城弘一, 松井繁之, 福本秀士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導-静的強度評価式-, 構造工学論文集, Vol.35A, 1989.3
- 4)平城弘一, 松井繁之・福本秀士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導-疲労強度評価式-, 構造工学論文集, Vol.35A, 1989.3
- 5)松井繁之・平城弘一: 限界状態設計法のための頭付きスタッドの静的・疲労強度に関する評価式, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989.9
- 6)構造工学シリーズ3「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライ」, 土木学会, 1998.3,
- 7)鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説, 鋼・合成構造物, 丸善, 1992.10
- 8)阿部英彦, 中島章典他: 合成桁におけるスラブの分割の影響と柔ずれ止めの開発, 構造工学論文集 Vol.35A, 1989.3
- 9)NCB研究会, 新しい合成構造と橋, 山海堂, 1997.2
- 10)久野公德, 松下博通, プレキャスト床版と鋼桁との新しい接合法, 橋梁と基礎, 1998.5
- 11)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, 1998.3
- 12)保坂鐵矢, 平城弘一, 小枝芳樹, 橋吉宏, 渡辺澁: 鉄道用連続合成桁に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.44A, 1998.3
- 13)水口和之, 芦塚憲一郎, 依田照彦, 佐藤幸一, 桜田道博, 日高重徳: 本谷橋の模型実験と実橋載荷実験, 橋梁と基礎, 1998.10
- 14)二階堂輝幸: フランスの Boulonnais 高架橋, 橋梁と基礎, 1998.2