

# 波形鋼板ウェブ箱桁橋の下床版埋込み接合構造に関する一考察

Connection Joint between Lower Slab and Corrugated Steel Webs Applied to PC-Box Girder

平 喜彦\*, 青木圭一\*\*, 萩原直樹\*\*\*, 伊藤 篤\*\*\*\*, 廣瀬 毅\*\*\*\*\*

Yoshihiko Taira, Keiichi Aoki, Naoki Hagiwara, Atsushi Ito, Takeshi Hirose

- \* 三井住友建設(株) 土木管理本部 PC 設計部 (〒164-0011 東京都中野区中央 1-38-1)
- \*\* 中日本高速道路(株) 企画本部 技術開発部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19)
- \*\*\* 中日本高速道路(株) 東京支社 (〒417-0061 静岡県富士市伝法字大原 170-1)
- \*\*\*\* 三井住友建設(株) 中部支店 (〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄 4-3-26)
- \*\*\*\*\* 三井住友建設(株) 静岡支店 (〒422-8067 静岡県静岡市駿河区南町 14-25)

Connection Joint of corrugated steel webs is the componentry which is the most important in concrete and steel composite bridge. Because the joint connects two different materials together which consist of concrete and steel, it is necessary to confirm for its durability to prevent the corrosion and for fatigue by the live load to be sure that the structure will function probably during the durability period. However, there are few examples of the experiment and the analysis that paid its attention to the connection joint at the lower slab and to its neighborhood. Therefore, in this study, the analysis of connection joint is performed and validated with the experiment which focused on the connection joint of corrugated steel webs in order to examine the behavior of corrugated steel web.

*Key Words: Joint structure, Corrugated steel thickness, Coupling structure*

キーワード：接合構造，波形鋼板厚，継手構造

## 1. はじめに

波形鋼板ウェブは主桁自重の軽減ができ、波形鋼板のアコーディオン効果により効率的なプレストレスの導入が可能となる特長を有しているため、多くの橋梁形式で採用されている。

波形鋼板ウェブとコンクリートの接合部はコンクリート・鋼の複合橋において最も重量な構成要素である。接合部はコンクリートと鋼との異種部材の組み合わせで構成されているため、耐用期間中にその機能が十分に発揮できるように適切な防錆・防食と、活荷重による疲労に対しても十分な耐久性を有する構造が必要とされている。下床版接合部は埋込み接合(図-1)とアングル接合(図-2)が主に採用されている。アングル接合は波形鋼板にフランジプレートを溶接し、そこにアングルジベルを溶接した構造である。埋込み接合は波形鋼板をコンクリート床版に直接埋込んだ構造であるため、波形鋼板製作時の溶接作業が少なくなる(表-1)。このため、フランジプレートを必要としないため疲労耐久性お

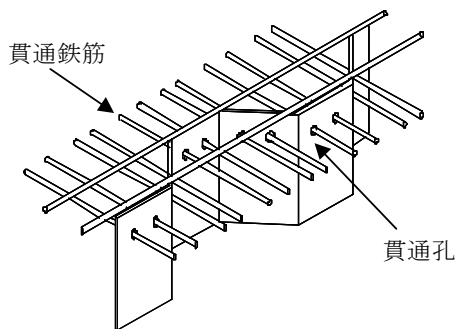


図-1 埋込み接合

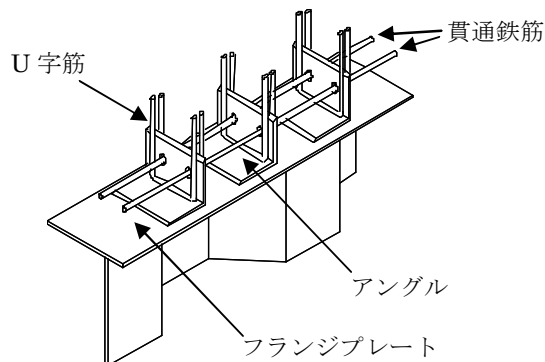


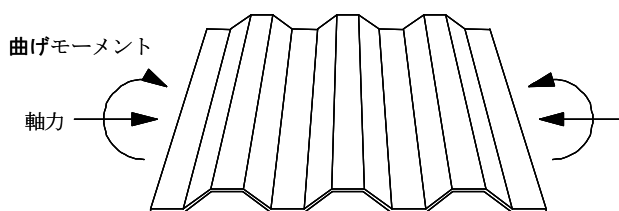
図-2 アングル接合

表－1 接合部の構造特性

|                      | 埋込み接合                        | アングル接合                  |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 水平せん断<br>(橋軸方向)      | 波形鋼板の背面のコンクリートと貫通鉄筋で抵抗       | アングルジベルで抵抗              |
| 首振りモーメント<br>(橋軸直角方向) | 埋込まれた波形鋼板と孔あき鋼板ジベルおよび貫通鉄筋で抵抗 | アングルジベルとU字鉄筋、および貫通鉄筋で抵抗 |

よび経済性に優れている埋込み接合が多く採用されている。過去の実験では波形鋼板の適用性・安全性を検討する初期実験が行われており、接合部の押抜きせん断実験<sup>1)</sup>、面外曲げ挙動に関する静的載荷実験および疲労実験<sup>2) 3) 4)</sup>や波形鋼板のせん断座屈挙動に着目した実験<sup>5)</sup>が行われている。下床版接合部、接合部近傍の波形鋼板の挙動に着目した実験・解析を行った例は少ない。

波形鋼板は図－3 の形状から軸方向剛性がほとんどなくアコーディオンのように伸縮し、プレストレス導入効率が向上する特長がある<sup>6)</sup>。軸力および曲げモーメントに対して波形鋼板を無視した上下床版のコンクリートのみで抵抗する。しかし、埋込み接合はコンクリート床版に直接埋め込まれているため、橋軸方向および橋軸直角方向の変形(挙動)に関しては接合部より直接、波形鋼板に伝達されと考えられる。さらに、波形鋼板の橋軸方向の挙動はアコーディオン効果による波形鋼板の伸縮により波形鋼板折り曲げ部では腹圧のように橋軸直角方向(面外方向)に挙動すると考えられ、波形鋼板とコンクリートとの界面に肌隙および引張応力の発生が懸念される。



図－3 波形鋼板概要図

そこで、本検討では下床版埋込み接合部のコンクリート界面の影響の把握を目的として、FEM 解析による検討を行った。具体的には、死荷重状態で軸圧縮応力が卓越する支点部近傍をモデル化し、死荷重状態を再現したFEM 解析を行い、波形鋼板の挙動、波形鋼板とコンクリート界面および重ね継手部の発生応力の把握を行った。

本稿は、接合部のうち下床版埋込み接合に着目した検討について報告するものである。

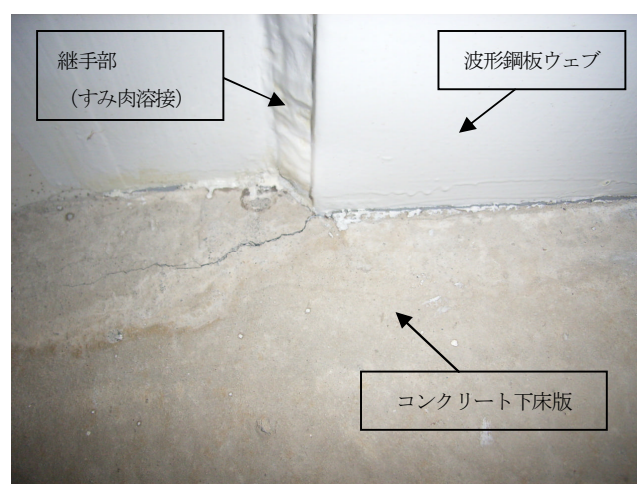
## 2. 検討の経緯

過去の実験<sup>6)</sup>において、下床版埋込み接合部の波形鋼板の斜めパネル部で下床版コンクリートとの肌隙が確認された。これは、波形鋼板の軸変形によるズレ止め作

用によるものとされている。また、終局時においては、波形鋼板の斜めパネル部においてコンクリートの局所的な支圧破壊が確認されている。

近年、波形鋼板ウェブ箱桁橋の長支間化に伴い、支点部近傍の下床版の軸圧縮応力およびせん断力が卓越し、波形鋼板厚も厚くなる傾向にある。軸圧縮応力の増加に伴い、波形鋼板の変形量が大きくなり、アコーディオン効果による波形鋼板の橋軸直角方向の挙動も大きくなると予想される。また、重ね継手部においては、現場溶接に関する疲労実験<sup>7)</sup>は行われているが、埋込み接合部の軸圧縮応力の伝達に関しては既往の実験・検討は行われていない。高軸圧縮域において接合部および重ね継手部の波形鋼板の挙動、応力伝達および発生応力の把握が必要となる。

軸圧縮応力が卓越する支点部近傍では、波形鋼板とコンクリート界面の肌隙および重ね継手部から発生したクラックが実橋において確認されている(写真－1)。界面の肌隙は波形鋼板の斜めパネル中央部から、波形鋼板に沿って発生している。肌隙は波形鋼板が外側に変形により発生したと予想される。また、重ね継手部のクラックは重ね継手部の段差の凸部より斜めパネル部に向かって、波形鋼板に沿って発生している。クラックは重ね継手部の段差より発生する軸圧縮による割裂によるものと予想される。



写真－1 肌隙・クラック状況

実験・実橋から確認された肌隙および重ね継手部より発生したクラックの発生原因を把握するために、弾性FEM 解析による検討を行った。

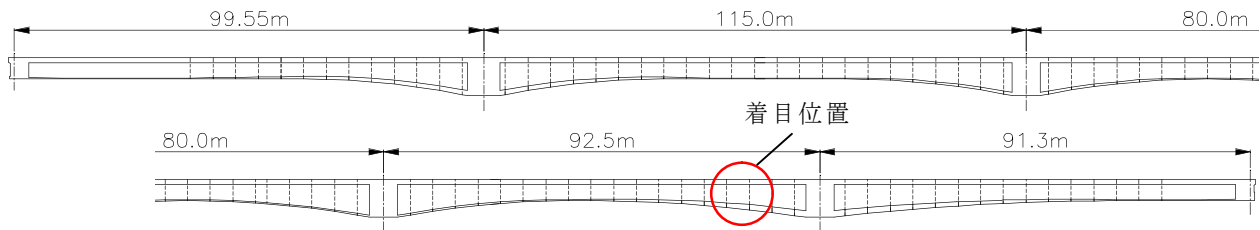


図-4 対象橋梁側面図

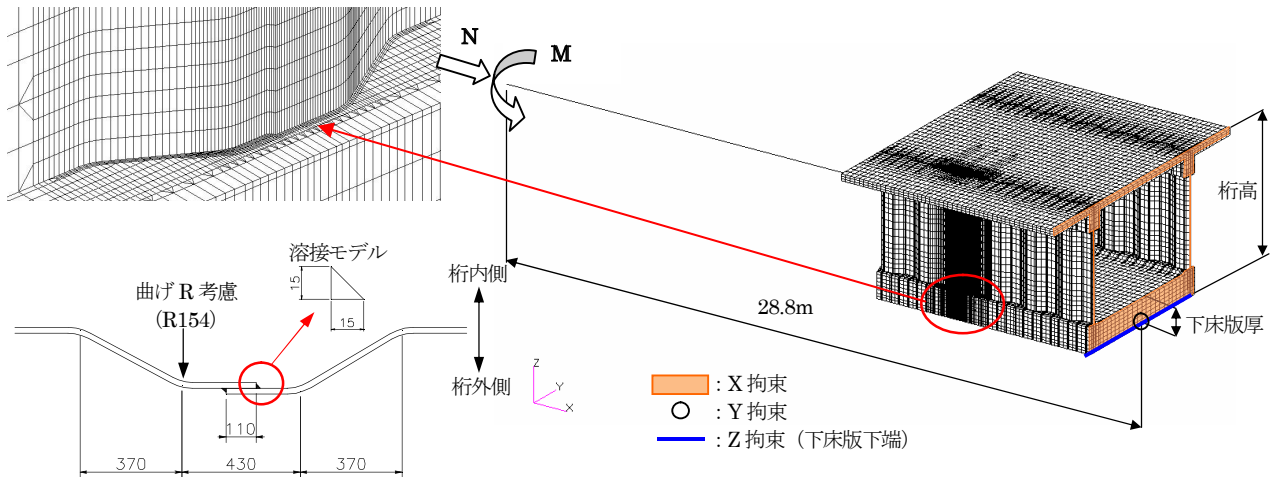


図-5 解析モデル（基本解析）

### 3. 弾性FEM解析による検討

#### 3. 1 FEM解析モデル

本検討では、最大支間 115m、支点部桁高 8.0m の PC5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋を対象（図-4）とし、対象橋梁の死荷重時の主桁発生応力に対して行った。着目箇所は支点部近傍の下床版の作用圧縮応力が最大箇所とした。

本検討は、弾性 FEM 解析で行った。本解析では、波形鋼板とコンクリート界面および重ね継手部に着目しているため、通常シェル要素でモデル化する波形鋼板をソリッド要素とし、コンクリートと波形鋼板の界面は完全付着としてモデル化を行った。また、着目箇所は、ブーミング手法<sup>8)</sup>を用いて 1 要素が 5mm 程度のより細かいメッシュにてモデル化を行った。波形鋼板のモデル化は、波形鋼板折り曲げ部での応力集中を避けるため、曲げ半径を考慮した。また、重ね継手部での応力伝達の影響を把握するため、溶接部を含めた重ね継手部をモデル化した。モデルは作用応力の再現が容易な片持ち張出しモデルとし、荷重は、モデル先端に軸力と曲げモーメントを載荷し、死荷重状態の応力を再現した。支点部近傍に着目した等桁高断面モデルとし、モデル長さは軸力が一様に伝達する長さの桁高の 3 倍程度とした（図-5）。解析条件を表-2 に示す。

表-2 解析条件（基本解析）

|          |      |                       |
|----------|------|-----------------------|
| 桁 高      |      | 5.900m                |
| 下床版厚     |      | 1000mm                |
| 波形鋼板厚    |      | 21mm                  |
| 重ね継手方向   |      | 桁外側継手                 |
| コンクリート強度 |      | 40N/mm <sup>2</sup>   |
| 発生応力     | 主桁上縁 | 6.0N/mm <sup>2</sup>  |
|          | 主桁下縁 | 11.0N/mm <sup>2</sup> |

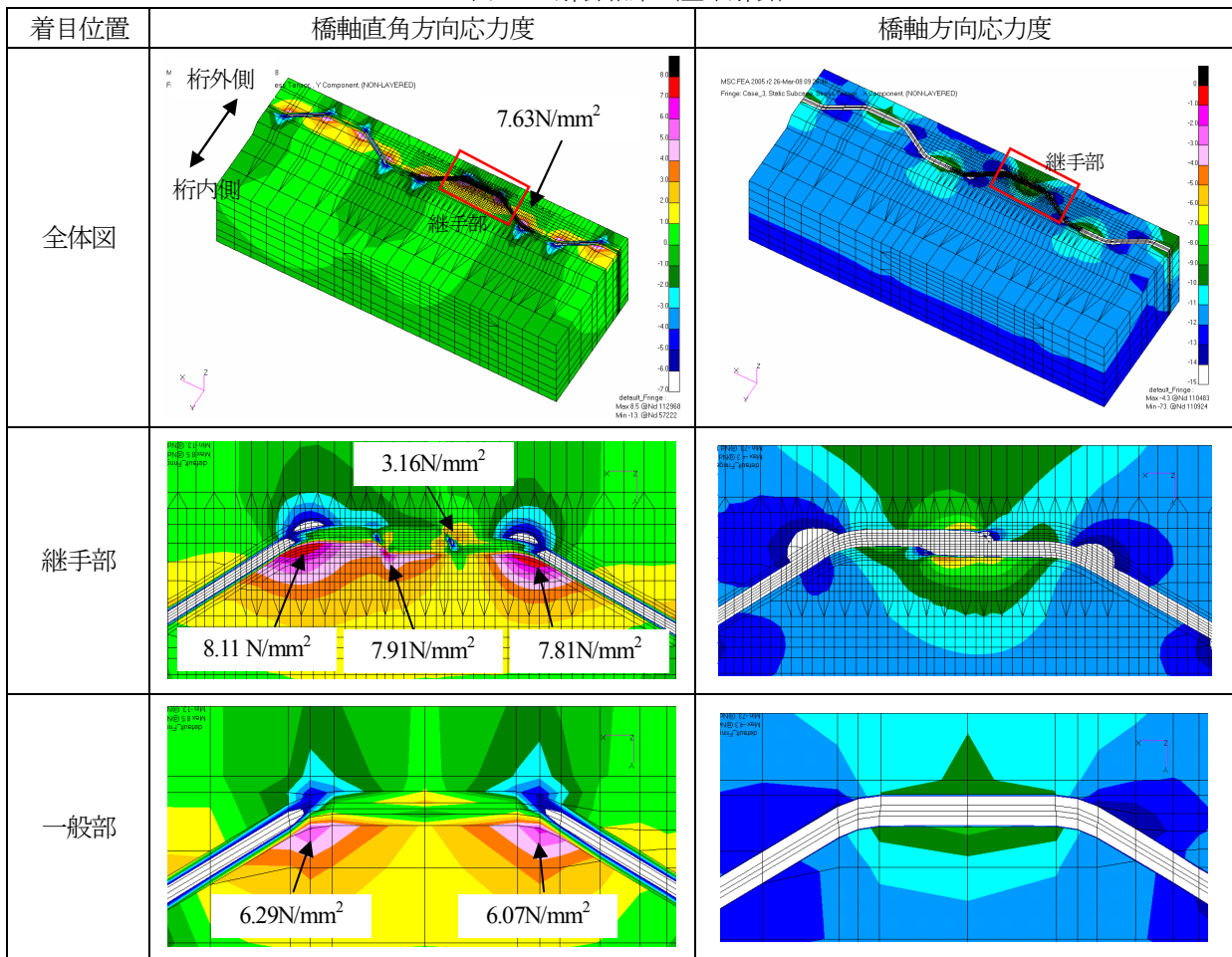
#### 3. 2 FEM解析結果

##### (1) 下床版応力分布

FEM 解析の結果を表-3 に示す。

下床版には完成鋼材緊張等による軸圧縮が卓越するため、波形鋼板のアコーディオン効果により、波形鋼板が伸縮し、波形鋼板は橋軸直角方向に挙動する。それにより、波形鋼板とコンクリート界面には橋軸直角方向に引張応力が分布し、最大で 8.11N/mm<sup>2</sup> の引張応力が発生する。実橋で確認された界面の肌隙（写真-1）はこの引張応力が原因として考えられる。波形鋼板折り曲げ部には波形鋼板を境にして応力が反転している。これは、波形鋼板が直角方向に変形しようとする力に対してコンクリートが抵抗しているためと考えられる。また、重ね継手に関係なく、桁内側の方が桁外側よりも引張領域

表-3 解析結果（基本解析）



が広く分布されている。これは、波形鋼板が外側に変形しようとする力に対しては、外側のコンクリートの抵抗断面が小さいためと考えられる。逆に、内側に変形しようとする力に対しては、コンクリートの抵抗断面が大きくなるため、引張応力分布と圧縮応力分布がほぼ一致しており応力が釣り合っている。実橋で確認された肌隙（写真-1）の発生範囲は引張応力の発生範囲とほぼ一致している。

重ね継手部の軸圧縮応力は、一般部に比べ著しく変化している。これは、重ね継手の段差による圧縮応力分布の乱れにより発生すると考えられる。重ね継手部の段差が無ければ、軸圧縮応力が波形鋼板に沿ってスムーズに伝達され一様に分布されるが、重ね継手部の段差があることによって、重ね継手部から鋼板曲げ部に向かって軸圧縮応力が伝達され、重ね継手部の凹部への応力伝達が遮られるため、重ね継手部の段差部に橋軸直角方向の引張応力が卓越すると考えられる。このため、重ね継手部より波形鋼板に沿ってクラックが発生すると考えられる。

本解析を基に以下の項目について比較検討を行い、重ね継手部および波形鋼板とコンクリート界面の引張応力の発生原因の追究を行った。

- 1) 引張応力の発生深さについて（比較解析①）
- 2) 重ね継手方向の違いについて（比較解析②）
- 3) 波形鋼板厚の違いについて（比較解析③）
- 4) 桁剛性の違いについて（比較解析④）

## （2）引張応力の発生深さについて

埋込み接合部における波形鋼板の埋込み長は接合部のズレ止め耐力に関係<sup>2)</sup>するため、埋込み接合における埋込み長は重要な要因である。基本解析での引張応力の分布深さを図-6に示す。表面に発生している引張応力は、深さ 100mm の位置まで分布している。

この引張応力を改善するために、あらかじめ引張領域のコンクリートと波形鋼板の界面に二重接点を設け、界面の縁切りの検討を行った。縁切り深さは表面の引張応力が分布している 100mm と 50mm の2ケースとした（表-4）。

深さ 50mm の縁切りの場合、発生応力がすべて解放されずにコンクリート表面に引張応力が残留するため、縁切りのない状態よりも引張応力が卓越する傾向にある。また、縁切り深さを 100mm にすると、基本解析で発生していた引張応力がすべて解放され、重ね継手部および波形鋼板折り曲げ部表面には引張応力が発生しない。引



張応力が解放されるため、界面の肌隙は深さ約 100mm まで到達していると考えられる。界面の縁を切ることによって応力は解放されるため、界面の肌隙が発生後は、肌隙は進行しないと考えられる。したがって、死荷重以降の活荷重および温度変化等の持続荷重に関しては影響がないと考えられる。また、界面との肌隙がある場合、波形鋼板とコンクリートとの付着によるズレ抵抗が期待できないと考えられる。

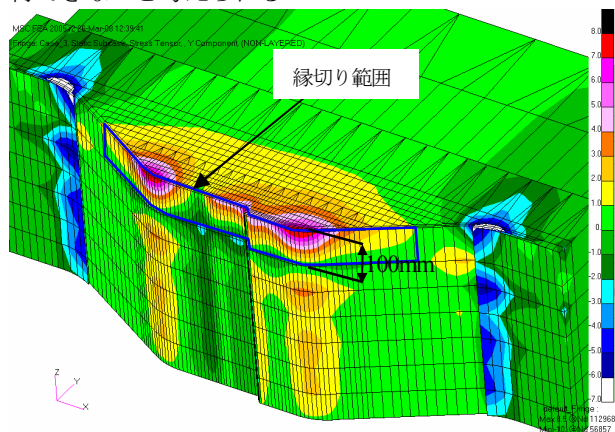


図-6 基本解析引張発生深さ

### (3) 重ね継手方向について

重ね継手の方向は、波形鋼板が同一形状であれば継手方向が統一されるが、施工ブロック長や波形鋼板運搬時の都合により形状が異なる場合があります、同一橋梁内で継

手方向が混在することもある。そこで、重ね継手方向に着目し、継手部に発生する応力の影響について検討を行った（図-7、表-5）。

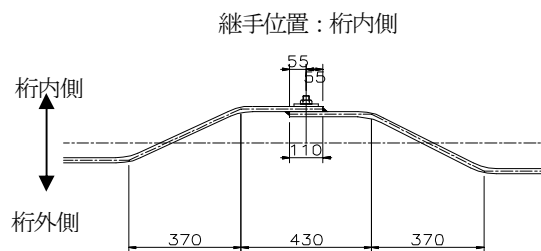


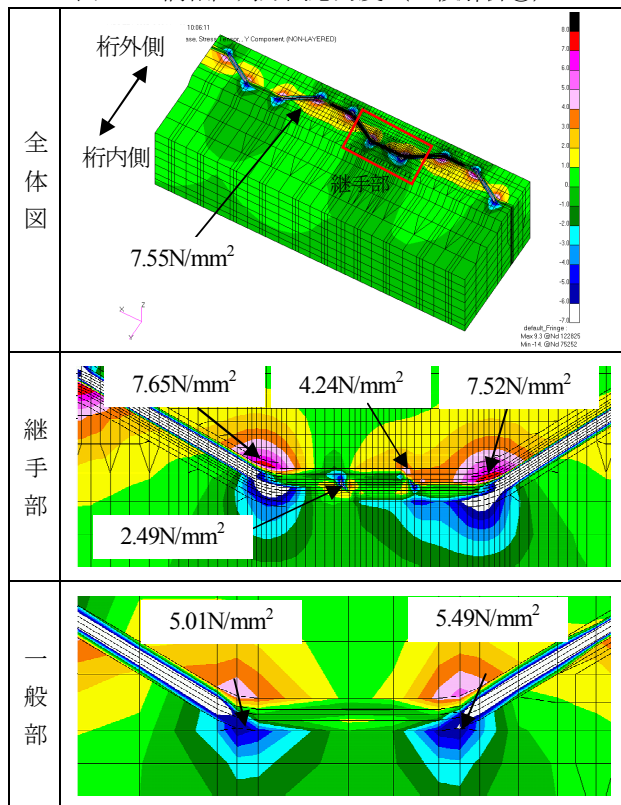
図-7 継手概要図（比較解析①）

桁外側に重ね継手を設けた基本解析では、桁内側に  $7.91\text{N/mm}^2$  の引張応力が発生し、桁外側には  $3.16\text{N/mm}^2$  の引張応力が発生する。重ね継手部を内側に設けると、桁内側に発生応力は  $2.49\text{N/mm}^2$  と改善されるが、桁外側の発生応力は  $4.24\text{N/mm}^2$  と増加する。重ね継手位置を桁内側に設けることによって桁外側に配置するよりも発生応力は多少改善されるが、共に発生応力はコンクリートの引張強度以上となり、大幅に改善することはできない。また、重ね継手位置を変化させても波形鋼板折り曲げ部の引張応力は変化しないので、波形鋼板とコンクリート界面の引張応力は、重ね継手位置に影響しないと考えられる。

表-4 波形鋼板厚による結果比較（比較解析①）

| 着目位置                 | 縁切り深さ 50mm                                                     | 縁切り深さ 100mm                                                    |
|----------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 波形鋼板<br>界面           |                                                                |                                                                |
| 断面図<br>(引張応力<br>発生域) | <div> A-A 断面（継手部）<br/> </div> <div> B-B 断面（波形 R 部）<br/> </div> | <div> A-A 断面（継手部）<br/> </div> <div> B-B 断面（波形 R 部）<br/> </div> |

表-5 橋軸直角方向応力度（比較解析②）



#### (4) 波形鋼板厚について

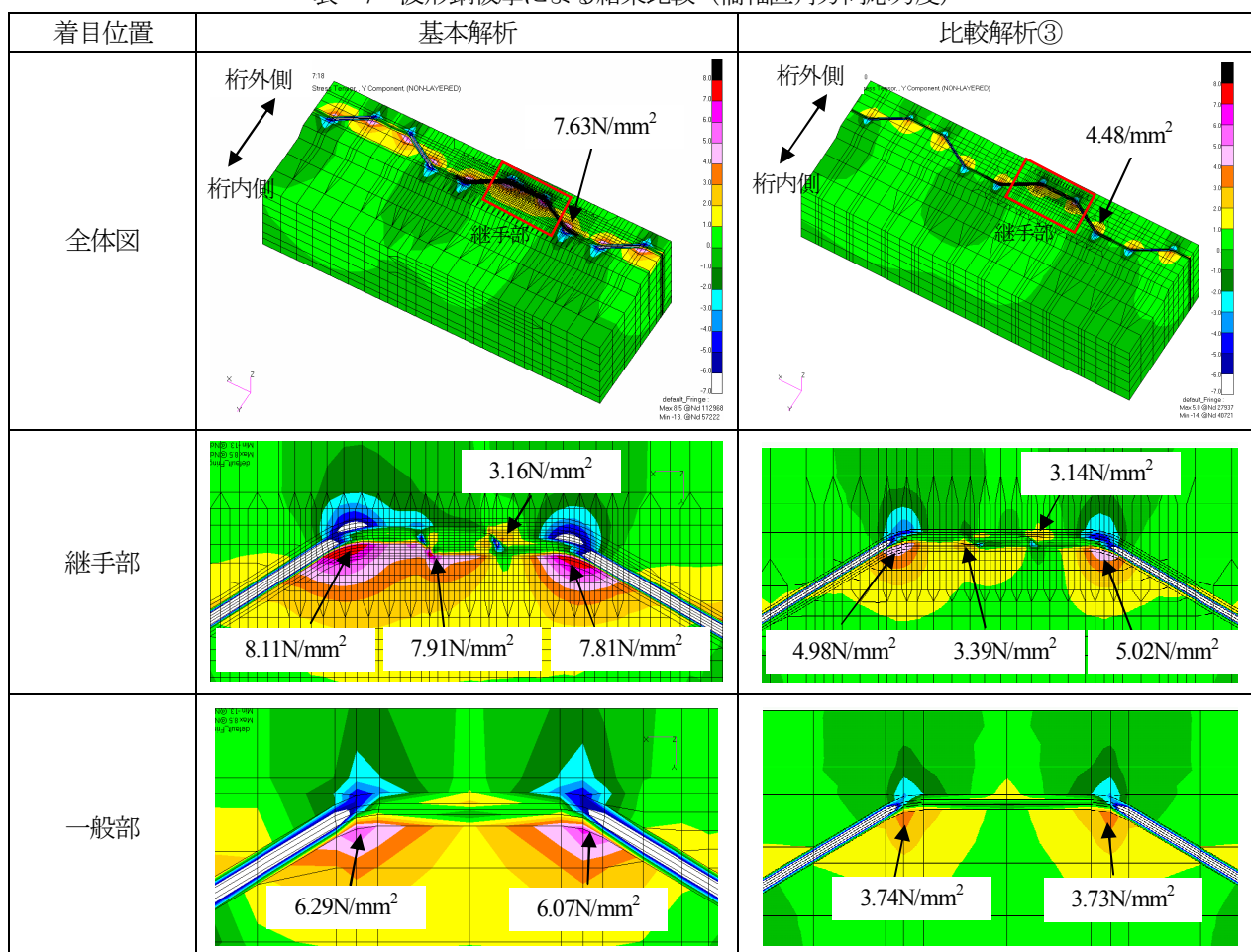
波形鋼板厚は使用する鋼板の材質により異なるが、支点部近傍のせん断力が卓越する箇所では、20mm 前後の厚い板厚となる。また、高強度な材質の波形鋼板を使用することで、波形鋼板厚を抑えることができる。ここで、桁剛性（桁高，下床版），載荷荷重および重ね継手方向を同一とし、波形鋼板厚の違いに着目した検討を行った。解析条件を表-6 に示し、解析結果を表-7 に示す。

表-6 解析条件（比較解析③）

|          |      |                       |
|----------|------|-----------------------|
| 桁 高      |      | 5900m                 |
| 下床版厚     |      | 1000mm                |
| 波形鋼板厚    |      | 11mm                  |
| 重ね継手方向   |      | 桁外側継手                 |
| コンクリート強度 |      | 40N/mm <sup>2</sup>   |
| 発生応力     | 主桁上縁 | 6.0N/mm <sup>2</sup>  |
|          | 主桁下縁 | 11.0N/mm <sup>2</sup> |

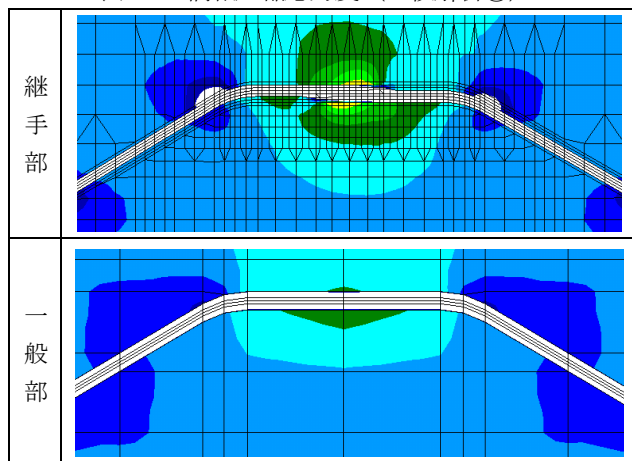
同一荷重を載荷しているが、波形鋼板厚を薄くすることによって、波形鋼板とコンクリート界面に発生する橋軸直角方向の引張応力は大幅に低減する。これは、波形鋼板の剛性が低下することで、軸圧縮力による波形鋼板

表-7 波形鋼板厚による結果比較（橋軸直角方向応力度）



が抵抗しないため面外変形が小さくなるためと考えられる。また、重ね継手部の引張応力も大幅に低減している。板厚が薄くなることで、重ね継手部の段差が小さくなり、軸圧縮応力が継手部に関係なくスムーズに伝達されているため、重ね継手部に引張応力が卓越しないと考えられる（表－8）。ゆえに、界面の肌隙および重ね継手部のクラックは波形鋼板厚に影響すると考えられる。

表－8 橋軸圧縮応力度（比較解析③）



## （5）桁剛性について

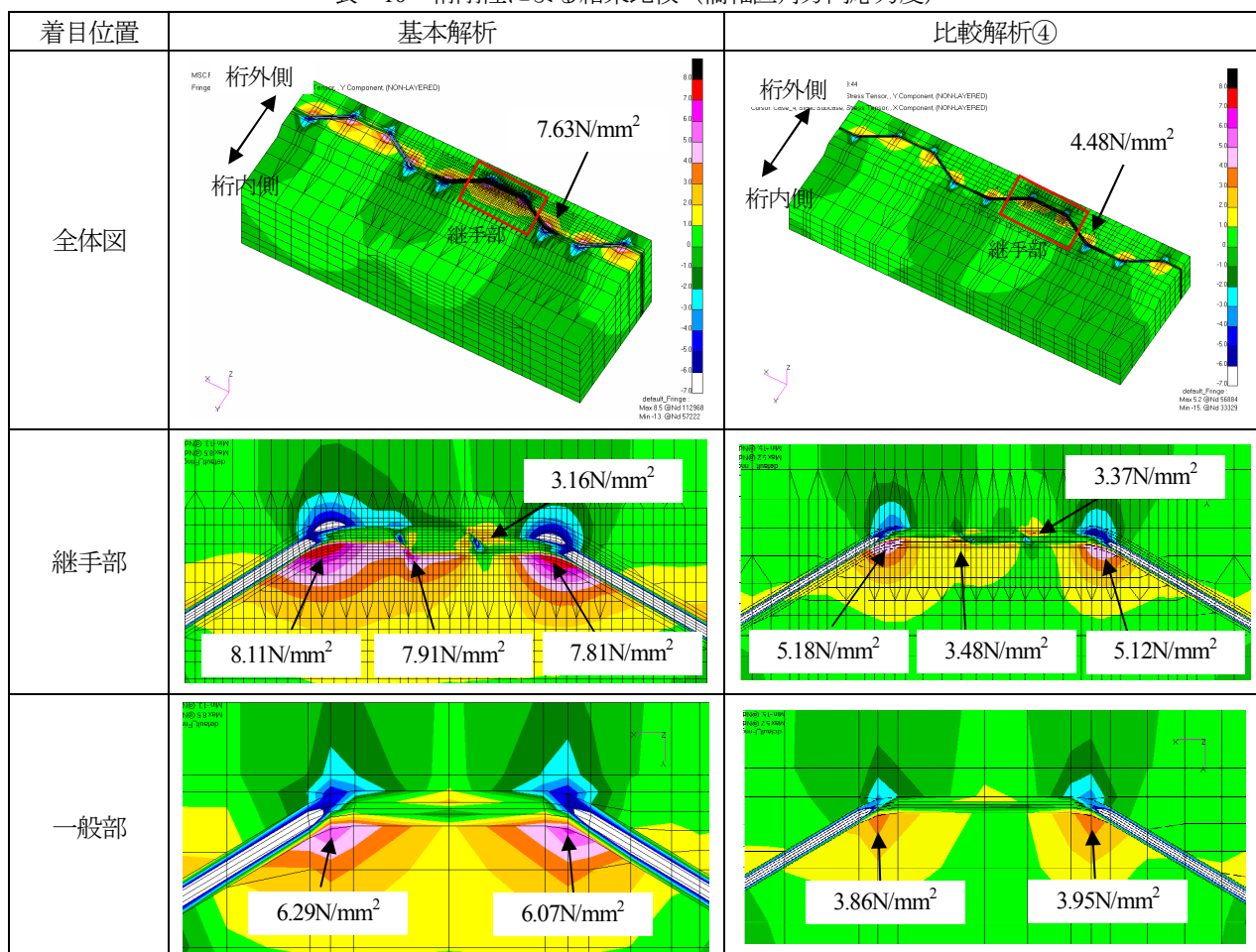
支間 80m 程度の中規模橋梁に着目すると、支点部近傍のせん断力は小さくなり、波形鋼板厚も薄くなる。また、桁剛性も小さくなるが、下床版厚は主桁応力で決定しているので、支点部近傍の主桁応力は橋梁規模によって基本的に変わらない。このため、桁剛性に着目した検討を行った。解析条件は表－9 に示し、解析結果を表－10 に示す。

表－9 解析条件（比較解析④）

|          |      |                       |
|----------|------|-----------------------|
| 桁 高      |      | 4.500m                |
| 下床版厚     |      | 450mm                 |
| 波形鋼板厚    |      | 11mm                  |
| 重ね継手方向   |      | 桁外側継手                 |
| コンクリート強度 |      | 40N/mm <sup>2</sup>   |
| 発生応力     | 主桁上縁 | 6.0N/mm <sup>2</sup>  |
|          | 主桁下縁 | 11.0N/mm <sup>2</sup> |

下床版に作用している軸圧縮応力は基本解析と同一としているが、界面および重ね継手部に発生する橋軸直角方向の引張応力は大幅に低減する。また、発生応力は

表－10 桁剛性による結果比較（橋軸直角方向応力度）



波形鋼板厚を薄くさせた解析結果とほぼ一致している。これは、界面および重ね継手部の発生応力は桁剛性、作用軸力に関係なく、波形鋼板厚に影響すると考えられる。以上より、中規模橋梁では、界面の肌隙および重ね継手部のクラックが発生する可能性は低いと考えられる。

#### 4. 傾向分析および対策

重ね継手部では軸圧縮応力がスムーズに伝達されないため、波形鋼板厚によって橋軸直角方向の応力が卓越する傾向にある。応力伝達をスムーズするためには、波形鋼板厚を薄くするのが効果的と考えられる。また、重ね継手部において、すみ肉溶接接合時の仮固定ボルトや、摩擦接合時の高力ボルトを埋込み部表面に配置すると、応力伝達の妨げになるため、埋込み部表面には配置しないことが重要である。

重ね継手部および波形鋼板折り曲げ部の橋軸直角方向の発生応力と波形鋼板厚の関係を図-8 に示す。重ね継手外側の応力は波形鋼板厚に関わらずほぼ一致している。これは、表-3、6 より外側の重ね継手部には、波形鋼板厚に関わらず軸圧縮応力が桁内側に比べ一様に分布されているため、引張応力が卓越しないためと考えられる。また、軸方向圧縮方向に重ね継手凸部がないため、段差部からの軸圧縮力による割裂作用の影響がないことも要因と考えられる。重ね継手内側および波形鋼板折

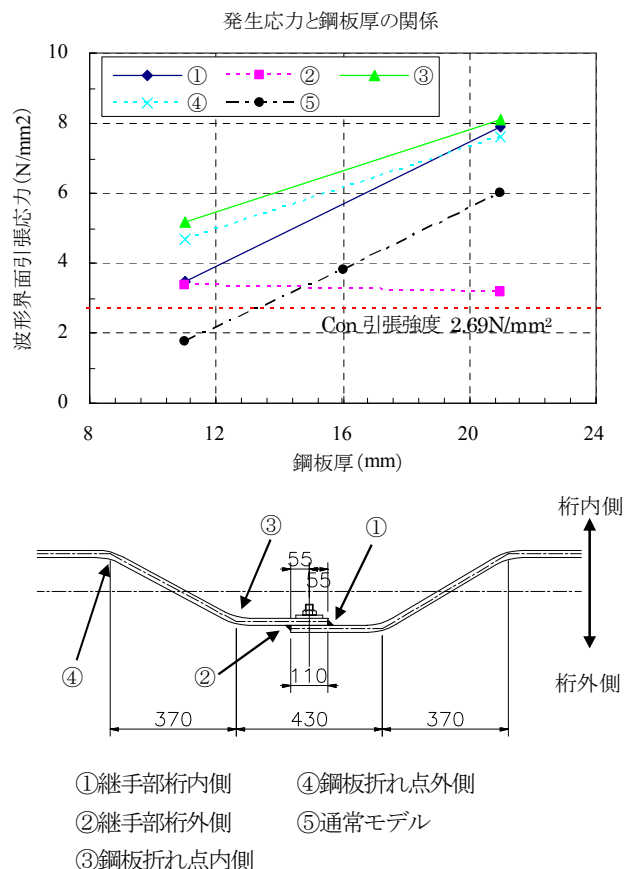


図-8 発生応力と波形鋼板厚の関係

り曲げ部の発生応力は波形鋼板厚の増加に伴い、発生応力も増加する傾向にある。また、波形鋼板を通常のシェル要素で行った FEM 解析結果と比較とすると、ソリッドモデルの発生応力はシェルモデルの発生応力の 1.5～2.0 倍となった。この結果より、重ね継手をモデル化しない通常のシェル要素による FEM 解析を行うことで、重ね継手部および波形鋼板折り曲げ部の発生応力が予測することが可能となる。

載荷荷重を軸力のみとし、下床版の軸圧縮応力と波形鋼板界面の橋軸直角方向の引張応力の関係を図-9・10 に示す。軸圧縮応力の増加に伴い、界面の引張応力も増加する。波形鋼板厚が厚いほど、引張応力の増加量も大きくなる。これは、引張応力が波形鋼板厚に影響するためと考えられ、支点部近傍の高圧縮域では波形鋼板の材質を高強度な材質に変更し、波形鋼板厚を抑えることによって引張応力の低減が図れると考えられる。

本解析において、引張深さの影響についても検討を行い、あらかじめ波形鋼板とコンクリート界面の縁を切っておくことでコンクリート表面の引張応力の発生を未然に防ぐことが可能になると考えられる。縁を切ること

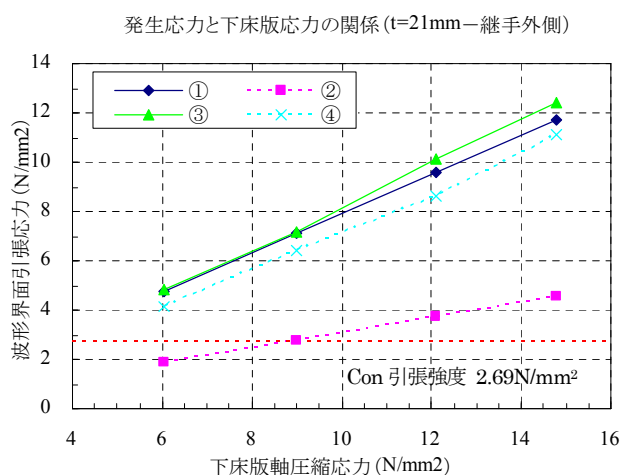


図-9 下床版応力と波形鋼板界面応力の関係 (t=21mm)

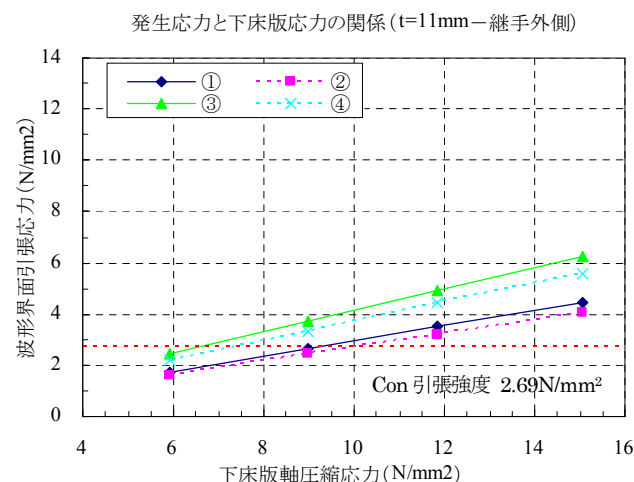


図-10 下床版応力と波形鋼板界面応力の関係 (t=11mm)



は接合部への雨水等の侵入による接合部の腐食が懸念され、耐久性の面で不利な構造となる。波形鋼板の適切な防錆処理と雨水の侵入を防ぐ界面の表面処理が必要となる。一般に埋込み接合は張出し施工段階毎に表面の防錆処理を行っている。張出し施工完了後、完成鋼材緊張により支点部近傍には再度、軸圧縮応力が卓越し界面の肌隙が懸念される。よって、施工中の界面の止水処理だけではなく、完成後における止水処理の確認も必要であろう。また、埋込み長は接合部ズレ止め耐力に影響するため、設計段階で、縁切りの影響を考慮した設計埋込み長の設計が必要となる。

埋込み接合は波形鋼板厚が薄くなる中規模橋梁や支間中央付近では有効的だが、波形鋼板厚が厚くなる大規模橋梁の支点部近傍は軸圧縮応力の影響を受けるため、接合部の耐久性の面で不利な構造となる。したがって、波形鋼板の挙動がコンクリートの軸圧縮応力の影響を受けないフランジを有する接合方法（アングル接合）が有効的と考えられ、橋梁規模、使用部位によって接合方法の使い分けが必要であろうと思われる。

## 5. まとめ

以上、今回の検討結果をまとめると以下のようになる。

- 1) FEM 解析において、界面の肌隙範囲の再現性および重ね継手部の応力伝達を把握することが可能である。
- 2) 界面に発生した引張応力は、肌隙発生後に解放されるため、活荷重および温度変化等の持続荷重に関しては影響がないと考えられる。
- 3) 埋込み部の縁切りを行うことは、表面の引張応力の防止としては有効的であるが、接合部の耐久性に関しては不利な構造となる。したがって、縁切りする際の適切な施工方法、埋込み部の適切な防錆方法および界面の止水対策を詳細に検討していく必要がある。
- 4) 埋込み長は接合部のズレ止め耐力に影響してくるため、波形鋼板厚および作用軸圧縮応力に伴う適切な埋込み長を定量的に把握する必要がある。
- 5) 波形鋼板とコンクリート界面および重ね継手部に発生する橋軸直角方向の引張応力は、波形鋼板厚に大きく影響する。
- 6) ズーミング手法を用いたソリッドモデルの FEM 解析結果は、通常のシェルモデルの解析結果の 1.5～2.0 倍となるため、通常の FEM 解析より界面の発生応力の把握が可能である。

- 7) 埋込み接合は、波形鋼板厚が薄くなる中規模橋梁や支間中央付近では有効的な接合方法と考えられる。

軸方向応力に着目した接合部の検討は、過去に同様な検討が行われておらず、本検討は弾性 FEM 解析のみであるが、アコーディオン効果による接合部の影響の傾向を把握した。今後、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋に設計・施工にあたっては、実験による原因の検証、並びに肌隙、クラックの対策手法の検証が必要である。

## 参考文献

- 1) Fritz Leonhardt, Wolfhart Andra, Hans-Peter Andra und Wolfgang Harre : Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Trarwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton und Stahlbetonbau, pp325-331,1887.12
- 2) 中洲啓太, 依田照彦, 佐藤幸一, 櫻田道博 : 鋼板孔のずれ止めを用いた波形鋼板ウェブを持つ合成桁の面外曲げ挙動に関する研究, 土木学会論文集 No.647/I-51, pp.267-279,2000.4
- 3) 竹下明, 依田照彦, 佐藤幸一, 櫻田道博, 志賀弘明, 中洲啓太 : 波形鋼板ウェブを有する I 形合成断面の埋込み接合部の疲労実験, 土木学会論文集 No.668/I-54, pp.55-64,2001.1
- 4) 鈴木永之, 紫桃孝一郎, 櫻田道博, 立神久雄 : 波形鋼板ウェブ橋におけるコンクリート床版接合部の横方向性状, コンクリート工学論文集 vol.15,2004.1
- 5) 鈴木永之, 上東泰, 永元直樹 : 波形鋼板ウェブ橋のせん断座屈挙動に関する実験的研究, 第 12 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp549-552,2003.10
- 6) 山口恒太, 山口隆裕, 池田尚治 : 波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学論文集 vol.8,pp27-41,1997.1
- 7) 永元直樹, 坂井逸郎, 春日昭夫, 小西拓洋, 高木康弘 : 波形鋼板ウェブ橋の横方向疲労特性に関する実験的研究, 第 11 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp416-418,2001.11
- 8) 小瀧教正, 市川篤司, 佐々木栄一, 三木千壽, 保坂鐵矢 : リップルウェブ橋梁の提案とその疲労強度, 土木学会論文集 No.766/I-68,pp233-244,2004.7

(2008 年 9 月 18 日受付)