

# 報告 波形鋼板ウェブ-下床版巻込み式継手の耐荷性能

山口 佳起\*1・秋山 博\*2・竹中 計行\*3

**要旨**：波形鋼板ウェブの下フランジが下床版を下から巻き込む様な構造となる波形鋼板ウェブ-下床版巻込み式継手は、我が国では実績が無く適用にあたってはその耐力および破壊形態の把握が必要となる。そこで、本実験では実物大部分モデルにより波形鋼板ウェブ-下床版巻込み式継手の曲げ試験を実施し、その耐力・破壊形態を確認した。また、従来のRC下床版で用いられる設計手法による設計値と実験値の比較を行い、設計手法の妥当性について検証した。その結果、十分なスタッドを配置してスタッド近傍のRC断面部で破壊させるよう設計した供試体では、計算耐力の約1.67倍の耐力とじん性を有する破壊形態が確認された。

**キーワード**：波形鋼板ウェブ、継手耐力、波形鋼板ウェブ-下床版巻込み式継手

## 1. はじめに

近年、PC箱桁橋は施工の省力化およびコスト削減を目的として、コンクリートウェブを波形鋼板に置き換えた波形鋼板ウェブ橋として多く建設されてきている<sup>1)</sup>。従来の波形鋼板下フランジ-下床版間での継手は図-1に示すようにコンクリート上をフランジプレートが覆う形となり、コンクリート打設の際には逆打ちとなるため空気溜まりの発生など、確実な施工が困難であるという課題があった。

今回対象としている波形鋼板下フランジが下床版を巻き込む形状の継手構造(下床版巻込み式継手構造(図-2))を採用することで、逆打ち打設の課題が解消され、施工性の向上とともに品質の向上も図ることができる。更に、同一桁高でも従来の継手方式と比較して、波形鋼板ウェブ高が高く取れるため、せん断に対する設計でも有利となるなどの利点を得られる。また、下フランジ側では活荷重による横方向の作用力や疲労の影響が少ないため、シンプルなスタッドを用いた継手がコストダウンに繋がるものと考えられる。

これまでに下床版巻込み式継手構造を採用し

た橋梁としては、ドイツのAltzipfergrund橋<sup>2)</sup>が挙げられるが、同種の継手構造を採用した橋梁はこの1例のみであり、我が国での実績は無く、破壊形態・設計手法など十分把握されていないのが現状である。

そこで、本実験では下床版巻込み式継手の耐力および破壊形態の把握を目的として、橋軸直角方向曲げ試験を行った。さらに、従来のRC構造としての計算耐力と実験値の比較を行い、設計法の適用性に関して検討を行った。

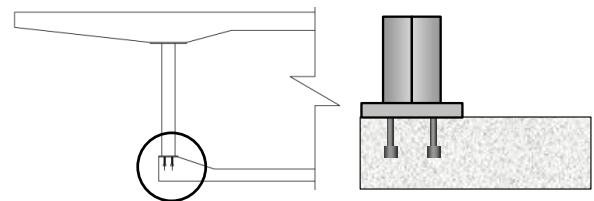


図-1 従来の継手構造

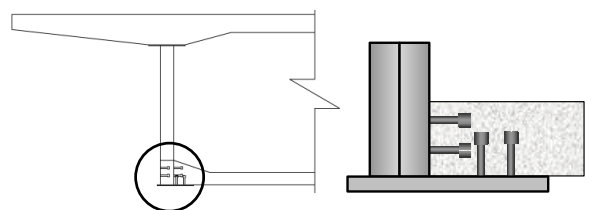


図-2 下床版巻込み式継手構造

\*1 (株) 銭高組 土木事業本部土木本部 技術部 工修 (正会員)

\*2 (株) 銭高組 土木事業本部土木本部 技術部 (正会員)

\*3 (株) 銭高組 技術本部 技術研究所

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

本実験で作製した供試体の波形鋼板パネル配置の概要を表-1に示す。橋軸方向に連続した供試体の実験が困難であることから、波形鋼板のパネル配置による影響を確認するため、TYPE1～3の配置で供試体(波形鋼板1波長分)を作製した。ここで、TYPE1～3では、スタッド近傍のRC部(以下、RC部)の耐力よりスタッド耐力が大きくなるよう波形鋼板に水平に設けたスタッドジベル(以下、水平スタッドジベル)の配置本数を1パネルあたり3列×2段で配置した。これに対し、スタッド部で先行破壊した場合の挙動を確認するために、TYPE4ではRC部の耐力よりスタッド耐力が小さくなるよう、水平スタッドジベルを1パネルあたり2列×2段の配置とし、引張鉄筋量を増加させた。下フランジに鉛直方向に設けたスタッドジベル(以下、鉛直スタッドジベル)は、橋軸直角方向に全て同様の配置とした。

図-3に供試体(TYPE1)の平面図・断面図を示す。供試体は、波形鋼板1波長分(1600mm)を1試験体とした実寸大の部分モデル(橋軸方向1700×橋軸直角1600mm×下床版厚450mm)を用いている。なお、波形鋼板近傍において下床版の曲げ破壊あるいは継手破壊が確実に生じるように継手部以外のスラブ上面の主鉄筋間に補強筋を追加配置している。

### 2.2 使用材料

本実験での使用材料を表-2に示す。波形鋼板(SM490YA)は部材厚9mmとし、継手部にはφ19×150の頭付きスタッドジベルを用いた。

### 2.3 荷荷方法

実験状況(TYPE1)を写真-1に示す。荷荷方法は水平ジャッキ(Max:500kN)を用いた一方向引張荷荷とした。支点条件は、継手部下面(A部)にはピンスライド、コンクリート床版端部(B部)には貫通ボルトにより固定端とすることで継手部に曲げモーメントが作用するよう設定した。なお荷荷は、一様に応力が伝達するよう上フラ

表-1 供試体波形鋼板形状の概要

	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4
波形鋼板の パネル配置 (平面図)				
1パネルの 水平スタッド	3列×2段	3列×2段	3列×2段	2列×2段
鉄筋配置	D13@250	D13@250	D13@250	D22@250

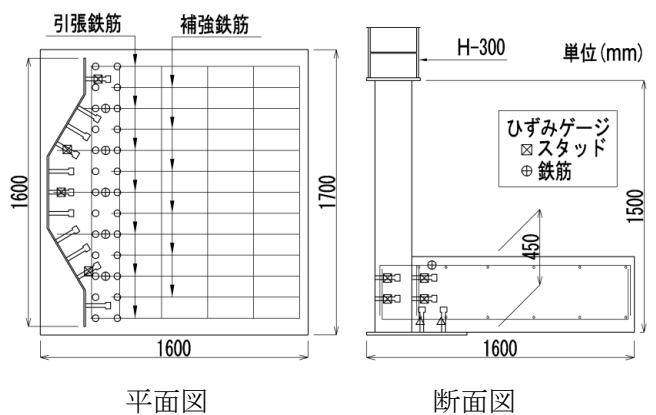


図-3 供試体概要図(TYPE1)

表-2 使用材料

	材料規格	寸法	備考
波形鋼板	SM490YA	t=9mm	
スタッドジベル	JIS B 1198	φ19 l=150mm	頭付き スタッド
コンクリート	$f_{ck}=40\text{N/mm}^2$	---	$f_c(28)=$ 44.1N/mm <sup>2</sup>
上・下フランジ	SM490YA	t=16mm	
鉄筋	SD345	D13	TYPE1,2,3
		D22	TYPE4

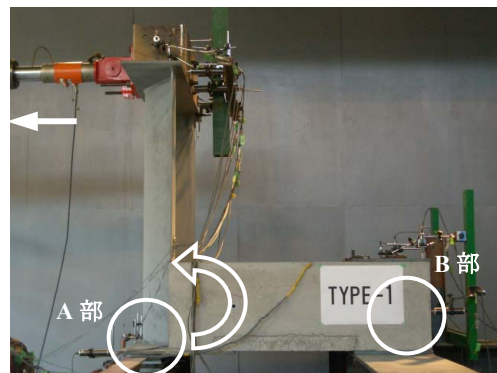


写真-1 実験状況

ンジに設けた H 型鋼(H-300)を介して実施し、急激な変位の増大が認められた時点で終了した。

## 2.4 設計方法

本報告では、TYPE1～3 の設計値は RC 部の終局曲げ耐力とし、TYPE4 ではスタッドの終局曲げ耐力を設計値とした。スタッドの計算耐力を求める場合、橋軸方向に対して斜方向の波形鋼板パネルに設置した水平スタッドジベルは曲げモーメントの作用方向と角度を有しているため橋軸直角方向の水平スタッドジベルに比べて継手として 100%の性能を期待することができない。ここで、斜めスタッドジベルは橋軸直角方向のスタッドジベルに対して約 30 度の傾きを有しており、斜めスタッドジベルの効果はやや余裕を見込んで 50%の効果が期待できるものと仮定し、スタッドを鉄筋換算して、RC 断面と同様の評価手法によりスタッド部の耐力を算出した。それぞれの設計耐力を表-3 に示す。

## 3. 実験結果

### 3.1 耐力と設計値

各供試体の耐力を表-3 に示す。実験結果より、以下のことが言える。

- (1) 全ての供試体で実験値が設計値を上回った。特に、RC 部で先行破壊した TYPE1～3 では比率が 1.67 倍程度となった。実験値が設計値に比して大きくなった要因としては、設計では引張域にあるコンクリートの寄与分を考慮していないためと考えられる。
- (2) TYPE1～TYPE3 では、耐力がすべて 200kN・m 程度とほぼ同程度の耐力を示したことから、実験供試体の波形鋼板のパネル配置が耐力に与える影響はないものと考えられる。
- (3) TYPE4 は、実験値が 208.9kN・m と設計値(203.9kN・m)とほぼ同程度の値を示す結果となった。このことから、斜めパネルに配置した斜めスタッドジベルの引抜き抵抗を通常のスタッドジベルに対して 50%と仮定することで比較的精度よく継手耐力を推定することができた。

表-3 計算耐力・実験耐力

(単位:kN・m)

	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4
計算値※	121.5	121.5	121.5	203.9
実験値	203.2	202.5	201.7	208.9

※TYPE1～3 は RC 部耐力、TYPE4 はスタッド耐力

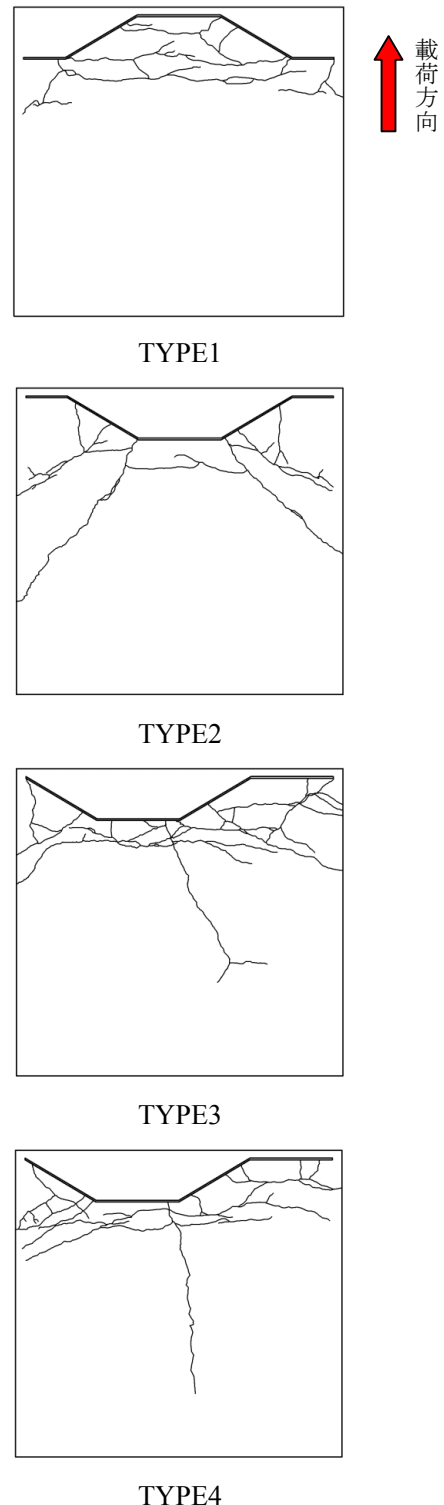


図-4 クラックスケッチ

### 3.2 破壊形態

TYPE1～TYPE4のクラックスケッチを図-4に示す。曲げモーメントが約  $30\text{kN}\cdot\text{m}$  の低応力時に波形鋼板とコンクリートの剥離が確認され、その後床版にひび割れが発生・進展し破壊に至った。供試体に発生したひび割れは、いずれも曲げによるものと考えられ、せん断ひび割れは確認されなかった。

### 3.3 曲げモーメント-水平変位関係

図-5に曲げモーメントと水平変位の関係を示す。ここで言う水平変位とは、波形鋼板ウェブの上フランジの水平変位である。曲げモーメント-水平変位関係をまとめると以下ようになる。

- (1) TYPE1～3では、曲げモーメントがおよそ  $150\text{kN}\cdot\text{m}$  程度で荷重の増加にともなう変位の増大傾向が認められ、じん性を有した継手構造であることが確認された。
- (2) スタッドジベルの本数を少なくした TYPE4では、変位の増加にともない荷重が急激に小さくなる脆性的な挙動を示した。これは、スタッドジベルの降伏に起因するものと考えられる。
- (3) 上記(2)より、下床版の曲げ破壊が確実に先行するように、RC部よりもスタッドの耐力を大きく設計し、じん性のある破壊形態に終局時の挙動を制御する必要があると考えられる。

### 3.4 スタッドジベルひずみ

曲げモーメントと水平スタッドジベルのひずみの関係を図-6に示す。TYPE1～3では、局部的に低応力時に降伏しているスタッドジベルも存在するものの、図-5の曲げモーメント-水平変位の関係より3体ともにじん性を有した挙動を示している。このことから、局所的にスタッドジベルが降伏に至った後も、他のスタッドジベルが応力を負担し、スタッド群が全体として、継手機能を保持しているものと思われる。

一方、スタッド先行破壊型に設定した TYPE4では、スタッド全体でひずみが急増し終局に至った挙動を示している。このため、図-5で示す様な脆性的な破壊に至ったものと考えられる。

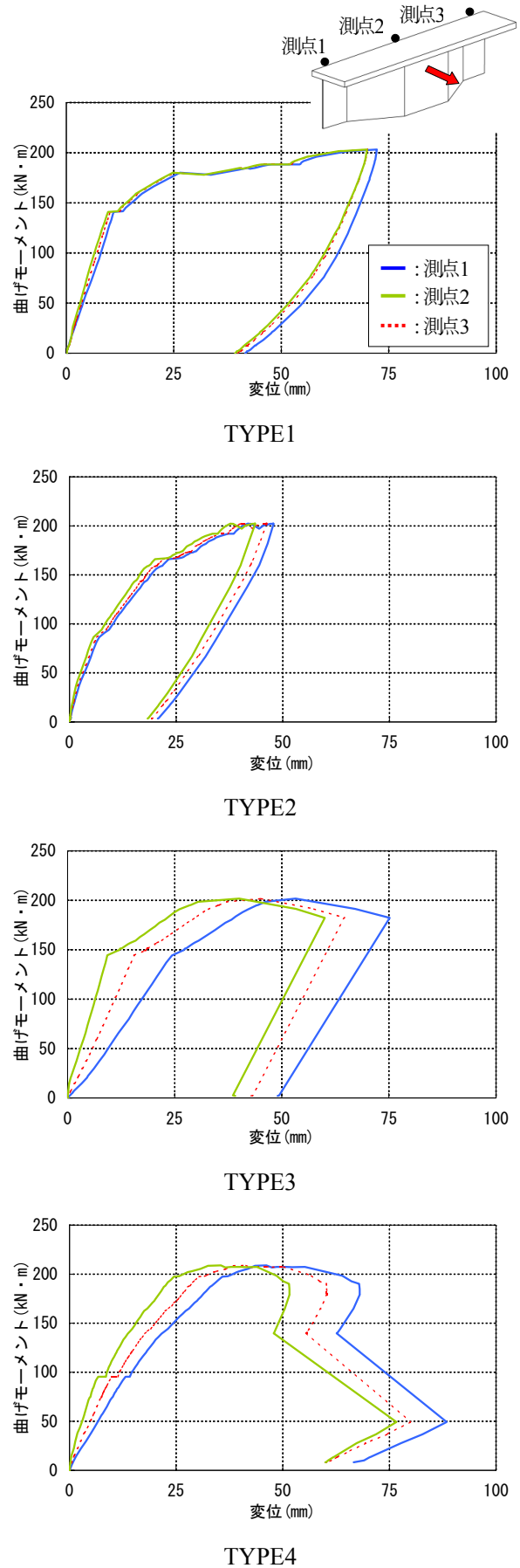
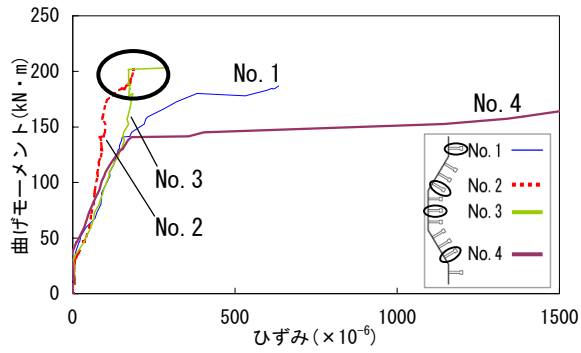
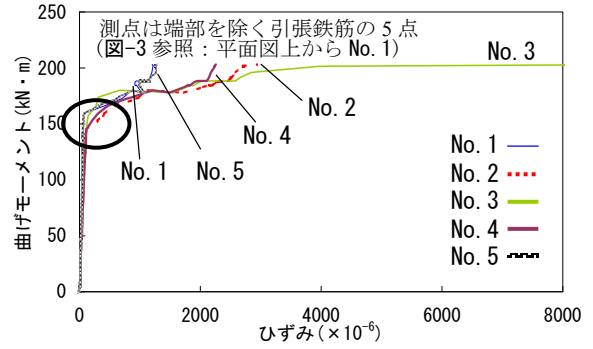


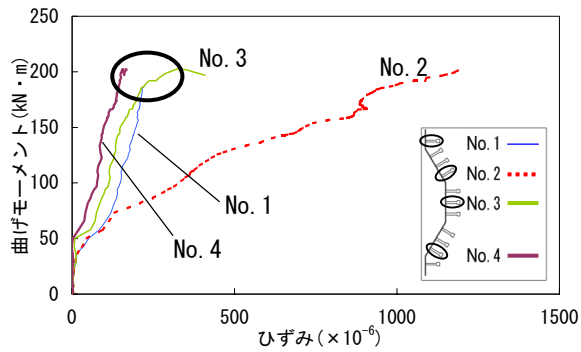
図-5 曲げモーメント-水平変位関係



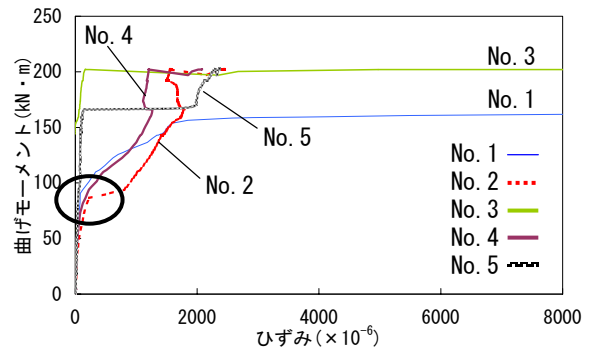
TYPE1



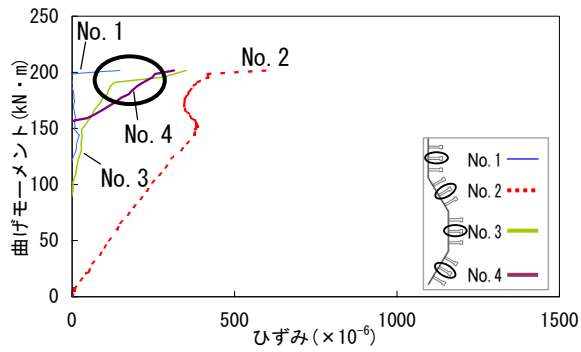
TYPE1



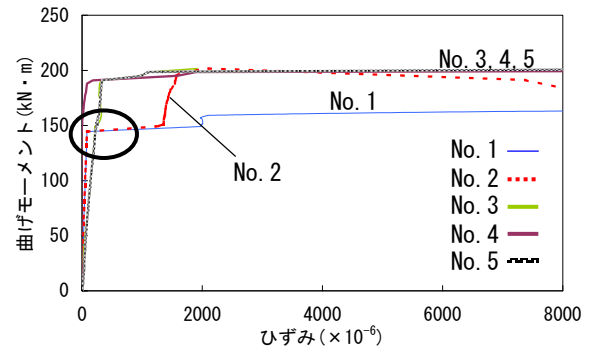
TYPE2



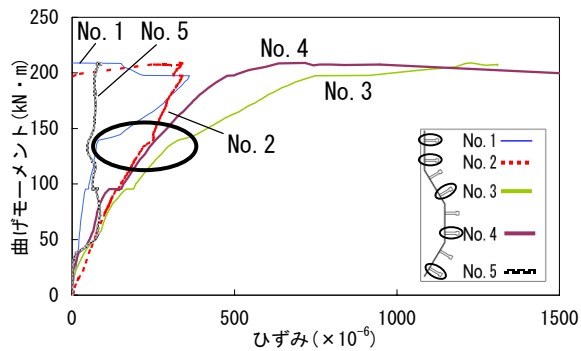
TYPE2



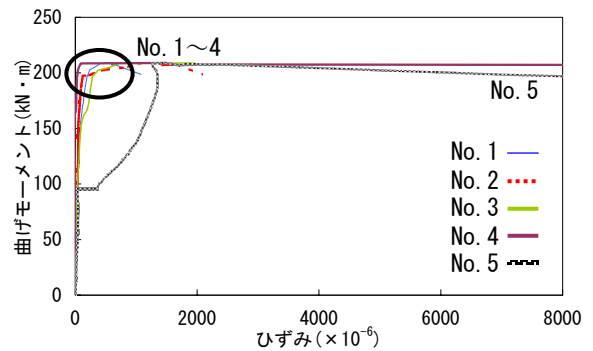
TYPE3



TYPE3



TYPE4



TYPE4

図-6 曲げモーメント-  
水平スタッドジベルひずみ関係

図-7 曲げモーメント-鉄筋ひずみ関係

### 3.5 鉄筋ひずみ

図-7 に曲げモーメント-鉄筋ひずみ関係を示す。図-7 の鉄筋ひずみと図-6 のスタッドひずみを比較すると、TYPE1~3 では鉄筋・スタッドともに局所的に降伏に至っているため定性的な判断は困難ではあるものの、全体としてスタッドジベルよりも鉄筋が早い段階で降伏に至っているように思われる。それに対し、TYPE4 では、鉄筋よりもスタッドジベルが早期に降伏に至った挙動を示した。このことより、TYPE1~3 では、スタッド近傍の RC 部、TYPE4 ではスタッドが先行破壊したものと推察される。

### 4. FEM 解析

本報告では曲げ試験に際し、線形 FEM 解析を行い、ひび割れ発生前の供試体の挙動予想を行った。その一例として橋軸方向に連続したモデルでの主応力図および矢印分布図を示す。波形鋼板折れ点部(図-8 : A 部)の矢印分布図に着目すると、波形鋼板折れ点部にて橋軸方向に対し 45 度方向の応力が生じている。この斜め方向の応力により、図-4 の TYPE2~4 で示した斜め方向のひび割れが発生したものと推察される。

### 5. まとめ

本実験では、下床版巻込み式継手の耐力・破壊形態の把握を目的として波形鋼板ウェブ 1 波長分の供試体を用いて橋軸直角方向への曲げ試験を行った。実験より得られた知見および今後の課題を以下にまとめる。

#### 5.1 結論

- (1) 破壊耐力は計算耐力を上回っており従来の設計手法により十分安全を確保できる。
- (2) スタッド耐力の設計では、橋軸方向に対し斜めに配置してあるスタッドジベルは、断面積の 50%有効と仮定することで精度良く耐力を推定することができた。
- (3) じん性のある破壊形態とするためスタッドジベルの配置本数は、下床版耐力よりも高めの安全率を考慮して設定する必要がある。

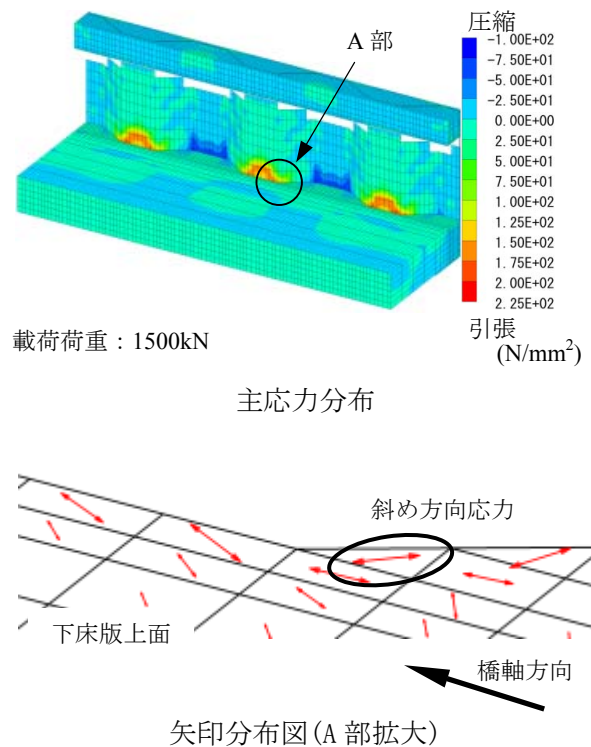


図-8 FEM 解析結果

#### 5.2 今後の課題

今回の実験では 1 方向荷重により橋軸直角方向の下床版巻込み式継手の特性把握を行い、従来の設計手法を行えば安全性を確保できるという結論を得た。一方、橋軸方向のズレ止めとしては鉛直スタッドのみを考慮すれば安全側の設計となるものの、水平スタッドの効果や波形鋼板ウェブの斜めパネルのズレ止めとしての効果も期待できるものと思われる。これらの効果を定量的に把握できれば、更に経済的で施工性の良い継手構造となるものと思われる。

#### 参考文献

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブ PC 橋計画マニュアル (案)，1998.12
- 2) Helmut Roesler, et al.: The Prestressed Concrete Bridge Altwipfergrund with Corrugated Steel Webs, Proceedings of the first fib Congress 2002, fib, pp.339-346, Oct. 2002.