

波形鋼板ウェブ橋のせん断力分担率に関する研究

大成建設(株) 土木技術研究所 正会員 ○小尾 博俊
 大成建設(株) 土木設計部 正会員 白谷 宏司
 日本道路公団 試験研究所 正会員 長田 光司
 日本道路公団 試験研究所 小野 聖久

1. はじめに

波形鋼板ウェブ橋の設計においては、一般に主桁断面に発生する全せん断力をウェブ鋼板が負担するものと仮定している。この仮定は安全側ではあるが、最近の研究成果^{1),2)}によれば、弾性範囲や床版の損傷が少ない範囲では、上下コンクリート床版も10%~50%程度のせん断力を負担することが確認されている。

実橋の設計では、終局荷重時においては床版の鉄筋の降伏を許容するが、ウェブは一般にせん断座屈よりもせん断降伏が先行するように諸元を設定し、想定される終局せん断力に対してウェブが降伏しないようにウェブ厚を決定している。さらに、引張側床版の鉄筋ひずみがより大きくなり、床版の曲げによる損傷が激しくなった時点でのウェブと床版のせん断力分担率まで設計に反映できれば、従来の設計法よりもウェブ鋼板の板厚を減らすことが可能になりコストダウンを図ることができる。

そこで、本検討では、終局荷重時におけるウェブと床版のせん断力分担率を把握するため、実橋で一般的なスケールの波形鋼板ウェブ桁モデルに対して、3次元非線形FEM解析によるパラメータスタディを実施した。計算結果に基づいて各部材の挙動とウェブ・床版のせん断力分担率との関連について考察を行う。

2. 検討モデルと解析手法

本検討で対象としたモデルを図-1~4に示す。RC床版のモデル化手法として、梁要素を用いてモデルの簡素化を図った。すなわち、実床版の形状を図-1に示すように、B, Cの2本の梁要素でモデル化した。梁要素は実床版の断面2次モーメントと等しくなるような単純な形状に設定し、床版内の主鉄筋の位置は実床版と一致させるように設定した。また、床版とフランジ鋼板との接合部はアングルジベルを想定し、橋軸方向のずれを表現できるように、バネ評価した。

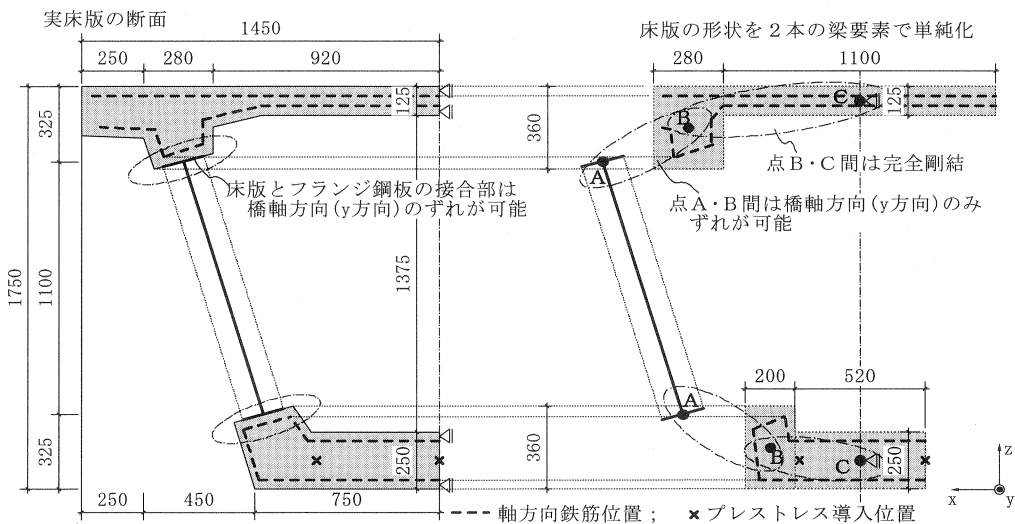
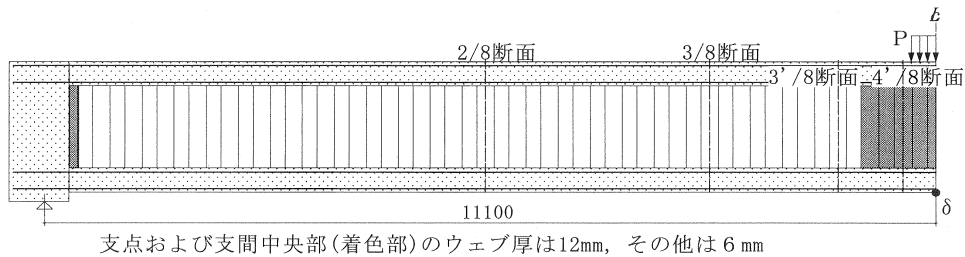


図-1 RC床版のモデル化



支点および支間中央部(着色部)のウェブ厚は12mm, その他は 6mm

図-2 検討モデル (ケース1)

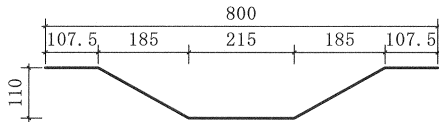


図-3 ウェブの波形状

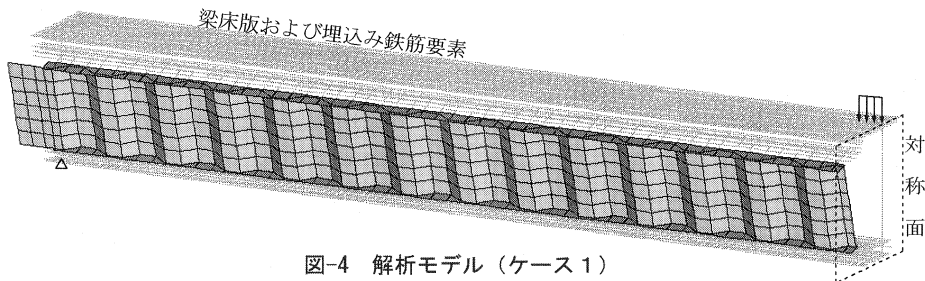


図-4 解析モデル (ケース1)

波形鋼板ウェブは図-2 に示すように、支点および支間中央部(着色部)の板厚を他に比べて増している。これは、荷重として集中荷重を載荷しているため、これらの部位において早期の降伏を避けるためである。

集中荷重を受ける支間中央では、波形鋼板ウェブのせん断変形が床版の曲げ剛性によって拘束されるため、床版に付加曲げが生じるとともにウェブのせん断力分担率が小さくなる傾向にある¹⁾。したがって、本検討では、床版の付加曲げによる影響が少ない断面(図-2 中、3'/8~3/8 断面)を検討の対象とした。これらの断面において、曲げ破壊時に鉄筋ひずみが 10,000 μ 前後まで達するように構造諸元を設定し、プレストレスト導入量、ウェブ厚、ウェブ高をパラメータとした4 ケースについて、曲げ破壊時のせん断力分担特性を検討した。

すなわち、ケース1を基準とすると、ケース2はウェブ厚を増したモデル、ケース3はプレストレスト導入量を減じたモデル、そして、ケース4はケース3のウェブ高を増したモデルとなっている。各ケースの諸元およびケース間の相違を表-1 に示

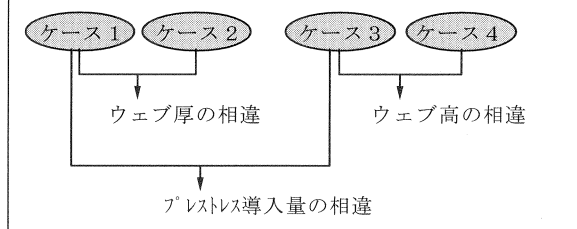
す。

FEM 解析には汎用解析コード DIANA を用い、波形鋼板ウェブおよびフランジ鋼板は中間節点を有する2次のシェル要素で、鉄筋およびPC鋼より線は埋込み鉄筋要素でそれぞれモデル化した。解析モデルを図-4 に示す。

表-1 検討ケース

ケース	プレストレスト導入量(kN)	ウェブ厚(mm)	ウェブ高(mm)
1	3,460	6 *	1,100
2	3,460	12	1,100
3	1,730	6 *	1,100
4	1,730	6 *	1,650

※) ケース1, 3, 4のウェブ厚は、支点および支間中央部のみ12mm。



3. 解析条件

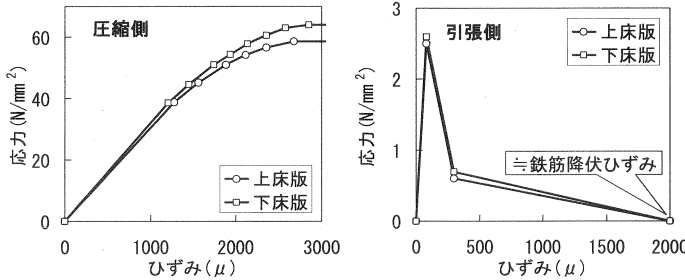


図-5 コンクリートの材料特性

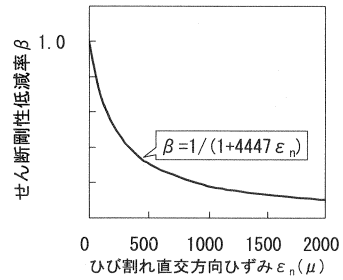


図-6 ひび割れ後のせん断剛性

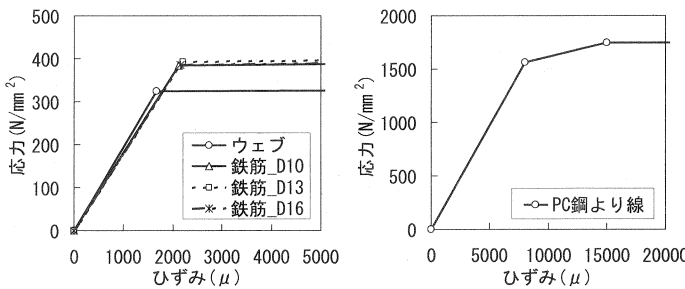


図-7 鋼材の材料特性

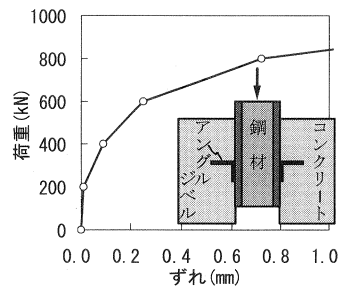


図-8 ずれ止め剛性

(1) コンクリート

コンクリートは設計基準強度 40N/mm^2 を想定し、圧縮側の応力-ひずみ曲線は、以前の実験²⁾ で用いたコンクリートの材料試験値を引用した。引張側は、ひび割れ発生強度を

$$f_t = 0.33\sqrt{f_c} \quad (1)$$

で与え³⁾、ひび割れ以降は、鉄筋の引張降伏ひずみに達する時に 0 となる応力-ひずみ関係を仮定した。また、ひび割れ発生後のせん断剛性は、ひび割れ前のせん断弾性係数に式(2)による補正⁴⁾を行った。

$$\beta = \frac{1}{1 + 4447\varepsilon_n} \quad (2)$$

ここで、 ε_n はひび割れに直交方向のひずみである。これらの関係を図-5~6 に示す。

(2) 鋼材

波形鋼板ウェブ、フランジ鋼板、鉄筋および PC 鋼より線の材料特性も、以前の実験の際の材料試験結果を引用して設定した。

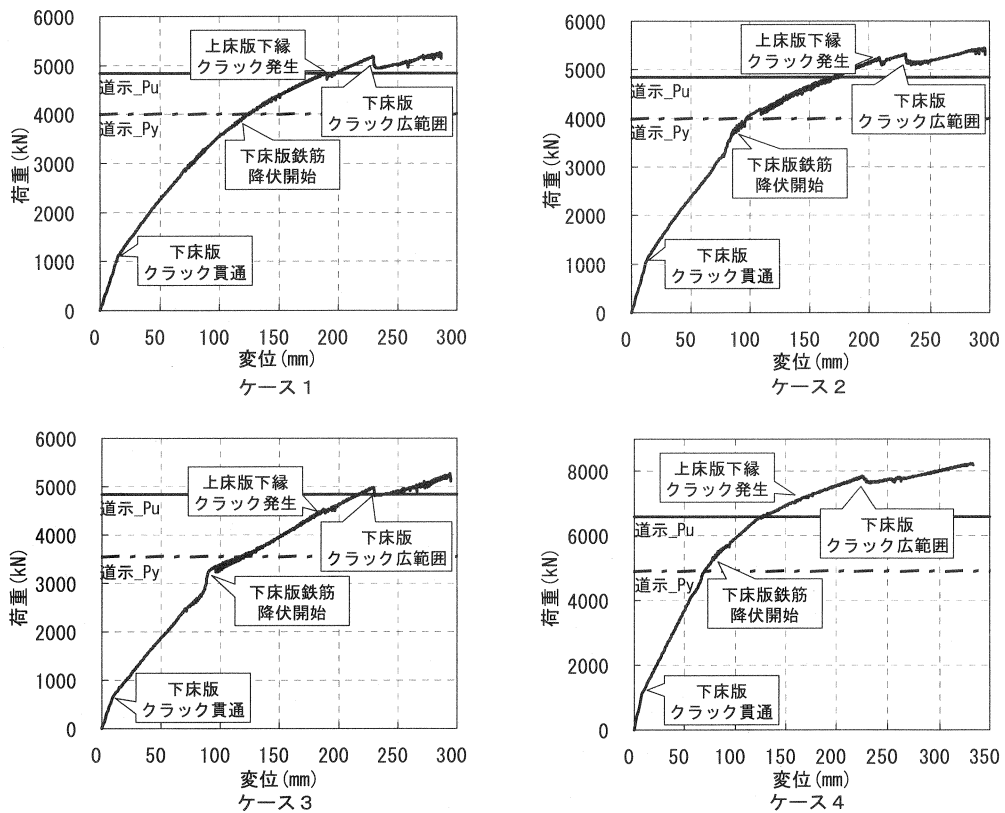
また、フランジ鋼板とコンクリート床版の結合部における軸方向バネ値は、アングルジベルのせん断耐力に関する実験結果⁵⁾ を基に算定した。直交する他の 2 方向については剛結合とした。これらの関係を図-7~8 に示す。

なお、本検討では、波形鋼板ウェブの面外方向の初期不整および鋼部材の溶接時に生じる残留応力については、既往の研究事例⁶⁾ から、最大耐力に及ぼす影響は小さいと判断し考慮しないことにした。

4. 解析結果

(1) 荷重-変位

各ケースの荷重-変位関係を図-9 に示す。ケース 1, 2 を比較すると、僅かではあるがケース 2 の方が耐力は高く、ウェブ厚の差による影響が表れている。また、ケース 1, 3 を比較すると、耐力およびその時点の変位に大きな差はないものの、クラックの発生時点や鉄筋の降伏時点には有意な差が認められ、プレスト導入量の差による効果が表れている。さらに、ケース 4 の結果からは、ウエ



図中、道示_Py, Pu : 道路橋示方書に基づいて算出した曲げ降伏荷重および曲げ破壊荷重
 図-9 荷重-変位関係

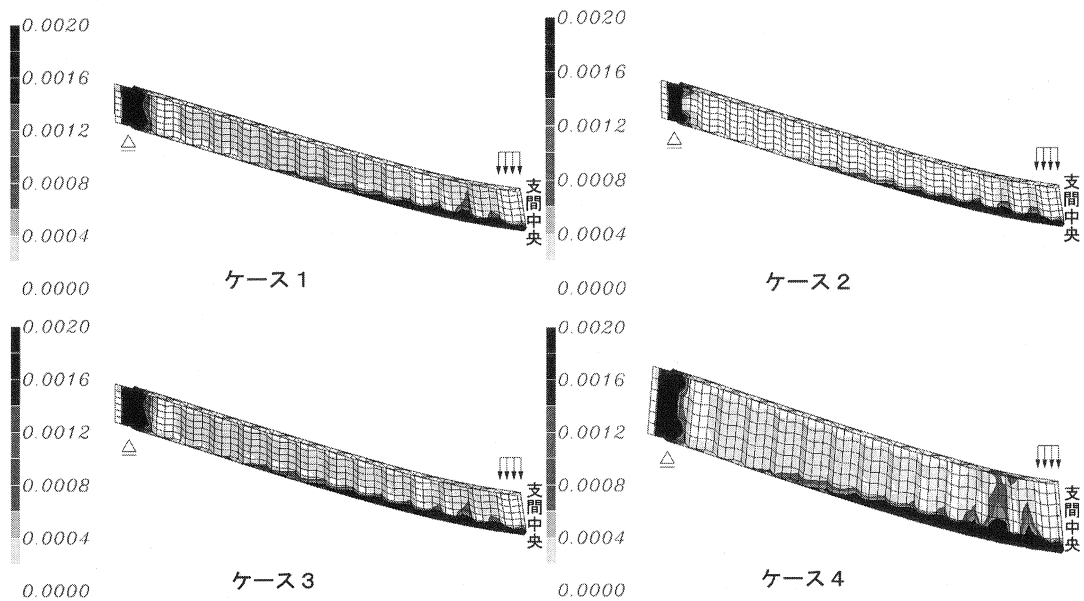


図-10 最大主ひずみの分布

ブ高を増す効果が顕著に表れている。

また、図-9には、道路橋示方書に基づいて算出した曲げ破壊荷重(図中、道示_Pu)も記載している。この荷重は、波形鋼板ウェブ橋の設計において一般に用いられる、ウェブの剛性を無視した上下床版のみの断面を仮定した場合の荷重であり、FEM解析による破壊荷重と比較して概ね10%以上小さい。これは、一般に設計時には、ウェブは軸方向剛性が小さいため桁の曲げ抵抗には寄与しないと想定されているが、実際には、床版の鉄筋降伏以降、ウェブの軸方向剛性が顕在化し、桁の曲げ耐力を高めているためと考えられる。

(2) 鋼材のひずみ

最大荷重時における波形鋼板ウェブおよびフランジ鋼板の最大主ひずみを図-10に示す。ひずみ

の発生状況は、各ケースとも、支間中央から支点側に向かって下フランジとこれに接するウェブが降伏ひずみに達している。ウェブは支点横桁との接合部にも大きなひずみが生じている。

また、下床版の鉄筋ひずみも、各ケースとも、支間中央からほぼ2/8断面まで降伏域に達していることを確認しており、下床版は比較的広範囲にわたり曲げ降伏が生じていると考えられる。

(3) ウェブのせん断力分担率

次に、ウェブのせん断力分担率を図-11に示す。分担率は各ケースとも、支間中央から離れた断面ほど大きくなる傾向にあるが、3/8断面より支点側の断面ではほぼ定常となっていることから、支間中央での床版の付加曲げの影響は、3'/8断面から3/8断面においてほとんどないと考えられる。

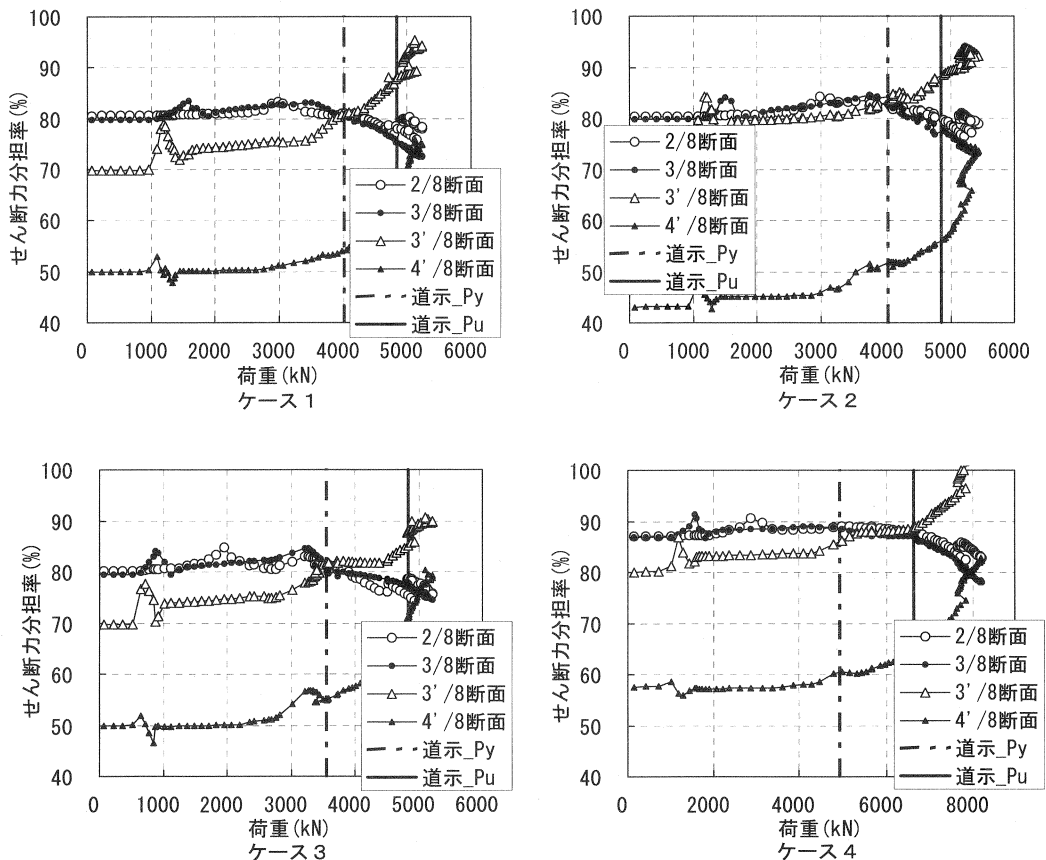


図-11 ウェブのせん断力分担率

また、終局時における下床版の鉄筋ひずみも、3' / 8 断面から 3/8 断面において概ね 7,000 ~ 15,000 μ に達していることを確認しており、これは、実橋で想定される曲げ破壊時の鉄筋ひずみに近い。したがって、本解析結果を用いて、床版の付加曲げの影響が小さい断面における、曲げ破壊に近い状態でのウェブのせん断力分担特性を把握できるものとする。

従来の設計法に基づいて算出した曲げ破壊荷重時(図中、道示 P_u)において、ウェブのせん断力分担率を評価すると、分担率の大きい 3' / 8 断面においても全てのケースで 90%以下となっている。

一方、終局時におけるウェブのせん断力分担率は、3' / 8 断面に着目すると、90~100%となっており、床版は桁の曲げ破壊に近づくときせん断力をほとんど負担できなくなる。

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

FEM 解析によるパラメータスタディの結果から、以下のことが分かった。

- ・プレストレスト導入量の異なるケースを比較すると、両者の耐力に大きな差はないものの、導入量の大きいケースは、床版のクラック発生時点や鉄筋の降伏開始時点を遅らせることができる。
- ・FEM 解析による曲げ耐力は、波形鋼板ウェブの軸方向剛性を無視した従来の設計計算よりも、概ね 10%以上、大きくなる。
- ・従来の設計法に基づいて算出した曲げ破壊荷重時におけるウェブのせん断力分担率は、80~90%であり、ウェブ厚の低減が可能となる。

(2) 今後の課題

本検討では、波形鋼板ウェブのせん断力分担特性に影響を及ぼすと予想される諸元をパラメータに設定し、比較解析を実施したが、限られたケースしか取上げられなかったことは否めない。今後は、さらにパラメータを増やしてケーススタディを実施し、終局時におけるウェブのせん断力分担率の指標が作成できれば、各橋梁での設計の労力は大幅に軽減されると考えられる。

また、波形鋼板ウェブは、一般に座屈後の耐力

低下が著しく、後座屈強度が期待できないと言われていることから、万一の事態に対する余剰耐力を確保するためには、ウェブのせん断座屈が降伏より先行することは避けなければならない。波形鋼板ウェブのせん断耐力評価方法のさらなる精度向上に加え、このようなポストピークの挙動も知見として蓄えることができれば、より合理的かつ経済的な設計法の確立が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 白谷・今井・小尾：波形鋼板ウェブ合成桁中間支点部の終局時せん断抵抗のメカニズムと耐力向上策について、第13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，pp. 429-434, 2004.
- 2) 小尾・坂下・加納・白谷：コンクリート付き波形鋼板ウェブ桁の非線形挙動に関する検討(その1)単純梁，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，pp. 429-434, 2001.
- 3) Collins and Mitchell：Prestressed Concrete Basics, Canadian Prestressed Concrete Institute, 1987.
- 4) Pauley and Loeber：Shear Transfer by Aggregate Interlock, Shear in Reinforced Concrete, Vol. 1, Publication SP-42, American Concrete Institute, 1974.
- 5) 立神・蛭名・上平・柳下：アングルジベルのせん断耐力に関する基礎的研究，第9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，pp. 79-84, 1999.
- 6) 阿田・町・正司・藤井：波形鋼板ウェブのせん断座屈耐力に関するパラメトリック解析，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，pp. 153-158, 2001.