

(38) 新開橋の設計と施工計画

－ 波形鋼板ウェブPC単純箱桁橋 －

新潟県土木部新潟土木事務所 ○佐藤 靖  
 新潟県土木部道路建設課 吉田 茂  
 (株)ピー・エス 第一技術部 正会員 大浦 隆  
 (株)ピー・エス 第一技術部 正会員 服部 政昭

1. はじめに

構造用鋼材を折り曲げて波形形状にした「波形鋼板」のアイディアは古くは外国の建築構造物でみられる。最近波形鋼板の加工技術の進歩などにより欧米、特にドイツで活発に研究が行われているようである。これらは主に鋼板の座屈強度を高める目的で開発されているものである。一方、コンクリート部材断面の外にPCケーブルを配置する外ケーブル方式プレストレッシングも各国で多く採用されており、我国でもその気運が高まりつつある。フランスでは外ケーブル方式プレストレッシングを利用して、プレストレストコンクリート箱桁橋のウェブに波形鋼板の適用を考え、世界に先がけて実橋に採用した。これがコニャク橋、モープレ高架橋等である<sup>2)</sup>。この構造は、曲げに対して合理的なプレストレストコンクリートに、軽量でせん断座屈強度が高い波形鋼板をウェブに適用した優れた合成構造といえる。波形鋼板ウェブのプレストレストコンクリート橋への適用は、座屈強度の向上の他にもいくつかの利点に加わり鋼橋に適用するより有効である。

最近、『うるおい、やすらぎ、景観』といったものが重要視されてきている。これは時代的な要請であり、建築、都市空間、河川、道路等すべてについていえる。橋梁についていえば、デザイン面ですぐれたもの、景観にマッチしたものが要求されるようになってきている。

こうしたなかで、新潟県は、日本ではじめての波形鋼板ウェブと取り替え可能な外ケーブルを使用したプレストレストコンクリート2主箱桁道路橋「新開橋」(図-1)を建設することになった。本工法の採用にあたり、大学および研究機関等のコンクリート構造および鋼構造の学識経験者などからなる、「新開橋技術検討委員会(委員長:池田尚治横浜国立大学教授)」を設置し、設計および施工について技術的検討をおこなってきた。

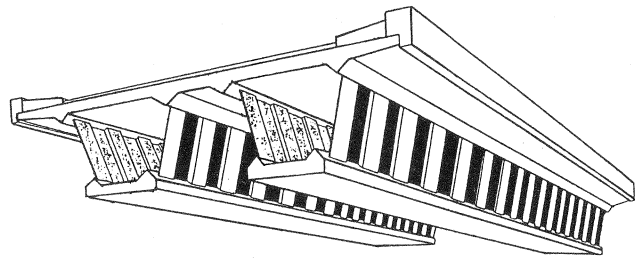


図-1 新開橋

2. 橋梁概要

新開橋は、現在建設中の一般国道116号新潟西バイパス(仮称)高山ICと現道とをアクセスする主要地方道新潟寺泊線新潟市高山地内に位置している。高山ICは一時端末ICとして供用を予定しており、新潟県ではこの供用に間に合うように大規模開発道路整備事業として建設している。本橋は、橋長31m、全幅14.8m、斜角70°の「波形鋼板ウェブPC2主単純箱桁道路橋」である。設計条件を表-1に、構造図を図-2に示す。

表-1 設計条件

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| (1) 道路の区分 | 第3種 第2級                 |
| (2) 設計速度  | 50km/時                  |
| (3) 等級    | 1等橋                     |
| (4) 車線の数  | 2車線                     |
| (5) 形式    | 波形鋼板ウェブPC2主単純箱桁橋        |
| (6) 橋長    | 31.000m                 |
| (7) 桁長    | 30.900m                 |
| (8) 支間    | 30.000m                 |
| (9) 全幅員   | 14.8m                   |
| (10) 有効幅員 | 14.0m (3.0+2@4.0+3.0)   |
| (11) 斜角   | 70°                     |
| (12) 縦断勾配 | 0.300% → 1.400%         |
| (13) 横断勾配 | $i_{max} = 4.00%$ (片勾配) |
| (14) 平面線形 | $R = 350m \sim \infty$  |

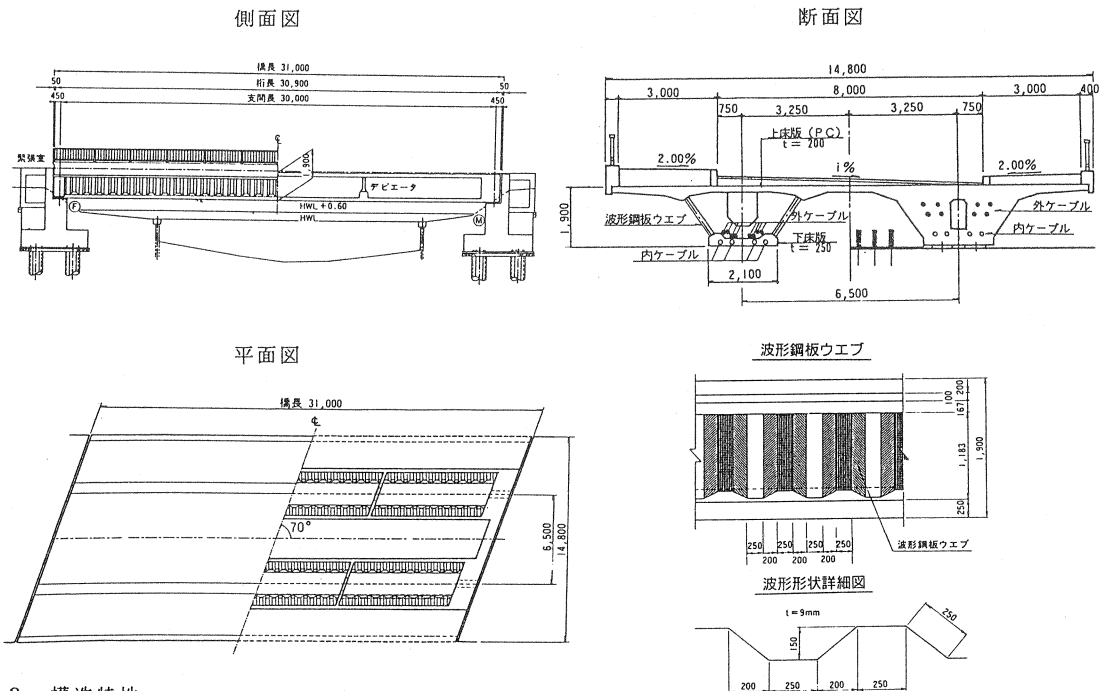


図-2 新開橋構造図

### 3. 構造特性

#### 3.1 本橋の特徴

本橋は、次のような構造特性を有している。

- ①箱桁断面の軽量化、性能の改善としてウェブに波形鋼板を使用したコンクリートと鋼の合成構造である。
- ②箱桁断面の下床版に配置する内ケーブルと箱桁室内に配置する外ケーブルを併用している。
- ③外ケーブルは取り替え可能な構造としている。

波形鋼板ウェブP.C箱桁橋は上記の特徴により、以下のきわめて有利な面をもつ。

#### (1) 波形鋼板ウェブの使用

- ①ウェブに波形鋼板を用いると、ウェブが主桁全体重量の20~30%を占める通常のP.C橋に比べて、主桁重量をかなり減少できる。
- ②鋼桁に比べてウェブのせん断座屈強度が著しく増大するので板厚を薄くすることができる。補剛材は必要とせず、座屈強度は波形の高さを大きくすることにより増大できる。
- ③せん断に抵抗し、プレストレスによる軸力を負担しない波形鋼板のアコーディオン効果により、プレストレスを導入してもウェブにはほとんどストレスが拡散せず、コンクリート床版部分に効率よくプレストレスを導入することができる。
- ④鋼ウェブの軸方向の拘束が非常に小さく、コンクリート床版のクリープ、乾燥収縮や温度変化の影響を受けにくい構造となる。
- ⑤波形模様为好アクセントを与え、橋梁の印象度を高める。

#### (2) 内ケーブルと外ケーブルの併用

- ① 煩雑なウェブ内の鉄筋・シース配置がなくなり、省力化が図れる。
- ②キャンバー(そり)はプレストレスにより与えることもでき、通常の鋼桁に必要な製作そりを必ずしも必要としない。仮に必要としても波形鋼板の可とう性のため容易である。

#### (3) 取り替え可能な外ケーブルの使用

- ① 必要に応じ、補修・補強が容易である。

3.2 主桁重量の軽減

ウエブの重量が、主桁全体重量の20～30%を占める通常のPC箱桁橋に比べ、ウエブに波形鋼板を使用すると、本橋の場合ウエブ重量は5%程度となり、主桁重量が著しく減少する<sup>3),5)</sup>。このことは長スパンで桁高が大きくなって主桁全体重量の増加はわずかで、さらに有利となる。

3.3 波形鋼板の諸性質

(1) 軸方向荷重にたいする特性

軸方向荷重に対するみかけのヤング係数は、本橋の場合、平鋼板に比べ、約1/600となり、軸方向の剛性は非常に小さい<sup>3),5)</sup>。

(2) せん断座屈強度

波形鋼板は平鋼板に比べせん断座屈強度が著しく増大する。

(3) 断面2次モーメント

x軸に対する断面2次モーメントが著しく増大する。

(4) はりのウエブとして使用した場合

波形鋼板は、ウエブに用いると、橋軸方向の力はほとんど負担しないが、せん断力に対しては抵抗し、高いせん断座屈安定性を有する。

プレストレスを与えるとウエブにはストレスがほとんど拡散せず、導入したい部分に効率よく導入できる。本橋の場合、平鋼板とした場合と比較すると、下床版下縁のプレストレスは10%程度多くなる<sup>3),5)</sup>。

4. 設計概要

4.1 適用示方書<sup>4),5)</sup>

本橋の構造形式は日本では初めてであるため、設計にあたり、「道路橋示方書」だけでは十分でない。このため本橋は、基本的部分をフランスの橋で用いられた設計法を参考にし、①主構造がコンクリートであること、②プレストレスを導入していることなどから、「道路橋示方書 III. コンクリート橋編」のプレストレストコンクリートの規定を主体とし、許容応力度および曲げ破壊安全度もこの規定によるものとした。波形鋼板ウエブのせん断応力度については、その一部の検討は「道路橋示方書 II. 鋼橋編」の規定を用い、ずれ止めの設計も同示方書によることとした。

4.2 主桁の曲げモーメントに対する設計

(1) 曲げ応力度の検討

波形鋼板ウエブは橋軸方向剛性が小さく曲げにはほとんど抵抗しないがせん断力は達するという特性を考慮して、曲げの計算に用いる断面諸定数はウエブを無視した断面で算出した。この計算の妥当性は有限要素法で確認した<sup>1)</sup>。上床版コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および床版と桁の温度差の影響は波形鋼板ウエブが軸力を負担しないので考慮しないものとした。

主ケーブルとして次の2種類のものを使用した(図-3)。①内ケーブル(12T15.2 B種:4本) ②外ケーブル(7T15.2 B種

:8本、保護は高密度ポリエチレン管およびセメントグラウト)。内ケーブルと

外ケーブルのPC鋼材断面積比は約1:1.17とした。

PC鋼材とシースとの間の摩擦の影響の計算に用いる $\mu$ および $\lambda$ の値は表-2の通りとした。

(2) 曲げ破壊安全度の検討

曲げ破壊安全度の検討は「道路橋示方書 III. コンクリート橋編」に従って行った。外ケーブルのPC鋼

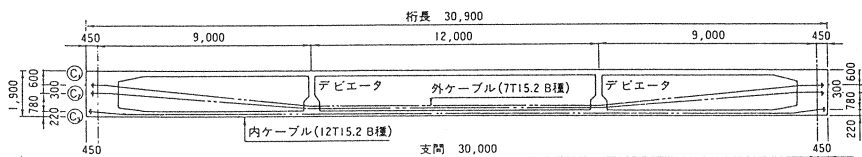


図-3. ケーブル配置

表-2 摩擦係数

| 摩擦係数  |        | $\mu$ | $\lambda$ |
|-------|--------|-------|-----------|
| 外ケーブル | 一般部    | 0.30  | 0.004     |
|       | デビエータ部 | —     | 0         |
|       | 定着部    | 0.15  | 0         |
| 内ケーブル | 一般部    | 0.15  | 0         |
|       | 定着部    | 0.15  | 0         |

材はコンクリートとの付着がないので、破壊時の応力度は付着のあるPC鋼材の70%とした。

#### 4.3 主桁のせん断力に対する設計<sup>1),4)</sup>

主桁の曲げに伴うせん断力は、すべて波形鋼板ウェブが受け持つとして計算した。

(1) 板のせん断応力度の照査。

「道路橋示方書 II. 鋼橋編」の規定を用いた。

(2) せん断局部座屈の検討。

板の折り曲げ点をヒンジとした座屈とし、Skan and Southwellの式より求めた。

(3) せん断局部座屈の検討。

直交異方性板として算出し、計算式はJohn T. Easleyの式を使用した。

(4) せん断複合座屈の検討。

複合座屈モードの検討も必要<sup>2)</sup>であるが、本橋では、せん断局部座屈が支配的であること、また、せん断座屈に対してかなりの余裕があること等から複合座屈モードの検討は省略することにした。

#### 4.4 ずれ止めの設計

ずれ止めの設計は、原則として「道路橋示方書II. 鋼橋編, 合成けた」によるものとしたが、波形鋼板ウェブを使用するため、床版コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響、床版コンクリートと鋼ウェブとの温度差により生じるせん断力は考慮しないものとした。

ずれ止めには、頭付きスタッドを使用した。スタッドは、横方向曲げモーメントによるスタッド軸方向引張力と橋軸方向の水平せん断力を同時に受ける。従って、スタッドの引抜き力に対する検討および引抜き力とせん断力を同時に受ける場合のせん断耐荷力についての検討を行う必要があると考えられる。しかし、道路橋示方書には規定されていないので、ここでは、以下の2つの計算により、安全なスタッド配置とした。

A. DIN: Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern, Juni, 1974

B. BS 5400: Steel, concrete and composite bridges, Part 5. Code of practice for design of composite bridges, 1979

#### 4.5 ねじりモーメントに対する設計

波形鋼板ウェブ箱桁橋は、通常のコンクリート箱桁橋と異なり、ねじりモーメントに対して特異な挙動を示す<sup>2)</sup>。

波形鋼板ウェブ箱桁橋は、

- ①ウェブに橋軸方向の剛性がない。
- ②ウェブの曲げ剛性がコンクリート上下床版に比較して小さい。

これらのことから、従来のコンクリート箱桁では問題にならなかった「断面変形の影響」が強く現れてくる。

波形鋼板ウェブ箱桁の場合、上記①、②の性質により、この断面特有の「付加ねじりモーメント」が生ずる。もし中間隔壁がなければねじり荷重項は2倍になり、上・下床版が負担する。<sup>5)</sup>

主桁のねじりモーメントに対する検討のフローチャートを、図-4に示す。

#### 5. 外ケーブル

外ケーブルシステムは今回新開橋の建設を契機として開発されたFKK外ケーブルシステムを採用した。

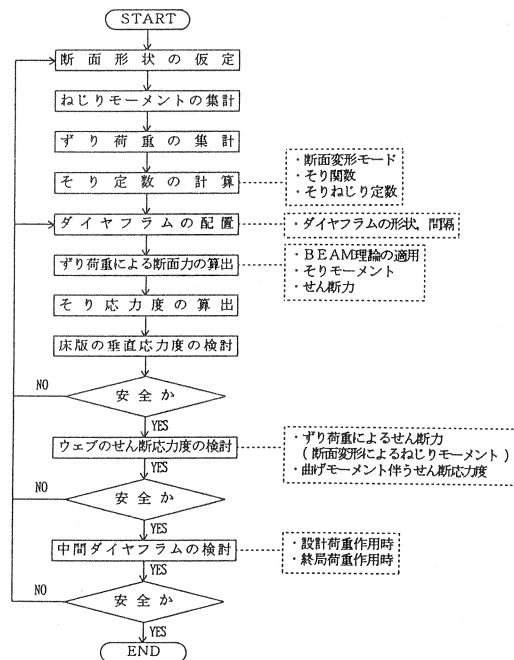


図-4 ねじりモーメントに対する設計の手順

定着具の構造を図-5に示す。ウェッジは疲労を考慮し斜張橋に使用するものと同じタイプのものを使用している。外ケーブルは高密度ポリエチレン管とセメントグラウトで保護するが、万一の場合に対処できるように取り替え可能な構造になっている。

なお、橋台のパラペット背面に、緊張室を設け、メンテナンスおよびケーブルの取り替えに利用できるようにした。

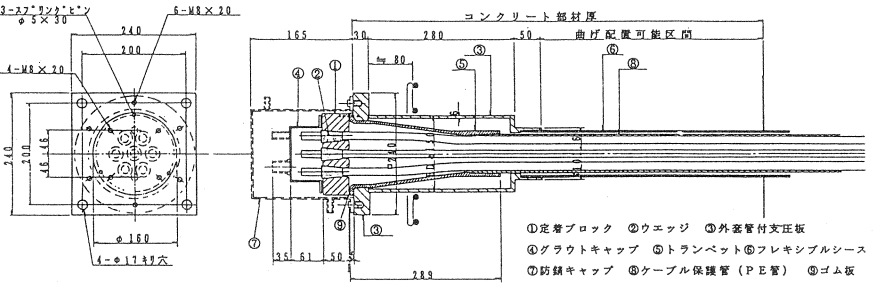


図-5. 外ケーブル用定着具 (FKK 7E15F)

6. 施工計画

6.1 施工概要

本橋は、河川(東部幹線排水路)上に位置し、支保工杭の撤去が要求され、地盤も軟弱であることから、現場製作ヤードで2主桁を1本ずつ製作し、架設桁により架設後、床版間詰めおよび横桁コンクリートを打設し、床版横締めを行い一体化する施工法をとることとした。

6.2 主桁製作

主桁製作は、「道路橋示方書・同解説、I. 共通編、II. 鋼橋編、III. コンクリート橋編」によるものとした。主桁製作のフローチャートを図-6に示す。

(1) 波形鋼板ウェブの製作

波形鋼板ウェブは、長さ約30mのウェブを4分割して工場製作し、施工用ダイヤフラムおよびターンバックルを使い仮組検査を行った後、工場塗装し、現場に搬送し現場溶接で接合する。

波形鋼板はプレス機械で曲げ加工し、工場溶接する。曲げ加工図を図-7に示す。ウェブの上・下縁には、鋼フランジを溶接し、頭付きスタッドを取付ける。

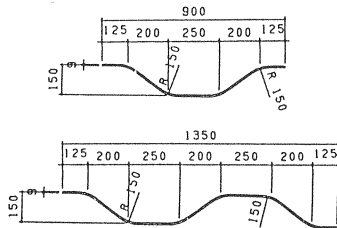


図-7 波形鋼板加工図

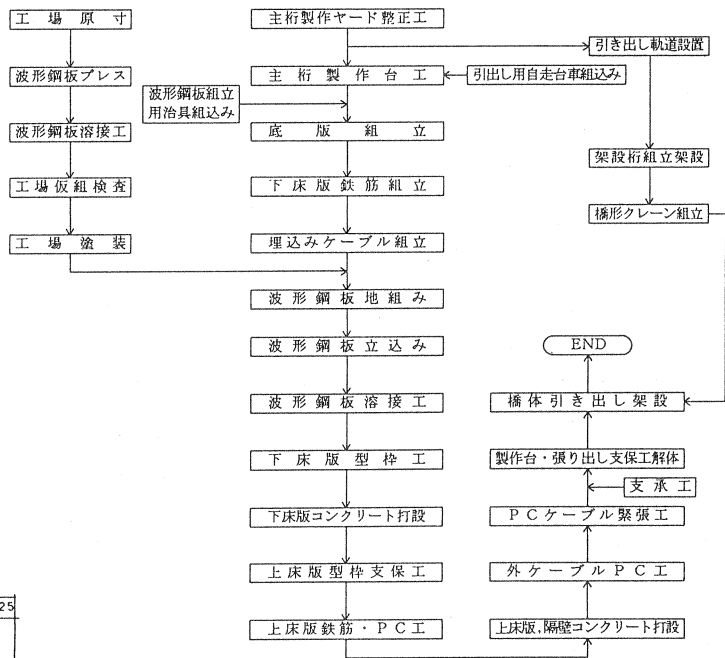


図-6 主桁製作の手順

(2) 主桁の製作

本橋の主桁重量は1主桁約220トンとなるので、主桁製作台に引き出し用自走台車を組込み、ジャッキアップの必要のない施工方法とした。また、本橋の主桁断面は、逆台形であるので、ウェブ鋼板の立込みおよび上床版コンクリート打設時の支保工には、特別の注意を払い、注意深く行うものとする。

### 6. 3 主桁架設

主桁架設は、橋形クレーンを用いた架設桁工法を採用した。製作台上で製作した主桁は自走台車で引き出し軌道上を移動させ橋形クレーンで架設、

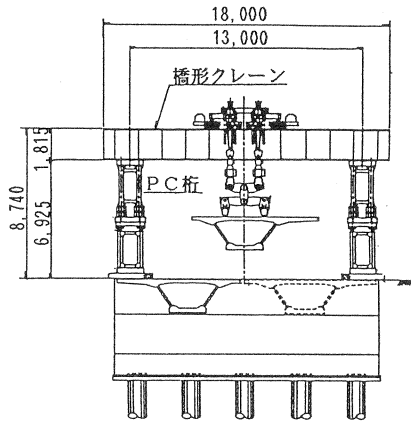
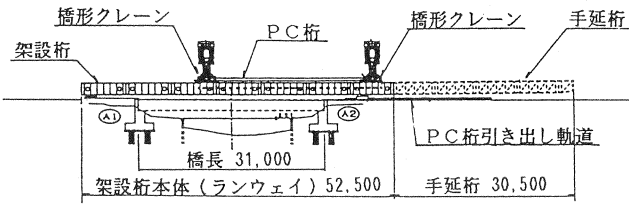


図-8 架設計画図

### 6. 4 施工管理試験

「新開橋」はPC箱桁橋のウェブに波形鋼板を使用したコンクリートと鋼の合成橋梁である。この形式は現在フランスに3橋あり、主要な設計法については、施工に先立って行われた解析や実験等を通して、ほぼ確立されていると言える。「新開橋」の設計についても、その安全性は十分確保されているものと考えられる。しかしながら、本橋は波形鋼ウェブの使用の他に、新設の道路橋では日本で初めての外ケーブルの採用、下床版への頭付きスタッドの採用、70度の比較的大きな斜角を持っていること等を考え合わせ、施工に細心の注意が必要であると考えられる。それゆえ、実橋での施工管理を通常の場合より高度かつ広範囲に行い、設計計算の妥当性を確認し、必要な構造性能と安全性を確保して施工を進めて行く必要がある。また、「波形鋼板ウェブPC箱桁道路橋」の構造特性についても、さらに解明されなければならない部分もある。このような見地から、実橋で施工中や完成後に各種の試験を行い、理論的検討と合わせて、構造特性の把握と、合理的な設計・施工方法の確立を目指している。

### 7. おわりに

新開橋の設計については、「設計要領」として「技術検討委員会」でまとめた。施工およびメンテナンスについても、それぞれ「施工要領」「メンテナンス要領」としてまとめる予定である。各要領は、この種の構造形式の橋の計画、設計、施工、およびメンテナンスに役立つものと期待している。なお、主桁のねじりについての詳細は、後日報告する予定である。

この構造の特長である「主桁自重の軽減」、「現場作業の省力化」、および「プレストレス効果の改善」等を生かし、中・長スパンの多経間連続桁へ適用されることを期待するものである。

最後に、新開橋の設計、施工を行うにあたり、技術的諸問題に関して対して熱心にご検討戴いた「新開橋技術検討委員会」の各委員に深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 服部，大浦：波形鋼板ウェブを用いたPC単純桁の一試設計，第2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.53～58，(社)プレストレストコンクリート技術協会，1991年11月
- 2) Jacques Combault，大浦訳：シャロール近くのモープレ高架橋，プレストレストコンクリート，Vol.34，No.1，pp.63～71，(社)プレストレストコンクリート技術協会，1992年1月
- 3) 佐藤，吉田，大浦，服部，小林：新開橋の構造特性－波形鋼板ウェブPC2主単純箱桁橋，第47回年次学術講演会，土木学会，1992年9月
- 4) 吉田，佐藤，服部，大浦，長尾：新開橋の設計方法－波形鋼板ウェブPC2主単純箱桁橋，第47回年次学術講演会，土木学会，1992年9月
- 5) 佐藤，吉田，服部：新開橋の設計－波形鋼板ウェブPC2主単純箱桁橋，第10回土木学会新潟会研究調査発表会論文集，土木学会新潟会，1992年11月