

(80) 小犬丸川橋 (波形鋼板ウェブ橋) の設計

日本道路公団 関西支社 建設第二部 構造技術課長	藤岡 正男
同 上 構造技術課長代理	中藪 明広
住友建設 (株)・川田建設 (株) 共同企業体	正会員 春日 昭夫
同 上	正会員 ○永元 直樹

1. はじめに

小犬丸川橋は、山陽自動車道吹田山口線のうち、兵庫県龍野市に位置する山間を貫く6径間連続ラーメン形式の橋梁であり、その最大支間長は81.0m、橋長は約430mである。本橋梁は、主桁自重の低減、せん断補強の合理化などのためにウェブには波形鋼板を採用した。また、主ケーブルとしては、防錆の信頼性の向上、コンクリート断面内にシースを配置しない事によるコンクリート打設作業性の向上などのために、全外ケーブル構造とした。波形鋼板ウェブPC橋に全外ケーブル構造を適用した事例は、世界にも実績例がなく、現在日本で数橋、設計、施工が進められているのみである。なお、本橋の架設方法としては、張出し架設を採用している。

このような特徴を持つ本橋の詳細設計を行うにあたって、まず、全外ケーブル構造であるため、張出し用の外ケーブルを各ブロック毎に定着する必要があった。そこで、本橋では、コンクリートウェブを上床版付近に残し、この位置に外ケーブル定着突起を設置することとした。このような形状を採用すると、残されたコンクリートウェブ部分と波形鋼板、双方でせん断力を分担することになる。せん断の検討を行うにあたっては、それぞれのせん断力分担率を明確にする必要があった。

また、波形鋼板は、コンクリートウェブと比較してせん断剛性が小さい。このため、張出し施工時の変形を考えると、このせん断変形量を考慮する必要があった。

本稿では、設計のなかで以上の点に着目し、設計概要、検討結果を述べることとする。

2. 橋梁概要

以下に小犬丸川橋の橋梁概要を示す。また、図-1、2にそれぞれ一般図、断面図を、表-1に主要材料の数量表を示す。

- ・構造形式：6径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋
- ・橋長：429.942(m)
- ・支間長： $49.942 + 4 \times 81.0 + 54.068 = 428.010$ (m)
- ・幅員：有効幅員9.360(m)、総幅員10.250(m)
- ・桁高：5.80m～3.50m
- ・平面線形：R=1000m～4000m

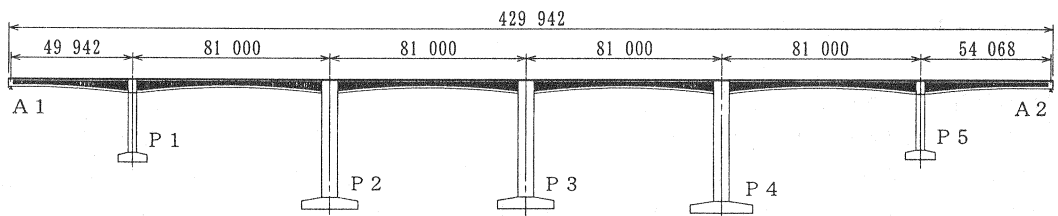


図-1 小犬丸川橋 全体一般図

表-1 主要材料数量表

項目	仕様	単位	数量
コンクリート	設計基準強度50(N/mm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	3727
P C鋼材	外ケーブル 19S15.2	kg	147731
	横締めケーブル 1S28.6	kg	36934
波形鋼板	SM490Y	t	326
鉄筋	SD345	t	809

3. 外ケーブル定着突起周辺の検討

3. 1 外ケーブル定着突起形状

先述したように、本橋は全外ケーブル構造であり、張出し施工を行うため、張出し時にも外ケーブルを定着していく必要がある。また、外ケーブルは 19S15.2 の大容量を使用する。このため、強固な定着突起が必要になる。そこで、波形鋼板に対して剛性の高いコンクリートウェブを上床版付近に残し、そのウェブと上床版との間に外ケーブルの定着突起を設置することによって、強度を確保することとした。また、橋軸方向の長さは、外ケーブルの橋軸方向力に対し、所定のせん断伝達面が確保できるように 1.6m とした。

定着突起の形状図を図-3に示す。この定着突起の安全性に対しては、立体FEM解析によって検討した。解析の結果、以下のようないくつかの局部応力が発生することが確認された。なお、定着突起の設計方針としては、鉄筋コンクリート構造とし、ひび割れ幅を所定の幅以内とするように補強量の算定を行うこととした。

1) 定着突起背面の引張応力

本橋の定着突起は、ブロック端部から 250mm 後方に追い込んでいる。これは、定着突起背面の引張応力が発生する部分にコンクリートの打継ぎ目を設けないようにとの配慮からである。この部分には、最大 2.6(N/mm<sup>2</sup>)の引張応力が発生した(図-4)。ただし、この引張応力が発生している範囲は狭く、全引張力に換算すると、D19の鉄筋で十分補強可能な範囲であったので、鉄筋による補強を行うこととした。

2) 定着面とコンクリートウェブ、上床版との界面

外ケーブルの緊張により、定着突起がコンクリートウェブ、上床版からはがれようとする変形を起こす。このため、この部分にも最大 5.1(N/mm<sup>2</sup>)引張応力が発生した(図-4)。ただ、この引張応力も発生範囲が非常に狭く(かぶりコンクリート程度)全引張力に換算すると、十分鉄筋で補強できる範囲であったため、鉄筋による補強とした。

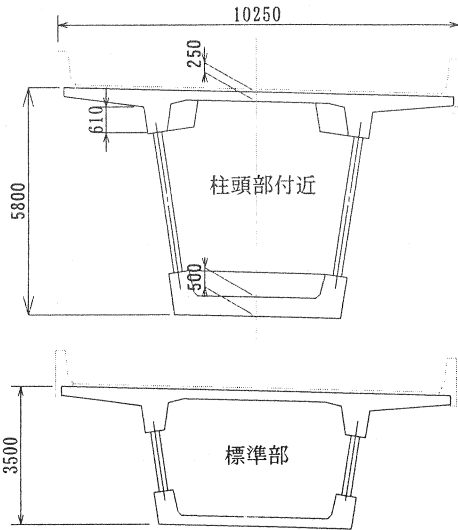


図-2 断面図

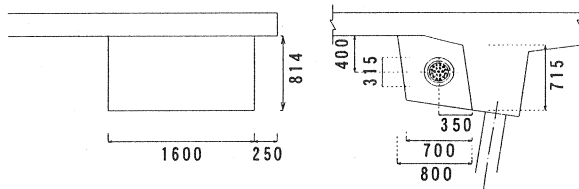


図-3 定着突起形状図

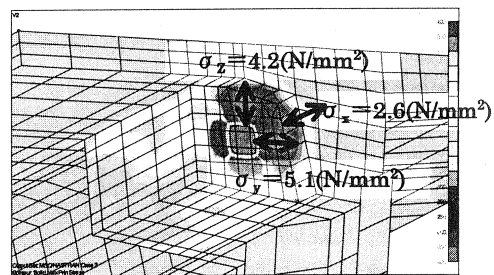


図-4 定着突起FEM解析結果

### 3. 2 定着突起付近の波形鋼板応力

外ケーブルを緊張することによって、波形鋼板には図-5のような変形が起こる。この変形中の①の橋軸直角方向軸回りの変形は、上床版と外ケーブル定着位置が偏んでいることに起因するものと思われる。一方、②の橋軸回りの曲げ変形は、コンクリートウェブと外ケーブル定着位置が偏んでいることに起因しているものと思われる。これらの変形によって、周辺の波形鋼板にも局所的な変形が起こり、この結果、波形鋼板に局部応力が発生した。局部応力のため応力の発生範囲は狭いが、応力レベルは最大 800(N/mm<sup>2</sup>)程度と大きかった(図-6)。このため、この応力は波形鋼板と上フランジとの接合部における溶接の設計に考慮する必要があると判断した。

また、フランジと波形鋼板との溶接を考えると、T荷重等による面外方向の曲げモーメントを考慮する必要がある。これらを考慮して溶接サイズを算出した結果の一例を表-1に示す。この溶接サイズの計算は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編<sup>1)</sup>に準じて行った。算出された溶接サイズを見ると、外ケーブル定着による変形の影響が大きいことがわかる。この応力を考慮すると、波形鋼板の板厚が薄い部分(9mm)では、溶接サイズが最大値を超える結果となった。このため、フランジの材質を SM400 から波形鋼板と同じ SM490Y に変更し、溶接部の強度向上を図って所定の接合強度を確保した。

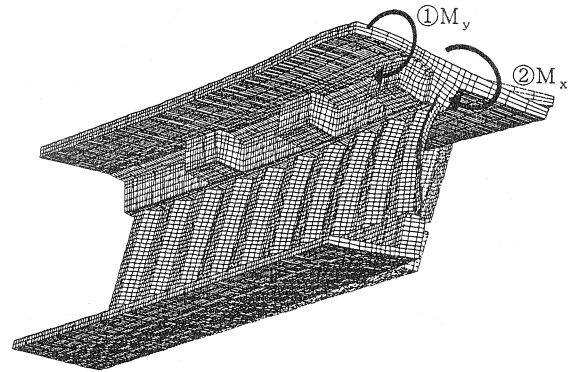


図-5 外ケーブル緊張による変形

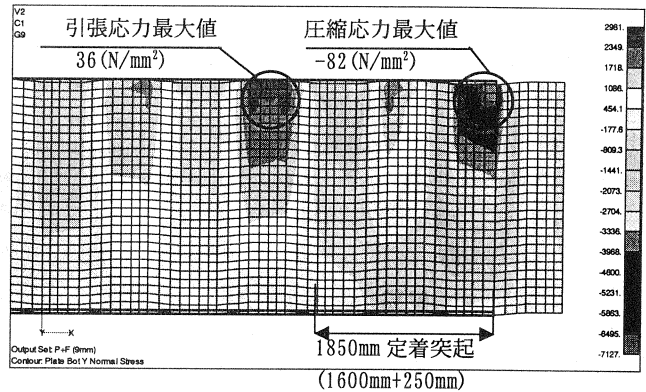


図-6 定着突起付近の波形鋼板応力

表-1 上フランジと波形鋼板の必要溶接サイズ

単位: (mm)

	P 3 柱頭部 (t=16mm)		P 3 張出し先端 (t=9mm)	
上フランジ材質	SM400	SM490Y	SM400	SM490Y
全体解析の水平せん断力	9.9	6.6	3.6	2.4
活荷重による面外曲げ	9.0	6.0	9.0	6.0
外ケーブル	5.7	3.8	5.9	3.9
合計	24.6	23.2	18.5	12.3
1/2 (溶接1面あたり)	12.3	11.6	9.2	6.2

### 4. せん断分担率

外ケーブルの定着の関係から、床版と波形鋼板の接合部付近にコンクリートウェブを残したのは上記の通りであるが、このような断面形状を採用することにより、主桁に作用するせん断力を波形鋼板とコンクリート部分で分担することとなる。せん断に対する検討を

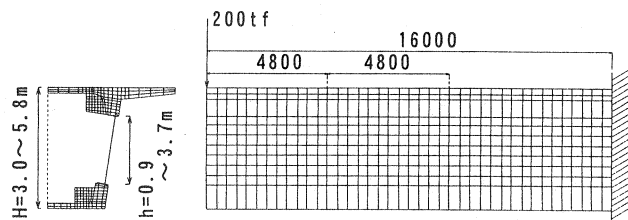


図-7 せん断分担率検討モデル

行う際、この分担率を明確にしておく必要がある。そこで、主桁高さを変えた立体FEM解析モデルに単位鉛直荷重を載荷し、その分担率を求めた。解析モデルを図-7に、解析結果を図-8に示す。この結果をみると、桁高が高くなるほど、波形鋼板の分担率が高くなっており、本橋の最大桁高である5.8mの時に、波形鋼板のせん断分担率が約70%となっている。一方、当然桁高が一番低い3.5mの位置(波形鋼板高さ:1.58m)での波形鋼板の分担率は、約50%となっている。

この結果をもとに、コンクリート部のせん断補強筋量を算出した。一方、波形鋼板のせん断に対する検討は、プレストレストコンクリート技術協会「複合橋設計施工指針(案)」<sup>2)</sup>に則り、終局時のせん断力に対して、その板厚を決定することとした。ここで、終局時を考えると、コンクリートウェブ部分にはひび割れが発生していると考えられ、そのせん断力の分担率は弾性解析である上記の解析結果とは異なるものと思われる。このため、作用せん断力に対して、すべて波形鋼板が受け持つと仮定して、その板厚の選定を行った。なお、個々で選定した板厚に対して、局部せん断座屈、全体せん断座屈の検討を行った結果、座屈に対しては、十分な安全性が確保されていることが確認された。

### 5. せん断変形

通常のコンクリート橋の上げ越し管理を行う場合、そのせん断変形は無視している。これは、コンクリートウェブがせん断力に対して比較的剛な存在であり、そのせん断変形が、全体変形に対して施工上無視し得るほど小さいためである。しかしながら、波形鋼板はコンクリートに比較して柔な部材であるため、上下床版によって抵抗する曲げ変形に対して無視し得ないほどのせん断変形が起こる可能性がある。そこで、立体FEM解析によって波形鋼板とコンクリートの剛性を再現した解析と、弾性骨組解析を比較することによってこのせん断変形量を算出することを試みた。立体FEMの解析概要を図-9に示す。

この結果、最大張り出し時で、最大3.6mmのせん断変形が発生することが明らかとなった(張出し先端部図-10)。ま

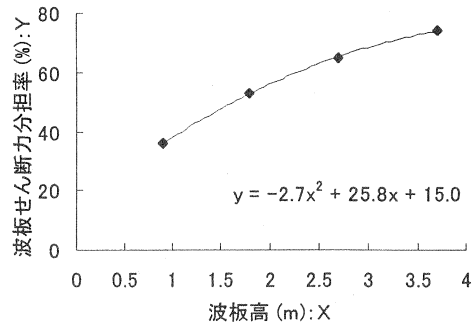


図-8 波板高さ とせん断分担率の関係

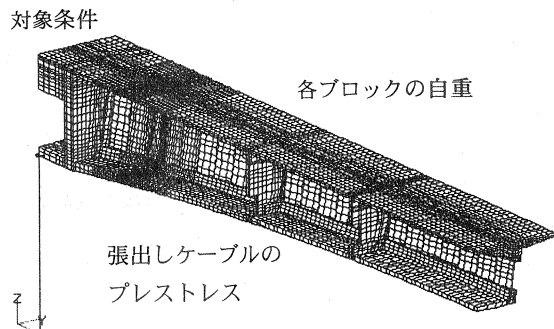


図-9 せん断変形検討モデル

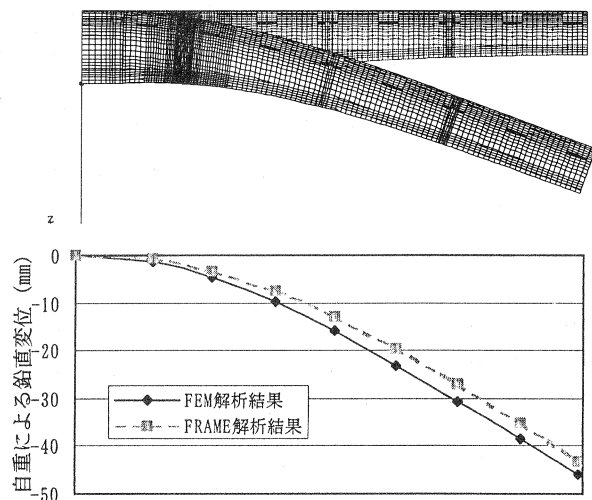


図-10 せん断変形図(自重)

た、このせん断変形は、張出し区間全体にわたって一様ではなく、桁高変化が著しい区間(1/4 張出し位置付近)は小さく、張出し先端部は大きい。これは、桁高変化が著しい区間は、傾いている下床版の斜め圧縮主応力によるせん断力の減少、すなわち Resal 効果などの影響で小さくなっていることも考えられる。

一方、外ケーブル緊張によっては、偏心モーメントによって上方に反り上がる変形が生じるが、プレストレス I 次力によるせん断力は発生しないため、これに伴うせん断変形は起こらない (図-11)。

これらのことから、自重によるせん断変形が発生することは明らかとなったため、施工時の上げ越し管理を行う際、このせん断変形量を考慮することとした。

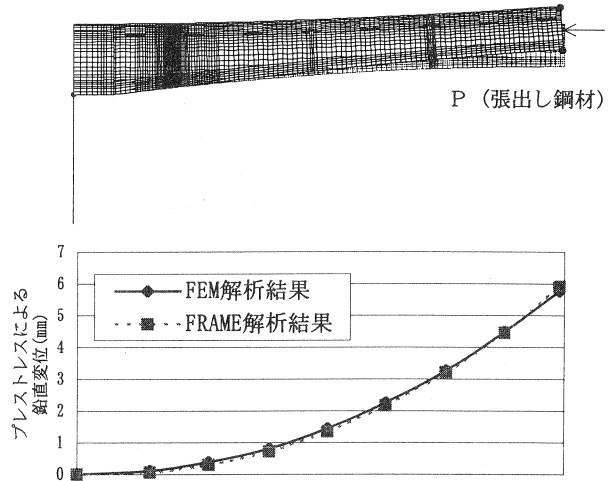


図-11 せん断変形図  
(プレストレス)

## 6. 実物大実験

本橋では、波形鋼板に上床版に設置した外ケーブル定着突起を有する全外ケーブル構造としたこと、コンクリート部と波形鋼板部のせん断力の分担比率を解析により算出し、コンクリート部のせん断補強に利用していること等の特徴がある。また、波形鋼板ウェブ橋の終局時のせん断破壊挙動を明確にした事例はないため、不明確な部分がある。

これらのことを確認するため、実物大の模型を作成し、実験を行うこととしている。この実験で確認することは、以下のものである。

- ① 外ケーブル定着突起のひび割れ特性と、その耐力
- ② 波形鋼板とコンクリート部のせん断分担比率
- ③ 波形鋼板ウェブ橋の終局時のせん断分担の変化とせん断破壊の挙動

①のことを確認するため、外ケーブルの緊張実験を行った (図-12)。この結果、本橋の定着突起は、ケーブルの緊張強度まで緊張しても規定のひび割れ幅以下のひび割れしか発生しないことが確認された。また、降伏強度までの緊張に対しても、所定の耐力が確保されていることが確認できた。

今後、②、③を検討するため、この実物大の模型を用いてせん断載荷実験を行うこととしている。

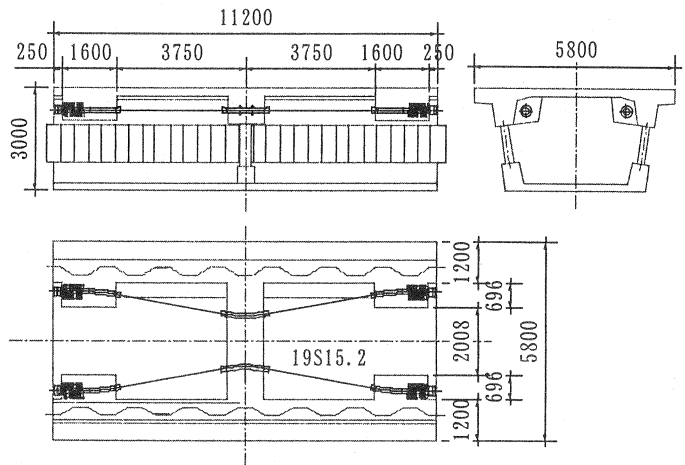


図-12 外ケーブル定着突起  
実物大実験概要図

これら実物大実験の詳細については、別の機会に報告することとする。

#### 8. おわりに

小犬丸川橋は、波形鋼板ウェブ橋と全外ケーブル構造を組み合わせた新しい構造形式の橋梁である。この橋梁の設計にあたり、通常設計の他に、主に以下のことに着目して設計を行った。

- (1)張出し架設時の外ケーブルの定着を毎ブロック行うため、毎ブロック定着突起が必要になる。しかも19S15.2という大容量の外ケーブルを定着するため、床版との接合位置にコンクリートウェブを残し、その角に定着突起を設置することで突起強度の確保を行った。
- (2)大容量の外ケーブルを上床版に定着するため、定着部近傍の波形鋼板に局部応力が発生する。この応力を加味して波形鋼板と上フランジとの溶接部の設計を行った。
- (3)コンクリートウェブを残すことにより、波形鋼板とコンクリート部との間でせん断力が分担される。この分担比率を考慮して、コンクリート部のせん断補強を行った。ただし、波形鋼板のせん断照査を行う際には、作用するせん断力すべてを波形鋼板が負担するとして検討した。
- (4)施工時の上げ越し管理を行う際、波形鋼板のせん断変形を考慮することとした。

実橋は、2000年7月現在、P5、P2橋脚柱頭部の施工を行っており、翌2001年春の完成を予定している。施工に関しても、大型架設作業車の採用、ブロック長4.8mの長ブロック架設による工期短縮など、種々の特徴を有する施工を計画している。施工に関しても、別の機会に報告することとしたい。

この設計報告が、同種橋梁の設計の参考になれば幸いである

#### <参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：「道路橋示方書・同解説」、平成8年12月
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：「複合橋設計施工指針(案)」、平成11年12月