

(140) 本谷橋(波形鋼板ウェブPC箱桁橋)の模型実験

日本道路公団	名古屋建設局	白鳥工事事務所	加藤照己
日本道路公団	名古屋建設局	白鳥工事事務所	○谷口真司
早稲田大学	理工学部	土木工学科	依田照彦
㈱ピー・エス	本社	土木技術部	正会員 佐藤幸一

1. はじめに

本谷橋は、東海北陸自動車道に架橋される波形鋼板ウェブPC3径間連続ラーメン橋である。構造一般図を図-1に示す。波形鋼板ウェブ構造には、主桁自重の軽減、施工の合理化、コストの縮減、高いせん断座屈強度、等の利点がある。同型式としては、国内では3橋目であるが、張出し架設されるのは本橋が初めてあり、完成すれば世界最大支間の

橋梁となる。本橋では、波形鋼板ウェブ構造の特性を活かし、施工性、経済性の向上を図るために、①コンクリート床版と鋼板ウェブの接合に埋込み接合を、②ウェブ同士の接合に一面摩擦接合を新たに採用した。ここでは、これら新形式の接合部の安全性、及び波形鋼板ウェブPC箱桁の基本的性状を確認するために行った模型実験の結果を報告する。

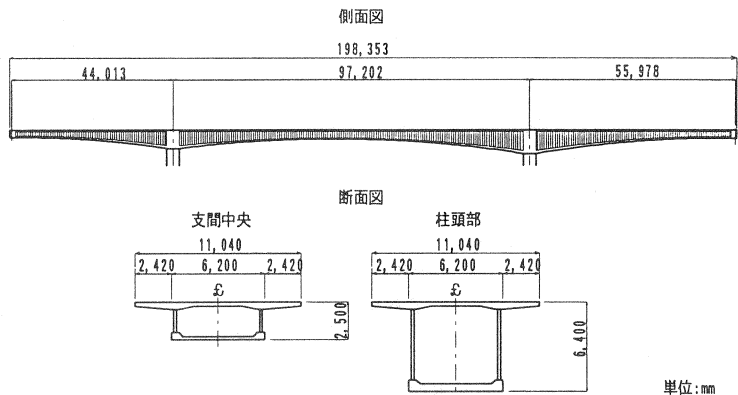


図-1 構造一般図

2. 接合部の構造

(1) 埋込み接合

埋込み接合部の構造を図-2に示す。これは、コンクリート内に埋め込まれた波形鋼板の斜めパネルがずれ止めとして有効に働くことを利用したもので、波形鋼板に孔をあけ、そこに鉄筋(貫通鉄筋と呼ぶ)を通し、さらにウェブの端部に鉄筋(拘束鉄筋と呼ぶ)を溶接してコンクリートに埋め込む接合方法である^{1) 2) 3)}

(2) 一面摩擦接合

一面摩擦接合部の構造を図-3に示す。この接合方法は、接合部に軸方向力が作用する場合には、偏心モーメントが発生するため、一般には使用されない。しかし、波形鋼板ウェブでは、軸方向力がほとんど作用しないため、一面摩擦接合の適用が可能である。

これらを適用することで、従来の接合方法に比べ施工性・経済性の向上を図ることができると考えられる。

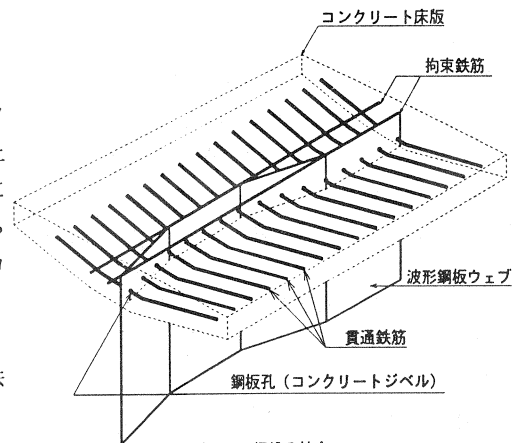


図-2 埋込み接合

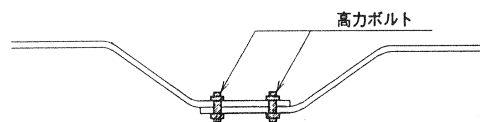


図-3 一面摩擦接合

3. 実験概要

供試体は、支間9.0mの曲げ実験用供試体、及び支間4.8mのせん断実験用供試体の2体を製作した。実験の全体図及び計測位置を図-4、及び図-5に示す。断面寸法は、実橋支間中央部の1/2とした。プレストレス量は、死荷重時の供試体支間中央部の桁下縁応力度が+1.96MPaとなるように決定した。使用材料の物性を表-1に示す。

表-1 使用材料の物性 (MPa)

コンクリート	設計値		測定値	
	$\sigma_{t,b}$	E	$\sigma_{t,b}$	E
鉄筋 (SD345)	σ_s	491	554	
	σ_y	343(1667 μ)	412(2000 μ)	
	E	2.06×10^5	2.06×10^5	
P C鋼材 (SWPR7A)	σ_s	1717	1933	
	σ_y	1472(7500 μ)	1736(9315 μ)	
	E	1.96×10^5	1.86×10^5	
波形鋼板 (SW490A)	σ_s	491	535	
	σ_y	324(1571 μ)	422(2048 μ)	
	E	2.06×10^5	2.06×10^5	

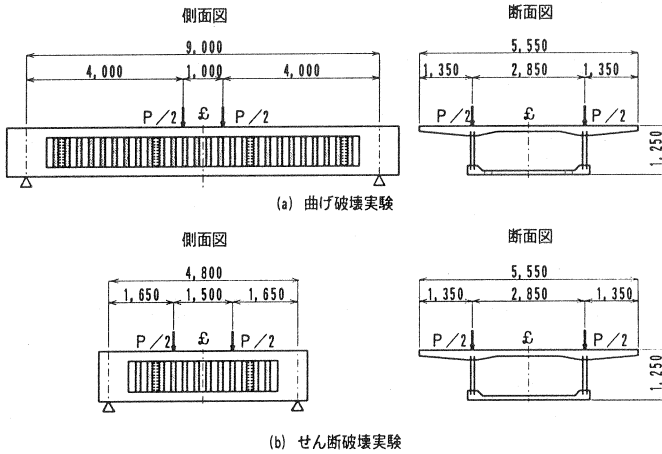


図-4 実験全体図

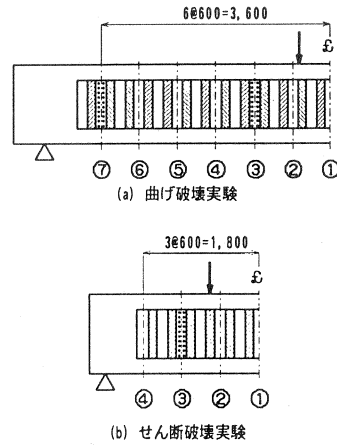


図-5 計測位置

4. 実験結果

4.1 波形鋼板ウェブ桁の基本的性状の確認

(1) 面内荷重に対する挙動

① 荷重と変位の関係

曲げ破壊実験における荷重と変位の関係 ($P-\delta$) を図-6、及び図-7に示す。予測値の算出は、材料の非線形性を考慮したファイバーモデル⁴⁾で行い、計算値の算出は弾性理論により行った。荷重と変位の関係は、設計荷重を上回るまで直線的で、弾性挙動を示しており、設計に弾性理論を適用できることがわかる。ただし、図7より、変位の計算にはせん断変形を考慮する必要があることがわかる。破壊荷重は、道路橋示方書Ⅲに従って算出した設計破壊耐力を大きく上回っており、十分な耐力を有していることがわかる。終局時の検討は、従来どおりの破壊抵抗モーメントで行えば安全と考えられる。

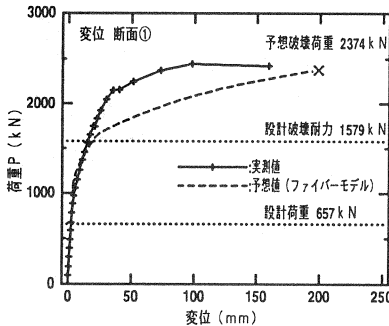


図-6 荷重と変位との関係

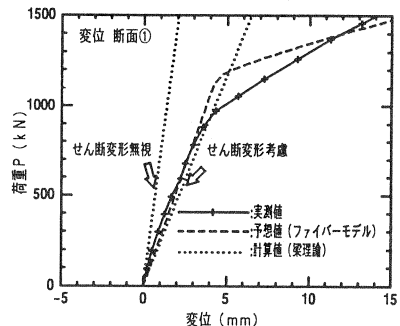


図-7 桁の初期剛性

② 軸方向ひずみの鉛直方向分布

曲げ破壊実験における軸方向ひずみの鉛直方向分布を図-8に示す。計算値は、コンクリートのみを有効断面とし、平面保持の仮定に基づいて算出した。ウェブにはほとんど軸方向ひずみが発生していないことから、波形鋼板ウェブが軸方向力に対して抵抗しないことがわかる。また、桁上縁、及び桁下縁のひずみは計

算値とよく一致している。この結果から、設計荷重の範囲では平面保持の仮定はほぼ成立しており、コンクリート床版のみを有効断面とすることで従来の設計方法が適用できることが確認された。

③ せん断応力度の鉛直方向分布

波形鋼板ウェブに作用するせん断応力度の鉛直方向分布を図-9に示す。せん断応力度は、ウェブ上縁から下縁まで一様に分布している。また、作用せん断力をウェブ断面積で除した計算値(平均せん断応力度)より若干小さい値となっている。これは、コンクリート床版がせん断力の一部を負担しているためと思われる。この結果から、せん断力に対する設計は、ウェブのみを有効断面とすることで、若干安全側ではあるが、妥当な設計が行えるものと考えられる。

(2) 波形鋼板ウェブ桁の軸方向剛性

プレストレスの導入による桁のひずみ変化、及びその計測位置を図-10に示す。設計値は、コンクリート床版のみを有効断面とし、従来のPC桁と同様に計算して求めた。緊張順序にしたがって、プレストレスは横断面方向に均等に分布していることがわかる。また、導入されたひずみも設計値とよく一致している。このことから、波形鋼板ウェブ構造においても、従来のPC橋と同様にプレストレスの計算、及び導入作業を行ってよいと思われる。

(3) 破壊形態

① 曲げ破壊実験

破壊時の状況、及び破壊に至るまでの過程を写真-1、及び表-3に示す。破壊は、曲げ変形の増大により、下床版部の波形鋼板が、軸方向に伸ばされることにより、凹部のコンクリートが外側に押し出され、鋼板とコンクリートの付着が切れたことにより生じたと思われる。波形鋼板ウェブと下床版の付着が切れたのは、荷重が設計破壊耐力を大きく上回った時点であり、構造的欠陥ではないと思われる。

② せん断破壊実験

破壊時の状況、及び破壊に至るまでの過程を写真-2、及び表-4に示す。波形鋼板ウェブの座屈は、上床版コンクリートがせん断破壊した衝撃により、一時的にせん断力が増加したことにより発生したと思われる。

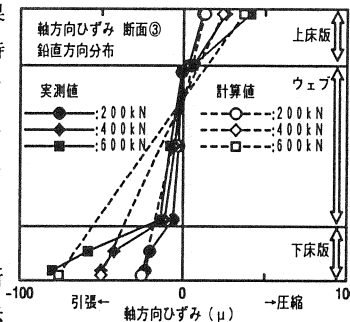


図-8 軸方向ひずみの鉛直方向分布

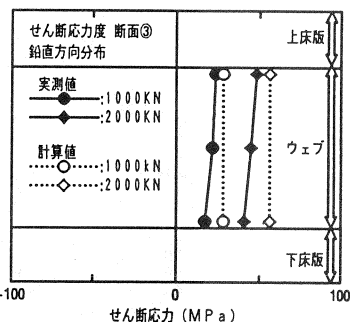


図-9 せん断応力の鉛直方向分布

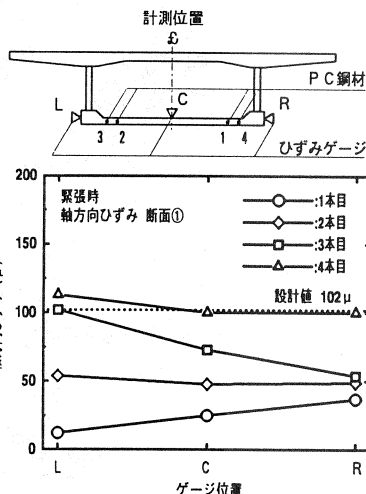


図-10 プレストレス導入時の軸方向ひずみ

表-3 曲げ破壊に至るまでの過程

載荷荷重	桁の変状
790kN	下床版にクラック発生
1770kN	下床版軸方向鉄筋が降伏
2060kN	PC鋼材が降伏
2450kN	下床版コンクリートと波形鋼板との付着切れにより破壊

表-4 せん断破壊に至るまでの過程

載荷荷重	桁の変状
1960kN	下床版にクラック発生
4420kN	下床版軸方向鉄筋が降伏
5000kN	波形鋼板が降伏
5690kN	PC鋼材が降伏
5890kN	上床版コンクリートのせん断破壊に伴い、波形鋼板が座屈



写真-1 曲げ破壊状況

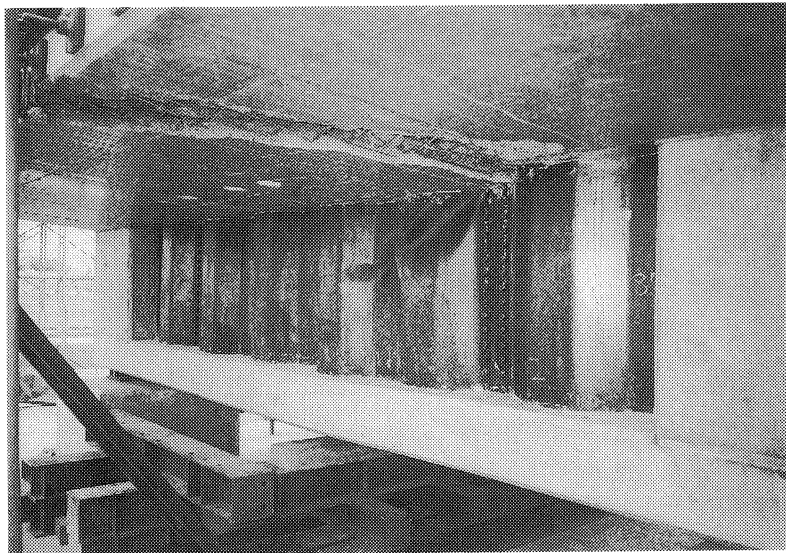


写真-2 セン断破壊状況

4.2 埋込み接合の安全性

埋込み接合の安全性を、鋼板孔まわりのせん断応力度、及び貫通鉄筋のひずみに着目して検討した。

(1) 鋼板孔まわりのせん断応力度

せん断破壊実験において、鋼板孔のまわりに発生したせん断応力度を図-11に示す。計算値は、作用せん断力をウェブ断面積で除した平均せん断応力度である。孔回りのせん断応力度は、計算値以下で、終局まで大きな乱れがなく、なめらかな曲線で変化している。また、設計終局耐力時でも許容せん断応力度(118MPa)以下である。これにより、鋼板の孔まわりは、終局まで健全であり、発生してい

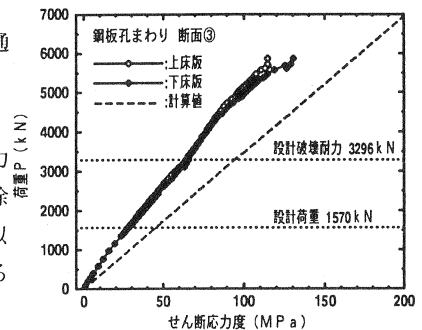


図-11 鋼板孔まわりのせん断応力度

る応力レベルは低いと思われる。

(2) 貫通鉄筋のひずみ

せん断破壊実験において、貫通鉄筋に発生したひずみを図-12に示す。貫通鉄筋のひずみも、終局までなめらかな曲線で変化しており、設計終局耐力時でも許容ひずみ(857 μ)以下である。これにより、貫通鉄筋は終局まで健全で、発生する応力レベルは低いと思われる。

以上の結果から、埋込み接合によるコンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合方法は、十分な耐力を有しており、安全であることが確認された。

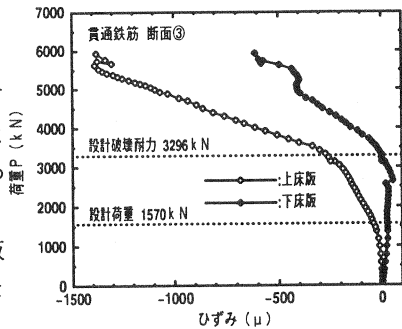


図-12 貫通鉄筋のひずみ

4.3 一面摩擦接合の安全性

一面摩擦接合の安全性を接合部のせん断応力度を測定することにより検討した。曲げ破壊実験、及びせん断破壊実験において接合部に発生したせん断応力度を図-13に示す。計算値は、作用せん断力をウェブ断面積で除した平均せん断力応力度である。図より以下のことがわかった。

① せん断応力度は、設計荷重時には許容せん断応力度(118MPa)以下、設計終局耐力時にはせん断降伏応力度(244MPa)以下である。

② せん断応力度は、終局時までほぼ直線的に変化しており、接合部にずれは生じていない。

③ 接合部に発生しているせん断応力度は、計算値とほぼ一致しており、接合部に応力集中は発生していない。

以上の結果から、一面摩擦接合による波形鋼板ウェブ同士の接合方法は、十分な耐力を有しており、安全であることが確認された。

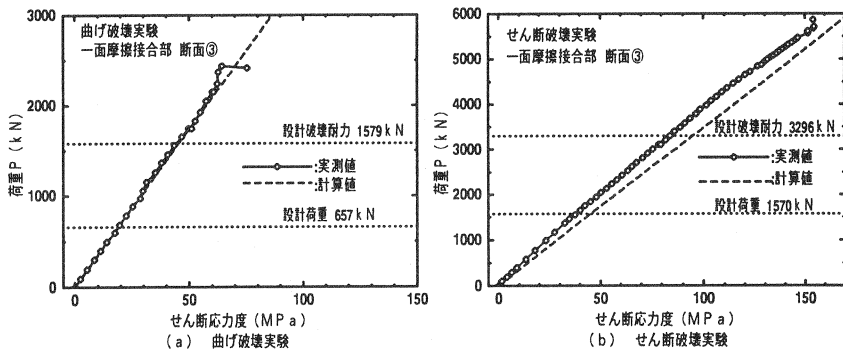


図-13 一面摩擦接合部のせん断応力度

5. おわりに

今回の模型実験により、波形鋼板ウェブPC箱桁に関する以下の事項を確認した。

- (1) 桁の初期剛性は、せん断変形を考慮すれば従来の弾性理論で評価できる。また、終局耐力は、道路橋示方書Ⅲの破壊抵抗モーメントをもとに算出すれば安全である。
- (2) 曲げ・軸力に対する照査は、コンクリート床版のみを有効断面とすることで、平面保持の仮定に従って設計することができる。
- (3) せん断に対する照査は、ウェブのみを有効断面として行うことができる。
- (4) プレストレスの照査、及び導入は従来のPC桁と同様に行うことができる。
- (5) 埋込み接合は、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合構造として十分な耐力を有しており、安全な接合方法である。
- (6) 一面せん断接合は、従来の高力ボルト接合同様に設計でき、波形鋼板ウェブ同士の接合構造として十分な安全性を有している。

波形鋼板ウェブPC橋は、今後大いに振興されるべき構想形式であると考えられ、本論文がその一助にな

れば幸いである。本橋の模型実験にあたりご指導及びご検討いただいた「東海北陸自動車道 鷺見川橋の設計施工に関する検討委員会」(委員長: 池田尚治横浜国立大学教授)の委員並びに幹事の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)中島・依田:波形鋼板ウェブとコンクリートフランジとの接合部の構造に関する実験的研究,第3回合成構造の活用に関するシンポジウム論文集,1995.11
- 2)竹下・依田:波形鋼板ウェブを有するI形断面合成桁の疲労試験,第24回関東支部技術研究発表会講演概要集,1997.3
- 3)田島・池田:波形鋼板ウェブを有するPC構造の複合機構に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,,vol.19, No.2,1997
- 4)谷口・依田:波形鋼板ウェブを持つ合成桁の簡易非線形曲げ解析に関する研究,第46回応用力学連合講演会,1997.1