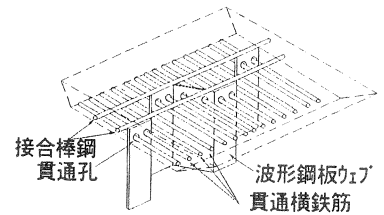


(163) 波形鋼板ウェブP C橋 (中野高架橋) -横方向の実物大静的載荷実験-

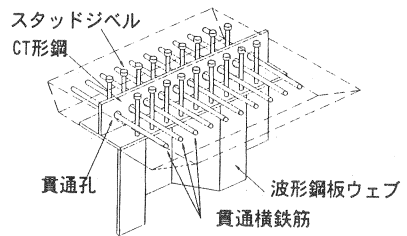
オリエンタル・富士ピーエス J V 正会員	○鈴木 真
阪神高速道路 公団	井口 斉
ピーエス・川田建設 J V 正会員	蔵本 修
大阪工業 大学 正会員	小林 和夫

1. はじめに

阪神高速道路北神戸線中野高架橋 (阪神高速道路公団) では、建設コスト縮減と施工の合理化を目指して波形鋼板ウェブP C箱桁橋を採用している。波形鋼板とコンクリート床版との従来の接合方法には、国内では波形鋼板にフランジプレートを溶接し、その上面にスタッドジベルを溶植する方式や、波形鋼板に孔をあけ、そこに鉄筋を貫通させてコンクリート床版に埋込むいわゆる埋込方式が採用されている。これに対して、本橋の接合方式には施工性等を改善するために従来の接合方式を使わず、C T形鋼を用いたパーフォンドリブとスタッドジベルを併用した独自の接合方式 (以下、中野方式と称す) を採用した (図-1 参照)。これは波形鋼板にC T形鋼を溶接し、C T形鋼のリップに孔をあけ、そこに鉄筋 (以下、貫通鉄筋と称す) を貫通させ、さらにC T形鋼の両側にスタッドジベルを溶植するものである。また、コスト縮減のために本橋の床版横方向の構造は、設計荷重作用時においてコンクリートに発生する引張応力度を $-1.5\text{N}/\text{mm}^2$ まで許容するが、ひびわれは許容しないパーシャルプレストレストコンクリート構造を採用した。国内外において上記のような構造を用いた事例はなかったため、実物大の試験体を用いて静的載荷実験を行い、横方向の性状を確認する必要があると考えた。この実験によって、①床版横方向を対象とした中野方式の接合部構造における妥当性の検証、②接合部に着目した横方向設計手法の妥当性、③P P C構造に対する床版横方向設計手法の妥当性、④中野方式の橋軸直角方向を対象とした終局性状の把握、⑤プレストレス量による接合部の性状確認を行なった。本論文はその実験概要と解析結果について詳述するものである。



(a) 従来方式 (埋込方式)



(b) 中野方式 (パ-フォンドリブ+スタッド)

図-1 床版と波形鋼板の接合法

2. 実験の概要

2.1 試験体

実験にはA P試験体、B P試験体、B R試験体の3体の実物大試験体を製作した。A P試験体は比較用の試験体であり、床版横方向の構造はパーシャルプレストレストコンクリート構造とし、接合部には従来方式である埋込方式を用いた。B P試験体は中野高架橋と同一条件で設計した試験体であり、床版横方向の構造にパーシャルプレストレストコンクリート構造を、接合部には中野方式を用いたものである。B R試験体はB P試験体と同形状であるが、床版横方向の構造は比較用試験体としてP R C構造とし、B R試験体に対して35%のプレストレス量を導入し、設計荷重時の引張応力度を $-4.0\text{N}/\text{mm}^2$  (ひびわれ発生時の引張応力度)まで許容して設計を行った。なお、各試験体とも中野高架橋の支間中央と同一の断面形状とし橋軸寸法は単位長1mを対象とした。試験体に使用した材料についても中野高架橋と同様とした (表-1 参照)。図-2に試験体の断面図 (載荷点位置を含む)、図-3にP Cケーブル配置図を、図-4に配筋図を示す。

表-1 試験体の設計諸条件および構造形状

形式		A P 試験体	B P 試験体	B R 試験体
構造寸法		中野高架橋支間中央部と同形状寸法 (橋軸長 1 m)		
接合方式	形式	埋込方式	中野方式	
	埋め込み長	200 mm	-	
	孔径	φ 41 mm	φ 60 mm	
	貫通鉄筋径	D 19 ctc 125	D 25 ctc 125	
	接合棒鋼	D 19	-	
	C T 形鋼	-	C T - 150 × 300 × 16 × 19	
設計荷重時の許容引張応力度		-1.5 N/mm <sup>2</sup>		-4.0 N/mm <sup>2</sup>
コンクリート	設計基準強度	40 N/mm <sup>2</sup>		
	弾性係数	3.1 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>		
	純かぶり	35 mm		
鉄筋	材質	S D 345		
	弾性係数	2.1 × 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>		
P C 鋼材	材質	1 S 21.8 (S W P R 19 L) 断面積 312.9 mm <sup>2</sup>		
	弾性係数	2.0 × 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>		
	初期引張力	450 kN		156 kN
波形鋼板	材質	S M A 490 C W		
	厚み	t = 12 mm		

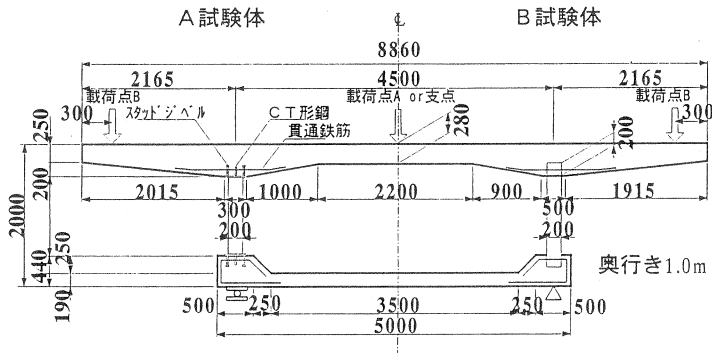


図-2 試験体の断面図および荷重載荷点

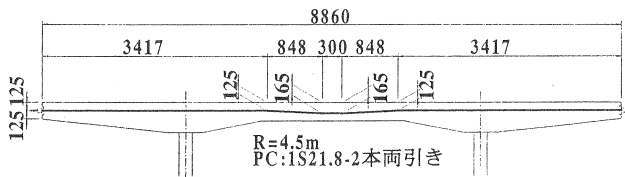


図-3 試験体のケーブル配置図

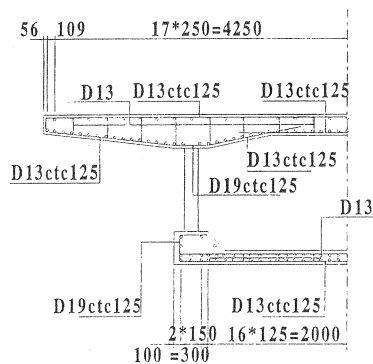


図-4 試験体の配筋図

## 2. 2 載荷方法

本実験は、図-5に示すコンクリート上床版の支間中央(設計断面①)、接合部支間中央側(設計断面②)および張り出し床版側(設計断面③)に着目して行なう。載荷ケースについては図-5に示す4ケースとした。

### ① Case 1

載荷方法Aは、設計断面①(②)に着目した設計荷重レベルまでの載荷である。設計断面①の床版下縁側において、各試験体の許容引張応力度(パーシャルプレストレストコンクリート構造であるAP試験体およびBP試験体では $-1.5\text{N/mm}^2$ 、PRC構造であるBR試験体では $-4.0\text{N/mm}^2$ )が発生するような設計荷重作用時レベルの荷重(PA)を載荷点Aに載荷させた。なお、BR試験体においても載荷荷重は、AP試験体およびBP試験体と同様とした。

### ② Case 2

載荷方法Bは、設計断面③に着目した設計荷重レベルまでの載荷である。Case 1と同様に、設計断面③のコンクリート上床版支点部(張り出し床版側)の上縁側において、各試験体の許容引張応力度が発生するような設計荷重作用時レベルの荷重(PB)を載荷点Bに鉛直載荷させた。なお、BR試験体においても載荷荷重は、AP試験体およびBP試験体と同様とした。

### ③ Case 3

載荷方法Cは、過積載などの特殊なケースを想定した載荷である。ここでの荷重は設計断面①(コンクリート上床版の支間中央)の下縁側と設計断面③(張り出し床版の付け根部)の上縁側において、引張応力度が同時に設計荷重時の許容応力度の約1.5倍(AP試験体およびBP試験体において $1.5 \times 1.5 = 2.25\text{N/mm}^2$ )となるように載荷点AおよびBに同時に鉛直載荷した。

### ④ Case 4

載荷方法Dは、各試験体の終局時における接合部の性状を把握するため、載荷点Aの鉛直変位を固定させ、載荷点Bに設計断面③が終局に至るまで鉛直載荷させた。

なお、Case 4は鉛直載荷ジャッキの最大ストローク150mmまで載荷を行った。また、接合部への

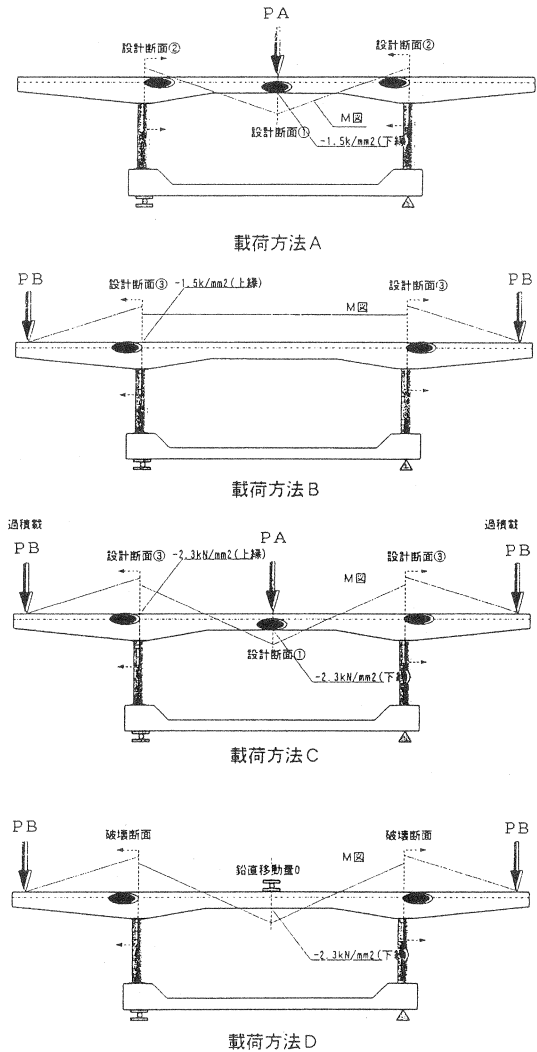


図-5 荷重載荷方法

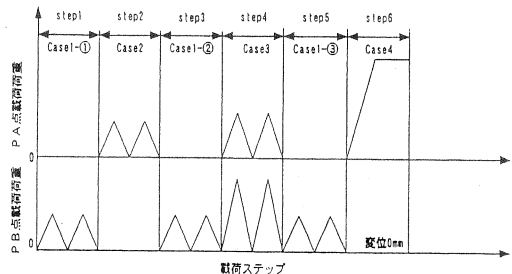


図-6 荷重載荷STEP

荷重の繰り返し載荷による影響を確認するために、載荷ステップは基本的にCase 1, 2, 1, 3, 1, 4の順で行った(図-6参照)。

計測項目として①接合部位置での上床版コンクリートのひずみ、②波形鋼板ウェブ直上の上床版コンクリートに発生したひびわれ幅(εゲージ使用)、③載荷点位置での鉛直変位、④波形鋼板ウェブのひずみ分布、変位量等について計測を行なった。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 ひびわれ性状

各試験体の実験終了時におけるひびわれ状況を図-7に、破壊状況を写真1~2に示す。設計荷重時レベルのCase 1, Case 2 載荷では、各試験体ともひびわれの発生は見られなかった。AP試験体およびBP試験体においては設計荷重時の約2.0倍の荷重、BR試験体においては設計荷重時の約1.4倍の荷重が載荷された時に支点部上縁側にひびわれが目視された。BP試験体およびBR試験体(パーシャルプレストレストコンクリート構造およびPRC構造)のひびわれ性状を比較してみると、当然ひびわれ幅の大きさは、プレストレス導入量が少ないBR試験体の方が大きくなる傾向になったが、ひびわれの分散性については顕著な差異は見られなかった。

埋込方式であるAP試験体の終局時におけるひび割れ性状の特徴としては、①ひびわれが、波形鋼板の埋め込み位置(軸線上)に進展し、最終的にはこのひびわれが破壊に対して支配的となった、②貫通鉄筋の座屈に伴いその鉄筋に沿った付着割裂が発生し、コンクリートの圧縮部がはらみだした、③破壊時において、波形鋼板の埋め込み部を介して左右のコンクリート上床版に段差が生じ、完全に縁切れになった等が挙げられる。これに対して、中野方式であ

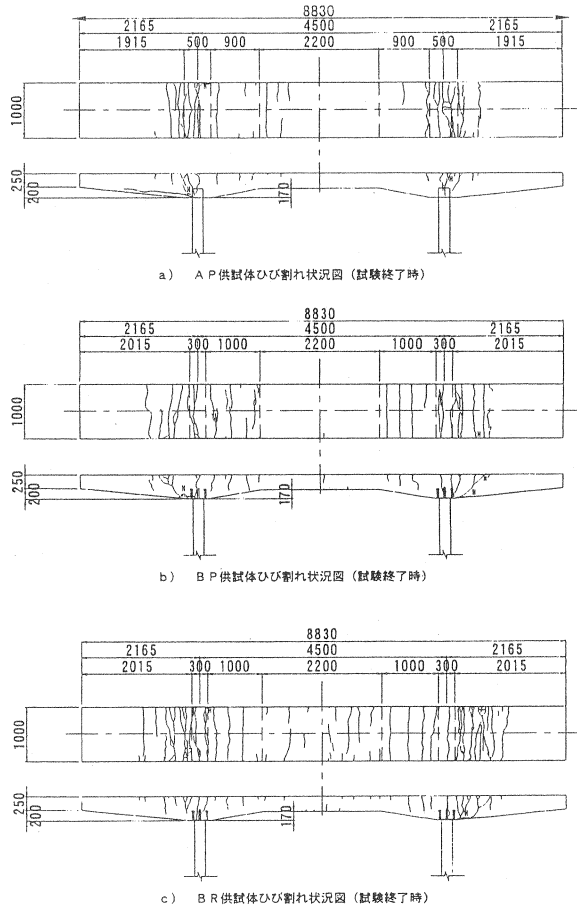


図-7 ひびわれ発生状況図

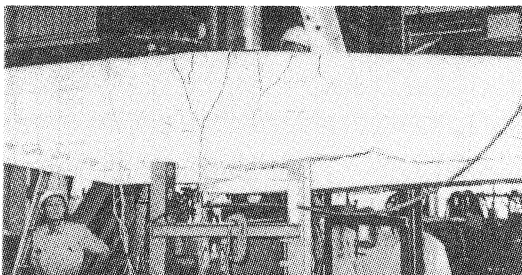


写真-1 破壊状況 (AP試験体)

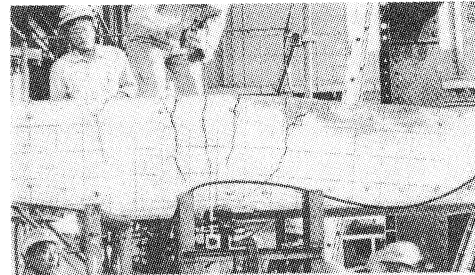


写真-2 破壊状況 (BP試験体)

るBP試験体およびBR試験体の特徴としては、①ひびわれの分散性が良好であり、CT形鋼のフランジ端部(張り出し床版側)の下縁側でコンクリートの圧壊により最大荷重に達した、②破壊時において、波形鋼板とコンクリート上床版との接合部での張り出し床版側および中間床版側のひびわれ発生は均等であったこと等が挙げられる。これらの相違は、波形鋼板とコンクリート上床版との接合部における床版の支持形式の違いによるものと考えられる。埋込方式であるAP試験体は、波形鋼板が直接コンクリート床版を支持する線支持となっているため、接合部を境界にしてコンクリート上床版の張り出し床版側と中間床版側で縁を切るようなひびわれが発生する傾向が見られた。これに対し、BPおよびBR試験体はCT形鋼のフランジプレートで上床版を支持する面支持になっているため、AP試験体に対してひびわれが分散して発生した。

3.2 荷重・変形関係

Case1、Case2およびCase4の各載荷ケース毎の最大変位を表-2に示す。設計荷重レベルであるCase1およびCase2の載荷時の変形性能は両試験体ともほぼ同等であることから、設計荷重レベルの接合方式の相違による変位に対する影響は見られなかった。表-3にCase4における荷重と変位の実験値と解析値の比較を、図-8にはCase4載荷時の荷重と鉛直変位の関係を非線形静解析による解析結果も併せて示す。なお、解析に用いた各材料強度は、実材料強度を用いた。Case4の結果、AP試験体の最大荷重は、BP試験体と比して5%

表-2 各荷重時の最大変位量

		載荷荷重(kN)			変位(mm)	
		支間中央	L側載荷点	R側載荷点	支間中央	張出床版
AP試験体	Case1	90			1.47	-1.41
	Case2		82	82	-3.54	5.25
	Case4	-	310	310	-	59.9
BP試験体	Case1	90			1.58	-1.56
	Case2		82	82	-3.07	4.74
	Case4	-	325	325	-	54.9
BR試験体	Case1	90			1.78	-1.74
	Case2		82	82	-5.04	6.94
	Case4	-	291	291	-	115.1

表-3 最大荷重と最大変位量

		実験値	解析値	比率
AP試験体	荷重	310 kN	315 kN	1.02
	変位	59.8 mm	57.5 mm	0.96
BP試験体	荷重	325 kN	315 kN	0.97
	変位	54.9 mm	57.5 mm	1.05
BR試験体	荷重	291 kN	315 kN	1.08
	変位	115.1 mm	91.4 mm	0.79

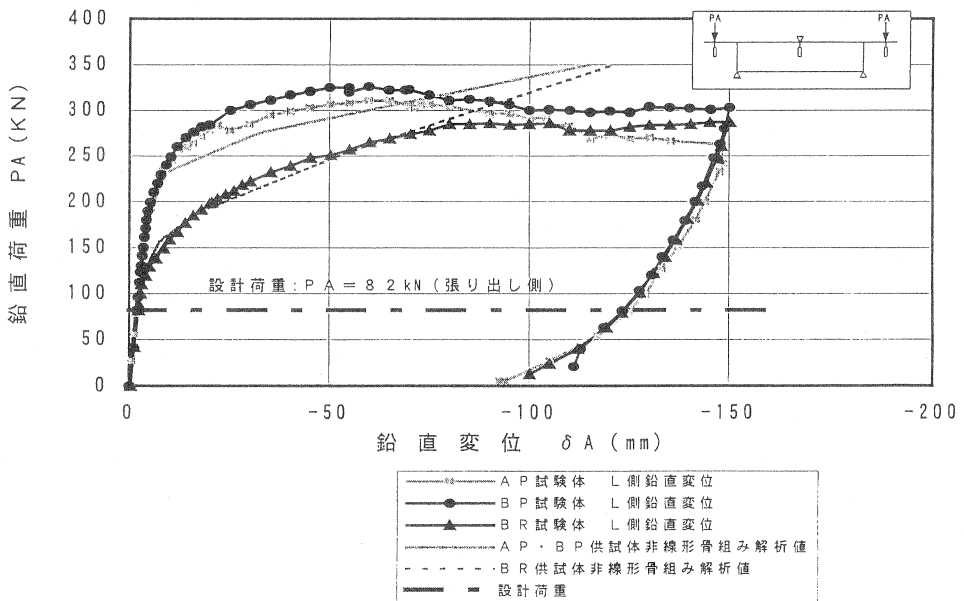


図-8 Case4載荷時の荷重-変位曲線

程度上回った。これは、接合方式によって片持ち部床版支間長が異なること、C T形鋼のフランジプレートによるコンクリート圧縮部の拘束効果の影響等が考えられる。ちなみに、最大荷重時の変位量(実験値)は、A P試験体およびB P試験体でそれぞれ54.9mm (P=325kN)、59.8mm (P=310kN)であった。

変形性能は、両試験体ともほぼ同様な性状を示し、最大荷重以降急激に荷重が低下することなく、ねばりのある変形性能を示した。また、荷重-変位曲線において、実験値と解析値は最大荷重まで良く一致した。これより、中野方式による床版横方向構造は、埋込方式によるものと同等の変形性能を有しているものと考えられる。B R試験体については、P R C構造であることから設計荷重時レベルでの荷重に対する変位が、A P試験体およびB P試験体に比べて大きな値を示しているが、実験最大荷重以後同等な性状を示していることが図-8から判断することができる。

#### 4. まとめ

以上の実験結果をまとめると以下の通りである。

- ① 中野方式は、従来の埋込方式と比較し終局時のひびわれが分散して発生する傾向を示し、横方向では同等以上の終局性状を有することを確認した。
- ② 各試験体とも荷重と変位の関係については、実験値と解析値は比較的良好に一致した。
- ③ 中野接合方式を用いた試験体は、終局時に至るまで従来方式を用いたものと同様のねばりのある変形性能を有することを確認した。
- ④ A P、B P試験体とも、設計荷重時レベル(許容応力度 $-1.5\text{N/mm}^2$ )ではひびわれの発生はなく、荷重-変位曲線は弾性範囲の性状を示した。

これらの結果より、設計荷重さらには終局時に至るまで、従来方式である埋込方式と同様に床版横方向を対象とした中野方式接合構造の妥当性を確認することができたと考える。

#### 謝辞

本実験の計画・実施にあたり、多大なご協力いただいた(株)オリエンタルコンサルタンツの中山氏、水田氏および関係各位に感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)南荘 井口ら：中野高架橋(波形鋼板ウェブ橋)の概要、平成12年度土木学会関西学術講演会、pp7~12、2000.6
- 2)井口 小林ら：中野高架橋模型実験(その2) 床版横方向に着目した静的載荷実験、平成12年度土木学会関西学術講演会、pp7~12、2000.6
- 3)井口 小林ら：中野高架橋模型実験(その3) 波形鋼板と床版接合部のせん断耐力、平成12年度土木学会関西学術講演会、pp7~12、2000.6
- 4)波形鋼板ウェブPC箱桁橋計画マニュアル(案)：H10,12、波形鋼板ウェブ合成構造研究会
- 5)古田 水口ら：本谷橋(波形鋼板ウェブPC箱桁橋)の横方向に関する実験的研究、第8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、pp1~6、1998.6
- 6)桜田 依田ら：波形鋼板ウェブと床版接合部の横方向に関する実験的研究、第8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、pp7~12、1998.6
- 7)Fritz Leonhardt, Wolfhalm Andra, Hans-Peter Andra und Wolfgang Harre: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit. BETON-UND STAHLBETONBAU 1998
- 8)道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編：H8,12 (社)日本道路協会