

(136) 実物大モデル実験による波形鋼板～コンクリート接合部強度の研究

横河工事(株)技術本部技術一部 正会員 ○ 山崎 正直  
横河工事(株)技術本部技術一部 正会員 内田 宗武  
横河工事(株)技術本部 正会員 御子柴光春

1. はじめに

一般に、フランジとウェブで構成される断面の梁桁に荷重が作用したとき、断面には曲げ応力とせん断応力が発生する。理想的には、曲げ応力はすべてフランジで、せん断応力はすべてウェブで負担すれば、それぞれ合理的な設計ができるが、通常の梁桁断面では、フランジ・ウェブとも両者が混在する。特にウェブではせん断応力に加えて、フランジとの接合部付近にはひずみの連続性により大きな橋軸方向応力が発生する。ウェブに平板鋼板を使った場合、この軸方向応力のためにウェブの圧縮側には補剛材が必要になり、高力ボルト継手ではフランジ近く的设计ボルト本数が増加する。

波形折り曲げ加工を施した鋼板をウェブ材として使用すると、実質的なヤング係数が激減するため、この構造上好ましくない橋軸方向応力が無視できるようになり、ウェブ本来の純せん断部材としての設計が可能となる。さらに適切な波形形状を選択することによりせん断座屈に対する補剛材も一切必要でなくなる。

この波形鋼板ウェブをPC箱桁に適用すると、

- ① 幅が狭く高さのあるウェブの、施工性の悪いコンクリート施工が無くなる。
- ② 死荷重が低減するため、支間が大きくでき下部工の負担が減る。
- ③ スラブコンクリートへのプレストレッシングがウェブに流れずに有効に作用する。
- ④ ウェブがスラブコンクリートのクリープと乾燥収縮の影響を被らない。

などのメリットが期待でき、合理的な複合構造物の設計ができる。

フランスで誕生したこの波形鋼板ウェブPC箱桁橋は、日本国内ですでに2橋<sup>[1]・[2]</sup>が完成している。一般に、複合構造物では異種材料間の接合部の形式が問題となるが、この2橋はいずれも波形鋼板端部に溶接した鋼フランジを介して、スタッドジベルによりコンクリートスラブと接合している。この形式は、従来から鋼桁とRCスラブの合成桁に用いている方法で、多くの実績もあり設計法も確立しているが、

- ① ウェブとフランジの溶接作業により製作コストが上昇する。
- ② 波形鋼板ウェブの橋軸方向の低剛性効果がフランジにより阻害される。

などの問題が考えられ、必ずしも最適な接合法とは言えない。

これに代わる接合法として、波形鋼板ウェブの端部を直接コンクリートスラブの中に埋め込み、あらかじめウェブにあけておいた穴を貫通させてスラブ鉄筋を配筋する形式が考えられる。この形式については、縮尺モデルを使用した実験による既往の研究<sup>[3]・[4]・[5]</sup>でその有用性が検討されているが、波形鋼板とコンクリートスラブの間のせん断応力の伝達メカニズムは未だに明らかになっていない。

そこで本研究では、この接合形式を実橋に適用するための基礎データを得る目的で、実物大スケールの波形鋼板～コンクリートスラブ接合部せん断供試体を製作し、静的載荷実験を実施した。以下に実験の概要とその結果を述べる。

2. 供試体の設計

接合部供試体に用いる波形鋼板は、板厚8mmのSM490材を使用して、貫通鉄筋のピッチを考慮して波長を1mとし、全高さを1.5mとした。載荷位置には、波形鋼板ウェブを介してコンクリートブロックへ均一にせん断力が伝わるよう、厚さ25mmの鋼板を設けた。また、コンクリートの打設を考慮して、左右のブロックを

高力ボルトで接合する構造とし、波形鋼板の上下には曲げに十分抵抗できるフランジプレートを設置した。

コンクリートブロックについては、設計基準強度を  $400 \text{ kgf/cm}^2$ 、鉄筋は SD295 を用いることとし、2点支持で中央載荷した場合の支持間隔の影響を調べるために、前もって2種類の供試体により予備試験を実施した。その結果、コンクリートブロック間隔は狭い方が実際の桁の挙動に近くなることが確認されたため、載荷に必要な最小間隔の600 mmとした。断面は、厚さ方向にはデッキとハンチの厚さを想定して300 mmとし、幅方向には、予備実験では400 mmとしたが、本実験では配筋の都合で900 mmとした。図-1に供試体の一般図を示す。

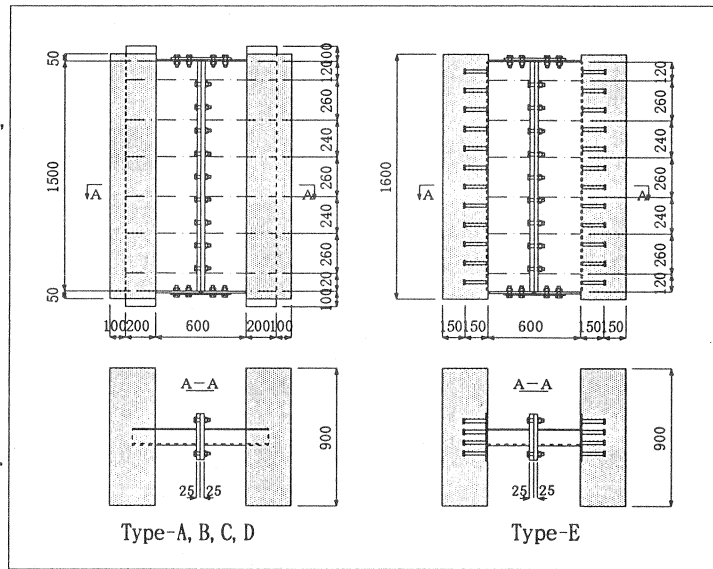


図-1 供試体一般図

接合部の基本的機能は、鋼板のせん断応力をコンクリートに伝えることであるから、接合部耐力は鋼板とコンクリートの接触面積に比例するべきものである。そこで、既往の研究であるコンクリート合成ゲタの接合面での実験<sup>[6]</sup>を参考にして、接合部の強度は接合面を貫通する鉄筋量によると仮定し、接触面積に対する貫通鉄筋の断面積の比：鉄筋比を無次元パラメータとした。

供試体の種類は、基本的に使用する鉄筋径によって、D13をType-A、D16をType-B、D19をType-C、D22をType-Dとし、従来のスタッドタイプの供試体をType-Eとした。

D16鉄筋を用いたType-Bは、鉄筋貫通用の穴が1列のものをType-B1、2列のものをType-B2とした。

さらにType-B1は、基本タイプのほかに、波形ウェブの波の高さが接合部強度へ及ぼす影響を確認するために、図-2に示すように波形形状を変化させたType-B1eおよびType-B1fを用意した。

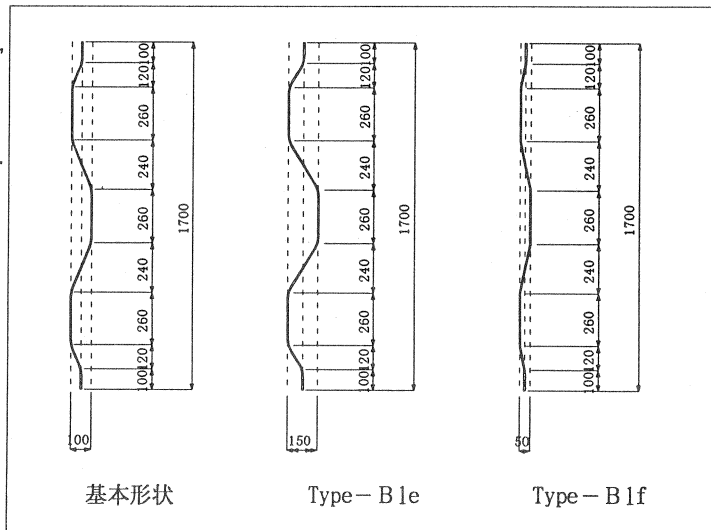


図-2 波形形状

またType-B2は、基本のType-B2a、ウェブ側貫通鉄筋を三角形に曲げ上

げた効果を確認するためのType-B2b、波形鋼板埋め込み部端部に鉄筋をフレア溶接した効果を確認するためのType-B2c、鉄筋貫通用に穴径(標準は鉄筋径の2倍とした)の影響を確認するために穴径を大きくし

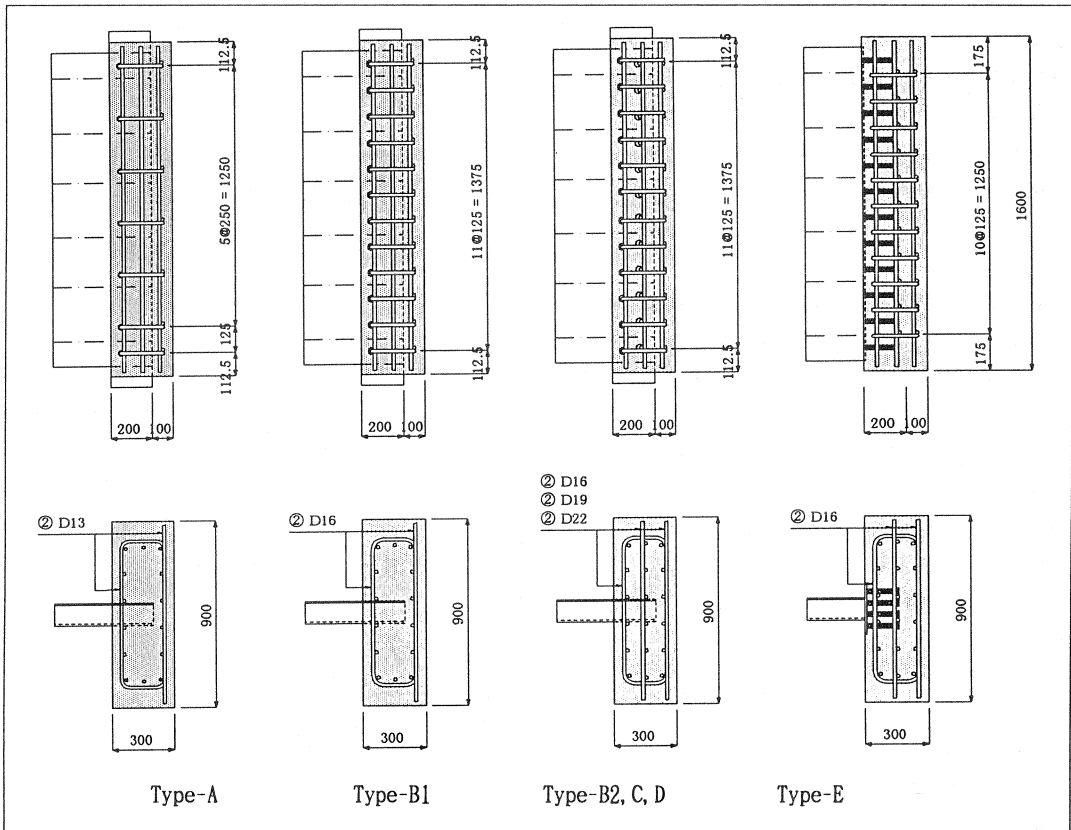


図-3 供試体配筋図

たType-B2dを製作した。図-3に各タイプの配筋図を、また、表-1に供試体の一覧を示す。

なお、表中のType-B2s, C s, E sについては、上記の実験の結果、ウェブ材が降伏応力に達したのちも接合部の終局状態が確認できなかったため、ウェブ材の板厚を増加した供試体を追加したものである。

### 3. 実験方法

供試体は、両側のコンクリートブロックを敷きモルタルを介して極厚H形鋼で支持し、1,200 tf加圧試験機を使用して波形鋼板中央部に静的荷重をかけた。

荷重はサイクル荷重とし、原則として各荷重レベルを2回ずつ、50tfまたは100 tfピッチで荷重レベルを増加させた。

表-1 供試体タイプ一覧表

Type	せん断材料	鉄筋比 (%)	孔径 (mm)	波高 (mm)	板厚 (mm)	製作数 (体)	備考	
A	鉄筋:7@D13	0.26	26φ	100	8	2	予備実験タイプ	
B1	鉄筋:12@D16	0.70	32φ				50	1
B1e						波の高さ小		
B1f				150		1	波の高さ大	
B2a	鉄筋:24@D16	1.41	50φ	100		2	2	鉄筋二列
B2b								ハンチ筋一部三角
B2c					ウェブ端鉄筋溶接			
B2d					拡大孔タイプ			
B2s					19	1	ウェブ増厚	
C	鉄筋:24@D19	2.03	38φ	100	8	2	太径二段鉄筋	
Cs							19	1
D	鉄筋:24@D22	2.74	44φ		8	2	スリットと同断面積	
E	スリット:48φ22	4.51	---	100	8	2	従来タイプ	
Es							19	1

最終的に、少なくとも鋼板とコンクリートの残留ずれ量が10mmを超えた状態、または波形鋼板の残留塑性せん断変形が鉛直方向に最大10mmを超えた状態のいずれかに達したのち、その都度総合的に判断して载荷を終了した。

図-4に载荷要領を示す。

#### 4. 計測項目

载荷実験中の計測は、①ロードセルによる载荷荷重値、②変位計による変位量、③ひずみゲージによる鋼材とコンクリートのひずみの値をそれぞれデータロガーに取り込み、制御用パソコンでモニタリングしながら磁気ディスクに記録した。

変位計は、ウェブ材とコンクリートの相対変位用に1/1000mm精度のものをを用い、ひずみゲージについては、波形鋼板ウェブに3軸ひずみゲージ(面外変形に対応できるように両面に貼付け)、鉄筋とコンクリート表面に

1軸ひずみゲージ、コンクリート内部にモールドゲージを配置した。

図-5にひずみゲージの配置図を示す。

#### 5. 実験結果

##### (1) 終局モード

Type-Aについては、最大荷重253 tfで、貫通鉄筋が波形鋼板とコンクリートの相対ズレ変位の進行に伴い破断してゆき、波形鋼板のくさび効果により接合部でコンクリートブロックが押し広げられる形での終局モードとなった。

Type-B1については、最大荷重は波高100mmの基本タイプが393 tf、波高50mmのType-B1eが346 tf、波高150mmのType-B1fが362 tfで、いずれも貫通鉄筋は1本も破断しなかったが、貫通鉄筋が波形鋼板とともにズレたことにより、貫通鉄筋の配置面がかぶりコンクリートがはく離破壊する終局モードとなった。

その他のタイプの供試体については、ウェブ板厚が8mmのものはすべて、鋼板のせん断降伏点荷重の450 tf前後から鋼板の塑性変形が始まり、500 tf以前に载荷不能となった。これらはいずれも接合部は健全な状態を保っていた。従って、Type-B2b、Type-B2c、Type-B2dについては、各供試体の意図する接合部の

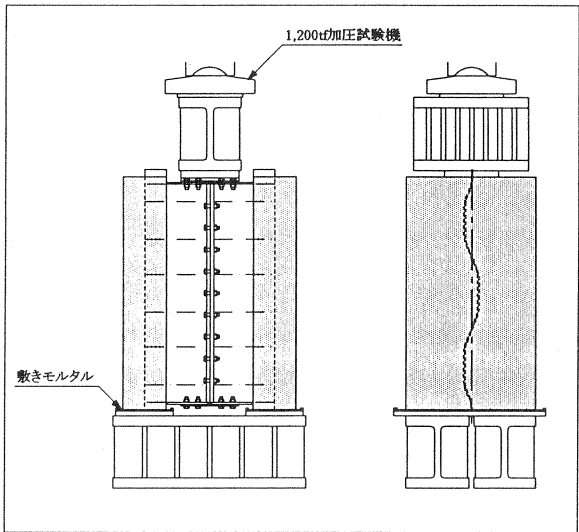


図-4 载荷要領図

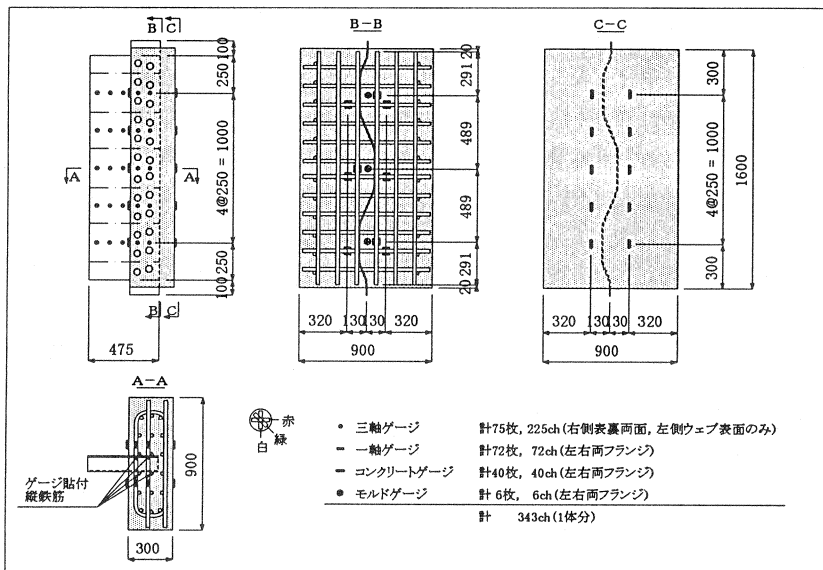


図-5 ひずみゲージ配置図

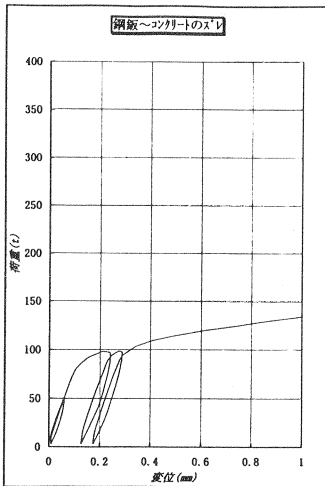


図-6 ズレ量(Type-A)

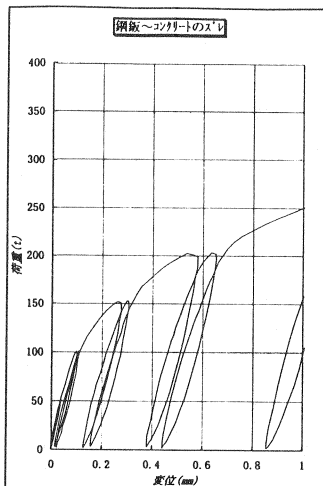


図-7 ズレ量(Type-B1)

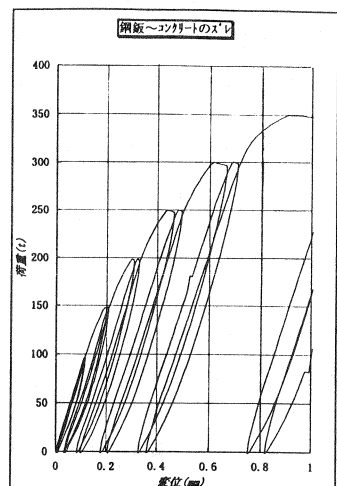


図-8 ズレ量(Type-B2a)

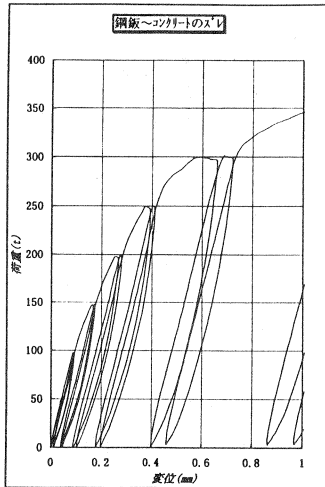


図-9 ズレ量(Type-C)

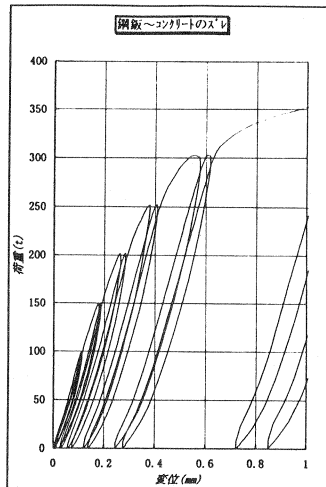


図-10 ズレ量(Type-D)

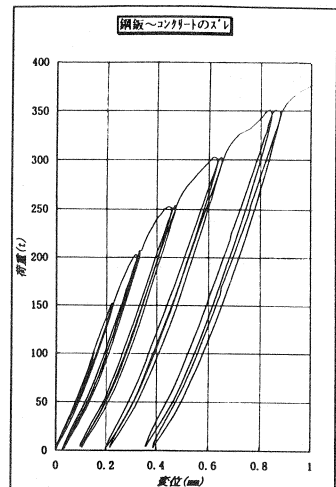


図-11 ズレ量(Type-E)

強度への影響は確認できなかった。ウェブ板厚が19mmのものは、Type-B2sが最大荷重953 tfで、Type-Aと同様貫通鉄筋が波形鋼板とコンクリートの相対ズレ変位の進行に伴い破断していったが、コンクリートの破壊状況はType-B1に近い貫通鉄筋の配置面(2面)ではなく離破壊であった。Type-CsとType-Esについては、荷重設備の能力範囲では終局状態に至らなかった。

(2) 残留ズレ

図-6~図-10に各鉄筋比の基本的な供試体の、荷重荷重~波形鋼板とコンクリートの相対ズレ変位グラフを示す。これらのグラフから、0.05mm, 0.10mm, 0.20mmの各残留ズレ量が生じる荷重レベルを読み取ると表-2のようになる。

表-2 残留ズレ量荷重(tf)

タイプ	鉄筋比 (%)	残留ズレ量 (mm)		
		0.05	0.10	0.20
A	0.26	83	93	95
B1	0.70	124	146	157
B2a	1.41	150	198	241
C	2.03	148	190	250
D	2.74	190	235	287
E	4.51	244	255	305

この値を鉄筋比をパラメータにして、残留ズレの量ごとにプロットしたのが図-12である。Type-Cでやや小さい荷重となっているものの、このレベルの残留ズレの範囲では、接合部に作用する荷重は鉄筋比とともに増加する傾向が認められる。

なお、ズレ量はウェブ高さの中央での左右のうち大きい方の値を採用した。

### (3) ひずみ

波形鋼板のひずみは、コンクリートの外部の鋼板にはほぼ純粋なせん断ひずみが生じているのに対して、コンクリートの中に埋め込まれた範囲には、せん断方向の軸方向ひずみが生じている。このことから、ウェブのせん断応力が接合部で段階的にコンクリートに伝わっていることが分かる。

貫通鉄筋の軸方向ひずみについては、破断した鉄筋についてもケージを貼った位置では弾性範囲内であり、特に顕著な挙動は見られなかった。

## 6. おわりに

本接合部形式のせん断終局モードとして、

- ① 貫通鉄筋の破断とそれに伴うコンクリートの鉄筋方向引張り破壊
- ② 貫通鉄筋が波形鋼板とともにズレることによるズレ面でのコンクリートのはく離破壊
- ③ 貫通鉄筋の破断とそれに伴うズレ面でのコンクリートのはく離破壊

の3種類が観察された。①と②については、鉄筋比がそれぞれ0.26%、0.70%と極端に小さくした供試体で観察されたもので、通常のスラブを想定した鉄筋比1.41%③)では、ウェブの降伏応力の約2倍の応力状態まで接合部としての機能を保っている。このことから、スラブの主筋とハンチ筋を2列波形ウェブに貫通させ、Type-B2程度の鉄筋比を確保すれば、十分な接合部強度が得られると結論できる。今後、今回確認できなかった項目の追加試験を含めて、得られたデータをさらに解析して本接合構造のメカニズムを解明していきたい。

最後に、実物大の接合部供試体を使用しての載荷実験という大規模な実験に、供試体の製作に協力いただいた興和コンクリートの方々、ならびに実験の段取りに基大なる協力をいただいた横河工事利根工場の方々に絶大なる感謝の意を表します。

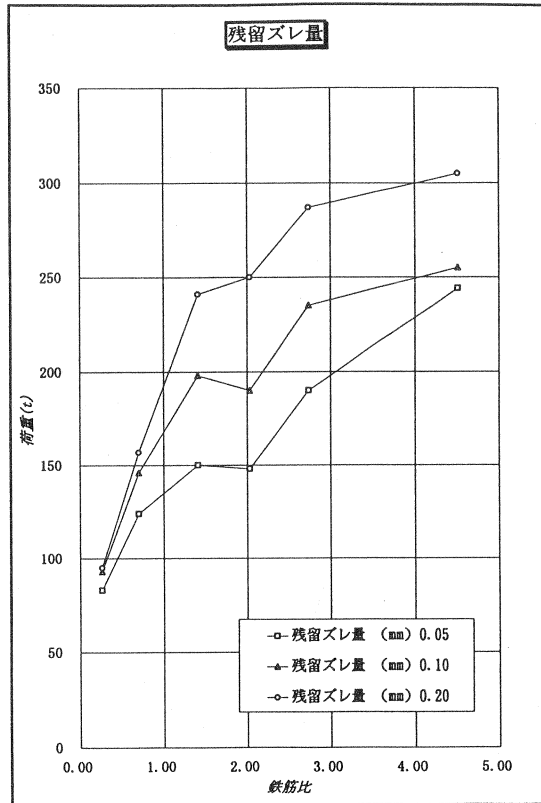


図-12 荷重～鉄筋比グラフ

### 参考文献

- [1] 近藤、清水、大浦、服部：波形鋼板ウェブを有するPC橋—新開橋—、プレストレストコンクリート、Vol. 37, No. 2, pp. 69～pp. 78, 1995. 3
- [2] 加藤、高橋、諏訪：波形鋼板ウェブPC連続桁を用いた松の木7号橋の計画と設計、土木学会第48回年次学術講演会概要集第1部, pp. 1168～pp. 1169, 1993. 9
- [3] 依田、多田、中島、大内：波形鋼板ウェブを持つ合成桁の力学的挙動に関する実験研究、鋼構造論文集 Vol. 1, No. 2, pp. 57～pp. 66, 1994. 6
- [4] 中島、依田、大浦、佐藤、武村：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講演論文集, 1995. 11
- [5] 山口、山口、池田：波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究、コンクリート工学論文集, 第8巻第1号, 1997. 1
- [6] 乙藤、笹戸、浜本、御子柴：コンクリート合成ゲタの接合面に関する研究、橋梁と基礎, Vol. 1, No. 3, pp8～pp15, 1967. 3