

(34) フラスコ形パーフォボンドリブ接合を有する波形鋼板のせん断耐力の研究

Study on Shear Strength of Corrugated Steel Web with Flask Shape-Perfobond Strip Connections

蛭名貴之*, 忽那幸浩**, 和田教志***, 立神久雄†, 園田恵一郎††

Takayuki EBINA, Yukihiko KUTSUNA, Takashi WADA, Hisao TATEGAMI, Keiichiro SONODA

- | | | |
|-----|-------------------------------|------------------------------|
| * | ドーピー建設工業株式会社, 技術センター | (〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6) |
| ** | 日本道路公団, 中部支社, 構造技術課, 課長代理 | (〒460-0003 名古屋市中区錦 2-18-19) |
| *** | 工修 ドーピー建設工業株式会社, 西日本プロジェクトチーム | (〒530-0028 大阪市北区万歳町 4-12) |
| † | 工博 ドーピー建設工業株式会社, 技術センター | (〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6) |
| †† | 工博 大阪工業大学工学部土木工学科, 教授 | (〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷 4) |

For construction cost saving of bridge, recently, a special attention has been paid to a corrugated steel web PC bridge in place of an ordinary PC box bridge. In this type of bridge, connections between corrugated steel web and concrete slab play an important role to structural safety and durability. This study is intended for investigating shear strength of flask shape-perfobond strip connector which was adopted in TOYOTAHIGASHI Junction C ramp second bridge in New TOMEI Expressway. Push out tests for flask shape-perfobond connector models were carried out.

Key Word: flask shape-Perfobond Strip connection, corrugated steel web, concrete slab

1. まえがき

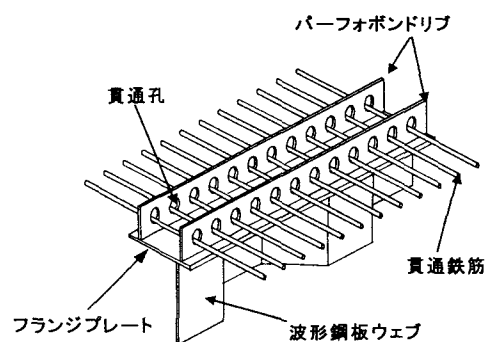
第二東名高速道路の豊田東ジャンクション（以下豊田東 JCT とする）・C ランプ第 2 橋は、従来のプレストレストコンクリート（以下 PC とする）箱桁橋のウェブを波形鋼板に置き換えた、波形鋼板ウェブ PC 橋が採用されている^{1)~3)}。この構造形式において最も重要な部分の 1 つが上・下床版と波形鋼板との接合部で、豊田東 JCT・C ランプ第 2 橋では、ツインパーフォボンドリブ接合（以下 Twin-PBL とする）^{4)~7)}およびシングルパーフォボンドリブ接合（以下 PBL とする）⁸⁾とスタッドジベルとを併用させた構造を採用した（図-1 参照）。

上床版側は、せん断力と首振りモーメントに抵抗させるため Twin-PBL を、下床版側は、スタッドのみではブリージングによる耐力低下が懸念されるため PBL との併用とした。

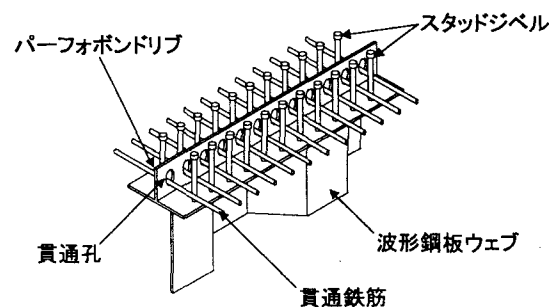
また、張り出し架設時における 1 ブロックの施工工程の短縮化を図るため、波形鋼板ウェブと下床版側の PBL の孔を貫通している鉄筋（以下貫通鉄筋とする）を通さずに、上から波形鋼板ウェブを落とし込み、そのまま設置できるように、PBL の孔をフラスコ形状（図-2 参照）とした。

さらに、張り出し架設時の外ケーブルを上床版とウェブのハンチ部に定着させる構造としたため、ウェブに若干のコンクリート部を設けた断面形状となっている（図-3 参照）。

このため、フラスコ形状における PBL のせん断耐力の把握および Twin-PBL のリブ部における縁端距離の影響による、せん断耐力の低下が懸念された。



(a) Twin-PBL



(b) PBL+スタッドジベル

図-1 Twin-PBL の概要図

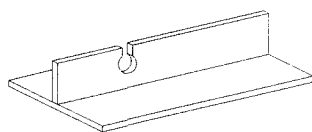


図-2 フラスコ形状のPBL

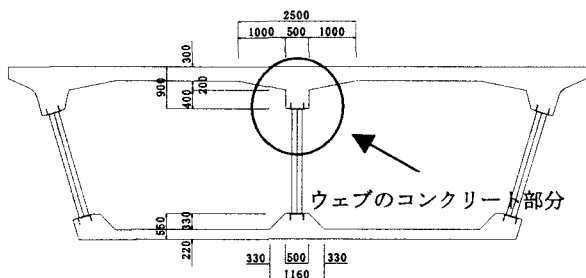


図-3 豊田東JCT・Cランプ橋の標準断面

本研究では、これらの接合方法におけるせん断耐荷挙動を把握するため、押抜き実験（図-4 参照）を行った。実験は、①Twin-PBLの耐力とコンクリートのかぶりの関係（図-5 参照）、②鉄筋を組んでから波形鋼板をセットできるように PBL の孔をフラスコ形状にした場合のせん断耐力、③PBLの孔をU形状（図-6 参照）にした場合のせん断耐力に着目して実施し、同時に土木学会式^{9),10)}との比較検討を行った。

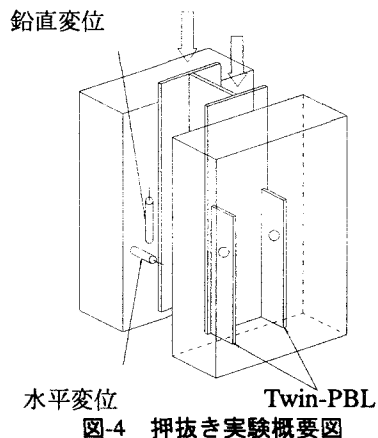


図-4 押抜き実験概要図

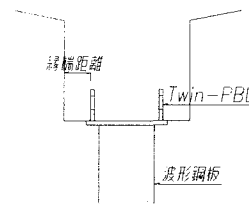


図-5 Twin-PBL とかぶりの関係

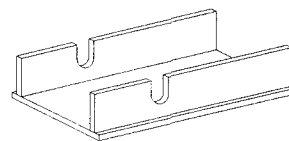


図-6 U形状のTwin-PBL

2. 実験概要

2.1 試験体の種類

試験体の種類を表-1 に、A～C タイプの試験体詳細図を図-7、D および E タイプの試験体詳細図を図-8 にそれぞれ示す。

表-1 に示すとおり、試験体は、A タイプ～E タイプの5種類で各3体製作し、貫通鉄筋は、すべてD16を配置した。A タイプ～D タイプまでは、上床版コンクリートと波形鋼板の接合を想定し、E タイプのみ下床版コンクリートと波形鋼板の接合を考慮したため、コンクリートの打設方向を逆打ちとした。

また、A タイプおよび B タイプは PBL のリブの縁端距離に着目し、リブの縁端距離が、せん断耐力に及ぼす影響を把握すること、C タイプはハンチを設けたことによるせん断耐力への影響、D タイプは PBL の孔をU形にしたことによるせん断耐力への影響、E タイプは PBL の孔をフラスコ形にしたことによるせん断耐力への影響を把握することを目的として押抜き実験を実施した。

ここで、D タイプの PBL の孔をU形に変更した理由は、上床版の鉄筋組作業において、PBL の貫通鉄筋を貫

表-1 試験体の種類

試験体の種類	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Eタイプ
試験体の形状	長方形	長方形	台形	標準	標準
ずれ止めの概要図					
ずれ止めの種類	Twin-PBL	Twin-PBL	Twin-PBL	Twin-PBL(U)	PBL(フラスコ)
リブのかぶり(mm)	107	207	—	—	—
孔径φ(mm)	φ55	φ55	φ55	半径r=55/2	φ55
貫通鉄筋	D16	D16	D16	D16	D16
打設方向	正	正	正	正	逆

通させることなく、上から落とし込めることを可能とさせ、施工の省力化を図るためである。

しかしながら、首振りモーメントに抵抗できないと考えられるため、別途検討が必要であると思われる。EタイプもPBLの孔を円形からフラスコ形に変更した理由は、下床版の鉄筋が組み終わってから波形鋼板を上から落とし込めることで、施工の省力化を図ろうと考えたためである。

図-7および図-8より、Twin-PBLおよびPBLのリブの下端部(図中の斜線部分)は、実験時にコンクリートの抵抗がないように、あらかじめ空洞にした。また、A～Dタイプに用いたTwin-PBLのリブ高さ h ($=125\text{mm}$)とリブ間隔 b ($=270\text{mm}$)の関係は、 $b/h=2.16$ で統一させることとした。試験体に用いたリブ厚($t=16\text{mm}$)、リブ高さ($h=125\text{mm}$)、リブ間隔($b=270\text{mm}$)については、実橋を想定し決定した。試験体を使用した材料特性は、鋼部材がSS400、鉄筋はSD345、コンクリートは表-2に示す。

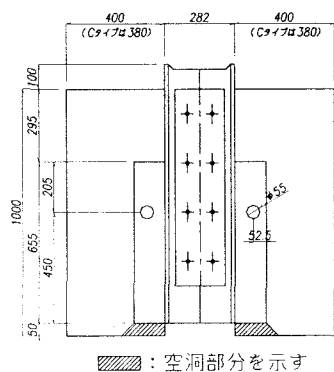
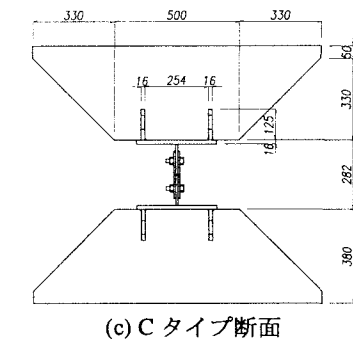
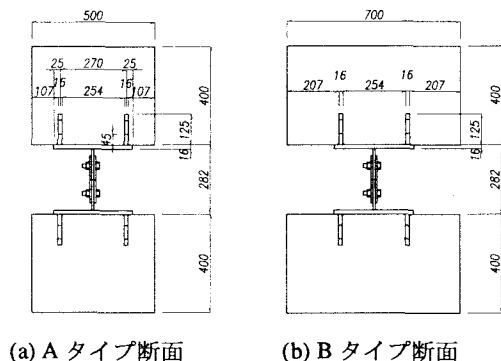
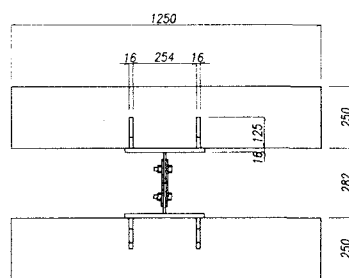
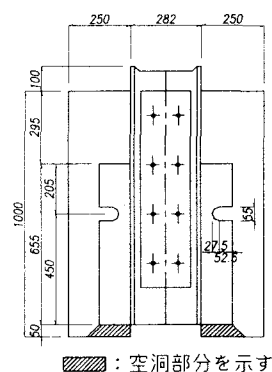


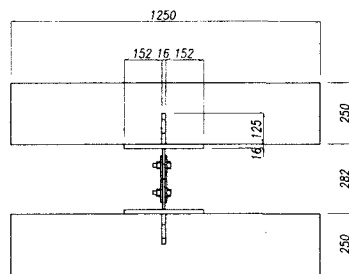
図-7 A～Cタイプの試験体詳細図



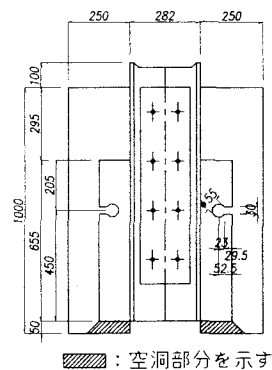
(a) Dタイプ断面



(b) Dタイプ側面



(c) Eタイプ断面



(d) Eタイプの側面

図-8 DおよびEタイプの試験体詳細図

表-2 コンクリートの材料特性

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Eタイプ
設計基準強度 (N/mm^2)	40				
圧縮強度(N/mm^2)	52.6	52.1	50.8	51.0	54.8
ヤング係数(N/mm^2)	3.02E+04	2.91E+04	3.01E+04	2.91E+04	3.09E+04

2.2 押抜き実験の概要

押抜き実験の状況を写真-1に示す。写真-1から押抜き実験は、左右の荷重のバラツキも把握するために1000kNのロードセルを2台、50mmの鉛直変位計を4台、25mmの水平変位計を4台設置して実施した。また、試験体設置時の浮力調整を図るため、試験体設置前に石膏を敷いてから実験を行った。A～Eタイプすべての試験体のフランジプレートとコンクリートの付着を切り、せん断耐力に付着の影響を与えないように配慮した。

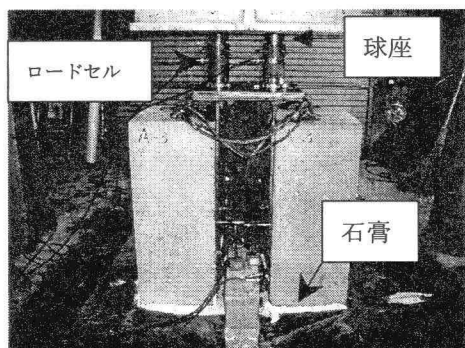


写真-1 押抜き実験の載荷状況

3. 実験結果

3.1 P- δ 曲線

A～Cタイプの荷重-変位曲線を図-9に示す。図中の荷重は、左右の合計値を示し、鉛直変位量は、4箇所を平均値を示す。図-9より、コンクリートの圧縮強度に差は見られないが、リブの縁端距離が小さいAタイプのみ、最大せん断耐力が小さいことがわかる。この要因は、破壊時の試験体の状況（写真-2 参照）から、Twin-PBLのリブの縁端距離が少なかったためと考えられる。

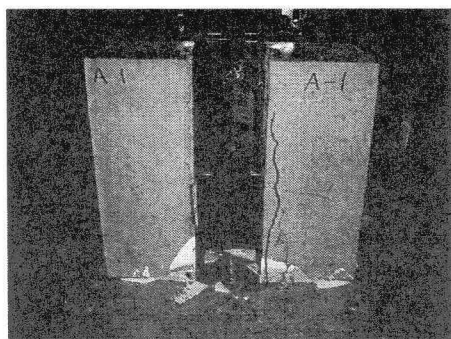


写真-2 A-1試験体の破壊状況

Dタイプの荷重-変位曲線および荷重-水平変位の関係を図-10に示す。また、破壊時の状況を写真-3に示すが、この状況写真からわかるようにフランジプレートが座屈してしまい、試験を途中で中断する結果となった。

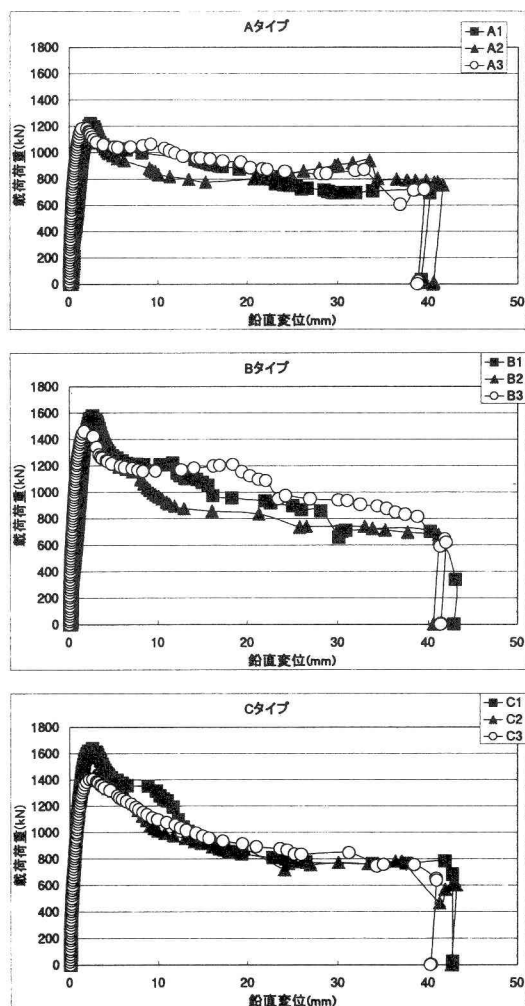
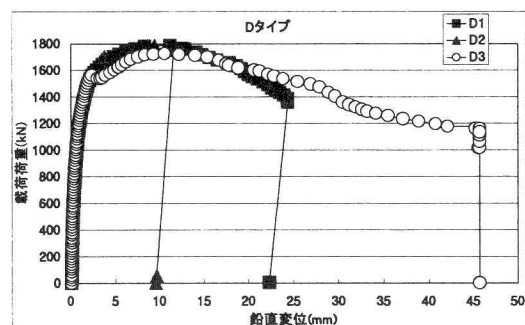
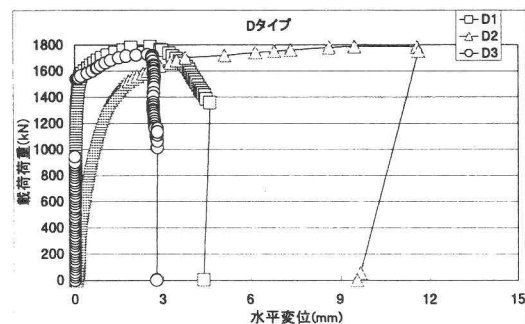


図-9 A～CタイプのP- δ 曲線



(a) P- δ 曲線



(b) 荷重と水平変位の関係

図-10 DタイプのP- δ 曲線および荷重-水平変位

この原因は、PBLの孔をU形としたため水平方向の拘束機能を有していないと考えられる。

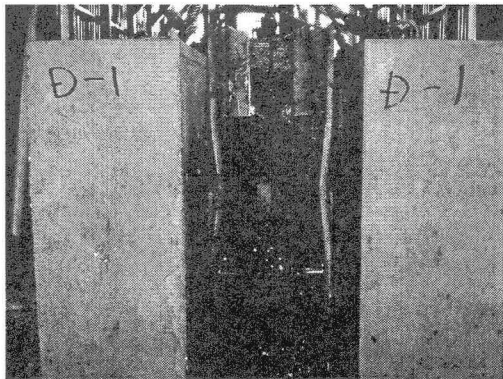
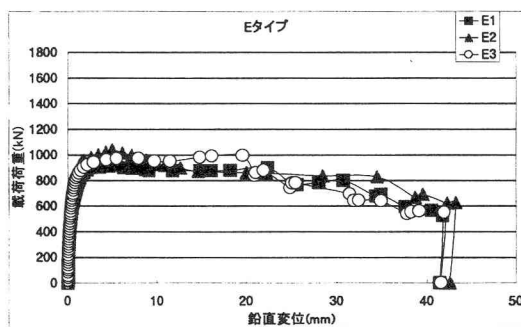
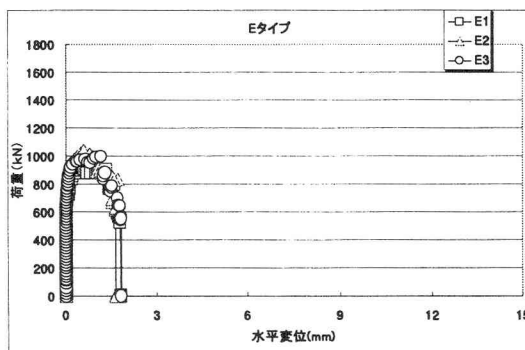


写真-3 D-1 試験体の破壊状況



(a) P-δ 曲線



(b) 荷重と水平変位の関係

図-11 EタイプのP-δ曲線および荷重-水平変位

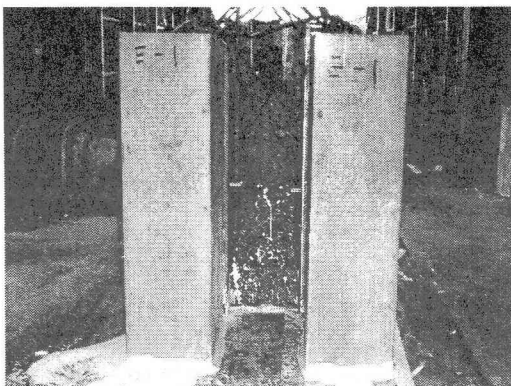


写真-4 E-1 試験体の破壊状況

次に、Eタイプの荷重-変位曲線を図-11に示すが、Dタイプのようなフランジプレートの座屈現象は起きず、ずれせん断により破壊した。破壊状況を写真-4に示す。

本押抜き実験の結果からは、水平方向の拘束機能を有していたと考えられる。

3.2 実験結果と土木学会式の比較

各試験体の実験結果と土木学会式との比較を表-3に示す。表-3の実験結果と土木学会式の比率から、Aタイプ、Bタイプ、Cタイプの中で、PBLの縁端距離が少ないAタイプの比率が一番小さい結果となった。この結果から、PBLの縁端距離が、せん断耐力に影響を与えることがわかった。しかしながら、縁端距離とせん断耐力との関係を定量的に評価するまでには至らなかった。

Dタイプに関しては、実験途中でフランジプレートが座屈してしまい実験値の値をそのまま、せん断耐力とは判断できないと思われる。

Eタイプに関しては、土木学会式の値を算出するときの孔の面積をφ55で求めたものと比較すると、約1.6倍の耐力を有していた。これは、孔をフラスコ形としたことにより、面積が大きくなった影響によるものと考えられる。参考までに孔をフラスコ形の面積(図-12参照)で求めたものとの比較では、約1.3倍程度の耐力を有していた。

表-3 実験結果と土木学会式の比較

試験体の種類		圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋の 引張強度 (N/mm ²)	PBL枚数 (全体)	土木 学会式 ①	実験値	実験 平均 ②	比率 ②/①
Aタイプ	A1	52.6	490	4	1151.2	1220.4	1174.0	1.02
	A2					1121.0		
	A3					1180.8		
Bタイプ	B1	52.1			1143.1	1580.7	1494.2	1.31
	B2					1441.4		
	B3					1460.4		
Cタイプ	C1	50.8			1122.2	1640.2	1501.5	1.34
	C2					1461.7		
	C3					1402.5		
Dタイプ	D1	51.0			1125.4	1787.4	1766.8	1.57
	D2					1787.4		
	D3					1725.6		
Eタイプ	E1	54.8		2	593.3	920.5	986.0	1.66
	E2					1041.5		
	E3					996.0		
E'タイプ (注)	E1	54.8			754.1	920.5	986.0	1.31
	E2					1041.5		
	E3					996.0		

注) E'は土木学会式の孔の断面積をフラスコの断面積に置き換えて算出した。

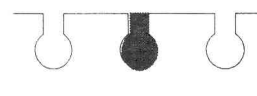


図-12 E'タイプの耐力式を求めた時の断面積

4. まとめ

本押抜き実験結果より以下のことが明らかとなった。

- (1) および C タイプに比べ、A タイプのように PBL の縁端距離が少ない場合は、せん断耐力が低下することがわかった。また、土木学会式との比較では、ほぼ等しい結果となったが、実設計で A タイプの接合形式を用いる場合、B および C タイプのように約 1.3 倍程度の耐力を有するとすれば、土木学会式を低減する必要があると考えられる。
- (2) D タイプのように孔の形状を U 形にした場合は、水平方向の拘束機能を有していないことがわかった。このため実際の橋梁に用いた場合は、首振りモーメントに対する抵抗性がないと考えられるため、何らかの対応策が必要であると思われる。
- (3) E タイプのように孔の形状をフラスコ形にした場合は、使用限界状態のせん断耐力（終局限界状態のせん断耐力の 1/3 相当）では、水平変位および鉛直変位は、変位が発生していない。また、破壊時に関しても D タイプのような水平方向の大きなずれは、発生していなかった。これより、本押抜き実験結果からは、十分な水平方向の拘束機能およびせん断耐力を有していると考えられる。

今後はフラスコ形 PBL の孔の数を複数個、配置した場合のせん断挙動について追求していきたいと考えておる次第であります。

また、本押抜き実験の結果から、フラスコ形 PBL のアップリフトに対する安全性の確認を行うため、後日、引抜き実験を実施した。この実験結果に関する詳細は、近く、論文発表等をする予定であります。

参考文献

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブ PC 橋—計画マニュアル（案），1998 年 10 月。

- 2) 池田尚治：土木分野における複合構造，プレストレストコンクリート，pp.16～19，Vol.37，No.2，1996 年 3 月。
- 3) 角谷務：今後の PC 橋の将来展望＝波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋への展開＝，第 10 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，プレストレストコンクリート技術協会，特別講演 pp.7～15，2000 年 10 月。
- 4) 新谷英司，蛭名貴之，上平謙二，柳下文夫：波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究，第 9 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.91～96，1999 年 10 月。
- 5) 立神久雄，田村聖，蛭名貴之，上平謙二：波形鋼板ウェブ橋に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，日本コンクリート工学協会，Vol.23，No.3，pp.691～696，2001 年 6 月。
- 6) 角谷務，池田尚治：長支間を有する波形鋼板ウェブ PC 橋の波形鋼板とコンクリート床版の新しい接合構造について，プレストレストコンクリート，pp.79～86，Vol.45，No.3，2003 年 5 月。
- 7) 湯浅一光，小林博，蛭名貴之，高橋宏明：谷川橋の設計・施工および実橋載荷実験，橋梁と基礎，Vol.37，No.6，pp.11～16，2003 年 6 月。
- 8) Fritz Leonhardt, Wolfhart Andra, Hans-Peter Andra und Wolfgang Harre: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, BETON-UND STAHLBETONBAU , pp.325～331, 1987 年。
- 9) 土木学会：新形式の鋼・コンクリート複合橋梁調査研究小委員会孔開き鋼板ジベル WG：孔あき鋼板ジベル設計マニュアル（案），2001 年 11 月。
- 10) 保坂鐵矢，光木香，平城弘一，牛島祥貴，橋吉宏，渡辺晃：孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究，土木学会，構造工学論文集，pp.1593～1604，Vol.46A，2000 年 3 月。