

# 波形鋼板ウェブ PC 橋におけるパーフォボンドリブ接合のせん断耐力に関する実験的研究

日本道路公団 北海道支社 正会員 東田 典雅  
 ドーピー建設工業(株) 金子 人之  
 ドーピー建設工業(株) 正会員 吉田 政宏

日本道路公団北海道支社 小野塚 和博  
 ドーピー建設工業(株) 正会員 ○蛭名 貴之  
 ドーピー建設工業(株) 正会員 青木 正行

## 1. はじめに

北海道縦貫自動車道の遊楽部川橋は、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 橋を採用している。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、遊楽部川橋では、ツインパーフォボンドリブ接合（以下 Twin-PBL）およびシングルパーフォボンドリブ接合（以下 PBL）とスタッドジベルとを併

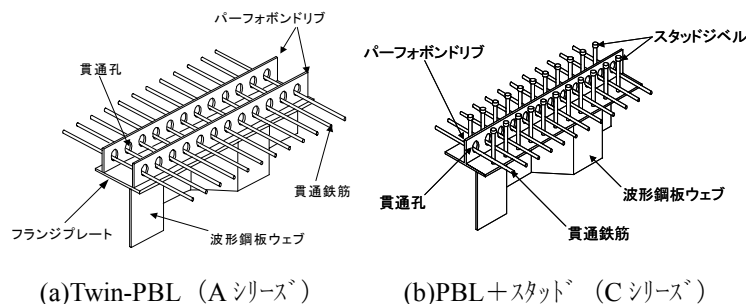


図-1 遊楽部川橋の接合方法

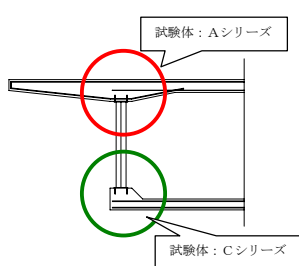


図-2 接合部の着目位置

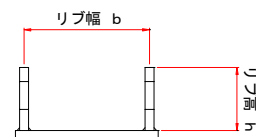


図-4 リブ幅とリブ高

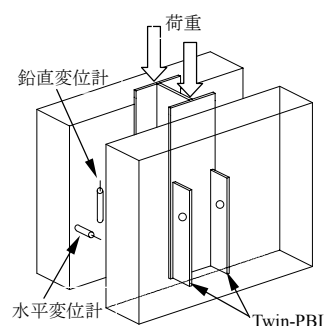


図-3 押抜き実験概要図

用させた構造を採用した（図-1、図-2 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。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-3 参照）を行った。実験は、①Twin-PBL のリブ幅とリブ高の関係（図-4 参照）、②PBL と Twin-PBL の耐力比較、③押し抜く方向に孔を2個にした場合の耐力の影響、④スタッドと PBL の累加挙動について着目して実施し、同時に土木学会式<sup>1)</sup>との比較検討を行った。

## 2. 実験概要

押抜き実験に使用した試験体の種類を表-1 に示す。各試験体は、3 体ずつ製作し、使用したコンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$ 、鉄筋、鋼板およびスタッドは、すべて実橋と同一条件とするため、 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 、鉄筋は SD345（引張強度  $575\text{N/mm}^2$ ）、鋼板は SM490Y、スタッドは SS400 とした。また、各試験体のコンクリートの配合および養生方法は、同一条件とし、試験体製作日および実験日が異なるため、実験実施日に圧縮強度およびヤング係数を測定した。試験体のヤング係数は  $2.731\sim 3.130\text{N/mm}^2$ 、圧縮強度は表-3 および表-4 に記載したとおりである。

表-1 試験体の種類

| 試験体種類  | ずれ止め種類 | ずれ止めの着目点           | 孔径 $\phi$ (mm) | 貫通鉄筋 | 打設方向 | 数量 (体) | 備考                        |
|--------|--------|--------------------|----------------|------|------|--------|---------------------------|
| A シリーズ | A-1    | PBL1枚 (孔1個)        | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | 基準試験体                     |
|        | A-2    | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=1.5h$                  |
|        | A-3    | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=2.0h$                  |
|        | A-4    | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=2.5h$                  |
|        | A-5    | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=3.0h$                  |
|        | A-6    | PBL1枚 (孔1個)        | $\phi 55$      | —    | 正打ち  | 3      | 基準試験体                     |
|        | A-7    | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | —    | 正打ち  | 3      | $b=3.0h$                  |
|        | A-8    | PBL1枚 (孔2個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | —    | 正打ち  | 3      | 孔は縦列                      |
|        | A-9    | PBL2枚 (孔2個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | —    | 正打ち  | 3      | 孔は縦列                      |
|        | A-10   | PBL1枚 (孔2個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | 孔は縦列                      |
|        | A-11   | PBL2枚 (孔2個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | 孔は縦列                      |
|        | A-12   | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=3.0h$                  |
|        | A-13   | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=5.0h$                  |
|        | A-14   | PBL2枚 (孔1個/リブ1枚)   | $\phi 55$      | D16  | 正打ち  | 3      | $b=0.4h$                  |
| C シリーズ | C-2    | スタッドのみ             | —              | —    | 逆打ち  | 3      | スタッド $\phi 22 \times 150$ |
|        | C-3    | スタッドのみ             | —              | —    | 正打ち  | 3      | スタッド $\phi 22 \times 150$ |
|        | C-4    | PBL1枚 (孔1個) + スタッド | $\phi 55$      | D16  | 逆打ち  | 3      | スタッド $\phi 22 \times 150$ |
| 合計     |        |                    |                |      |      | 51     |                           |

注) 孔2個/リブ1枚の孔中心間隔は、125mm

キーワード ツインパーフォボンドリブ、スタッド併用シングルパーフォボンドリブ、押抜き実験、波形鋼板

連絡先 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6 ドーピー建設工業株式会社 TEL 03-3918-6172

表-3 Aシリーズの実験値と計算値

| 試験体 | 圧縮強度<br>$\sigma_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 実験値<br>(平均値)<br>(kN) | ①圧縮強度<br>40N/mm <sup>2</sup><br>換算実験値<br>(kN) | ②圧縮強度<br>40N/mm <sup>2</sup> 時の<br>計算値(kN)<br>(土木学会式) | 比率<br>①/② | 孔数<br>(個) | b/h |
|-----|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----|
| A1  | 53.6                                       | 802.6                | 700.1                                         | 537.4                                                 | 1.303     | 2         | —   |
| A2  | 49.6                                       | 1504.5               | 1363.8                                        | 1074.8                                                | 1.269     | 4         | 1.5 |
| A3  | 51.5                                       | 1546.2               | 1384.7                                        | 1074.8                                                | 1.288     | 4         | 2.0 |
| A4  | 54.2                                       | 1439.0               | 1248.7                                        | 1074.8                                                | 1.162     | 4         | 2.5 |
| A5  | 52.6                                       | 1422.9               | 1249.4                                        | 1074.8                                                | 1.162     | 4         | 3.0 |
| A10 | 52.9                                       | 1626.9               | 1429.1                                        | 1074.8                                                | 1.330     | 4         | —   |
| A11 | 38.4                                       | 2197.4               | 2235.8                                        | 2149.7                                                | 1.040     | 8         | 3.0 |
| A12 | 50.3                                       | 1209.6               | 1089.1                                        | 1074.8                                                | 1.013     | 4         | 3.0 |
| A13 | 50.3                                       | 1199.6               | 1080.2                                        | 1074.8                                                | 1.005     | 4         | 5.0 |
| A14 | 57.2                                       | 1686.7               | 1423.8                                        | 1074.8                                                | 1.325     | 4         | 0.4 |
| A6  | 43.2                                       | 529.9                | 490.7                                         | 139.4                                                 | 3.519     | 2         | —   |
| A7  | 43.2                                       | 1130.2               | 1046.5                                        | 278.8                                                 | 3.753     | 4         | 3.0 |
| A8  | 52.9                                       | 1088.4               | 823.0                                         | 278.8                                                 | 2.951     | 4         | —   |
| A9  | 48.8                                       | 1886.0               | 1545.9                                        | 557.7                                                 | 2.772     | 8         | 3.0 |

表-4 Cシリーズの実験値と計算値

| 試験体 | 圧縮強度<br>$\sigma_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 実験値<br>(平均値)<br>(kN) | 圧縮強度<br>40N/mm <sup>2</sup><br>換算実験値<br>(kN) | 圧縮強度40N/mm <sup>2</sup><br>時の計算値(kN) |       |        |
|-----|--------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|
|     |                                            |                      |                                              | PBL                                  | スタッド  | 合計     |
| C2  | 50.5                                       | 597.6                | 531.3                                        | 0.0                                  | 690.6 | 690.6  |
| C3  | 57.2                                       | 683.6                | 571.7                                        | 0.0                                  | 690.6 | 690.6  |
| C4  | 38.4                                       | 1461.0               | 1490.0                                       | 537.4                                | 690.6 | 1228.0 |

注)計算値の中のスタッドは、道路橋示方書<sup>2</sup>から求められる値に安全率6倍を考慮

表-5 孔数1個と2個の換算実験比率

| 試験体          |     | b/h | PBLの<br>(枚数)<br>(枚) | 貫通<br>鉄筋<br>の有無 | 孔数<br>(個) | ①<br>孔1個/リブ1枚<br>の換算実験値<br>(kN) | ②<br>孔2個/リブ1枚<br>の換算実験値<br>(kN) | 孔1個と<br>2個の<br>比率<br>(②/①) |
|--------------|-----|-----|---------------------|-----------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| PBL          | A1  | —   | 2                   | 有               | 2         | 700.1                           | —                               | 2.0                        |
|              | A10 |     |                     | 有               | 4         | —                               | 1429.1                          | —                          |
|              | A6  |     |                     | 無               | 2         | 490.7                           | —                               | 1.7                        |
|              | A8  |     |                     | 無               | 4         | —                               | 823.0                           | —                          |
| Twin<br>-PBL | A5  | 3.0 | 4                   | 有               | 4         | 1249.4                          | —                               | 1.8                        |
|              | A12 |     |                     | 有               | 4         | 1089.1                          | —                               | 2.1                        |
|              | A11 |     |                     | 有               | 8         | —                               | 2235.8                          | —                          |
|              | A7  |     |                     | 無               | 4         | 1046.5                          | —                               | 1.5                        |
|              | A9  |     |                     | 無               | 8         | —                               | 1545.9                          | —                          |

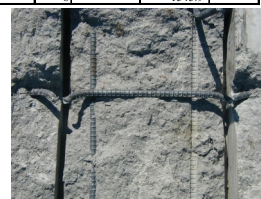


写真-1 A5の破壊状況

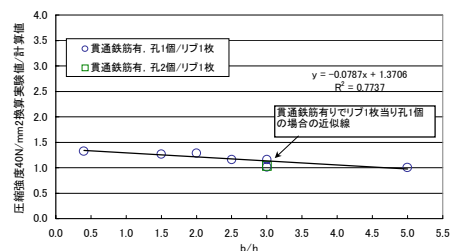


図-5 b/hと換算実験値/計算値

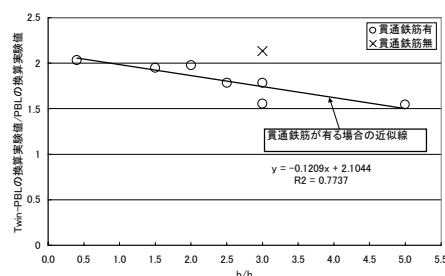


図-6 b/hとTwin-PBL/PBLの換算実験値

### 3. 実験結果と考察

実験結果を表-3、表-4に示す。実験結果から明らかになったことを以下に示す。①Twin-PBLのリブ幅(b)とリブ高(h)の影響:b/hと土木学会式を参照して圧縮強度40N/mm<sup>2</sup>に換算した場合の実験値(以下40N/mm<sup>2</sup>換算実験値)と計算値の比率の関係を図-5に示す。図-5より貫通鉄筋が無い試験体を除けば、b/hが大きくなると計算値に対する実験値の比率が小さくなっている。この要因として貫通鉄筋の拘束効果が、2枚それぞれのPBLに均等に作用していないと考えられたため、各試験体を切断して破壊状況を確認することとした。1例としてA5(b/h=3)の破壊状況を写真-1に示すが、破壊状況からは、原因を解明することはできず、今後もこの耐力低下の要因を検討する必要がある。②PBLとTwin-PBLのせん断耐力比較:b/hと40N/mm<sup>2</sup>換算実験値のTwin-PBLとPBLの比率の関係を図-6に示す。図-6からTwin-PBLの耐力は、b/hが大きくなるとPBL1枚当りのせん断耐力は2倍を下回る結果となった。今後、b/hに応じた低減係数を検討していく必要があると考える。③押し抜く方向に孔を2個にした場合の耐力の影響:1枚当たりの孔数1個と2個の場合の40N/mm<sup>2</sup>換算実験値の比率を表-5に示す。表-5から、貫通鉄筋が有るPBLのみ、比率が2程度となっているが、その他の試験体では2を下回る結果となった。また、貫通鉄筋が有りb/h=3のTwin-PBL(A5)に関しては、孔1個当たり約11%程度の耐力低下を示す結果となった。この原因が、押し抜く方向に孔を増やしたことによるものなのか、Twin-PBLにしたことによるのか、両者に起因しているのかは、今後の検討課題である。④スタッドとPBLの累加挙動:表-3および表-4より、PBL+スタッド(C4)の40N/mm<sup>2</sup>換算実験値は1490kNであり、PBL単体(A1)とスタッド単体(C2)の合計値1231.4kN(=700.1+531.3)を上回っており、累加挙動を示しているものと考えられる。しかしながら、スタッド単体の実験値は計算値をかなり下回っていることから、せん断耐力の算出方法については、さらなる検討が必要である。

### 4. まとめ

本押抜き実験結果から明らかになったことを以下に述べる。

①b/hが大きくなると、せん断耐力が低下する傾向を示す。②b/hが大きくなると、Twin-PBLの耐力はPBL1枚当りのせん断耐力の2倍を下回る傾向を示す。③リブ1枚当たりの孔の数が増えると1孔当りの負担するせん断耐力が低下する傾向を示す。以上のことから、遊楽部川橋の設計は、土木学会式に、低減係数を乗じて設計を行った。なお、低減係数については、孔の間隔および孔の個数などの影響を考慮し、今後さらなる検討が必要である。④PBL+スタッドのせん断耐力は、累加挙動を示しているものと考えられるが、算出方法の検討が必要である。

**謝辞:** 本実験を行うにあたり多大なご助言をいただいた大阪工業大学の園田恵一郎教授をはじめ、関係者各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 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。
- 2) 道路橋示方書・同解説，社団法人日本道路協会，平成14年3月