

パーフォボンドリブ接合の引抜き耐力に関する実験的研究

ドーピー建設工業 (株)	正会員	○蛭名 貴之
日本道路公団 中部支社	非会員	工学修士 忍那 幸浩
ドーピー建設工業 (株)	正会員	高原 忠男
ドーピー建設工業 (株)	正会員	武部 行男

1. はじめに

近年、耐久性と経済性の観点からウェブに波形鋼板を用いたプレストレストコンクリート（以下PC）箱桁橋の接合部にパーフォボンドリブ（以下PBL）を用いる場合があり、関連した研究が行われている。日本道路公団においても、波形鋼板ウェブPC橋に従来から用いられているアングルジベル接合と力学的特性および耐久性の観点から、同等あるいは同等以上の特性が明らかとなり¹⁾、PBL接合が採用されつつある。例えば、北海道縦貫自動車道の遊楽部川橋、第二東名高速道路の豊田東ジャンクションCランプ第二橋（以下、豊田東JCT）などの事例がある。

PBLは施工時において、孔に鉄筋（以下、貫通鉄筋）を通す作業が必要になるが、下床版側の場合は、床版形状より、貫通鉄筋を配置してから側枠をセットしている。また、ウェブが傾斜している場合は、箱桁内から貫通鉄筋を配置することが多く、この場合、ハンチ筋が手前にあり設置に時間を要する。このため、PBLの貫通鉄筋配置における施工の省力化を図るため、PBLの孔の形状を円形からフラスコ形（図-1参照）への変更を考えた。これにより、先に、下床版の鉄筋組み立て作業を行い、その後、波形鋼板ウェブを上から落としこむことが可能となり、施工の省力化が図れることがわかった。

しかしながら、孔をフラスコ形にしたため、引抜かれる方向に開口があり、引抜きに対する抵抗が低減されることが懸念された。

周知のように、通常の合成桁橋のずれ止めのように、設計上はせん断力しか受けない場合でも、ずれ止めには引抜き（アップリフト）抵抗力を持たせねばならない。EUROCODE4 PART1, 6.6 Shear Connection²⁾では、引抜き耐力は終局せん断耐力の1/10以上なければならないと規定しており、通常の頭付きスタッドはこの規定を十分満足しているが、それ以外の形式のずれ止めの採用には、この規定を遵守しなければならない。また、わが国の土木学会鋼構造物設計 PART B 合成構造物³⁾では、ずれ止めには頭付きスタッドを用いることを原則にしている。

本研究は、フラスコ形PBLの引抜き耐力を把握するため、円形PBLとフラスコ形PBLの引抜き実験を実施し、両者を比較するとともに、得られた実験値とPBL土木学会式⁴⁾との比較検討も同時に行い、フラスコ形PBLの波形鋼板ウェブPC橋等の合成桁橋への適用性を検討した。

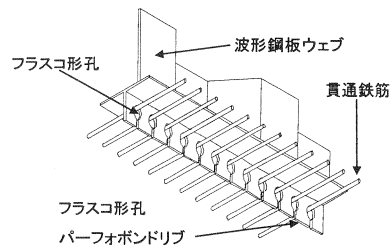


図-1 フラスコ形パーフォボンドリブ

2. 実験概要

2.1 試験体の種類

引抜き実験に使用した試験体の種類を表-1に示す。

試験体は、円形のPBLおよびフラスコ形PBLの2タイプ、孔径は円形およびフラスコ形ともφ60、貫通鉄筋をD16、フラスコ形の開口幅（図-2参照）を30mmとし、各タイプとも3体ずつ製作した。開口幅の30mmは、実橋の貫通鉄筋の最大径がD22であることを想定し、決定した。

また、各試験体のコンクリートの圧縮強度は、56N/mm²、粗骨材の最大寸法は20mm、PBLの仕様はSM490YB（降伏強度414N/mm²、引張強度527N/mm²）、鉄筋はSD345（降伏強度395N/mm²、引張強度577N/mm²）とした。

2.2 試験体の寸法

試験体は、フラスコ形 PBL および円形 PBL とともに孔の形状以外はすべて同一とした。一例としてフラスコ形 PBL の試験体と載荷枠詳細図を図-3 に示す。

図-3 より試験体は、一般的な PC 箱桁橋の床版厚を想定し、コンクリートの厚さを250mm, PBL のリブ高さ h, 板厚 t および孔の位置は、豊田東 JCT で採用された形状と同じ h=125mm, t=16mm, 孔の中心位置はフランジプレート表面から75mm (図-2 参照) とした。

また、H 型鋼 (440×300×11×18) に PBL を溶接し、荷重載荷時にフランジに曲げが働かないよう、フランジ間および PBL と反対側のフランジには補強リブを設置した。本引抜き実験では、PBL の孔一つ当りの引抜き耐力を把握するため、孔の個数を1試験体1個とし、フランジプレートとコンクリートの付着が耐力に影響しないようにビニールを貼付し、縁切りを行った。

表-1 試験体の種類

種類	孔径 (mm)	開口幅 (mm)	貫通鉄筋	数量 (体)	孔の形状
TYPE1	φ60	0	D16	3	円
TYPE2	φ60	30	3	フラスコ	

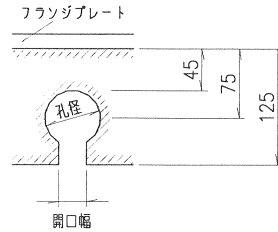


図-2 開口幅と孔径

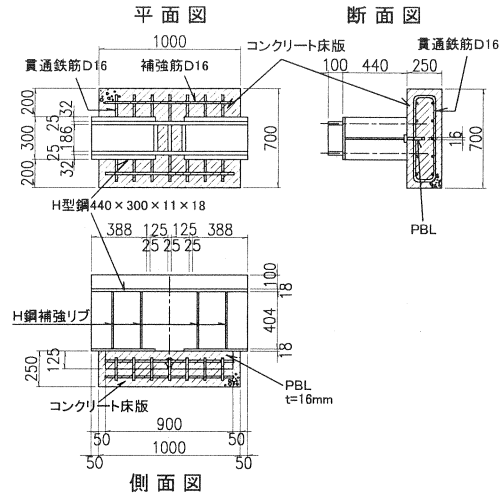


図-3 試験体と載荷枠詳細図

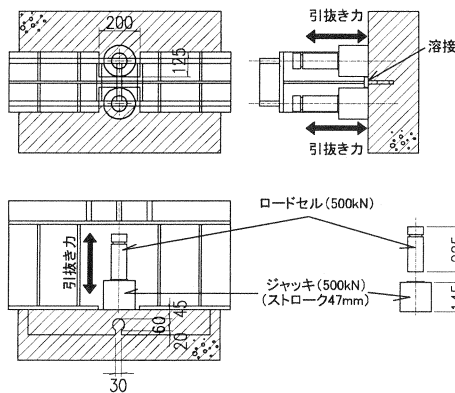


図-4 引抜き実験概要図

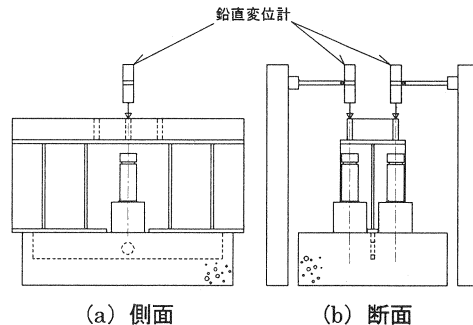


図-5 変位計設置状況図

2.3 引抜き実験の概要

引抜き実験の概要図を図-4 に示す。引抜き実験装置は、H 型鋼の下フランジ部に□200×125 の切り欠きを設け、そこに2台の500kN ジャッキとそれぞれにロードセルを設置し引抜き力を作用させた。

2.4 変位計およびひずみゲージ設置状況

変位計は、図-5 に示すように左右のロードセル直上の補強リブに変位計を設置した。

また、PBL に作用する引抜き力をモニターするために、円形 PBL では、ひずみゲージを図-6 に示すように孔の中心位置のリブ天端 (フランジプレートの反対側) に貼付し、フラスコ形 PBL では、図-7 に示すように開口部側のリブ天端の両脇にそれぞれ貼付した。

2.5 荷荷方法

引抜き実験の荷荷(引抜き)状況を写真-1に示す。荷荷は、手動ポンプ式の油圧ジャッキを用いて実施した。

また、荷荷方法は、PBL 土木学会式から求められる終局せん断耐力の1/3を使用限界荷重と想定し、これを3回繰り返す、その後、破壊まで荷荷した(図-8参照)。

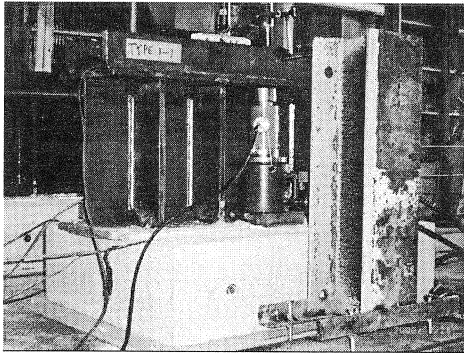


写真-1 荷荷(引抜き)状況

3. 実験結果と考察

3.1 P-δ曲線

本引抜き実験の各試験体の最大引抜き耐力の結果を表-2に、荷重(引抜き力P)と鉛直変位(δ)の関係を図-9にそれぞれ示す。

図-9に記載されている終局せん断耐力×1/10のラインは、前述したように EUROCODE4 PART1, 6.6 Shear Connection に記載されている規定である。

円形PBLおよびフラスコ形PBLとも、各試験体3体の結果をプロットしたものである。また、前述の終局せん断耐力の1/3の荷重(使用限界荷重相当値)では、円形PBLおよびフラスコ形PBLともに鉛直変位量が発生していないことがわかる。

表-2から最大引抜き力 P_{ave} (平均値)の値に関しては、円形PBL ($P_{ave}=258.3\text{kN}$)はフラスコ形PBL ($P_{ave}=198.4\text{kN}$)の1.3倍程度の引抜き耐力があることがわかる。また、実験値とPBL土木学会式との比較においては、実験平均値はPBL土木学会式の約68%の耐力を示す結果となった。

さらに、本引抜き実験の結果で最も引抜き耐力が小さかったTYPE2-3:フラスコ形PBL ($P_{min}=170.7\text{kN}$)においても、EUROCODE4 PART1, 6.6 Shear Connectionの規定を十分に満足している。

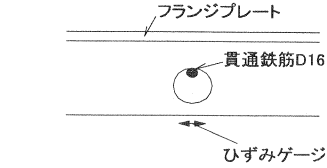


図-6 円形PBLのゲージ貼付位置図

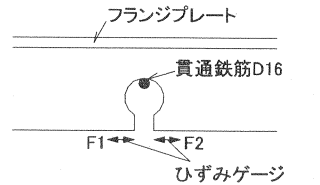


図-7 フラスコ形PBLのゲージ貼付位置図

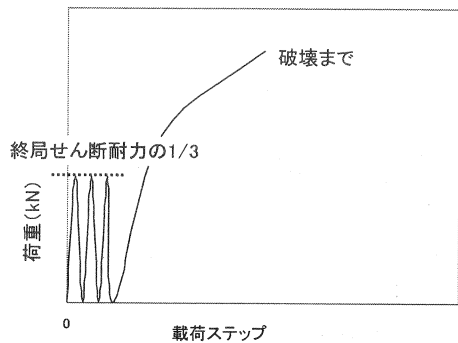


図-8 荷荷方法

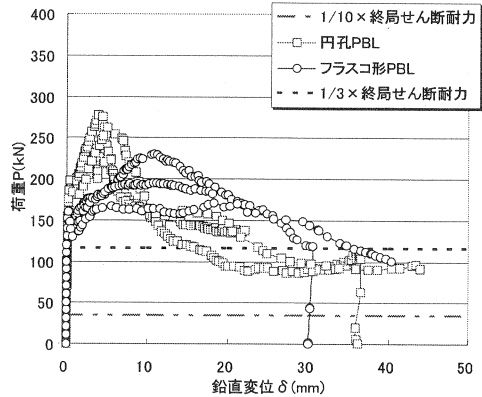


図-9 P-δ曲線

表-2 各試験体の最大引抜き耐力

試験体種類	実験値 (kN)	平均値 (kN)	MAX値 (kN)	MIN値 (kN)	土木学会式 (kN)
円形PBL	TYPE1-1	236.1	258.3	277.0	236.1
	TYPE1-2	277.0			
	TYPE1-3	261.9			
フラスコ形PBL	TYPE2-1	229.7	198.4	229.7	170.7
	TYPE2-2	194.9			
	TYPE2-3	170.7			

3.2 PBL のひずみと荷重の関係

円形 PBL のひずみ (図-6 参照) と荷重との関係を図-10 に示す。また、フラスコ形 PBL のひずみ (図-7 参照) と荷重との関係は TYPE2-1~TYPE2-3 と同様な傾向を示しているため、1 例として TYPE2-1 のみを図-11 に示す。

図-10 から、荷重が 80kN を超えてからひずみの増加量が大きいことがわかる。また、全ての試験体において、円形 PBL の孔の中心位置のリブ天端 (ひずみゲージ添付位置) 側は、引張領域であることがわかる。

図-11 からは、荷重が終局せん断耐力の 1/3 の荷重 (約 120kN) に至るまでは、ひずみ測定値に変化が無く、その後の変化量も円形 PBL に比べ小さいことがわかる。また、フラスコ形 PBL はリブに開口部があるため、断面剛性が小さく、その箇所を中心に逆 V 字形に変形するため、ひずみゲージ添付位置側では、曲げ圧縮領域になったと考えられるが、ひずみ測定値は小さい。

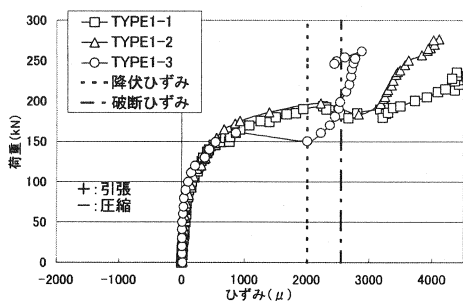


図-10 荷重-PBL ひずみ関係 (円形)

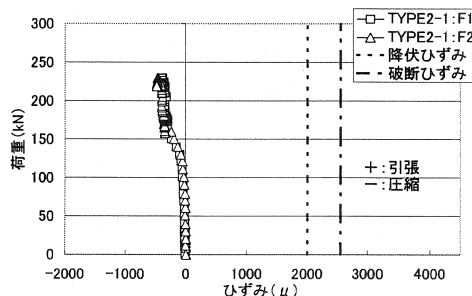


図-11 荷重-PBL ひずみ関係 (フラスコ形)

4. まとめ

本引抜き実験を実施するにあたり、国内および国外におけるずれ止めの引抜き力に関する規定を調査した結果、国内においては土木学会鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物に、海外においては EUROCODE4 PART1, 6.6 Shear Connection に関連した規定があった。これらの規定を考慮し、本引抜き実験の結果から以下のことが明らかとなった。

- (1) フラスコ形 PBL の引抜き耐力は円形 PBL の耐力の 75% 程度あり、この値は EUROCODE4 PART1 が合成桁橋のずれ止めに要求した規定、すなわち終局せん断耐力の 0.1 以上の引抜き強度 (アップリフト強度) を十分満足していることがわかった。
- (2) PBL 土木学会式による終局せん断耐力の 1/3 (使用限界荷重相当値) と同程度の引抜き力の作用時には鉛直変位 (引抜き変形) は発生せず、十分な剛性を有していた。
- (3) 貫通鉄筋の効果は上述の使用限界荷重相当値を超えた時点より現われた。したがって、設計上必要な引抜き力はコンクリートのせん断伝達作用のみで十分発揮できることがわかった。

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) 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
- 2) Eurocode4 : FINAL DRAFT prEN 1994-1-1
- 3) 土木学会: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物, pp.80-81, 平成9年版
- 4) 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あき鋼板ジベル WG), 孔あき鋼板ジベル設計マニュアル (案), 2001年11月