

(16) アングルジベルのせん断耐力に関する基礎的研究

ドービー建設工業㈱ 本 社 技術センター 正会員 ○立神 久雄
 ドービー建設工業㈱ 本 社 技術センター 正会員 蛭名 貴之
 ドービー建設工業㈱ 本 社 技術センター 正会員 上平 謙二
 近畿大学 理工学部 土木工学科 柳下 文夫

1. はじめに

波形鋼板ウェブPC橋における波形鋼板とコンクリート床版を結合する一つの方法として、フランスにおいて施工実績のあるアングルジベルの考えがあるが、国内の実績では頭付きスタッドによる方法¹⁾と波形鋼板を直接コンクリートに埋め込んで、付着鉄筋と貫通鉄筋で合成する方法²⁾がある。また、フランスにおいては、同一荷重の場合スタッドではアングルの8倍以上の個数が必要になるため、アングルによる結合手法が採用になっている。

本研究では、一連の波形鋼板ウェブとコンクリート床版の結合手法研究(縞鋼板+頭付スタッド⁴⁾⁵⁾およびパーフォボンドリブ⁶⁾)の一つとして、このアングルの適用性を検討するため、種々な試験体を作成し、押抜きせん断試験を実施したので、その実験結果と考察を報告する。図-1に、それぞれ合成手法の概要図を示す。

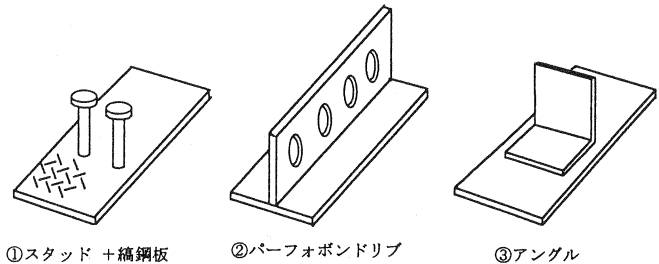


図-1 各種結合手法の概要図

2. 試験体の種類

試験体の種類の一覧を表-1に、試験体の形状を図-3に示す。

試験体は、実際の橋梁モデルを想定し、コンクリート厚さを25cm、粗骨材の最大寸法を20mmとした。

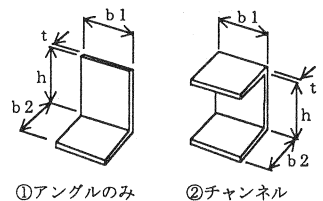
試験体は、5つのシリーズに分かれており、各シリーズの各試験体は以下のように決定した。

- ① TYPE2-1については、ずれ止めはアングルとし、アングルを橋軸方向に貫通している鉄筋(以下、貫通鉄筋)および鉛直方向の補強鉄筋(以下、鉛直補強鉄筋)は、配置しない。また、コンクリートの打設方向は、上打ちと下打ちを用意した。
- ② TYPE3-1については、ずれ止めはTYPE2-1と同一なアングルを用い、貫通鉄筋を1本配置した。また、鉄筋による拘束効果を高め

表-1 供試体の種類

供試体の種類	ずれ止めの種類	ずれ止めの寸法 b1 × h × t × b2(mm)	孔径 (mm)	貫通鉄筋	補強鉄筋	打設方向
TYPE2-1-1	アングル	150 × 150 × 15 × 150	—	—	—	上打ち
TYPE2-1-2	〃	〃	—	—	—	下打ち
TYPE3-1-1	〃	〃	φ24	D16	—	上打ち
TYPE3-1-2	〃	〃	〃	〃	—	下打ち
TYPE3-1-3	〃	〃	〃	〃	L鉄筋	上打ち
TYPE3-2-1	〃	〃	φ24 × 2	D16 × 2	—	上打ち
TYPE3-2-2	〃	〃	〃	〃	U鉄筋	上打ち
TYPE3-3-1	〃	〃	φ60	—	—	上打ち
TYPE4-1-1	チャンネル	150 × 150 × 9 × 75	—	—	—	上打ち
TYPE4-1-2	〃	〃	—	—	—	下打ち

ただし、以下のすべてのタイプはフランジプレートとアングル(チャンネル)は、アングルの周辺にすみ肉溶接して一体化を図っている。



る目的で、L形の鉛直補強鉄筋を配置したものと、そうでないものを用意した。コンクリートの打設方向は、上打ちと下打ちを用意した。

- ③ TYPE3-2 については、ずれ止めは TYPE2-1 と同一なアングルを用い、貫通鉄筋を2本配置した。また、U形の鉛直補強鉄筋を配置したものと、そうでないものを用意した。
- ④ TYPE3-3 については、アングルの形状は他のタイプと同一とし、アングルに $\phi=60\text{mm}$ の孔を空け、コンクリート床版の浮上りに抵抗させるためのもので、貫通鉄筋および鉛直補強鉄筋は配置していない。コンクリートの打設方向は上打ちのみである。

- ⑤ TYPE4-1 については、ずれ止めはチャンネルとした。これは、コンクリートの浮上りに抵抗させるもので、貫通鉄筋および鉛直補強鉄筋は配置していない。また、コンクリートの打設方向は、上打ちと下打ちを用意した。

図-2に、各ずれ止めの概要図を示す。また、試験体の仕様と特性値を表-2に示す。

表-2 試験体の仕様と特性値

種類	仕様	実験時の特性値 (kgf/cm ²)
TYPE2-1-1	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ $E_c = 3.10E5 \text{ kgf/cm}^2$	520
TYPE2-1-2		520
TYPE3-1-1		539
TYPE3-1-2		520
TYPE3-1-3		539
TYPE3-2-1		528
TYPE3-2-2		528
TYPE3-3-1		548
TYPE4-1-1		548
TYPE4-1-2		539
アングル	SS400	—
チャンネル	SS400	—
鉄筋	SD295A	—
鋼板	SS400	—

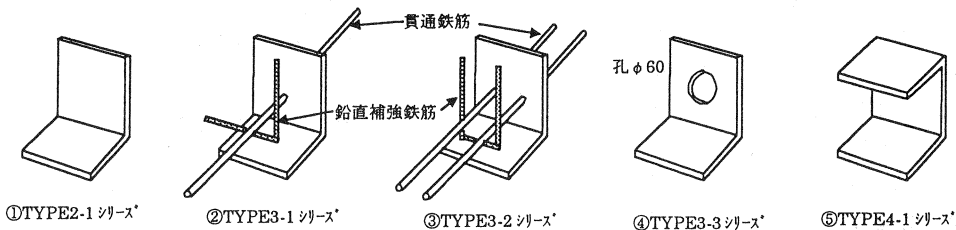


図-2 各ずれ止めの概要図

3. アングルおよびチャンネルの耐力

アングル形状の決定に際しては、フランスに実績をもとに決定した。シャロール高架橋は $b_1 \times h \times t = 100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、ドール高架橋は $b_1 \times h \times t = 200\text{mm} \times 150\text{mm} \times 15\text{mm}$ の形状のアングルを採用していることから、本試験では、この中間のアングル形状として $b_1 \times h \times t = 150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 15\text{mm}$ とした。また、アングルおよびチャンネルのせん断耐力は、フランスの基準、鉄道構造物設計標準⁸⁾を参考にし、また、アングルウェブの斜引張せん断破断耐力⁷⁾も参考にし、載荷荷重の目安とした。以下に、これらの式を示す。

1) フランスの基準

アングルによるずれ止めの終局耐力 R_d は、次式で得られる。

$$R_d = \inf.(R_1, R_2)$$

$$R_1 = \frac{b_1 \cdot h \cdot f_{cj}}{1.5} \dots \dots \dots (1)$$

$$R_2 = \Sigma \alpha \cdot L_1 \cdot \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 R_1 はコンクリート強度に相当し、 R_2 は鋼材の強度または溶接強度に相当する。 b_1 はアングルの長さ、 h はアングルの高さ、 f_{cj} はコンクリートの設計基準強度、 a は溶接半径、 L_1 は溶接の長さ、 σ_s は鋼材の弾性限界を示す。但し、 $b_1 \leq 200\text{mm}$ 、 t (アングル厚さ) $\geq 0.10h$ 、引抜き力は直交する1本または2本の直径12mmの鉄筋で抵抗する。

2) 鉄道構造物設計標準

$$Q_u = f_{ad} \cdot A_1 \dots \dots \dots (3)$$

$$f_{ad} = \eta \cdot \frac{f'_{ck}}{\gamma_c}$$

$$A \geq 4A_1 \text{ の場合、} \eta = 1.1$$

$$A < 4A_1 \text{ の場合、} \eta = 0.55 \sqrt{\frac{A}{A_1}}$$

ここに、 f_{ad} はずれ止め前面のコンクリート支圧強度、 f'_{ck} はコンクリートの圧縮強度の特性値、 A_1 はずれ止めの有効支圧面積、 A はハンチのないスラブの場合は $2h_0^2$ ・ハンチのあるスラブの場合は $b_0 \cdot h_c$ 、 γ_c はコンクリートの材料係数、 h_0 はスラブの厚さ、 h_c はスラブ+ハンチの厚さ、 b_0 はハンチ下端の幅を示す。

3) アングルウェブの斜引張のせん断破断

$$Q_u = \frac{A_s \cdot \sigma_{su}}{\sin 45^\circ} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 A_s は破断面の断面積、 σ_{su} は鋼材の引張強度を示す。

4. 押抜き試験方法

4.1 概要

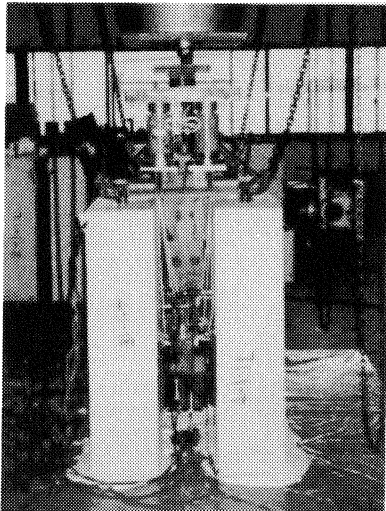
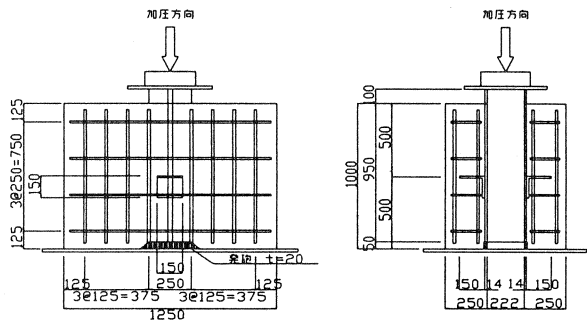


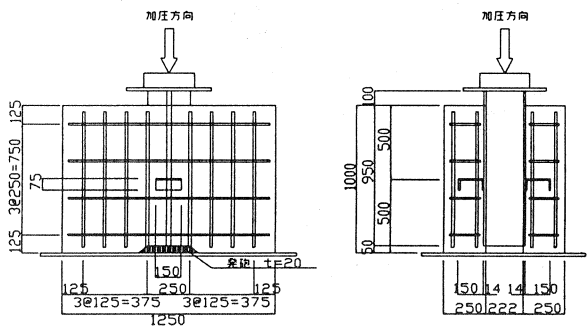
写真-1 載荷状況

アングルジベルのせん断耐力の把握は、押抜き型せん断試験によった。

試験体は、図-3に示すように、H型鋼下面のコンクリートが、押し抜き試験時に抵抗しないように、あらかじめ抵抗部分の



(a)アングルタイプ



(b)チャンネルタイプ

図-3 試験体の形状

コンクリートを削除した。

試験体を設置する際には、試験体の下に石膏を敷くことにより左右の傾きの影響をなくするとともに、コンクリート下面の均整化を図った。また、H型鋼と試験機の载荷ヘッドとの間には、両フランジに均等に荷重が载荷されるように荷重分配桁を挿入するとともに球座を用いた。载荷状況を写真-1に示す。

载荷方法は、変位(ずれ)制御による漸増繰返し载荷法で行い、最大せん断耐力と破壊モードが確認できるまで载荷を繰返した。

計測は、载荷荷重とともに、鋼フランジとコンクリートとの間の鉛直方向相対ずれおよびプレートの浮き上り(水平方向)開き量を計測した。また、アングル・チャンネルのひずみとアングルの橋軸方向貫通鉄筋についてもひずみゲージを貼り計測した。図-4に各試験体のずれ量計測位置図、図-5にアングルおよび鉄筋のひずみゲージ位置図を示す。

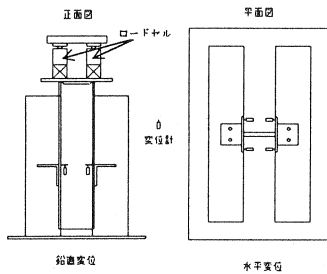


図-4 ずれ量と開き量の計測位置

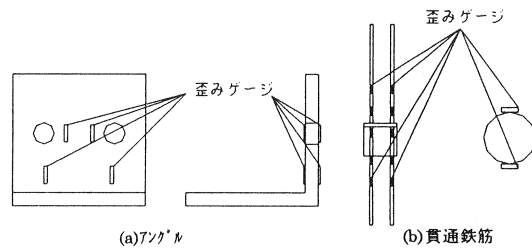


図-5 アングルおよび鉄筋のひずみゲージ位置図

4. 2 試験結果および考察

各タイプの終局破壊状態は、アングルタイプのTYPE2とTYPE3は、アングル背面のコンクリートの圧壊で終局状態を迎え、チャンネルタイプのTYPE4はチャンネルウェブ部の破断であった。アングルジベルの破断状態を写真-2に示す。

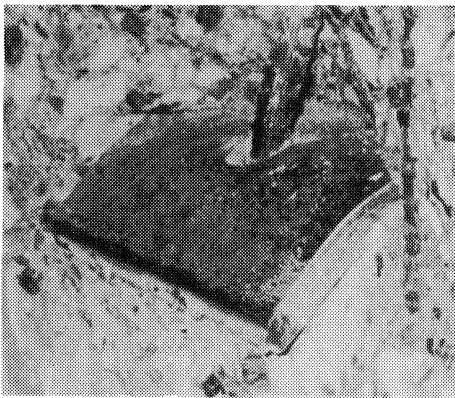


写真-2 アングルジベルの破断状態

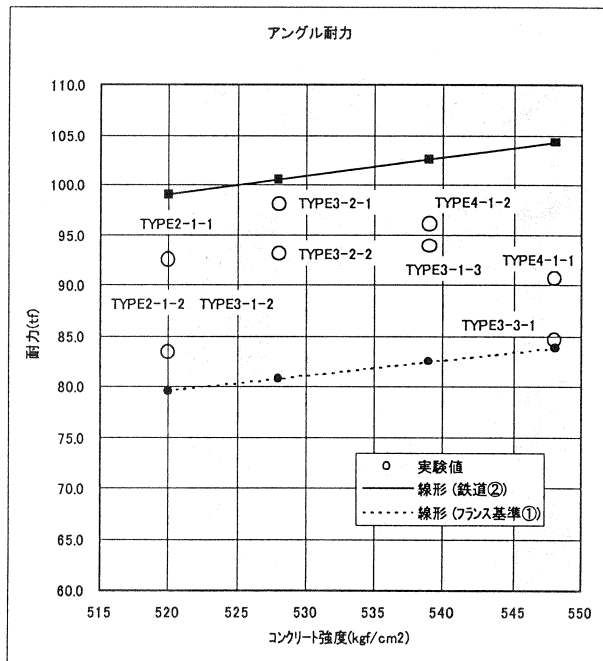


図-6 実験耐力と各耐力評価式の関係

図-6にTYPE2、TYPE3およびTYPE4の実験

耐力と各耐力評価式値の関係を示す。また、図-7に各試験体タイプの押抜き試験結果の荷重-相対ずれ関

係、図-8 に各タイプの押し抜き試験結果の荷重—相対開き関係を示す。なお、図に示す荷重については、試験体左右の平均値を示し、相対ずれについては、図-4 に示す左右4ヶ所の平均値とした。

図-6 から、試験から得られたアングルジベルの耐力は、多少のばらつきはあるものの、式(1)と式(3)の間に位置している。式(3)はブロックジベルのような剛体を対象にしたものであり、この耐力式はアングルジベルのような柔ジベルよりも高めの値となっている。

本実験結果を見て、ジベルの剛性の影響が耐力に反映され、式(3)で計算されるブロックジベルの耐力よりも小さめに出ている。今回の基礎的実験では、コンクリートの浮上がりに対する拘束効果を評価するために、アングルに貫通鉄筋を通したり、孔を空けたり、また、貫通鉄筋の本数を変えたりした。それらによる耐力への影響は若干あるようであった。つまり、アングルのみでは、荷重の増加とともにコンクリートの浮上がりが顕著となり、耐力が低い。アングルに貫通鉄筋を配置したものは、コンクリートの拘束効果が認められ、この影響で耐力の向上が図れていると推察される。また、貫通鉄筋1本よりは2本の方が耐力の向上が認められた。アングルに孔を空けただけのものについては、差ほど耐力の向上にはつなげない。チャンネルタイプでは、コンクリートの圧壊よりもウェブプレートの引張破断で壊れた。また、コンクリートの打設方向の影響については、上打ちよりも下打ちの方が耐力が下がる傾向を示した。これは、アングルのずれに伴う、アングル背面のコンクリートの密実性に影響するものであろう。

以上の結果より、アングルジベルのコンクリート圧壊に対する耐力評価は、コンクリート強度のばらつきや、石膏による試験体下面の拘束効果など考慮すれば、フランス基準の式(1)を用いれば十分評価できることがわかった。

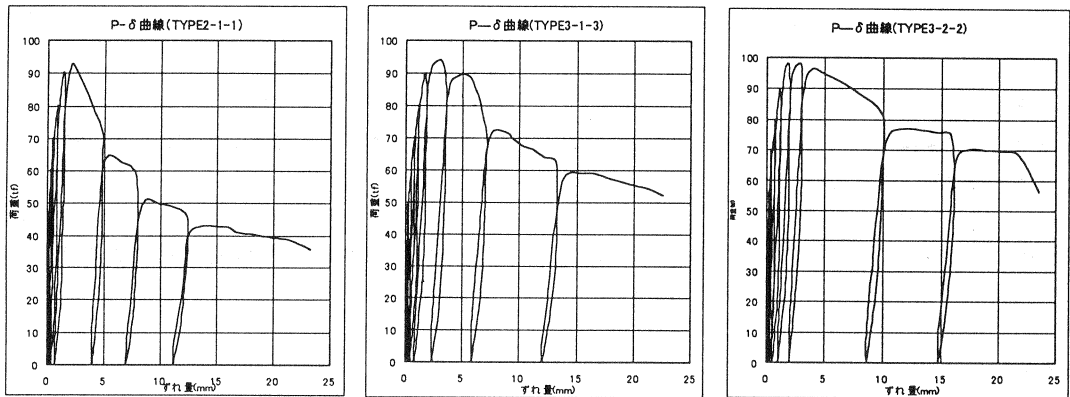


図-7 荷重—相対ずれ

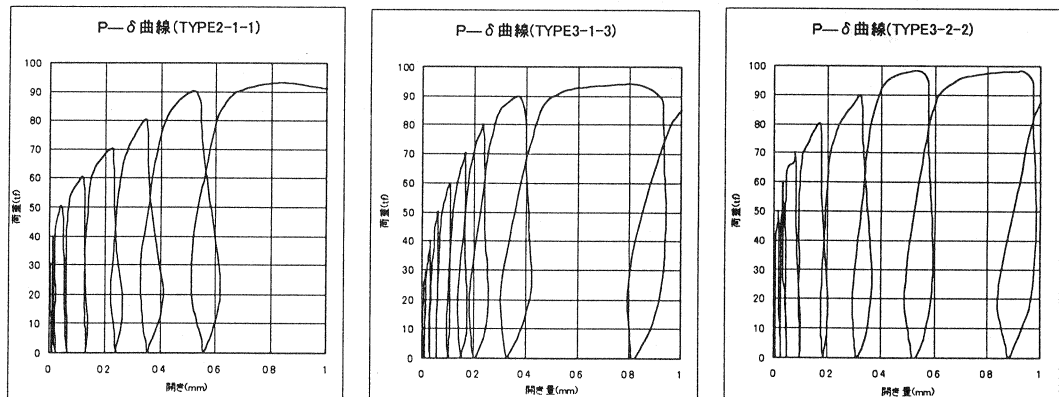


図-8 荷重—相対開き

図-7および図-8に荷重-相対ずれ量および荷重-相対開き量の関係を示すが、TYPE2-1-1はアングルのみで、TYPE3-1-3はアングルに貫通鉄筋1本および鉛直補強鉄筋を配置したもの、TYPE3-2-2はアングルに貫通鉄筋2本および鉛直補強鉄筋を配置した供試体である。図-7からもわかるように、貫通鉄筋および鉛直補強鉄筋の配置によって、耐力には顕著な影響は示さなかったが、耐力を越えてからのじん性には大きく寄与していることがわかった。

終局耐力の1/2の荷重レベルまでは、相対ずれ量および相対開き量ともほとんど生じなかった。

5. まとめ

本試験からアングルをずれ止めとして使用した場合の性状について、以下のことがわかった。

- ①終局耐力の1/2の荷重レベルまでは、相対ずれ量および相対開き量がほとんど発生していないことがわかり、ずれ止めとしての十分な性能を有していることがわかった。
- ②貫通鉄筋の有無によるせん断耐力への影響については、差ほど顕著にはでなかった。
- ③貫通鉄筋の効果として、耐力を越えてからのじん性が確保されることがわかった。
- ④貫通鉄筋の本数については、耐力面およびじん性面の両面において1本より2本が有効であり、また、L形鉄筋やU形鉄筋による補強が有効である。
- ⑤本試験結果によれば、アングルジベルのせん断耐力は、式(1)で評価できることがわかった。
- ⑥コンクリートの打設方向は上打ちと下打ちでは、下打ちの方が若干耐力低下を引起す可能性があるので、上打ちの場合よりも安全性に対する若干の余裕を持たせることが必要と考える。

以上からアングルジベルをずれ止めとして使用した場合においては、十分な耐力がありずれ止めにも十分な性能を有することがわかった。

6. あとがき

今後、本試験体のアングルおよび貫通鉄筋のひずみから応力状態を把握し、鉄筋の拘束効果や破壊のメカニズムを詳細に検討したい。

謝辞)本試験に際し、多大なご助力をいただいた近畿大学理工学部の学生諸君に、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1)石黒互,村田嘉広,須合孝雄:松の木7号橋(銀山御幸橋)の設計と施工,プレストレストコンクリート,pp5~14,Vol.38,No.5,Sept.1996年
- 2)加藤照己,芦塚憲一郎,加藤卓也,日高重徳:本谷橋(波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋)の設計について,第7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 pp747~752,1997年
- 3)平城弘一:頭付きスタッドの静的および疲労強度と設計法に関する研究,1990
- 4)上中宏二郎,鬼頭宏明,上平謙二,園田恵一郎:突起付鋼板と頭付スタッドを併用した付着せん断システムの評価,コンクリート工学年次論文報告集 Vol20, No3, pp853~858,1998
- 5)上平謙二,鈴木史郎,松野茂彦,園田恵一郎:波形鋼板ウェブ PC 橋の鋼板とコンクリート床版の合成手法に関する研究,第52回土木学会年次学術講演会講演概要集,共通セッション, pp118~119,1997
- 6)姓名貴之,高橋恵悟,上平謙二,柳下文夫:パーフボンドリブのせん断耐力に関する基礎研究,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 pp31~36,1998年
- 7)保坂鐵矢,平城弘一,小枝芳樹,橘吉宏,渡辺滉:鉄道用連続合成桁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,構造工学論文集,Vol.44A,pp1497~1504,1998年3月
- 8)鉄道総合研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物),丸善株式会社,1992年10月