

# 文献調査に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断終局耐力の評価 (その2) 修正せん断終局耐力式の提案

213-901 鍛治田 峻史

## 1. 序

本報は、前報(その1)に引き続き、孔あき鋼板ジベル(以下、PBLという)の既往のせん断終局耐力式である Leonhardt 式<sup>1)</sup>及び福元式<sup>2)</sup>に基づいて、円孔の埋込み深さの影響を考慮した修正せん断終局耐力式の提案を試みるとともに、その妥当性について検討する。

## 2. 円孔の埋込み深さを考慮した単純引張試験における PBL のせん断終局耐力

### 2.1 円孔の埋込み深さの影響

図1は、著者らによる実験及び前報(その1)で示された PBL の単純引張試験 (Type A) の結果と円孔の埋込み深さの関係を示したものである。縦軸は PBL のせん断終局強度  $\tau_{PBL}$  をコンクリートの圧縮強度  $\sigma_B$  で無次元化した値、横軸は RC 部材上面から第一円孔中心までの距離  $H_1$  である。図中の太線は、円孔の埋込み深さが小さい場合、PBL のせん断終局耐力はコンクリートのコーン状破壊による耐力  $Q_{cf}$  によって支配され、(1)式によって評価される<sup>3)</sup>。

$$Q_{cf} = 0.6 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot A_{cf} \quad (1)$$

$$A_{cf} = 2 \cdot d \cdot (H_1 \cdot \tan \theta) + \frac{\pi \cdot (H_1 \cdot \tan \theta)^2}{2}$$

ここに、

$\sigma_B$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{cf}$  : コンクリートのコーン状破壊における有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

$d$  : PBL 円孔の孔径 (mm)

$H_1$  : RC 部材上面からの埋込み深さ (mm)

$\theta$  : コンクリートのコーン状破壊面の角度

文献<sup>3)</sup>では、実験結果に基づいて、コンクリートのコーン状破壊面の角度  $\theta$  を  $\theta = 53^\circ$  としてコーン状破壊耐力を算定しており、図1に示す結果はこれに従っている。

実験値は、円孔の埋込み深さに従ってほぼ直線的に増大しているが、図中の破線で示す著者ら及び西村ら<sup>3)</sup>の実験

値における回帰直線の傾きが異なっている。これは、鋼板の表面状態が異なる(著者ら:表面処理なし,西村ら:グリス塗布)ためと考えられる。

PBL のせん断終局耐力がコンクリートの二面せん断によって支配される場合、図1に示す実験結果に基づいて、PBL のせん断終局耐力に及ぼす円孔の埋込み深さに関する効果を鋼板の付着・摩擦を考慮した係数  $\phi_1$  として(2)式に示す。

$$\phi_1 = \alpha \cdot H_1 + \beta \quad (2)$$

表面処理なしの場合 :  $\alpha = 0.0007, \beta = 0.85$

グリス塗布の場合 :  $\alpha = 0.0010, \beta = 0.60$

なお、 $\phi_1$  は Leonhardt 式に基づいて、1.08 以下とする。

### 2.2 円孔の埋込み深さを考慮したせん断終局耐力の評価

コンクリートの二面せん断強度に支配される場合の PBL のせん断終局耐力は、前報(その1)で示した既往のせん断終局耐力式に円孔の埋込み深さを考慮した係数  $\phi_1$  を乗じることによって評価する。したがって、円孔の埋込み深さを考慮した PBL のせん断終局耐力は、(3)式(修正 Leonhardt 式)あるいは(4)式(修正福元式)によって評価される。

$${}_{PBL}Q_{u1} = \phi_1 \cdot \sigma_B \cdot 2 \left( \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \right) \quad (3)$$

$${}_{PBL}Q_{u2} = \phi_1 \cdot (Q_{su} + Q_b) \quad (4)$$

図2に(3)式及び(4)式を用いた計算値と実験値の比較を示す。縦軸及び横軸は実験値  ${}_{exp}Q$  及び計算値  ${}_{cal}Q$  である。なお、図中には、 ${}_{exp}Q/{}_{cal}Q$  の平均値、標準偏差及び変動係数を合わせて示している。円孔の埋込み深さを考慮した係数  $\phi_1$  を考慮した(3)式(修正 Leonhardt 式)による計算値は、図2(a)に示すように、実験値と非常に良い対応(図中のプロット:◆・■)を示している。一方、係数  $\phi_1$  を考慮した(4)式(修正福元式)による計算値は、図2(b)に示すように、(3)式による結果に比べてばらつきは認められるものの、実

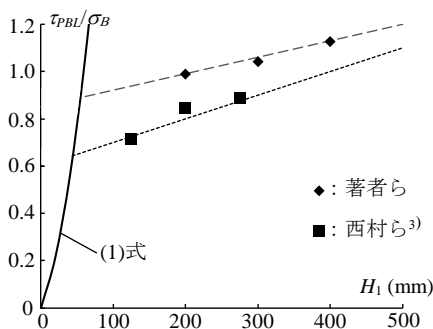
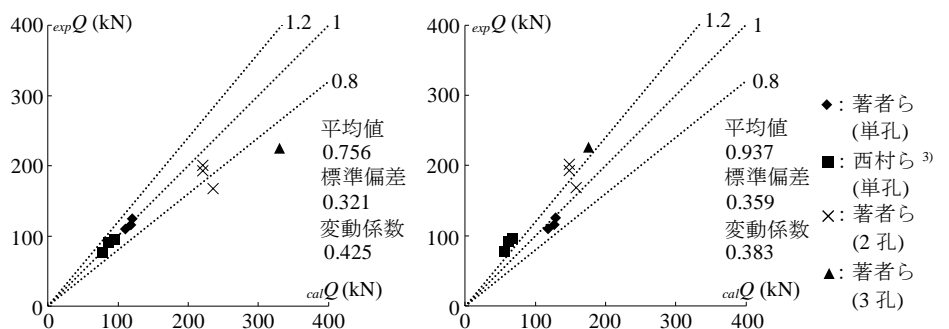


図1 単孔の埋込み深さとせん断強度の関係



(a) (3) 式

(b) (4) 式

図2 実験値と計算値の比較 (Type A ; 引抜き試験結果)

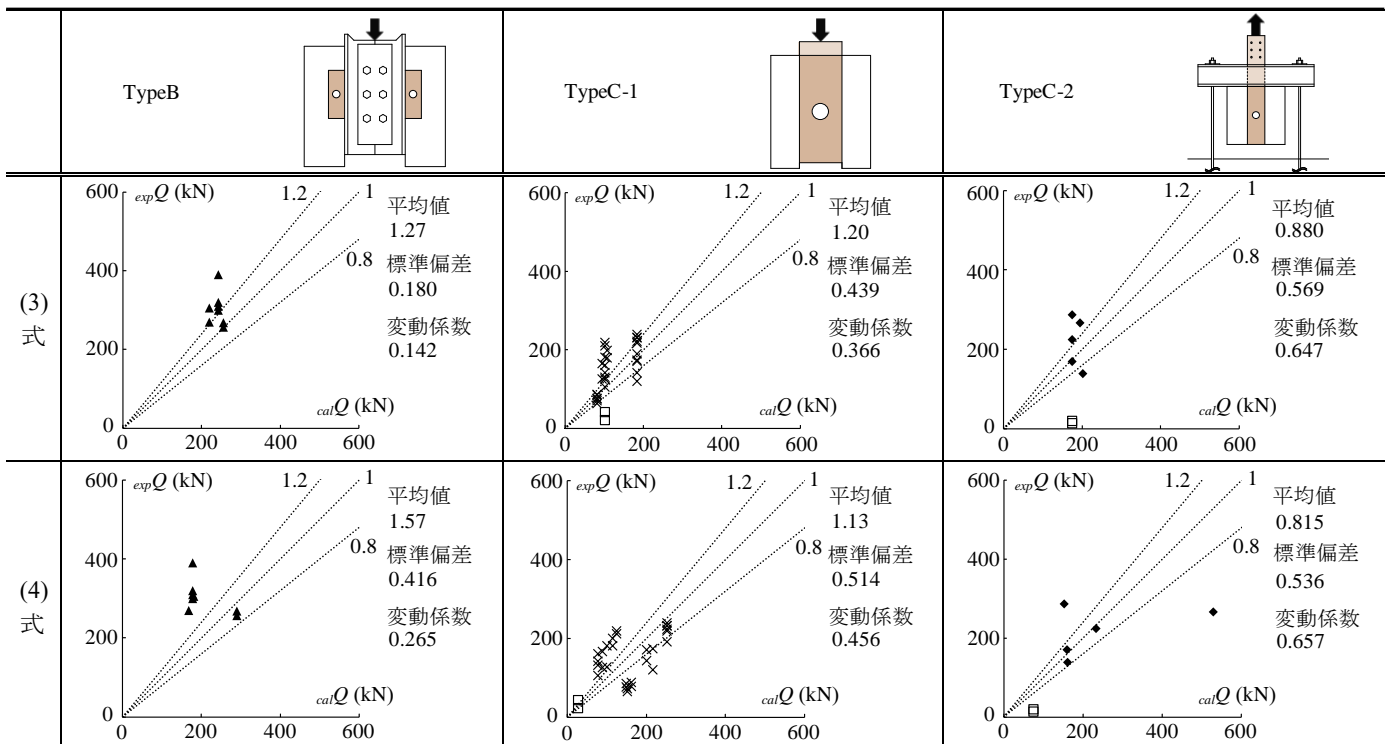


図3 実験値と計算値の比較（押抜き試験結果）

験値を概ね評価しているといえる。

### 2.3 複数孔への適用の検討

鋼板に複数の円孔が設けられる場合、各円孔の埋込み深さに基づいたコンクリートの二面せん断耐力を算出する必要があると考えられるが、ここでは、RC 部材上面から第一円孔のせん断抵抗が最も支配的であると考え、第一円孔の埋込み深さのみを考慮した(2)式による検討を試みる。その結果、図 2(a) に示す（図中のプロット：×・▲）ように、(3)式による計算値は危険側の評価を与えていることから、PBL のせん断終局耐力は、単純に円孔数に比例しない結果を示している。一方、図 2(b) に示す(4)式による計算値は、概ね実験値を安全側に評価している。これは、Leonhardt 式が円孔に充填されるコンクリートの二面せん断耐力と鋼板に作用する付着・摩擦耐力を混在させた PBL のせん断終局耐力を評価しているのに対して、福元式は、その両者を区分した単純累加に基づく PBL のせん断終局耐力の評価を与えていることに起因すると考えられる。

### 3. 押抜き試験における修正せん断終局耐力式の適用

ここでは、引抜き試験 (Type A) における円孔の埋込み深さを考慮した PBL の修正せん断終局耐力式に基づいて、前報 (その 1) で示された押抜き試験 (Type B 及び C) についても同様の検討を行う。図 3 に(3)式及び(4)式を用いた実験値と計算値の比較を示す。縦軸及び横軸は、図 2 と同じである。Type B の実験値に対する(3)式及び(4)式による結果は、ともに安全側の評価を与えている。一方、Type C の結果はばらつきがみられ、特に、RC 部のかぶりが除去された試験体（図中のプロット：□）の計算値は、実験値を過大評価する傾向が認められる。また、前報 (その 1) で示された修正

前のせん断終局耐力式による評価に対して、円孔の埋込み深さを考慮した本提案式による評価精度の向上はみられない。したがって、本提案式は、引抜き試験 (Type A) にのみ適用可能であり、押抜き試験 (Type B 及び C) の評価への適用は妥当ではない。

### 4. 結語

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 引抜き試験結果は、円孔の埋込み深さ係数を考慮した修正 Leonhardt 式により評価できる。また、円孔が複数配置された引抜き試験結果は、修正福元式を用いることによって、安全かつ精度よく評価できる。
- 2) 引抜き試験の評価が可能な修正せん断終局耐力式は、押抜き試験結果の評価には整合しない。  
PBL のせん断終局耐力に関する実験データは、押抜き試験によるものが大半であり、引抜き試験に関する実験データは非常に少ない。今後、これらの実験データを蓄積し、提案された PBL の修正せん断終局耐力式の妥当性、及び、押抜き試験結果に対するせん断終局耐力の評価法について、更なる検討が必要である。

### 謝辞

本研究のデータベース作成にあたっては、多くの貴重なデータを使用させていただいた。ここに、感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Leonhardt, F et al : Neues, vorteilhaftes Verbundmittl für Stahlverbund-Tragwerkemithoher Dauerfestigkeit, beton-und Stahlbeton, pp.325-331, 1987.12
- 2) 福元敏之：摩擦・付着を考慮した拘束応力下に於ける孔あき鋼板ジベルの終局せん断耐力, 日本建築学会構造系論文集 第 82 巻 第 742 号, pp.1935-1944,2017.12
- 3) 味岡史晃, 斎藤啓一, 青山尚樹, 西村泰志：孔あき鋼板ジベルの引張破壊性状 (その 6), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.1301-130, 2011.8