

孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価

東海旅客鉄道㈱
広島大学

正会員 ○藤村 伸智
正会員 藤井 堅

1. はじめに

孔あき鋼板ジベル(PBL)¹⁾のずれ耐力は、コンクリート強度、孔径、貫通鉄筋の直径、引張強度を用いて評価されてきた。しかし、コンクリートブロックの寸法やかぶりなどの孔周辺のコンクリートの拘束効果に関わるパラメータについては、陽な形では考慮されていない。そこで、上記パラメータに着目した押抜きせん断試験と引抜きせん断試験を行い、実験結果を基に孔周辺の拘束効果を考慮した耐力評価式の提案を試みる。

2. 崩壊のシナリオ

実験結果から、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は次の4つの要因によって決定されると考えられる。

①割裂力によるひび割れ発生荷重 V_{init}

孔内コンクリートが鋼板から受ける力によって、コンクリートに割裂力が発生し、孔内コンクリートにひび割れが発生してずれ剛性が低下する。

②孔内コンクリートのせん断破壊強度 V_{cu}

押抜きせん断試験のように供試体下面の摩擦やかぶりなどによってひび割れが拘束される場合は、①によって剛性低下を起こしても、孔内コンクリートがせん断破壊するまで耐力が上昇すると考えられる。

③周辺コンクリートによる上昇耐力 ΔV_{ct}

①、②によって孔内コンクリートにひび割れが発生しても、周辺コンクリートによる拘束のため耐力が上昇する。孔の位置に作用する押し広げ力によってコンクリートには曲げ応力が発生し、かぶり面のコンクリートにひび割れが発生して荷重低下を起こす。

④貫通鉄筋の受動的な拘束による上昇耐力 ΔV_{cm}

孔内貫通鉄筋がある場合は、押し広げ力による孔の位置の開き量に対応した受動的な鉄筋の拘束力が発生し、耐力、変形能ともに上昇する。

以下では、これらの耐力を具体的に導出する。

3. 耐力評価式

①割裂力によるひび割れ発生荷重 V_{init}

無限地盤に単位幅当り P の線荷重が作用するとき、荷重直下の深さ $x=a$ の位置での載荷方向応力は次式で与えられる。

$$s = -\frac{2P}{pa} \quad (1)$$

孔内コンクリートの載荷直角方向ひずみがひび割れ発生(引張限界)ひずみ ε_{ct} に達したときにひび割れが発生すると仮定すると、

$$e_{ct} = \frac{n_c(1+n_c)}{E_c} \cdot \frac{2}{p \cdot d \cdot a} \cdot V_{init} \quad (2)$$

となる。すなわち、

$$V_{init} = \frac{e_{ct} \cdot E_c \cdot p \cdot d \cdot a}{2 \cdot n_c(1+n_c)} \quad (3)$$

ここに、 ν_c : コンクリートのポアソン比、 E_c : コンクリートの弾性係数、 ε_{ct} : ひび割れ発生ひずみ、孔の中心位置の載荷直角方向ひずみが ε_{ct} になったときに剛性が低下すると仮定し、ここでは $a=d/2$ 、 $\varepsilon_{ct}=150(\times 10^{-6})$ とした。

②孔内コンクリートのせん断破壊強度 V_{cu}

実験より得られたコンクリート表面のひずみ分布から判断すると、押抜きせん断試験では供試体下面の摩擦力によってひび割れが拘束され、孔内コンクリートがせん断破壊するまで耐力が上昇したと考えられる。孔内コンクリートのせん断破壊強度 V_{cu} は、孔内貫通鉄筋の効果も考慮して次式で与えられる。

$$V_{cu} = 2 \frac{p(d^2 - d_s^2)}{4\sqrt{3}} \frac{s_{cu}}{\sqrt{3}} + 2 \frac{pd_s^2}{4\sqrt{3}} \frac{s_{ry}}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

ここに、 d : 孔径、 d_s : 貫通鉄筋径、 σ_{cu} : コンクリートの圧縮強度、 σ_{ry} : 貫通鉄筋の降伏強度。なお、貫通鉄筋が無い場合は $d_s=0$ である。

次に、ジベルに作用する荷重 V と横方向引張力(押し広げ力) T との関係は、圧縮主応力線が $\tan \theta=0.4$ の角度で分布すると仮定すれば、 $T=0.4 \cdot V$ となる。

③周辺コンクリートによる上昇耐力 ΔV_{ct}

孔の位置に押し広げ力 T_{ct} が作用したときのかぶり部におけるひずみ分布をモデル化して Fig.1 に示す。実験において、かぶり部コンクリート表面に貼り付けたひずみゲージが約 $150(\times 10^{-6})$ の圧縮ひずみを示したあとにクラックが発生した。これは、かぶり部のコンクリートに押し広げ力による曲げ応力が発生しているためと考えられる。この曲げ応力と軸引張応力の和が σ_{ct} になるとクラックが発生すると仮定する。すなわち、かぶりの違いによる耐力への影響を、この押し広げ力 T_{ct} を求めることにより表現する。

Fig.1 に示すように、支間 L で単純支持された梁のかぶり部にひび割れが生じるときのコンクリートの引張応力は、

$$s_{ct} = \frac{M_{ct}}{I} \cdot y + \frac{T_{ct}}{A} \quad (6)$$

となる。ここに、 M_{ct} : ひび割れ発生モーメント($=T_{ct} \times e$)、 I : かぶり

部の中立軸まわりの断面2次モーメント($=B \times c^3/12$), y : かぶり部中立軸からの縁端距離($=c/2$), c : かぶり, A : かぶり部の断面積($=B \times c$), e : 孔の中心からかぶり部中立軸までの距離である。式(6)から、押し広げ力 T_{ct} は

$$T_{ct} = \frac{B \cdot c^2}{6e + c} \cdot s_{ct} \quad (7)$$

となる。式(5), (7)より周辺コンクリートによる上昇耐力 ΔV_{ct} は

$$\Delta V_{ct} = 2.5 \cdot T_{ct} = 2.5 \cdot \frac{B \cdot c^2}{6e + c} \cdot s_{ct} \quad (8)$$

と表せる。この ΔV_{ct} はかぶり面ごとに算出することとする。

④貫通鉄筋の受動的な拘束による上昇耐力 ΔV_{cm}

支間 L の梁に曲げモーメント M_{ct} が作用したときのたわみ角に比例して孔の位置に開き量 δ が発生し、鉄筋の拘束力が受動的に作用すると考える。Fig.2 に鉄筋による拘束力のモデル図を示す。

支間 L に対して板厚 t が小さいので、全断面有効として支点部のたわみ角 θ_{ct} を求めると以下のように表せる。

$$q_{ct} = \frac{M_{ct} \cdot L}{2 \cdot E_c \cdot I'} \quad (9)$$

ここに、 I' : 全断面有効としたときの断面2次モーメント($=B \times (c+h)^3/12$)。いま、 $\theta_{ct} \ll 1$ なので $\tan \theta_{ct} = \theta_{ct}$ とすれば、孔の位置での開き量 δ は

$$d = e \cdot q_{ct} \quad (10)$$

となる。よって、鉄筋による受動的な拘束力は、

$$P_{cm} = E_r \cdot \frac{p \cdot d_s^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot d}{L_r} \quad (11)$$

と表せる。ここに、 P_{cm} : 鉄筋の受動的な拘束力, E_r : 鉄筋の弾性係数, L_r : 鉄筋の有効長さ。 L_r については、実験において大きな軸ひずみの発生した範囲 60mm を用いた。

式(5), (11)より貫通鉄筋の拘束による上昇耐力 ΔV_{cm} は、

$$\Delta V_{cm} = 2.5 \cdot P_{cm} = 2.5 \cdot E_r \cdot \frac{p \cdot d_s^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot d}{L_r} \quad (12)$$

と表せる。この ΔV_{cm} はかぶり面ごとに算出した開き量 δ の最大値についてのみ算出することとする。

以上より、孔あき鋼板ジベルの耐力は式(3), (4), (8), (12)を用いて以下のように表現できる。

$$V = V_{init} + V_{cu} + \Delta V_{ct} + \Delta V_{cm} \quad (13)$$

ただし、引抜きせん断試験のように、かぶり面のひび割れを拘束しない場合には V_{cu} を除いて考える。

式(13)を用いて本実験の耐力-かぶり関係を実験値と併せて Fig.3 に示す。かぶりの増加とともに耐力が上昇しており、本計算値もこの傾向を良く捉えている。また、試験方法の違いが耐力に大きく影響することがわかった。次に、孔1個のみの実験に関して実験最高荷重-耐力算定値関係を Fig.4 に示す。孔外鉄筋補強の無い場合の相関係数は 0.989 であり、非常に良い相関

を示している。一方、フレーム補強により孔外に補強のある場合は算定値よりも大きな値を示しているが、それはフレーム補強筋によって周辺コンクリートブロックによる拘束がより強くなるためである。

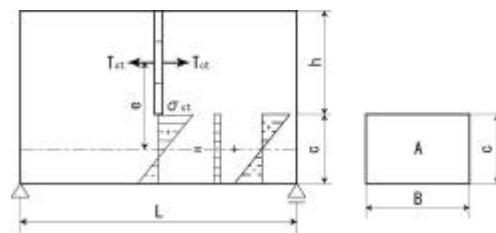


Fig.1 ひび割れ発生モデル

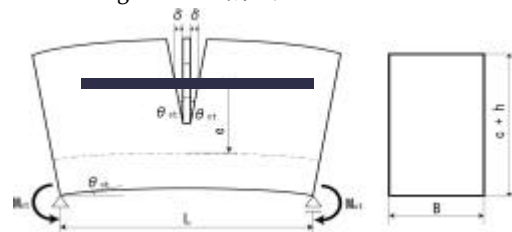


Fig.2 鉄筋拘束力モデル

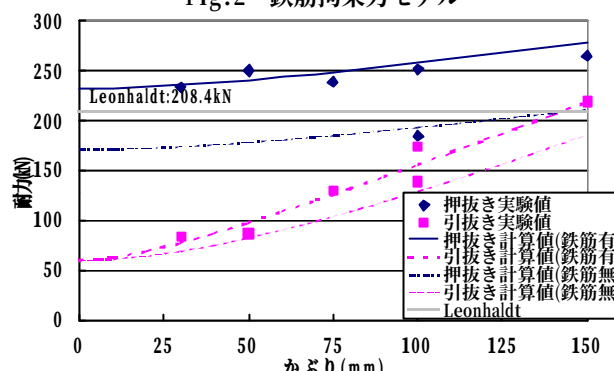


Fig.3 耐力-かぶり関係(計算値比較)

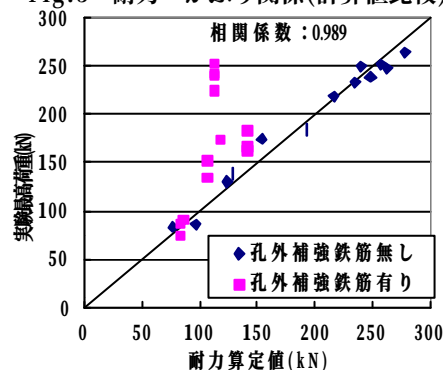


Fig.4 実験最高荷重-耐力算定値関係

4. 結論

- 1) かぶりの増加に伴い耐力も上昇した。よって、耐力評価には孔周辺のコンクリートによる拘束効果を考慮する必要がある。
- 2) 実験結果を基に孔あき鋼板ジベルの耐力を決める4つの要因を示した。それぞれの要因による耐力を弾性力学的にアプローチし、従来のせん断耐力評価式では考慮されていない孔周辺コンクリートによる拘束効果を考慮した評価式を提案し、実験結果を表現することができた。

参考文献 1) Leonhardt, F. et al: Neues vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 12/1987.