

1. はじめに

孔あき鋼板ジベル（以下、PBLとする）は、波形鋼板ウェブPC箱桁橋や合成桁橋のずれ止めや混合桁の接合部など様々な実構造物に用いられている。PBLを用いた橋梁の設計・施工にあたっては、接合部の耐荷性能や設計法の妥当性などを具体的に検討しなければならない。また、ずれ止めとしての耐荷力の評価には開発者であるレオンハルトらの実験結果に基づく経験式を適用している¹⁾。本研究では有限要素法汎用コードABAQUSを用いて孔あき鋼板ジベルの耐荷性能を押抜きせん断試験により解析的に検討した。

2. 解析モデル

解析モデルは図1に示すように、孔径 D (mm)、鋼板の厚さ t (mm)である。図1に示すように8節点ソリッド要素を用いて、押抜きせん断試験のFEM解析を行った。材料の諸元は表1に示す通りである。鋼とコンクリートの表面付着部にはコンクリートの付着力 P_s として下式を仮定した。

$$P_s = 0.01 \times A_s \times f_c$$

f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

A_s : 鋼とコンクリートの付着面積 (mm^2)

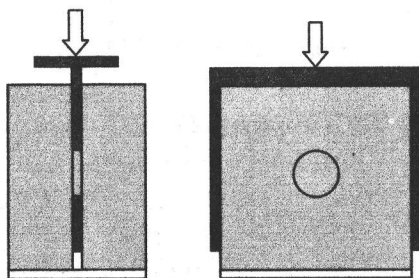


図1. 解析モデル

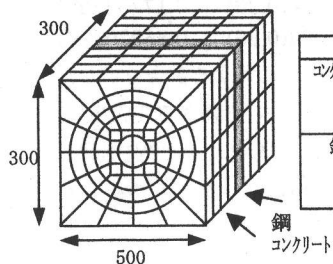


図2. 解析メッシュ (単位 mm)

表1. 材料定数

コンクリート	項目	単位	数値
	圧縮強度	N/mm^2	33
鋼	ヤング係数	N/mm^2	3.1×10^4
	ポアソン比		0.17
	降伏点応力	N/mm^2	330
	ヤング係数	N/mm^2	2.1×10^5
	ポアソン比		0.3

3. 解析結果

レオンハルトによれば孔1つ当たりのせん断耐力 V_1 および支圧強度 V_2 は、

$$V_1 = 1.44 \times D^2 \times \beta_w \quad (1)$$

$$\beta_w = 1.20 f'_c$$

β_w : コンクリートの立方体強度 (N/mm^2)

f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

$$V_2 = 8 \times d \times t \times f'_c \quad (2)$$

と表される¹⁾。ここで、 D/t (孔径板厚比) をパラメータにとると、 D/t が比較的大きいときには破壊モードがせん断ではなく支圧へ移行していく。その様子は主応力の向きによって理解することが出来る。

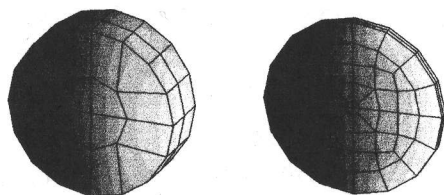
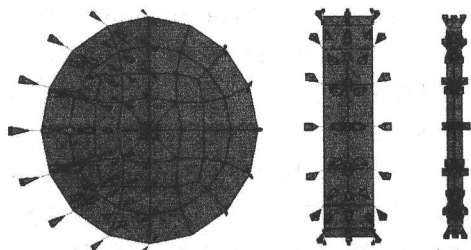


図3. 孔径36 mm(左)と200 mm(右)の応力等高線

図4. 鋼板から右方向に力を受けるコンクリートジベル $D/t=6.67$ $D/t=16.67$

各研究機関において実験されているPBLの押抜きせん断試験は、 D/t がおよそ10以下の場合について行われている。貫通鉄筋がない場合の解析結果は式(1)の約70%となった。ただし、貫通鉄筋を施すことによって、コンクリートにかかる横方向の引張力を抑えることができるため、鉄筋が降伏する時点では式(1)とほぼ等価な強度を与える。さらに、貫通鉄筋の曲げ抵抗が累加され、最大せん断耐力は無筋の場合より約50%増加した。これは、他機関で行われている実験結果とも整合する。

キーワード：孔あき鋼板、ずれ止め、合成構造

連絡先：早稲田大学理工学部 〒169-8555 新宿区大久保3-4-1 Tel&Fax:03(5286)3399

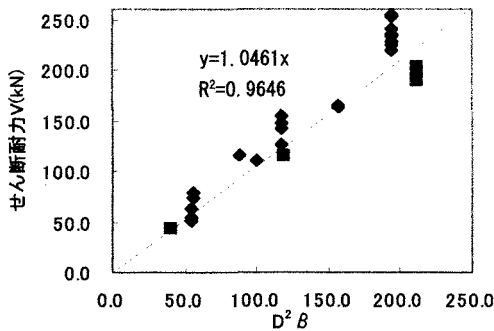


図5. $D^2\beta$ に基づく整理 (鉄筋なし)

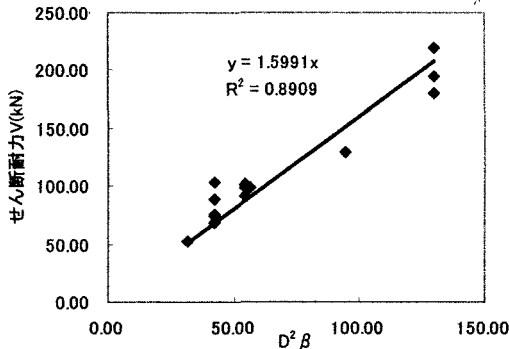


図6. $D^2\beta$ に基づく整理 (鉄筋あり)

図5および図6より、各研究機関で行われている既往の実験結果²⁾はレオンハルトの評価式の妥当性を示していることが分かる。そこで、本研究の解析結果を鉄筋の有無と鉄筋の断面積／孔の面積の値 (γ) をパラメータとして $D^2\beta_w$ に関して整理した結果を図7に示す。

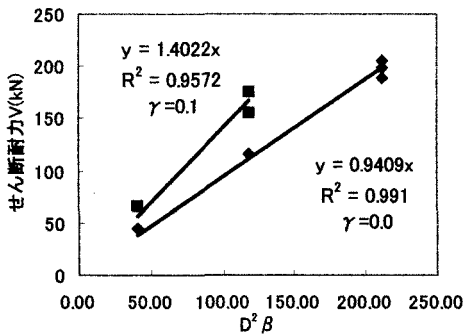


図7. 解析結果

解析結果は $\gamma=0.1$ としているが、ほぼレオンハルトのせん断強度 V_1 ($y=1.44x$) と一致する。

次に、鉄筋がある場合とない場合のそれぞれについて、孔径板厚比 $[D/t]$ の変化に伴うせん断強度／コンクリートの圧縮強度 $[(V/A)/\beta_w = \tau/\beta_w]$ の変化の様子を図8に示す。

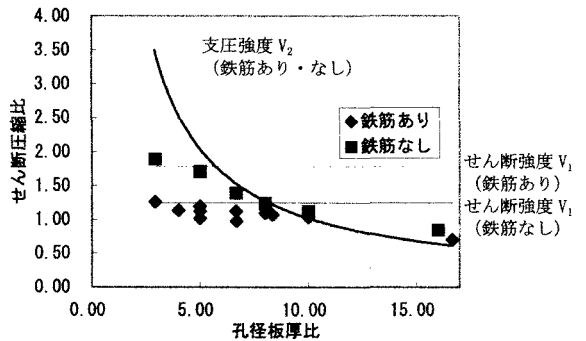


図8. D/t によるせん断圧縮比

図8よりコンクリートジベルがせん断から支圧へ移行するのは D/t の影響によると判断できる。貫通鉄筋がない場合、その値はおよそ8である。また、貫通鉄筋がある場合、せん断から支圧へ移行する D/t はせん断強度の増加に伴い小さくなるものと考えられる。しかし、実際に使用されるPBLや孔はせん断で破壊するケースが多いと考えられる。 D/t が極端に大きい場合の実験結果がほとんどないのはそのためであると思われる。

4. 考察

(1) 貫通鉄筋を通さない場合、せん断耐力はレオンハルトによって与えられたコンクリートジベルのせん断耐力の約70%に低下する。 D/t (孔径/板厚比) がおよそ8のとき、破壊モードはせん断から支圧に移行する。貫通鉄筋が存在する場合、鉄筋の断面積／孔の面積の値 (γ) によってせん断耐力は変化するが、およそ $\gamma=0.1$ のときレオンハルトのせん断耐力に近くなる。これはせん断面と直角方向のコンクリートひずみを鉄筋の拘束によって抑えることが出来るからである。

(2) 孔径板厚比 D/t により、用いる強度評価式(せん断あるいは支圧)を使い分ける必要があるがある。しかしながら、実構造物に適用されているPBLはせん断で破壊するものが多い。

(3) PBLの耐力を算出する際のコンクリート強度 β_w は、各研究機関によって扱いが異なっているので、その利用にあたっては f_c との違いを確認する必要がある。また、設計強度ではなく実際の試験強度を用いるべきである。

(4) コンクリートの構成則が大きく影響するかどうかは解析対象の破壊モードによると思われる。本研究では Von Mises と Drucker Prager の両方を用いたが、両者に大きな差はなかった。

参考文献: 1) Fritz Leonhardt et.al: New, improved bonding means for composite loading structures with high fatigue strength, Beton und Betonstahlbau, 12/1987, pp325-331 (in German), 2) 保坂鐵矢・光木 香・平城弘一・牛島祥貴・橋 吉宏・渡辺 滉: 孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol46A, pp. 1593-1604, 2000