

縁端距離を考慮した頭付きスタッドの引抜き・せん断耐力評価式

大阪大学大学院 学生員 ○佐藤 崇 大阪大学大学院 学生員 Abubaker AL-SAKKAF
 大阪大学大学院 フェロー 松井 繁之 摂南大学工学部 正会員 平城 弘一
 (株)酒井鉄工所 正会員 石崎 茂 片山ストラテック(株) 正会員 石原 靖弘

1.はじめに 近年、合理化橋梁を目指した新形式の複合構造の開発が活発に行われている。このような異種部材間の接合部には頭付きスタッド(以下、スタッド)が採用される事が多いが、その際、スタッドは種々の境界条件で打たれ、個々のスタッドが同一の耐荷力性状を示さない、すなわち縁端距離の影響を受ける。そこで本論文では、既存の研究で提案されている引抜き・せん断耐力式を再評価し、

縁端距離が影響しない範囲の試験データに基づいて定式化を図り、続いて縁端距離が影響する範囲の試験データから、スタッドの耐力に及ぼす影響因子を明らかにし、定式化を図るものである。

2.既往の研究 既往の引抜き耐力式を表1に示す。多数の研究者によって各種の提案式が提案されているが、現状では画一的に利用されているものは存在しない。特に縁端距離の影響に関しては、日本建築学会ではコンクリートコーンの有効投影面積(A2)と、縁端距離の影響のない場合の投影面積(A1)と耐力とを関連付けて考慮しているが、縁端距離の影響はコンクリートコーン面積にそれほど関連性がない場合も見受けられるので、この場合の縁端距離と耐力との相関性が低い事が明らかである(図1)。せん断耐力式は代表的なものとして道路橋示方書の算定式と、平城らによる耐力評価式があるが、本論文では H/d に関係なく 1 つの式で表現できる平城らの式を採用する。縁端距離に関しては、PCI などによって提案されているが、強度評価に対する影響パラメータが明確でなく、信頼性に欠ける。

3.合理的な耐力評価式の提案 各種試験データの基本統計量を表2-表4に示す。また、押抜き、一面せん断試験の概要図(引張力による)を図2、3に示す。

3.1 引抜き 縁端距離の影響を受けない領域{(e - d_s)/h_s > 2}での引抜き耐力(P_u)の算定式として、コンクリートコーンの投影面積にコンクリートの引張強度を乗じた形の次式を提案する。

$$P_U = F \cdot A_{cone} \cdot f_t = 0.85\pi(h_s + d_h)h_s \cdot 0.267(f'_c)^{2/3} \quad (1)$$

ここに、F: 係数、A_{cone}: コンクリートコーン投影面積(mm²)、

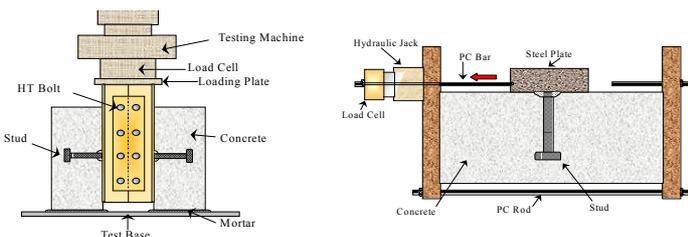


図2 押抜きせん断試験概要図 図3 一面せん断試験概要図

キーワード: スタッド、終局耐力、せん断、引抜き、複合構造
 連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院

表1 既往の引抜き耐力式

	研究者	耐荷力算定式	R ² 値
①	Leigh-University	$F \cdot (h_s + d_h)h_s (f'_c)^{0.5}$	0.9278
②	Sattler	$F \cdot h_s d_h f'_c$	0.9157
③	Utescher	$F \cdot d_h (f'_c)^{2/3}$	0.7003
④	CEB-ECCS	$F \cdot 0.927h^2 (f'_c)^{2/3}$	0.9286
⑤	PCI Dsign data book	$F \cdot (h_s + d_h)h_s (f'_c)^{0.5}$	0.9278
⑥	Roik,Bode,Hanenkamp	$F \cdot (h_s + d_h)h_s^{0.5} f'_c^{0.5}$	0.9147
⑦	McMackin	$F \cdot \sqrt{2} \pi (h_s + d_h) f'_c^{0.5}$	0.7827
⑧	Ohtani	$F \cdot (h_s + d_h)h_s^{0.5} f'_c^{0.5}$	0.9147

F:係数、h : スタッド全高(mm)、h_s : 首下長さ(mm)
 d_h : 頭部直径(mm)、f'_c : コンクリート圧縮強度(MPa)

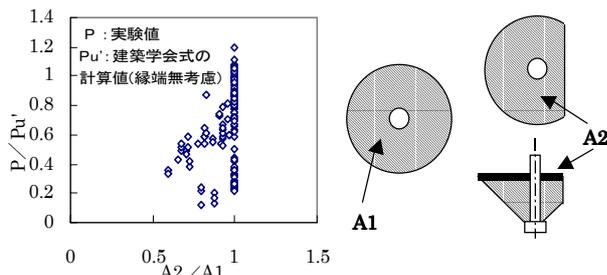


図1 建築学会の縁端距離(引抜き)の概念

表2 引抜き試験の基本統計量

全294データ		平均	標準偏差	Min	Max
軸直径	d _s (mm)	11.88	6.18	6.00	22.00
頭下長さ	h _s (mm)	79.98	49.85	29.90	200.00
頭部直径	d _h (mm)	21.44	9.97	12.00	44.50
コンクリート強度	f' _c (Mpa)	26.58	4.70	11.18	37.66

表3 押抜きせん断試験の基本統計量

全197データ		平均	標準偏差	Min	Max
軸直径	d _s (mm)	17.90	3.70	6.00	32.00
全長	h(mm)	86.89	20.50	35.00	214.00
コンクリート強度	f' _c (Mpa)	30.95	7.83	13.63	61.98
スタッド引張強度	f' _{sd} (Mpa)	492.36	59.26	349.12	620.47

表4 一面せん断試験の基本統計量

全118データ		平均	標準偏差	Min	Max
軸直径	d _s (mm)	14.78	9.77	6.00	51.00
全長	h(mm)	131.86	107.16	35.00	508.00
頭部直径	d _h (mm)	28.41	22.53	12.00	114.00
コンクリート強度	f' _c (Mpa)	28.72	4.70	18.73	36.28

f_t : コンクリート引張強度(MPa)である。ここでは、 f_t は松井らの式を用いる。この式は、式の根拠が明確であり、実験値との相関性も $R^2=0.9357$ と、他の式と比較して良好な相関値を示している(表 1)。一方、縁端距離の影響を受ける場合であるが、縁端距離の影響を表すパラメータとして、スタッド軸からコンクリート縁端面までの距離(e)の代わりに純かぶり量 $(e-d_s/2)$ を選び、それを首下長さで無次元化したものを縁端距離パラメータ: $(e-d_s/2)/h_s$ と表す。図 4 は横軸に $(e-d_s/2)/h_s$ を、縦軸に実験値を式(1)で割った値を採っている。図 4 から明らかのように、横軸が 2 以上の値になると、縦軸の平均値は 1 に収束する。そのため、2 以下をグラフ上にプロットし、その近似式を求めると、以下のような式が算出できる。

$$P_U = 0.85 \pi (h_s + d_h) h_s \cdot 0.267 (f'_c)^{2/3} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{e-d_s/2}{h_s}\right)} \quad (2)$$

ただし、適用範囲は $(e-d_s/2)/h_s \leq 2$ である。縦軸に実験値、横軸に(2)式をとったのが図 5 である。縁端距離パラメータを導入する前は、 $R^2=0.7349$ であったが、導入することによって相関性が飛躍的に向上したことがわかる。

3.2 せん断 縁端距離を考慮しない領域 $\{(e-d_s/2)/h_s > 2\}$ での算定式は、平城らによって提案されている次の式を採用する。

$$\text{押抜きせん断} \quad Q_U = 31.3 \cdot A_s \sqrt{\frac{h}{d_s} \cdot f'_c} + 9800 \quad (3)$$

$$\text{一面せん断} \quad Q_U = 31.3 \cdot A_s \sqrt{\frac{h}{d_s} \cdot f'_c} \quad (4)$$

この内、押抜きせん断試験では、試験方法の特性から縁端距離の影響がほとんど出ない(コンクリートスラブ全面で支持される)ため、縁端距離の影響は一面せん断試験の結果についてのみ考察するとした。縁端距離パラメータは、引抜きの場合と同様 $(e-d_s/2)/h_s$ とする。

図 6 に縁端距離パラメータと実験値を式(4)の算定値で無次元化した関係を示す。引抜きの場合と同様に、 $(e-d_s/2)/h_s \leq 2$ の範囲で縁端距離の影響が表れているのがわかる。そこで図のように $(e-d_s/2)/h_s \leq 2$ の試験データのみで直線近似をすると高い相関を得ることができた。この結果を用いてスタッドのせん断耐力に関して定式化すると、以下ようになる。

$$Q_U = 31.3 \cdot A_s \sqrt{\frac{h}{d_s} \cdot f'_c} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{e-d_s/2}{h_s}\right) \quad (5)$$

ただし $(e-d_s/2)/h_s \leq 2$ 。この結果をグラフ化したものが図 7 である。縁端

距離パラメータを考慮する前(図 7 左)ではほとんど相関性が見出せなかったが、式(5)のように縁端距離パラメータを導入すること(図 7 右)によって、飛躍的に相関性が向上しているのがわかる。

4.まとめ スタッドの静的試験結果

に基づいて、縁端距離を考慮した場合の引抜き及びせん断耐力に関する評価式を算出することができた。ここで提案された両評価式{式(2)、式(5)}は、縁端距離パラメータの導入により試験データを相関性が高い形で表現していることが確認できた。

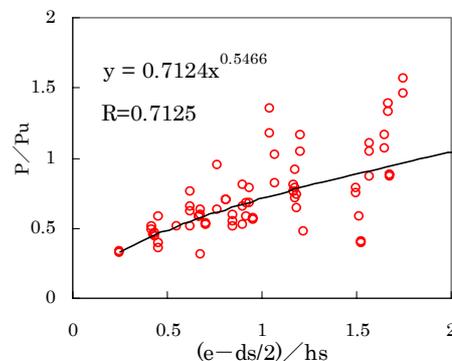


図 4 縁端距離-引抜き耐力関係

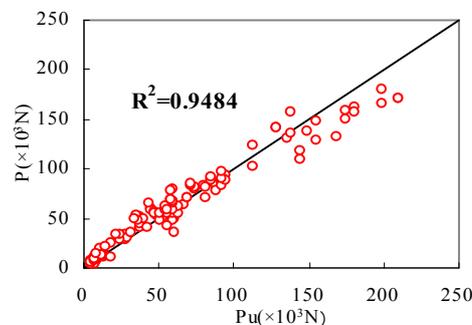


図 5 式(2)-引抜き耐力関係

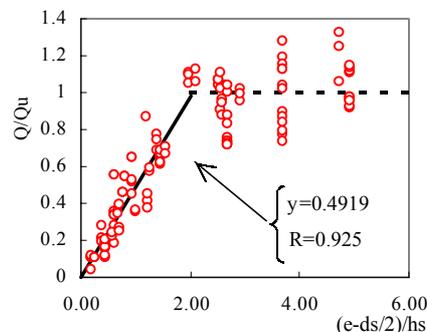


図 6 縁端距離-せん断耐力関係

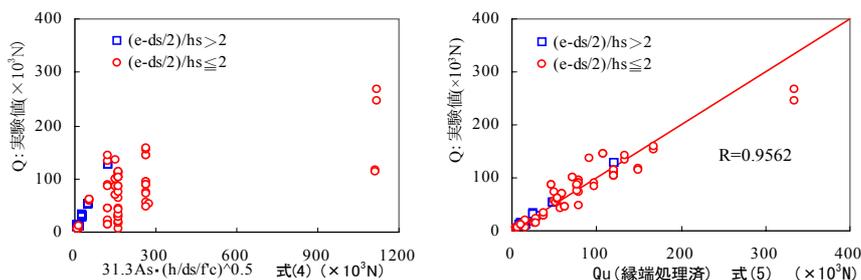


図 7 式(4)、式(5)と実験値との関係図