

I - A142 直径6mm スタッドのせん断および引抜き強度特性に関する研究

大阪大学大学院 学生員 高林 和生 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 (株) 酒井鉄工所 川崎 哲也
 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

1. まえがき 最近、よく採用され合理化橋梁の1つの形式として、鋼桁と鉄筋コンクリート（以下 RC）橋脚とを一体化した複合ラーメン橋がある。しかし、設計での安全性評価の妥当性は実験で確認されているが、結合部の詳細な挙動についてはまだ不明な点が多く、合理的な設計方法はまだ確立されていないと言える¹⁾。本研究は、スタッドを主要結合材とする鋼桁と RC 橋脚の結合部の設計法に関する研究の一環であり、結合部の縮小モデルを実験する際に直径 6mm スタッドを用いることにしている。本論文は、この極細径スタッドのせん断試験と引抜き試験を行ない強度特性を調べたものについて述べるものである。

2. 試験体の種類および試験方法 せん断および引抜き試験の試験体の種類について表-1, 2 に示す。パラメータはスタッド高さ、モルタル強度、補強鉄筋の有無（引抜き試験のみ）とした。ここで、一連の実験において実構造との相似側の問題より粗骨材の混入が困難であるためモルタルを用いることにした。引抜き試験においては鉄筋の有無により破壊面が変化すると考えて鉄筋の有無をパラメータとすることにした。また、通常スタッドのせん断試験は押抜きせん断試験が行われているが、本研究では極細径であるとの理由から、一枚のモルタル板に多数のあるいは厚板に溶接したスタッドを埋め込み、各一組のスタッドに作用させる水平せん断力は引張力を加えて行うことにした。

3. 試験結果および考察

3.1 せん断試験 表-3 にせん断試験の試験結果を示す。耐力力についてはすべてのタイプの破壊形式がスタッド軸部のせん断破断であったため、スタッド高さ、モルタル強度に関係なくほぼ一定の値となった。耐力力について、既往の研究で提案された評価式による推定値²⁾と本試験結果との比較を行った。以下に評価式を示す。

$$S = 31.4 A_s \sqrt{(h/d_s) f_c'} + \alpha$$

但し、S：せん断耐力(kN)、 A_s ：スタッドの断面積(mm²)、h：スタッドの全高、 d_s ：スタッド軸部の直径、 f_c' ：コンクリート円柱圧縮強度、 α ：切片(中央値9800、下限値 - 21500)

また、本試験結果との比較を図-1 に示す。これより、用いた評価式はφ6mm においても適応できることが分かる。次にせん断力比と相対ずれ、残留ずれの関係を図-2, 3 に示す。同図には既往の研究のφ13mm スタッドの試験結果も比較のために示してある。図-2, 3 から、φ6mm の相対・残留ずれともはφ13mm の試験結果と比べて耐力力の50%程度の荷重では違いがある。これは、モルタルとコンクリートと言う材料特性の違いによるものである。図-4 にずれ定数とスタッドの軸径の関係を示す。φ13~22mm の試験結果は既往の研究によるものである。これより、ずれ剛性と軸径は軸径のほぼ2乗に比例することが

表-1 せん断試験体の種類

タイプ	供試体数	スタッド高さ h(mm)	モルタル実測強度特性
SAL35	5	35	$\sigma_c = 19.2 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 1.75 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
SAL45	5	45	
SAL60	5	60	
SAH35	5	35	$\sigma_c = 30.2 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 2.04 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
SAH45	5	45	
SAH60	5	60	

表-2 引抜き試験体の種類

タイプ	供試体数	スタッド高さ h(mm)	モルタル実測強度特性	補強 鉄筋
PAL35	5	35	$\sigma_c = 22.7 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 1.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	有
PAL45	5	45		
PAL60	5	60		
PAH35	5	35	$\sigma_c = 27.8 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 1.96 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	
PAH45	5	45		
PAH60	5	60		
PNL35	3	35	$\sigma_c = 22.7 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 1.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	無
PNL45	3	45		
PNL60	3	60		
PNH35	3	35	$\sigma_c = 27.8 \text{ N/mm}^2$ $E_c = 1.96 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	
PNH45	3	45		
PNH60	3	60		

表-3 せん断試験結果
せん断耐力(平均値)と破壊形状

タイプ	耐力力 Q_u (kN)	破壊形状
SAL35	10.4	スタッド軸部の せん断破壊
SAL45	11.3	
SAL60	11.2	
SAH35	11.9	
SAH45	11.4	
SAH60	11.9	

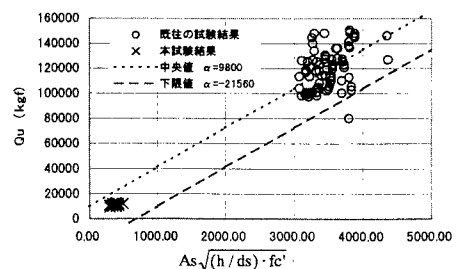


図-1 既往の評価式との比較

キーワード：小型モデル、直径6mm スタッド、せん断強度特性、引抜き強度特性

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 TEL 06-6879-7618 FAX 06-6879-7621

わかる。参考までに今回得られたφ6mm スタッドのずれ定数は約60kN/mmである。

3.2 引抜き試験 引抜き試験の結果を表-4 に示す。破壊形状についてはスタッド高 60mm がスタッド破断、35mm スタッドがコンクリートのコーン破壊、45mm 高スタッドでは両方の破壊形状が見られた。これより 45mm 高スタッドは両者の破壊形状の境界にあったと考えられる。耐荷力についてはスタッド破断したタイプについては差異が見られなかった。

次に、耐荷力について既往の研究で提案された評価式による推定値と本試験結果との比較を表-5 に示す。表中の値は実験値（平均値）と各評価式から算出した値の比を表したものである。各評価式はコーン破壊の耐荷力に対するものであり、スタッド破断についてはスタッド自身の引張耐荷力を上限値として考慮した。これより、コーン破壊の範囲では評価式①、⑥がよい相関を得ていると考えられる。また、スタッド破断について、⑤、⑥、⑦評価式は上限値を超えたため同じ値となっている。これより、評価式①と⑥は、φ6mm スタッドについてもある適用できることが分かった。

最後に、引抜き力比と相対浮き上がり量との関係を図-5 に示す。同図には既往のφ13mm スタッドの試験結果（スタッド破断）も比較のために示してある。これより、コーン破壊した PAL35-1 は伸びが少なかったと考えられる。一方、スタッド破断した PAL60 はスタッドの伸びの影響が現れていると考えられる。PAL45 についてはコーン破壊であるが、前に述べたようにスタッド高 45mm は両破壊形式の境界であると考えられるためスタッドの伸びの影響が出ているものと考えられる。

4. 結論 今回の実験により、直径 6mm スタッド強度特性を得られた。また、既往の研究と比較することにより、ずれ止めとしての性能についても同様の傾向があることが分かった。これより、小型モデル実験による複合ラーメン構造連結部の性能評価に有益なデータを得ることができた。

参考文献 1) 大久保ら:鋼桁と RC 橋脚の接合部に関する研究,第 54 回年次学術講演会講演概要要,平成 11 年 9 月

2) 平城弘一:頭付きスタッドの性的および疲労強度と設計法に関する研究,大阪大学学位論文,平成 2 年 2 月

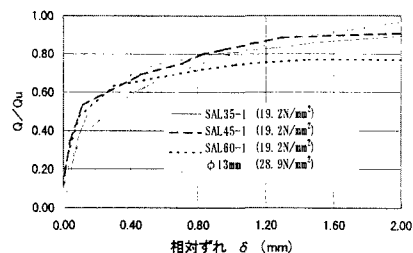


図-2 荷重比-相対ずれ関係

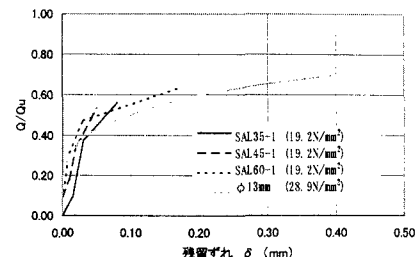


図-3 荷重比-残留ずれ関係

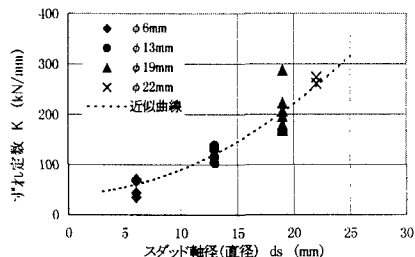


図-4 スタッド径-フックの耐力係数

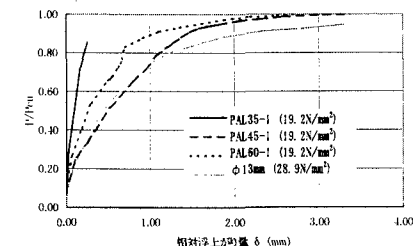


図-5 荷重比-相対浮き上がり量関係

表-4 引抜き試験結果
引抜き耐力(平均値)と破壊形状

タイプ	耐力 P_{cu} (kN)	破壊形状
PAL35	10.0	コーン破壊
PAL45	15.0	スタッド破断
PAL60	15.0	スタッド破断
PAH35	11.0	コーン破壊
PAH45	15.0	スタッド破断
PAH60	14.6	スタッド破断
PNL35	7.0	コーン破壊
PNL45	14.0	スタッド破断
PNL60	15.0	スタッド破断
PNH35	8.0	コーン破壊
PNH45	12.0	スタッド破断
PNH60	14.0	スタッド破断

表-5 引抜き耐力に関する評価式と実験結果の比較

スタッドの引抜き耐力の評価式				実験結果/評価式	
評価式				コーン破壊 平均	スタッド破断 平均 評価式
① Sattler	$F \cdot d_s \cdot h_s \cdot W_{28}$	$< A_s \cdot f_{sy}$	0.854	0.96	1.07 左辺
② Utescher	$F \cdot d_s \cdot \beta_w^{2/3}$	$< A_s \cdot f_{sy}$	1.077	1.90	1.33 左辺
③ Lehigh Univ.	$F \cdot (h_s + d_s) \cdot h_s \cdot \sqrt{\beta_w}$	$< A_s \cdot f_{sy}$	1.313	2.97	2.21 左辺
④ CRB-ECCS	$F \cdot 0.927 \cdot h_s^2 \cdot \beta_w^{2/3}$	$< A_s \cdot f_{sy}$	0.852	1.95	1.44 左辺
⑤ Roik/Bode/Hanenkamp	$F \cdot (h_s + d_s) \cdot \sqrt{h_s} \cdot \sqrt{\beta_w}$	$< A_s \cdot f_{sy}$	10.96	0.73	1.03 右辺
⑥ Mackin	$F \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot (h_s + d_s) \cdot \sqrt{f_c} < A_s \cdot f_{sy}$		1.06	0.94	1.03 右辺
⑦ 大谷	$F \cdot \sqrt{h_s} \cdot (h_s + d_s) \cdot \sqrt{f_c} < A_s \cdot f_{sy}$		11.3	0.77	1.03 右辺

d_s : スタッドの直径 h_s : スタッドの長さ h : スタッドの全長
 β_w : 28日コンクリート立方体圧縮強度 β_w : コンクリートの立方体圧縮強度 f_c : コンクリートの立方体圧縮強度
 A_s : 鋼材の断面積 f_{sy} : 鋼材の引張降伏強度 f_c : コンクリートの立方体圧縮強度