

I-158 スタッドの静的強度評価式について

摂南大学工学部 正員 平城 弘一  
 大阪大学工学部 正員 松井 繁之

**1. まえがき** わが国における構造物の設計方法は許容応力度設計法から荷重係数設計法あるいは限界状態設計法に移行されようとしている。そこで、鋼とコンクリートの合成桁のずれ止めとして広く多用されているスタッドの静的強度についても再検討する必要があると考えられる。スタッドの力学性状に関する既往の研究は、桁試験に比べ、実験が容易で、せん断力の評価が簡明であることから、ほとんど押抜き試験によっているのが現状である。しかし、同じ押抜きタイプの試験であっても、スタッドとコンクリートの材料特性はもとより、供試体の形状と寸法、コンクリートの打込み方向およびコンクリート内の補強鉄筋量などが不統一であるため、試験結果のばらつきはかなり大きいと指摘されている。

著者らは世界中で実施された試験のデータ<sup>1)~18)</sup>を整理し、重回帰分析によってスタッドの静的強度に及ぼす諸因子の影響度を明らかにし、統一化されたスタッドの静的強度式を提案するものである。

**2. スタッドの静的強度に関する表現** 既往の研究において提案された代表的なスタッドの終局耐荷力に関する評価式を表1に示す。これらの評価式より明らかなように、終局耐荷力に影響する重要な因子は、スタッドの直径 ( $d_s$ )、高さ ( $h_s$ )、引張強さ ( $f_{su}$ ) およびコンクリートの圧縮強さ ( $f_{cu}$ ) の4つであると考えられる。しかしながら、これらの因子は違った形で強度評価式に表現されている。

**3. 統計分析** スタッドの静的強度に対する統一的な表現を得るため、世界中で公表された代表的な試験データを対数型重回帰分析によって解析した。なお、本研究で用いたデータは普通コンクリートに埋め込まれたスタッドおよび補強筋を有する供試体から得られたものに限定している。全供試体の基本統計量は表2の通りである。

既往の研究で提案されている強度式から判断すると、終局耐荷力 ( $Q_u$ ) は次式のような指数型の重回帰モデルによって表される。

$$Q_u = \alpha \cdot d_s^a \cdot h_s^b \cdot f_{su}^c \cdot f_{cu}^d \quad (1)$$

重回帰分析結果より、

$$Q_u = 465.59 \cdot d_s^{1.273} \cdot h_s^{0.469} \cdot f_{su}^{-0.190} \cdot f_{cu}^{0.525} \quad (2)$$

T 値: 16.61 8.316 2.142 13.12

ここで、T 値は回帰式の指数の有意性を検定するものである。T 値が2.0以下の場合、有意性がない。T 値が2.0~3.0の場合、有意性が疑わしい。T 値が4.0以上の場合、特に有意性がある。

得られた指数およびT 値から、式(1)は次式のように変形することができると判断した。

$$Q_u = \alpha' \cdot d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5} \quad (3)$$

式(3)の係数  $\alpha'$  は、おのおのの変数 ( $d_s$ 、 $h_s$ 、 $f_{su}$ 、 $f_{cu}$ ) の平均値に対する式(3)の変形に考慮されなかった指数差を用いて、係数  $\alpha$  に乗じることによって、次式のようにして求まる。

$$\alpha' = \alpha \cdot d_{sm}^{0.273} \cdot h_{sm}^{-0.031} \cdot f_{sum}^{-0.190} \cdot f_{cum}^{0.025} \quad (4)$$

Table 1 Ordinary expressions for ultimate strengths of studs,

Investigation	Expression method	Relation
Slutter and Driscoll(1965)	Equation	$Q_u = A \cdot d_s^2 \sqrt{f_{cu}}; (h_s/d_s \geq 4.2)$
	"	$Q_u = B \cdot d_s \cdot h_s \sqrt{f_{cu}}; (h_s/d_s \leq 4.2)$
Menzies (1971)	Diagram	$Q_u - f_{cu}$ Relation
Ollgaard, Slutter and Fisher(1971)	Equation	$Q_u/A_s = C \cdot \sqrt{f_{cu} \cdot E_c}$
Hawkins (1973)	Equation	$Q_u = D \cdot A_s \cdot \frac{\sqrt{f_{cu} \cdot f_{su}}}{\sqrt{d_s}}$
Roik (1982)	Diagram	$Q_u/d_s^2 - f_{cu}$ Relation
	Equation	$Q_u \leq E \cdot d_s^2 + f_{su}$

Where,  $Q_u$ :Ultimate strength of a stud,  $d_s$ :Diameter of stud,  $h_s$ :Height of stud,  $f_{su}$ :Tensile strength of stud,  $f_{cu}$ :Concrete cylinder strength,  $A_s$ :Cross-sectional area of shank of stud,  $E_c$ :Modulus of elasticity of concrete, A,B,C,D,E:Constant.

式(4)に各変数の平均値を代入すると、  
 $\alpha' = 118.3$  (5)  
 となる。

一方、式(5)で示した係数の妥当性を確認するため、次式でもって再度全データについて回帰分析した。

$$Q_u = \beta \cdot d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5} \quad (6)$$

$$Q_u = 131.3 \cdot d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5} - 1208 \quad (7)$$

実測データの範囲を考慮して、式(7)の切片を無視すれば、式(6)の係数 $\beta$ は式(5)の $\alpha'$ とほぼ同一になる。

最終的に、スタッドの終局耐荷力に関する評価式として、次式を提案する。

$$Q_u = 120 \cdot d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5} \quad (8)$$

図1に $Q_u - d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5}$ 関係を示す。同図には式(8)の妥当性を確認するため、式(8)の線も併記している。図1の相関係数は0.885と高く、また式(8)で求めた線はほぼ中央値を示していることが分かる。

さらに、実験値( $Q_u$ )と式(8)によって求めた計算値( $Q_u'$ )を比較したものを図2に示す。この図より明らかなように、 $Q_u'$ が $Q_u$ によく近似していることが分かる。この図の相関係数は0.885であり、図1の相関係数とまったく同じ値であった。

以上の結果より、式(8)をスタッドの終局耐荷力を算定するための評価式として提案したい。

参考文献 1) Viest, I.M.: Nelson Engineering Test Data, Part 1-4, 1954-1957.

2) Thurlimann, B.: J. of ACI, 1959.

3) Sattler, K.: Bauingenieur, 1962.

4) Chapman, J.C. et al.: Structural engineer, 1964.

5) Slutter, R.G. et al.: Proc. ASCE, 1965.

6) Mainstone, R.J. et al.: Concrete, 1967.

7) Hawkins, N.M.: U. Sydney, No. R141, 1970.

8) Menzies, J.B.: Structural Engineer, 1971.

9) Ollgaard, J.G. et al.: AISC Engineering Journal, 1971.

10) Hallam, M.W.: U. Sydney, R281, 1976.

11) Oehlers, D.J.: U. Warwick, CE8, 1981.

12) Roik, K. et al.: Stahlbau, 1983.

13) 山本他: 土木研究所報告, 1961.

14) 安宅他: 八幡製鉄(株)製鉄研究, 第267-268, 1964.

15) 沢野他: 土木学会論文報告集, No. 174, 1970.

16) 平野他: 日本建築学会論文報告集, No. 281, 1979.

17) 平城他: 土木学会合成構造の活用に関するシンポジウム, 1986.

18) 赤尾他: 土木学会論文集, No. 380/1-7, 1987.

Table 2 Basic statistics of all push-out test data,

Test	No. of data	Data	Mean	C.O.V. (%)	Min.	Max.
Static	179	$d_s$ (cm)	1.8777	13.58	1.3	3.2
		$h_s$ (cm)	8.9944	20.51	5.1	21.4
		$f_{su}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	5008.6	11.97	3560	6327
		$f_{cu}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	318.93	26.08	139	632

Where,  $d_s$ : Diameter of stud,  $h_s$ : Height of stud,  $f_{su}$ : Tensile strength of stud material,  $f_{cu}$ : Concrete cylinder strength, C.O.V.: Coefficient of Variation.

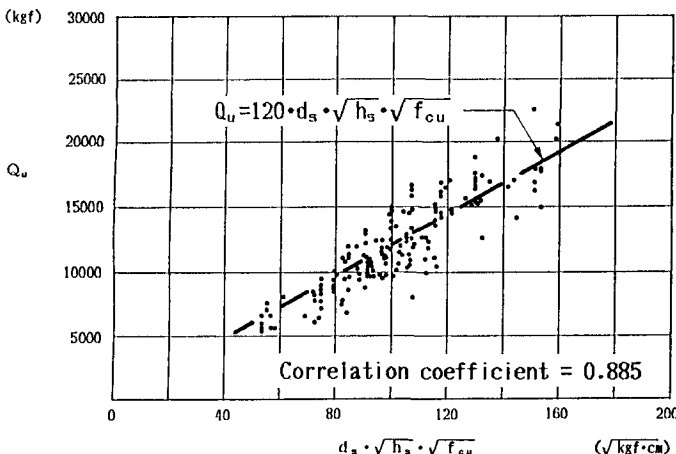


Fig. 1  $Q_u - d_s \cdot h_s^{0.5} \cdot f_{cu}^{0.5}$  relation

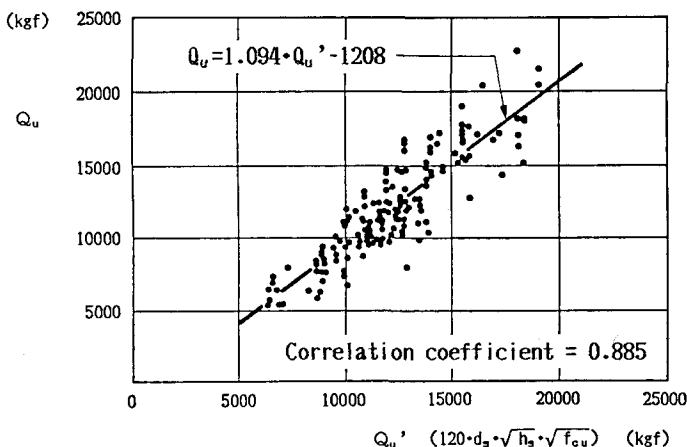


Fig. 2  $Q_u$  (Experimental values) -  $Q_u'$  (Calculated values) relation