

頭付きスタッドのずれ剛性評価法について

神戸大学 正会員 ○大谷 恭弘 竹中工務店 非会員 栄 真堂
神戸大学 非会員 堀江 良太

1. はじめに

頭付きスタッド(以下、スタッド)は鋼コンクリート複合構造物のせん断ずれ止めとして広く使用されて来ている。当該構造物の挙動を解析的に明らかにするには、スタッドのせん断強度だけでなくずれ剛性を適切に評価する必要がある。しかし、ずれ剛性はせん断強度に比べて実験でのばらつきが大きく、定量的評価法が確立しているとは言い難い。著者等は 2011 年に JIS に新たに導入された太径φ25 スタッドの強度評価を行うため、種々のパラメータを変化させた一連の押抜きせん断実験を実施した^{1, 2)}。本報ではそれらφ25 スタッドに対する一連の押抜き実験の際に得られたずれ変位を用いると共に、既往の研究での結果と併せて整理し、スタッドのずれ剛性の定量的評価法について検討したので報告する。

2. 押抜きせん断実験の概要

φ25 スタッドに対する一連の押抜き実験^{1, 2)}は日本鋼構造協会「頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)」³⁾に準じて行われている。表-1 に試験体一覧を示す。実験パラメータはコンクリートの目標強度 F_c 、スタッドの全高/軸径比 H/d 、およびコンクリートブロック幅(スラブ厚)である。なお、比較のためφ19 スタッドの押抜き試験体も含まれている。また、いずれの試験体もスタッドが溶接された鋼材フランジとコンクリートブロックとの界面には付着を切るためにグリースが塗布され、コンクリートはスタッドが正立の状態で作られている。

3. ずれ剛性評価式の検討

文献³⁾では押抜き試験からずれ剛性を評価する方法として最大せん断強度の 3 分の 1 の値での割線剛性を用いるとしている。しかし、今回、荷重レベルに応じたずれ剛性を記述できる式を求めるため、最大強度の 3 分の 1 だけでなく、4 分の

表-1 試験体シリーズおよび実験結果

軸径	試験体名	スタッド高さ mm	コンクリート ブロック幅 mm	圧縮強度		スタッド耐力 (一本あたり) kN/本	Ks/d			
				F_c	E_c		10分の1	6分の1	4分の1	3分の1
				N/mm ²	kN/mm ²		kN/mm ²			
φ25	φ25-f18-L150-1	150	200	21.7	25.0	165	20	16	13	9
	φ25-f18-L150-2			21.7	25.0	171	29	20	15	12
	φ25-f18-L150-3			21.7	25.0	167	22	17	13	10
	φ25-f30-L150-1			34.3	32.6	196	21	18	15	12
	φ25-f30-L150-2	150	200	31.3	31.6	194	25	20	15	13
	φ25-f30-L150-3			31.3	31.6	212	22	19	17	15
	φ25-f30-L150-4			37.2	27.4	218	16	16	14	13
	φ25-f30-L125-1			37.2	27.4	204	18	17	15	14
	φ25-f30-L125-2	125	200	37.2	27.4	192	17	16	15	13
	φ25-f30-L100-1			37.2	27.4	199	23	25	21	18
	φ25-f30-L100-2			54.4	35.7	255	26	23	20	18
	φ25-f42-L150-1			54.4	35.7	255	30	25	21	19
	φ25-f42-L150-2	150	200	55.7	35.9	250	25	22	20	17
	φ25-f42-L150-3			35.0	28.3	226	22	18	18	16
	φ25-f42-L150-4			43.7	31.3	201	23	20	17	15
	φ25-f42-L150-5			43.7	31.3	215	22	19	15	13
	φ25-f42-L150-6	125	200	43.7	31.3	243	21	18	16	12
	φ25-f42-L125-1			35.0	28.3	265	27	23	18	14
	φ25-f42-L125-2			36.1	29.1	238	28	24	21	19
	φ25-f42-L125-3			43.7	31.3	195	25	21	17	14
	φ25-f42-L100-1	100	200	35.0	28.3	219	27	23	19	15
	φ25-f42-L100-2			36.1	29.1	209	25	22	19	17
	φ25-f42-L100-3			43.7	31.3	180	19	18	15	13
	φ19-f18-L120	120	200	21.6	25.0	118	26	19	14	10
φ19	φ19-f30-L120	120	200	31.3	32.6	139	30	24	20	15
	φ19-f30-L100	100		37.2	27.4	139	15	15	21	12
	φ19-f30-L80	80		37.2	27.4	140	15	15	14	12
	φ19-f42-L120	120		55.7	35.6	166	29	24	14	18

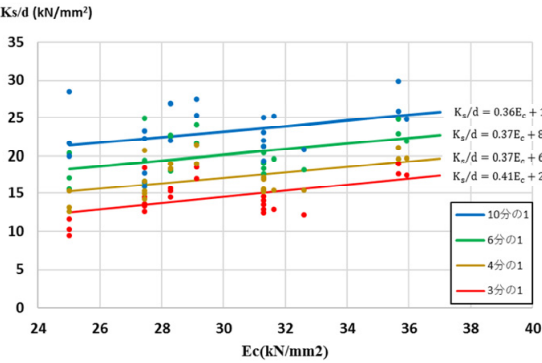


図-1 剛性/d-Ec 関係

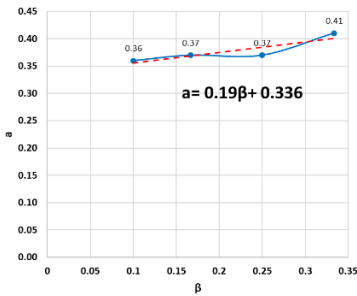


図-2 a-β 関係

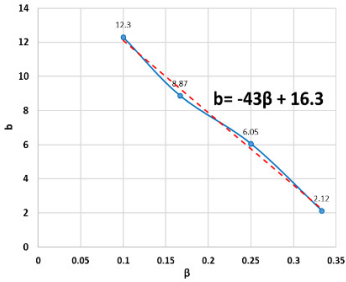


図-3 b-β 関係

キーワード ずれ止め、割線剛性、押抜きせん断、実験、相対変位、合成構造

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-881-1212

1、6分の1、10分の1での割線剛性を求めた。各荷重レベルでのスタッド1本あたりの割線剛性を表-1に併せて示す。図-1は、縦軸に割線ずれ剛性 K_s を軸径 d で除したものの、横軸にコンクリートのヤング係数 E_c をとり、上記4種の割線ずれ剛性に対してプロットしたものである。 $K_s/d-E_c$ の関係で示した理由は、過去に行った理想弾性体でモデル化されたコンクリート中に埋込まれた異なる軸径のスタッドに対する弾性接触解析の結果に基づくものである。一連の押抜き実験ではコンクリートのヤング係数が $25\sim 36\text{ kN/mm}^2$ であり、その範囲内であれば線形式で近似できると仮定し、次式で割線ずれ剛性を記述することとした。

$$K_s(E_c, \beta)/d = a(\beta)E_c + b(\beta) \quad (1)$$

ここに、 K_s : 押し抜き試験の割線ずれ剛性(kN/mm) d : スタッドの軸径(mm)

E_c : コンクリートのヤング係数(kN/mm²) ($25\text{ kN/mm}^2 \leq E_c \leq 36\text{ kN/mm}^2$)

β : 荷重比 P/P_u ($1/10 \leq \beta \leq 1/3$) P_u : スタッド一本の耐力(kN)

図-1には式(1)に基づき4種の荷重比 β に対して線形回帰した直線も併せて示す。また、各荷重比 β に対する回帰線の勾配 a と切片 b をプロットしたものを図-2と図-3に示す。どちらのグラフもほぼ直線となり、最小二乗法を用いて a , b を β の線形式で表現すると次式で得られた。

$$a(\beta) = 0.19\beta + 0.336 \quad (2)$$

$$b(\beta) = -43\beta + 16.3 \quad (3)$$

ここで、図-1および図-2より勾配 a については各荷重比 β の影響は小さく、実用性を考慮して平均値 $a=0.38$ で一定と仮定する。そして、 $E_c=30\text{ kN/mm}^2$ で図-1の各直線の K_s/d の値と一致するように b を最小二乗法により求めると式(4)が得られ、割線ずれ剛性評価式として式(5)が得られる。

$$b(\beta) = -37\beta + 15.2 \quad (4)$$

$$K_s(E_c, \beta)/d = 0.38E_c - 37\beta + 15.2 \quad (\text{kN/mm}) \quad (25\text{ kN/mm}^2 \leq E_c \leq 36\text{ kN/mm}^2, 1/10 \leq \beta \leq 1/3) \quad (5)$$

4. 既往の実験値との比較および考察

既往の研究で報告されている押抜き実験結果から、今回の $\phi 25$ スタッドに対する一連の押抜き実験と試験方法が同様と思われる実験結果 ($\phi 25$ 以外の軸径を含む) を抽出し、それらのずれ剛性を整理した。既往の研究では最大耐力の評価に重きを置いているものが多く、ずれ剛性の値に比較的大きなばらつきが見られる結果も含まれていた。そのため、同一グループ内の同一条件の試験体についてずれ剛性の変動係数が50%以下となるデータ、あるいは平均値に対する偏差が40%以下となるデータを採用した。

図-4には、一連の実験から得られた結果に既往の研究より得られたデータを含め、提案式(5)との比較を示す。図中、同一の軸径ごとに色分けをして示している。図より考案式は軸径の異なる実験値に対しても概ね平均レベルを示していることが分かる。しかし、他のデータと比較して大きく、有意な差を示すデータグループも存在することが分かる。

有意な差を示す実験データについては、押抜き実験での鋼材とコンクリートスラブとの相対変位の測定において、スタッドが溶接された鋼フランジにマグネットスタンドを固定して相対変位を測定している場合が多く、载荷に伴う鋼フランジの微小な局部変形が、変位測定値に影響をもたらした可能性が考えられる。

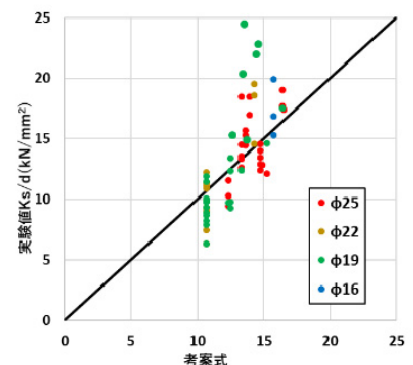


図-4 考案式との比較

5. まとめ

$\phi 25$ 頭付きスタッドの押し抜き実験結果および既往の研究からずれ剛性を考察し、全軸径のスタッドを対象とした割線ずれ剛性の評価式を得た。

参考文献

- 1) 大谷, 栄, 他: 軸径 25mm 頭付きスタッドの押し抜きせん断強度, 第 70 回土木学会年次学術講演会, CS3, 2015.
- 2) 大谷, 栄, 他: 太径 $\phi 25$ 頭付きスタッドの押し抜きせん断実験と強度評価, 第 11 回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2015
- 3) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押し抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, 1996