

鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価

九州大学大学院 正会員 山口浩平, フェロー 日野伸一

九州大学大学院 学生会員 郭勝華, 崔智宣, 園田崇智

1. 目的

軽量 2 種コンクリートは普通コンクリートに比べ約 3 割軽量であるが, 骨材強度が小さいため引張強度, せん断強度が普通コンクリートの 7 割程度低下する. その補強方法の 1 つとして, 鋼繊維を混入する方法がある. 一方, 鋼コンクリート合成部材の接合法として, 疲労特性や施工性に優れた孔あき鋼板ジベルが注目されている. しかしながら, 軽量 2 種コンクリートを用いた場合, さらに鋼繊維補強された場合のずれ特性などの研究は皆無である. そこで本研究では, 鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの合成部材への適用を目指し, 孔あき鋼板ジベルを用いた二面押抜きせん断試験を行い, せん断耐力の評価法について検討した.

2. 孔あき鋼板ジベルの二面押抜きせん断試験

2.1 試験概要

全試験体の種類および材料強度を表-1 に示す. コンクリート種類, 鋼繊維混入の有無, 孔あき鋼板ジベルの孔径をパラメータとした. 試験体は 6 種類各 3 体である. 粗骨材および細骨材は, 人工軽量骨材のアサノライト, 鋼繊維はドラミックスのフックエンド型を使用した. 試験体の寸法などは, 日本鋼構造協会「頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)」¹⁾ に準じて決定した(図-1). 孔あき鋼板ジベルは SM490 H 鋼は SS400 を用いた. また, 全試験体に貫通鉄筋 D13 SD295 (引張強度 570N/mm²) を配置した. 載荷は, 貫通鉄筋位置での H 鋼とコンクリートブロックの相対変位を基準に変位増分の繰返載荷(相対変位 1mm まで 0.1mm 幅, 10mm まで 0.5mm 幅, それ以降は 5mm 幅で繰返し)とした. なお, N00-35 No.3 は漸増載荷したため結果に含めないこととした.

2.2 普通コンクリートを対象としたせん断耐力式

複合構造物の性能照査指針(案)に示される貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断耐力式は, 安全側の下限値式であるため, その基になった平均値式である式(1)を用いて試験結果と比較考察する.

$$V = 1.45\{(d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu}' + \phi^2 \cdot f_{st}\} - 26.1 \quad (1)$$

f_{cu}' : コンクリート圧縮強度 (N/mm²), d : 孔径 (mm),

ϕ : 貫通鉄筋径 (mm), f_{st} : 貫通鉄筋の引張強度 (N/mm²)

既往研究でのせん断耐力の定義は, 大別して 2 つある.

1 つは試験での最大荷重をせん断耐力 (V_{max}) とする方法, もう 1 つは相対変位 10mm までの最大の荷重をせん断耐力 (V_{10mm}) とする方法である. 式(1)は両者のデ

ータを基に導出されているが, 同式のデータの多くは V_{10mm} であるため, 本概要では V_{10mm} に限定して検討した.

2.3 試験結果

表-2 のせん断耐力 (V_{10mm}) は, 孔 1 個あたりに換算した値である. 式(1)は普通コンクリートでかつ繊維補強なしに適用できるが, N00-35 の V_{10mm} /計算値は 0.56, 0.62 で式(1)では評価できていないが, 後述する図-3 に示す V_{10mm} 下限値式では精度よく評価できているため, 本試験結果は妥当であると判断される. SL のせん断耐力は, N と比較すると約 4 割程度低下し, 孔径 50mm のせん断耐力は孔径 35mm よりも増加することがわかる. また, 繊維混入によるせん断耐力の増加は, ほとんど見られなかった. 同表に示すずれ定数 (K_{10mm}) は, コンクリート種類および繊維混入による明確な違いは見られなかった. 図-2 は試験終了後の孔内の破壊状況であるが, ずれ変形に伴い鉄筋上部のコンクリートが圧壊して粉状化し, 貫通鉄筋が鋼板に接触していることがわかる. また, 孔径 50mm では孔中に粗骨材があることを確認できた.

2.4 せん断耐力の評価

図-3 は, 試験値である孔 1 個当たりのせん断耐力と式(1)の($d^2 - \phi^2$) $\cdot f_{cu}' + \phi^2 \cdot f_{st}$ の関係に試験結果および式(1)の基になったデータを併せて示している. ここで, 式(1)のデータは V_{10mm} , V_{max} が混合しているため, 本概要では敢えて両者をわけて, V_{10mm} のみによる回帰式(同図中の全データ式 (V_{10mm}))を導出し, 試験結果と比較した. その式の導出においては, 式(1)のデータだけで

表-1 試験体種類およびコンクリートの材料強度

タイプ	コンクリート種類	孔径 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
N00-35	普通 (N)	35	39.8	3.07	5.30	4.68	28.1
N12-35			32.5	3.73	8.28	6.15	26.0
SL00-35			40.2	2.11	3.53	3.42	15.2
SL12-35	軽量2種 (SL)	35	41.0	4.37	8.86	5.37	17.4
SL00-50		50	37.7	2.07	3.23	3.25	14.4
SL12-50			36.1	4.29	6.75	5.01	16.0

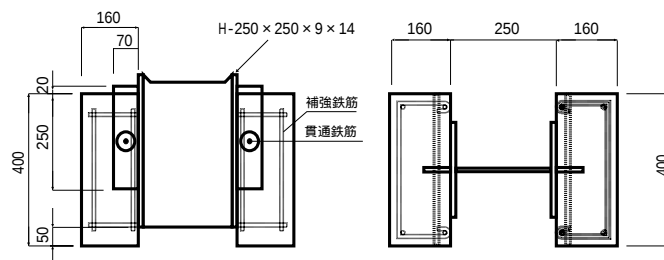


図-1 試験体概略図

キーワード せん断耐力式, ずれ特性, 孔あき鋼板ジベル, 軽量 2 種コンクリート, 短繊維補強

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 Tel : 092-802-3391

なく、本研究で収集した他のデータも含めた。N00-35 は $V_{10\text{mm}}$ 式をやや下回ったが、同式の下限值式よりも上回っているため、試験結果は妥当であるといえる。SL はいずれも $V_{10\text{mm}}$ 式を大幅に下回っている。

図-4 は、貫通鉄筋降伏時の降伏荷重と降伏変位を示している。SL よりも N の方が、また繊維混入した場合や孔径が大きいほど降伏変位が小さい。これは、孔内および孔周辺のコンクリートと貫通鉄筋の一体性の度合いによるものと考えられる。まず N と SL では、材料強度の小さい SL の方が、低荷重でコンクリートが粉状化すると推測できる。粉状化が起これば、コンクリートと貫通鉄筋の一体性の度合いが小さくなり、貫通鉄筋に作用する力も小さくなる。次に、同じ種類の試験体の繊維混入 0%、1.2%では後者の降伏変位が小さいため、材料強度の影響であると推察される。

このように SL の場合は、式(1)中の $(d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu}'$ であるコンクリート項はもとより、貫通鉄筋に作用する力も異なるため式(1)中の $\phi^2 \cdot f_s$ である鉄筋項にも低減係数を乗じて評価する必要があると考えられる。そこで、本研究ではコンクリート項および鉄筋項にそれぞれ低減係数 β_1 、 β_2 を乗じた式を提案する。 β_1 、 β_2 は、SL の(試験値)/(提案式による計算値)が N の試験値/計算値($V_{10\text{mm}}$ 式)と等しくなるように決定した。図-5 に β_1 と β_2 の関係を示す。同図の各線は試験体タイプ毎に線上の任意の点の β_1 、 β_2 であれば上述の条件を満足するが、今回は孔径により線分の傾きが異なったため、安全側評価となるように、SL00-35 と SL00-50 の交点である $\beta_1=0.52$ 、 $\beta_2=0.72$ を、軽量 2 種コンクリートを用いる場合の低減係数とすることとし式(2)を提案する。なお、式(2)はせん断耐力($V_{10\text{mm}}$)を評価する式であるため、繊維の影響はないものとした。

$$V_{10\text{mm}} = 1.26 \{ \beta_1 \cdot (d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu}' + \beta_2 \cdot \phi^2 \cdot f_{st} \} - 28.3 \quad (2)$$

$$\beta_1 = 0.52, \beta_2 = 0.72$$

3. 結論

孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、鋼繊維による影響はほぼなかったが、軽量 2 種コンクリートを用いることにより約 4 割程度低下することがわかった。本試験の範囲内では、鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、 $V_{10\text{mm}}$ データによって求めたせん断耐力式のコンクリート項および鉄筋項に低減係数を考慮することにより評価できる。

参考文献

- 1) 保坂鐵矢他：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，Vol.46A，pp.1593-1604，2000.3.
- 2) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状，1991.
- 3) 土木学会：複合構造物の性能照査指針(案)，2002

表-2 試験結果

タイプ	No.	孔径 (mm)	f_{cu}' (N/mm ²)	$V_{10\text{mm}}$ (kN)	$K_{10\text{mm}}$ (kN/mm)	保坂式による計算値 (kN)	$V_{10\text{mm}}$ 計算値
N00-35	1	35	39.8	97.2	450.4	175	0.56
	2			108	216		0.62
	3			103	333		0.59
	平均			104	647.2		0.64
N12-35	1	35	40.2	112	240.6	163	0.69
	2			131	400.2		0.80
	3			116	429		0.71
	平均			112	356.6		0.73
SL00-35	1	35	32.5	63.2	140.7	175	0.36
	2			65.8	404		0.38
	3			58.4	1868.2		0.33
	平均			62.4	804.3		0.36
SL12-35	1	35	41.0	62.2	460	176	0.35
	2			72.3	2240		0.41
	3			66.3	2120		0.38
	平均			66.9	1606.7		0.38
SL00-50	1	50	37.7	79.20	90.4	176	0.45
	2			83.10	88.3		0.47
	3			85.75	116.7		0.49
	平均			82.7	98.5		0.47
SL12-50	1	50	36.1	79.35	160.1	176	0.45
	2			69.50	181.1		0.39
	3			99.00	127.7		0.56
	平均			82.6	156.3		0.47



(a) N00-35 (b) SL00-35 (c) SL00-50

図-2 破壊状況

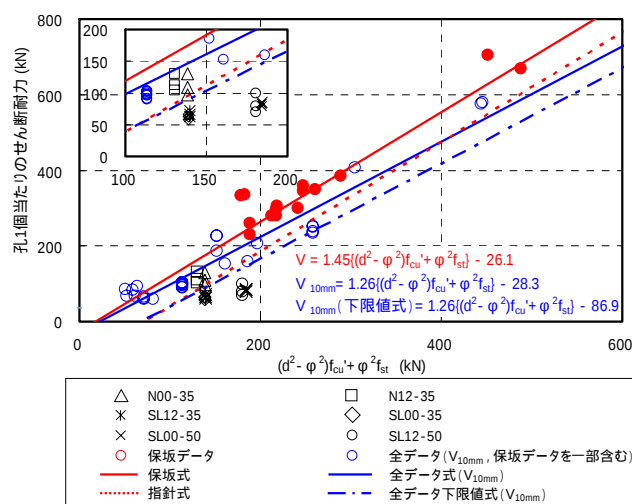


図-3 せん断耐力の評価

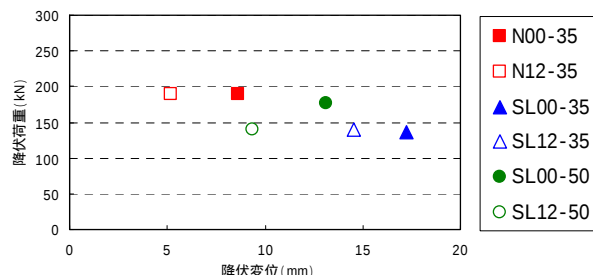


図-4 貫通鉄筋の降伏変位および降伏荷重

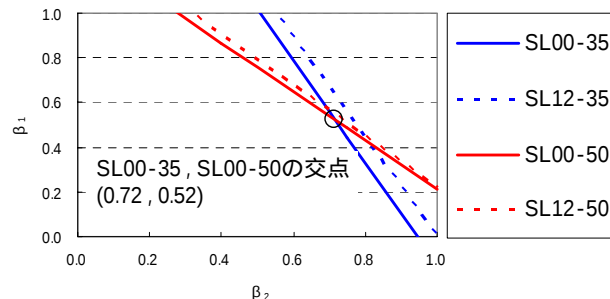


図-5 低減係数の算出