

11. 短繊維補強された超軽量コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルのずれ特性に関する研究

園田 崇智

1. 目的

超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ約 3 割の軽量化が可能であるが、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。本研究では、軽量 2 種コンクリートの中で粗骨材、細骨材全てに人工軽量骨材を用いたコンクリートを超軽量コンクリートと位置付けている。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、軽量コンクリートを用いた場合、さらには繊維補強された超軽量コンクリートのずれ特性などの研究は皆無である。

そこで本研究では、繊維補強された超軽量コンクリートの合成部材への適用を目指し、コンクリート種類および繊維混入率をパラメータとした材料試験により各強度式を提案した。さらに、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、ずれ特性、せん断耐力の評価について検討した。

2. 内容

2.1 試験概要

材料試験では、コンクリート標準示方書に規定される圧縮強度から各強度を算出する式を提案することを目的としている。そこで、繊維補強された超軽量コンクリートの各強度（圧縮、引張、曲げ、せん断）を明らかにするために、コンクリート種類（普通：N，軽量 2 種：SL）および繊維混入率（0，0.4，0.8，1.2%）をパラメータとした 8 種類各試験各 3 体のコンクリート供試体を作製した。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。

孔あき鋼板ジベルの二面押抜きせん断試験では、コンクリート種類（N，SL），鋼繊維混入の有無（0%，1.2%），孔あき鋼板ジベルの孔径（35mm，50mm）をパラメータとした。供試体は 6 種類各 3 体である。全供試体の各強度およびヤング係数を表-1 に示す。供試体の寸法などは、日本鋼構造協会「頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）」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、全供試体に貫通鉄筋 D13 SD295（引張強度 570N/mm²）を配置した。荷重は、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荷重（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 は漸増荷重したため本概要では結果に含めないこととした。

2.2 結果および考察

2.2.1 二面押抜きせん断試験

土木学会複合構造物の性能照査指針（案）に示される孔あき鋼板ジベルのせん断耐力式は安全側評価の下限値式であるため、その基になった保坂式（1）を用いて試験結果と比較考察する。

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

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

f_{st} : 貫通鉄筋径 (mm), f_s : 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}) とする方法がある。本概要では保坂のデータがほぼ V_{10mm} であることから、 V_{10mm} についてのみ検討した。

表-2 に結果を示す。ここにせん断耐力は孔 1 個あたりに換算して示している。保坂式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、同表より、N00-35 の V_{10mm} 計算値は 0.56, 0.62 と保坂式では、評価できていないことがわかる。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 35mm の耐力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。同表には、せん断耐力と併せてずれ定数 (K_{10mm}) も示している。ずれ定数においては、超軽量および繊維混入による明確な違いは現れなかった。

表-1 供試体概要

タイプ	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	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	41.0	4.37	8.86	5.37	17.4
SL00-50	37.7	2.07	3.23	3.25	14.4
SL12-50	36.1	4.29	6.75	5.01	16.0

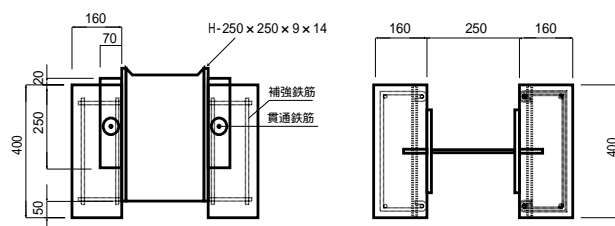


図-1 二面押抜きせん断試験供試体

2.2.2 せん断耐力の評価

図-2は、孔1個当たりのせん断耐力と保坂式中の $(d^2 - 2^2) \cdot f_{cu}' + 2^2 \cdot f_{st}$ の関係に本試験結果および保坂式の基になったデータを併せて示している。ここで、保坂式のデータは V_{10mm} , V_{max} が混合しているため、本概要では敢えて両者のデータを分けて、 V_{10mm} データのみによる回帰式（修正保坂式）を導出し、試験結果と比較した。修正保坂式の導出においては、保坂式のデータだけでなく、本研究で集めた過去の研究データも含めている。N00-35は修正保坂式をやや下回ったが、保坂式よりも精度良く評価していることがわかる。SLの結果は、いずれも修正保坂式を大幅に下回っており、保坂式に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、本研究では超軽量を用いることによりコンクリートおよび鉄筋が受け持つ力が低下すると考え、コンクリート項 $(d^2 - 2^2) \cdot f_{cu}'$ および鉄筋項 $2^2 \cdot f_{st}$ それぞれに低減係数 α , β を乗じた式を提案する。ここで、 α , β は、SLの計算値がNの計算値と等しくなるような値を求めている。図-3には、代表値として $\alpha = 0.4, 0.7, 1.0$ を代入した時の $\alpha \cdot (d^2 - 2^2) \cdot f_{cu}' + \beta \cdot 2^2 \cdot f_{st}$ の関係を示している。0.4を代入した場合、SLを用いたにも関わらず β が1.0を超え、コンクリート項を過大評価する可能性がある。また、1.0を代入した場合には、 α が0.0よりも低くなり、コンクリート項を過小評価する可能性がある。一方、0.7を代入した場合には、 α を一律約0.6として適用することができる。よって本研究では短繊維補強された超軽量コンクリートのせん断耐力式として以下の式を提案する。

$$V_{10mm} = 1.26 \{ \alpha \cdot (d^2 - 2^2) \cdot f_{cu}' + \beta \cdot 2^2 \cdot f_{st} \} - 28.3$$

$$\alpha = 0.6, \quad \beta = 0.7$$

実験値と提案式の比較を図4に示す。超軽量を評価できていなかった修正保坂式と比較すると、提案式は超軽量の実験値も評価できているといえる。

3. 結論

孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、繊維混入による影響はほぼなかったが、超軽量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。実施した試験の範囲内では、繊維補強された超軽量コンクリートの孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、 V_{10mm} データのみによって求めた回帰式におけるコンクリート項および鉄筋項にそれぞれ低減係数を考慮することにより評価できることがわかった。既往研究においても孔あき鋼板ジベルの二面押抜きせん断試験での最大荷重の定義は未確定のため、今後は破壊せん断耐力を適切に評価する必要がある。

表-2 二面押抜きせん断試験結果

タイプ	No.	孔径 (mm)	f_{cu}' (N/mm ²)	V_{10mm} (kN)	K_{10mm} (kN/mm)	保坂式による計算値 (kN)	V_{10mm} /計算値
N00-35	1	35	39.8	97.2	450.4	175	0.56
	2			108	216		0.62
	3			—	—		—
	平均			103	333		0.59
N12-35	1	35	40.2	104	647.2	163	0.64
	2			112	240.6		0.69
	3			131	400.2		0.80
	平均			116	429		0.71
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	469	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

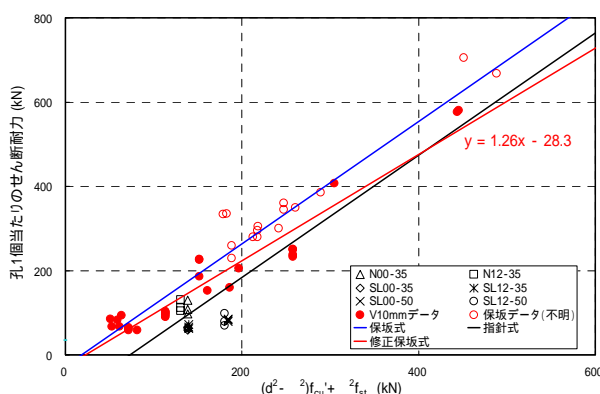


図-2 保坂式を基にしたせん断耐力の評価

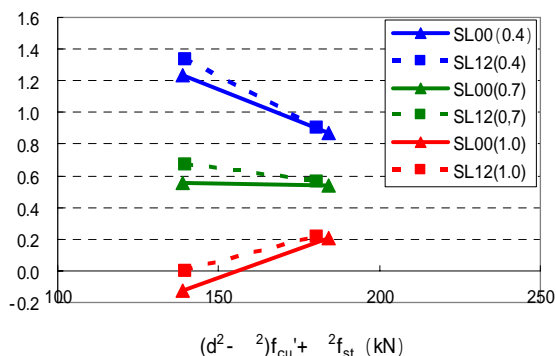


図-3 低減係数の導出

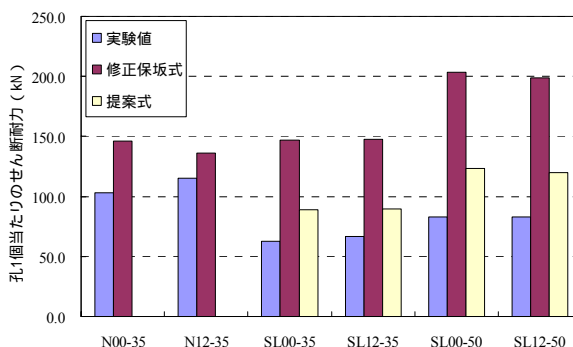


図-4 提案式との比較