

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

Evaluation on shear strength of perfobond shear connectors using super-light weight concrete with steel short fiber reinforcement

山口浩平*, 日野伸一**, 郭勝華***, 崔智宣***, 園田崇智***
Kohei Yamaguchi, Shinichi Hino, Shenghua Guo, Jisun Choi, Takatomo Sonoda

*博 (工), 九州大学大学院助教, 工学研究院建設デザイン部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

**工博, 九州大学大学院教授, 工学研究院建設デザイン部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

***九州大学大学院, 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

Recently, the development of the light-weight concrete with short fiber is done to simplify the reduction and the structure section of the self-weight. It is possible of lightening about 30 percent using super-light weight concrete compared with normal concrete. On the other hand, there is a reinforcement method of usually having material strength equal with normal concrete by mixing steel short fiber. However, there is little research on shear strength evaluation of perfobond shear connectors using super-light weight concrete with steel short fiber reinforcement. In this research, it was carried out push-out tests about super-light weight concrete with steel short fiber to clarify the presence of a concrete kind and the fiber mixing. As a result, it was clarified the shear behavior and shear strength evaluation of perfobond shear connectors using super-light weight concrete with steel short fiber reinforcement.

Key Words: shear strength evaluation, perfobond shear connectors, super-light weight concrete, steel short fiber

キーワード: せん断耐力評価, 孔あき鋼板ジベル, 軽量 2 種コンクリート, 鋼繊維

1. 目的

近年, 社会基盤構造物は超大スパン橋梁, 多層高架道路など, 巨大化, 高層化が進んでいる。それに伴いコンクリート構造部材断面は複雑化するとともに, 自重も大きくなっている。そこで, 自重の軽減, 構造物断面を簡略化させるために, 繊維補強された軽量コンクリートの開発研究が行われている。

軽量コンクリートは, 粗骨材に軽量骨材あるいは一部に普通骨材, 細骨材に普通骨材を用いた軽量 1 種コンクリート, 粗骨材および細骨材に軽量骨材あるいは一部に普通骨材を用いた軽量 2 種コンクリートに分類される。軽量 2 種コンクリートは普通コンクリートに比べ 3-4 割の軽量化が可能な反面, 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 割程度と小さい。一方, 軽量コンクリートに短繊維を混入することにより, 普通コンクリートと同等の材料強度を有する補強方法があ

る。短繊維には鋼繊維やビニロン繊維や PVA 繊維など各種各様の性能を発揮できるものがあるが, 本研究ではその中でも強度改善効果が高い鋼繊維を対象としている。

また, 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 (以下, PBL) 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軽量コンクリートのずれ特性, せん断耐力の評価などの研究は著者らの知る限り稀有の状況である。

そこで本研究では, より軽量である粗骨材および細骨材ともに軽量骨材を用いた軽量 2 種コンクリートを対象に, 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すことを目的とする。すなわち本研究では, コンクリート種類, 繊維混入の有無, PBL の孔径をパラメータとした PBL を用いた 2 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. 2面押抜きせん断試験の概要

2.1 既往のせん断耐力式

既往研究の中で、PBLのせん断耐力算定式は、いくつか提案されている。なお、本研究ではPBLに貫通鉄筋を配置する構造を対象としているため、式(1)～(3)に貫通鉄筋ありの場合のせん断耐力算定式を示す。

普通コンクリートにおいては、保坂ら¹⁾は、孔あき鋼板の板厚、孔内に通す貫通鉄筋の有無およびフランジ面に配置する孔あき鋼板の枚数の影響を把握するために2面押抜きせん断試験を実施し、回帰分析を行い、式(1)を提案している。また、土木学会複合構造物の性能照査指針(案)²⁾に示される指針式(式(2))は式(1)の下限値式である。

軽量コンクリートにおいては、鈴木ら³⁾は軽量1種コンクリートを使用した2面押抜きせん断試験を実施して、軽量コンクリートの破壊状況は孔周りの軽量骨材を含むせん断破壊が観察され、骨材の種類の違いによる影響を受けていることを確認している。そこで、軽量1種コンクリートの場合、普通コンクリートを対象とした式に低減係数を考慮することが必要であると考え、式(3)に示すように式(1)のコンクリート負担分を表す項 $(d^2 - \phi^2) f'_{cu}$ に低減係数0.7を乗じることにより評価している。

$$Q_u = 1.45 \left\{ (d^2 - \phi^2) \cdot f'_{cu} + \phi^2 \cdot f_{st} \right\} - 26.1 \times 10^3 \quad (1)$$

$$Q_u = 1.45 \left\{ (d^2 - \phi^2) \cdot f'_{cu} + \phi^2 \cdot f_{st} \right\} - 106.1 \times 10^3 \quad (2)$$

$$Q_u = 1.45 \left\{ 0.7 (d^2 - \phi^2) \cdot f'_{cu} + \phi^2 \cdot f_{st} \right\} - 26.1 \times 10^3 \quad (3)$$

- Q_u : 孔1個当たりのせん断耐力 (N)
- f'_{cu} : コンクリートの圧縮強度 (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)

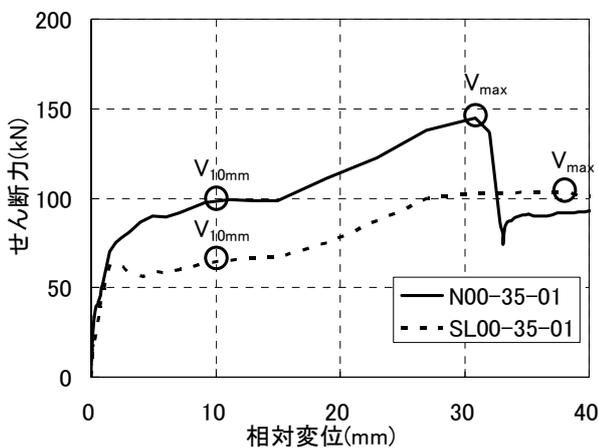


図-1 せん断耐力の定義

2.2 せん断耐力の定義

既往研究¹⁾でのせん断耐力の定義としては、図-1のように大別して2つあり、1つは2面押抜きせん断試験での最大荷重をせん断耐力(V_{max} と定義する。)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} と定義する。)する方法がある。 V_{max} は貫通鉄筋が孔あき鋼板に接触した後の鉄筋破断時の荷重をせん断耐力とする場合や試験の都合により V_{max} が現れる前に試験を終了する可能性があるなど、その定義が不明確であると言える。一方、式(1)の基となったデータの多くは V_{10mm} であり、また通常の試験において、相対変位が10mmであれば貫通鉄筋は孔あき鋼板に接触しないため、本研究では V_{10mm} によってせん断耐力を評価することとする。

2.3 材料試験

材料試験では、普通コンクリート(以下N:normal)および軽量2種コンクリート(以下SL:super-light weight)に繊維混入率0%、施工性を考慮した一般的な限度である1.2%、について、各強度(圧縮、引張、曲げ、せん断)試験を行った。表-1に使用材料、表-2にコンクリート配合を示す。SLの粗骨材および細骨材は全て人工軽量骨材を使用した。普通骨材の最大寸法は20mm、軽量骨材のそれは15mmである。鋼繊維は直径0.62mm、長さ30mmのフックエンド型を使用した。

表-3に、後述するPBLの2面押抜きせん断試験の全試験体のコンクリート強度およびヤング係数を示す。値は、各タイプ3体の平均値である。ここに、引張強度は割裂引張強度試験から求めた。同表より、圧縮強度は、NおよびSLとも繊維混入の効果はほとんど見られないが、引張、曲げ、せん断

表-1 使用材料

材料種類	記号	性質
普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16g/cm ³
普通細骨材	普通S	表乾密度:2.55g/cm ³ 吸水率:1.92%
普通粗骨材	普通G	表乾密度:2.90g/cm ³ 吸水率:1.92%
人工軽量細骨材	軽量S	密度:1.89g/cm ³ 吸水率:16.65%
人工軽量粗骨材	軽量G	密度:1.32g/cm ³ 吸水率:10.92%
高性能AE減水剤	SP	SF500S (ポリカルボン酸化合物)
AE助剤	AE	AE-4
増粘剤	B	ビオポリー
鋼繊維	F	密度:7.85g/cm ³

表-2 コンクリート配合

タイプ	水セメント比 (W/C)	kg/m ³							
		W	C	S	G	SP	AE	B	F
N00-35	50.0	213	427	870	862	1.08	1.00	0	0
N12-35	50.0	211	422	860	852	2.40	0	0	94.0
SL00-35	47.5	233	490	542	408	0	0	1.00	0
SL12-35	47.5	228	480	531	400	4.85	0	1.00	94.0

表-3 試験体種類およびコンクリート材料強度

(a) 試験体種類

タイプ (n=3)	コンクリート 種類	繊維混入率 (%)	孔径 (mm)	
N00-35	普通 (N)	0	35	
N12-35		1.2		
SL00-35	軽量2種 (SL)	0		
SL12-35		1.2		
SL00-50		0		50
SL12-50		1.2		

(b) コンクリート材料強度

タイプ (n=3)	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

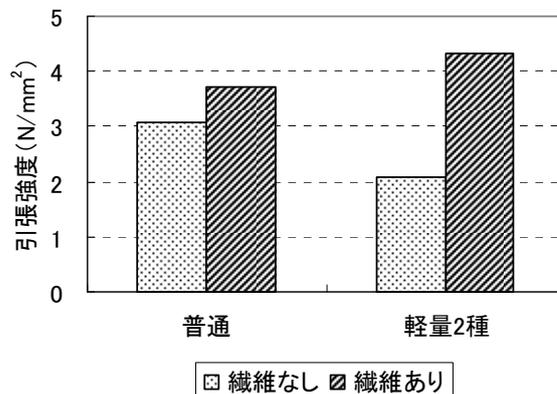
強度は、繊維混入により強度が向上する傾向にある。

各強度の繊維混入効果の比較を図-2に示す。同図のSLは、孔径35mmおよび50mmの平均値である。同図(a)より、引張強度は、繊維を1.2%混入することにより、N、SLはそれぞれ、1.21倍、2.07倍大きくなっている。同図(b)より、曲げ強度は、N、SLはそれぞれ1.56倍、2.31倍大きくなっている。同図(c)より、PBLの押抜きせん断耐力に影響があると考えられる強度試験値であるせん断強度は、N、SLはそれぞれ1.31倍、1.56倍大きくなっている。また、各強度ともSLの方が、繊維混入効果が大きいことがわかる。また、表-3(b)のヤング係数は、Nはコンクリート標準示方書に規定される圧縮強度に対するヤング係数程度であるが、SLはNに比べて6~7割程度小さいことがわかる。

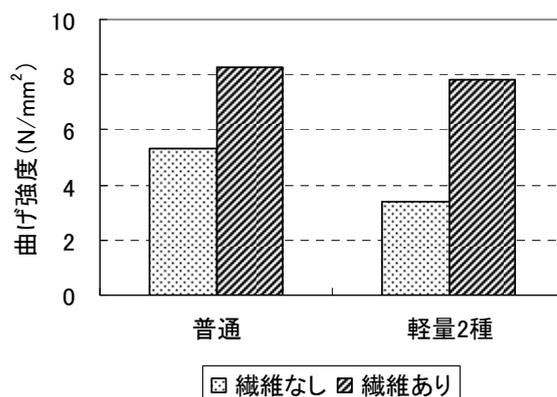
2.4 試験概要

2面押抜きせん断試験の試験体は、表-3に示すようにコンクリート種類(N、SL)、鋼繊維混入の有無(0%、1.2%)、PBLの孔径(35mm、50mm)をパラメータとした。試験体は6種類で各3体用意した。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)」⁴⁾に準じて決定した(図-3)。PBLはSS400、H鋼はSM490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。なお、PBLの表面にはグリスを塗布して、コンクリートとの付着力をなくした。

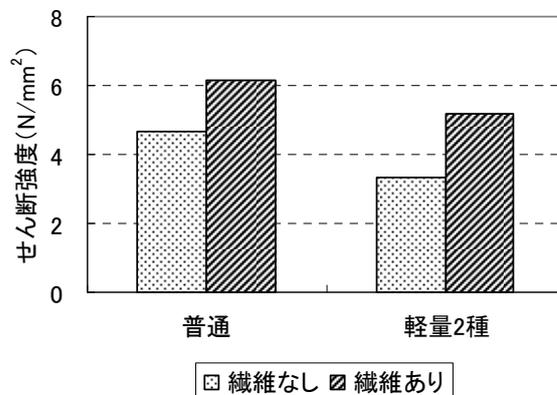
測定は、貫通鉄筋位置でのH鋼とコンクリートブロックの相対変位を測定した。貫通鉄筋には、ひずみゲージを貼付しており、鉄筋中心から31mm、125mmに2枚ずつ貼付した。



(a) 引張強度



(b) 曲げ強度



(c) せん断強度

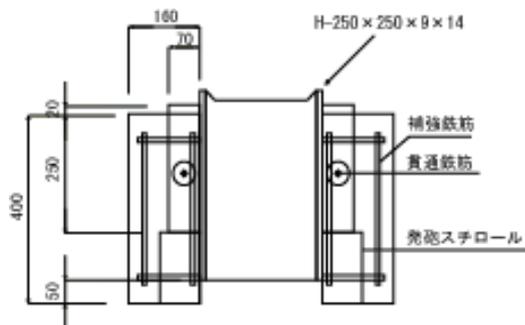
図-2 材料試験結果

载荷は、相対変位を基準に変位増分の繰返载荷(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は漸増载荷したため、せん断耐力の評価には含めないこととした。試験状況を図-4に示す。

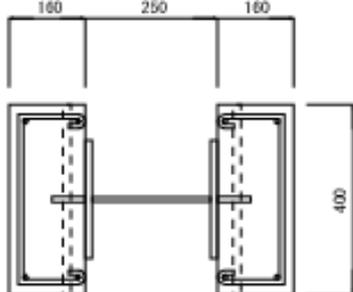
3. 試験結果およびせん断耐力の評価

3.1 せん断耐力およびずれ定数

表-4に試験結果を示す。せん断耐力は孔1個あたりに換算して示している。



(a) 側面図



(b) 平面図 単位 (mm)

図-3 試験体概略図

図-5 に、各タイプのせん断耐力 $V_{10\text{mm}}$ 、 V_{max} の比較を示すが、孔径 35mm の同一試験体において両者には明らかに差があることがわかる。よって、以下は $V_{10\text{mm}}$ について考察を行う。なお、孔径 50mm のいずれの試験体とも、 $V_{10\text{mm}}$ 以降荷重は増加し続け、荷重低下に至る前に H 鋼が試験機のセット面に設置したため荷重を中止した。

孔径 35mm の $V_{10\text{mm}}$ は、SL は N に比べて繊維補強なしは 0.60 倍、繊維補強ありは 0.53 倍と、軽量化により低下している。次に、繊維補強ありは繊維補強なしに対して、N では 1.20 倍、SL では 1.06 倍と繊維補強効果は顕著でないことがわかる。孔径 50mm の場合においても、繊維補強効果はほとんど

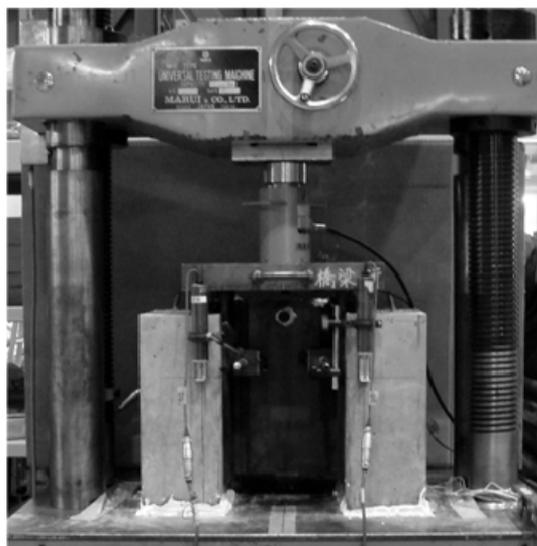


図-4 試験状況

見られなかった。

表-4 には、せん断耐力と併せてずれ定数 ($K_{10\text{mm}}$) も示している。ここでずれ定数とは、作用せん断力-相対変位関係における $V_{10\text{mm}}/3$ 荷重点の初期割線剛性である。図-6 に本試験のずれ定数の結果および保坂らのデータの中で本試験に用いた試験体と同様の貫通鉄筋径 13mm、孔径 35mm を有する試験体¹⁾のずれ定数も併せて示す。本試験結果にはバラツキがあり、軽量 2 種および繊維混入による明確な相関は得られなかった。本試験結果によれば、 $K_{10\text{mm}}=80\sim 2300\text{kN/mm}$ である。また、保坂らのデータと比較すると本試験結果の方が小さい値を示している。

3.2 荷重-相対変位関係

図-7 に荷重-相対変位関係を示す。同図 (a)、(b) より N00-35、N12-35 は荷重が低下することなく荷重が増加していることがわかる。また、

表-4 試験結果

タイプ	No.	孔径 (mm)	f'_{cu} (N/mm ²)	$V_{10\text{mm}}$ (kN)	V_{max} (kN)	$K_{10\text{mm}}$ (kN/mm)	計算値(式(1)) (kN)	$V_{10\text{mm}}/\text{計算値}$	$V_{\text{max}}/\text{計算値}$
N00-35	1	35	39.8	97.2	145	450	175	0.56	0.83
	2			108	153	216		0.62	0.87
	3			—	—	—		—	—
	平均			103	149	333		0.59	0.85
N12-35	1	35	32.5	104	174	647	163	0.64	1.06
	2			112	195	241		0.69	1.19
	3			131	178	400		0.80	1.09
	平均			116	182	429		0.71	1.11
SL00-35	1	35	40.2	63.2	102	141	175	0.36	0.58
	2			65.8	103	404		0.38	0.59
	3			58.4	97	1868		0.33	0.56
	平均			62.4	101	804		0.36	0.58
SL12-35	1	35	41.0	62.2	121	460	176	0.35	0.68
	2			72.3	120	2240		0.41	0.68
	3			66.3	149	2120		0.38	0.84
	平均			66.9	130	1607		0.38	0.74
SL00-50	1	50	37.7	79.2	—	90.4	241	0.33	—
	2			83.1	—	88.3		0.34	—
	3			85.8	—	117		0.36	—
	平均			82.7	—	98.5		0.34	—
SL12-50	1	50	36.1	79.4	—	160	236	0.34	—
	2			69.5	—	181		0.29	—
	3			99.0	—	128		0.42	—
	平均			82.6	—	156		0.35	—

N00-35-03, N12-35-03 は相対変位 9mm 程度で荷重が急増していることがわかる。これは、貫通鉄筋が孔あき鋼板に接触したためと考えられる。同図(c)より、SL は相対変位 2mm 程度で荷重低下が顕著に見られる。一方、N, SL とともに、繊維混入の有無による曲線の差はほとんど見られず、繊維補強による明確な効果は得られなかった。

3.3 孔内部コンクリートの破壊状況

図-8 に孔内部コンクリートの破壊状況を示す。試験では、貫通鉄筋が孔あき鋼板に接触するまで載荷を続けた。荷重の増加とともに、まずは鉄筋上部のコンクリートが圧壊、粉状化し、最終的には写真に示すように鉄筋が孔あき鋼板に接触していることがわかる。また、孔径 50mm では、孔内に粗骨材があることを確認できた。

V_{10mm} において繊維補強による差はほとんどなかったが、その要因としては貫通鉄筋の影響が考えられる。図-9 に、貫通鉄筋なしとありの孔内部コンクリートの破壊メカニズムを示す。貫通鉄筋がない場合は、孔あき鋼板両側面のコンクリートがせん断破壊することは自明である。そのため、今回は試験で明らかにしていないが、貫通鉄筋がない PBL に繊維を混入した場合、材料試験値であるせん断強度と同様に、せん断耐力も向上すると考えられる。しかし、貫通鉄筋がある場合は、貫通鉄筋により孔内部および孔あき鋼板両側面のコンクリートが受けるせん断力は分散されたため、コンクリートのせん断破壊が先行して起きることはなく、貫通鉄筋上部のコンクリートの圧縮破壊が先行して生じるため、繊維補強効果が顕著に現れなかったと推察される。

3.4 せん断耐力の評価

図-10 は、孔 1 個当たりのせん断耐力と $(d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu} + \phi^2 \cdot f_{st}$ の関係に本試験結果および式(1)の基になったデータを併せて示している。下図は上図の拡大図である。ここで、式(1)のデータは V_{10mm} ,

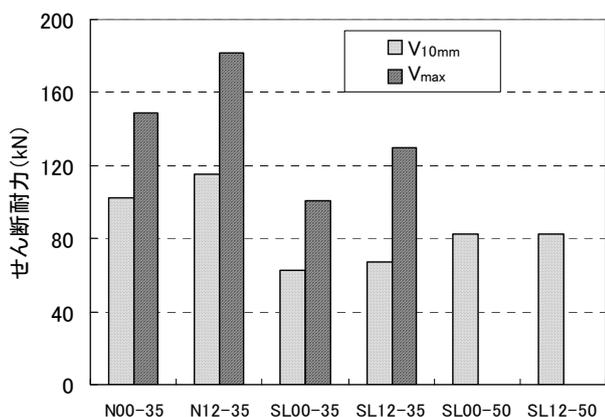


図-5 せん断耐力

V_{max} が混合しているため、本論文では敢えて両者のデータをわけて、 V_{10mm} データのみによる回帰式(全データ式 (V_{10mm})) を式(4)として、試験結果と比較した。式(4)の導出においては、式(1)のデータだけでなく、本研究で収集した既往研究データ^{5), 6), 7), 8)}も含めている。

普通コンクリート (全データ式 (V_{10mm}))

$$Q_u = 1.26 \left\{ (d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu} + \phi^2 \cdot f_{st} \right\} - 28.3 \times 10^3 \quad (4)$$

まず、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、表-4に示すように、N00-35の V_{10mm} /計算値は 0.56, 0.62 と式(1)では本試験結果を評価できていないことがわかる。ただし、N00-35は式(4)をやや下回ったが、式(4)の下限値式(図-10中の凡例を参照)よりも上回っているため、試験結果は妥当だと言える。SLの場合、孔径 35mm, 50mm とともに、式(4)を大幅に下回っており、式(4)に低減係数を乗じて評価する必要があると考えられる。

図-11には、貫通鉄筋降伏時の荷重と相対変位の関係を示している。同図より、降伏荷重は N と SL とともにほぼ同じであるが、その時の相対変位は SL よりも N の方が小さいことがわかる。また、繊維混入した場合や孔径が大きいほどその時の相対変位が小さいことがわかる。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、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。粉状化が起こると、貫通鉄筋とコンクリート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。また、孔径 35mm と 50mm においては、図-8で確認されたように孔径 50mm の方が孔の中により多くの粗骨材が入り、コンクリート強度が大きくなったからであると考えられる。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。

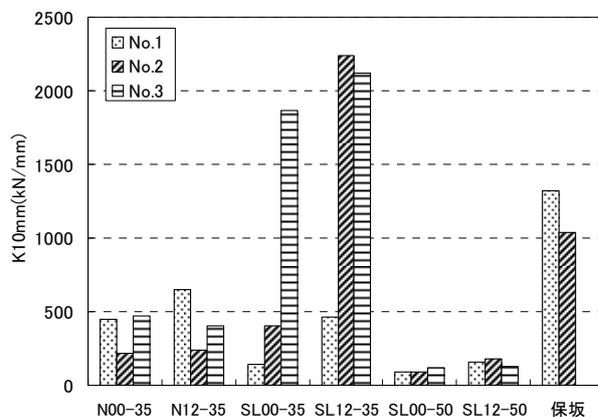
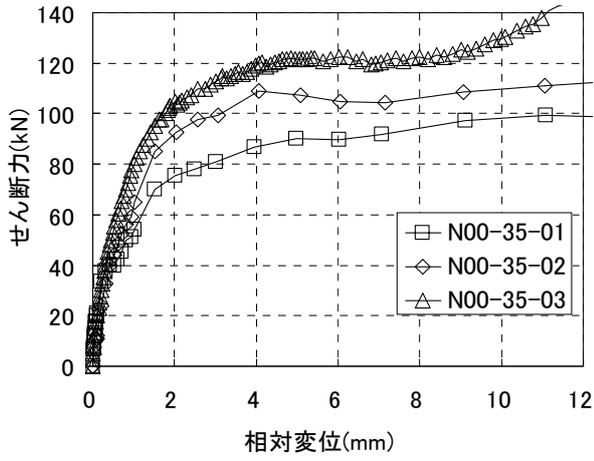
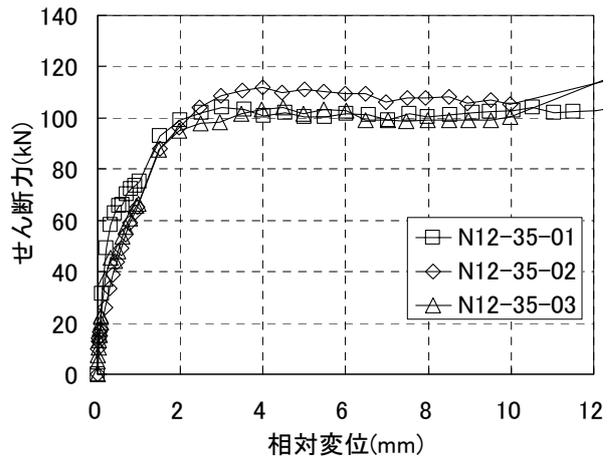


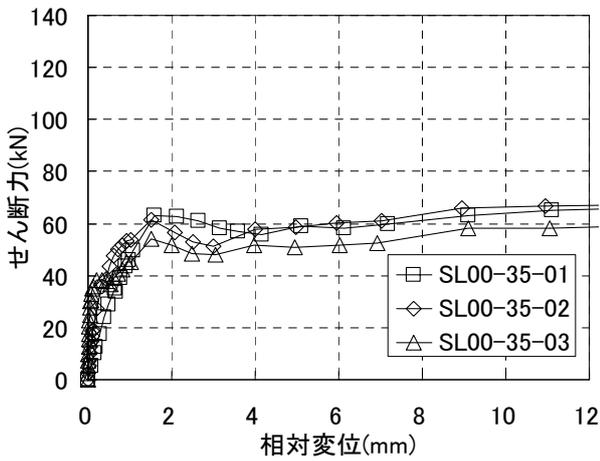
図-6 ずれ定数



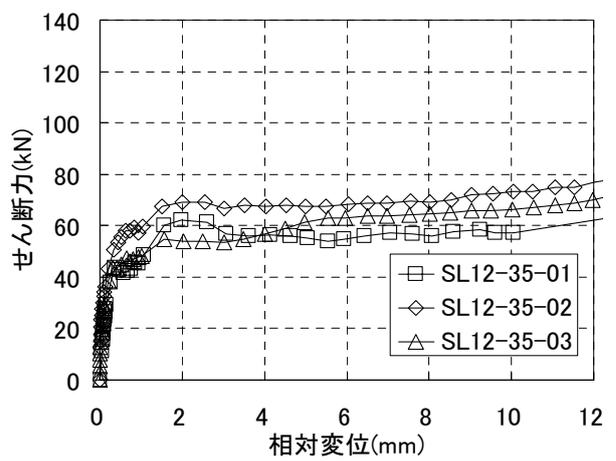
(a) N00-35



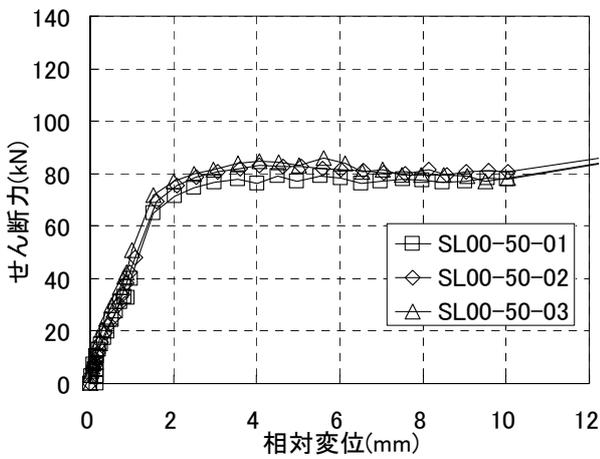
(b) N12-35



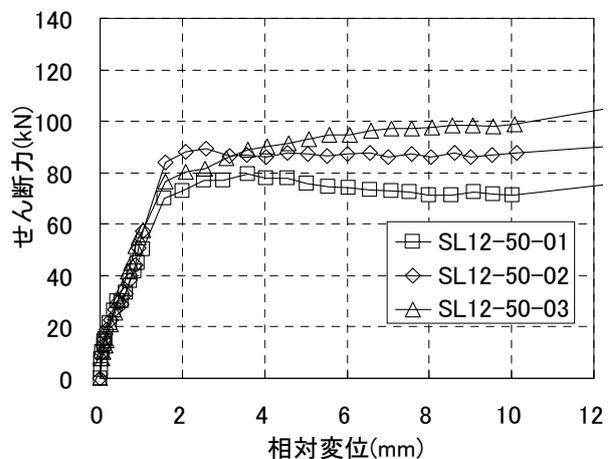
(c) SL00-35



(d) SL12-35



(e) SL00-50



(f) SL12-50

図一7 荷重—相対変位関係

このようにNとSLでは、せん断耐力式のコンクリート項のみならず、鉄筋が受け持つ力が異なるため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 $(d^2 - \phi^2) \cdot f_{cu}$ および鉄筋項 $\phi^2 \cdot f_{st}$ それぞれに低減係数 β_1 , β_2 を乗じた式を提案する。なお、本研究結果の範囲内では、せん断耐力に繊維補強効果は見られなかったため、ここではN00-35およびN12-35の V_{10mm} の平均値をNの平均値とする。 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

式(4)による計算値と等しくなる値とした。

図-12に β_1 と β_2 の関係を示す。本研究結果からはSL00-35, SL12-35, SL00-50, SL12-50の4本の線分を示すことができるが、各線分の交点は、 β_1 は0.5程度、 β_2 は0.7程度に集中することがわかった。これは、鋼繊維混入の有無に関わらずSLのPBLのせん断耐力は、Nのせん断耐力のコンクリート項は5割程度、鉄筋項は7割程度であることを意味している。

4本の線分のうち、交点が最も小さい値であったSL00-35とSL00-50の交点は(0.50, 0.74)であるので、ここでは $\beta_1=0.50$, $\beta_2=0.74$ として軽量2種コ

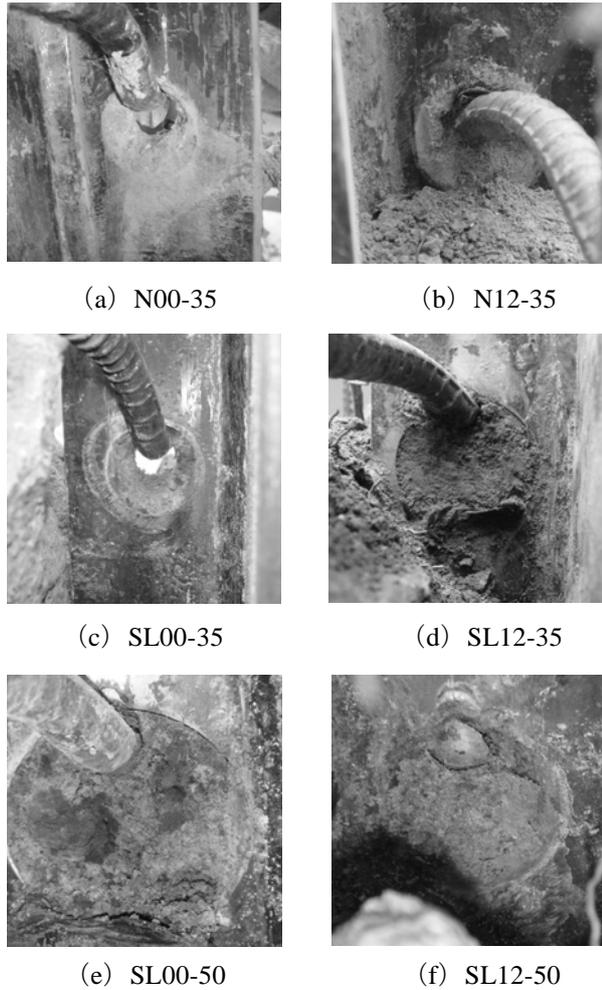
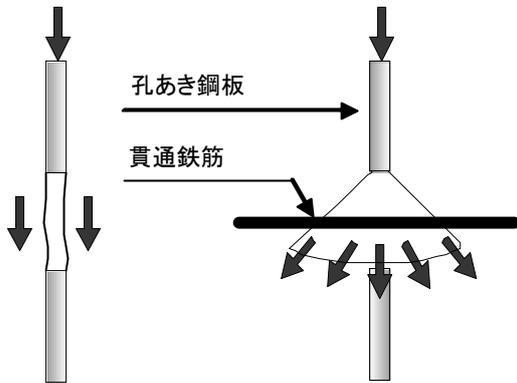


図-8 破壊状況



(a) 貫通鉄筋なし (b) 貫通鉄筋あり
図-9 孔内コンクリートの破壊メカニズム

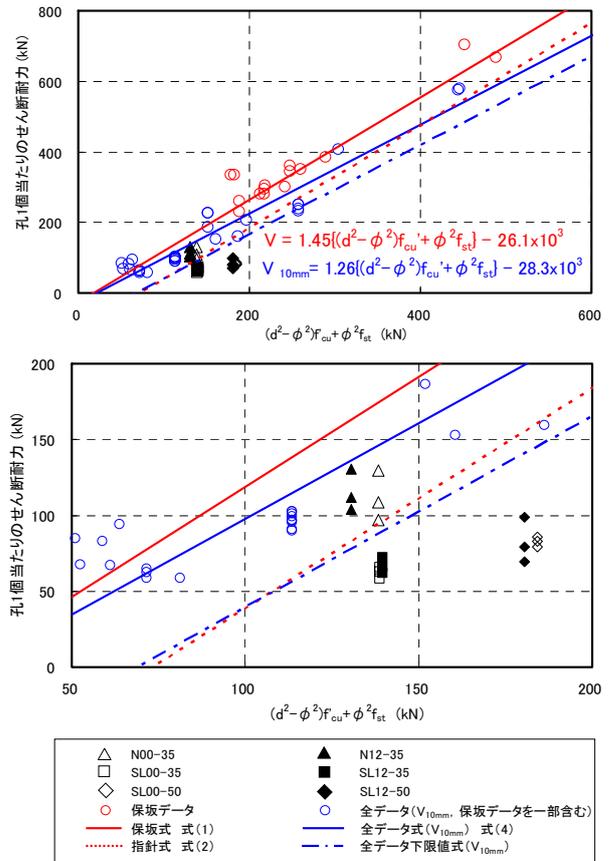


図-10 せん断耐力の評価

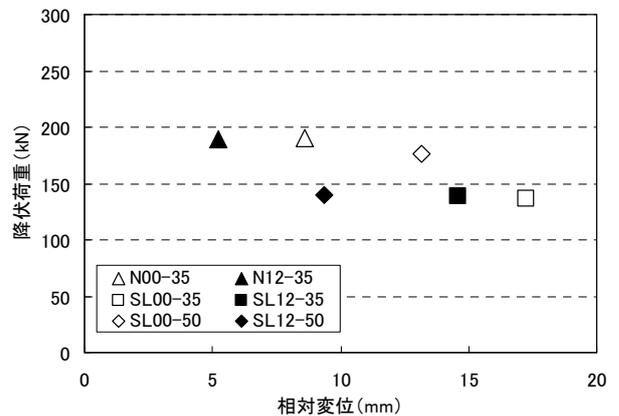


図-11 貫通鉄筋の降伏荷重および相対変位

ンクリートを用いる場合の低減係数とする。以下に、 V_{10mm} で評価する普通および軽量 2 種コンクリートのせん断耐力式を示す。

軽量 2 種コンクリート

$$Q_u = 1.26 \{ \beta_1 (d^2 - \phi^2) \cdot f'_{cu} + \beta_2 \phi^2 \cdot f_{st} \} - 28.3 \times 10^3 \quad (5)$$

$$\beta_1 = 0.50, \beta_2 = 0.74$$

図-13 に式 (5) で算定した本試験結果 (SL00-35, SL12-35, SL00-50, SL12-50) を示す。SL00-35, SL12-35 は、横軸 140 程度から 90 程度へ、SL00-50, SL12-50 は、横軸 180 程度から 120 程度へ移り、軽量 2 種コンクリートにおいても式 (4) とその下限値式の範囲内に算定されており、普通コンクリートと同様に評価できることがわかる。

4. まとめ

本研究では、鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートを用いた PBL の押抜きせん断試験を行い、以下の知見が得られた。

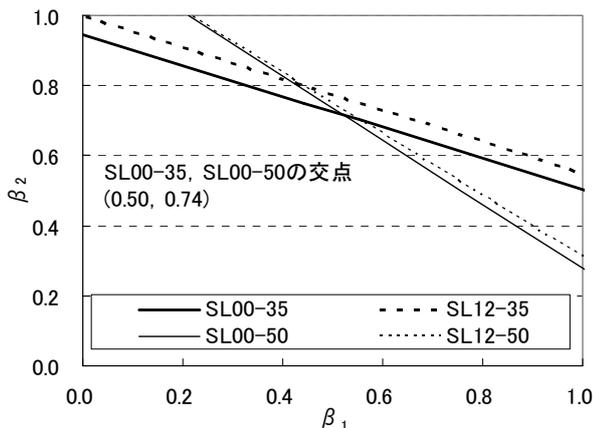


図-12 低減係数

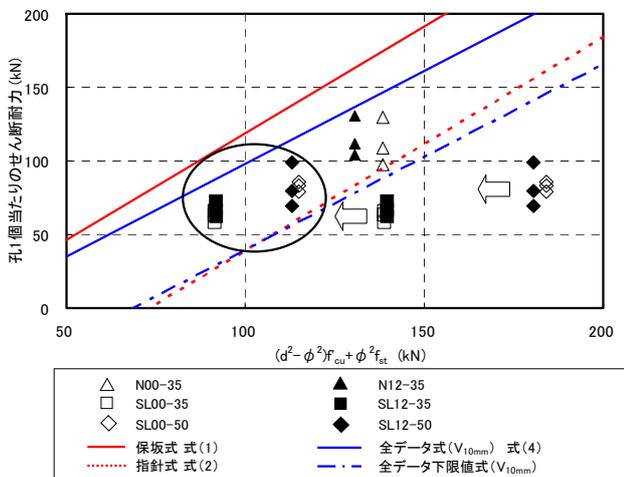


図-13 せん断耐力の評価

- (1) 繊維混入の有無に限らず軽量 2 種コンクリートを用いた PBL のせん断耐力は、4 割程度低下する。
- (2) 繊維混入によるせん断耐力の向上は、コンクリートの種類に関わらずほとんど期待できない。これは貫通鉄筋の影響であり、破壊形式がせん断破壊ではなく、鉄筋上部での圧縮破壊であったためと考えられる。
- (3) 本試験の範囲内では、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートの PBL のせん断耐力は、相対変位 10mm までの最大せん断力により求めた、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。

謝辞

研究を遂行するにあたり材料提供をしていただきました太平洋セメント株式会社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 保坂鐵矢, 光木香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橘吉宏, 渡辺滉: 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, 2000.3.
- 2) 土木学会: 複合構造の性能照査指針(案), 2002.
- 3) 鈴木喜弥, 阿部久義, 児島哲朗, 橘吉宏, 平城弘一: 軽量骨材コンクリートを用いたジベル押抜きせん断試験, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集, pp.987-988, 2003.9.
- 4) 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.
- 5) 鈴木統, 上田多門, 古内仁: 孔あき鋼板ジベルの押し抜きせん断耐力に関する基礎的実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 1 部(A), pp.300-301, Vol.54, 1999.
- 6) 日向雅裕, 藤井堅, 深田和宏, 道管裕一: 並列配置された孔あき鋼板ジベルの終局ずれ挙動, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1-10, 2007.3.
- 7) 藤井堅, 有吉孝文, 藤村伸智: 孔あき鋼板ジベルを用いた合成桁の曲げ挙動, 構造工学論文集 Vol.47A, pp.1381-1390, 2001.3.
- 8) 田中一夫, 米田達則, 枝元勝哉, 北川幸二, 嶋田修, 要田章光: 孔あき鋼板ジベルの合成床版橋への適用について, 複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, Vol.6, pp.37-1-37-8, 2005.

(2008 年 9 月 18 日受付)