

論文 SFRC材の特性値およびSFRC床版の押抜きせん断耐荷力の評価に関する研究

伊藤清志^{*1}・阿部 忠^{*2}・澤野利章^{*3}・深川克彦^{*4}

要旨：本研究は、鋼繊維補強コンクリートで製作した SFRC 床版における押抜きせん断耐荷力について検証する。実験では SFRC 材の特性値の評価としてコンクリートの圧縮強度 20N/mm^2 から 80N/mm^2 の範囲で、割裂試験による引張強度および一面せん断試験によるせん断強度を評価し、圧縮強度を変数としたそれぞれの強度推定式を提案した。また、これらの SFRC 材で製作した RC 床版を用いて走行荷重実験を行い、押抜きせん断耐荷力を得て、SFRC 材の特性値を適用した押抜きせん断耐荷力推定式に適用し、実験値との整合性を検証した。その結果、SFRC 材の特性値の 0.85 倍を適用することで理論押抜きせん断耐荷力と実験耐力とが近似した。

キーワード：SFRC 床版, 走行荷重, 押抜きせん断耐荷力, 破壊メカニズム

1. はじめに

道路橋 RC 床版の耐荷力の評価式には押抜きせん断耐荷力式が用いられ^{1), 2), 3), 4)}, RC 床版の耐荷力を評価するとともに寿命推定式である S-N 曲線式にも適用されている。一方、筆者ら^{5), 6), 7)}は RC 床版と比べて耐荷力性能および耐疲労性の向上を図る材料として普通セメントおよび早強セメントに鋼繊維を配合した鋼繊維補強コンクリート (SFRC) で製作した SFRC 床版を提案した。また、SFRC 材の一面せん断試験によるせん断強度および割裂試験による引張強度を得て、これらを RC 床版の押抜きせん断耐荷力式^{3), 4)}に適用し、SFRC 床版の破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力と実験耐荷力が近似することを報告した⁷⁾。しかし、これらの特性値は、SFRC 床版に用いた SFRC 材のみで検証した結果であり、押抜きせん断耐荷力式に適用するためには SFRC 材の圧縮強度とせん断強度および圧縮強度と引張強度の関係を定量的に評価する必要がある。

そこで本研究は、道路橋に用いる SFRC 床版を対象とすることから、普通セメントに $\phi 0.62\text{mm}$, 長さ 30mm の鋼繊維を $1.27\text{Vol.}\%$ で混入した SFRC 材の圧縮強度が $25\text{N/mm}^2 \sim 70\text{N/mm}^2$ の範囲の円柱供試体を用いて、一面せん断試験によるせん断強度および割裂試験による引張強度を実験より評価し、圧縮強度とせん断強度および圧縮強度と引張強度の関係から推定式を提案した。また、阿部ら^{3), 4)} (以下、文献 3), 4)とする) が提案する RC 床版の押抜きせん断耐荷力式に本論文で提案する引張強度およびせん断強度推定式を適用した場合の SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ と実験による最大耐荷力との整合性を検証した。

2. 押抜きせん断耐荷力の検証

2.1 RC床版の押抜きせん断耐荷力

RC 床版の押抜きせん断耐荷力に関する研究については多くの研究者の実験研究により破壊モードに基づいた押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式が提案されている。例えば、輪荷重の影響を受ける RC 床版の押抜きせん断耐荷力式に関して、松井ら^{1), 2)}は鉄筋に丸鋼が使用されている 1964 年の設計基準および一部に異形鉄筋を配置した RC 床版を用いた実験に基づき押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式を提案している。これは、輪荷重走行によって発生する主鉄筋の貫通ひび割れによって形成されるはり状化された幅「はり幅 B」を考慮した提案式であり、はり幅 B は RC 床版の走行方向に輪荷重幅が配力筋の有効高さまで 45 度で分布するものとし、また、主鉄筋方向の中立軸位置の範囲にコンクリートのせん断強度 τ_{max} , また設置面から 45 度下縁のダウエル効果の影響を受ける範囲には岡村⁸⁾によるコンクリートの引張強度 f_t が及ぼすものとして解析されている。

一方、文献 3), 4)は 1994 年改定の道路橋示方書・同解説 (以下、道示とする)⁹⁾に基づいた 1/2, 3/5 モデルの供試体の輪荷重走行実験を行い、破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力モデルおよび耐荷力式を提案している。これは輪荷重の軸直角方向および軸方向それぞれの辺長の設置面から 45 度下縁に分布するものとし、限界状態における等価応力ブロック a の範囲にはコンクリートのせん断強度 f_{cv0} の影響、ダウエル効果の影響をうける範囲には松井式と同様に岡村⁸⁾によるコンクリートの引張強度 f_t が及ぼすものとしてモデル化している。

*1 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻博士後期課程 (学生会員)

*2 日本大学教授 生産工学部 博士(工学) (正会員)

*3 日本大学教授 生産工学部 工博 (正会員)

*4 (株)ケミカル工事 特殊機工部

2.2 SFRCのせん断強度および引張強度試験

松井らや筆者らが提案する押抜きせん断耐力評価式には、松井らや筆者らがそれぞれ提案するコンクリートのせん断強度 τ_{max} および岡村が提案する割裂試験による引張強度 σ_t が適用されることから、押抜きせん断耐力の評価にコンクリート材のせん断強度 τ_{max} およびコンクリートの引張強度 σ_t が重要となる。そこで、SFRC床版においても、せん断強度および引張強度を評価する必要がある。

3. SFRCのせん断強度および引張強度試験

3.1 せん断強度および引張強度試験に用いるSFRC材の配合条件および寸法

(1) SFRC材の配合条件および供試体寸法

SFRC 材の一面せん断試験および割裂試験に用いる試験体には、普通セメントに 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。また、鋼繊維は全供試体ともに $\phi 0.6\text{mm}$ 、長さ 30mm を 1.27Vol.% で混入した。SFRC 材の目標圧縮強度はそれぞれ 25N/mm²、35N/mm²、50N/mm²、65N/mm² とし、その配合条件を表-1に示す。

次に、一面せん断試験および割裂試験に用いる試験体の寸法は、 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を製作し、圧縮強度とせん断強度および圧縮強度と引張強度の関係を評価することから供試体は 25N/mm² から 65N/mm² 強度の範囲でそれぞれ 6 体製作した。なお、一面せん断試験および割裂試験には、既往の研究 7) で得た SFRC 床版供試体に用いた SFRC 材も 6 体も含めた。

(2) 一面せん断試験方法

一面せん断試験は、モード II 型（縦ずれ）のせん断試験装置を用いて実施した^{3), 4)}。ここで、モード II 型の一面せん断試験装置およびせん断面を図-1に示す。試験方法は、モード II 型の一面せん断試験装置に $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 円柱供試体を挿入し、コンクリートの圧縮荷重法 JIS A 1108 の規定に基づき、加圧速度を毎秒 0.6N/mm² で荷重荷重を行った。このせん断強度はモード II 型による一面せん断試験によって得られる SFRC のせん断応力度 τ_{max} とし、式(1)より算出する。

$$\tau_{max} = P/A_s \quad (1)$$

ここで、 τ_{max} : SFRC の一面せん断応力度 (N/mm²)、 P : 破壊荷重 (N)、 A_s : 一面せん断破壊面積 (mm²)

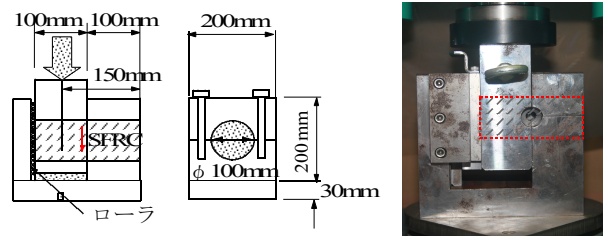
以上より、SFRC の一面せん断試験によるせん断強度 $\tau_{max,S}$ と圧縮強度 $f_{c,S}$ の関係を図-2に示す。

(3) 一面せん断強度

阿部ら^{3), 4)}は、繊維無しコンクリートの圧縮強度 $f_c = 20\text{N/mm}^2 \sim 80\text{N/mm}^2$ の範囲の一面せん断試験を行い、せん断強度 f_{cv0} と圧縮強度 f_c の関係を式(2)として提案している。

表-1 SFRC材の配合条件

目標強度	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (C×%)	AE (C×%)
				C	W	S	G	SF		
25N/mm ²	8.0 ±2.5	66.0	51.1	258	170	924	914	100	1.0	0.003
35N/mm ²	8.0 ±2.5	56.0	53.0	302	160	803	1019	100	2.0	0.004
50N/mm ²	8.0 ±2.5	41.0	53.9	427	175	890	788	100	2.0	0.004
65N/mm ²	8.0 ±2.5	37.0	53.2	473	175	859	781	100	2.3	0.005



(1) 寸法および供試体の配置 (2) 試験装置装

図-1 一面せん断試験装置

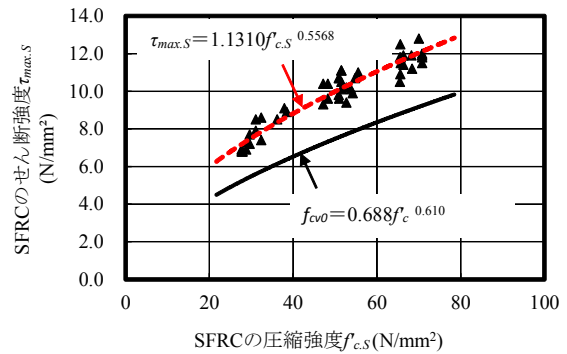


図-2 せん断強度と圧縮強度の関係

$$f_{cv0} = 0.688 f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2 \quad (2)$$

ここで、 f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

式(2)より評価した、繊維無しコンクリートのせん断強度と圧縮強度の関係を図-2に併記した。

SFRC のせん断強度は図-2に示すように、多少のバラツキが見られる。これは、供試体内部における鋼繊維の分散状態によるものと考えられる。また、SFRC は圧縮強度が高くなるとせん断強度も増加している。よって、SFRC 材の圧縮強度 $f_{c,S}$ を変数としたせん断強度 $\tau_{max,S}$ の累乗近似から得られた推定式を式(3)として与える。なお、相関係数は $R^2 = 0.921$ である。

$$\tau_{max,S} = 1.1310 f_{c,S}^{0.5568} \quad (3)$$

ここで、 $\tau_{max,S}$: せん断強度 (N/mm²)、 $f_{c,S}$: SFRC の圧縮強度 (N/mm²)

繊維なしコンクリートのせん断強度に対して SFRC のせん断強度は約 1.5 倍の強度を有し、押抜きせん断耐力の向上に大きく寄与するものである。

3.2 SFRCの割裂試験による引張強度

コンクリート標準示方書¹⁰⁾における割裂引張試験は

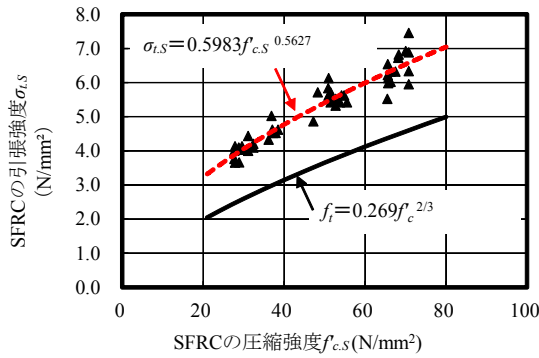


図-3 引張強度と圧縮強度の関係

JIS A 1113, 供試体の製作は JIS A 1132 に基づき、φ100mm×200mm の供試体を用いた。

繊維なしのコンクリートの割裂試験による引張強度の算定式として岡村式⁸⁾が提案され、式(4)として与えられている。

$$f_t = 0.269 f_c^{2/3} \quad (4)$$

ここで、 f_t : 引張強度 (N/mm²), f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

本実験による割裂試験による引張強度 $\sigma_{t,s}$ と圧縮強度 $f_{c,s}$ の関係を図-3に示す。また、岡村式によるコンクリートの圧縮強度と引張強度の関係も図-3に併記した。図-3より、SFRC 材の割裂試験による引張強度 $\sigma_{t,s}$ と圧縮強度 $f_{c,s}$ の関係は、圧縮強度が 25N/mm² ~ 35N/mm² 付近までは引張強度に大幅な差異は見られないが、圧縮強度が 60N/mm² ~ 65N/mm² の範囲はやや差異が生じている。ここで、圧縮強度 $f_{c,s}$ を変数とした場合の引張強度 $\sigma_{t,s}$ の累乗近似から得られた推定式は式(5)として与えられる。なお、相関関係は $R^2 = 0.922$ である。

$$\sigma_{t,s} = 0.5983 f_{c,s}^{0.5627} \quad (5)$$

ここで、 $\sigma_{t,s}$: SFRC の引張強度 (N/mm²), $f_{c,s}$: SFRC の圧縮強度 (N/mm²)

4. RC床版・SFRC床版の輪荷重走行実験

4.1 供試体の使用材料および材料特性値

RC 床版供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。ここで、RC 床版の配合条件を表-2、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-3に示す。また、鉄筋には SD295A, D10 を使用した。

次に、SFRC 床版供試体 SFRC-普1 および SFRC-普2 のコンクリートには、RC 床版同様に普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を用いた。また、鋼繊維には φ0.62mm, 長さ 30mm を 1.27Vol.% で混入した。供試体 SFRC-普1 の目標圧縮強度は材齢 28 日で 30N/mm², および供試体 SFRC-普2

表-2 RC床版およびSFRC床版の配合

供試体	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (B×%)	AE (B×%)
				C	W	S	G	SF		
RC	8.0 ±2.5	53.0	45.0	302	160	803	1019		2.00	
SFRC-普1	8.0 ±2.5	53.0	45	302	160	803	1019	100	2.00	0.004
SFRC-普2	8.0 ±2.5	41.0	53.9	427	175	890	788	100	2.00	0.004

表-3 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A, D10)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC	35.0	368	513	200
SFRC-普1	37.5	368	513	200
SFRC-普2	53.6	368	513	200

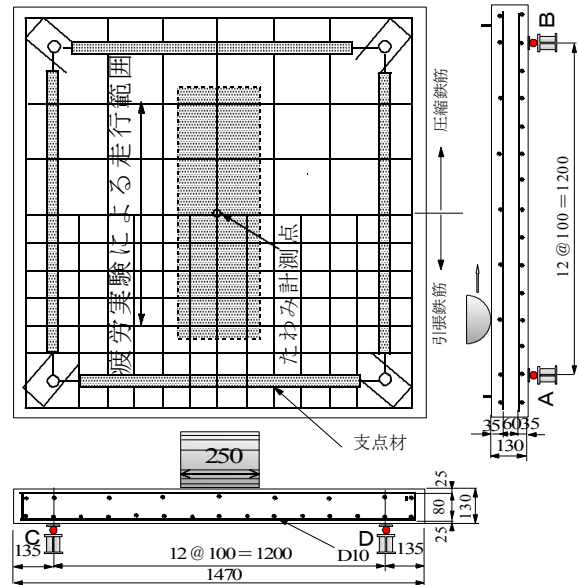


図-4 供試体寸法および鉄筋配置

は 40N/mm² とし、その配合条件を表-2に併記した。

次に、鉄筋は RC 床版供試体と同様に D10 を用いた。SFRC 材の圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-3に併記した。

4.2 輪荷重走行実験

(1) 供試体寸法および鉄筋配置

RC 床版供試体および SFRC 床版供試体は 1994 年改訂以降の道示⁹⁾に準拠し、その 1/2 モデルとする。RC 床版および SFRC 床版供試体の寸法は、全長 1,470mm, 支間 1,200mm, 厚さ 130mm, 鉄筋は D10 を用いて複鉄筋配置とした。引張側は軸直角方向および軸方向ともに 100mm 間隔に配置し、圧縮側の鉄筋量は引張鉄筋量の 1/2 とする。軸直角方向および軸方向の有効高さは、それぞれ、105mm, 95mm である。供試体寸法および鉄筋配置を図-4に示す。

(2) SFRC床版供試体作成

床版供試体の製作における SFRC の製造は移動式モーター車を用いた。普通セメントを用いた SFRC の製造方

法には生コンプラントで製造し、アジテータトラックで運搬したコンクリートに施工現場にて鋼繊維をアジテータトラックに直接投入する方法もあるが、生コンプラントから遠い山間部などを想定した。SFRC を練り混ぜした後、直ちに鉄筋を配置した型枠に打ち込み、パイプレーターで締め固め後に、表面仕上げを行い、養生した。

(3) 走行荷重実験方法

本実験では、RC 床版および SFRC 床版に一定な荷重が作用した場合の最大耐荷力を検証する。走行荷重実験は RC 床版および SFRC 床版の軸方向中央を起点に図-4に示す支点 A から支点 B 方向に走行し、元の中央までの一往復を走行させる実験である。本実験では中央から支点 A 方向および B 方向に 450mm、すなわち 1 走行 900mm を往復走行させる。荷重は 1 走行ごとに 10kN ずつ増加させ、一走行維持した最大荷重を最大耐荷力とする。

5. 実験および理論押抜きせん断耐荷力

5.1 実験押抜きせん断耐荷力

(1) RC床版

走行荷重実験における RC 床版および SFRC 床版の実験最大耐荷力を表-4に示す。RC 床版の走行荷重実験における最大耐荷力は供試体 RC-1 は 172.5kN、RC-2 は 171.5kN であり、耐荷力の平均は 172.0kN である。これを基準に SFRC 床版供試体 SFRC の耐荷力を評価する。

(2) SFRC床版

供試体 SFRC-普 1-1 の最大荷重は 210.8kN、供試体 SFRC-普 1-2 の最大荷重は 215.3kN であり、平均最大耐荷力は 213.1kN である。RC 床版の供試体の最大耐荷力の平均と比較すると耐荷力が 1.24 倍向上している。また、供試体 SFRC-普 2-1 の最大荷重は 248.8kN、供試体 SFRC-普 2-2 の最大荷重は 245.3kN であり、平均最大耐荷力は 247.1kN である。RC 床版の供試体の最大耐荷力の平均と比較すると耐荷力が 1.44 倍向上している。

以上より、両供試体ともに $\phi 0.6\text{mm}$ 、長さ 30mm の鋼繊維を 1.27Vol.% で混入しことにより、SFRC 床版の耐荷力がそれぞれ 1.24、1.44 倍向上する結果となった。また、供試体 SFRC-普 1 に対して供試体 SFRC-普 2 の耐荷力が 1.16 倍向上しているが、これは圧縮強度の差によるものである。

5.2 理論押抜きせん断耐荷力

(1) 押抜きせん断耐荷力式

道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐荷力の評価式として松井ら^{1), 2)}や阿部ら^{3), 4)}は、それぞれの押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式を提案している。本論文では、輪荷重走行実験から評価された阿部ら^{3), 4)}が提案する押抜きせん断耐荷力式より、SFRC 床版の押抜きせん断耐

表-4 実験最大耐荷力および耐荷力比

供試体	最大耐荷力 (P_{max}) (kN)	最大耐荷力の 平均 (kN)	耐荷力比
RC-1	172.5	172.0	—
RC-2	171.5		
SFRC-普1-1	210.8	213.1	1.24
SFRC-普1-2	215.3		
SFRC-普2-1	248.8	247.1	1.44
SFRC-普2-2	245.3		

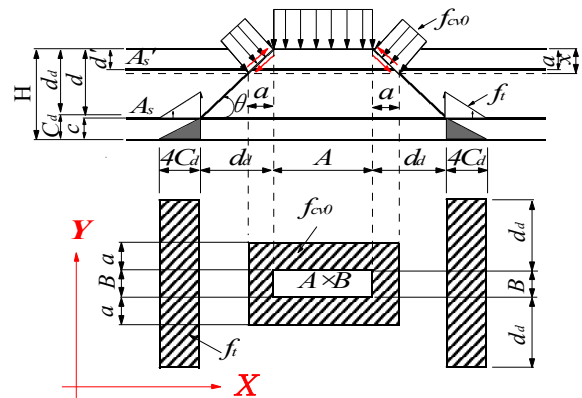


図-5 走行荷重が作用する押抜きせん断力学モデル

荷力を検証する。ここで、阿部らが提案する押抜きせん断力学モデルを図-5、破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max}$ を式(6)に示す。

$$P_{s,max} = f_{cv0}\{2(B+2a)a+2(A \times a)\} + f_t\{4(2d+B)Cd\} \quad (6)$$

$$\text{ただし, } f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2 \quad (6.1)$$

$$f_t = 0.269f_c^{2/3} \quad (6.2)$$

ここで、 A : 載荷版の主鉄筋方向の辺長 (mm)、 B : 載荷版の配力筋方向の辺長 (mm)、 a : 主鉄筋方向 (a_x) と配力鉄筋方向 (a_y) の等価応力ブロックの平均値 (mm)、 $(= (a_x + a_y)/2)$ 、 C_d : 主鉄筋のかぶり (C_x) と配力筋方向のかぶり (C_y) の平均値 (mm) ($C_d = (C_x + C_y)/2$)、 d : 主鉄筋の有効高さ (d_x) と配力筋方向の有効高高さ (d_y) の平均値 (mm) ($= H - C_d$)、 H : 床版全厚 (mm)、 f_{cv0} : コンクリートのせん断強度 (N/mm^2)^{3), 4)}、 f_t : コンクリートの引張強度 (N/mm^2)⁸⁾、 f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力式(6)における主鉄筋および配力筋方向の等価応力ブロックの平均値 a ($= (a_x + a_y)/2$) の範囲には、コンクリートのせん断強度 f_{cv0} による押抜きせん断耐荷力と主鉄筋および配力筋方向のかぶりの平均値 C_d ($= (C_x + C_y)/2$) は、コンクリートの引張強度 f_t による押抜きせん断耐荷力を求め、その合計である。そこで、主鉄筋、配力筋方向の等価応力ブロック a は式(7)として与えられる。なお、式(7)における等価応力ブロック a は、引張鉄筋は降伏するものの圧縮鉄筋は降伏しない場合の一般式であり、通常は鉄筋の降

伏強度 f_{fd} を適用するが、本論文では破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力を算定することから引張強度 f_y を用いた。また、等価応力ブロック a は、主筋方向 a_x 、配力筋方向 a_y をそれぞれ求め、その平均値とした。また、有効幅 b はモデル化した供試体であることからせん断スパン比を除いた距離 ($b = L - (2.5d_v \times 2)$)、 d_v ：配力筋方向の有効高)とする。なお、実橋床版においては $b = 1,000\text{mm}$ とする^{4), 5)}。

$$a/d = \frac{m/2[p-p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)]}{+\sqrt{\{p-p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)\}^2 + p' \cdot 4\beta/m \cdot d'/d \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y}} \quad (7)$$

ただし、 $m = f_y/0.85f'_c$ 、 $p = A_s/b \cdot d$ 、 $p' = A'_s/b \cdot d$

ここで、 f_y ：鉄筋の引張強度 ($= 513\text{N/mm}^2$ (表-2))、 A_s ：引張側の鉄筋量 (mm^2)、 A'_s ：圧縮側の鉄筋量 (mm^2)、 d ：有効高さ (mm)、 d' ：圧縮縁から圧縮鉄筋の図心までの距離 (mm)、 b ：部材幅 (mm)、 E_s ：鉄筋のヤング係数 ($= 200\text{kN/mm}^2$)、 ϵ'_{cu} ：コンクリートの終局ひずみ ($= 0.0035$)、 f'_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)、 $\beta = 0.8$

(2) SFRC床版の押抜きせん断耐荷力

式(6)より算定した RC 床版および SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力を表-5に示す。

RC 床版供試体 RC-1, 2 の実験耐荷力はそれぞれ 172.5kN 、 171.5kN である。式(6)より得られた押抜きせん断耐荷力は 166.3kN であり、実験耐荷力との比は 0.96 である。一方、SFRC 床版供試体 SFRC-普 1-1, 2 の実験耐荷力はそれぞれ 210.8kN 、 215.3kN である。押抜きせん断耐荷力式(6)に本実験得られたせん断強度 $\tau_{max,s}$ (式(3)) および引張強度 $\sigma_{t,s}$ (式(5)) を適用した場合の押抜きせん断耐荷力は 239.3kN であり、実験耐荷力の平均の 1.123 倍となり、危険側に評価される。また、供試体 SFRC-普 2-1, 2 の実験耐荷力はそれぞれ 248.8kN 、 245.3kN であり、これに対して押抜きせん断耐荷力は 262.9kN であり、実験耐荷力の平均の 1.065 倍となり、供試体 SFRC-普 1 同様に危険側に評価される。よって、押抜きせん断耐荷力式(6)に適用する SFRC のせん断強度 $\tau_{max,s}$ および引張強度 $\sigma_{t,s}$ を補正する必要がある。

5.3 SFRC床版の押抜きせん断耐荷力の提案

筆者らの既往の研究⁷⁾では、SFRC 材の一面せん断試験および割裂試験から得られたせん断強度、引張強度を求めた供試体 3 体の平均値の 80% の値を押抜きせん断耐荷力式(6)に適用し、実験による最大耐荷力との整合性を検証した。この結果、SFRC 材の圧縮強度 37.5N/mm^2 および 53.6N/mm^2 のそれぞれの破壊時の押抜きせん断耐荷力と実験耐荷力との比はそれぞれ 0.980 、 0.919 となり、近似する結果が得られた。しかし、せん断強度および引張強度を評価するためには、その都度、試験を行う

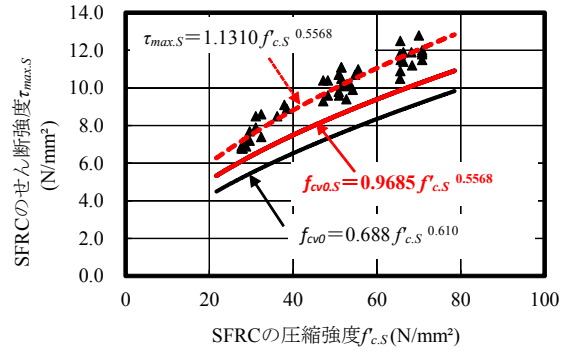


図-6 SFRCのせん断強度と圧縮強度

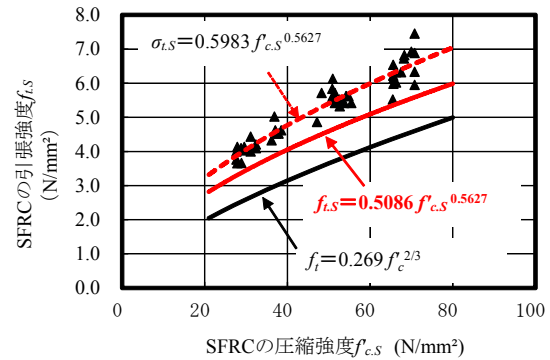


図-7 SFRCの引張強度と圧縮強度

必要がある。そこで本論文では、SFRC の圧縮強度 $25\text{N/mm}^2 \sim 70\text{N/mm}^2$ の範囲の試験体を用いて各試験を行い、せん断強度および引張強度の推定式を提案した。そこで、SFRC の押抜きせん断耐荷力式(6)に適用する本実験から得られたせん断強度式(3)および引張強度式(5)の 80% を適用した場合の耐力比は 0.917 、 0.886 となり、かなり安全側となる。そこで、さらに近似させるためにせん断強度および引張強度の 80% 以上の低下率を適用する必要がある。その結果、 85% の低減係数を適用することで、実験値の 90% 以上の耐荷力が得られた。そこで本研究においては、多くの試験体から得られたせん断強度および引張強度から評価した近似式の 85% を考慮した。ここで、SFRC のせん断強度 τ_{max} の 85% (式(3) $\times 0.85$) としたせん断強度 $f_{cv0,s}$ と圧縮強度 $f'_{c,s}$ の関係を図-6に示す。また、引張強度 $\sigma_{t,s}$ の 85% (式(5) $\times 0.85$) とした引張強度 $f_{t,s}$ と圧縮強度 $f'_{c,s}$ の関係を図-7に示す。ここで、SFRC の圧縮強度を変数とした SFRC のせん断強度 $f_{cv0,s}$ および引張強度 $f_{t,s}$ の推定式をそれぞれ式(8)および式(9)として与える。

(1) SFRCのせん断強度： $f_{cv0,s}$

$$f_{cv0,s} = 0.9685 f'_{c,s}^{0.5568} \leq f'_{c,s} = 80\text{N/mm}^2 \quad (8)$$

ここで、 $f_{cv0,s}$ ：SFRC のせん断強度 (N/mm^2)、 $f'_{c,s}$ ：SFRC の圧縮強度 (N/mm^2)

表-5 実験耐荷力⁷⁾と押抜きせん断耐荷力

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	最大耐荷力 (P_{max}) (kN)	押抜きせん断耐荷力(式(6)) (kN)	押抜きせん断耐荷力比 ($P_{s,max}/P_{max}$)	押抜きせん断耐荷力(式(10)) (kN)	押抜きせん断耐荷力比 ($P_{s,max,S}/P_{max}$)
RC-1	35.0	172.5	166.3	0.96	—	—
RC-2		171.5		0.96		
SFRC-普1-1	37.5	210.8	239.3	1.14	209.5	0.99
SFRC-普1-2		215.3		1.11		0.97
SFRC-普2-1	53.6	248.8	262.9	1.06	233.3	0.94
SFRC-普2-2		245.3		1.07		0.95

(2) SFRCの引張強度： $f_{t,s}$

$$f_{t,s} = 0.5086f_{c,s}^{0.5627} \leq f_{c,s} = 80\text{N/mm}^2 \quad (9)$$

ここで、 $f_{t,s}$ ：SFRCの引張強度(N/mm²)、 $f_{c,s}$ ：SFRCの圧縮強度(N/mm²)

よって、SFRCの破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ の評価式を式(10)として与える。

SFRC床版の押抜きせん断耐荷力： $P_{s,max,S}$

$$P_{s,max,S} = f_{cv0,S} \{ 2(B+2a)a + 2(A \times a) \} + f_{c,S} \{ 4(2da+B)C_d \} \quad (10)$$

ただし、

$$f_{cv0,S} = 0.9685f_{c,S}^{0.5568} \leq f_{c,S} = 80\text{N/mm}^2 \quad (10.1)$$

$$f_{t,s} = 0.5086f_{c,s}^{0.5627} \leq f_{c,s} = 80\text{N/mm}^2 \quad (10.2)$$

本論文で提案するSFRCの押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ を算定した結果を表-5に併記した。

SFRCの圧縮強度37.5N/mm²の供試体SFRC-普1のせん断強度を式(8)より算出すると $f_{cv0,S} = 7.29\text{N/mm}^2$ となる。また、引張強度は式(9)より算出すると $f_{t,s} = 3.91\text{N/mm}^2$ となる。よって、SFRC床版の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ を式(10)に適用すると、押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ は209.5kNとなり、実験値と理論値の比はそれぞれ0.99、0.97である。同様にSFRCの圧縮強度53.6N/mm²の供試体SFRC-普2のせん断強度 $f_{cv0,S}$ は8.89N/mm²、引張強度 $f_{t,s}$ は4.48N/mm²となる。よって、押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ は233.3kNとなり、実験値と理論値の比はそれぞれ0.94、0.95である。

以上より、本提案するせん断強度式および引張強度式の85%を考慮することで押抜きせん断耐荷力が実験値の94%以上となり近似する結果となった。

6. まとめ

(1) SFRC床版の押抜きせん断耐荷力に適用するSFRC材について、圧縮強度25N/mm²～70N/mm²の範囲で一面せん断試験および割裂試験を行い、圧縮強度とせん断強度および圧縮強度と引張強度の関係からそれぞれの強度の推定式を提案した。よって、圧縮強度を適用することで、これらの強度の推定が可能となった。

(2) SFRC床版の破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力評価式に、せん断強度および引張強度の85%を適用したSFRC床版の押抜きせん断耐荷力(式(10))は実験による押抜きせん断耐荷力の94%以上の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max,S}$ が評価された。よって、本実験に用いた鋼繊維の配合条件で製作したSFRC床版の押抜きせん断耐荷力の算定が可能となった。

参考文献

- 1) 前田幸雄，松井繁之：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.221-224，1984.7
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，北森出版，2007
- 3) 阿部忠，木田哲量，徐銘謙，澤野利章：道路橋RC床版の押抜きせん断耐荷力評価式に関する研究，構造工学論文集，Vol.53A，pp.199-207，2007.3
- 4) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋RC床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価，土木学会論文集A1，pp.39-54，2011.1
- 5) 阿部忠，伊藤清志，深川克彦，徐銘謙：早強・普通セメントに鋼繊維を配合したSFRC床版の耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.62A，pp.1240-1249，2016.3
- 6) 阿部忠，伊藤清志，深川克彦，澤野利章：普通セメントに鋼繊維を混入したSFRC床版の耐疲労性に関する実験研究，構造工学論文集，Vol.63A，pp.1253-1262，2017.3
- 7) 阿部忠，伊藤清志，深川克彦，澤野利章：鋼繊維補強コンクリートを用いた床版の押抜きせん断耐荷力の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.319-324，2017.7
- 8) 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法，コンクリートセミナー4，共立出版，pp.17-18，1979
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説I，II，2012
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書(維持管理編)，2002