

# 論文 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力の評価

阿部 忠\*1・伊藤 清志\*2・深川 克彦\*3・澤野 利章\*4

**要旨**：本研究は、道路橋床版の耐久性向上を図るために SFRC で製作した床版供試体を用いて走行荷重実験を行い、耐力性能を評価した。その結果、RC 床版の耐力に対して圧縮強度  $37.5\text{N/mm}^2$  の SFRC 床版は 1.24 倍、圧縮強度  $53.6\text{N/mm}^2$  の SFRC 床版は 1.44 倍に耐力が向上した。また、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 RC 床版の理論押抜きせん断耐力方式に適用することで破壊時の約 90% の押抜きせん断耐力が算定された。よって、SFRC 床版の理論押抜きせん断耐力の算定には鋼繊維配合による引張強度およびせん断強度を適用することで押抜きせん断耐力の評価が可能となる。

**キーワード**：SFRC 床版、走行荷重、引張強度、せん断強度、押抜きせん断耐力

## 1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された道路橋は、建設後 50 年を超える老朽化した橋梁の増大に伴い、高速道路では大規模修繕が計画されるなど、その維持管理が重要な課題となっている。とくに、RC 床版は疲労損傷に加え、建設地域の環境条件による劣化や材料の経年劣化などにより橋梁主構造が寿命に達する前に撤去されるなど、取り替え床版も含めた技術開発が行われている。また、新床版においては寿命が 100 年間維持する材料や構造の開発が進められている。これらのことから筆者ら<sup>1),2)</sup>は、耐力性能および耐疲労性の向上を図るために、RC 床版および鋼床版の増厚補強材として用いられている鋼繊維補強コンクリート (SFRC) で製作した SFRC 床版の耐疲労性に関する実験研究を進めている。鋼繊維は  $\phi 0.62\text{mm}$ 、長さ  $30\text{mm}$  を  $1.27\text{Vol.}\%$  で混入した。その結果、普通セメントおよび早強セメントに鋼繊維を混入した SFRC の要求性能を道路橋示方書・同解説 (以下、道示とする)<sup>3)</sup> に規定されるコンクリートの設計基準強度  $40\text{N/mm}^2$  以上確保できる配合とした。普通セメントを用いた SFRC の材齢 28 日の圧縮強度は  $52.3\text{N/mm}^2$ 、早強セメントを用いた SFRC の材齢 7 日の圧縮強度は  $54.3\text{N/mm}^2$  が確保された。これらの SFRC を用いた SFRC 床版は、従来の RC 床版のそれぞれ 59.8 倍、64.8 倍の耐疲労性が評価されている。以上のように SFRC 床版の耐疲労性の検証は行われているものの走行荷重が作用した場合の最大耐力および寿命推定のための S-N 曲線式に関する実験研究は行われていないのが現状である。

そこで本研究では、RC 床版コンクリートの圧縮強度と同等な圧縮強度を確保できる配合条件に鋼繊維を混入した SFRC および補強材に用いる SFRC と同等な圧縮強度

が確保できる配合条件で製作した SFRC 床版を用いて、走行荷重実験を実施し、走行荷重が作用する SFRC 床版の押抜きせん断耐力を評価し、理論押抜きせん断耐力との整合性を検証した。

## 2. 使用材料および材料特性値

### 2.1 供試体の使用材料

#### (1) RC床版供試体

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  $5\text{mm}$  以下の砕砂および  $5\text{mm} \sim 20\text{mm}$  の碎石を使用した。コンクリートの圧縮強度は材齢 28 日で  $24\text{N/mm}^2$  以上確保できる配合条件とする。ここで、RC 床版の示方配合を表-1示す。次に、鉄筋には SD295A, D10 を使用した。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-2に示す。材齢 28 日コンクリートの圧縮強度は  $34.8\text{N/mm}^2$  である。また、鉄筋の材料特性値は、降伏強度が  $368\text{N/mm}^2$ 、引張強度は  $513\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は  $200\text{kN/mm}^2$  である。

#### (2) SFRC床版供試体

普通セメントに鋼繊維を混入した SFRC の要求性能は、道示に規定される RC 床版のコンクリートの設計基準強度を材齢 28 日で  $24\text{N/mm}^2$  確保できる配合とする。この供試体名称を SFRC-普 1 とする。鋼繊維は  $\phi 0.62\text{mm}$ 、長さ  $30\text{mm}$  を  $1.27\text{Vol.}\%$  で混入した。ここで、SFRC-普 1 の配合条件を表-1に併記した。また、鉄筋は RC 床版供試体と同様に D10 を用いる。鉄筋の材料特性値を表-2に併記する。

次に、普通セメントに鋼繊維を混入した SFRC の要求性能を、材齢 28 日で  $40\text{N/mm}^2$  確保できる配合とする。この供試体の名称を SFRC-普 2 とする。この配合は従来

\*1 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士工学 (正会員)

\*2 日本大学大学院 生産工学研究科博士後期課程 (学生会員)

\*3 (株)ケミカル工事特殊機工部

\*4 日本大学 生産工学部土木工学科教授 工学博士 (正会員)

表-1 RC床版およびSFRC床版の示方配合

供試体	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP (C×%)	AE (C×%)
				セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維		
RC	8.0±2.5	53.0	45.0	302	160	803	1019	—	4.00	—
SFRC-普1	8.0±2.5	53.0	51.4	330	175	889	873	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-2 材料特性値

供試体	コンクリートの 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD295A, D10)		
		降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
RC	35.0	368	513	200
SFRC-普1	37.5	368	513	200
SFRC-普2	53.5	368	513	200

から RC 床版および鋼床版の補修・補強材として使用されている超速硬セメントにφ 0.62mm、長さ 30mm の鋼繊維を 1.27Vol.%で混入した SFRC 材と同様な強度を考慮した。よって、コンクリートの水セメンの比 (W/C) を 41% とした。SFRC-普2 の配合条件を表-1 に併記した。また、鉄筋は RC 床版供試体と同様に D10 を用い、材料特性値は表-2 に併記する。

## 2.2 材齢ごとの圧縮強度

普通セメントを用いた RC 床版および普通セメントに鋼繊維を混入した SFRC の材齢ごとの圧縮強度を表-3 に示す。

### (1) RC床版コンクリート

RC 床版コンクリートの圧縮強度は表-3 に示すように、材齢 28 日で 34.8N/mm<sup>2</sup> である。実験時の圧縮強度は 35.0N/mm<sup>2</sup> である。RC 床版供試体の名称を RC-1, 2 とした。

### (2) SFRC床版供試体

普通セメントに鋼繊維を混入した供試体 SFRC-普1 の圧縮強度は材齢 4 日で 24.8N/mm<sup>2</sup> であり、材齢 28 日で 36.3N/mm<sup>2</sup> であった。実験時の圧縮強度は 37.5N/mm<sup>2</sup> である。

次に、供試体 SFRC-普2 の圧縮強度は、材齢 48 時間で 30.7N/mm<sup>2</sup>、材齢 4 日で 33.8N/mm<sup>2</sup> である。材齢 28 日の圧縮強度は 52.3N/mm<sup>2</sup> であり、実験時の圧縮強度は 53.6N/mm<sup>2</sup> であった。普通セメントに鋼繊維を混入する配合条件 (表-1) は、材齢 28 日で 50.0N/mm<sup>2</sup> が確保されることから早強コンクリートとして取り扱われる。

## 3. 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

RC 床版の理論押抜きせん断耐荷力に関する研究は、多くの研究者により実験研究が行われ、破壊メカニズムが解明され、押抜きせん断破壊モデルと耐荷力式が提案されてきた。たとえば、松井ら<sup>9)</sup>が提案する RC 床版の押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  は、輪荷重の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」の押抜きせん断耐力式である。はり幅 B は、載荷ブロック走行方向の幅  $b$  が配力筋鉄筋の有効高さ  $d_s$  まで 45 度で分布するものとし、主鉄筋方向の中立

表-3 強度発現

試験項目	RC床版	普通セメント (SFRC-普1)	普通セメント (SFRC-普2)
圧縮強度	24時間	13.0N/mm <sup>2</sup>	19.8N/mm <sup>2</sup>
	48時間	20.6N/mm <sup>2</sup>	30.7N/mm <sup>2</sup>
	4日	23.1N/mm <sup>2</sup>	33.8N/mm <sup>2</sup>
	7日	28.5N/mm <sup>2</sup>	41.9N/mm <sup>2</sup>
	28日	34.8N/mm <sup>2</sup>	52.3N/mm <sup>2</sup>
	実験時	35.0N/mm <sup>2</sup>	36.5N/mm <sup>2</sup>

軸位置  $X_m$  の範囲にコンクリートのせん断強度  $\tau_{max}$  が及ぼすものとして解析している。また、45 度下縁のダウエルの影響を受ける範囲は、コンクリートの引張鉄筋かぶり  $C_m$  にコンクリートの引張強度  $\sigma_t$  が及ぼすものとして解析している。なお、引張強度  $\sigma_t$  には割裂試験から得られた岡村式<sup>9)</sup>が適用されている。

一方、阿部ら<sup>6), 7)</sup>は平成 6 年改定の道示に基づいて設計し、その 1/2, 3/5 モデルとした供試体を用いて、輪荷重走行実験を行い、破壊状況から松井らが提案する押抜きせん断力学モデルを基に、限界状態における等価応力ブロック内の圧縮域にはせん断強度  $f_{c0}$  の影響が考慮されている。このせん断強度  $f_{c0}$  はコンクリートの圧縮強度 20N/mm<sup>2</sup> ~ 80N/mm<sup>2</sup> まで角柱試験体を用いた一面せん断試験から得られたせん断強度式が適用されている<sup>9)</sup>。また、ダウエル効果の影響をうける下縁の引張鉄筋かぶりコンクリートには松井式同様にコンクリートの引張強度  $\sigma_t$  が及ぼすものとし、岡村式を適用して、モデル化したものである。

以上のように、RC 床版の押抜きせん断耐荷力にはコンクリート材のせん断強度  $\tau_{max}$  およびコンクリートの引張強度  $\sigma_t$  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。

### 3.1 一面せん断試験によるせん断強度

#### (1) 試験体寸法

一面せん断試験に用いる試験体は、RC 床版および SFRC 床版供試体を製作時にφ 100mm×200mm の円柱試験体を各 3 体製作した。

#### (2) 試験方法

一面せん断試験は、阿部ら<sup>9)</sup>が開発したモード II 型 (縦ずれ) のせん断試験装置を用いて実施した。ここで、阿部らが開発したモード II 型の一面せん断試験装置を図-1

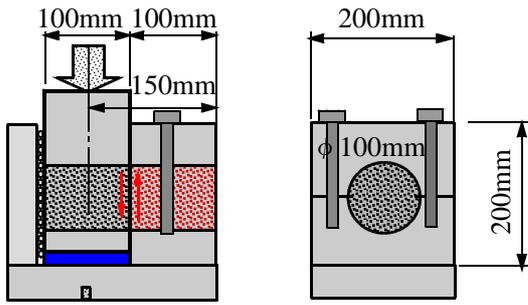


図-1 一面せん断試験装置

に示す。

一面せん断試験は、コンクリートの圧縮荷法 JIS A 1108 の規定に基づき、加圧速度を毎秒  $0.6\text{N/mm}^2$  で行った。また、モードII型一面せん断試験装置を用いて、供試体を設置する。一面せん断試験法によるせん断強度は、モードII型による一面せん断試験によって得られるコンクリートのせん断応力度をせん断強度  $\tau_{\max}$  と定義し、式(1)より算出する。

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

ここで、 $\tau_{\max}$ ：一面せん断応強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、P：破壊荷重、 $A_s$ ：一面せん断破壊面積 ( $\text{mm}^2$ )

### (3) 一面せん断強度

阿部ら<sup>9)</sup>は  $100 \times 100 \times 200\text{mm}$  の角柱供試体を用いて圧縮強度  $20\text{N/mm}^2 \sim 80\text{N/mm}^2$  の範囲の一面せん断強度式(2)を提案している。

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

ここで、 $\tau_{\max}$ ：せん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $f_c$ ：コンクリートの圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

鋼繊維を  $1.27\text{Vol.}\%$  で混入した SFRC の一面せん断試験によるせん断強度を表-4に示した。また、普通コンクリートのせん断強度と SFRC の一面せん断試験によるせん断強度の関係を図-2に示す。

RC 床版に用いたコンクリートの一面せん断試験による

せん断強度の平均は  $6.1\text{N/mm}^2$  である。理論によるせん断強度 (式(2)) は、RC 床版コンクリートの圧縮強度が  $35.0\text{N/mm}^2$  の場合が  $6.0\text{N/mm}^2$  であり、実験値と近似している。図-2に示すせん断強度とコンクリートの圧縮強度の関係に示すように RC 床版コンクリートは筆者ら<sup>9)</sup>が提案するせん断強度と近似している。

一方、RC 床版コンクリートと同等な要求性能である圧縮強度が確保できる配合条件とした供試体 SFRC-普1の一面せん断試験によるせん断強度の平均は  $9.5\text{N/mm}^2$  である。SFRC の圧縮強度  $37.5\text{N/mm}^2$  の場合のせん断強度 (式(2)) は  $6.3\text{N/mm}^2$  であり、せん断強度  $3.3\text{N/mm}^2$  が増大したことになる。

次に、供試体 SFRC-普2の SFRC の圧縮強度は  $53.6\text{N/mm}^2$  である。一面せん断試験によるせん断強度の平均は  $11.5\text{N/mm}^2$  であり、式(2)より算定したせん断強度は  $7.8\text{N/mm}^2$  であり、せん断強度  $3.7\text{N/mm}^2$  増大したことになる。よって、 $\phi 0.62\text{mm}$ 、長さ  $30\text{mm}$  の鋼繊維を  $1.27\text{Vol.}\%$  で混入したことでせん断強度が大幅に向上する結果が得られた。また、図-2に示すせん断強度と SFRC の圧縮強度の関係に示すように圧縮強度に対してせん断強度も線形的に増加している。なお、近似式については更なる試験体を増大して、定式化を図りたい。

以上より、RC 床版の押抜きせん断耐荷力算定式に適用されるせん断強度が高いことから、押抜きせん断耐荷力、併せて耐疲労性の向上が図られることになる。よって、SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力耐荷力式には一面せん断試験によるせん断強度の平均値を適用する。

## 3.2 割裂試験による引張強度

### (1) 試験体寸法

コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>における割裂引張試験は JIS A 1113 に基づいて実施した。供試体は、JIS A 1132 に基づいて、RC 床版および SFRC 床版供試体を製作時に  $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$  の円柱供試体を3体製作した。コンクリートの割裂試験による引張強度の算定には岡村式<sup>9)</sup>が用いられ、式(3)として与えられている。

$$\sigma_t = 0.269 f_c^{(23)} \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_t$ ：引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $f_c$ ：コンクリートの圧

表-4 圧縮強度、引張強度、せん断強度

供試体	RC (材齢28日)			SFRC-普1(材齢28日)			SFRC-普2(材齢28日)		
	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	せん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	せん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	せん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
1	35.3	6.2	2.9	38.5	9.6	4.7	54.2	11.6	5.7
2	34.7	5.9	3.2	37.9	9.8	4.6	52.7	11.1	5.4
3	35.1	6.1	3.1	36.2	9.2	4.4	53.8	11.8	5.5
平均	35.0	6.1	3.1	37.5	9.5	4.6	53.6	11.5	5.5
理論	35.0	6.0	2.9	37.5	6.3	3.0	53.6	7.8	3.8

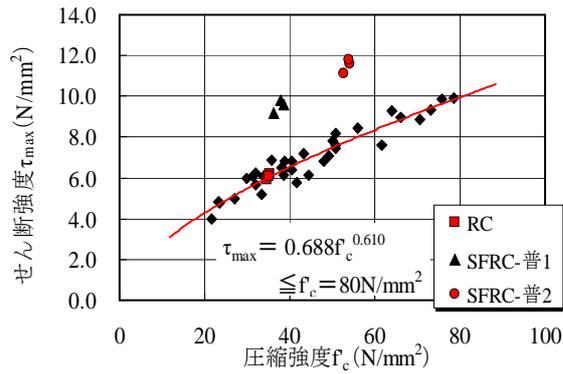


図-2 せん断強度と圧縮強度の関係

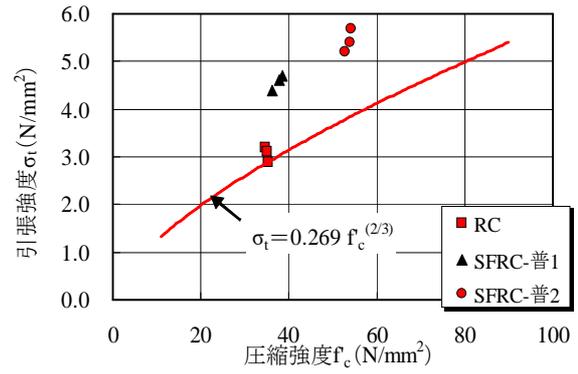


図-3 引張強度と圧縮強度の関係

縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

割裂試験による引張強度を表-4に併記した。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および SFRC の割裂試験による引張強度を図-3に示す。

表-4より, RC 床版コンクリートの圧縮強度が 35N/mm<sup>2</sup> であり, これを引張強度式(式(3))に適用すると 2.9N/mm<sup>2</sup> となり, 実験値とほぼ近似している。また, 図-3に示す引張強度とコンクリートの圧縮強度の関係では RC 床版コンクリートは岡村式に近似している。一方, 供試体 SFRC-普通1 に用いた SFRC の圧縮強度の平均は 37.5N/mm<sup>2</sup> であり, この圧縮強度を引張強度式に適用すると 3.0N/mm<sup>2</sup> である。実験値の平均が 4.6N/mm<sup>2</sup> である。また, 供試体 SFRC-普通2 に用いた SFRC の圧縮強度は 53.6N/mm<sup>2</sup> であり, 実験値の平均は 5.5N/mm<sup>2</sup> である。よって, φ 0.62mm, 長さ 30mm の鋼繊維を 1.27Vol.% で混入したことから割裂試験による引張強度が大幅に向上する結果が得られた。また, SFRC の圧縮強度と引張強度の関係は図-3に示すように, 鋼繊維を 1.27Vol.% 混入することで圧縮強度に対してほぼ線形的に増加している。なお, 近似式については更なる試験体を増大し, 鋼繊維混入による割裂試験による引張強度式を提案したい。

以上より, RC 床版の押抜きせん断耐力算定式に適用される割裂試験による引張強度が高いことから, 押抜きせん断耐力, 併せて耐疲労性の向上が図られることになる。よって, SFRC 床版の押抜きせん断耐力式には割裂試験による引張強度の平均値を適用する。

#### 4. 走行荷重が作用する押抜きせん断耐力

##### 4.1 供試体寸法および鉄筋の配置

RC 床版供試体は 2012 年改訂の道示<sup>3)</sup>に準拠し, その 1/2 モデルとする。よって, 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, 鉄筋は複鉄筋配置とした。引張側は軸直角方向および軸

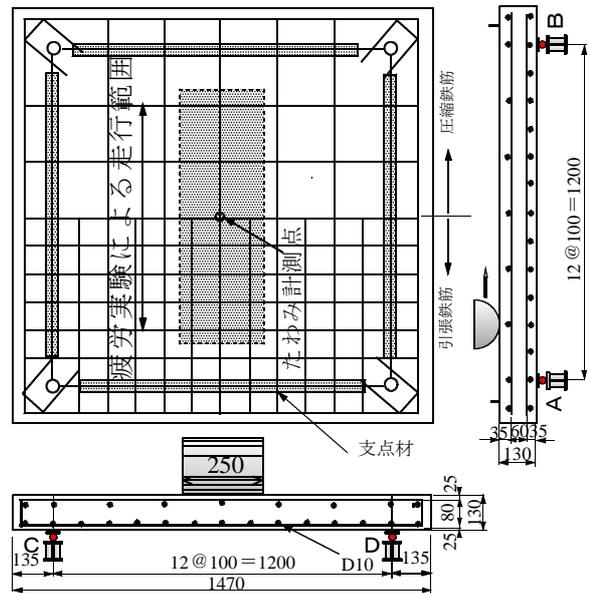


図-4 供試体寸法および鉄筋配置

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。次に, SFRC 床版供試体の寸法は, 図-4に示す RC 床版寸法と同様とする。よって, 床版全長は全長 1,470mm, 支間 1,200mm, 厚さ 130mm, 鉄筋には D10 を用い, 複鉄筋配置とした。

##### 4.2 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 方向に 45cm, B 方向に 45cm, すなわち 1 走行 180cm を走行させる。荷重は 1 走行ごとに 10kN ずつ増加させ, 一走行維持した荷重を最大耐力とする。

表-5 走行荷重実験による最大耐荷力

供試体	最大耐荷力 (P <sub>max</sub> ) (kN)	最大耐荷力の 平均 (kN)	耐荷力比
RC-R1	172.5	172.0	—
RC-R2	171.5		
SFRC-普1-R1	210.8	213.1	1.24
SFRC-普1-R2	215.3		
SFRC-普2-R1	248.8	247.1	1.44
SFRC-普2-R2	245.3		

### 4.3 実験結果および考察

#### (1) 最大耐荷力

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-5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-R1 は 172.5kN, RC-R2 は 171.5kN であり, 最大耐荷力の平均 172.0kN である。これを基準に SFRC 床版供試体 SFRC-普 1, 2 の耐荷力比を検証した。

次に, 供試体 SFRC-普 1-R1 の最大荷重は 210.8kN, 供試体 SFRC-普 1-R2 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 1.24 倍の耐荷力が向上している。また, 供試体 SFRC-普 2-R1 の最大荷重は 248.8kN, 供試体 SFRC-普 2-R2 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 1.44 倍の耐荷力が向上している。これは, 表-1に示すように φ 0.62mm, 長さ 30mm を 1.27Vol.% で混入したことで, コンクリートの引張強度が向上することから耐荷力が向上する結果となった。

### 5. 理論押抜きせん断耐荷力

#### 5.1 押抜きせん断耐荷力式

##### (1) RC床版

RC 床版の理論押抜きせん断耐荷力に関する研究は, 多くの研究者により実験研究が行われ, 破壊メカニズムが解明され, 押抜きせん断破壊モデルと耐荷力式が提案されてきた。RC 床版の押抜きせん断破壊モデルおよび耐荷力式としては松井式<sup>4)</sup>, 角田式<sup>9)</sup>および土木学会式<sup>8)</sup>が挙げられる。また, 筆者らは道路橋 RC 床版を対象として提案されている松井式に着目し, 走行荷重が作用する RC 床版の押抜きせん断力学モデルと耐荷力式を提案した<sup>6)</sup>。筆者らは, 平成 6 年改定の道示に基づいて設計し, その 1/2, 3/5 モデルとした供試体を用いて走行荷重実験を行い, 破壊状況から松井ら<sup>4)</sup>が提案する押抜きせん断力学モデルを基に, 圧縮域にはせん断強度  $f_{cv0}$ , ダウエル効果の影響をうける範囲には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たものである。ここで, 筆

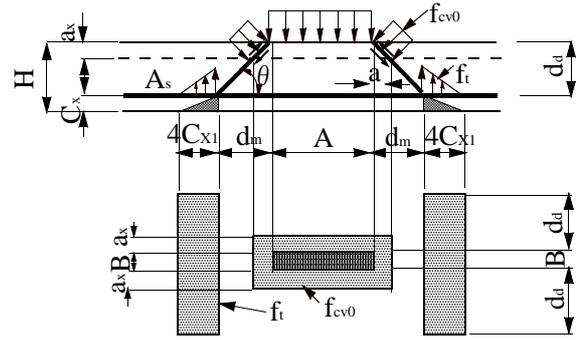


図-5 走行荷重実験による押抜きせん断力学モデル

者らが提案 (以下, 文献 7)とする)する RC 床版の押抜きせん断力学モデルを図-5, 押抜きせん断耐荷力式を式(4)に示す。

$$P_{sx} = f_{cv0}\{2(B+2a)a + 2(A \times a)\} + f_t\{4(2d_u+B)C_x\} \quad (4)$$

$$f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2 \quad (4.1)$$

$$f_t = 0.269f_c^{2.3} \quad (4.2)$$

ここで, A, B: 載荷版の主鉄筋, 配力筋方向の辺長 (250mm×50mm), a: 主鉄筋方向  $a_x$ , 配力鉄筋方向  $a_y$  の等価応力ブロックの平均値 (mm) ( $= (a_x+a_y)/2$ ),  $C_x$ : ダウエル効果が影響を示す寸法効果 ( $=$ 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) ( $C_x = (C'_x + C'_y)/2$ ),  $C'_a$ : 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) ( $= (C'_x+C'_y)/2$ ),  $d_u$ : 主鉄筋の有効高さ ( $d_x$ ) と配力筋方向の有効高さ ( $d_y$ ) の平均値 (mm) ( $= (H-C'_a)$ ), H: 床版全厚(mm),  $f_{cv0}$ : コンクリートのせん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )<sup>10)</sup>,  $f_t$ : コンクリートの引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

文献 7)に示す押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  は, 主鉄筋および配力筋方向の等価応力ブロックの平均値  $a$  ( $= (a_x+a_y)/2$ ) に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  $C_x$  ( $= (C'_x + C'_y)/2$ ) に, 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が合計されている。そこで, 鉄筋が引張強度に達した付近の主鉄筋, 配力筋方向の等価応力ブロック  $a$  は簡易的に式(5)より算定している。

$$a/d = m/2 \{p-p'(e'_{cv} \cdot E/f_y) + \sqrt{[p-p'(e'_{cv} \cdot E/f_y)]^2 + p' \cdot 4\beta/m \cdot d'/d \cdot e'_{cv} \cdot E/f_y}\} \quad (5)$$

ただし,

$$m = f_c/0.85f_c, \quad p = A_s/b \cdot d, \quad p' = A'_s/b \cdot d$$

ここで,  $f_c$ : コンクリートの圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ ),  $f_y$ : 鉄筋

表-6 押抜きせん断耐荷力

供試体	最大耐荷力 ( $P_{max}$ ) (kN)	押抜きせん断 耐荷力( $P_{ss}$ ) (kN)	押抜きせん断 耐荷力比 ( $P_{max}/P_{ss}$ )
RC-R1	172.5	168.1	0.97
RC-R2	171.5		0.98
SFRC-普1-R1	210.8	208.8	0.99
SFRC-普1-R2	215.3		0.97
SFRC-普2-R1	248.8	227.1	0.91
SFRC-普2-R2	245.3		0.93

の引張強度(= 513N/mm<sup>2</sup>),  $A_s$ : 引張側の鉄筋量,  $A'_s$ : 圧縮側の鉄筋量,  $d$ : 有効高さ,  $d'$ : 圧縮縁から圧縮鉄筋の図心までの距離,  $b$ : 部材幅(cm),  $E_s$ ,  $E'_s$ : 鉄筋のヤング係数(= 200kN/mm<sup>2</sup>),  $\epsilon'_{cu}$ : コンクリートの終局ひずみ(= 0.0035),  $\beta$ : 0.8

## (2) SFRC床版

走行荷重が作用する SFRC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式に関する研究は行われていないのが現状である。そこで、筆者らが提案する RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式に適用して耐荷力を算定した。本論文では、押抜きせん断耐荷力式(4)に、本実験から得られた SFRC 材の一面せん断試験によるせん断強度  $\tau_{max}$  および割裂試験による引張強度  $\sigma_t$  は、鋼繊維のバラツキ等を考慮し、平均値の 80%を考慮し、これをせん断強度  $f_{vo}$  および引張強度  $f_t$  として適用した。なお、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は、圧縮強度 24N/mm<sup>2</sup> ~ 80N/mm<sup>2</sup> の範囲での実験を行い、定式化が望まれる。

## 5.2 RC床版・SFRC床版の押抜きせん断耐荷力

RC 床版の理論押抜きせん断耐荷力の算出におけるせん断強度は筆者らが提案する一面せん断試験から得られたせん断強度式(4.1), 引張強度は岡村式(4.2)を適用した。一方, SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力は, 本実験から得られたせん断強度および引張強度の平均値の 80%を考慮し, それぞれを式(4)に適用した。RC 床版および SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力を表-6に示す。

RC 床版供試体 RC-R-1, 2 の押抜きせん断耐荷力は, 168.1kN である。実験値と理論値の比はそれぞれ 0.97, 0.98 であり, 近似している。一方, SFRC 床版 SFRC-普 R1-1, 2 の理論押抜きせん断耐荷力算定における押抜きせん断耐荷力は 208.8N となり, 実験値と理論値の比はそれぞれ 0.99, 0.97 であり, 近似した結果が得られた。同様に SFRC-普 R2-1, 2 の押抜きせん断耐荷力には 227.1N/mm<sup>2</sup> となる。実験値と理論値の比は, それぞれ 0.91, 0.93 となり, ほぼ近似した結果が得られた。

本実験では, RC 床版の押抜きせん断耐荷力力学モデルおよび耐荷力式から SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力を

検証した。

## 6. まとめ

RC 床版のコンクリート材料に SFRC を用いた結果, 以下の知見が得られた。

(1)本実験に用いた SFRC は, 道示に基準に基づいて設計した RC 床版および同等な要求性能で配合した SFRC 床版, 早強コンクリートの要求性能で配合した SFRC 床版の圧縮強度, 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は鋼繊維の混入により大幅に向上し, 耐荷力性能の向上が図れた。

(2)走行荷重実験における RC 床版の最大耐荷力に対して, SFRC 床版は, コンクリートの圧縮強度 37.5N/mm<sup>2</sup> の SFRC 床版が 1.24 倍, 圧縮強度 53.6N/mm<sup>2</sup> の SFRC 床版が 1.44 倍の耐荷力が得られた。したがって, 鋼繊維を混入することで, 耐荷力性能が大幅に向上する結果が得られた。

(3)SFRC 床版の押抜きせん断耐荷力の評価においては, 阿部らが提案する RC 床版の理論押抜きせん断耐荷力式に, 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の 80%を適用することで, 破壊荷重の 91%から 99%の耐荷力が評価され, ほぼ近似した結果となった。

## 参考文献

- 1) 阿部忠, 伊藤清志, 深川克彦: 鋼繊維補強コンクリートを用いた道路橋床版の耐疲労性の評価, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.75-80, 2014.10
- 2) 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混入した 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
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, III, 2012
- 4) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 土木学会: コンクリート標準示方書(構造性能照査編), 土木学会, 2002
- 9) 角田与史雄, 伊藤昭夫, 藤田嘉夫: 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 229 号, pp. 105-115, 1974