

鋼繊維補強された軽量2種コンクリート版の押し抜きせん断耐力の評価

九州大学大学院 学生会員  
九州大学大学院 正 会 員

郭 勝華 九州大学大学院 正 会 員 山口 浩平  
日野 伸一 神戸製鋼所(株) 正 会 員 山田 岳史

1. 背景および目的

近年、耐震性を考慮して橋梁上部工の自重を軽減させるために、繊維補強された軽量コンクリート版の開発研究が行われている。しかしながら、既往の事例は比重 1.9~2.2 程度の軽量 1 種コンクリートが対象であるため、大幅な自重低減効果があるとは言い難い。また、軽量コンクリート版の押し抜きせん断耐力評価については、ほとんど報告されていないのが現状である。

そこで本研究では、比重 1.5 程度の軽量 2 種コンクリートを対象としたコンクリート種類、繊維混入率をパラメータとした RC 版の押し抜きせん断耐力評価について検討した。なお、軽量 2 種コンクリートは軽量 1 種コンクリートに比べてせん断・引張強度が低下するため、著者らが過去に実施した鋼繊維補強により普通コンクリートと同等の力学的性質を有するコンクリートを用いることとした。

2. 実験概要

試験体は、コンクリート種類および繊維混入率の異なる表-1 に示す 5 種類各 2 体の計 10 体である。コンクリートは普通・軽量 1 種・軽量 2 種の 3 種類、繊維混入率は体積比で 0%、1.2% の 2 種類である。人工軽量粗骨材は、絶乾密度 1.55g/cm<sup>3</sup>、吸水率 9.7% である。普通細骨材は表乾密度 2.55g/cm<sup>3</sup> の海砂、人工軽量細骨材は絶乾密度 1.68g/cm<sup>3</sup>、吸水率 9.8% である。試験体は辺長 1200mm、厚さ 100mm であり、鉄筋は D10 (SD295A) を 14@80 で配筋した。表-2 にコンクリート配合、図-1 に試験体概略図を示す。

載荷条件は、試験体の支間長が 1000mm と短いことから、四隅の浮き上がり防止装置を取り付けず、4 辺単純支持とした。載荷時試験体中央に載荷板として 150mm×150mm×50mm の鋼板を配置し、油圧ジャッキで載荷した。表-1 に載荷時の圧縮強度を示す。鉄筋の降伏強度は 373N/mm<sup>2</sup> である。

表-1 試験体概要

試験体	使用コンクリート	粗骨材	細骨材	繊維混入率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
N-00	普通	普通	普通	0	2.33	36.6
L-00	軽量1種	人工軽量	普通	0	1.82	30.8
L-12	軽量1種	人工軽量	普通	1.2	2.04	41.8
SL-00	軽量2種	人工軽量	人工軽量	0	1.53	22.6
SL-12	軽量2種	人工軽量	人工軽量	1.2	1.78	35.2

表-2 コンクリート配合

試験体	混入率 (%)	粗骨材 最大寸法(mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg)										
						W	C	S	G	F	SP	AE	B			
N-00	0	20	5.0	0.44	41.6	179	407	961	514	0	4.07	0.00	0.00			
L-00	0	15	5.0	0.48	49.8	167	347	849	420	0	3.47	3.47	1.00			
L-12	1.2	15	5.0	0.48	55.0	188	392	871	349	94	7.06	0.00	1.00			
SL-00	0	15	5.0	0.44	47.9	153	347	550	445	0	3.47	3.47	1.00			
SL-12	1.2	15	5.0	0.44	55.0	174	395	586	457	94	7.11	0.00	1.00			

3. 実験結果および考察

3.1 変形性能

破壊形態は、全試験体とも押し抜きせん断破壊であった。図-2に荷重と中央変位の関係を示す。繊維無混入のN-00, L-00, SL-00は、最大荷重に達すると同時に押し抜きせん断破壊による急激な荷重低下を呈して耐荷力を失った。これに比べて、繊維混入のL-12, SL-12は、繊維混入によるせん断強度の向上により、最大荷重が無混入に比べてそれぞれ1.5, 1.6倍増加した。また、ひび割れ位置の繊維の架橋効果により、最大荷重到達後の急激な荷重低下は見られず、押し抜きせん断破壊が進行しても高い変形性能を有することがわかった。

3.2 ひび割れ状況

試験体の破壊状況を観察するために、床版中央断面を切断した。せん断破壊面は、全試験体ともほぼ 45° であった。また、繊維無混入試験体は、引張鉄筋位置に沿ったひび割れが発生したが、鋼繊維混入試験体はその傾向は見られなかった。

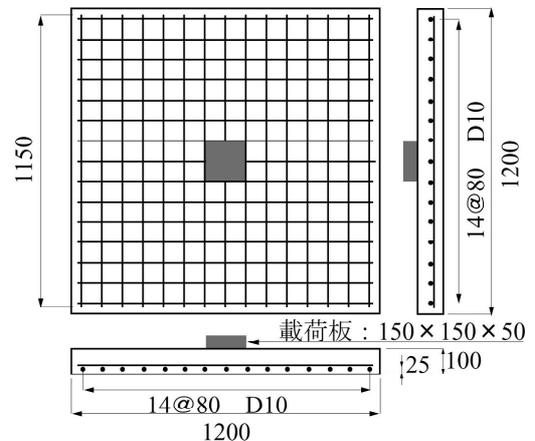


図-1 試験体概略図

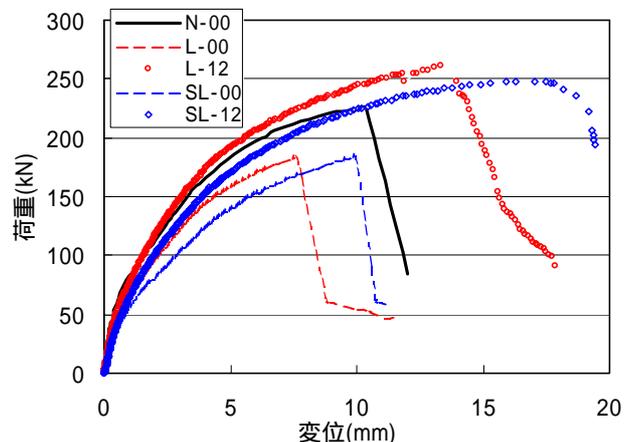


図-2 荷重と中央変位との関係

3.3 押し抜きせん断耐力と算定式

(1) コンクリート標準示方書式

コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>に規定される押し抜きせん断耐力式は、統計学的解析を施した角田式を基としている。軽量コンクリートの場合は、引張強度、付着力および支圧特性値は普通コンクリートの値の70%としてよいと示されている。

$$P = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$f'_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d:\text{m}) \quad \text{ただし, } d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} \quad \text{ただし, } p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d)$$

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度

$u$  : 載荷面の周長

$u_p$  : 設計断面の周長で、載荷面から  $d/2$  離れた位置で算定する。

$d$  : 有効高さで、2軸方向の鉄筋に対する平均値とする。

$p$  : 鉄筋比で、2軸方向の鉄筋に対する平均値とする。

$b$  : 安全係数。一般に 1.3 を用いる。(後述の算定では 1.0 とする。)

(2) 松井式

松井氏らが提案した松井式<sup>2)</sup>は、押し抜きせん断破壊モデルを仮定し、圧縮域コンクリートのせん断耐力と鉄筋のダボ効果による剥離効果を考慮して提案した評価式である。

$$P = \begin{matrix} s, \max \\ t, \max \end{matrix} \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + \begin{matrix} s, \max \\ t, \max \end{matrix} \{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d \} \quad \dots \dots (2)$$

$a, b$  : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長 (cm)

$x_m, x_d$  : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸深さ (cm)

$d_m, d_d$  : 主鉄筋および配力鉄筋の有効高さ (cm)

$C_m, C_d$  : 主鉄筋および配力鉄筋からのかぶり厚さ (cm)

$s, \max, t, \max$  : コンクリートの最大せん断、引張応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$$s, \max = 0.252 c_k - 0.000256 c_k^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$t, \max = 0.583 (c_k)^{2/3} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots \dots \dots (4)$$

(3) 東山式

東山式<sup>3)</sup>は、軽量1種コンクリートRC版の押し抜きせん断耐力を、実験より得られた低減係数を松井式に乗じて評価する式である。

$$P = \alpha_{cv} \cdot f_{cv} \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + \alpha_t \cdot f_t \{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d \} \quad \dots \dots (5)$$

ここに、低減係数は  $\alpha_{cv} = 0.785, \alpha_t = 0.703$  である。

・普通コンクリート場合

$$f_{cv} = 0.656 f_c^{0.606} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$f_t = 0.269 f_c^{0.667} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (7)$$

・軽量1種コンクリート場合

$$f_{cv} = 0.528 f_c^{0.602} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$f_t = 0.522 f_c^{0.447} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (9)$$

・鋼繊維補強された軽量1種コンクリート場合

表-3 実験値と計算値

試験体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	示方書式 (KN)	松井式 (KN)	東山式 (KN)	実験値 (KN)	実験値の平均 (KN)
N-00	1	36.3	141	234	233	215
	2					223
L-00	1	30.8	90.8	125	133	190
	2					182
L-12	1	41.8	106	191	206	244
	2					254
SL-00	1	22.6	77.8	106	113	174
	2					184
SL-12	1	35.2	97.1	174	187	226
	2					248

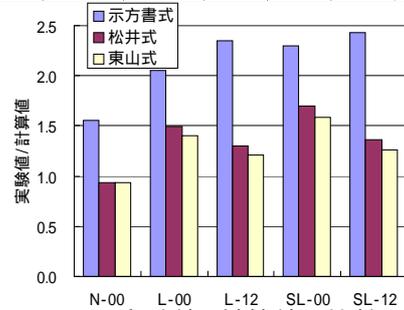


図-3 実験値と計算値の比較

$$f_{cv} = 0.618 f_c^{0.676} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$f_t = 0.632 f_c^{0.405} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots (11)$$

表-3 に実験値と各評価式で算定した押し抜きせん断耐力を示す。なお、軽量2種コンクリートを用いた試験体についても、東山式を用いて算定した。

図-3 に実験値と各評価式の比を示す。示方書式および松井式は実験値をそれぞれ 2.1~2.4 倍, 1.3~1.7 倍と過大評価することがわかる。これは、軽量コンクリートを用いた場合は一律の低減係数 70%を用いることに起因している。

一方、東山式も安全側評価であるが、3評価式の中では相対的に精度よく評価していることがわかる。しかし、本算定値は式(6)~(11)の材料強度式を用いており、本試験と東山らの試験では軽量骨材および繊維の種類、繊維混入率が異なるため、個々の材料特性を適切に反映した材料強度式の確立が必要となる。

4. まとめ

- (1) 鋼繊維 1.2% 混入により、軽量 1, 2 種 RC 版の押し抜きせん断耐力は、それぞれ 1.5, 1.6 倍に増大し、高い変形性能を有することがわかった。
- (2) 既存の押し抜きせん断耐力評価式は、軽量 2 種 RC 版に対しても一定範囲内で安全側に評価できる。
- (3) 鋼繊維補強された軽量 2 種 RC 版の押し抜きせん断耐力を評価するには、その材料強度式を適切に評価することが必要である。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，平成 14 年
- 2) 前田幸雄ほか：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第 348/V-1，pp.113-141，1984.8
- 3) 東山浩士ほか：軽量コンクリートを用いた RC 床版の押し抜きせん断耐力の評価とその実用性に関する研究，コンクリート工学論文集，第 16 巻，第 1 号，pp.45-54，2005.1