

鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの力学的材料特性

九州大学大学院 学生会員 ○崔智宣 郭勝華 園田崇智
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 正会員 山口浩平

1. 背景および目的

近年、超大スパン橋梁、多層高架道路、超高層ビルなどの増加に伴い、自重の軽減、構造物断面の簡略化、施工の簡略化の必要性が高まっている。そこで、従来の普通コンクリートに比べて、自重の軽減や施工性の向上が期待できる軽量コンクリートの研究が行われている。軽量 2 種コンクリートは、粗骨材に加え細骨材の全てまたは一部にも人工軽量骨材を用いたコンクリートである。しかし、軽量コンクリートは引張・せん断強度が小さいため、短繊維による補強が一般的である。

そこで、本研究は、短繊維補強された普通および軽量 2 種コンクリートの材料実験を行い、各強度の相関関係から強度評価式を提案し、はり・柱・版部材などのせん断耐力評価への適用性についての検討を目的としている。

2. 材料実験

2.1 実験概要

本実験ではコンクリートの種類、鋼繊維混入率をパラメータとした鋼繊維補強コンクリートの材料実験を行い、それらの影響を検討した。なお、今回は補強効果が顕著である鋼繊維を用いた。粗骨材および細骨材は全て膨張頁岩系の人工軽量骨材を使用し、繊維は直径 0.62mm、長さ 30mm のフックエンド型鋼繊維を使用した。表 - 1 に示すように供試体のコンクリート種類を普通コンクリート（以下 N）、軽量 2 種コンクリート（以下 SL）とし、繊維混入率をそれぞれ 0, 0.4, 0.8, 1.2 (%) とし、計 8 タイプとした。実験はコンクリート標準示方書¹⁾（以下示方書）を準じて圧縮、引張、曲げ、せん断実験を行い、供試体数は各タイプそれぞれ 3 体とした。配合表を表 - 2 に示す。普通骨材の最大寸法は 20mm、軽量 2 種骨材の最大寸法は 15mm とした。目標空気量は N 4.5%、SL 5.0% とした。なお、打設後 28 日間水中養生した。

2.2 結果

結果（3 体の平均値）を表 - 3 に示す。繊維無混入の場合、圧縮強度が同じレベルにも関わらず、SL の引張・せん断強度が N より大幅に低下する。繊維混入の場合、混入率の増加により圧縮強度、ヤング係数はほとんど変わ

らないが、引張・曲げ・せん断強度はともに増加し、鋼繊維の補強効果が明らかである。また、N は混入率 0.8% を超えても曲げ強度はほとんど変わらないのに対し、SL は増加し続けた。

3. 強度評価式

今回行った材料実験を含め、過去に九大で行った材料実験結果を示方書に従い $f = \alpha f' c^{2/3}$ 式で求めた強度評価式を表 - 4 に示す。ここに示方書にはせん断 - 圧縮強度式がないため、東山式を準用した。また、実験では混入率が多様なため、繊維補強なし・ありとして区別した。

表 - 1 供試体概要

タイプ	使用コンクリート	粗骨材	細骨材	鋼繊維混入率 (%)
N-00	普通	普通	普通	0.0
N-04	鋼繊維0.4%補強された普通	普通	普通	0.4
N-08	鋼繊維0.8%補強された普通	普通	普通	0.8
N-12	鋼繊維1.2%補強された普通	普通	普通	1.2
SL-00	軽量2種	人工軽量	人工軽量	0.0
SL-04	鋼繊維0.4%補強された軽量2種	人工軽量	人工軽量	0.4
SL-08	鋼繊維0.8%補強された軽量2種	人工軽量	人工軽量	0.8
SL-12	鋼繊維1.2%補強された軽量2種	人工軽量	人工軽量	1.2

表 - 2 配合表

タイプ	水セメント比 (W/C)	kg/m ³							
		W	C	S	G	SP	AE	B	F
N-00	50.0	213	427	870	862	1.08	1.00	0	0
N-04	50.0	213	425	868	859	1.50	0	0	31.3
N-08	50.0	212	423	864	855	2.00	0	0	62.7
N-12	50.0	211	422	860	852	2.40	0	0	94.0
SL-00	47.5	233	490	542	408	0	0	1.00	0
SL-04	47.5	232	487	539	406	0	0	1.00	31.3
SL-08	47.5	230	484	535	403	1.63	0	1.00	62.7
SL-12	47.5	228	480	531	400	4.85	0	1.00	94.0

SP：高性能 AE 減水剤，AE：AE 助剤，B：増粘剤，F：鋼繊維

表 - 3 実験結果

タイプ	単位容積質量 (g/cm 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)
N-00	2.39	42.8	3.33	5.50	4.90	29.9
N-04	2.43	42.4	3.63	7.27	5.90	31.2
N-08	2.40	45.3	4.17	10.0	6.40	31.0
N-12	2.44	44.3	4.75	10.8	8.20	30.8
SL-00	1.73	40.1	2.59	5.39	3.12	15.0
SL-04	1.73	33.0	2.79	6.95	4.13	14.5
SL-08	1.77	33.9	3.49	7.62	4.43	14.9
SL-12	1.80	38.4	3.82	9.54	5.18	14.7

表 - 4 強度評価式

関係式	コンクリート種類	繊維補強	示方書式 ¹⁾	九大式
引張 - 圧縮	N	なし	$f_t = 0.23f_c^{2/3}$	$f_t = 0.278f_c^{2/3}$
	N	あり	-	$f_t = 0.314f_c^{2/3}$
	SL	なし	$f_t = 0.7 \times 0.23f_c^{2/3}$	$f_t = 0.219f_c^{2/3}$
	SL	あり	-	$f_t = 0.300f_c^{2/3}$
曲げ - 圧縮	N	なし	$f_b = 0.42f_c^{2/3}$	$f_b = 0.491f_c^{2/3}$
	N	あり	-	$f_b = 0.703f_c^{2/3}$
	SL	なし	-	$f_b = 0.379f_c^{2/3}$
	SL	あり	-	$f_b = 0.546f_c^{2/3}$
せん断 - 圧縮	N	なし	$*f_{vc} = 0.656f_c^{0.606}$	$f_{vc} = 0.470f_c^{2/3}$
	N	あり	-	$f_{vc} = 0.602f_c^{2/3}$
	SL	なし	-	$f_{vc} = 0.259f_c^{2/3}$
	SL	あり	-	$f_{vc} = 0.424f_c^{2/3}$

*東山式²⁾

引張 - 圧縮強度を図 - 1 に示す．示方書では，軽量 2 種コンクリートの引張強度は同一の圧縮強度を有する普通コンクリートの引張強度の 70%と規定されている．繊維補強なしの場合，九大式の N - なし，SL - なしはそれぞれ示方書式の 1.21 倍，1.36 倍であり，これから示方書式の評価が安全側であることがわかる．同様に繊維補強ありの場合，N - ありは 1.13 倍，SL - ありは 1.37 倍となり，N より SL の繊維補強効果が顕著である．曲げ - 圧縮強度を図 - 2 に示す．N - なしの場合，示方書式と九大式が概ね一致している．N と SL の曲げ強度は繊維混入率の違いによるデータのバラツキが大きい，繊維補強による増加率は N - あり，SL - ありそれぞれ 1.43，1.44 で同程度の効果がある．せん断 - 圧縮強度を図 - 3 に示す．N - なしの東山式と九大式はほぼ一致している．また，九大式のせん断強度は 繊維補強により N - ありは 1.28 倍，SL - ありは 1.63 倍であり，N に比べて SL の繊維補強効果が顕著である．しかし，せん断強度のデータが少ないため，実験データを増やす必要がある．また，今回の強度評価式の適用範囲はコンクリートの圧縮強度が $20\text{N/mm}^2 \sim 50\text{N/mm}^2$ ，繊維混入率 0 ～ 1.2% である．

4. まとめ

本研究では，コンクリートの種類，鋼繊維混入率をパラメータとした鋼繊維補強されたコンクリートの材料実験を行い，繊維混入率の強度への影響度を把握し，各強度の相関関係を明らかにすることで，強度評価式を提案した．今後，本提案式のはり・柱・版部材等のせん断耐力評価への適用性について検討する必要がある．

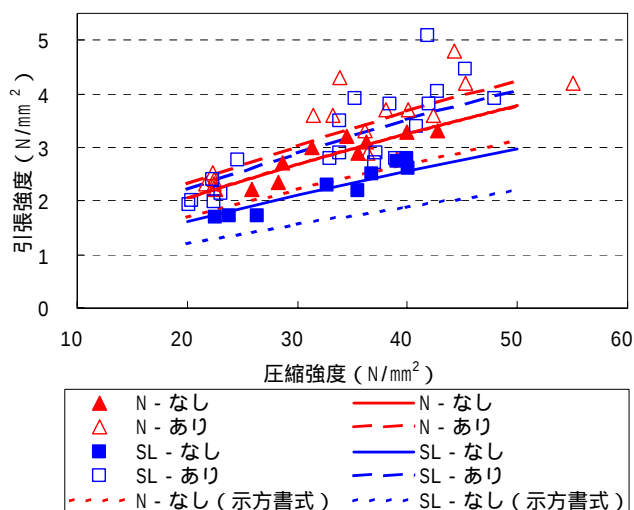


図 - 1 引張 - 圧縮強度

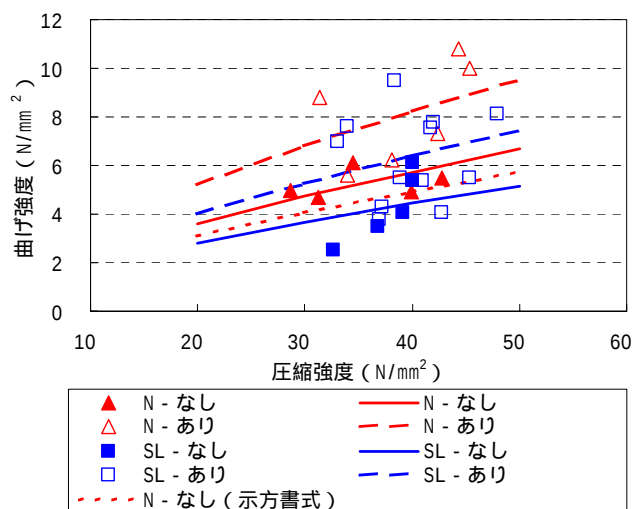


図 - 2 曲げ - 圧縮強度

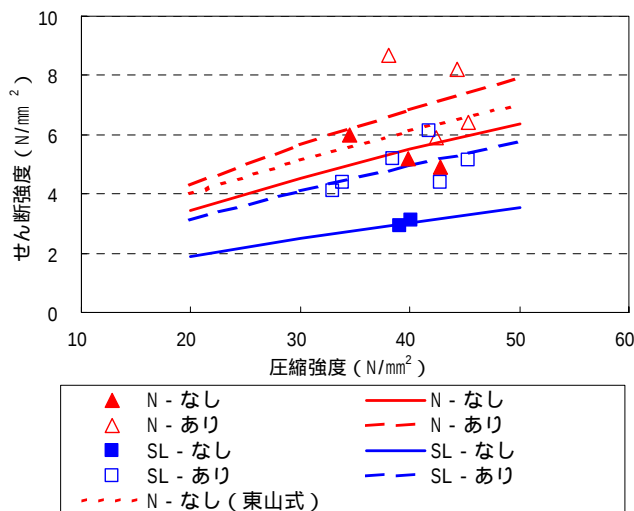


図 - 3 せん断 - 圧縮強度

- 参考文献 1)土木学会：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，2002
 2)東山浩士，水越睦視，松井繁之，小田憲司：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