

ALA CONCRETE

鋼纖維補強軽量コンクリート (SFLRC)

鋼纖維を混入した人工軽量骨材コンクリートの

基礎物性と特性について

ご／あ／い／さ／つ

当協会におきましては、人工軽量骨材を使用した軽量コンクリートの特性をよりよく活用していただくために、技術資料を作成しておりますが、今回は、大阪大学工学部・松井繁之教授を委員長とします「鋼纖維補強軽量コンクリート研究委員会」の全面的なご協力を得まして『鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLRC)』を作りあげることができました。

本資料は、人工軽量骨材と鋼纖維を組合せて軽量コンクリートの性能を改善したものであり、その成果を紹介したものであります。

最近の軽量コンクリートの使用工事では、ビルディングなどの建築構造物工事対象がほとんどを占める状況にありますが、今後の道路床版などの土木構造物工事対象への活用に大いに期待しております。

構造システムの多様化が急速に進んでいる状況下で、鋼纖維補強軽量コンクリートの貴重な研究内容等をご紹介しまして、人工軽量骨材と鋼纖維の用途開拓にご理解を賜りたく、参考資料としてご利用いただければ幸甚であります。

本資料の作成にあたり、多大のご尽力とご指導を賜りました本委員会、運営委員会、また、初代委員長としてご指導を賜りました大阪市立大学・故眞嶋光保先生に厚くお礼を申し上げます。

今後とも人工軽量骨材業界、鋼纖維業界およびコンクリート業界の発展のために、皆様方のご指導とご鞭撻をお願い申し上げます。

1998年11月

人工軽量骨材（A L A）協会

会長 丹昭太郎

—人工軽量骨材コンクリート技術資料発行内容—

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| No.1 床の遮音 | No.8 ポンプ施工（続） |
| No.2 ポンプ施工 | No.9 高性能A E減水剤 |
| No.3 耐久性 | No.10 鉄筋コンクリート部材の設計法 |
| No.4 力学的性質 | No.11 コンクリートの調合 |
| No.5 高強度コンクリート | No.12 世界の軽量コンクリート技術の現状 |
| No.6 韧性能とせん断強度 | No.13 鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLRC) |
| No.7 韧性能とせん断強度（続） | |

卷頭言

大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻・教授
鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLRC)研究委員会
(A L A 協会)

委員長 松井繁之

近年、橋梁のストックが多くなり、その維持管理が重要となる反面、新規橋梁ではコスト縮減を計った合理化橋梁が要求される。この橋梁の合理化に対して、耐久性のある床版を採用することが必須となっており、各種形式の床版が開発競争でしのぎを削っている。このような中で、密度が普通コンクリートに比較して20~30%ほど小さい人工軽量骨材を使った床版も参入が可能と考えられる。その考えの契機となったのが、1995年の阪神・淡路大地震であり、橋梁上部工はできるだけ軽量化することが望ましいと認識された。既設床版の打ち替え用にも適用可能であろう。ただし、人工軽量骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して静弾性係数やせん断強度・曲げ強度が若干低い。この欠点を補うものとして鋼纖維の使用が考えられる。そこで、A L A 協会において鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLRC)研究委員会を構成して、鋼纖維補強による軽量コンクリートの性能改善に取り組んできた。この基礎研究が一段落したので、ここにその成果を整理紹介することとした。

本成果は、一般の鋼纖維補強軽量コンクリートの特性を調べたものであるので、床版用と限ることなく適用可能であるので、何らかのお役に立てれば幸いである。

カナダでは、鉄筋を全く使用せずポリプロピレン纖維を混入した床版が開発されているが、この鋼纖維補強軽量コンクリートも有望と考えられる。今後は床版の疲労実験を継続して行う予定であり、成果が出れば別の機会に報告したい。

最後に、本研究は初代の委員長としてご活躍いただきました大阪市立大学工学部土木工学科・故眞嶋光保先生の熱心なご指導の贈物であり、衷心より感謝申し上げます。

また、S F L R C 研究委員会の各委員には実験ならびに成果のまとめにおきまして貴重なご意見を頂きました、ここに記して謝意を表します。

1998年11月

鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLC)研究委員会委員

(順不同・敬称略)

委員長	松井繁之	大阪大学大学院工学研究科
前委員長	眞嶋光保	大阪市立大学工学部土木工学科
委員	安松敏雄	日本道路公団試験研究所橋梁研究室
	小坂寛己	首都高速道路公団工務部設計技術課
	植木 博	首都高速道路公団工務部
	涌井 一	(財)鉄道総合技術研究所技術開発事業本部構造物技術開発事業部
	保坂鐵矢	日本鉄道建設公団設計技術室
	清田鍊次	(株)横河ブリッジ技術本部技術開発室
	川井 豊	川崎製鉄(株)橋梁・鉄構造事業部橋梁・鋼構造技術部企画開発室部
	橋 吉宏	川田工業(株)橋梁事業部東京設計部設計二課
	笹川大作	川田工業(株)橋梁事業部東京技術部技術課
	鈴木 統	石川島播磨重工業(株)機械鉄構事業本部技術開発部
	深津章文	ブリヂストンメタルファ(株)販売部
	堀越利男	ブリヂストンメタルファ(株)販売部
	大西三郎	神鋼建材工業(株)構造材営業本部構造材営業室
	守田 孝	神鋼建材工業(株)構造材営業本部構造材営業室(前)
	川原賢二	住友金属建材(株)構造材営業本部構造材技術室
	坂根 正	住友金属建材(株)塙製作所鋼板技術部品質保証試験室
	古津彰三	住友金属建材(株)営業部
	高津行秀	(株)ボゾリス物産混和剤営業部
	蓑宮芳和	(株)ボゾリス物産営業技術部
	遠藤裕悦	八洋コンクリートコンサルタント(株)技術部
	藤木英一	日本メサライト工業(株)技術部(人工軽量骨材協会)
	森 安仁	日本セメント(株)建材事業部(現アサノパーライト(株);人工軽量骨材協会)
	成川史春	日本メサライト工業(株)技術部(人工軽量骨材協会)
	石川寛範	日本メサライト工業(株)技術部(人工軽量骨材協会)
	堀籠浩史	日本セメント(株)大阪建材支店(現太平洋セメント(株);人工軽量骨材協会)
	大谷真生	日本セメント(株)建材事業部(現太平洋セメント(株);人工軽量骨材協会)
事務局	森谷勇二	日本セメント(株)建材事業部(現太平洋セメント(株);人工軽量骨材協会)
	濱崎和幸	人工軽量骨材(A.L.A.)協会事務局

目 次

1 章 軽量コンクリートの鋼纖維補強のねらい	1
2 章 各種鋼纖維の特徴	6
3 章 試験概要	12
4 章 フレッシュコンクリートの特性	16
5 章 鋼纖維の分散性と配向	20
6 章 強度特性	23
7 章 曲げ韌性	27
8 章 耐久性	30
9 章 せん断特性	34
10章 曲げ疲労特性	38
人工軽量骨材コンクリートの施工例	42

1章 軽量コンクリートの鋼纖維補強のねらい

1. 1 普通コンクリートと軽量コンクリート

セメントコンクリートはセメントにより骨材を結合しただけの充填構造組織であり、引張強度が圧縮強度に比べ小さい。このためひび割れが発生しやすいことや、破壊時の挙動が脆的になるという宿命的な特質を有している。

人工軽量骨材コンクリート（以下LCとし、ここでは粗骨材に軽量粗骨材を、細骨材に普通細骨材を使用した、いわゆる軽量1種コンクリートとする）は、その密度が同一の圧縮強度の普通コンクリート（以下NCとする）に比べ約20%小さい。この特徴を生かして、建築土木の幅広い分野でLCが活用されている。

土木構造物においてもLCは経済的でスレンダー

な上部構造を実現し、下部構造への荷重軽減に貢献できるため、LCを活用した構造物が数多く建設されている。（表1.2参照）一方、LCはNCに比べ一部の力学的性状がやや劣る部分もある。表1.1に本委員会の実験結果による同一配合のNCとLCの強度特性の比較を示す。

これらの結果から、圧縮強度および引張強度は差がないが、静弾性係数はNCの60%、曲げせん断強度、曲げ強度は75%程度である。このためLCを使用する構造物の設計には、これらのことと配慮した設計手法が採用されてきた。しかし、近年、道路橋床版などでは、せん断や曲げ強度などのNC並への向上が求められ、これを理由にLCの採用が困難とされるなど、土木用途への活用が減退している。

表1.1 LCとNCの強度特性の比較

	W/C (%)	単位容積 T/m ³	気乾単位容積 T/m ³	圧縮強度 N/mm ²	静弾性係数 10 ⁴ 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	曲げせん断 N/mm ²
NC	48	2.28	2.26	39.1	2.94	2.78	4.88	4.74	2.2
LC	48	1.91	1.85	38.2	1.85	2.69	3.81	4.72	1.7
LC/NC(%)		84	82	98	63	97	78	99	76

(注)せん断強度は二面せん断試験、曲げせん断強度は梁の曲げせん断試験による、材例は28日

単位容積は単位容積質量を、気乾単位容積質量をあらわす。

表1.2 日本におけるLCの主な土木向け実績（件数）

用途	設計強度 (N/mm ²)	年代					
		64～'69	70～'74	75～'79	80～'84	85～'89	90～'94
床版	21以下	8	5	0	0	3	6
	24以上	29	15	9	3	6	12
	40以上	0	0	0	0	0	3
橋脚	21以下	1	0	0	0	0	0
	24以上	1	1	1	0	0	0
	40以上	0	0	0	0	0	0
桁	21以下	0	0	0	0	0	0
	24以上	4	1	0	0	0	1
	40以上	9	0	0	0	6	0
計		52	22	10	3	10	21

1. 2 土木構造物における活用

ALA協会がまとめた昭和39年から平成6年までの日本におけるLCの土木構造物への使用実績の概要は表1.2に示すようである。

日本では、軽量アスファルトや軽量盛土などのわずかの例を除き、ほとんどが床版や桁あるいは高欄・橋脚・フーチングなど橋梁構造物への活用である。図1.1に、文献(T.A.Holm and T.W.Bremner The Durability of Structural Lightweight Concrete)から引用した、北米における橋梁構造物への適用の推移を示す。また図中には上記ALA協会の

調査による日本での適用の推移を示す。

この図から、北米における近年の普及の急拡大に対して日本では昭和45に爆発的な普及が見られたが、以降は激減し、北米における推移とは対照的である。この理由として、経済性や施工性あるいは强度特性など種々のことからが挙げられている。

図1.2に文献(西川和廣、ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案、橋梁と基礎、97-8)から引用した日本における建設年次別橋梁数および形式別橋梁延長を示す。

これらの図からLC床版が採用されることの多い鋼橋の推移を見ると、昭和50年をピークに鋼橋の

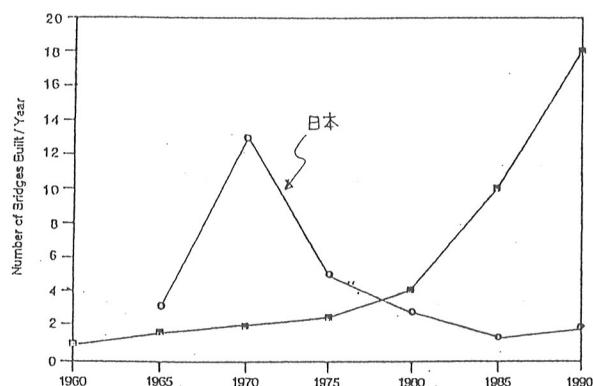


Fig. 1-1 Number of major bridges built per year in North America using structural lightweight concrete (Expanded Shale Clay and Slate Institute task force updating of ref. no. 1)

図-1.1 L C活用橋梁数の日米比較

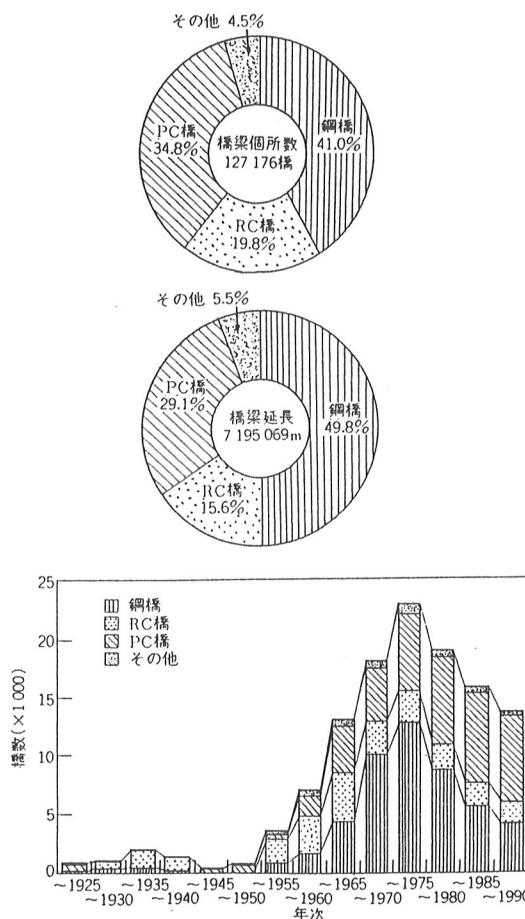


図-1.2 建設年次別橋梁数および平成6年4月現在の橋梁数および延長

建設シェアは低下し、代わりにPC橋が隆盛を示している。しかし、橋梁延長では約半数を鋼橋が占めている。これらのデータからは新設される橋梁への適用のみでなく、既設の鋼橋のストックの大きさから、更新される床版へのLCの適用のポテンシャルの高さがうかがえる。車両積載荷重の大型化を迎え、このような更新される床版は桁の継続使用を考えると、軽量化が最も望ましい技術であろう。

1. 3 LCの補強

LCはその軽量性を活かしてスレンダーで経済的な構造物を実現させる材料として極めて有望である。ただし、日本では過去の採用の経験からLCの弱点の補強が求められている。これを経済的に実現することができれば、LCは再び脚光を浴びることができることになる。

本研究報告はLCを鋼繊維により補強することとし、その物性や耐久性を含む性能の調査確認を行ったもので、これを高性能LCとして、橋梁の床版への適用を目指すものである。

1. 4 繊維補強効果の考え方

1960年代、Romualdiらは脆性材料の強度を説明したGriffithの理論を応用して鋼繊維補強の研究を行った。マトリックスであるコンクリートよりも高い弾性係数および強度を有する鋼繊維によりコンクリートが有する欠陥・空隙から発生したひび割れが繊維部分で止まってしまい、ひびわれの進展を防止する。すなわち、繊維の平均間隔に反比例して脆性材料の欠陥・空隙の大きさは小さくなり、セメントコンクリートの引っ張り強度は平均繊維間隔を小さくすれば著しく高めることができるというのである。¹⁾

(図-1.3, 1.4)

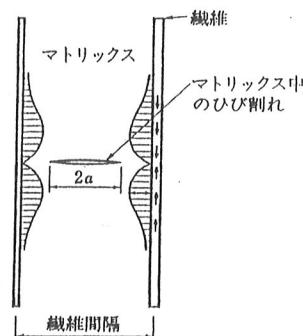


図-1.3 鋼繊維による脆性材料のひび割れ拘束機構モデル（文献1による）

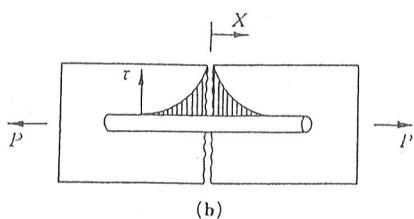


図-1.4 ひび割れ後の繊維マトリックス界面せん断応力分布の例（文献2による）

近年の研究報告²⁾によれば例えれば初期ひび割れ強度の増大のようなひび割れ前における補強効果と、ひび割れ発生後ひび割れ面が繊維により橋架けされ繊維の引き抜け抵抗によりひび割れをまたいで応力が伝達され、複合体の脆性的な破壊が防止されるという（韌性効果）二つの現象に分けて補強効果が議論されている。最近では、後者がより重要な補強効果とし繊維補強複合体の終局強度や変形性能の改善に関する研究報告が多い。

一方、松井³⁾によればRC床版の最終損傷形態は一部コンクリートが抜け落ち、路面が陥没する現象であり、その多くにおいて上面のコンクリートは骨材化しているという。さらに、このような現象は主桁のずれ止めによる拘束から床版コンクリートの乾燥収縮によるひび割れが発生し、床版に加わる種々の交通荷重による変形が雨水の存在下でこのひび割れ面をもみ合い擦り合うことにより発生するという。繊維による補強がひび割れ面の動きを強く抑制する

のであれば、このような現象は発生することがなく、床版の疲労耐久性の向上に大きく貢献する可能性があると指摘している。

1.5 補強用繊維

コンクリート補強用の繊維は多種多様のものが検討されているが、それらの種類とその物理的性質を表1.3に示す。一般にコンクリートの欠陥の補強にはマトリックスであるコンクリートより高いヤング率の繊維を、また繊維補強複合体としての韌性を高める目的には上記よりやや低いヤング率の繊維が用いられる。

近年においてコンクリート補強に使用されている繊維とその使用例は表1.4のようである。

これら各種コンクリート補強用繊維の中で鋼繊維はその研究の歴史は古く、他の繊維に比べて研究報告の質と量が豊富である。

当然、鋼繊維そのものの歴史も古く、改善改良が重ねられ、最も安定した性能が期待できる。

1980年に建築物のデッキプレートの配力鉄筋を省略するための鋼繊維補強軽量コンクリートの研究が東京大学工学部建築学科友澤研究室において取り組まれており、基礎データが存在し研究の継続に好都合である。

このようなことから、本委員会では補強用繊維として鋼繊維を採用することになった。

表-1.4 繊維補強コンクリートの使用例

用途	特性 種類	性能			材料				
		気乾比重	圧縮強度 (Kg/cm ²)	曲げ強度 (Kg/cm ²)	セメント	骨材	繊維材料	混和剤	鉄筋防錆
(現場打設) 床版増厚	SFRC	2.42	400	70	普通 ポルトランド	普通骨材	スチール繊維		鉄筋無し
トンネル ライニング	SFRC	2.38	240	50	普通 ポルトランド	普通骨材	スチール繊維		鉄筋無し
トンネル 吹き付け	SFRC	2.38	240	50	普通 ポルトランド	普通骨材	スチール繊維		鉄筋無し
工場土間	SFRC	2.38	300	80	普通 ポルトランド	普通骨材	スチール繊維	流動化剤	特に無し
カーテンウォール (工場打設)	SFLRC	1.91	500	100	早強 ポルトランド	人工軽量 骨材	ステンレス 繊維	減水剤 増粘剤	特になし
	GLRC	1.50	250	90	特殊 セメント	超軽量骨材 珪砂	耐アルカリ性 ガラス繊維	高性能 減水剤	ステンレス
	CFLRC	1.65	250	80	特殊 セメント	粉末珪砂	ビック系 炭素繊維	増粘剤	ステンレス
	VFLRC	1.65		80	特殊 セメント	粉末珪砂	ピロロ 繊維	増粘剤 流動化剤	エボキシ樹脂 塗装

(注)ここに記載したものは主な用途の代表的な例である。カーテンウォールについては参考文献4)による。

表-1.3 補強用繊維およびマトリックスの種類と力学的性質（文献2による）

種別	素 材	種 別	直 径 (μ)	密 度	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	破断伸度・ 降伏 (%)
無機	石 繩	クリソタイル	0.02-30	2.55	588-980	157	2-3
		クロシドライト	0.1-20	3.37	2746-4120	167	2-3
		せん断	500	7.85	880	206	3.5
	ガラス	伸 線	500	7.85	1180	206	3.5
		切 削	600程度	7.85	830	206	3.5
		メルトエクストラクション	450	7.85	780	206	3.5
機械	炭 素	A R	12.5	2.78	2450	74	3.6
		E	10	2.54	2160	71	4.8
		A	10	2.46	2060	64	—
	アルミナ	PAN-HM	7-9.7	1.95	1960-2450	382	0.5
		PAN-HT	7.6-8.6	1.75	2650-3630	245	1.5
		ピッチ-GP	18	1.6	690-980	29	2.0-2.4
機械	ポ ロ ン	ピッチ-HP	10	1.9	1960-2940	196	0.5-0.6
		アルミナ	33-10	3.6	1080-1770	324	—
		ポ ロ ン	100	2.62	2940-4410	392	—
	SiC	SiC	10-15	2.5	2940	196	—
		ポリエチレン	900	0.95	250-700	0.1-2.2	10-15
		モノフィラメント	10	0.98	2550-4710	69-127	2-5
有機	ポリプロピレン	モノフィラメント	10	0.9	300-760	3.5-4.9	23-25
		フィブリル	500	0.9	390	7.8	8
		モノフィラメント	14-16	1.3	980-1470	30-36	3-13
	アラミド	Kevlar49	11.9	1.45	2750-3530	123	2.2-2.8
		Kevlar29	12	1.44	2840	68	4.4
		テクノーラ	12.4	1.39	3430	73	4.6
機械	アクリル	18	1.18	830-930	17-19	9-11	—
		ボリアミド	4	1.14	760-980	4.9	13.5-19
		ポリエステル	—	1.38	730-860	7.9	11-13
	セルロース	—	1.2	300-500	10	10-20	—
		セメントモルタル	—	—	2.5-3.5	20-40	0.005-0.015
		セメントコンクリート	—	—	3.0-4.0	10-40	0.005-0.015

1.6 鋼繊維補強コンクリートの特徴

(1) 物理的特性

繊維補強コンクリートの物理的特性に与える重要な影響因子は下記のようである。¹⁾

① 繊維種類（材質、形状、寸法）

今回の研究に使用する鋼繊維の種類はA、B、Cの3種類である。マトリックスがコンクリートであることより、高度な補強効果をねらい骨材最大寸法(15mm)の3倍以上の長さのものを使用し、それぞれ製造方法の異なるものを選定した。

② 繊維とマトリックスの付着性状

採用した鋼繊維はマトリックスとの付着改善を工夫した両端フック型(A:φ0.8×60mm)、インデント型(B:φ0.7×50mm)、波形(C:t0.25×b2.0×50mm)の三種である。それぞれの付着性能はメーカーにより明らかにされている。

③ 繊維の配向と分散

魚本¹⁾によればガラス繊維の成形法と配向および補強効率は表1.5のようである。今回採用する成形

法は流し込み法であるためこの表からは補強効率は20%以下となる。

④ 繊維混入率

土木学会指針(案)によれば繊維混入率はマトリックスに対する容積百分率にて表すこととしている。またその混入率は上限を定めていないが、一般には0.5~2.0%(40~160kg/m³)を標準としている。本研究では経済性も考慮して0.5~1.0%(40~80kg/m³)とした。

⑤ マトリックス(モルタル、コンクリート)の品質

本研究に使用するマトリックスは粗骨材に軽量骨材を、細骨材に普通砂を使用する軽量1種A-Eコンクリートである。配合は1995年に北陸新幹線の鋼橋床版に使用された流动化軽量コンクリートを標準とした。通常、コンクリートに鋼繊維を混入すると流动性は低下する。一般にこれを改善するにはコンクリート中のモルタルの量を増加させる手法がとられる。

この研究では鋼纖維複合体の軽量性と施工時におけるポンプ圧送性を同時に確保すると共に、乾燥収縮やクリープ性状の低下を押さえるため、モルタル量の増加は極力押さえ高性能減水剤によりコンクリートの流動性を確保することとした。

表-1.5 ガラス纖維の補強効率と成型法
(文献1による)

配向性	補強効率(%)	成形法
連続一軸配向	100	パイプフィラメントワインディング成形 連続ロービング押出し成形
連続二軸配向	40~50	
連続ランダム配向	35~45	モルタルインジェクション成形
二次元ランダム配向	30~37	吹付け成形 (ダイレクトスプレー法 スプレーサクション法)
三次元ランダム配向	0~20	プレミックス成形 (振動流し込み法 プレス法 押出し法)

(2) 鋼纖維補強コンクリートのその他の特性

纖維補強コンクリートの耐久性は普通コンクリートに比較して良く、空気量等、通常のコンクリートと同様な配慮さえ行えば高い耐久性を有する。軽量コンクリートにおいても同様であるが、特に凍結融解抵抗性の向上が顕著である。若干の問題点は特に塩分環境下に施工されるような場合に表層部の纖維が腐食し錆汁の発生など外観上不味であることである。このため一部にステンレスファイバーの使用や表面への防錆塗装などが採用されるケースがある。

ひびわれのない場合、あるいはその幅が微小であれば内部まで腐食することではなく、強度、変形性能等の物理特性は変化しない。しかし荷重等により大きな幅のひびわれが発生している場合は、ひびわれ近傍の纖維が腐食し耐荷力が低下することがあるといわれている。

1.7 鋼纖維補強コンクリートの製造方法

鋼纖維補強コンクリートは一般にプレミックス法より製造される。具体的には、工場にてドライミックスする方法や、プラントでのコンクリートミキサー、あるいは打ち込み現場でのコンクリートアジテーター車への投入などの方法がある。過去においてはコンクリートアジテーター車の性能によっては一部にファイバーポールの発生が見られたことがあったが、近年ではファイバーの改良によりこのような現象は見られなくなった。

(文責 藤木 英一)

参考文献

1. 魚本健人、纖維補強セメント・コンクリート：コンクリート工学 Vol.33.1995.1
2. 真嶋光保、幸左衛門、大野定俊、纖維補強セメント／コンクリート複合材料、1994 技報堂
3. 松井繁之、床版の技術開発、橋梁と基礎 Aug.1997
4. 清家 剛、カーテンウォールへのFRCの応用
P C S A 1998 Vol.16
5. 小林、渡辺：鋼纖維で補強した軽量コンクリートの力学性状セメント・コンクリート No.509, July 1989
6. 土木学会、鋼纖維補強コンクリート設計施工指針（案） 1983.3
7. (社) 鋼材併用部、鋼纖維補強コンクリート設計施工マニュアル（トンネル編） 1995 技報堂
8. 友澤、篠塚、山下、フック付き鋼纖維を用いた軽量コンクリートの基礎的性状に関する研究、日本建築学会大会、1990.10
9. (社) 鋼材併用部、スチールファイバーコンクリートの手引き



桜橋（床版）

2章 各種鋼纖維の特徴

1. 鋼纖維の製造方法による区分¹⁾

鋼纖維は纖維補強用に種々のものが開発され現在では実用の域に達している。

鋼纖維を用いたコンクリートの補強に関する研究は、1910年のPortorにはじまり、1963年のRomualdiによる補強効果に関する論文発表が契機となって、世界的に広まったものと思われる。

わが国においても1970年代より各研究機関による研究開発が行われる様になり、土木学会による

「鋼纖維補強コンクリート設計施工指針(案)(1983)」、日本建築学会による「スチールファイバーコンクリート技術の現状(1984)」、日本コンクリート工学協会による「纖維補強コンクリートの試験方法に関する規準(1984)」などに成果としてまとめられている。

これまでに開発された鋼纖維は多数のものがあるが、製造法としては図2.1に示す方法に大別できる。

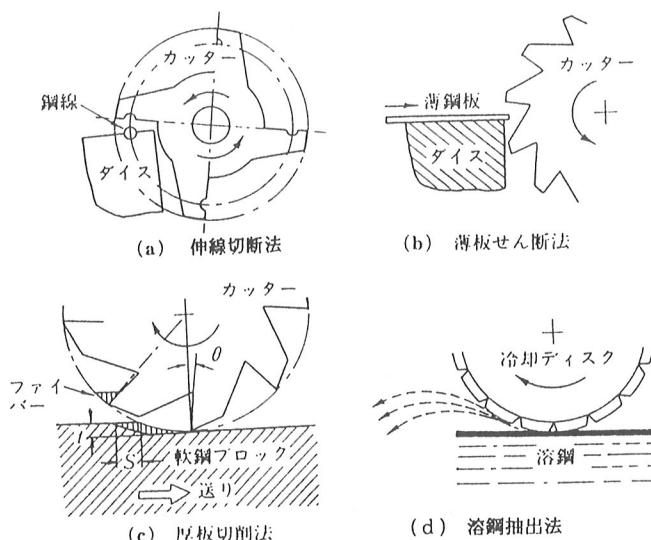


図2.1 鋼纖維の製造方法

- (a) 伸線切断法 圧延引き抜きされた鋼線を切断する方法、纖維直径は0.5mm～0.8mm程度、断面形状は円形もしくはそれに近い形状である。
- (b) 薄板せん断法 冷間圧延薄鋼板(厚さ0.2～0.5mm)を細長くせん断することによりせん断加工する方法で、断面形状は正方形ないし長方形である。
- (c) 厚板切削法 鋼の厚板などを切削する方法。素材は切削時の加工硬化を受けている。断面は三角ないし三日月状である。
- (d) 溶鋼抽出法 溶融した鋼を抽出凝固させたもの。断面は三日月である。

これらの方針により製造された鋼纖維は、製造過

程において、もしくは製造後にコンクリートとの機械的付着を高めるため表面加工が行われている。纖維表面の加工は纖維とセメントマトリックスとの付着を増大させるために重要であり、種々の方法が考えられている。

加工部分は端部のみの場合と全面の場合があり、加工そのものは、折り曲げ、波形異形、フックなど図2.2に示すようなものがある。纖維の長さは25～60mm程度のものが多く生産されており、纖維の換算直径は0.5～0.8mm程度となっている。

土木学会基準(案)による「コンクリート纖維」に対する品質規格では、鋼纖維の種類は形状により1種(角形断面)、2種(円形断面)、3種(三日月形断面)の3つに分類されている。断面形状と製造法は密接な関係があり、1種は薄板せん断法、2種

は仲線切断法、3種は厚板切削法もしくは溶鋼抽出法によると考えてよい。

鋼纖維の素材としては、JIS G 3141(冷間圧延鋼材)、JIS G 3532(鉄線)、JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)に適合する材料、またはこれと同等以上の鋼材を切断または切削して製造することとなっており、纖維としての引張強度は 60 kgf/mm²

(588MPa)が規定されている。一般的には鋼纖維の強度は、製造時の加工硬化によって素材強度を上まわるようである。

纖維加工は纖維補強コンクリートの施工性を改善する観点からも関係しており、水溶性の接着剤により数十本の纖維を束ね、練り混ぜ時に分散する様に工夫された纖維もある。

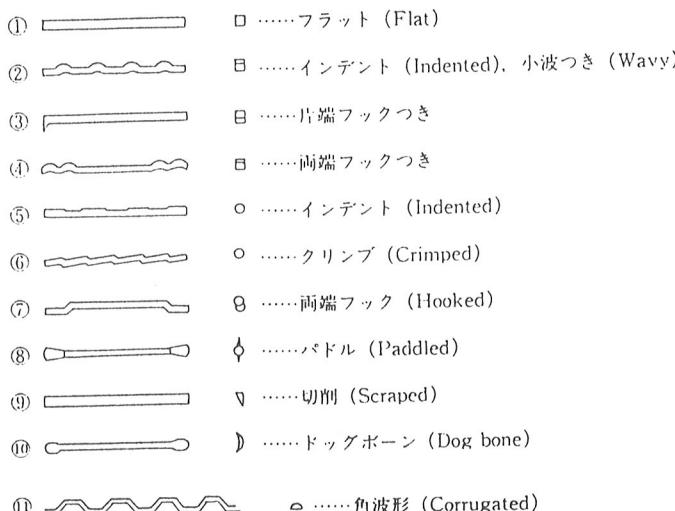


図-2.2 鋼纖維の形状による分類

2. 国内産鋼纖維

国内にて製造販売されている鋼纖維の製造方法は、前項の①～④のいずれの種類もありそれぞれの鋼纖維の特徴および外観は、表2.1および写真2.1に示すとおりである。

3. 研究会で採用した鋼纖維について

本研究会においては、鋼纖維補強人工軽量骨材コンクリート(SFLRC)として橋梁床版への適用を中心とした研究を進めることとし、以下の項目について最も適する鋼纖維を選択することとした。

- ① 出来るだけ少ない混入量で補強効果(曲げ引張強度)の高いもの
- ② 打設現場にて鋼纖維をアジテータ車に投入可能なもの
- ③ 配筋併用にても施工可能なもの

一般に、鋼纖維の補強効果はアスペクト比(L/D :纖維長、 D :纖維径)に良く対応し、図2.3に示す様にアスペクト比が大きい鋼纖維程、プレーンコンクリートに対する引張強度比が高い傾

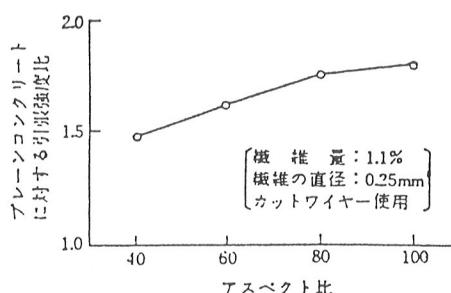


図-2.3 アスペクト比と引張強度³⁾

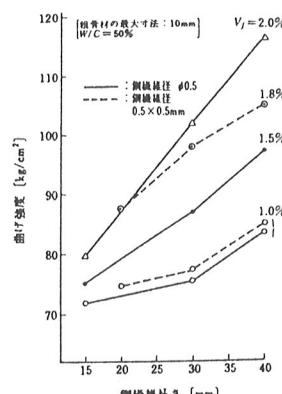
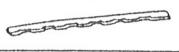
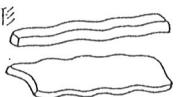
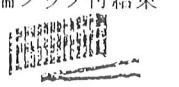
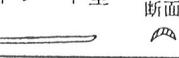


図-2.4 鋼纖維長さと曲げ強度⁴⁾

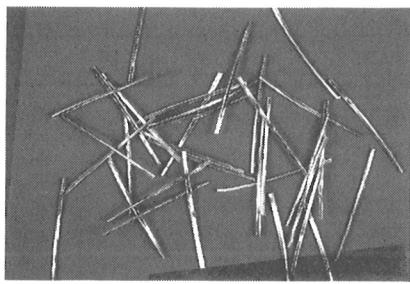
表-2.1 代表的な鋼繊維の諸元²⁾

メーカー	商品名	寸法			素材	製造方法	形状
		厚さ	幅	長さ			
NKK	テスサ	0.5	0.5	20, 25, 30 40	JIS G 3141 SPCC	薄板 せん断法	インデント型 
	チャレンジ AC	0.5	1.0	50	SPCC 相当 高強度材		端部インデント付き 
神鋼建材 工業(株)	シコード ファイバー	$\phi 0.6^*$		25, 30, 40	JIS G 3532 SMW-B	伸線切断法	インデント型 
		$\phi 0.7^*$		45, 50			
		$\phi 0.8^*$		50			
住友金属 建材(株)	IS ファイバー	0.5	0.5	25, 30	JIS G 3141 SPCC	薄板 せん断法	波形 
		0.5	1.0	25, 30, 50			
東京製綱 (株)	タフイパック II	$\phi 0.6^*$		30, 40	JIS G 3532 SMW-B	伸線切断法	両端フック型 
		$\phi 0.8^*$		50, 60			
日鐵建材 工業(株)	スチーバー	0.5	0.5	25, 30, 40 50	JIS G 3141 SPCC	薄板 せん断法	波形 
	ニボーレックス	$\phi 0.6^*$		32	JIS G 3106 SM - 490相当	厚板切削法	三日月両端フック型 
(株)アリナ ストン	タフグリップ	$\phi 0.6$		30	JIS G 3532 SMW-B	伸線切断法	両端フック付結束 
日本冶金 工業(株) ステンレス のみ	RC-DB ファイバー	$\phi 0.4, 0.5^*$		22, 25, 30			
	RC ファイバー	$\phi 0.3, 0.4$		35, 40	JIS G 4303 SUS431相当 SUS303相当 JIS G 4311 SUS310相当	溶鋼抽出法	ドッグボーン型 
		0.5^*					ストレート型 

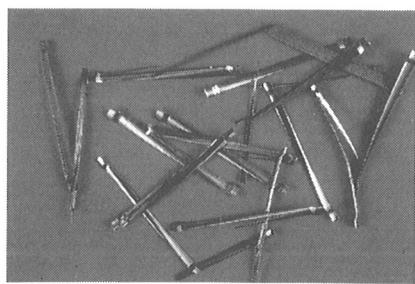
(注1) 上表に掲げたものはいずれも各社の標準的なものである。

(注2) この他各社とも防錆用、耐火材料としてステンレス素材のものもある。

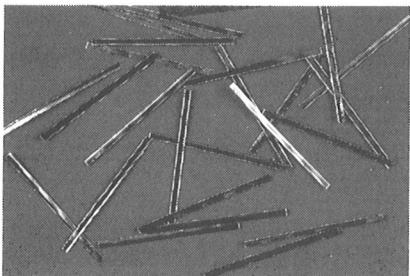
(注3) ※は換算丸線径。



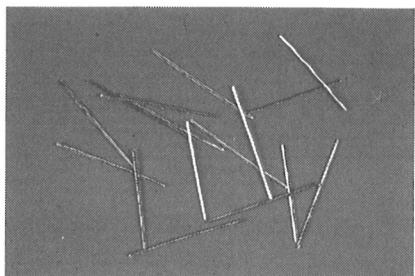
IS ファイバー (住友金属建材(株))



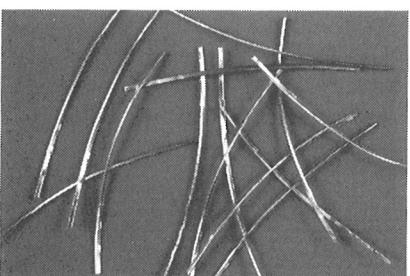
ニポレックス (日鉄建材工業(株))



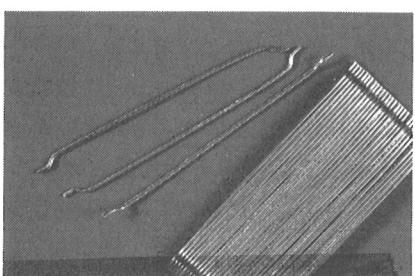
テスサ (NKK)



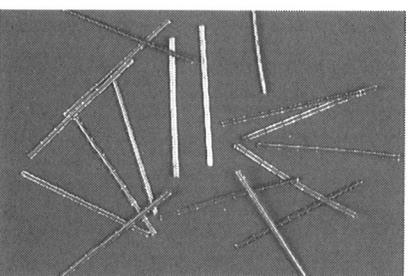
スティーバー (日鉄建材工業(株))



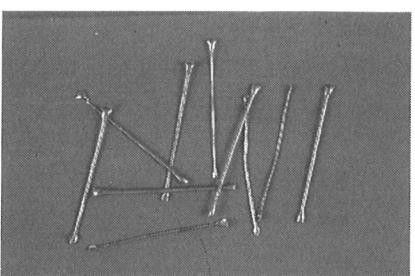
チャレンジ AC (NKK)



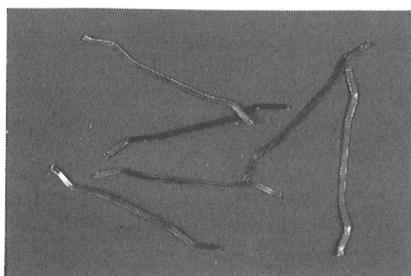
タフグリップ ((株) ブリヂストン)



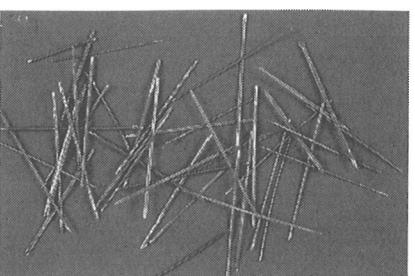
シンコーファイバー (神鋼建材工業(株))



RC-DB ファイバー (日本冶金工業(株))



ダイパック II (東京製綱(株))



RC ファイバー (日本冶金工業(株))

写真-2 . 1 代表的な鋼纖維の外観²⁾

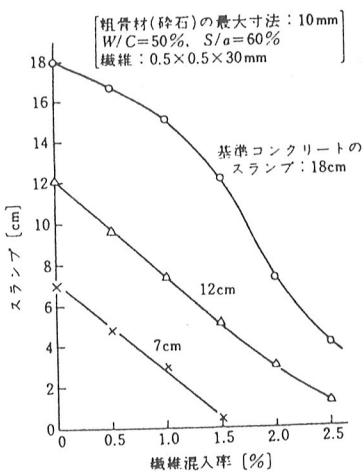


図-2.5 鋼纖維混入率とスランプ傾向を示している。

また、図2.4は、曲げ強度に及ぼす鋼纖維長さの影響について示したものであるが、鋼纖維長さの長いものを用いる程、強度は増大する傾向がある。

一方、鋼纖維のコンシステンシーに及ぼす影響としては、鋼纖維の混入量によるものと、鋼纖維の長さによるものの2つが考えられる。図2.5に示す様に、フレッシュコンクリートに鋼纖維を混入すると、そのコンシステンシーは混入量の増加とともに著しく低下することとなる。その理由は鋼纖維の表面積による効果と纖維形状による内部摩擦の増大によるものといわれている。

同じく、図2.6は鋼纖維長さの影響を鋼纖維直径が一定である場合に示したものである。

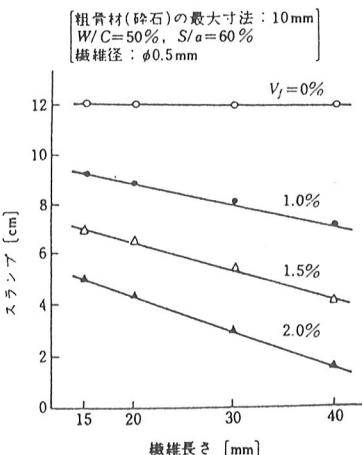


図-2.6 鋼纖維長さとスランプ

この図より明らかな様に、ある一定のスランプのコンクリートに断面積が一定で長さの異なる鋼纖維を混入した場合のスランプの減少は、鋼纖維長さが大となる程著しいことがわかる。

以上のことから、鋼纖維を混入することにより、その配合は一般に単位水量を増大する必要があるが、このことはセメント量の増大にもつながり、乾燥収縮に対して好ましい手段とはいえないこととなる。

そこで、本研究会では高性能減水剤の使用により、単位水量の増大に対処することとした。

図2.7に高性能減水剤の添加により単位水量の減少を図った結果を示す。

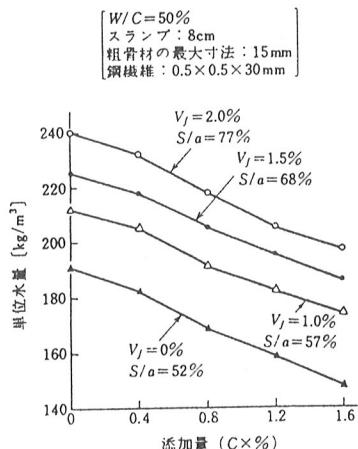


図-2.7 スランプ 8 cmを得るための高性能減水剤添加量と単位水量の関係

この図によれば、普通コンクリートと同様に高性能減水剤の添加量を増すに従って、単位水量はほぼ直線的に減少し、たとえば高性能減水剤添加量をセメント重量に対し0.8%程度用いることにより鋼纖維混入量1%の時の単位水量が纖維無混入のコンクリートの単位水量とほぼ同程度になるまで減ずることが可能であることがわかる。

以上より、採用すべき鋼纖維は、アスペクト比が大きいもので出来るだけ長さの長いものが好ましいと考えられ、表2.2に示す3種類の鋼纖維を選択した。

アスペクト比が大きい鋼纖維は、補強効果に優れる反面、その細長い形状ゆえに練り混ぜがしづらいという欠点を併せもつが、選択した鋼纖維はいずれも、水溶性接着剤で結合したり、表面を偏平に加工

したりすることにより練り混ぜ性能を確保する工夫を施し、十分な施工実績を有している。

表-2.2 採用した鋼纖維

種別	製造方法	寸 法(mm)	形 状	アスペクト比	商品呼称
A	伸線切断法	$\phi 0.8 \times 60$	両端フック付結束	7.5	タフグリップ
B	伸線切断法	$\phi 0.7 \times 50$	インデント	7.1	シコーファイバー
C	薄板せん断法	$0.25 \times 2.0 \times 50$	波 形	6.3	I Sファイバー

採用した3種類の鋼纖維の特徴は、それぞれのカタログを要約すれば以下のとおりとなる。

鋼纖維A：水溶性接着剤により、数十本の鋼纖維が結束され板状となっているため、コンクリート混入時に絡み合うことが少なく、また両端にフックを有することによりコンクリートとの付着を改善している。

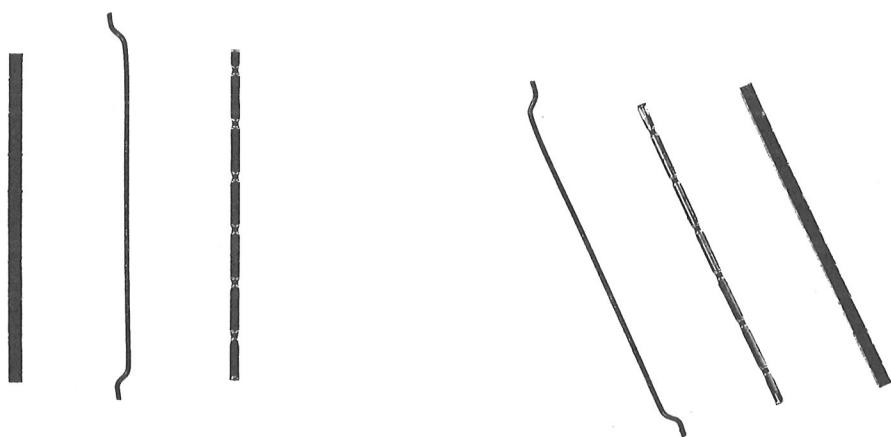
鋼纖維B：両面に異形加工を施しており、従来鋼纖維に比べコンクリートの付着強度および分散性を改善している。

鋼纖維C：偏平断面とすることで、鋼纖維同士の摩擦が少なくなるため分散性が良好となり、端部が波形であるためコンクリートとの付着を改善している。

[参考文献]

- 1) 「繊維補強セメント／コンクリート複合材料」真嶋光保 他著：技報堂出版
- 2) 「スチールファイバーの手引き」(社)鋼材倶楽部編
- 3) 「鋼纖維補強コンクリート 一般的性質」小林一輔ら コンクリート工学 1977.3
- 4) 「繊維補強コンクリート特性と応用ー」小林一輔著：オーム社

(文責 深津 章文)



3 章 試験概要

3.1 対象としたコンクリート

今回の鋼纖維補強軽量コンクリートは土木構造物を対象としており、具体的には纖維補強効果の適用が最も期待される橋梁の床版コンクリートを想定した。

軽量コンクリートの種別は汎用性の高い軽量1種とし、対比用として砕石・川砂の普通コンクリートを用いた。スランプは床版を対象とした軽量コンクリートを用いた既往の報告¹⁾、及び建築コンクリートを対象とした報告²⁾を参考にして18cmとした。

従来土木用コンクリートのスランプは8~10cm程度が一般的であるが、最近のポンプ施工における圧送性を考慮した場合土木においても軟練りコンクリートの事例が増えている。この背景には最新の高性能AE減水剤の発達により、単位水量を増やすことなく施工性の良いコンクリートが容易に得られる技術の普及を挙げることができる。

3.2 検討項目及び試験過程

本試験は形状の異なる3種類の鋼纖維と軽量コンクリートを組み合わせた鋼纖維補強軽量コンクリートについて、以下に示す項目について検討を行った。

- ① フレッシュ特性
- ② 鋼纖維の分散性
- ③ 硬化コンクリートの強度特性
- ④ 硬化コンクリートの韌性
- ⑤ 硬化コンクリートの耐久性
- ⑥ 部材としてのせん断特性
- ⑦ 硬化コンクリートの曲げ疲労特性

試験場所は項目により以下の3カ所で行った。

- ①~⑤：八洋コンクリートコンサルタント(株)
- ⑥：大阪市立大学工学部土木工学研究室
- ⑦：(財)セメント協会研究所

また、試験過程の概略を以下に示す。

- (1) 配合設定の基本となるスランプは、最新の高性能AE減水剤を使用することで製造可能となる18cmとし、単位水量は予備試験の結果より180kg/m³とした。
- (2) 水セメント比はAL A協会の既往の実験を参考にし、W/C=48%を中心に45%及び53%の3水準とした。

- (3) 鋼纖維の混入率は重量増加及び経済性を考慮し、0.75%を中心に0.5%及び1.0%の3水準とした。
- (4) フレッシュ性状及び硬化コンクリート強度関係は、全ての配合について行った。
- (5) 支圧強度及び耐久性関係試験は、W/C=48%鋼纖維混入率0.75%の鋼纖維A種のみとした。対比用として纖維を混入しない普通コンクリート及び軽量コンクリートについても行った。
- (6) 屋外暴露試験は28日間標準水中養生後、神奈川県茅ヶ崎市内(海岸線より約3km)の建物の屋上に暴露し、表面の外観観察を中心に必要に応じて中性化及び塩分浸透性等を材齢3年まで行うこととした。
- (7) 梁の曲げせん断試験はW/C=48%の鋼纖維混入率0.75%の纖維A、B、C3種、普通コンクリート及び軽量コンクリートについて試験を行い、15×15×53cm供試体の二面せん断試験との関連を検討した。
- (8) 引張強度の向上のみならず疲労強度の向上も見込まれるため、動的疲労試験の予備試験として曲げ疲労試験を行うこととした。
- (9) 曲げ疲労試験はW/C=48%の鋼纖維混入率0.75%の纖維A、B、C3種及び纖維を混入しない軽量コンクリートについて試験した。

3.3 使用材料及び配合条件

本試験に用いた鋼纖維は、表3.1に示す形状及び製造方法の異なる代表的な3種類であり、表3.2及び図3.1に示す各種材料を使用した。また、コンクリートの配合条件は表3.3に示す。

表-3.1 鋼纖維の種類及び諸元

種別記号	製造方法	寸法(mm)	形状
A プリズストン メタルファ社製	伸線切断法	$\phi 0.8 \times 60$	両端フック付 結束型
B 神鋼建材 工業社製	伸線切断法	$\phi 0.7 \times 50$	インデント型
C 住友金属 建材社製	薄板切断法	厚幅 0.25×2.0 $\times 50$	波型

表-3.3 配合条件

要因	水準
粗骨材最大寸法(mm)	15
水セメント比(%)	43, 48, 53
鋼纖維 種類	A, B, C
	混入率(%)
スランプ(cm)	18 ± 1.5
空気量(%)	5 ± 1

表-3.2 使用材料一覧

項目	適用
セメント	普通ポルトランドセメント：日本セメント社製 密度 3.16g/cm ³
水	水道水
細骨材	静岡県大井川水系陸砂 表乾比重 2.60 吸水率 1.98% 粗粒率 2.74
粗骨材	人工軽量骨材：日本メサライト工業社製 絶乾比重 1.28 含水率 26.5% 最大寸法 15mm 東京都青梅産硬質砂岩碎石 表乾比重 2.65 吸水率 0.72% 最大寸法 20mm
混和剤	ポリカルボン酸エーテル系高性能AE減水剤 ：エヌエムピー社製

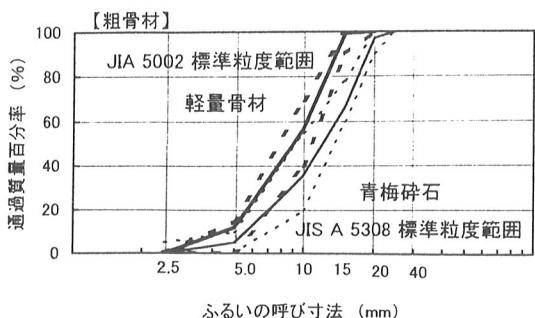
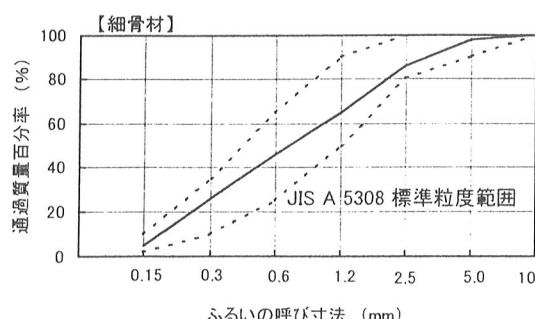


図-3.1 骨材の粒度分布

3.4 試験組合せ及び試験方法

コンクリートの練り混ぜは容量 100 ℥ の強制二軸型ミキサを用い、下記の方法により練り混ぜた。

また、試験組合せは表 3.4 に示す。

〔練り混ぜ方法〕

セメント+細骨材+粗骨材

↓ から練り 15 秒

水+混和剤

↓ 練り混ぜ 90 秒

鋼纖維

↓ 練り混ぜ 60 秒

排出・測定

表-3.4 試験組合せ一覧

配合条件				強度関係試験								耐久性関係試験							
鋼纖維		水セメント比 W/C	スランプ (cm)	空気量 (%)	スランプ° 空気量 温度	圧縮強度 (\pm アツ比)		引張強度		曲げ ケヤキ せん断	二面 せん断	支圧 強度	促進 中性化	長さ 変化	凍結 融解	屋外 暴露			
種類	混入率 (%)	混入量 (kg/m ³)				7日	28日	7日	28日	28日	28日	28日							
※1 軽量コンクリート			48	18±1.5	5±1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
※1 普通コンクリート				43	18±1.5	4±1	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
A	0.75	60					○	○	○	○	○	○	-	-	-				
B							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
C							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
A	0.50	40		48	18±1.5	5±1	○	○	○	○	○	○	-	-	-				
B							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
C							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
A	0.75	60		48	18±1.5	5±1	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
B							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
C							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
A	1.00	80		53	18±1.5	5±1	○	○	○	○	○	○	-	-	-				
B							○	○	○	○	○	○	-	-	-				
C							○	○	○	○	○	○	-	-	-				

※1 鋼纖維混入率 0 %

試験項目及び方法は表3.5に示す。

参考文献

表-3.5 試験項目及び方法

試験項目	試験方法
スラッシュ	JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」
空気量	JIS A 1116「まだ固まらないコンクリートの単位容積質量及び空気量の重量による試験方法(重量法)」 JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」
供試体作製	JSCE F 55 「試験室における鋼纖維コンクリートの作り方」
圧縮強度	JSCE G 551 「鋼纖維コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法」
静弾性係数 ボアソン比	JSCE G 502 「コンクリートの静弾性係数試験方法」
引張強度	JIS A 1113 「コンクリートの引張強度試験方法」
曲げ強度 曲げ韌性係数	JSCE G 552 「鋼纖維コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法」
せん断強度	JSCE G 553 「鋼纖維コンクリートのせん断強度試験方法」
支圧強度	圧縮強度試験に準じ、加圧面積比を1.0, 0.54, 0.11の3点に変化
凍結融解	JSCE G 501 「コンクリートの凍結融解試験方法」
乾燥収縮	JIS A 1129 「モルタル及びコンクリートの長さ試験方法」
促進中性化	日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」付1
梁のせん断強度	試験結果の項を参照
曲げ疲労特性	試験結果の項を参照

備考:供試体寸法

φ15×30cm: 圧縮引張強度・静弾性・ボアソン比・支圧強度
 15×15×53cm: 曲げ強度・曲げ韌性・せん断・曲げ疲労
 10×10×40cm: 凍結融解・乾燥収縮・促進中性化
 10×20×130cm: 梁のせん断強度

- 1) 桐山・保坂・庭野・吉信:「鋼橋の床版に用いた軽量コンクリートの長距離ポンプ圧送」:土木学会第51回学術講演概要集 1996
- 2) 友澤・波多・桐ヶ谷・篠塚・山下・高羽:「フック付き鋼纖維を混入した軽量コンクリートの基礎的性状に関する研究」:日本建築学会学術講演概要集 1990(中国)



(文責:遠藤 裕悦)

4 章 フレッシュコンクリートの特性

4.1 予備試験結果

単位水量選定のために参考とした、各種規格及び文献における軽量コンクリートの単位水量基準を表 4.1 に示す。

表-4.1 軽量コンクリートの単位水量規格一覧

規格及び文献	単位水量 kg/m ³	スランプ cm	備考
R C 示方書	特になし	5~12	
道路橋示方書	特になし	8	
J A S S 5 一般コンクリート	185 以下	21 以下	
J A S S 5 高耐久コンクリート	175 以下	21 以下	
高強度人工軽量骨材コンクリートを用いた建築物の設計と施工 ¹⁾	170	15 ~45%	W/C=30
鋼橋の床版に用いた軽量コンクリートの長距離ボンディング ²⁾	165	12~18	W/C=48%
ワッカ付き鋼繊維を混入した軽量コンクリートの基礎性状に関する研究 ³⁾	175	18	W/C=35 ~55%

上記の各種規格文献の中で最後のものは鋼繊維が混入した軽量コンクリートであり、本試験と類似しているが W/C 及び鋼繊維混入率が若干異なる。これらを参考に予備試験行ったところ、軽量コンクリート単体では単位水量 165 kg/m³ でもワーカブルなコンクリートの製造が可能であったが、鋼繊維混入量最大の 1.0% 配合では分離性状を示し混和剤の使用限界を超えており水量の増加が必要であった。水量を変化させた試験を繰り返した結果、本試験の配合全体を通じて良好なコンクリート作製可能な単位水量として 180 kg/m³ を選定した。この水量は前述の各種単位水量表と比較した場合、J A S S 5 の一般と高耐久の中間に位置し基本性状試験の主旨を考慮して妥当な水量と判断された。表 4.2 にフレッシュ試験結果を示す。

4.2 細骨材率

鋼繊維コンクリートの配合として最も特長的なものとして、細骨材率の選定を挙げることができる。すなわち、鋼繊維を混入することによりコンクリートの流動性が大きく拘束されるため、繊維混入前のベースコンクリートは細骨材率を大きくし繊維の流動を妨げないモルタル部分を増やすことが大切である。図 4.1

の繊維混入率と細骨材率の関係によると、鋼繊維の混入率を 0.5、0.75 及び 1.0% と増やすに従い細骨材率は 5.2%、5.6% 及び 6.4% と急激に増加している。これを普通コンクリートの場合と比較すると、図 4.2 の普通コンクリートの繊維混入率と最適細骨材率の関係⁴⁾における混入率 1.0% 粗骨材寸法 15 mm の場合の細骨材率は 5.6% であり、軽量では 6.4% が 8% 高くなっている。これは軽量コンクリートの特長というよりは繊維の長さに起因するものと考えられる。すなわち、図 4.3 の繊維の長さと細骨材率の関係²⁾にもみられるように、普通コンクリートにおいても長いタイプの繊維の場合は細骨材率を高くする必要があり、混入率は異なるが長さが 2 倍になると 10% 程度増加している。従って、本試験の繊維長 5~6 cm における細骨材率の増加は繊維の長さにより支配的であるといえ、骨材の種類による影響は少ないといえる。

また、水・セメント比の違いと細骨材率の関係は図 4.4 の普通コンクリートの場合⁴⁾と図 4.5 の本試験の結果からもわかるように繊維の混入による特別な影響は認められず通常の配合設計における細骨材率の補正で対応できる。

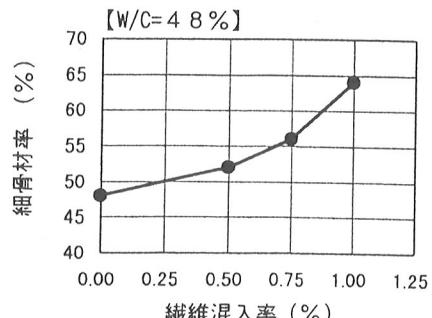


図-4.1 繊維混入率と細骨材率の影響(LC)

[W/C=50%
鋼繊維 : 0.5×0.5×30mm]

$G_{max} = 10\text{mm}$

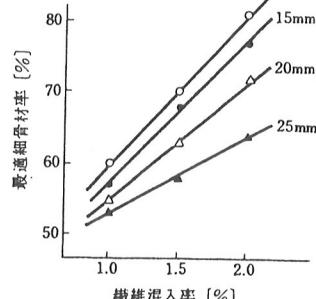


図-4.2 最適細骨材率に及ぼす繊維混入率の影響(NC)⁴⁾

表-4.2 フレッシュコンクリート試験結果

鋼 繊 維			水セメント比	細骨材率	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)		スランフ [°]	空気量 (%)		単位容 積質量 (kg/m ³)		
種類	混入率 (%)	混入量 (kg/m ³)			W/C (%)	s/a (%)	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A/E減水剤 SP-8N	空気量調整 775S	(cm)	重量法	圧力法	※2
※1 軽量コンクリート			48	48	180	375	811	549	0.35	0.009	18.0	4.7	4.5	1921		
					18.5	5.0	4.8	1915								
※1 普通コンクリート			48	48	180	375	824	912	0.45	0.007	18.5	4.4	4.2	2281		
					18.0	4.1	4.0	2287								
A	0.75	60	43	54	180	419	894	475	1.00	0.009	19.0	5.7	5.1	1997		
B					18.0	4.4	4.8		19.0	5.6	4.8	1999	5.8	5.0	1995	
C					18.5	5.8	5.0		18.5	5.7	5.3	1997	5.8	5.0	1995	
A	0.50	40	52	52	180	375	881	505	1.00	0.012	18.5	5.6	5.3	1958		
B					18.0	4.4	4.8		18.0	5.4	5.0	1961	17.5	5.5	1960	
C					18.5	5.8	5.0		17.5	5.7	5.5	1956	18.0	5.8	5.5	1954
A	0.75	60	48	56	180	375	949	463	0.85	0.012	18.5	5.6	5.3	1996		
B					18.0	4.4	4.8		19.0	5.8	5.6	1995	17.5	5.7	5.5	1996
C					17.5	5.7	5.4		17.5	5.7	5.4	1997	18.0	5.6	5.5	1998
A	1.00	80	64	64	180	375	1084	379	1.10	0.013	18.0	5.6	5.5	1998		
B					18.0	4.4	4.8		19.0	5.9	5.7	1993	17.5	5.7	5.4	1997
C					18.5	5.3	5.4		18.0	5.4	4.9	2068	18.0	5.4	4.9	2069
A	0.75	60	53	58	180	340	998	450	1.25	0.012	19.0	5.7	5.6	1998		
B					18.0	4.4	4.8		19.0	5.9	5.7	1993	17.5	5.6	5.4	1999
C					18.5	5.8	5.5		18.5	5.8	5.5	1996	18.0	5.8	5.5	1995

※1 鋼纖維混入率 0 %

※2 骨材修正係数は 2.0 %とした。

コンクリート温度は 19.5 ~ 21.0 °C

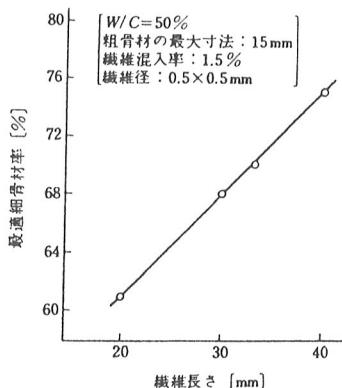


図-4.3 最適細骨材率に及ぼす繊維長さの影響(NC)⁴⁾

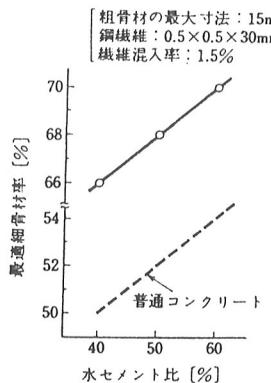


図-4.4 最適細骨材率に及ぼす水セメント比の影響(NC)⁴⁾

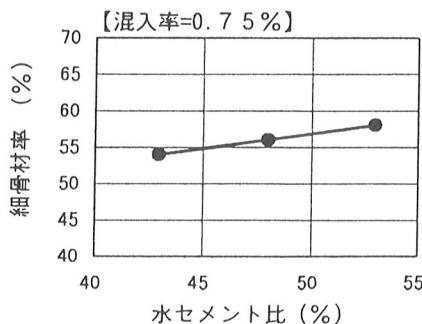


図-4.5 水セメント比と細骨材率の関係(LC)

4.3 混和剤使用量

鋼繊維を混入しようとすると細骨材率を大きくする必要がありスランプは小さくなる。そのため従来は単位水量を増加させて所要のスランプを得ていたが、これは混和剤に減水率が一定のAE減水剤を使用する場合の手法であり、単位水量に及ぼす影響として粗骨材の最大寸法、細骨材率、繊維の混入率及び長さの違い等が挙げられ普通コンクリートにおける各種性状はすでに報告されている。²⁾しかし、現在は使用量を変化させることにより減水率を自由にコントロールできる高性能AE減水剤が普及しており、本試験においても

配合により単位水量を変化させることなく所定のスランプを得るため高性能AE減水剤を使用し、材料分離やファイバーボール等の無いワーカブルなコンクリートを得ることができた。

繊維混入率に伴うスランプ低下を補うための高性能AE減水剤使用量の変化は、図4.6によると鋼繊維1.0%程度までは直線的に増加しており、最大使用量としても1.35%とこの種の混和剤としては標準的な使用量の範囲内にあり配合として無理のないものであるといえる。また、図4.7のセメント水比の変化に対しても大きな変化は認められず、ほぼ直線的で緩やかな比例関係を示している。

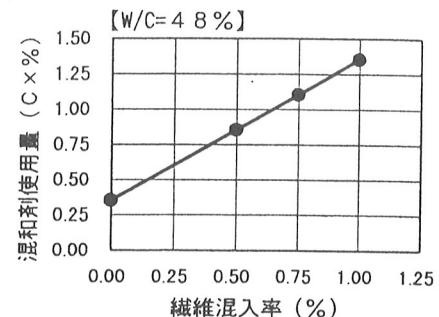


図-4.6 繊維混入率と混和剤使用量の関係

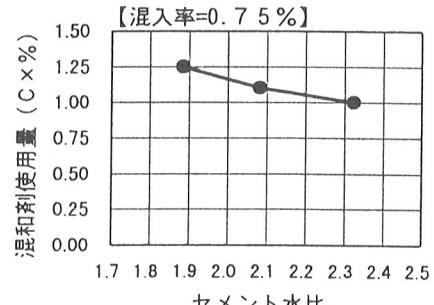


図-4.7 セメント水比と混和剤使用量の関係

4.4 単位容積質量

軽量コンクリートの最大の特長は普通コンクリートと比べ単位容積質量が小さいことにある。一般的に普通コンクリートが $2.3\text{t}/\text{m}^3$ 程度とすると軽量1種コンクリートが $1.9\text{t}/\text{m}^3$ 、軽量2種が $1.8\text{t}/\text{m}^3$ 程度とされ、軽量骨材をしようすることによりコンクリートの自重を容易に低減することができる。鋼繊維軽量コンクリートにおいても単位容積質量が小さいことは大きな特長として挙げができる。単位容積質量を大きく左右する要因は単位粗骨材量といえる。すなわち、軽量骨材（本試験は粗骨材）をいかに多く使用できるか

により決定され、鋼纖維の混入率を多くするに従い細骨材率が増加するということは粗骨材量が減少することを意味する。図4.8の纖維混入率と単位容積質量の関係によると、鋼纖維無混入の軽量コンクリート単体の場合 1.92t/m^3 程度であるが、鋼纖維 0.5%混入の配合は 2% 増加の 1.96t/m^3 、0.75%配合は 4% 増加の 2.00t/m^3 及び 1.0%配合は 2.07t/m^3 程度に増加する。軽量コンクリートの特長を考慮すれば、鋼纖維混入率 0.75%程度の配合までが適当といえる。なお、水セメント比の変化による単位容積質量は、図4.9によると細骨材率の増減とセメント量の増減が相殺されるためほとんど変化は認められない。

(文責：蓑宮 芳和)

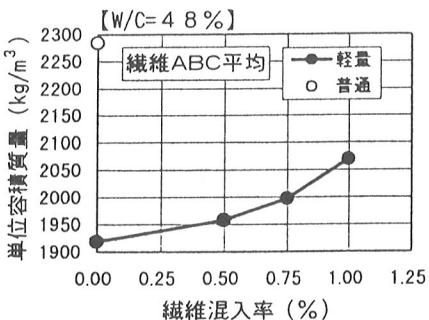


図-4.8 繊維混入率と単位容積質量の関係

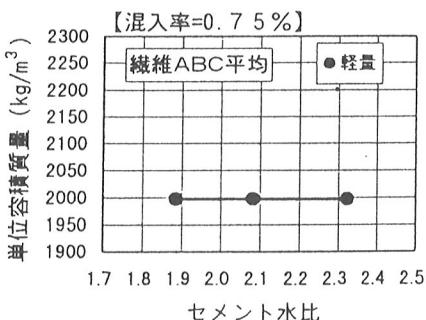
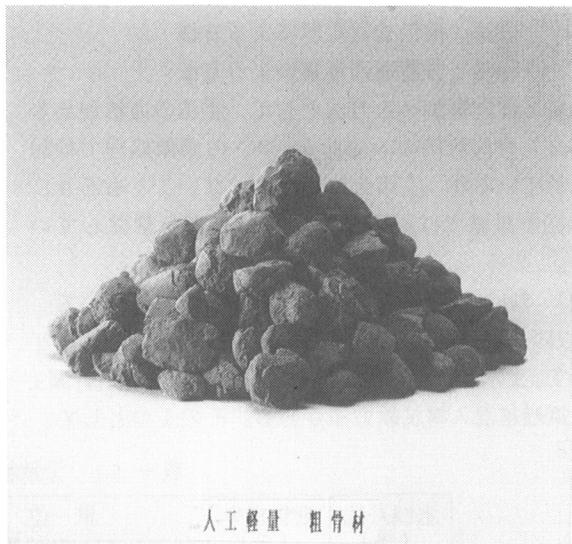


図-4.9 セメント水比と単位容積質量の関係

参考文献

- 1) 高強度人工軽量骨材コンクリートを用いた建築物の設計と施工」：日本建築学会
- 2) 桐山・保坂・庭野・吉信：「鋼橋の床版に用いた軽量コンクリートの長距離ポンプ圧送」：土木学会第51回学術講演概要集 1996
- 3) 友澤・波多・桐ヶ谷・篠塚・山下・高羽：「フック付き鋼纖維を混入した軽量コンクリートの基礎的性状に関する研究」：日本建築学会学術講演概要集 1990（中国）
- 4) 小林一輔・岡村雄樹：「所要のコンシスティンシーを得るための鋼纖維補強コンクリートの配合設計方法」：土木学会論文報告集 No. 293 1980



5章 鋼纖維の分散性と配向

今回使用した鋼纖維は前述されたように長い纖維を採用している。不連続の纖維を補強材としていることより、マトリックス中に均一な分散と配向を図ることは、硬化コンクリートの品質に大きな影響を与える。特に長い纖維は補強効果が優れるが、分散と配向にバラツキが生じやすいといわれている。

上記見解は普通コンクリートでの検証である。本試験の骨材は軽量骨材であるが、基本的には普通コンクリートと同様な分散と配向を示すと予測される。確認のため以下のような試験方法にて、軽量コンクリートにおける鋼纖維の分散について調べた。

本編は鋼纖維補強軽量コンクリートにおける鋼纖維の分散性について、試験室規模でのフレッシュコンクリートと硬化コンクリートについて述べる。配向についてはコンクリートの打ち込み時に、部材断面により特定方向への配向が問題となる。今回は基礎試験とのこともあり、配向試験については次期 $\phi 100 \times 250$ mm圧送試験等にて評価することとした。

5.1 鋼纖維の分散と配向の評価方法について

(1) 測定方法の概説

本論に入る前に、普通コンクリートにおける鋼纖維の分散と配向について記す。鋼纖維の分散度を定量化する方法として、①～③の3つ方法がある。

- ①法：変動係数のような統計量を用いる方法
- ②法：分散係数を用いる方法
- ③法：磁気式測定器による方法
- ④法：X線透過写真による方法

纖維の配向を調べる方法として、④法の方法があるが、定性的評価のみである。PCの画像処理で検討されているが、実用化に至っていないこともあり、今回の試験では配向については調査を割愛している。

(2) フレッシュコンクリートにおける鋼纖維の分散について
マトリックスコンクリート中における鋼纖維の分散測定方法として、土木学会「鋼纖維補強コンクリート設計施工指針案」で鋼纖維混入率試験方法がある。その1つとして、

「洗い分析方法」があり、これは上記①法に該当し、式(1)にて鋼纖維の混入率(%)を求める。

$$V_f = \frac{W_{sf}}{V \cdot \rho_{sf}} \times 100 \quad \text{---(1)式}$$

ここに、 V_f : 鋼纖維混入率(%)

W_{sf} : 容器中の鋼纖維の重量(g)

V : 容器の容積(cm³)

ρ_{sf} : 鋼纖維の単位体積重量(g/cm³)

(3) 硬化コンクリートでの分散性

コアなどの切削片を任意の要素断面に分割して、各要素毎の纖維本数を測定し、それを試料とみなして、分散係数を求める。

$$\alpha = \exp[-\psi(x)] \quad \text{---(2)式}$$

$$\psi(x) = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / n} / \bar{x}$$

ここに、 x_i : 試料中に含まれる纖維数

n : 試料数

\bar{x} : 試料に含まれる纖維の平均値

上式によれば、各試料中に含まれる纖維数が、ここでは各要素毎に纖維が均一に分散している場合、 α は1となる。1要素に集中し、他の要素にない場合は α は0となる。つまり、分散係数 α は0と1.0の値をとることになる。

次に、この纖維本数より纖維密度を求めて、切削面に直角な方向への配向係数 β を次式によって求められる方法がある。

$$\beta = \rho \frac{a}{P} \quad \text{---(3)式}$$

ここに β : 配向係数

(二次元ラジタムでは0.637となる)

ρ : 纖維密度 単位面積当たりの纖維本数

a : 纖維の断面積

P : 容積混入率(%)

5.2 試験概要

(1) 使用した鋼纖維と配合

鋼纖維の形状は、A:両端フック付き($\phi 0.8 \times 60\text{mm}$)、B:インデント($\phi 0.7 \times 50\text{mm}$)、C:波形(0.25

表- 5.1 分散性試験を実施した配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					鋼纖維 混入量 kg/m ³
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
48.0	56.0	180	375	949	463	4.13	60

$\times 2.0 \times 50\text{mm}$)であり、コンクリートの配合は同一のもので表 5.1 に示す。なお、鋼纖維混入量率は 0.75% である。

(2) 試験方法

①フレッシュコンクリートにおける分散性試験

表 5.1 の配合を強制 2 軸型ミキサで 1 バッチ 100 kg としてコンクリートを練り混ぜたものより、2 力所から容積既知の容器(6.95 cm^3)に分取する。これを洗い試験にて鋼纖維を磁石にて分離し重量を測定する。容積あたりの鋼纖維量を式(1)にて算出する。但し今回は ρ_{sf} : 鋼纖維の単位体積重量(g/cm^3)7.85 \approx 8 としている。

②硬化コンクリートにおける分散性試験

供試体は JSCE-F55「試験室における鋼纖維コンクリートの作り方」によって作成した $15 \times 15 \times 5.3\text{ cm}$ の曲げ強度試験を実施したものより、厚さ(5cm)のカットサンプルを作成する。このサンプルの断面 15cm を 3 cm メッシュで 25 分割として、各メッシュ毎の本数を数えて断面の分散係数を式(2)¹⁾にて求める。

次に、カットサンプルの気中、水中重量を測定し、その後粉碎して鋼纖維を取り出し重量を計量する。計量した鋼纖維重量を容積(気中 - 水中重量)で除して混入量を求める。

5.3 試験結果と考察

(1) フレッシュコンクリートでの分散性

表 5.2 に鋼纖維 3 種類の洗い試験結果を示す。

表 5.2 フレッシュコンクリートの鋼纖維の洗い試験結果

種別	重量(g)	混入量 (混入率) (kg/m^3) (%)	0.75%対比 (%)
A	377	54.2 (0.68)	90.3
	389	56.0 (0.70)	93.3
B	395	56.8 (0.71)	94.7
	402	57.8 (0.72)	96.3
C	390	56.1 (0.70)	93.5
	431	62.0 (0.78)	103.3

土木学会の規準案では、洗い分析のバラツキは 2 個の平均値の $\pm 5\%$ 以内と示されている。纖維 A、B は 2 個のバラツキは小さいが、0.75% 対比では 100% 以下と少ない。また、軽量コンクリートの場合も普通コンクリートを用いた場合と同様な鋼纖維の分散傾向にある。

(2) 硬化コンクリートの鋼纖維の分散性

表 5.3 に鋼纖維の種類毎での測定結果の 1 例を示す。下欄には式(2)より求めた分散係数(α)を示す。

表 5.3 断面の鋼纖維本数結果

(3 cm メッシュ毎に鋼纖維本数(上が打ち込み面))					
9	2	8	6	12	
16	8	8	12	10	
14	31	6	5	4	
6	10	4	14	8	
17	16	16	10	13	
総本数	繊維-A : 265 本				
分散係数	$\alpha = 0.67$				
$n=3$ の平均値	0.59				
14	7	11	11	6	
4	10	12	5	9	
8	10	12	6	9	
14	10	11	11	10	
6	11	15	9	16	
総本数	繊維-B : 247 本				
分散係数	$\alpha = 0.73$				
$n=3$ の平均値	0.67				
9	18	16	15	6	
6	8	8	15	7	
7	16	11	9	3	
19	13	5	8	8	
7	21	14	13	9	
総本数	繊維-C : 271 本				
分散係数	$\alpha = 0.65$				
$n=3$ の平均値	0.63				

式(2)によれば、各試料中に含まれる纖維数が、各要素毎に纖維が均一に分散している場合、 α は 1 となる。1 要素に集中し、他の要素にない場合は α は 0 となる。つまり、分散係数 α は 0 と 1.0 の値をとることになる。当結果の α は鋼纖維間での顕著な差は認められず、一般に普通コンクリートで見られる分散係数と同程度である¹⁾。

表 5.4 にはカットソーパー[®]粉碎後の SF 重量の測定結果を示す。厚さ 5cm 程度のカットソーパー[®]は容積 1.2 % 程度でも設計混入量率に対して $\pm 10\%$ 内のバラツキになっている。纖維種類に着目すると、A、B は平均値対比 5% 程度とフレッシュコンクリートと同様なバラツキが認められた。

表- 5.4 粉碎による鋼纖維量の測定結果

繊維種別	試料容積(cm ³)	SF重量(g)	混入量(kg/m ³)	(混入率)(%)	0.75%対比(%)
A	1 2 7 4	7 5 . 9	5 9 . 6	5 6 . 7 (0.71)	9 4 . 7
	◎ 1 2 4 0	6 9 . 0	5 5 . 7		
	1 1 9 9	6 5 . 7	5 4 . 8		
B	1 1 9 1	8 0 . 8	6 7 . 8	6 5 . 2 (0.82)	1 0 9
	◎ 1 2 4 1	7 8 . 3	6 3 . 1		
	1 1 7 3	7 6 . 0	6 4 . 8		
C	1 2 2 4	7 5 . 9	6 2 . 2	6 3 . 7 (0.80)	1 0 7
	◎ 1 2 2 0	8 3 . 8	6 8 . 7		
	1 2 1 6	7 4 . 2	6 0 . 8		

(左記◎印は表3に示すサンプルの結果)

次にこの硬化後の纖維数量を用いて、③式に示す

配向係数 β を求めた結果を表5.5に示す。

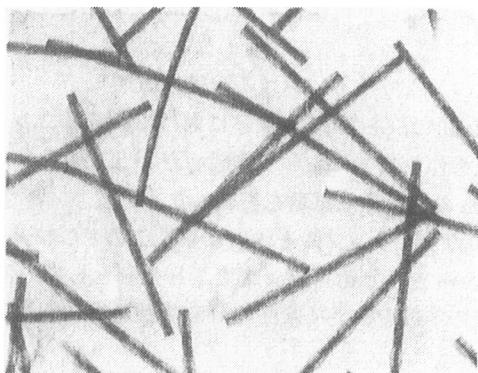
表- 5.5 配向係数算出結果

繊維種別	混入量(kg/m ³)	繊維総本数	繊維断面積(cm ²)	配向係数(β)
A	5 6 . 7	2 4 2	0 . 0 0 5	0 . 7 4 5
B	6 5 . 2	2 5 8	0 . 0 0 4	0 . 5 5 3
C	6 3 . 7	2 6 7	0 . 0 0 5	0 . 7 3 2

二次元ラグダムに配向している場合は、 $\beta = 0 . 6 3 7$

となる。三次元ラグダムでは0.5が用いられている。

A, C社のものは、二次元配向に近く、B社は三次元配向に近いことになる。



ファイバーのコンクリート内の分散の状態(レントゲン写真)

5.4 まとめと今後

フレッシュコンクリートと硬化コンクリートで鋼纖維の分散性を調査したが、軽量コンクリートでも普通コンクリートと同様の分散状態を示していることが判った。練り混ぜ規模が100㍑容積と小さいこともあり、今後、実機およびアシテー車練りでの施工試験で鋼纖維の分散性について確認したい。

(文責 堀越 利男)

参考文献

- 1) 繊維補強コンクリート特性と応用 小林一輔著
・繊維セメントコンクリート複合材料 真嶋・幸左・大野共著



マイカル本牧歩道橋 (PC桁 床版)

6章 強度特性

6. 1 はじめに

鋼纖維補強コンクリートの力学的特性を最も端的に表すものとして、荷重一変形特性をあげことができる。図6. 1は鋼纖維補強コンクリートの試験体に引張り荷重が作用した場合の荷重一変形曲線を示している。鋼纖維補強コンクリートはプレーンコンクリートに比較すると次のような特長がある。

- ① 最初にひび割れを生じるA点に相当する荷重（初期ひび割れ荷重）がプレーンコンクリートの破壊荷重に比べ増大すること。
- ② A点を越えると荷重は鋼纖維とセメントマトリックス硬化体との界面で付着破壊を生じるまで鋼纖維によって伝達され、最大荷重（B点—引張り強度）に達するが、この間は著しく非線形になること。
- ③ 最大荷重に達した後も鋼纖維が引き抜けつつ外力に抵抗し、これを破断するには極めて大きい仕事量を必要とすること（韌性が高いこと）。

等であり、この3項目が鋼纖維補強コンクリートの構造材料としての基本的な特性である。

本編では、鋼纖維補強した軽量コンクリートの強度特性について報告する。表6. 1に強度試験結果一覧を示す。比較材である鋼纖維無混入の軽量コンクリート（以下LC）および普通コンクリート（以下NC）の結果も併せて示す。曲げ特性における初期ひび割れ強度、曲げ韌性については7章で報告する。

6. 2 圧縮強度と静弾性係数

図6. 2に圧縮強度と纖維混入率の関係を示す。図6. 3に静弾性係数と纖維混入率の関係を示す。SFLCの圧縮強度は纖維混入率の増加や纖維の種類による顕著な改善効果は認められずLCおよびNCに対しても同程度であった。静弾性係数に及ぼす纖維の種類の影響は認められず、普通コンクリートより静弾性係数は小さく、鋼纖維の混入による顕著な改善効果は無かった。

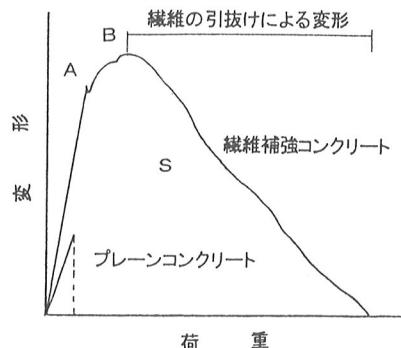


図-6. 1 鋼纖維補強コンクリートの引張り荷重変形曲線

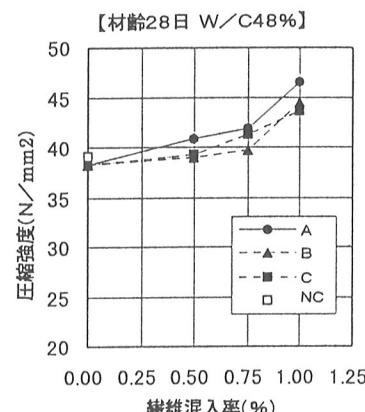


図-6. 2 繊維混入率と圧縮強度の関係

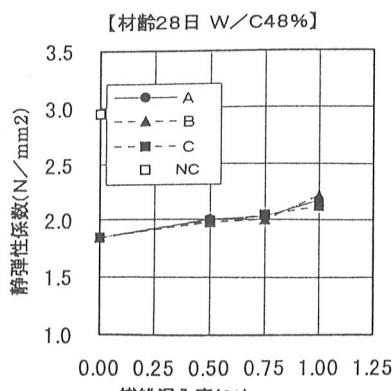


図-6. 3 繊維混入率と静弾性係数の関係

表-6.1 硬化コンクリート試験結果

鋼 織 繩		水セメント比		細骨材率	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	ボアン比	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ弾性係数 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)
種類	混入率 (%)	W/C	s/a	(%)	7日	28日	7日	28日	7日	28日	28日
※ 軽量コンクリート		48	48		28.2	38.2	1.73	1.85	0.167	0.145	2.48
※ 普通コンクリート		48	48		31.1	39.1	2.68	2.94	0.171	0.164	2.50
A	0.75	60	43	54	36.1	47.6	1.97	2.06	0.158	0.187	3.05
B	0.75	60	43	54	36.2	45.7	1.91	2.09	0.175	0.187	3.09
C					35.7	47.5	2.00	2.13	0.174	0.178	3.06
A	0.50	40			31.2	40.9	1.88	2.00	0.172	0.174	2.58
B	0.50	40			30.0	39.0	1.75	1.98	0.178	0.176	2.69
C					30.5	39.3	1.86	1.99	0.167	0.168	2.77
A	0.75	60	48	56	31.5	42.9	1.93	2.03	0.182	0.187	2.66
B	0.75	60	48	56	30.6	39.7	1.88	2.00	0.179	0.182	2.78
C					33.3	40.8	1.89	2.05	0.186	0.181	2.83
A	1.00	80			36.5	46.5	2.03	2.18	0.171	0.161	2.90
B	0.75	60	53	58	36.3	44.5	2.02	2.22	0.171	0.167	2.98
C					35.2	43.6	1.98	2.13	0.178	0.178	2.93
A					25.9	34.8	1.72	1.92	0.167	0.168	2.58
B	0.75	60	53	58	28.5	36.5	1.77	1.96	0.167	0.181	2.69
C					28.7	37.8	1.73	1.97	0.173	0.183	2.66

注) 強度及び係数は各配合3本の平均値 ※ 鋼纖維混入率0%

6. 3 引張強度

図6. 4に引張強度と繊維混入率の関係を示す。SFLCの引張強度は鋼纖維の混入により改善され、繊維混入率の増加とともに高くなる傾向が認められる。LCに対しては3種類の平均で鋼纖維0.5%混入で12%、0.75%混入で17%、1%混入で32%向上した。NCに対しては鋼纖維0.5%混入で9%、0.75%混入で9%、1%混入で28%向上した。

6. 4 曲げ強度

図6. 5に曲げ強度と繊維混入率の関係を示す。SFLCの曲げ強度は鋼纖維の混入により改善され繊維混入率の増加とともに著しく高くなる傾向が認められる。LCに対しては3種類の平均で鋼纖維0.5%混入で30%、0.75%混入で54%、1%混入で97%向上した。NCに対しては鋼纖維0.5%混入で同等となり、0.75%混入20%、1%混入で54%向上した。

6. 5 せん断強度

図6. 6にせん断強度と繊維混入率の関係を示す。SFLCのせん断強度は鋼纖維の混入により改善され、繊維混入率の増加とともに高くなる傾向が認められる。LCに対しては3種類の平均で鋼纖維0.5%混入で15%、0.75%混入で52%、1%混入で67%向上した。NCに対しては鋼纖維0.5%混入で22%、0.75%で60%、1%混入で77%向上した。

6. 6 支圧強度

W/C4.8%、鋼纖維混入率0.75%、A種鋼纖維を用いた場合の支圧強度と支圧面積の関係を図6. 7に示す。SFLCの支圧強度はLCに対して9~14%、NCに対して5~10%向上した。SFLCは支承面積と支圧面積の比が大きくなると支圧強度が向上する傾向がある。

6. 7 LCおよびNCとの強度比について

SFLCは配合上の理由から纖維混入率の増加とともに細骨材率が高くなり、単位容積質量は鋼纖維0.5%混入で2%、0.75%混入で4%、1%混入で8%高くなった。

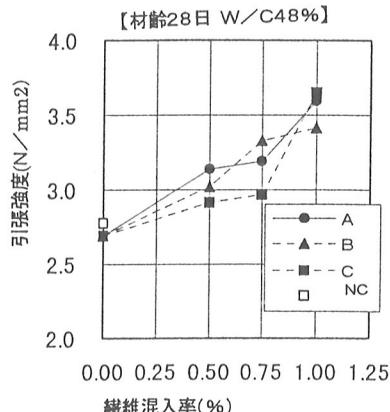


図6. 4 繊維混入率と引張強度の関係

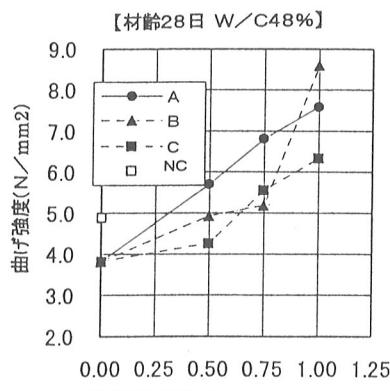


図6. 5 繊維混入率と曲げ強度の関係

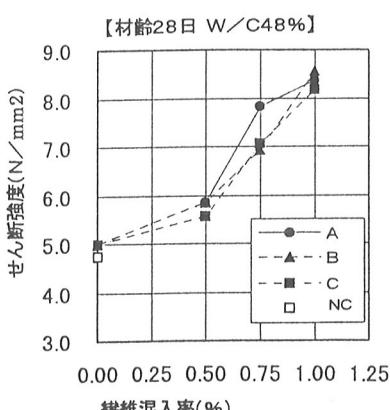


図6. 6 繊維混入率とせん断強度の関係

一般的にLCの強度特性は単位容積質量との相関が強いといわれており、単位容積質量の影響を除くためにLCに対する強度比を密度比で除して比較する事にした。この強度比と繊維混入率の関係を図6.8に示す。

全ての項目で特性が改善され強度比は繊維混入率の増加による密度の増加を上回ることが明らかになった。特に曲げ強度とせん断強度の強度比が高い。

SFLCのNCに対する強度比と繊維混入率の関係を図6.9に示す。静弾性係数を除き強度比は改善され、LCに対する強度比と同じような傾向を示している。

6.8 まとめ

鋼纖維補強軽量コンクリートの強度特性は軽量コンクリートに比較して特に曲げ強度、せん断強度が高く、引張強度についても効果が認められた。普通コンクリートと比較すると鋼纖維補強軽量コンクリートは鋼纖維0.5%混入で普通コンクリートと同等以上の強度特性を有している事が確認された。(文責 大西三郎)

参考文献 小林一輔 最新コンクリート技術選書
9昭和55年山海堂

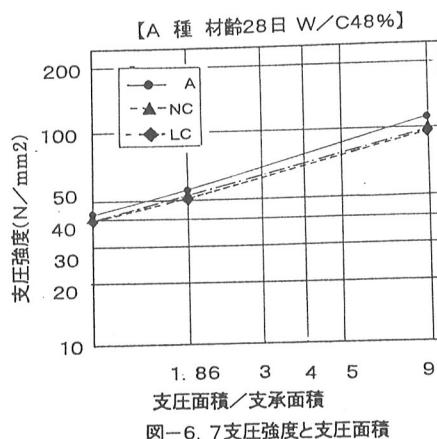


図-6.7 支圧強度と支圧面積

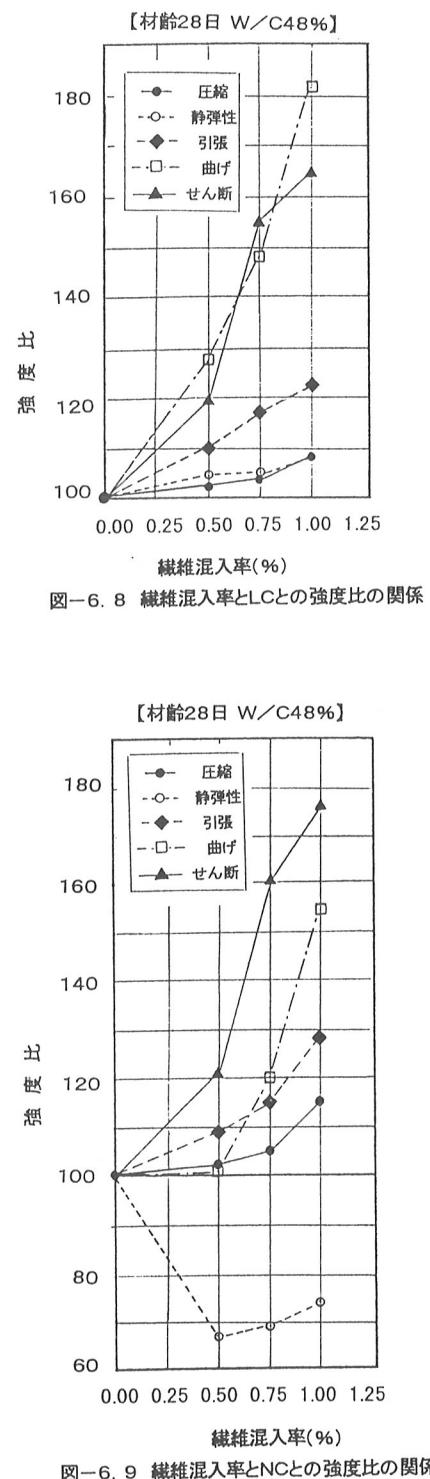


図-6.8 繊維混入率とLCとの強度比の関係

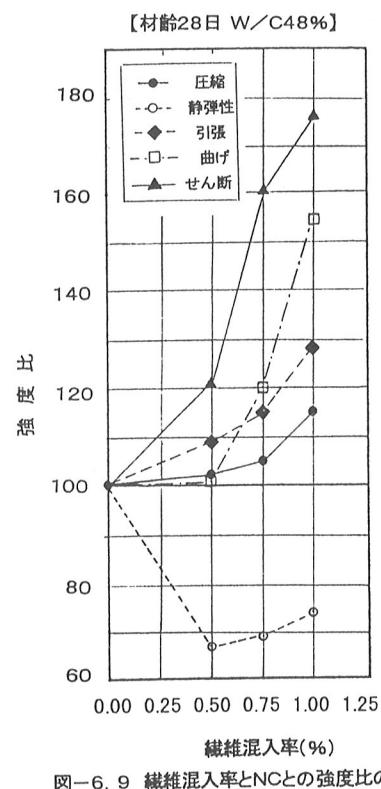


図-6.9 繊維混入率とNCとの強度比の関係

7 章 曲げ靭性

鋼纖維補強コンクリートの最大の効果は曲げ荷重に抵抗する能力が大きいことを挙げることができる。荷重が増加し続けてもたわみ変形量は増加するが、普通コンクリートと異なり突然破壊にいたることはなく、徐々に変形を増しながら破壊に至る。この現象を曲げに対してねばり強い、すなわち靭性が大きいといふ。

図7.1に荷重とたわみ曲線の試験例を示す。纖維無混入コンクリートの場合、最大荷重に到達すると直ちに供試体は破壊をおこし試験は終了するが、一方纖維補強されたコンクリートは曲げ荷重の増加に伴いひび割れは発生するがすぐに破壊に至ることではなく、纖維の架橋効果¹⁾によりその後も荷重は増加し続け最大荷重点を迎えたのち緩やかに低下する。最初にひび割れが発生した時点は一般的に初期曲げひび割れ発生時と称され、条件によっては若干の反力低下に伴う僅かな荷重低下を伴う場合もある。

表7.1に本試験の曲げ靭性に関する強度、靭性係数及び初期曲げひび割れ強度の結果一覧を示す。

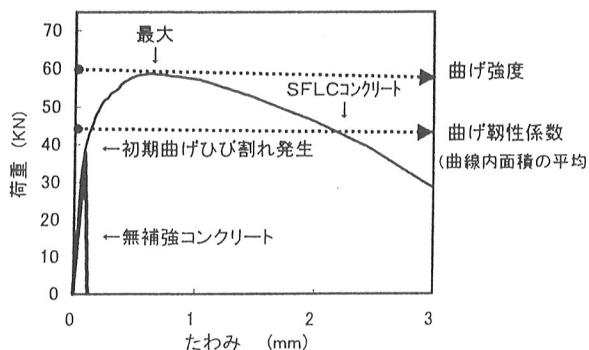


図7.1 荷重ーたわみ曲線例

曲げ靭性係数とは、ある特定のたわみ限界（供試体スパンの1/150 本試験では3 mm）までの曲げタフネス（図7.1の曲線内面積）をたわみ量で除して限界点までの平均荷重として求めたものであり、鋼纖維の混入率や種類の相違を比較するのに適しているとされている。また、初期の曲げひび割れ時の強度及び最大強度（曲げ強度を意味する）の比較は鋼纖維のタイプによる特長をみるとみるとできるとされている。

7.1 曲げ靭性係数による検討

図7.2に纖維混入率と曲げ靭性係数の関係を示す。これによると、曲げ靭性係数は鋼纖維の混入率の増加と共に大きくなり、混入率0.5%で最小3.46N/mm²～最大4.87N/mm²、0.75%では最大6.06N/mm²及び、1.0%では最大6.52N/mm²と増えている。全体的には0.5%の混入でかなりの増加を示すが、その後1.0%混入までの靭性係数の増加率は0.5%までの傾向に比べ若干小さい。

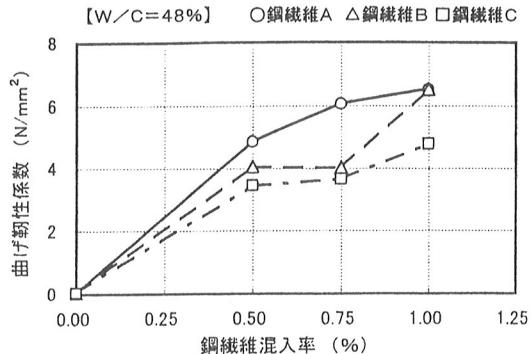


図7.2 繊維混入率と曲げ靭性の関係

表7.1 曲げ靭性試験結果

鋼 繊 維			水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ靭性 係数 (N/mm ²)	初期曲げひ び割れ強度 (N/mm ²)
種類	混入率 (%)	混入量 (kg/m ³)					
※ 軽量コンクリート							
※ 普通コンクリート			48	48	3.81	0.04	3.81
A					4.88	0.04	4.88
B	0.75	60			6.31	5.65	4.37
C					5.95	4.41	3.98
A					5.59	4.16	4.64
B	0.50	40			5.70	4.87	4.34
C					4.91	4.06	4.25
A					4.25	3.46	4.23
B	0.75	60			6.83	6.06	4.66
C					4.86	4.02	4.05
A					5.54	3.66	4.80
B	1.00	80			7.60	6.51	7.60
C					8.59	6.52	4.96
A					6.33	4.79	4.69
B	0.75	60	48	58	7.60	6.66	4.80
C					8.59	5.76	4.71
A					6.33	4.79	4.69
B	0.75	60			8.59	6.52	4.96
C					6.66	5.70	4.80
					5.76	3.91	4.71
					4.74	2.88	4.74

注) 強度及び係数は各配合3本の平均値 ※ 鋼纖維混入率0%

図7.3に繊維混入率0.75%におけるセメント水比と曲げ靭性の関係を示す。これによると、繊維混入率が同一の場合水セメント比の変化が靭性係数に及ぼす影響は混入率の変化の場合と比べると小さく、靭性係数5.0N/mm²以上のレベルでは水セメント比が変化してもほぼ同程度であり、概ね頭打ちとなる傾向にある。本試験の水セメント比4.8%を中心に±5%程度の範囲内では、曲げ靭性係数は鋼繊維混入率の影響が支配的であることがいえる。

7.2 各種限界点強度による検討

(1) 初期曲げひび割れ強度との関係

各配合の鋼繊維補強軽量コンクリート(SFLC)の初期曲げひび割れ強度を普通(NC)コンクリートの場合を100%として鋼繊維の種別毎に比較した結果を図7.4~5に示す。これによると、SFLCの初期曲げひび割れ強度は鋼繊維混入率と共に増加する傾向は認められるが、水セメント比による影響は顕著ではない。また、何れの場合も混入率0%の軽量コンクリート単味の78%以上は示しており、鋼繊維を混入することにより軽量コンクリートの性状改善が認められ、混入率1.0%程度で普通コンクリートと同程度の強度を示す。

(2) 曲げ強度との関係

SFLCの曲げ強度(最大荷重時強度)の発現性状を普通コンクリートと比較した図7.6~7によると、混入率の増加による繊維の効果が良く現れている。混入率0.5%時で3者の平均102%は普通コンクリートと同等であり、混入率1.0%では最大80%程度も増加しているものもある。水セメント比の関係は、初期曲げひび割れと同様に明確な傾向は認められなかった。

(文責:遠藤 裕悦)

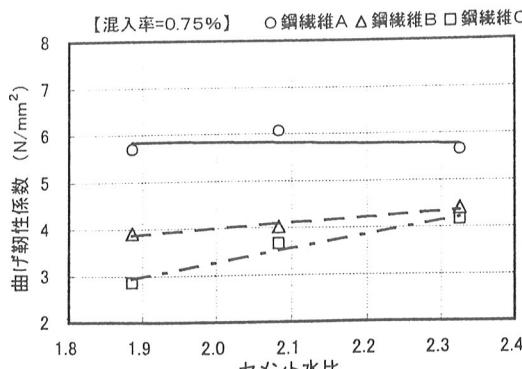


図-7.3 セメント水比と曲げ靭性の関係

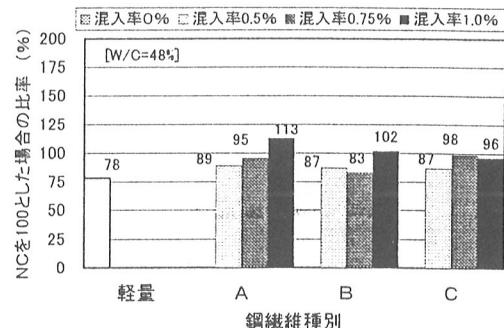


図-7.4 普通コンクリートに対する鋼繊維コンクリートの強度比率の関係(初期曲げひび割れ・混入率別)

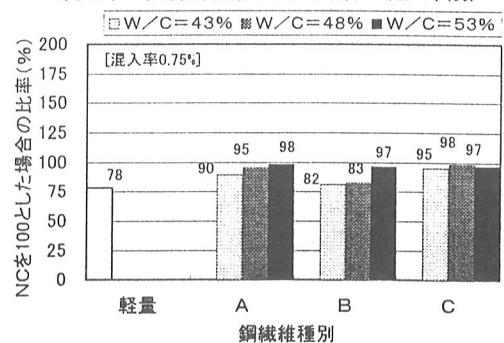


図-7.5 普通コンクリートに対する鋼繊維コンクリートの強度比率の関係(初期曲げひび割れ・セメント水比別)

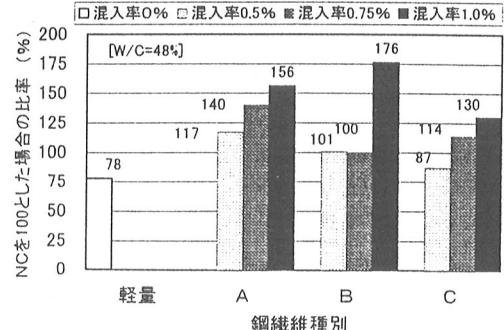


図-7.6 普通コンクリートに対する鋼繊維コンクリートの強度比率の関係(曲げ強度・混入率別)

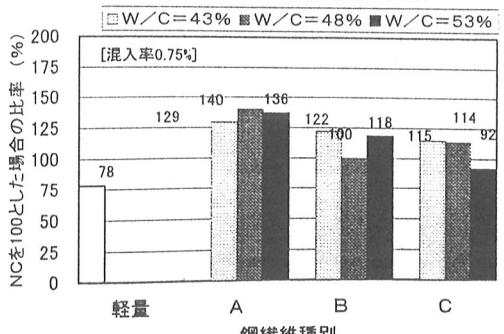
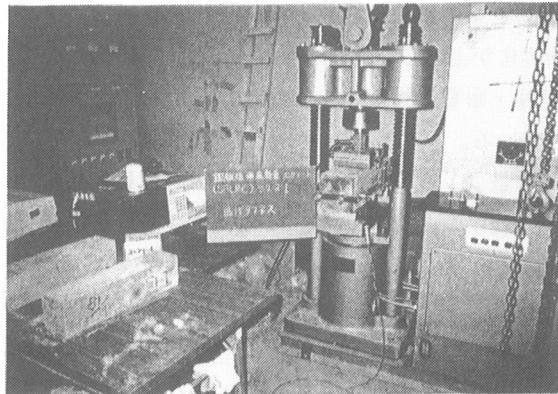


図-7.7 普通コンクリートに対する鋼繊維コンクリートの強度比率の関係(曲げ強度・セメント水比別)

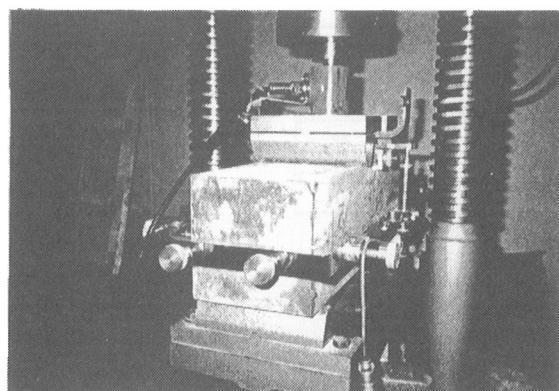
参考文献

- 1) 真嶋・幸佐・大野著「繊維補強セメント／コンクリート複合材料」技報堂出版

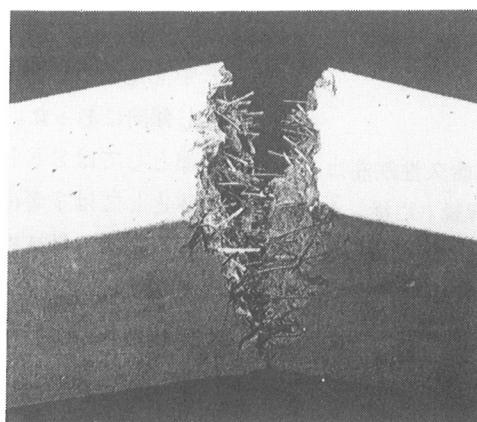
曲げタフネス試験



曲げタフネス試験



曲げ試験体の破壊状況



8章 耐久性

コンクリート構造物に要求される耐久性能は、構造物の使用目的によって異なる。また、構造物の耐久性は、外的環境条件・設計条件・使用材料の性質や施工方法などの影響を受けることが多い。

よって、耐久性を一つの品質としてみる場合、①中性化と鉄筋の発錆、②乾燥収縮ひび割れと漏水、③凍結融解、④表面劣化が主として検討され、そのほか疲労特性・耐熱性・耐薬品性なども検討項目として取り上げられている。

以下に示した結果は、軽量コンクリートに鋼纖維を混入した「鋼纖維補強軽量コンクリート」の耐久性について調べたものである。

8.1 試験概要

試験項目とコンクリートの種類を表8.1に示した。

表-8.1 試験項目とコンクリートの種類

配合名	鋼纖維		試験項目				水セメント比
	種類	混入率 (%)	促進中性化	乾燥収縮	凍結融解	屋外曝露	
LC ⁽¹⁾			○	○	○	○	48
NC ⁽²⁾			○	○	○	○	48
SFLC ⁽³⁾	A	0.75	○	○	○	○	48

(1)軽量コンクリート、(2)普通コンクリート、(3)鋼纖維補強軽量コンクリート

8.2 供試体の形状

供試体形状は、JSCE-F55 「試験室における鋼纖維補強コンクリートの作り方」に従って、10×10×40cm の角柱体とした。

8.3 促進中性化

(1) 試験方法

試験は、日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」に従った。供試体は材令1日で脱型し以降材齡4週まで20°C水中に浸漬して養生した。材齡4週以降は、温度20°C・湿度60%の恒温恒湿室内で4週間目に供試体の打込み面および底面をエポキシ樹脂でシールした。

気中養生終了後、各供試体は温度20°C・湿度60%・炭酸ガス濃度5%に調整した試験槽に入れて促進養生を行った。中性化深さの測定は、促進試験開始後1, 4, 8, 13, 26週の各材齡とした。測定は、コンクリートの切断面に1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧した時、赤く着色しない部分を中性化部分としてコンクリート表面からの深さを測定し、その平均値を中性化深さとした。

(2) 試験結果

日本建築学会「高耐久性コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」2章 耐久設計では劣化現象の種類における許容劣化状態に対して、中性化については「鉄筋が発錆しないこと、屋外にあってはかぶり厚さの深さまで中性化しないこと、屋内にあってはかぶり厚さより20mm奥の深さまで中性化しないこと」としている。

本試験の結果を図8.1に示す。本試験では、炭酸ガス濃度5%の苛酷な雰囲気に暴露したが、

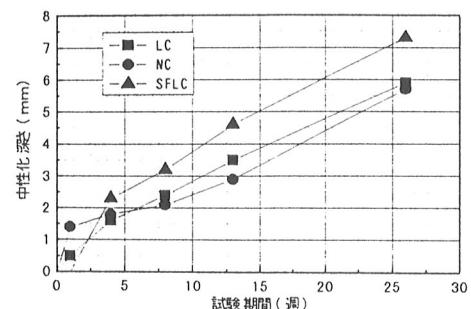


図-8.1 促進中性化試験結果

中性化の進行速度はどのコンクリートも概ね同じ傾向にあった。中性化深さは6~7mmで、絶対値としてはSFLCが幾分大きかったものの、全体としては3者の間には殆ど差は見られず、中性化に対する抵抗性は良好であると判断された。材令26週における各コンクリートの中性化の状況を写真8.1に示す。

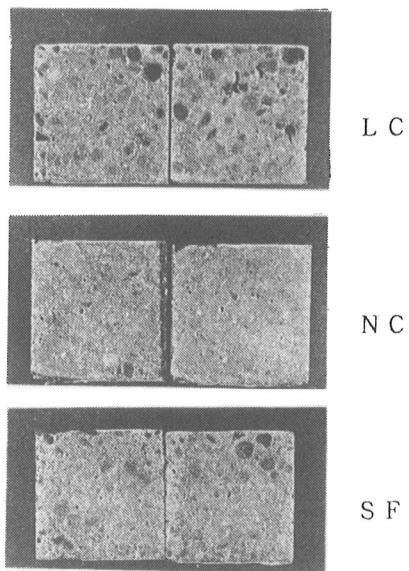


写真-8.1 中性化状況

8.4 乾燥収縮

(1) 試験方法

試験はJIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に従った。

供試体は材齢1日で脱型し以降材齢7日まで20°C水中に浸漬して養生した。材齢7日で水中より取り出し、温度20°C・湿度60%の恒温恒湿室に保管し、材齢1年までの長さ変化を測定した。

(2) 試験結果

軽量コンクリートは、骨材中に多量の水分を持っているので、同一環境条件下においては普通コンクリートに比較して乾燥が遅れるため、初期材齢での長さ変化は小さいが、乾燥収縮の収斂時には普通コンクリートとほぼ同等の収縮率となる。本試験に於ける乾燥収縮試験の結果を図8.2に、また気中養生での質量変化率の結果を図8.3に示した。材齢1年における長さ変化率は $8 \sim 9 \times 10^{-4}$ であった。この値は無拘束状態で試験をした既往報告の結果とよく一致している。

一般に、鋼纖維混入率を1.5~2%にした場合、纖維の拘束効果によって乾燥収縮は20~30%程度低減されるといわれている。また、軽量コンクリートのように密度や弾性係数が小さいコンクリートほど収縮低減効果は大きいとの報告もある。し

かしながら、本試験におけるSFLCの収縮率はNCより若干小さかったものの、LCとほぼ同等であり鋼纖維による効果は見られなかった。このことから、鋼纖維による収縮低減を期待するには混入率を更に大きくする必要があるものと考えられる。

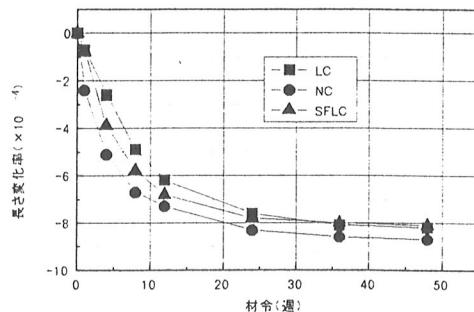


図-8.2 乾燥収縮試験結果

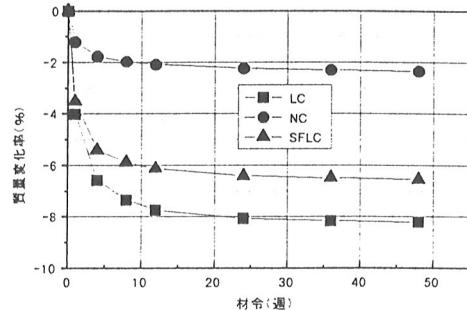


図-8.3 質量変化

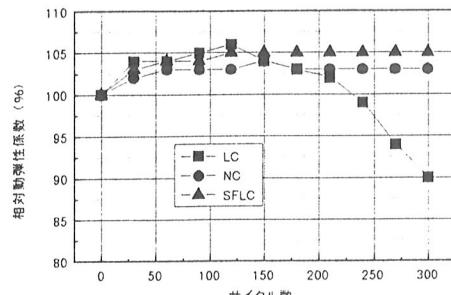
8.5 凍結融解

(1) 試験方法

試験は、土木学会基準「コンクリートの凍結融解試験方法(JSCE-G501-1986)」に準じた。供試体は材齢1日で脱型し、以降材齢14日まで20°C水中に浸漬して養生した後、材齢28日まで温度20°C・相対湿度60%の恒温恒湿室で乾燥させてから、凍結融解試験槽に入れて試験を開始した。なお、凍結温度は-18°C・融解温度は5°Cとし、1サイクルの所用時間は約4時間とした。

(2) 試験結果

各サイクル数に於ける相対動弾性係数を図8.4に、また気中養生前後の質量変化率を表8.2に示した。

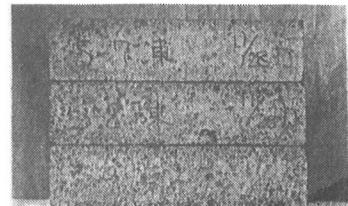


図一8.4 相対動弾性係数

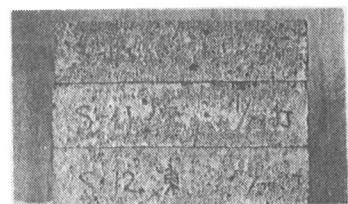
表一8.2 乾燥による供試体の質量変化

配合名	水切時(kg/m^3)	乾燥後(kg/m^3)	質量減少率(%)
LC	1.941	1.848	4.8
NC	2.306	2.274	1.4
SFLC	2.032	1.949	4.1

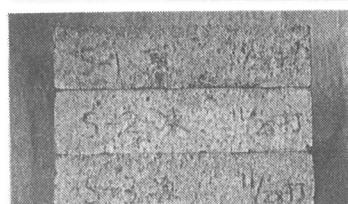
300回の繰り返し凍結融解終了時における耐久性指数はLCの90%に対して、SFLCならびにNCでは103~105%と高い値を示した。通常、軽量コンクリートは水中での急速凍結融解を繰り返した場合、早期に弾性係数の低下や崩壊現象の生じることが知られている。これは、主として軽量骨材中の水が凍結によって膨張し、大きな氷圧を及ぼすことにより組織がルーズ化するためである。本試験において良好な耐久性を示したのは、凍結融解開始前に14日間の気中養生を行ったことで、コンクリート全体の水分が4%程度減少していたことによるものと考えられる。LCは120サイクルを過ぎた辺りから相対動弾性係数の低下が目立つが、SFLCは殆ど弾性係数の変化が見られず、300サイクルでは僅かであるが、NCより大きい耐久性を示した。SFLCが優れた耐久性を示した理由としては粗骨材量が少ないとからコンクリート中の全水量が少なかったこと、乾燥に伴うコンクリート中の水分量の減によって凍結時の氷圧が小さくなかったことに加えて、鋼纖維の拘束作用によるコンクリート表面の損傷防止効果が寄与したものと推察される。写真8.2に300サイクル後の表面劣化状況を示した。



L C



N C



S F L C

写真一8.2 表面劣化状況(300サイクル)

8.6 屋外暴露

(1) 試験方法

供試体は材齢1日で脱型し、以降材齢28日まで20°C水中に浸漬して養生した。水中養生終了後、神奈川県茅ヶ崎市内(海岸線より約3km)の建物の屋上に自然状態で暴露し、外観変化・繊維の腐食状況ならびに中性化の進行状況を調べた。なお、試験材齢は暴露開始後6ヶ月、1年及び3年とした。

(2) 試験結果

暴露材齢1年における試験結果は表3に示したとおりである。何れのコンクリートも中性化は全く見られなかった。SFLCは、発錆や表面剥離などの現象もなく健全な状態であった。曝露試験体の状況を写真8.3に示した。

表一8.3 屋外暴露試験結果

配合名	鋼纖維		中性化深さ (mm)	発錆	表面損傷
	種類	混入率(%)			
LC	—	—	0	なし	なし
NC	—	—	0	なし	なし
SFLC	A	0.75	0	なし	なし

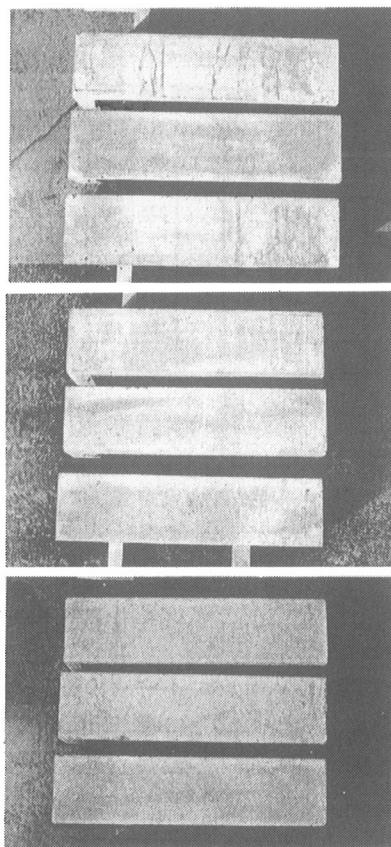


写真. 8-3

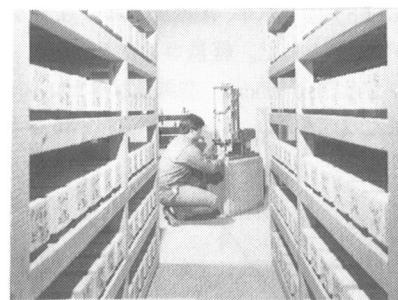
8.7 まとめ

人工軽量骨材コンクリートに鋼纖維を0.75%混入したコンクリートの耐久性は、促進中性化および乾燥収縮については無混和時の性状と概ね同等であった。凍結融解抵抗性は、鋼纖維を混入することで大きな改善効果が認められた。屋外曝露試験に関しては材令的に短期であるため、コンクリート種類間の差異は生じていない。今後の追跡調査が必要である。本試験の結果から、鋼纖維を混入することで軽量コンクリートの弱点である、凍結融解抵抗性が大幅に改善されることが判明した。鋼纖維の混入率を高めることは耐久性の向上にとって非常に有効であるものと推察される。

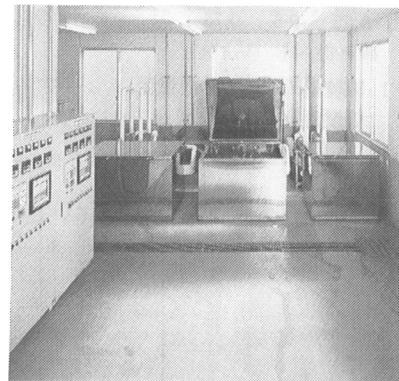
(文責: 森 安仁)



中性化促進試験装置



乾燥収縮試験



凍結融解試験装置

9章 せん断特性

本項では鋼纖維軽量コンクリートのせん断特性について報告する。

9.1 実験概要

実験は供試体によるせん断強度試験とRCはり部材を用いた試験を行った。

9.2 供試体によるせん断試験

(1) 使用材料

使用材料とその物性を表9.1に示す。

表-9.1 使用材料と物性値

使用材料	記号	物性
水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント; 比重3.16
細骨材	S	大井川産陸砂; 表乾比重2.60、吸水率1.98%、粗粒率2.74
粗骨材	G	人工軽量骨材; 絶乾比重1.28、吸水率26.5%、最大寸法15mm
混和剤	SP	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
鋼纖維	A	両端フック型、 $\phi 0.8 \times 60$
	B	インデント型、 $\phi 0.7 \times 50$
	C	波形、 $0.25 \times 2.0 \times 50$

(2) 試験体の種類と配合

試験体の種類と配合を表9.2に示す。W/Cは43、48ならびに58%の3水準、纖維混入率は0、0.5、0.75、1 Vol.%の4水準とした。軽量コンクリートは1種とし、スランプは18±1.5cm、空気量は5±1%とし

た。なお、纖維の種類別に細骨材率やその他の配合は変えていない。

表-9.2 試験体の種類と配合

試験体種類	鋼纖維混入率	W/C (%)	s/a (%)	単位重量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	SF
普通 (NC)	0	48	48	375	824	912	0	
	0.5		52		811	549	0	
	0.75		43		881	505	40	
		48	54	180	419	894	475	
			56	375	949	463		
			58		340	998	450	60
軽量 (SFLC)	1	48	64	375	1084	379	80	

(3) 試験方法

試験は、土木学会規準(JSCE-E-G-553-1983)「鋼纖維補強コンクリートのせん断試験方法」に規定する二面せん断試験にしたがった。試験材齢は28日とした。

(4) 試験結果

① 繊維混入率とせん断強度の関係

図9.1~9.3に纖維混入率とせん断強度の関係を示す。鋼纖維の増加によりせん断強度の増加が認められ、無混入に比べ倍もしくはそれ以上の効果がある。

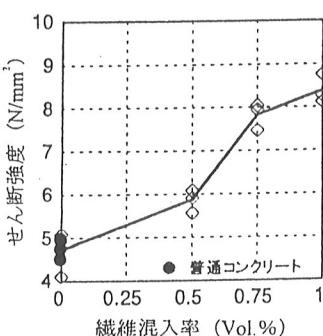


図-9.1 繊維混入率とせん断強度の関係(A種)

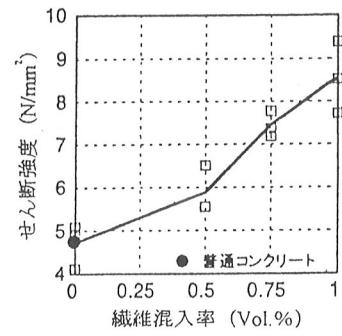


図-9.2 繊維混入率とせん断強度の関係(B種)

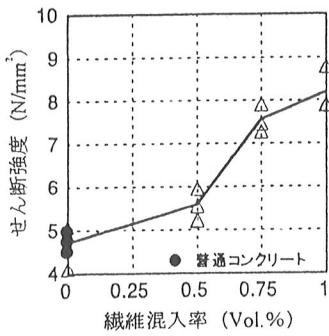


図-9.3 繊維混入率とせん断強度の関係(C種)

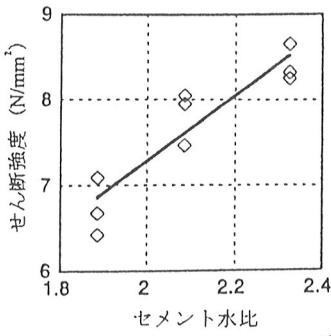


図-9.4 セメント水比とせん断強度の関係(A種)

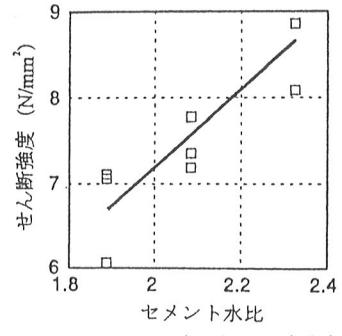


図-9.5 セメント水比とせん断強度の関係(B種)

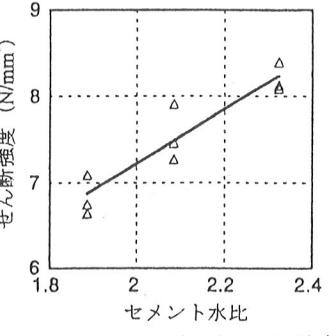


図-9.6 セメント水比とせん断強度の関係(C種)

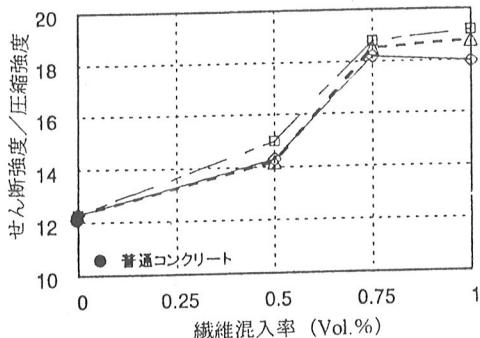


図-9.7 せん断強度と圧縮強度比の関係

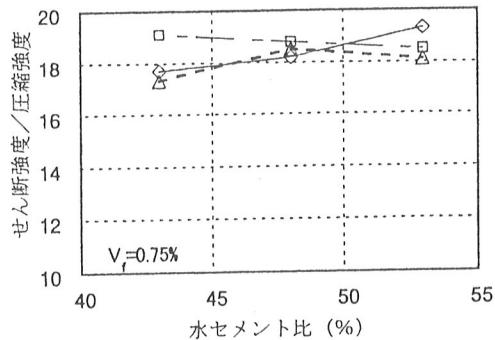


図-9.8 せん断強度と圧縮強度比の関係

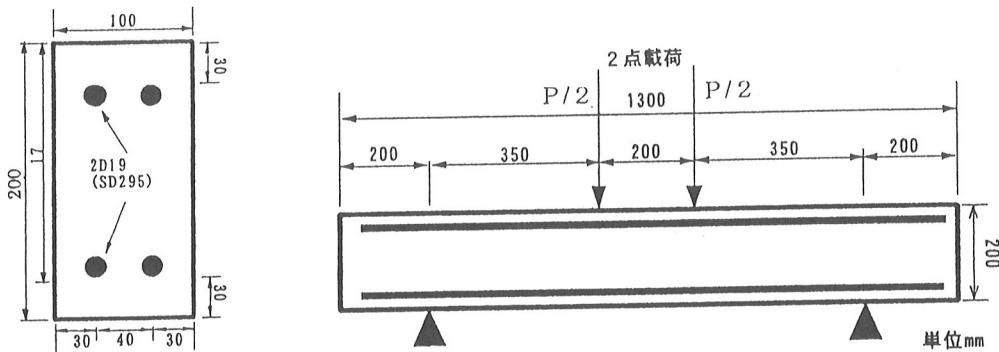


図-9.9 試験体の形状・寸法

ただし、纖維量に比例した増加とはならず、頭打ち現象がみられるようである。これは鋼纖維補強コンクリートにおいて一般的にみられる現象であり、この理由としては、纖維を混入することによる締め固め効果の低減によるものと説明されている。

②セメント水比とせん断強度の関係

図9.4～9.6にセメント水比とせん断強度の関係を示す。圧縮強度と同様に直線関係が得られており、纖維そのものはセメント水比に対する影響要素は変わらないものと判断でき、鋼纖維とマトリックスとの付着強度が強度増大の効果に及ぼす大きな因子であることが推測される。

③せん断強度と圧縮強度比の関係

図9.7、9.8にせん断強度と圧縮強度比の関係を示す。図9.7では特に纖維混入率をパラメータとしているが、普通コンクリートに対するその比は12%程度であり、せん断強度は圧縮強度の1/8程度と一般的な値といえる。また、今回の実験では鋼纖維無混入の軽

量コンクリートにおいても12%程度と同様な数値が得られており、一般的に軽量骨材にいわれているようなせん断強度の低下は明確に示されなかった。纖維を混入すると、せん断強度と圧縮強度の比は18%となり、圧縮強度の1/5近くにも上昇しており、数値的にも圧縮強度に対する比においても効果が認められた。

また、図9.8から、せん断強度と圧縮強度との比に水セメント比がほとんど影響していないことがわかる。

9.3 RCはり部材を用いた試験

(1) 使用材料

使用材料とその物性を表9.1に示す。

(2) RCはり試験体の種類と配合

RCはり試験体の種類とコンクリートの配合を表3に示す。コンクリートは軽量コンクリート1種とし、スランプは $18 \pm 1.5\text{cm}$ 、空気量は $5 \pm 1\%$ とした。全ての纖維で纖維混入率は0.75Vol.%とし、配合は同じとした。

表-9.3 RCはり試験体の種類と配合

試験体種類	鋼纖維混入率	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				
				W	C	S	G	SF
普通 (NC)	0	48	48	824	912	0		
				811	549	0		
軽量 (SFLC-A)	0.75	48	180	949	463	60		
				56				
(SFLC-B)								
(SFLC-C)								

(3) 試験方法

図9.9に示す形状・寸法のRCはり試験体を作製し

た。鉄筋は圧縮鉄筋比と引張鉄筋比が同一となるように配置し、せん断スパンは350mm、せん断スパン比は2.16であり、せん断破壊となるようにスターラップは設けていない。RCはり試験体の載荷方法は、まず曲げひび割れ発生荷重まで載荷した後、一旦除荷し、再度破壊に至るまで一様漸増載荷を行い、各段階でたわみ、鉄筋ひずみなどを測定した。なお、試験体は鋼纖維補強軽量コンクリート(SFLC)を繊維種類(A, B, C)毎に各2体、計6体を作製し、試験に供した。

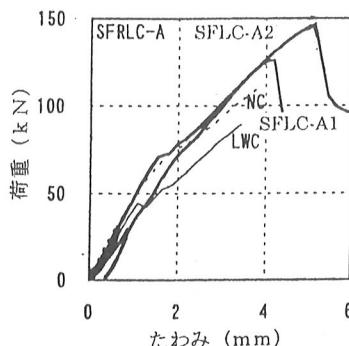


図-9.10 荷重一たわみ曲線(A種)

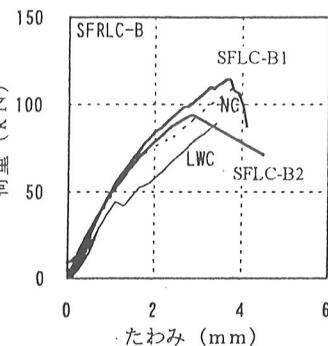


図-9.11 荷重一たわみ曲線(B種)

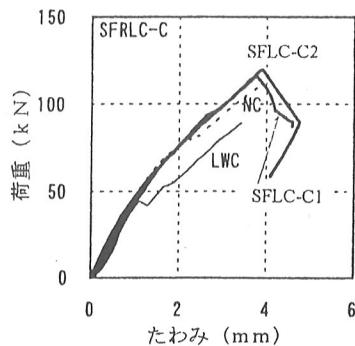


図-9.12 荷重一たわみ曲線(C種)

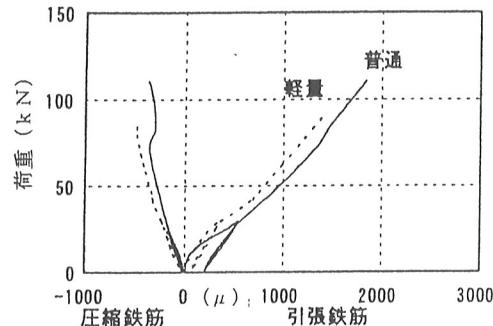


図-9.13 荷重一主鉄筋ひずみの関係(繊維無混入)

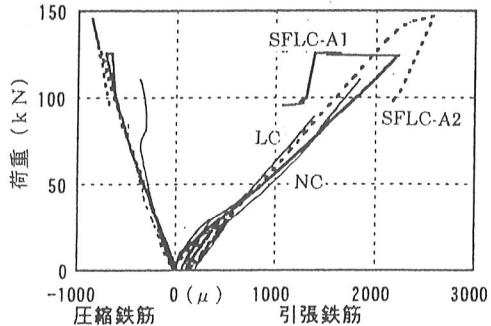


図-9.14 荷重一主鉄筋ひずみの関係(A種)

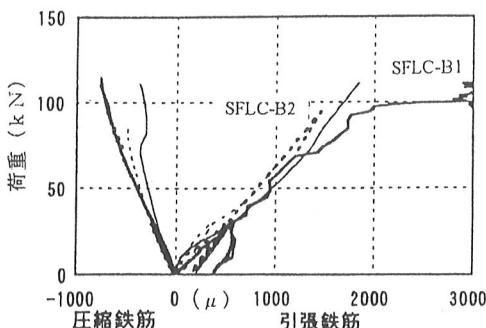


図-9.15 荷重一主鉄筋ひずみの関係(B種)

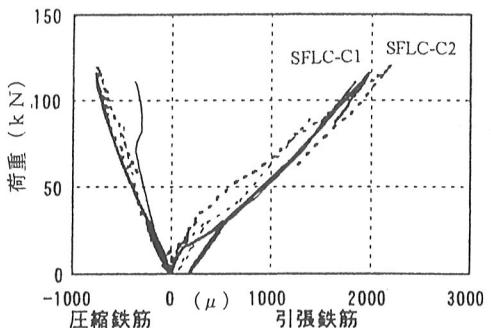


図-9.16 荷重一主鉄筋ひずみの関係(C種)

また、比較用の普通コンクリート（N C）、軽量コンクリート（L C）の繊維無混入RCより試験体についても試験を実施した。

(4) 試験結果

① 破壊までのプロセス

SFLC および N C、L C の荷重一たわみ曲線を図 9.10～9.12 に、荷重一主鉄筋ひずみの関係を図 9.13～9.16 に示す。全ての試験体で載荷開始後まず曲げひび割れが発生し、それ以後さらに荷重を増加させると斜めひび割れが発生した。その後、載荷に伴い N C、L C でも荷重は増加するものの、引張側主鉄筋が降伏する前に L C、N C の順に脆性的な破壊を呈した。一方、繊維を混入した SFLC では、さらに引張側主鉄筋ひずみが増加しても荷重は増加し、引張側主鉄筋のひずみが降伏ひずみに達したと考えられる 1500～2000 μ 以上で急激に斜めひび割れ幅が増大し、最終的に破壊に至った。しかしながら、この L C、N C 破壊以降の SFLC の荷重増分から、繊維混入による補強効果が窺える。

② 載荷試験結果

表 9.4 および 図 9.17 に載荷試験結果を示す。鋼繊維を混入しない場合、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ、斜めひび割れ発生荷重およびせん断圧縮破壊荷重（終局時）は小さいが、鋼繊維を混入することにより斜め引張破壊荷重およびせん断圧縮破壊荷重は増加した。また、その増加傾向は鋼繊維種類により異なり、鋼繊維の特性を受けているようである（A > C > B）が、鋼繊維を混入した 6 試験体の平均値は普通コンクリートを上回る結果となった。

図 9.18 に斜めひび割れ発生荷重の解析結果を示す。なお、計算には土木学会「コンクリート標準示方書」における、棒部材の設計せん断耐力式（下記参照）を用いた。鋼繊維無混入の場合、実験値-計算値の平均値は 6.05 N/mm^2 であったのに対し、鋼繊維を混入した場合の平均値は 29.4 N/mm^2 となり、その差は約 23 N/mm^2 であった。このことから、今回の実験の範囲では、鋼繊維を混入することにより約 23 N/mm^2 程度、せん断補強鋼材による補強効果と同様の効果があったといえる。（文責 成川史泰）

棒部材の設計せん断耐力（コンクリート標準示方書「設計編」）

V_{cd} ：せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力

$$V_{cd} = \beta d \cdot \beta p \cdot \beta n \cdot f'cd \cdot bw \cdot d$$

$$f'cd = 0.20(f'cd)^{1/3} (\text{N/mm}^2) \quad \text{ただし, } f'cd \leq 0.72(\text{N/mm}^2)$$

試験体種類	NC	LC	SFLC-A1	SFLC-A2	SFLC-B1	SFLC-B2	SFLC-C1	SFLC-C2
斜めひび割れ発生荷重(kN)	57.9	44.1	70.6	80.4	58.8	59.8	63.7	65.7
せん断圧縮破壊荷重(kN)	110.8	89.2	126.5	146.1	114.7	94.1	115.7	119.6
コンクリート圧縮強度(N/mm ²)	42.3	39.9	39.4	39.4	44.0	44.0	41.2	41.2
斜めひび割れ発生荷重(kN)(計算値)	53.3	36.6	36.5	36.5	37.8	37.8	37.0	37.0

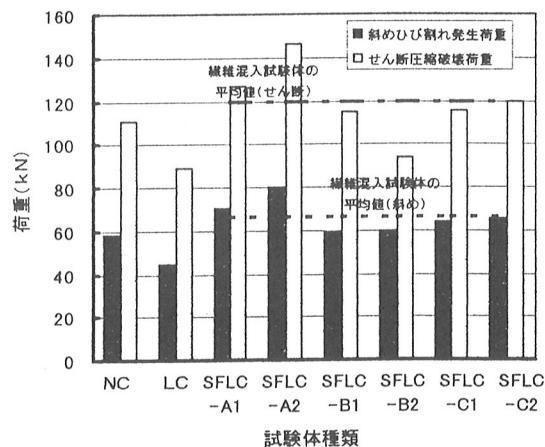


図 9.17 載荷試験結果

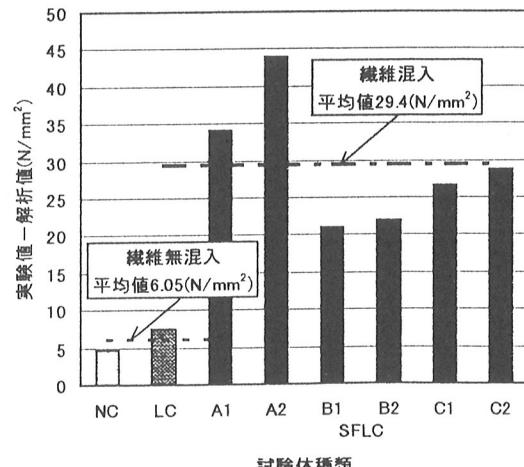


図 9.18 斜めひび割れ発生荷重の解析結果

$$\beta d = (1/d)^{1/4} (d : m) \quad \text{ただし, } \beta n > 1.5 \text{ となる場合は 1.5}$$

$$\beta p = (100pw)^{1/3} \quad \text{ただし, } \beta d > 1.5 \text{ となる場合は 1.5}$$

$$\beta n = 1, \quad bw : \text{腹部の幅}, d : \text{有効高さ}$$

$$pw = As / (bw \cdot d), As : \text{引張側鋼材の断面積}$$

$$f'cd : \text{コンクリートの圧縮強度} (\text{N/mm}^2)$$

なお、軽量コンクリートでは $f'cd \times 0.7$ とした。

10章 曲げ疲労特性

10.1はじめに

鋼纖維補強普通コンクリートの曲げ疲労試験は、数はないながらも実施されており、その結果ある程度の曲げ疲労特性が解明されている。しかし、人工軽量骨材を用いた鋼纖維補強コンクリートの曲げ疲労特性となると、既往の研究は全くと言ってよいほどない。そこで、本研究では、軽量鋼纖維補強コンクリート(以下、SFLCと記す。)の曲げ疲労特性を明らかにすることを目的として試験を行ったものである。

10.2 試験内容

(1) 使用材料

今回の曲げ疲労試験に使用した材料とその物性を表10.1に示す。

表-10.1 使用材料

種類	記号	物性(値)
セメント	C	普通ポルトランドセメント(比重3.16)
水	W	上水道水
細骨材	S	大井川水系陸砂 表乾比重 2.60 FM=2.74
粗骨材	G	人工軽量骨材 絶乾比重1.28 吸水率26.5% 最大寸法15mm
混和剤	SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)
鋼纖維	SF	A両端フック型 $\phi 0.8 \times 60(\text{mm})$
		Bインデント型 $\phi 0.7 \times 50(\text{mm})$
		C波型 $0.25 \times 2.0 \times 50(\text{mm})$

(2) 配合

今回の試験に使用したコンクリートの配合を表10.2に示す。

(3) 試験方法

今回の曲げ疲労試験に使用した疲労試験機は電気油圧サーボ式の試験機(最大荷重 50tonf セメント協会・研究所所有)で材齢 77 日以降に実施した。載荷方法については、写真10.1に示す曲げスパン 450mm の 3 等分点載荷とした。その他の試験条件については、表10.3

に示す。疲労試験中でも 200 万回(載荷速度 10Hz の試験体は 400 万回)まで破壊に至らない場合は疲労試験を途中打ち切りとした。ただし、A65-2,A65-3 の2つの供試体については、打ち切り回数をそれぞれ 421.5 万回、850 万回まで延長した。

表-10.3 載荷条件

SF	A,B,C	無混入
曲げ強度 (N/mm ²)	5.86	3.92
初期曲げひび割れ応力(N/mm ²)	4.69	3.92
上限応力比 (%)	85, 75 65, 55	
下限応力比 (%)	7.7(一定)	
上限応力 (N/mm ²)	3.99, 3.52 3.05, 2.59	3.33, 2.95 2.55, 2.16
下限応力 (N/mm ²)		0.30(一定)
載荷波形	正弦波	
載荷速度(Hz)	5,10(上限応力比55%のみ)	

(4) 測定項目

測定項目は次に挙げる4つの項目について測定した。

①たわみ

試験体の中央と左右の支点上に変位計を取り付け、試験体のたわみを測定した。

②底面ひび割れ幅

試験体底面にバイ型変位計を取り付け、試験体に発生したひび割れの幅を測定した。

③上縁歪み

試験体の上縁に歪みゲージを取り付け、試験体の上縁の歪みを測定した。

④歪み進展

試験体の側面に歪みゲージを取り付け、試験体に発

表-10.2 コンクリートの配合

No.	SF混入率 (vol.%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(Kg/m ³)					スランプ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G	SF		
1	0.75	48	56	180	375	949	463	60		
2	0	48	48	180	375	811	549	0	18±1.5	5±1

生する歪みを測定した。

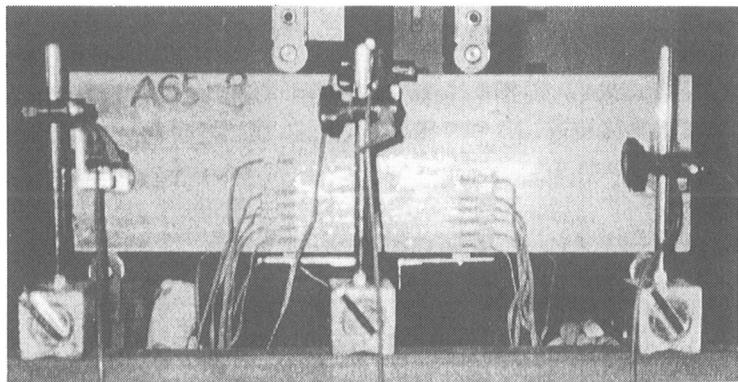


写真-10 1

表-10.4 静的試験結果

SF	4w		13w		17w	
	曲げ強度	曲げ剛性係数	曲げ強度	曲げ剛性係数	曲げ強度	曲げ剛性係数
A	7.01	測定せず	7.95	7.03	7.52	6.53
B	6.77	5.76	5.89	4.62	5.93	4.34
C	6.58	5.17	5.95	2.90	5.24	3.45
無混入	4.23	-	4.91	-	4.43	-

単位:N/mm²

表-10.5 曲げ疲労試験結果

織維	荷重レベル (%)	応力 (N/mm ²)	No.	疲労寿命(回)	織維	荷重レベル (%)	応力 (N/mm ²)	No.	疲労寿命(回)
A	85	3.99	1	111,100	C	85	3.99	1	18,600
			2	22,400				2	1,600 ゲージ外
			3	57,200 曲げスパン外				3	65,400
	75	3.52	1	298,600		75	3.52	1	1,800
			2	2,000,000 終了				2	13,800
			3	508,800 ゲージ外				3	33,400
	65	3.05	1	1,822,000		65	3.05	1	2,000,000 打切
			2	4,215,000 打切				2	25,200
			3	8,500,000 打切				3	2,000,000 打切
	55	2.59	1	4,000,000 打切		55	2.59	1	1,186,800
			2	4,000,000 打切				2	936,200
			3	300,000 打切				3	406,400
B	85	3.99	1	40,800	無混入	85	3.33	1	1,170
			2	97,600				2	910
			3	8,800 曲げスパン外				3	870
	75	3.52	1	1,784,000		75	2.95	1	1,070
			2	448,400				2	4,610
			3	135,200				3	2,780
	65	3.05	1	496,200		65	2.55	1	26,400
			2	1,614,800				2	10,250
			3	2,000,000 打切				3	99,000
	55	2.59	1	4,000,000 打切		55	2.15	1	1,657,700
			2	2,515,600				2	953,410 打切
			3	2,670,150				3	745,570 打切

10.3 結果と考察

(1) 静的試験結果

表 10.4 に静的試験結果を示す。前章と同様に、本試験でも繊維混入は繊維無混入の約 1.2~1.7 倍程度大きくなっている。

(2) 疲労試験結果

表 10.5 に曲げ疲労試験結果を示す。表中『曲げスパン

外』は破壊が最大曲げモーメントスパン外で起こったもの、『ゲージ外』は最大曲げモーメントスパン内であるが、ひび割れ進展計測のためのゲージ外で破壊したもの、『打切』はそのサイクル数で破壊せず試験を途中で打切ったものを示す。

図 10.1 に応力比と疲労サイクル数(疲労寿命)の関係を示す。

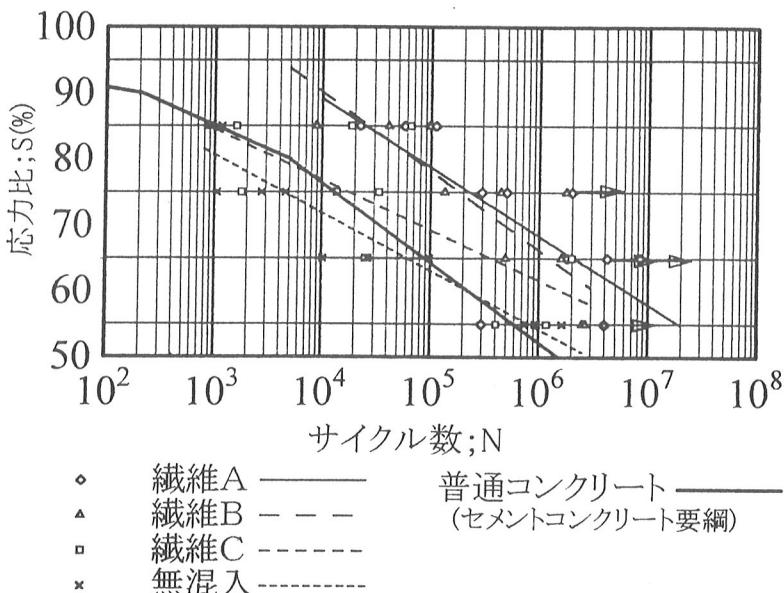


図-10.1 S-N線図

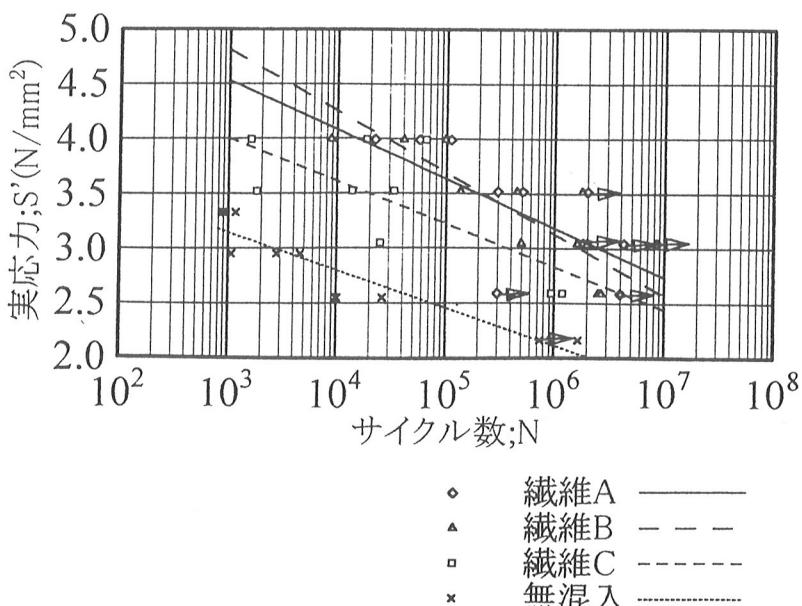


図-10.2 実応力と疲労寿命

図中→のプロットはその回数に達しても破壊に至らず、そのサイクル数で疲労試験を打ち切ったものを示す。

一般に繊維補強コンクリートの疲労試験では繊維の混入のばらつきにより、疲労寿命の変動が大きくなるが、本試験においても疲労寿命のばらつきがみられたが、本試験では SFLRC の 200 万回疲労強度は繊維 A が上限応力の約 65%、繊維 B が上限応力の約 62.5%、繊維 C が上限応力の約 60.0% となった。繊維無混入の 200 万回疲労強度が、上限応力の約 52% であることから、SF を混入することで大幅な疲労強度の向上となった。これを上限応力と疲労寿命の関係で整理してみると図 10.2 のようになる。200 万回疲労強度は繊維 A が 3.1N/mm^2 、繊維 B が 3.0N/mm^2 、繊維 C が 2.7N/mm^2 となり無混入の約 2.0N/mm^2 と比べると疲労強度は大幅に向上的に向上している。

(3) 繊維量と疲労寿命

一般に鋼繊維補強コンクリートの疲労強度は鋼繊維の混入のばらつきによって変動が大きくなるが、本試験でも大きな変動がみられた。そこで、疲労試験後の供試体の破断面における繊維量(本数)を数え、疲労寿命との相関を調べた。繊維量と疲労寿命の関係を図 10.3 に示す。図に示すように繊維量が増えると、疲労寿命も延びる傾向にある。

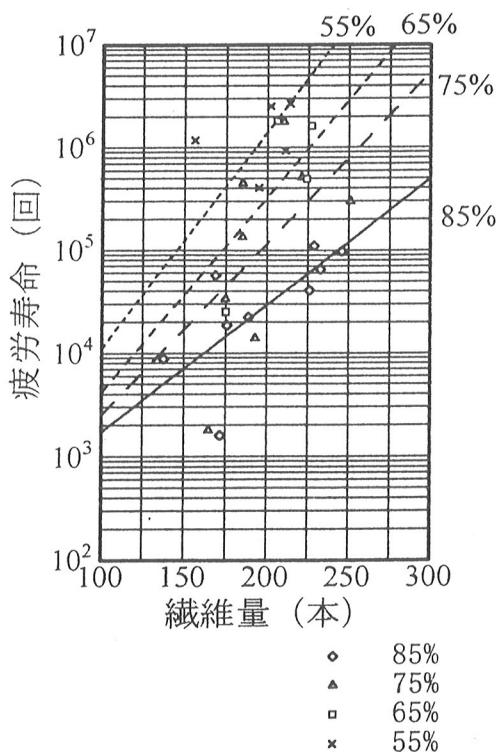


図-10.3 疲労寿命と繊維量の関係

(4) 歪みの進展

図5は供試体側面の歪みゲージにより測定した歪み(引張歪み 200μ をひび割れとみて)の進展状況の一例を示したものである。図 10.4 に示したように破壊に至らない試験体ではひび割れが 40mm でとまっているものもあった。繊維無混入の試験体では、試験体底面にひび割れが発生すると一気に破壊に至るのに対して、SFLC では図に示すように徐々に破壊に至る。これは、ひび割れの進展している断面に存在する SF がひび割れの発生に伴って引張応力を分担して抵抗し、コンクリートとの付着が限度に達したものから徐々にコンクリートから SF が抜けるためであると思われる。疲労試験後、試験体の断面を調べてみると破断した鋼繊維はほとんどなく、コンクリートから抜けたものが主であった。

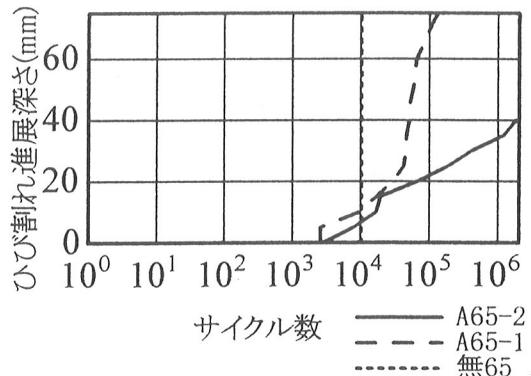


図-10.4 歪みの進展とサイクル数

10.4 まとめ

本実験から得られた結論をまとめると以下のようになる。

- LC の 200 万回疲労強度は静的強度の約 52%、実応力で 2.0N/mm^2 である。
- 同一応力における SFLRC の疲労強度は、繊維無混入に比べて大幅に向上的する。
- SFLRC の 200 万回疲労強度は静的強度の 60～65% である。
- SFLRC の疲労寿命はひび割れの進展断面の繊維量(本数)との相関性が大きい。
- SFLRC における疲労破壊は繊維無混入のコンクリートのような急激破壊ではなく徐々に破壊に至った。なお、破壊していない試験体では、ひび割れの成長が止まっているものもあった。

(文責 石川寛範)

人工軽量骨材コンクリート施工例(平成8年~9年度)

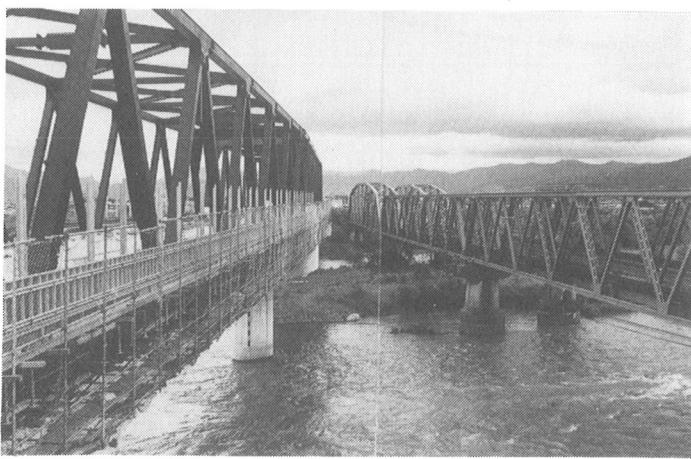
工事件名	構造・階数	設計事務所 施主	施工会社	使用部位	設計強度 (N/mm ²)	コンクリート比重	スランプ (cm)	工期 年/月	地区
[建築関係]									
ナゴヤドーム建設工事	SRC・ S.SRC・14F	竹中工務店 交建設計	竹中・三菱重工JV 鉄建建設	床 床	2.1 1.8	1.90 1.90	1.8 1.8	6/4~9/2 6/8~9/3	愛知 東京
恵比寿駅ビル	S・24F,22F	結崎東衡	竹中工務店JV	床	2.1	1.65	1.8	6/12~9/2	東京
錦糸町北口三街区	S.SRC・8F	石本設計	鹿島建設他JV	床	18~25.5	1.85	1.8	7/4~8/1	神奈川
大岡駅再開発工事	S・15F	アトリエハイ・相模	大林・大鉄JV	床	2.1	1.85	1.8	7/4~8/6	京都
JR京都駅ビル	SRC・15F	清水建設	清水、鹿島、大日本JV	床	2.1	1.90	1.8	7/5~8/12	岐阜
濃飛ビル	SRC・22F/6B	三菱地所	竹中・清水JV	床	2.1	1.85	1.8	7/7~8/8	東京
新幸橋共同ビル	SRC・14F	大阪市都市整備局	森本組	床	2.1	1.85	1.8	7/8~12	大阪
阿倍野再開発D3-2棟	SRC・12F/2B	東京都	大成建設他JV	床	2.1	1.90	2.1	7/8~8/4	東京
都住大森	SRC・30F	日建設計	大成建設他JV	床	21~25.5	1.85	1.8	7/8~8/8	神奈川
MM21 24街区	S.SRC・29F/2B	日本設計	大成建設他JV	床	2.1	1.75	1.8	7/8~9/1	東京
中野坂上一丁目	SRC・6F	松田平田設計	大林、鹿島、東急電JV	床	21~27	1.77	1.8	7/8~9/5	福島
長島賀美看板改築工事	SRC・6F	日建設計	大成、住友JV	床	18~24	1.85	1.8	7/10~8/5	東京
台場B街区	SRC・10F	日建設計	大成電JV、竹中JV	外壁PCa	3.0	1.90	8	7/10~8/7	熊本
熊本県庁	SRC・14F	北海道日建	竹中、芦田、筑田電JV	床	18~27	1.90	1.8	7/10~8/10	北海道
ホテルラフィーネ札幌	S・11F	丸川設計	馬淵建設他JV	床	21~22.5	1.85	1.8	7/12~8/5	東京
東京消防庁中野	SRC・14F	東京都	日産建設他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	7/12~8/7	東京
都住06H-1106南	SRC・14F/3B	日本設計	東急建設他JV	床	21~22.5	1.85	1.8	7/12~8/7	東京
八王子北口再開発	SRC・12F	日建設計、及豊設計	大林戸田三重電JV	床	2.1	1.85	1.8	7/12~8/12	兵庫
大丸神戸店	SRC・30F	日建設計	竹中・大林電JV	外壁PCa	3.0	1.90	7	8/1~8/4	大阪
阪神西梅田開発	S・12F	大阪市都市整備局	岐建木村	床	2.1	1.85	1.8	8/1~8/7	大阪
関谷住宅第3期建設工事	SRC・14F	日本国土他JV	日本国土他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	8/2~8/8	東京
都住06H-1105南	SRC・25F/5B	MITI都市開発	竹中工務店JV	床	2.1	1.65	1.8	8/2~8/12	東京
大手町CDP	SRC・12F	東烟設計	鹿島建設	床	2.1	1.85	1.8	8/2~8/12	兵庫
三神ビル	SRC・11F	交通建築設計	大成建設他JV	床	2.1	1.85	1.8	8/2~9/3	東京
錦糸町北口二街区	SRC・30F/2B	日本設計	清水建設他JV	床	1.8	1.85	1.8	8/2~9/3	神奈川
RC横浜	SRC・5F	黒川記章設計	大日本、鹿島、幸栄JV	床	2.1	1.90	1.8	8/2~9/8	岐阜
大垣市情報工房	SRC・13F/1B	日建設計	鹿島、東急電JV	床	2.1	1.85	1.8	8/3~8/7	兵庫
アーバンエース三宮ビル	SRC・8F	日本設計	安藤建設	床	1.8	1.85	1.8	8/3~8/8	愛知
三の丸共同ビル	SRC・28F	日建設計	鹿島建設他JV	床	2.4	1.65	2.1	8/3~9/3	東京
新宿南口JR東日本	SRC・20F/3B	生名省、東急建設設計	佐屋工業・大成・鹿島JV	床	2.1	1.65, 1.85	1.8	8/3~10/3	東京
国立ガンセンター	SRC・18F	三稟地所	大林、大林、大成JV	床	2.4	1.87	1.8	~8/4	宮城
四分田市賃貸西閣発発事業建設工事	SRC・14F	東京都	砂原組他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	8/4~8/8	東京
都住06H-1107南	SRC・9F/1B	安田総合計画	大成建設他JV	躯体	21~24	1.80	15~18	8/4~8/9	東京
錦町センタービル	SRC・10F	藤原設計事務所	清水、フジタJV	床	2.1	1.85	1.8	8/4~8/9	栃木
宇都宮バルコ	SRC・14F	東京都	奥村組他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	8/4~8/10	東京
都住、塩浜	SRC・14F	大木組他JV	大木組他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	8/4~8/10	東京
都住06H-1101北	RC・2F	大成建設	大武建設ハウシング	スラブ、梁、屋根	2.7	1.90	7	8/4~9/3	西駿
バルコン(住宅)	SRC・33F/3B	仙台市	フジタ、松村組、三毛JV	床	2.1	1.80	2.1	8/4~9/4	宮城
仙台駅北都賀地区再開発ビル新築工事	SRC・18F	鹿島建設	鹿島建設	床、壁体	21~24	1.85	1.8	8/4~9/9	広島
広島段原ビル新築工事	SRC・16F	竹中工務店	竹中工務店JV	床	1.8	1.85	1.5	8/4~	神奈川
小田急相模大野駅ビル	S.SRC・25F/2B	佐藤総合設計	鶴谷、ハザマ、木内組JV	床	2.1	1.90	1.8	8/4~	静岡
サウスボット静岡	S・2F	日建設計	ハンシン建設、清水JV	床	2.1	1.85	1.8	8/5~8/7	兵庫
JR尼崎駅前駕籠場工事	S.SRC・9F	清水建設	清水建設	床	2.1	1.65	15~21	8/5~8/7	千葉
フコク生命千葉NT	SRC・25F	大建設計	戸田、竹中、三毛JV	床	2.1	1.85	1.8	8/5~8/10	愛知
ナディアパーク信託棟	SRC・18F/2B	松田平田設計	泡池組他JV	床	2.1	1.90	1.8	8/5~9/6	東京
新日本景観棟本社ビル	SRC・12F	松田平田設計	大林組他JV	床	2.5~5.5	1.85	1.8	8/5~	神奈川
相鉄横浜高島屋見下駅車庫	SRC・8F	観光企画設計	大林組他JV	床	2.1	1.90	1.8	8/6~8/8	北陸道
ホテルノースランド	SRC・2F	高橋設計	鶴谷組	床	2.4	1.85	1.8	8/6~8/8	大阪
エクセル豪華マンション	SRC・2F	東京都	巴建設他JV	床	2.1	1.85	1.8	8/6~8/10	東京
都営塩浜備倉庫	SRC・24F/1B	日建設計、鹿島工務店	鹿島工務店、大林組JV	床	2.1	1.65	1.8	8/6~8/10	大阪
谷町FNビル	SRC・14F	東京都	竹中工務店他JV	躯体	2.1	1.85	1.8	8/6~8/10	東京
錦糸町北口E ₁ , E ₂	SRC・11F	昭和設計	竹中、大林、鹿島JV	床	2.4	1.85	1.8	8/6~8/12	東京
ロイヤルパレス神戸ホテル	S.SRC・23F/3B	久米設計	鹿島建設他JV	床	2.1	1.85	2.1	8/6~9/3	兵庫
科研製薬									東京

[工事名、設計事務所名、施工会社名等は略表記あります]

工事件名	構造・階数	設計事務所 施主	建設会社	使用基準	設計強度 (N/mm ²)	コンクリ ート比重	スランプ (cm)	工期 年/月	地区
新宿小田急ビル	S · 36F/4B	小田急Gビル設計室	大成建設他JV	床	21	1.85	18	8/6~10/1	東京
JR四国本社ビル	S · 9F	梓設計	大成、西田開発JV	標準PCa	30	1.90	21	8/6~	香川
豊橋ショッピングセンターイオハンド	S · 6F/1B	清水建設	清水建設	床	21	1.85	18	8/6~	静岡
船橋木町ビル	S · 8F	大林組	大林組他JV	床	21	1.85	18	8/7~8/8	千葉
松山自動車道伊予IC管理棧	RC · 2F	道路公団	愛創建設	防水詳記	18	1.55	15	8/7~8/8	愛媛
大阪日本橋ワシントンホテル	S · 13F	総合設計	東急、日建、森木JV	床	21	1.85	18	8/7~8/10	大阪
パラツィーナセシリア天満マンション	SRC · 15F	IAO竹田設計	鐵治田工務店	床	21	1.65	18	8/7~8/10	大阪
板)西新宿ステーションホテル	S · 14F	広谷環境	藤木工務店	標準PCa	30	1.90	7	8/7~8/10	関西
西葛西吉田ビル	SRC · 11F	富士工	富士工	床	21	1.90	15~21	8/7~8/11	東京
村上組本社ビル	S · 4F	原田設計	村上組	標準PCa	20	1.50	20	8/8	香川
香川県社会福祉総合センターFビル	SRC · 7F	香川県、山下叢計	竹中工務店	標準PCa	30	1.90	5	8/8	香川
大阪歯科大学	SRC · 8F	日建設計	竹中工務店	床	18	1.85	18	8/8~8/10	大阪
ダイヤパレスステーションアラモード	RC · 11F	アソシエイト・環境開発	多田建設	スラブ鉄骨	21	1.80	18	8/8~8/11	広島
名古屋市高速黒川ビル	S · 8F	日本道路公団	戸田、浅井、越後他JV	床	25.5	1.85	18	8/8~8/12	愛知
中間ウェルバーク	SRC · 21F	梓設計	竹中工務店	標準PCa	30	1.90	8	8/8~8/12	福岡
仙台駅北部第一南地区	S · 33F/3B	岡設計	フジタ他JV	床	21	1.90	18	8/8~9/11	宮城
コトデン瓦町ビル	S.SRC · 11F	石本建築事務所	大成建設他JV	標準PCa	30	1.90	8	8/9	香川
フジグラン松山	S · 7F	フジタ	フジタ	床	21	1.80	18	8/9~8/10	愛媛
松山自動車道松山IC管理棧	RC · 2F	道路公団	熊谷組	防水詳記	18	1.55	15	8/9~8/10	愛媛
六本木共同ビル	S.SRC · 10F	7-ルアイエ	三井、大日本土木JV	床	21	1.85	18	8/9~9/3	東京
Wビル	S.SRC · 21F/2B	松田平田設計	大成建設他JV	床	21	1.85	18	8/9~9/6	東京
群馬社会福祉センター	S.SRC · 9F/2B	佐藤総合計画	戸田建設他JV	床	21, 24	1.85	18	8/9~9/7	群馬
初台RCビル	S · 22F/2B	エキテナティカルティニアス	大成建設他JV	床	21	1.90	18	8/9~9/10	東京
広島県原ビル高層棟	SRC · 19F	鹿島建設	鹿島建設	床	21	1.80	18	8/9~	広島
東横イン千葉	SRC · 12F	新日本建設	新日本建設	床	21	1.80	18	8/10~8/12	千葉
オルガノ本社ビル	S · 12F	日本設計	鹿島建設他JV	床	21	1.85	18	8/10~9/3	東京
ランツミルセ香り園マンション	SRC · 15F	エムケイ設計	大日本土木	床	25.5	1.85	18	8/10~9/3	大阪
都住浮間	SRC · 14F	東京都	佐藤、越野JV	軸体	21	1.85	18	8/10~9/4	東京
東住浮間	SRC · 14F	東京都	大日本、東洋JV	軸体	21	1.85	18	8/10~9/4	東京
県営住宅浅沼工区	SRC · 14F	官本長良建築設計	浅沼組他JV	軸体	21	1.85	18	8/10~9/5	長野
アートホテルズ札幌	S · 26F	熊谷組	熊谷組	床	21~24	1.90	18	8/10~9/8	北海道
三木町文化交流プラザ	SRC · 4F	教育振興研究所	フジタ他JV	標準PCa	30	1.90	5	8/11	香川
和歌山県立医大鷹取研究棟	SRC · 10F	教育振興研究所	鹿島、日産、浅沼JV	スラブ	25.5	1.85	18	8/11~8/12	和歌山
板)安田生命大阪直港ビル	S · 9F	安田生命	竹中工務店	標準PCa	30	1.90	7	8/11~9/1	大阪
県営住宅間工区	SRC · 12F	官本長良建築設計	間組他JV	軸体	21	1.85	18	8/11~9/6	長野
グランパーク立川	SRC · 14F	イクス、アーツ	小島建設他JV	床	21, 24	1.85	18	8/11~9/8	東京
港区脳脊髓者養護センター	SRC · 23F/2B	類設計室	長谷工、日産JV	床	21, 24, 27	1.85	18	8/11~9/11	東京
徳島電気ビル	SRC · 7F	徳島総合ビジネス建設事務所	西松建設	標準PCa	30	1.90	5	8/12	徳島
山陰合同銀行本店ビル	SRC · 16F/3B	日建設計	大林組他JV	床	21	1.85	18	8/12~9/6	島根
JRセントラルタワーズ	S · 51F/4B	JR建築、大成、阪倉設計	大成竹中大林清水JV	床	21	1.85	18	9/1~	愛知
民宿旅館三四郎	SRC, RC · 9F/1B	世紀東急工業	世紀東急工業	床	21	1.80	18	9/1~9/3	千葉
江東区清掃工場	S · 9F/1B	住友建設	タクマ、住友JV	床	21	1.85	21	9/1~9/6	東京
ザホーテルベルグランデ	S.SRC · 12F/1B	スタジオキューブ	熊谷組	床	21	1.65	21	9/1~9/8	東京
三菱石油本社ビル	S · 13F/2B	三菱地所	鹿島、熊谷JV	床	26, 27	1.85	15, 18, 21	9/1~9/8	東京
大崎駅東口第2地区(東工区)	S.SRC · 24F/4B	日建設計	鹿島建設他JV	床	18, 21	1.65	18, 21	9/1~10/3	東京
大崎駅東口第2地区(西工区)	S.SRC · 24F/4B	日建設計	大成建設他JV	床	18, 21	1.65	18, 21	9/1~10/3	東京
ジャストシステム本社	S.SRC, RC · 7F	男女連携整備者設計	大林組	標準PCa	30	1.85	5	9/2	徳島
淀屋橋センタービル	SRC · 14F/2B	清水建設	清水・奥村JV	床	21	1.65	18	9/2~9/7	大阪
港区清掃工場	RC · -	三菱重工	竹中・日産JV	煙突	24, 27	1.85	15, 18	9/2~9/9	東京
新鵜町会館	S.SRC · 15F/4B	佐藤総合設計	竹中・日東JV	床	21, 24	1.90	18	9/2~10/3	東京
橘独身寮	RC · 6F	橘島総合ビジネス建設事務所	岡田組他JV	標準PCa	30	1.90	5	9/3	徳島
勤労者リフレッシュ	SRC · 11F	安井建築設計	大成建設他JV	床	18	1.85	18	9/3~9/5	神奈川
和洋女子大学南館	S.SRC · 9F/1B	石本建築事務所	戸田建設他JV	床	21	1.85	21	9/3~9/7	千葉
横川工事本社ビル	SRC · 11F/1B	鹿島建設	鹿島建設	床	21	1.85	18	9/3~9/8	東京
八王子生活学習センター	SRC · 11F	類設計室	清水建設	床	21	1.85	18	9/3~9/10	東京

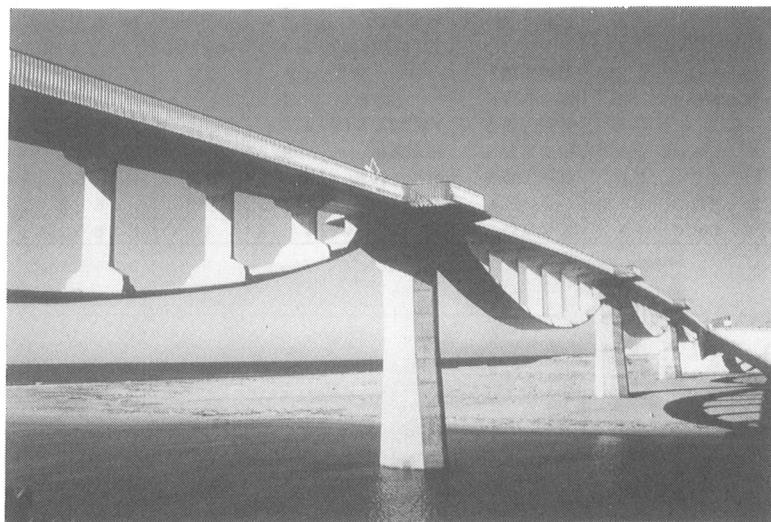
工事件名	構造・階数	設計事務所	施工会社	使用部材	設計強度 (N/mm ²)	コンクリート比重	スランプ (cm)	工期 年／月	地区	
スカイビル	SRC・30F/3B	三菱地所	鹿島建設他JV	床	2.1	1.85	18		神奈川	
代々木三丁目共同ビル	S.SRC・20F/2B	都市計画審査課	フジタ・淡路・鹿島JV	床	2.1	1.65	18	9/3～9/12	東京	
新名古屋大林ビル	SRC・10F/1B	大林組	大林組	床	2.1	1.85	18	9/3～10/2	愛知	
豊田駅前共同開発オフィスモール新築工事	SRC・20F	山下設計	竹中工務店他JV	床	2.1	1.70	18	9/3～10/3	東京	
川崎病院改築工事	SRC・15F	日本設計	大成建設他JV	床	2.1	1.75	19	9/3～10/3	神奈川	
福岡空港国際航路ターミナルビル新築工事	SRC・	日建設計	大成・大林・鹿島他JV	躯体	2.1		18	9/3～10/3	福岡	
京セラ本社ビル	SRC・20F/3B	墨俣記念設計・三島設計	竹中工務店	床	2.1	1.85	18	9/3～10/3	京都	
横山運送社員寮セントラル新築工事	SRC・5F	浅沼組	P.C.a	3.0	2.00	5	9/4		兵庫	
西紀町庁舎建設工事	SRC・5F	内藤建築設計	フジタ	P.C.a	3.0	1.90	5	9/4		兵庫
村崎学園110周年記念図書館新築工事	S・6F	教育施設審査課	西松建設	床、P.C.a	21, 30	1.8, 1.85	18, 5	9/4		香川
徳島保健所等改築工事	RC・4F	徳島県	フジタ・淡路・野瀬JV	床	2.1	1.78	18	9/4～9/5	徳島	
市川保健医療センター	S・4F	田中・西野	大成建設他JV	床	18, 21	1.65	15, 18	9/4～9/7	千葉	
住友海上神戸ビル	S・11F/2B	日建設計	竹中・大林・住友・鹿島JV	床	2.4	1.85	18	9/4～9/7	兵庫	
都住大門	SRC・14F	東京都	佐田・生研JV	躯体	2.4	1.85	18	9/4～9/9	東京	
全国市町村会館	S.SRC・16F/3B	日本設計	竹中・フジタJV	床	2.1	1.90	18, 21	9/4～10/2	東京	
バルコン(住宅)	RC・2F	大成建設	大成・ハウジング西日本	P.C.a	3.0	1.90	7	9/4～10/3	滋賀	
上社駅前複合ビル	SRC・8F/3B	名古屋市交通局・住宅供給公社	三井・浅路・東亜JV	床	2.4	1.85	18	9/4～10/3	愛知	
山形合月銀行本店新築工事	SRC・14F	日建設計	大林組他JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/5		島根
岡山市新中央保健所等新築工事	SRC・9F	佐藤総合計画	大本・穴吹JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/5		岡山
モードラサ本社ビル新築工事	SFC・	屋根建築事業者	清水建設	P.C.a	3.0	2.00	5	9/5		大阪
つねもりビル新築工事	SRC・	屋根建築事業者	東急建設	P.C.a	3.0	2.00	5	9/5		大阪
東新潟火力発電所	S・4F	東北電力	小松建設	P.C.a	3.0	2.00	6	9/5		新潟
横河電気本社ビル	S.SRC・9F/1B	横河設計工房	清水・フジタJV	床	2.1	1.85	18	9/5～9/8		東京
岡山准生会看護学院本館Ⅱ期工事	S.SRC・12F	竹中工務店	竹中工務店	床、P.C.a	21, 30	1.85, 2.0	18, 5	9/5～9/9		岡山
NTT京阪奈ビル	SRC・5F	NTTラヨンテクノ	大林・共立・清水JV	床	2.1	1.85	18	9/5～9/12		京都
信開ホテル金沢	S・14F/2B	類設計室	熊谷組	床	2.4	1.65	18	9/5～9/12		石川
広島県意町共同ビル新築工事	SFC・11F	鹿島建設	鷲見・佐藤・フジタJV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/6	9/	広島
ブルーミング中西新築工事	S・10F	清水建設	清水建設	P.C.a	3.0	1.80	8	9/6		大阪
熊本大学医学部研究実験棟新築	SRC・12F	熊本大学設備部	大林組	外壁	3.0	1.90	7	9/6～		熊本
阪急急ファイブビル	S・8F	竹中工務店	竹中・大林JV	床	2.1	1.85	18	9/6～9/9		大阪
阪神西宮立交支交差化工事	RC・3F	阪神電車	大林・ハシシ・JV		2.1	1.85	18	9/6～9/10		兵庫
茨城県庁警察棟	S.SRC・10F/1B	松田平田設計	松田組他JV	床	2.1	1.85	18	9/6～9/11		茨城
西早稻田マンション	SRC・14F	ヰズコ・コーリエーション	鉄建建設他JV	躯体	2.7	1.85	15	9/6～9/12		東京
茨城県庁行政棟	S.SRC・25F/2B	松田平田設計	竹中工務店他JV	床	2.1	1.85	18	9/6～10/3		茨城
金山南ビル	SRC・31F/1B	日建設計・日本設計・東海設計	清水・大林・大日本JV	床	2.1	1.85	18	9/6～10/3		愛知
大阪市立大学医学部学舎新築工事	SRC・19F	日建設計	大林・東急・奥村JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/7		大阪
箕面販賣センタービル新築工事	SRC・16F	清水建設	清水・奥村JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/7		大阪
ニッセイ箕面下石井ビル	SRC・14F	大林組	大林・磐倉・東急他JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/7		岡山
森長新築アパート新築工事	SRC・4F	昭和設計	森永組	P.C.a	3.0	1.90	5	9/7		兵庫
福岡県新規開拓課	SFC・8F	福岡県営繕課	飛島建設他JV	外壁	3.0	1.90	7	9/7～		福岡
SRC・17F/2B	日建設計	熊谷組他JV	床	2.1	1.65	18	9/7～10/2		東京	
S・10F	三菱地所	清水建設他JV	床	2.1	1.85	18	9/7～10/3		東京	
HSBCビルディング	S・26F	熊谷組	熊谷組	床	21～24	1.90	18	9/8		東京
アートホテルズ札幌	RC・	石本建設事業者	熊谷組	躯体	2.1	1.85	18	9/8		北海道
加古川市既存支庁舎	S・6F	竹中工務店	竹中工務店	P.C.a	3.0	2.00	6	9/8		兵庫
野村證券山形ビル	SRC・6F	アル・ア・イ・エー	大林・東急・奥村JV	P.C.a	3.0	1.90	5	9/8		山形
尾道本町尾道地区港湾ビル新築工事	SRC・5F	安井設計・神戸環境設計	三井建設	P.C.a	3.0	1.90	5	9/8		広島
PC16.17監視機器建設工事	RC・7F	高橋茂弥	ヒバラ	床・壁	2.4	1.80	18	9/8～		兵庫
福岡県官邸富士宮北園地	SRC・11F	大阪市都市整備局	三菱・成和JV	床	2.1	1.85	18	9/8～9/11		大阪
我孫子市官邸(東第3住宅)	S.SRC・11F	園田設計	松尾・豊谷組JV	床	2.1	1.90	18	9/8～10/2		東京
銀座一丁目プロジェクト	SRC・13F	竹中工務店	竹中・豊谷・京成JV	P.C.a	3.0	2.00	5	9/9		滋賀
京浜大津再開発工事	SRC・3F	清水建設	清水建設	P.C.a	3.0	2.00	5	9/9		大阪
TOWA本社ビル新築工事	S・14F	山下設計	大林組	P.C.a	3.0	1.85	5	9/9		兵庫
神戸クリエイト	SRC・13F	日建設計	竹中工務店	外壁	3.0	1.90	7	9/9～		福岡
井筒屋本店新館	SRC・9F	大林組	大林組	床	2.1	1.65	18	9/9～9/10		愛知
白壁マンション	SRC・7F/1B	総合設計	熊谷組	床	2.1	1.85	18	9/9～9/12		東京

工事件名	構造・階数	設計事務所 施主	建設会社	使用部材	設計強度 (N/mm ²)	コンクリート比重	スランプ (cm)	工期 年／月	地区
蒲田総合病院	SRC・6F/2B	現代建築	大成建設JV	床	1.8	1.85	21	9/9～10/1	東京
広島駅南口再開発	SRC・12F/2B	安井建築設計	大林・竹中JV	床	21	1.85	20	9/9～10/2	広島
川崎市民病院	S.SRC・11F	日本設計	竹中工務店JV	床	21	1.85	18	9/9～10/3	神奈川
小石川一丁目共同ビル	S.SRC・20F/2B	日建設計	豊名橋・住友JV	床	21.24	1.65, 1.85	18	9/9～10/3	東京
札幌医科大学	S.SRC・15F	足立社・横堀設計JV	大成・不動・東急建設JV	床	18~27	1.90	15	9/9～10/5	北海道
神戸税関本館	S・8F	日建設計	東急・新田・新井JV	PCa	30	1.85	5	9/10	兵庫
中国電力大崎発電所	SRC・3F	中電コンサル	清水・岡・眞島JV	PCa	30	2.00	5	9/10	広島
西新六丁目街路再開発事業地盤改良工事	SRC・27F	日建設計	佐藤他JV	床	17	1.70	18	9/10	東京
アクロス辰巳倉庫	S・7F	東急コンサルタント	東急建設	床	21	1.85	15	9/10～10/1	東京
江戸川区総合区民施設	S.SRC・11F/2B	岡設計	戸田建設JV	床	21	1.85	21	9/10～10/3	東京
聖徳大学	SRC・10F	岩村桂男建築設計	中野・ボーラージョン	床	21	1.85	21	9/10～10/3	千葉
堂島アバンサ	SRC・23F/2B	日建設計	大林・竹中・眞島JV	床	21	1.65	18	9/10～10/3	大阪
庄内銀行	S・9F	松田平田設計	大成建設	PCa	38	2.00	6	9/11	山形
広島工業大学研究棟新築工事	SRC・	フジタ	フジタ	PCa	30	2.00	5	9/11	広島
三宮南	S・18F	竹中工務店	竹中工務店	PCa	30	1.85	5	9/11	兵庫
西電技術コンサルタント本社ビル	S・6F	西電技術コンサルタント	西松建設	PCa	30	1.85	5	9/11	香川
港北第一地区プラザビル新築工事	SRC・7F	西松建設	鴻池組JV	床	15	1.85	18	9/11	神奈川
名古屋空港旅客ターミナルビル新築工事	SRC・4F	日建設計	大成建設他JV	土質・床	21	1.90	15	9/11～	愛知
ガーデンシティ西新宿(モード学園)	S・21F/3B	日本設計・大和ハウス・眞島	眞島・大林・長谷工JV	床	21	1.85	18	9/11～10/3	大阪
ガーデンシティ(西新宿)(ハートホテル)	S・18F/3B	日本設計・大和ハウス・眞島	眞島・大林・長谷工JV	床	21	1.85	18	9/11～10/3	大阪
山形土地改良会館	S・6F	平沼建築設計	升川建設	PCa	30	2.00	6	9/12	山形
中国電力興山支店新築工事	SRC・10F	中電コンサル	大本・アイザワ・鹿J	PCa	30	2.00	5	9/12	岡山
堺市駅前地区商店街再開発事業B地区建設工事	S.SRC・42F	大林・住友都市整備JV	大林・眞村・大日本土木JV	PCa	30	1.90	FL4.5	9/12	大阪
第2電気監査署2ネットワークセンター工事	SFC・10F	松田平田設計	鹿島・三澤・東農機JV	PCa	24	1.35	FL4.5	9/12	広島
小倉北区役所	SRC・8F	久米設計	竹中・住友・大平JV	外壁	30	1.90	7	9/12～	福岡
三層海上保育署建築工事	SRC・2F	近畿地方整備局	西田建設	床	27	1.70	18	9/12～10/1	福井
森本倉庫三宮南館	S・17F/4B	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	15	9/12～10/2	兵庫
新神戸国際会館	S・22F/3B	日建設計	竹中・新井・清水JV	床	21	1.85	18	9/12～10/2	兵庫
東長野市曾木底谷地区住宅	SRC・15F	共同設計	眞島・不動・中喜JV	床	24	1.85	18	9/12～10/3	大阪
三宮第一生命ビル	S・13F	清水建設	清水・イケン・日本建設JV	床	21	1.85	15	9/12～10/3	兵庫
計量検定所新築工事	S・2F	アート設計	阿部市組	床	24	1.60	18	10/1	
豊石市立子野木小学校新築工事	RC・2F	アート設計	工藤重組	床	18	1.65	15	10/1	青森
坂出営業所立替工事	S・4F	西電技術コンサルタント	住友建設	PCa	30	1.85	5	10/1	香川
NTTクレド岡山ビル新築工事	S.SRC・21F	NTTファ	清水・大本・共立JV	床・PCa	24~27, 30	1.85, 1.8	15~18, 8	10/1～10/7	岡山
サイクルシニア・販賣工事	RC・2F	福井市役所	ヤシロ工務店	土質・床	27	1.85	18	10/2	福井
済生会広島病院増築等	SRC・6F	栄相互設計	竹中・清水JV	床	18	1.80	15	10/2～	広島
堺市駅前北区再開発	S・5F	竹中工務店	竹中工務店JV	PCa	30	1.80	8	10/3	大阪
フコク生命札幌新ビル	S.SRC・13F	清水建設	清水建設	床	24~27	1.90	15~18	10/3～10/5	北海道
富士銀行・東京建物ビル(F・ビル)	RC・20F	竹中工務店	竹中工務店	躯体	21	1.85	18	10/4	京都
築地改良住宅新築工事	SRC・11F	美村謹・中田JV	美村謹・中田JV	躯体	21	1.65	21		大阪
岡崎A1地区布吉町再開発	SRC・16F	昭和設計	竹中・豊谷・松村JV	躯体・床	21	1.85	18		大阪



北陸新幹線犀川橋梁（床版）

工事件名	構造・階数	設計事務所 施主	建設会社	使用部材	設計強度 (N/mm ²)	コンクリート比重	スランプ (cm)	工期 年/月	地区
[土木関係]									
7年度水島港改修工事	SRC・橋	水島港湾事務所	三井造船・横浜製作所JV	歩道	1.6	1.60	8	8/5~8/8	岡山
新港第8突堤防食工事	投入式鋼管セメント 運輸省	りんかい建設	防食コーン	2.4	1.90	2.1	8/6~	兵庫	
衣浦港沈埋函製作工事	沈埋缶	滋賀県第五港湾建設局	上床版	3.0	1.9~1.6	1.8	8/8~	愛知	
小田急電鉄高架部分		小田急電鉄	埋め戻し						
国道246、東急二子橋組合整備工事		清水建設	鋼製箱型	2.1	1.85				
南冰川橋歩道部床版		東京都	高田機工	歩道	2.4	1.65		8/10~9/3	東京
豊川カントリークラブ、グリーン豪邸		大林組	盛土					9/1	千葉
二子橋橋脚補強	R C	道路公団	清水建設他JV	橋脚	2.1	1.85	1.8	9/2~9/4	神奈川
橋梁整備工事その6	橋梁	横井土木工業事務所	東洋道路	中詰め	1.8	1.90	1.5	9/4	福井
橋梁整備工事その7	橋梁	横井土木工業事務所	飛鳥道路	中詰め	1.8	1.65	1.5	9/4	福井
橋梁整備工事その8	橋梁	横井土木工業事務所	日本道路	中詰め	1.8	1.65	1.8	9/4	福井
橋梁整備工事その9	橋梁	横井土木工業事務所	ガイアートクマガイ	中詰め	1.8	1.65	1.5	9/4	福井
帷子川歩道				歩道				9/9	神奈川
幸久橋歩道								9/10~10/2	茨城
都営12号線清瀬工区			前田建設					9/10~10/3	東京
品川駅東西道路			大林組					9/11~10/1	東京
新横浜、元石川橋歩道			丸礪					9/12	神奈川
八王子造成工事			大成・東海JV					9/12	東京
赤羽駅付近高架南部橋			鉄建建設					10/2~10/3	東京
首都高速K15工区組合整備工事			伊藤組土木	鋼製箱型	1.8	1.60		10/3	神奈川



浜松御前崎自動車道 潮騒橋（床版及び鉛直材）

宇部興産(株)

〒140-0002 東京都品川区東品川2-3-11 UBEビル

☎03-5460-3302 FAX.03-5460-3297

住友大阪セメント(株)

〒101-8677 東京都千代田区神田美土代町1番地

☎03-3296-9555 FAX.03-3296-9560

太平洋セメント(株)

〒101-8357 東京都千代田区西神田3-8-1 太平洋セメントビル

☎03-5214-1641 FAX.03-5214-1743

日本メサライト工業(株)

〒273-0017 千葉県船橋市西浦3-9-2

☎0474-31-8138 FAX.0474-31-2464

三菱マテリアル(株)

〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-5-1 新丸ビル

☎03-5252-5482 FAX.03-5252-5510

人工軽量骨材コンクリート技術資料 No.13

発行 1998年11月30日

発行人 人工軽量骨材協会 (発行責任者 藤木英一)

(ALA;Artificial Light-Weight Aggregate Association)

〒110-0005 東京都台東区上野1-12-2 亀田ビル

☎FAX.03-3837-0445