

鋼およびビニロン短繊維補強された超軽量コンクリートの強度特性

九州大学大学院 学生会員 ○合田寛基・尾上佑介

九州大学大学院 正会員 日野伸一・左東有次

三菱重工業(株) 正会員 田村一美

九州大学大学院 フェロー 太田俊昭

1. まえがき

近年、図-1 に示すような鋼・コンクリート合成部材を用いた浮棧橋の重量低減を目的として、超軽量、軽量コンクリートを用いる工法がある。しかし超軽量、軽量コンクリートは、普通コンクリートと比較して引張、せん断強度が小さいことから、現行の設計ではせん断破壊を生じる危険性が懸念されている。一方、既往の研究から、短繊維で補強されたコンクリートは曲げ、せん断強度増加に対して有効であることが報告されており、損傷、劣化したトンネルの壁面や道路橋床版の補強工事などに短繊維を混入した普通コンクリートが使用されている。

そこで、本研究では、鋼およびビニロン短繊維を用いて超軽量、軽量コンクリートの引張、せん断強度を改善し、それらの鋼・コンクリート合成構造物への適用について検討を行っている。その第一段階として、実構造への適用が可能なフレッシュ性状および圧縮強度を有する超軽量、軽量、普通コンクリートについて、短繊維混入率をパラメータとした各種の強度試験を行い、それらの力学特性および実構造への適用性について比較、検討を行った。

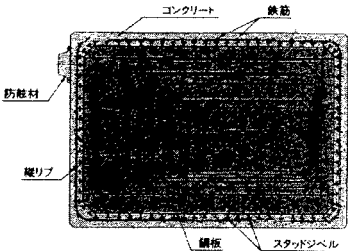


図-1: 対象とする浮棧橋の概略図

2. 試験概要

本試験で使用したコンクリートは、超軽量コンクリート（以下、SL）、軽量コンクリート（以下、L）および普通コンクリート（以下、N）である。種類は、表-1 に示す鋼またはビニロン短繊維をそれぞれ 0, 0.5, 1.0, 1.5%（体積比）混入した SL, L 試験体、および 0, 1.0%混入した N 試験体の計 17 種類である。表-2 に、試験体の骨材種別を、表-3 に、無混入試験体の示方配合例を示す。なお、全試験体に高炉セメント B 種（比重 3.04）および増粘剤を用いている。また、施工性に配慮した統一条件として、スランブを 11~12cm, 28 日圧縮強度を約 40N/mm² になるように配合設計した。短繊維を混入した場合は、混入量の増加にともなうスランブ低下が懸念されるため、細骨材率および高性能 AE 減水剤添加率を調整し¹⁾、目標スランブ量を確保した。SL は絶乾配合で、L, N は表乾配合とした。

コンクリートの混練は、容量 50liter の平型強制混練ミキサを使用し、まず骨材およびセメントの空練りを行い、水を投入して混練した後、短繊維を 2 度に分けて添加し混練を行った。試験体は、水中養生（水温 20℃）を行った φ100×H200mm の円柱試験体および B100×H100×L400mm の角柱試験体を用いた。

試験は、圧縮強度試験（JIS A 1108）、割裂強度試験（JIS A 1113）、曲げ強度試験（JIS A 1106）およびせん断強度試験（繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法¹⁾）の 4 項目であり、各試験体とも 28 日養生時の 3 体の平均値を用いた。

表-1: 短繊維種別

繊維種別		断面径 mm	繊維長 mm	比重	ヤング率 N/mm ²	引張強度 N/mm ²
鋼繊維	インデント	φ0.60	30	7.85	2.10×10 ³	1.00×10 ³
	直線	φ0.66	30	1.30	3.00×10 ⁴	0.90×10 ³

表-2: 骨材種別

	種別	比重	粗骨材		細骨材	
			種別	絶乾比重	種別	絶乾比重
SL	軽量2種LC1.6	1.53	人工軽量	0.91	人工軽量	1.60
L	軽量1種LC2.1	1.94	人工軽量	1.32	海砂	2.54
N	—	2.41	碎石	2.89	海砂	2.54

表-3: 示方配合

	G _{max} [mm]	Slump [cm]	Air [%]	W/C [%]	s/a [%]	Weight [kg/m ³]			
						W	C	S	G
SL	15	12±1.5	5.0	48.0	43.0	195	406	427	322
L	15	12±1.5	5.0	48.0	43.0	175	365	727	631
N	20	12±1.5	5.0	53.0	52.0	175	330	894	931

3. 試験結果

図-2 は、鋼、ビニロン繊維の混入率をパラメータとした SL, L, N の圧縮強度（左軸）および引張強度（右軸）の変化を示す。同図より、圧縮強度は、全試験体とも短繊維混入率による大きな変化は見られないことがわかる。一方、引張強度は、混入率 1.0% の SL, L の場合、鋼繊維は無混入時の約 1.5 倍、ビニロン繊維は約 1.4 倍の強度増加が確認され、短繊維補強が有効であることが示された。また、1.5% の一部の試験体では、ワーカビリティ不良によるコンクリート充填不良のため、圧縮強度の低下傾向が見られた。

表-4 は、各試験体の曲げ強度、せん断強度、脆度係数およびヤング率を示す。曲げ強度は、全試験体とも、0.5% では補強効果がほとんど見られなかったが、1.0, 1.5% では、無混入時の 1.35~2.49 倍という高い強度増加が確認された。せん断強度は、0.5% の場合でも、無混入時の 1.26~1.50 倍に増加していることがわかった。脆度係数は、1.0% 以上混入した全試験体とも、N と同等以上を有することが確認された。

図-3 は、1 例としてビニロン短繊維補強した L の曲げ強度試験時の荷重-支間中央たわみ曲線を示す。無混入試験体は、ひび割れが発生すると同時に、スパン中央断面で折曲がり、その時の曲げ強度 3.87N/mm²、たわみ量 0.13mm であったのに対し、短繊維補強した試験体はひび割れ発生後に一旦荷重が低下するが、その後荷重が再び増加し、大きな変形能を呈して最大荷重に達する現象が見られた。混入率が大きいほど、荷重低下の割合は小さいが、これはひび割れ発生断面位置の繊維が引張力の伝達を行い、曲げ引張補強材として有効に機能しているためである。なお、他の試験体でも同様の傾向が確認された。

以上から鋼、ビニロン短繊維の 1.0~1.5% 混入により、十分な曲げ、引張、せん断強度の増加が見込め、曲げ部材の靱性向上に対し有効であることがわかった。

4. まとめ

鋼、ビニロン短繊維を 1.0% 程度混入することで、超軽量コンクリートおよび軽量コンクリートの引張、せん断強度の大幅な改善が可能であることがわかった。また、1.5% 以上の混入はワーカビリティの不良をきたす可能性から、施工時に十分な配慮が必要であるとともに実用上の上限に近いものと思われる。

今後は、比重 1.2 の超軽量コンクリートに対して、短繊維混入による引張、せん断補強効果の検証を行うとともに、本報の結果を基に、鋼、ビニロン短繊維補強した鋼・超軽量コンクリート合成はりの曲げ挙動の検証を行う予定である。

【謝辞】 本試験に際し、太平洋セメント（株）、神鋼建材工業（株）および（株）クラレに多大のご協力を戴いた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】1) 土木学会、鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）、1983 年 3 月

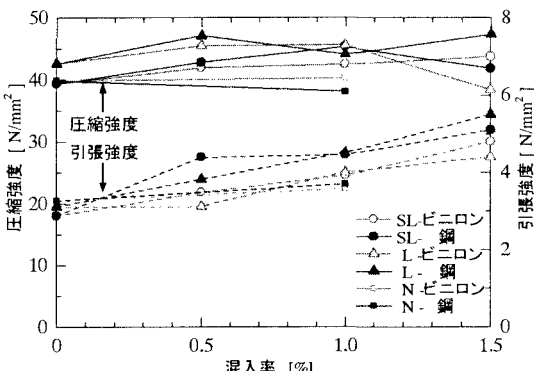


図-2：圧縮、引張強度と短繊維混入率の関係

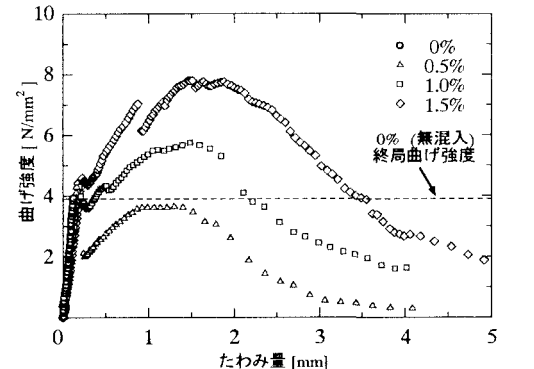


図-3：曲げ試験結果（ビニロン短繊維補強された L）

表-4：各種強度試験結果

コンクリート	繊維	混入率 体積比 (%)	曲げ強度 N/mm ²	せん断強度 N/mm ²	脆度係数 圧縮/引張	ヤング率 kN/mm ²
SL	なし	0.0	4.06 (1.00)	2.91 (1.00)	13.7 (1.00)	15.8 (1.00)
	ビニロン	0.5	4.17 (1.03)	3.68 (1.26)	12.0 (0.88)	16.3 (1.03)
		1.0	5.64 (1.39)	4.81 (1.65)	10.8 (0.79)	16.0 (1.01)
		1.5	7.18 (1.77)	4.37 (1.50)	9.1 (0.67)	16.4 (1.04)
	鋼	0.5	4.08 (1.00)	4.37 (1.50)	9.7 (0.71)	16.5 (1.04)
		1.0	5.50 (1.35)	5.14 (1.77)	10.1 (0.74)	18.3 (1.16)
L	なし	0.0	3.87 (1.00)	3.08 (1.00)	13.6 (1.00)	19.5 (1.00)
	ビニロン	0.5	4.05 (1.05)	4.31 (1.34)	14.5 (1.07)	19.4 (0.99)
		1.0	5.99 (1.55)	4.52 (1.47)	11.3 (0.83)	21.3 (1.09)
		1.5	7.82 (2.02)	5.16 (1.67)	8.7 (0.64)	21.3 (1.09)
	鋼	0.5	5.07 (1.31)	4.63 (1.28)	12.3 (0.90)	20.5 (1.05)
		1.0	6.50 (1.68)	5.24 (1.45)	9.8 (0.72)	21.0 (1.08)
N	なし	0.0	4.93 (1.00)	5.19 (1.00)	12.2 (1.00)	34.6 (1.00)
	ビニロン	1.0	8.09 (1.24)	5.23 (1.01)	11.2 (0.92)	34.8 (1.01)
	鋼	1.0	6.25 (1.27)	8.66 (1.67)	10.3 (0.84)	30.4 (0.88)

※ () 内は繊維無混入に対する比