

ポリプロピレン短繊維補強コンクリートに関する研究

A Study of Polypropylene Short-Fiber Reinforced Concrete

平 石 剛 紀 坂 田 昇
矢 吹 増 男¹⁾ 細 田 常 正¹⁾

Ⅰ. はじめに

最近、トンネル覆工コンクリートや高架橋コンクリートの剥落が相次いで起こり、大きな社会問題となっている。コンクリートの剥落を防止する方法として短繊維を混入させ補強することが挙げられるが、これら剥落防止の観点からコンクリートに短繊維を混入させる場合、繊維混入による流動性の低下が少なく、かつ、アジテータ車への投入の際に分散機を必要としないポリプロピレン繊維が、比較的適した補強材料であると考えられる。しかし、これまでポリプロピレン繊維の形状、表面処理加工などが硬化コンクリートの物性に及ぼす影響に関する研究¹⁾はあまり行われていない。そこで、本研究ではポリプロピレン繊維を用いた繊維補強コンクリートについて、曲げタフネス試験を行い、繊維形状、繊維表面加工及び繊維径の違いが靱性改善効果に及ぼす影響について検討したので、その概要について報告する。

Ⅱ. 試験概要

1. 使用材料

使用材料を Table 1 に、実験に用いたポリプロピレン繊維の形状を Fig.1 に示す。繊維形状は、市販されている直線型と、その形状を波型に改良したものの2種類とした。波型繊維の写真を Photo 1 に示す。

また、使用した繊維の詳細を Table 2 に示す。使用した繊維は、形状、エンボス加工（表面に施す凹凸加工）の強弱及び繊維径の異なる5種類とした。エンボス加工とは、ポリプロピレン繊維とコンクリートとの付着を十分に確保するため、繊維表面に施す機械的な凹凸加工のことである。しかし、Table 2 の引張強度に示すとおり、繊維形状を波型に加工する際、エンボス加工を直線型繊維と同程度の強加工とすると、繊維強度を損なうことになる。そこで、本実験で用いる波型繊維については、繊維の引張強度が直線型繊維と同程度になるよう、エンボス加工を弱めた弱加工の繊維と、直線型繊維と同じエンボス加工を施した強加工の2種類を用いて実験を行った。

2. コンクリート配合及び試験項目

コンクリートの配合を Table 3 に示す。使用したコンクリートの水セメント比は 55%とし、目標スランプは $8 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5 \pm 1.0\%$ とした。繊維を混入する配合は、繊維無混入の配合

Table 1 Properties of Materials

使用材料	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm^3
混和材	LP	石灰石微粉末 密度: 2.73g/cm^3
細骨材	S	新潟産山砂 表乾密度: 2.60kg/l
粗骨材	G	八王子産硬質砂岩碎石 表乾密度: 2.65kg/l , G_{max} : 20mm
短繊維*	PF	ポリプロピレン繊維 密度: 0.91g/cm^3 , 繊維長: 30mm
混和剤	AD	AE減水剤 リグニンスルホン酸系

※;詳細は、表-2繊維の詳細参照



Fig.1 Shape of Fibers

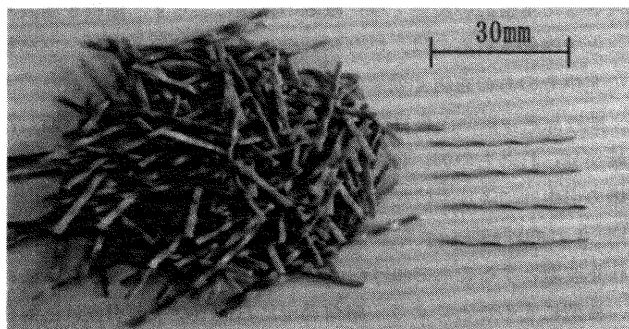


Photo 1 Wave-Type Fiber

Table 2 Details of Fibers

case	繊維長	繊維径*	エンボス加工	形状	引張強度 (N/mm^2)
N64	30mm	6400d	強	直線型	446
Ws64			弱	波型	420
W64		9000d	強	波型	382
N90				直線型	-
W90				波型	373

※;1d(デニール)= $1\text{g}/9000\text{m}$ (繊維9000mの質量が1g)

(以下、基本配合と記す)を基に、モルタルを構成する材料(水、セメント、砂)の容積割合を一定とし、粗骨材容積を変化させ所定の流動性が得られるよう修正した。

Table 3 Mix Proportion of Concrete

	W/C	Air	s/m	s/a	単位量(kg/m ³)					AD (C×%)
	(%)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	繊維	
基本					175	319	812	972	-	0.25
繊維混入 1.0vol%	55	4.5	53.1	49.1	183	333	851	899	9.1	

試験は、スランプ試験・空気量試験のフレッシュ試験及び10×10×40cmの供試体による曲げタフネス試験を行った。

なお、実験では繊維混入量を0.5, 1.0, 1.5vol%の3水準として検討を行ったが、本論文では混入量を1.0vol%とした場合の結果について記すこととする。

III. 試験結果

繊維を1.0vol%混入した配合は、繊維の種類によらず5配合とも、基本配合に対し単位水量を8kg/m³増加することで目標スランプを満足することができた。繊維の種類によらず単位水量の増加分が一定であったことから、繊維の形状、エンボス加工及び繊維径の違いによるスランプへの影響がないことが明らかとなった。

Fig.2に曲げ強度試験結果を示す。図に示すように、繊維径、繊維形状及び繊維強度（エンボス加工）の違いによる曲げ強度への影響はみられず、全ての配合において同等であった。また、いずれの繊維種類においてもひび割れ発生時に最大荷重を示し、曲げ強度は6 N/mm²程度であった。これより、ポリプロピレン繊維を1.0vol%混入させた本検討の範囲では、繊維の種類によらず、繊維を混入することで改善されるのは、ひび割れ発生以降の靱性であり、ひび割れの発生そのものを防ぐ効果は期待できないものと考えられた。また、曲げ試験後破断面を目視観察したところ、W64で若干破断した繊維が見られたものの、ほとんどの繊維は破断しておらず、破壊は繊維の引抜けにより生じたものと考えられた。

Fig.3に曲げ靱性係数を示す。繊維径6400d, 9000dともに繊維形状を波型とすることで曲げ靱性係数が1.3倍程度向上した。これは、波型にすることにより、耐荷過程における繊維の引抜けに対する抵抗力が向上し、靱性が高まったことによるものと考えられた。これより、繊維形状を波型とすることは靱性向上に有効なことが明らかとなった。また、エンボス加工のみが異なるケースWs64とケースW64との比較においては、エンボス加工を強加工としたW64の方が、曲げ靱性係数が大きい結果となったことから、エンボス加工の程度は、繊維の引抜けに対する抵抗力を向上させ、靱性に影響を及ぼすことが明らかとなった。さらに、繊維径の影響については、直線型及び波型とも6400dの方が9000dに比べ曲げ靱性係数が1割程度高い結果であった。これについても、同一容積混入においては、繊維径6400dの方が9000dに比べマトリックスと接する比表面積が増えるため、引抜けに対する抵抗が高まり靱性が向上したものと考えられた。

Fig.4に曲げタフネス試験における、試験体のたわみ量が2mm及び5mm時点での荷重を示す。全ての配合においてたわみ量5mmまで破壊することなく荷重を負担しており、曲げ靱性係数で扱われるたわみ量2mm以上の範囲においても高い靱性を示していることがわかった。また、2mm及び5mmのたわみ量における耐力は、波

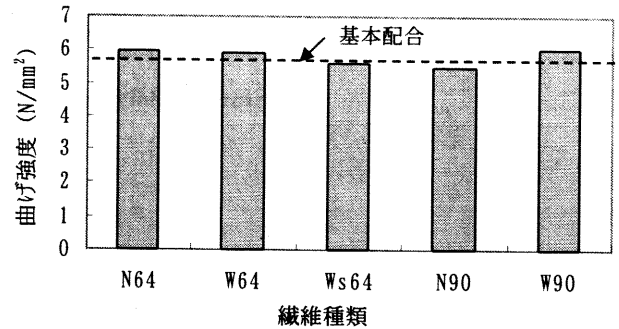


Fig.2 Flexural Strength

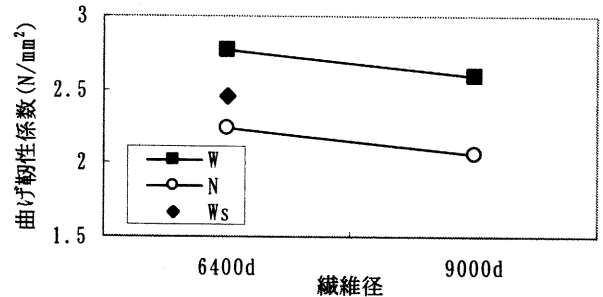


Fig.3 Flexural Toughness

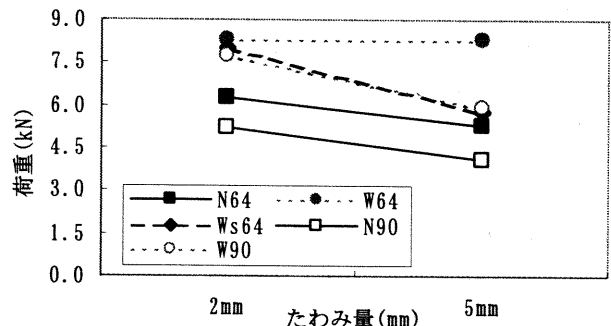


Fig.4 Load at Each Deflection

型のものの方が直線型に比べて大きく、かつ、繊維径6400dのものの方が9000dのものに比べて大きいことがわかった。

IV. おわりに

本繊維を用いたコンクリートの靱性の改善を図るためには、繊維の引抜けに対する抵抗力を向上させる必要があると判断された。今回の実験の範囲では、ポリプロピレン繊維の形状を波型にすることによって、コンクリートの靱性を改善できることが明らかとなった。

波型ポリプロピレン繊維 (W64) は、日本道路公団阿賀野川 PC 橋梁上部工工事にて、無筋調整目部に耐疲労特性を目的として既に適用されており実績を有する材料である。今後、実際の剥落状況に近い直接引張試験などを行い、剥落に対する性能を把握し、剥落防止を目的とした施工への適用について検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 牧：ポリプロピレン繊維補強コンクリートの曲げ特性について、東京農業大学農学集報, vol.26, no.2, (1981), pp.200-208.
- 2) 平石, 坂田, 矢吹, 細田：ポリプロピレン短繊維補強コンクリートのフレッシュおよび硬化性状, コンクリート工学年次論文集, vol.22, no.1, (2000.7), pp.283-288.