



鋼繊維吹付けコンクリートの曲げ
タフネス改善のため吹付け方法
Shotcrete method to increase toughness
of SFRC shotcrete

東京大学生産技術研究所

魚本研究室

1. はじめに

当研究室は民間企業17社との共同により、トンネルの主要な支保部材である吹付けコンクリートについて、品質および施工性の特質を明らかにし、吹付けコンクリートの高品質化を目指した研究開発を行っている。その取り組みの一つとして、引張強度、曲げ強度、靱性およびひび割れ拘束性能などの向上を目的に繊維補強吹付けコンクリートの特性を明らかにする検討を実施した。繊維補強吹付けコンクリートは、破碎帯などの地質が脆弱な地山、膨張性の地山あるいは地下発電所のような地下大空洞などに適用されている。また、第二東名・名神高速道路建設においても、トンネルを安全かつ経済的に建設するための新しい支保材料として実用化に向けた検討が行われており、今後更なる需要の増加が予想される。しかしながら、吹付けコンクリートは圧縮空気により吹き付ける特殊な施工方法であるため、はね返りによる構成材料の比率の変化や硬化体中の配向性などが打ち込みのコンクリートとは異なることが指摘されているが、これらと曲げタフネスなどの強度特性についての検討は十分に行われていない。そこで、実規模大の湿式吹付け実験により供試体を作製し、X線撮影による鋼繊維の配向性を把握することによって、曲げタフネス改善のための吹付け方法について検討した。

2. 実験概要

繊維補強吹付けコンクリートの特性を明らかにするために、荷下ろし時のコンクリート（以下、ベースコンクリート）についても実験を行った。

鋼繊維の配向の測定は、図1に示すように、吹付け面および打ち込み面に平行な面（以下、X断面）およびその面に垂直な面（以下、Y断面）の2断面を10mm程度の厚さに切り出しX線撮影を行った。その繊維投影面積Aを用いて下式により、切断面に直角な方向への配向係数 β を算出した。

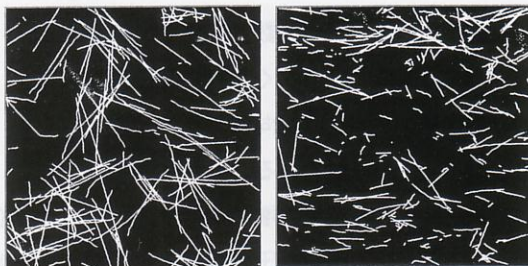
$$\beta = \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{A}{ndt} \right) \right] \quad (1)$$

n: 繊維数、d: 繊維径、t: 試験片の厚さ

X線撮影による鋼繊維の投影画像の一例（吹付けコンクリート、繊維混入率1%）を図1に示す。

3. 実験結果

繊維混入率と換算曲げ強度の関係を図3に示す。吹付けコンクリートの曲げタフネス係数は、ベースコンクリートと同様、繊維混入率にほぼ比



(X断面) (Y断面)
図1 X線撮影による鋼繊維の投影画像

例的に増加する傾向である。従って、吹付けコンクリートにおいても、繊維混入率を増加することにより、曲げタフネス係数を改善できるが、その改善の効果はベースコンクリートに比べて小さい。繊維補強吹付けコンクリートでは、吹付け面に対して垂直な方向に繊維が配向する傾向にあり、打ち込みのコンクリートに比べて繊維混入による補強効果は小さいと考えられている。しかし、図3に示す繊維混入率と配向係数の関係において、配向係数はいずれのコンクリートともほぼ同等の値であり、繊維の配向がその要因ではないことをX線撮影による検討で明らかになった。この低下の要因は、今回使用した一般的なカルシウムアルミネート系急結剤では、マトリックス強度が約7割程度に低下するためであると考えられる。これまでの研究成果において、高強度用であるカルシウムサルフォアルミネート系急結剤を用いることにより、ベースコンクリートとほぼ同等程度のマトリックス強度を得られていることから、急結剤の変更により曲げタフネス係数の改善は可能である。

吹付けコンクリートは、材料を圧縮空気によって高速で吹き付けることによって施工するコンクリートである。施工では、圧送空気流量は適宜調整されるが、品質や施工性に及ぼす影響は大きい。図4には、適切な圧送空気流量 $12\text{m}^3/\text{min}$ を中心に施工可能な範囲で圧送空気流量を変化させ、曲げタフネス係数および配向係数に及ぼす影響を示したものである。配向係数は圧送空気流量の増加とともにX断面では小さくなり、Y断面は大きくなる傾向である。この傾向は、吹付け面に平行な面への配向が低下していることが伺える。このこと

ことから、圧送空気流量の増加に伴う曲げタフネス係数の低下は、繊維の配向がその要因のひとつに考えられる。従って、適切な圧送空気流量を設定した吹付け方法では、吹付け面に対して平行に繊維が配向することにより、繊維による補強効果をより効果的に活用できる。

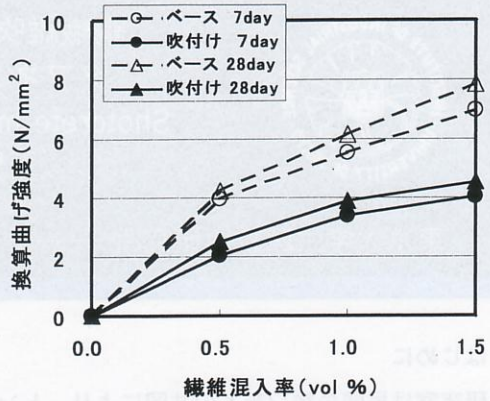


図2 繊維混入率と曲げタフネス係数の関係

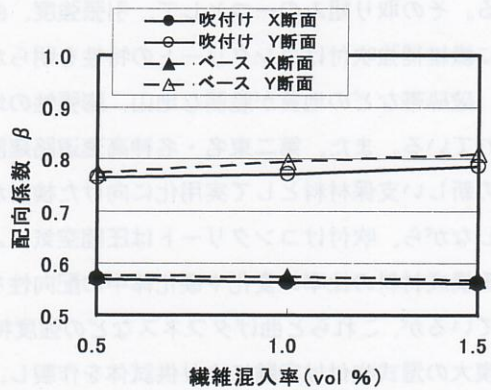


図3 繊維混入率と配向係数の関係

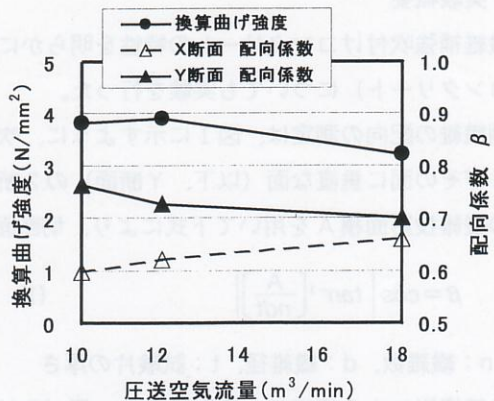


図4 空気流量と曲げタフネス係数、配向係数

(執筆担当：平間昭信、西村次男、魚本健人)