

変位未収束対策における繊維補強コンクリート覆工の設計曲げ引張強度に関する検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○舟橋 孝仁 岡野 法之 小島 芳之
 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 井浦 智実 丸山 修
 株式会社レールウェイエンジニアリング 正会員 阿部 敏夫

1. はじめに

山岳トンネルの覆工の施工は、支保工の変位が収束した段階で覆工コンクリートを打設するのが一般的である。しかしながら、例えば膨張性地山において、地山変形の収束前にやむを得ず覆工コンクリートを打設する場合は、鉄筋や短繊維等により覆工を補強し、耐荷性能を向上させるなど力学的機能を付加させる必要がある。

近年では、整備新幹線トンネルの新設工事において、変位未収束区間の覆工に繊維補強コンクリート（以降、FRC と称す）を適用する事例が増加している。しかしながら、その設計手法はトンネル現場あるいは工区によって様々であり、特に曲げ引張強度を用いた設計手法に関して、繊維混入率に対応する統一された設計値がないのが現状である。

本稿では、変位未収束対策として覆工に FRC を適用する場合を対象とし、トンネル建設現場において実施された曲げタフネス試験結果を用いて、鋼繊維および非鋼繊維の各繊維混入率に対応する標準的な曲げ引張強度の設定について検討を行ったので報告する。

2. 曲げタフネス試験データの分析と適用データの抽出

表 1 に検討に用いた繊維補強コンクリートの主な諸元と試験データサンプル数を示す。

図 1 に鋼繊維を適用した現場における、繊維混入率と曲げ強度の関係を示す。これによると、九州新幹線の各トンネルにおける混入率 0.5vol% の曲げ強度は、ばらつきも大きく、他に比べても 1.5 倍～2 倍程度大きいことがわかる。これらのデータのすべてを適用して設計値を定めることは、設計値としての信憑性に欠け

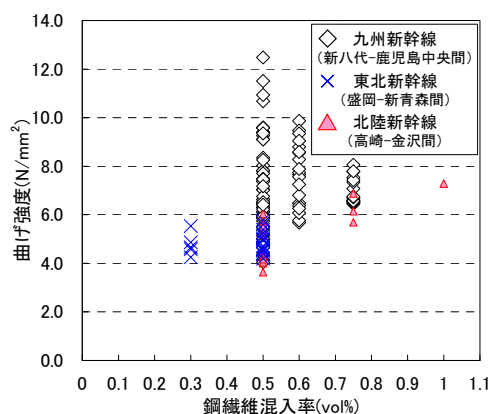


図 1 繊維混入率と曲げ強度（鋼繊維）

るため、工学的な判断により設計値を求めるためのデータを抽出することが必要であると考えられる。

図 2 に鋼繊維混入率 0.5vol% における各線区のトンネル現場毎の曲げ強度を示す。九州新幹線において、曲げ強度が大きな値を示す要因を究明するため、コンクリートの配合の観点から分析を行なったが、明確な要因は把握できなかった。そこで、本検討では、九州新幹線以外の曲げ強度の上限付近に閾値（曲げ強度 6.7N/mm^2 （最大荷重 $P_{\max}=50\text{kN}$ ））を定め、閾値以下のデータを適用することとした。また、鋼繊維混入率 0.6vol% においては、図 1 より他局の比較データが無いいため、混入率 0.75vol% の曲げ強度の上限を参考に曲げ強度 8.0N/mm^2 （最大荷重 $P_{\max}=60\text{kN}$ ）以下のデータを適用することとした。

非鋼繊維に関しては、データのサンプル数も鋼繊維より少なく、曲げ強度のばらつきも小さかったため、すべてのデータを適用した。

3. 曲げ引張強度の特性値 (f_{tf}) の算出

前章で抽出した現場試験データを適用し、曲げタフネス試験における荷重-変位

表 1 主な諸元と試験データサンプル数

	鋼繊維	非鋼繊維
コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)	24~30	21~30
繊維混入率 (vol%)	0.3~1.0	0.3~0.5
データサンプル数	146	17

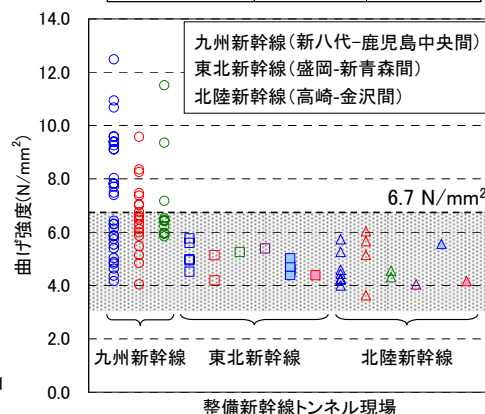


図 2 トンネル現場毎の曲げ強度（鋼繊維混入率：0.5vol%）

キーワード 山岳トンネル 覆工コンクリート 変位未収束 繊維補強コンクリート 設計曲げ引張強度
 連絡 先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel.042-573-7266 Fax.042-573-7248

関係より FRC の曲げ引張強度の算出を行った。曲げ引張強度の算出方法は、「鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編」¹⁾を参考にした。図 3、図 4 に算出した鋼繊維および非鋼繊維補強コンクリートの曲げ引張強度を示す。図中には、鉄道総研で実施した実験データも示した。図 3 より鋼繊維では、混入率 0.75vol%程度までは繊維混入率の増加に伴い、曲げ引張強度が増加することがわかる。しかしながら、0.75vol%付近を境にそれ以上の混入率では、1.0vol%のデータが極端に少ないため明確な傾向が確認できず、1.0vol%の曲げ引張強度を推定することは困難である。そのため、本検討の範囲内では、覆工に鋼繊維補強コンクリートを用いる場合の繊維混入率の適用範囲を 0.5vol%～0.75vol%とした。また、適用範囲内における曲げ引張強度の特性値(f_{tf})は、混入率 1.0vol%以外のデータを用いて、原点を通る近似直線により求まる値に対し、試験データのばらつきを考慮するため、変動係数より算出される割増し係数 α で除することにより求めた。

一方、図 4 に示す非鋼繊維では、鋼繊維に比べデータ数が少なく 0.5vol%～1.0vol%間のデータがないが、繊維混入率の増加に伴い、曲げ引張強度の増加が確認できる。そこで、本検討の範囲内では、覆工に非鋼繊維補強コンクリートを用いる場合の繊維混入率の適用範囲を 0.5vol%～1.0vol%とした。また、曲げ引張強度の特性値(f_{tf})は、鋼繊維と同様に原点を通る近似直線により求まる値を割増し係数 α で除することにより求めた。

図 3 および図 4 には、求めた曲げ引張強度の特性値をそれぞれプロットした。これより、鋼繊維および非鋼繊維の曲げ引張強度の特性値(f_{tf})は、概ね試験値の下限を示している。

4. 設計曲げ引張強度(f_{td})の設定

図 5 に変位未収束対策として覆工に FRC を適用する場合の標準的な設計曲げ引張強度(f_{td})を示す。設計曲げ引張強度は、上記で設定した曲げ引張強度の特性値(f_{tf})を材料係数 γ_m で除した値とした。なお、本検討の中では、FRC 覆工の設計の考え方を限界状態設計法の概念によることとし、照査すべき限界状態を使用限界状態とすることから材料係数は $\gamma_m=1.0$ とした。

5. おわりに

山岳トンネルにおいて変位未収束対策として覆工に FRC を適用する場合の設計に用いる曲げ引張強度の設

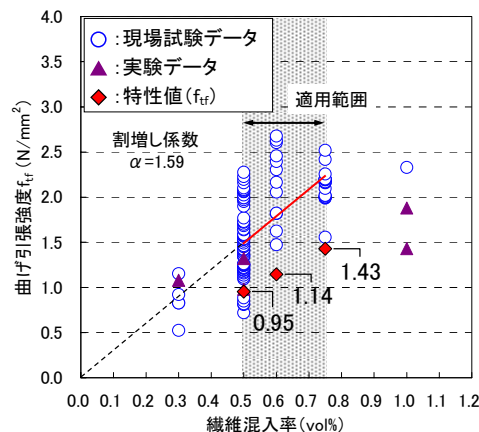


図 3 繊維混入率と曲げ引張強度の関係（鋼繊維）

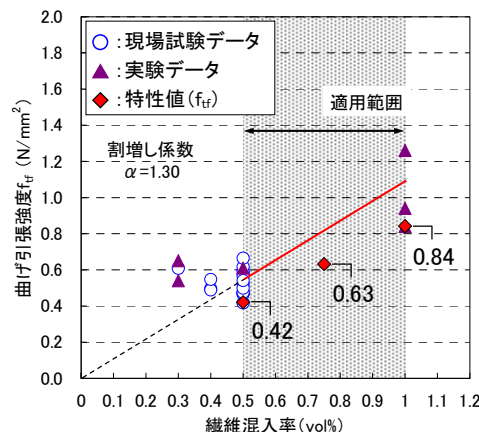


図 4 繊維混入率と曲げ引張強度の関係（非鋼繊維）

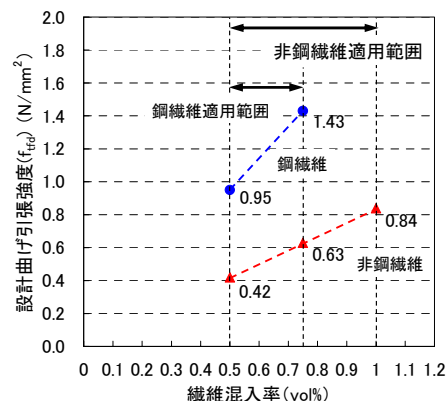


図 5 繊維混入率と設計曲げ引張強度の関係

定について、現場で実施された曲げタフネス試験結果を用いて、鋼繊維および非鋼繊維の繊維混入率に対応する標準的な設計曲げ引張強度の設定を行なった。その値は、概ね現場試験値の下限を示しており、設計値として妥当であると考え。今後はこれらの設計値を用いた、FRC 覆工の合理的・経済的な設計が望まれる。

謝辞

本検討を行うにおいて、貴重なご助言を頂いた山口大学 吉武勇先生に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) (社)日本鉄鋼連盟：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編 [第2版]，2002