

報告

[1123] トンネルの吹付・覆工コンクリートへの格子状 FRP 筋の適用

正会員 関島 謙蔵 (清水建設技術本部)
池田謙太郎 (清水建設技術本部)
正会員 ○名倉 健二 (清水建設東北支店)
関根 健一 (大日本硝子工業)

1. まえがき

近年、トンネル技術の進歩と発展は著しく、トンネル工事においては NATM (New Austrian Tunnelling Method) が主流になりつつある。NATM の支保部材としての吹付けコンクリートを補強するために溶接金網が使用される場合があるが、溶接金網は剛性が高いため凹凸の大きいトンネル壁面へのなじみが悪く、かつ効率的な取付け方法がないので、取付け作業に多くの手間を必要としている。さらに、施工前の保管中にさびが発生しやすく、施工後も坑内の浸透水等によって腐食する可能性がある。また、トンネルは通常コンクリート覆工を行うが、しばしばこれを補強するために鉄筋が使用されている。しかし、環境条件が劣悪で、酸性水等が流れる導水路トンネルでは鉄筋が腐食する恐れがあり、あるいは腐食に問題がなくても坑内は作業空間が狭いので、鉄筋の組立てに多くの時間と労力を費やしている。

一方、鉄筋代替材料として開発された格子状の繊維強化プラスチック (FRP) 筋は耐食性に優れ、軽量である等の特徴を有するので、吹付けコンクリートや覆工コンクリートの補強材として有望である。本報告では、トンネルの吹付け・覆工コンクリートへの格子状 FRP 筋の適用について述べる。

表-1 格子状 FRP 筋の特徴

2. 格子状 FRP 筋の特徴

格子状 FRP 筋は、耐食性に優れた樹脂をガラス繊維や炭素繊維等の高性能連続繊維で強化し、格子状に成形した新しいコンクリート補強用複合材料である〔1〕。その主な特徴を表-1 に示す。また、

- さびない
- 耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れる
- 連続繊維及び多種類繊維の使用
- 格子交差部の強度確保
- 軽量 (比重=2)
- 複雑な形状の一体成形可能
- 塩害、薬品の害をうけるような苛酷な条件下で使用されるコンクリート構造物の耐久性向上
- 繊維の有効利用と異種繊維混合によるハイブリッド効果の発現
- コンクリートとの定着確保
- 重ね継手が可能
- 現場での生産性向上

図-1 に異形鉄筋 D10 (SD35) 及びこれに相当する FRP 筋 G10 (ガラス繊維) と H10 (ガラス繊維+炭素繊維) の引張特性の比較を示す。FRP 筋は引張耐力のばらつきを考慮して、鉄筋の引張耐力の規格値の 1.2 倍の平均引張耐力を持たせている。G10 のように 1 種類の繊維で強化した FRP 筋は弾性的挙動を示し、H10 のように 2 種類の繊維で強化したものは伸びの小さい炭素繊維から破断し、伸びの大きいガラス繊維の破断で終局となり、鉄筋の降伏に似た現象を示す (ハイブリッド効果)。

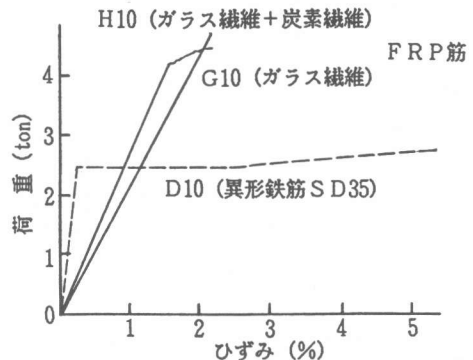


図-1 FRP 筋と异形鉄筋の引張特性の比較

3. 吹付けコンクリート用補強網への適用

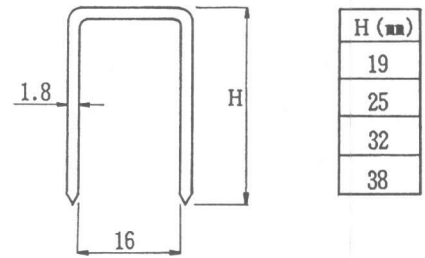
3. 1 補強網の機能及び取付け方法

補強網の使用目的としては、吹付けコンクリートのじん性の向上、剥落の防止及び吹付け時の付着特性の向上等が挙げられ、その機能を発揮するために、一般に吹付けコンクリートの層と層の間に設置するものとされている。溶接金網は2m×1m程度のものが多く使用されており、アンカーやピン等によって取付けている。



図-2 吹付けコンクリート用補強網の取付け状況

FRPメッシュは軽量なためハンドリングが容易であり、かつ施工性の向上を目指して面積の大きいもの(3m×2m)を使用する。なお、格子間隔は一般に15cmとしている。FRPメッシュを1次吹付け面に取付ける方法として、エアージェンを使用し、焼入れ加工したステーブルを圧縮空気によって連続的に打付けるといった簡便な方法を開発した。FRPメッシュの取付け状況を図-2に示す。ステーブルは図-3に示すように幅は一定であるが、足の長さは取付け時の1次吹付けコンクリートの強度に適したものを選定できるよう4種類がある。



線材：幅2.1 mm×厚さ1.8 mm

図-3 ステーブルの形状

3. 2 1次吹付け面へのなじみ

溶接金網とFRPメッシュの取付け仕上り状況を比較するために、各補強網と1次吹付け面とのあきを測定した。その平均値を図-4に示す。同図から明らかなように、補強網の剛性が小さくなるにつれて1次吹付け面へなじみやすくなるのであきが小さくなり、またばらつきも小さくなった。この結果、FRPメッシュは仕上り状況が極めて良いばかりでなく、補強網が2次吹付け面から同じかぶりを確保する場合に、溶接金網に比べてあきの差の分だけ2次吹付けコンクリート量を節約できることがわかった。

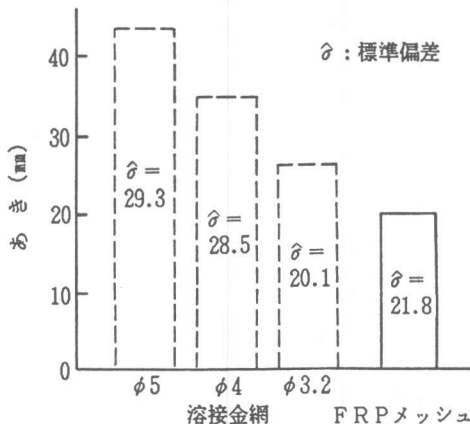


図-4 補強網と1次吹付け面とのあき

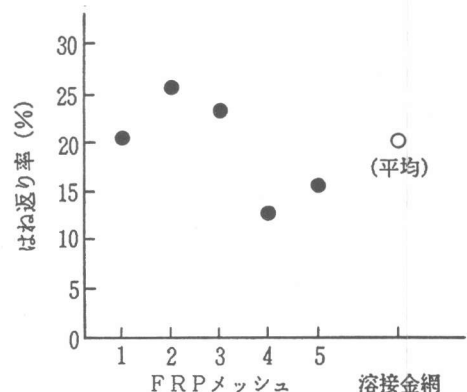


図-5 吹付けコンクリートのはね返り率

3. 3 吹付けコンクリートの付着特性

図-5は各補強網取付け後の2次吹付けコンクリートのはね返り率の測定結果を示したものである〔2〕。FRPメッシュを使用した場合の2次吹付けコンクリートのはね返り率の平均は、溶接金網を使用した場合とほぼ同様と考えられる。

3. 4 施工性及び経済性

FRPメッシュをステーブルで取付ける方法は、溶接金網を取付ける従来の方法に比べて極めて能率が良く、取付け速度は1.7～5倍程度速くなった。また、1次吹付け面とのなじみが良いことから2次吹付けコンクリート量が減少したので、2次吹付け時間は10～20%短くなった。以上の結果、サイクルタイムは10%程度減少した。

FRPメッシュ自体のコストは強度の等しい溶接金網よりも割高であるが、吹付けコンクリートの使用量が減少し、工期も短縮されるので、経済性の面からも十分効果があると言える。

4. 覆工コンクリート用補強筋への適用

4. 1 インバート筋及びアーチ筋

格子状FRP筋が平面状のみならず曲面状にも成形可能でありかつ軽量であることから、施工性の大幅な向上を目指して導水路トンネルの覆工コンクリートの補強材として使用された〔3〕。原設計ではインバート筋及びアーチ筋ともに主筋（周方向）はD22で間隔が20cm、配力筋（奥行き方向）はD16で間隔が30cmであった。FRP筋の場合は格子間隔が狭い方がコンクリートのひびわれ制御の点からも好ましいので、インバート筋の主筋及び配力筋の間隔はともに15cmとした。アーチ筋については、インバートの両側から既設の主筋の鉄筋が20cm間隔で立ち上がっているため、これらの鉄筋とラップさせるために主筋の間隔は10cmとし、配力筋の間隔はインバート筋と同様15cmとした。なお、これらのFRP筋の単位幅当りの引張耐力は、原設計と同等以上となっている。FRP筋の成形、坑内への搬入及び取付け上の理由から、インバート筋はトンネルの奥行き方向にのみ分割し、アーチ筋は周方向と奥行き方向に分割した。FRP筋は格子交差部の強度が確保されている〔4〕ので、取付け時にラップさせて重ね継手とした。インバート筋及びアーチ筋の取付け状況を図-6及び図-7に示す。取付け方法は、最初に地山にアンカーを打ち、その頭部に奥行き方向の組立て筋を溶接し、FRP筋を番線で固定する方法をとった。

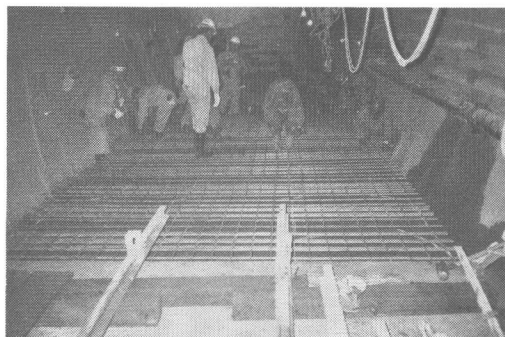


図-6 インバート筋の取付け状況

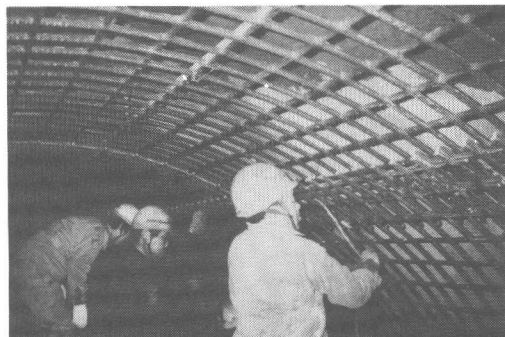


図-7 アーチ筋の取付け状況

4. 2 ひびわれ制御筋

格子状FRP筋のさびない、耐酸性に優れるという特徴から、温泉地帯に建設された酸性水の流れる導水路トンネルの覆工コンクリート改修工事において、特に熱水が吹き出す環境条件の厳しい区間のひびわれ制御筋として採用された〔5〕。使用したFRP筋は異形鉄筋D10相当とし、

格子間隔は10cmであった。アーチ部は半円形の曲面状とし、側壁部とインバート部は平面状に分割して成形し、取付け時にラップさせて重ね継手とした。図-8に取付け状況を示す。

4.3 施工性

格子状FRP筋は先組みされた状態で坑内に搬入され、しかも軽量かつ取付けが簡単なので、配筋時間は鉄筋の場合の約1/3に短縮された。従って、工期の厳しい工事や工期短縮による経済的効果の大きい工事等に適している。

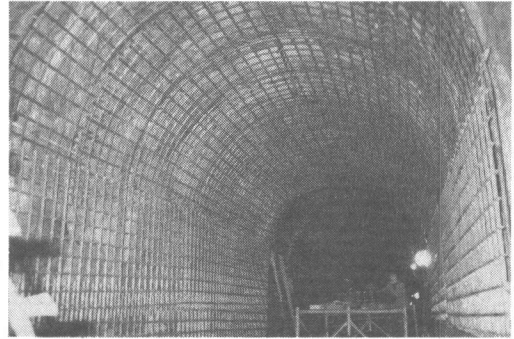


図-8 ひびわれ制御筋の取付け状況

5. まとめ

吹付けコンクリート用補強網としてのFRPメッシュは、全国各地のトンネルで昭和62年末までに約1300㎡の使用実績がある。トンネルの種類も変化に富んでおり、導水路トンネル、トンネル式配水池の他、施工後も掘削しやすいという利点から先進導坑にも採用されている。工期短縮をも含めた経済的な効果を考慮すれば、その他のトンネルへも十分適用可能である。

一方、覆工コンクリート用補強筋としての格子状FRP筋の使用例は少ないが、劣悪環境下で使用され、かつ工期短縮による効果・影響の大きい各種トンネルの補修工事等への適用が有望と思われる。

本報告をまとめるに当たり、東京大学工学部土木工学科 岡村 甫教授より有益な御助言を頂いたことに感謝します。

〔参考文献〕

- (1) 平賀寿雄：新しいコンクリート補強材 タフティwind・ニューファイバーメッシュ (NFM)，強化プラスチック，Vol.32, No.10, 昭和61年10月
- (2) 上岡忠重，石井和夫，三原泰司：吹付けコンクリート補強材としての溶接金網と新素材補強網の比較検討，土木学会第42回年次学術講演会講演概要集 第6部，昭和62年9月
- (3) 山本 敬，藤野浩一：熊牛水力発電所新設工事における新技術の採用，電力土木，No.205，昭和61年11月
- (4) 藤崎忠志，杉田 稔，中辻照幸：鉄筋に代わるFRP構造材料の開発(その1) 重ね継手性能確認実験，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，昭和61年8月
- (5) 上田亨三郎，鈴木富二男：NFM(鉄筋代替新素材)の適用性について，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，昭和62年3月