

論文 ビニロン繊維マットを用いた補修・補強工法

土井 至朗*1・松岡 茂*1・齋藤 雅春*2・松尾 庄二*1

要旨：トンネルなどのコンクリート構造物を対象に，ビニロン繊維マットを用いた補修・補強工法を開発した。その基礎的性状を調べるため，注入するグラウトのフレッシュ試験や硬化後のモルタルの強度試験などを行った。その結果，充てん性やひび割れ分散性能にすぐれた材料であることが確認できた。また，実大の模擬トンネルを用いた施工性確認実験でもグラウトの漏れや，未充てん部分などはみられなかった。

キーワード：補強工法，ビニロン繊維

1. はじめに

近年，土木構造物においてコンクリートの剥落事故が相次いだことから，トンネルや橋梁などのコンクリート構造物の補修・補強工事が実施されており，より効率的かつ効果的な工法の開発が求められている。特にトンネルでは，補強による内空断面の減少を出来るだけ押さえつつ，コンクリートのはく落を防止しなければならない。そこで本研究ではその方法として，既設のトンネル覆工にビニロン繊維マットをはりつけ，その内部にグラウトを注入して補強を行う新工法に着目し，基礎的性状を確認する試験を行った。まず材料試験として，繊維補強モルタルの強度試験，およびグラウトの充てん性能試験を行い，次に実大の模擬トンネルを使った施工性確認実験を行った。本論文はそれらの試験の結果について報告するものである。

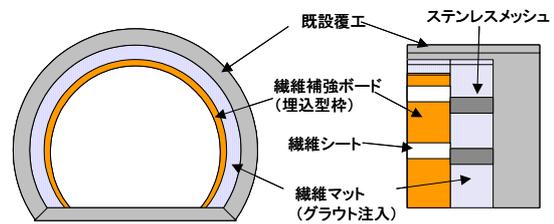


図 - 1 補強概要図

グラウトが漏洩するのを防ぐためにビニロン繊維のシートをはりつける。また，マットとマットの突き合わせ部分では，その箇所にひび割れが集中することを防ぐためにステンレス製のメッシュを配置する。

2.2 使用材料

使用材料の一覧を表 - 1 に示し，以下に材料の説明を記す。

表 - 1 使用材料一覧

材 料	備 考
(1) ビニロン繊維マット	寸法 1000×2000×70mm
(2) 繊維補強ボード	寸法 910×1820×5.5mm
(3) ビニロン繊維シート	
(4) ステンレスメッシュ	
(5) グラウト	

(1) ビニロン繊維マット

繊維マット（写真 - 1）は，繊維径約 100 μm

2. トンネル覆工の補修・補強方法

2.1 工法概要

本工法は図 - 1 に示すように，既設のトンネル覆工表面にビニロン繊維マットを貼り付け，その上から埋め込み型枠を兼ねた繊維補強ボードを固定し，ボード状に設けた注入口からマット内部にグラウトを注入して補強材とするものである。ボードとボードの継ぎ目部分からグラ

*1 鉄建建設（株）技術研究所 土木技術開発グループ（正会員）

*2 鉄建建設（株）技術研究所 施工技術開発グループ

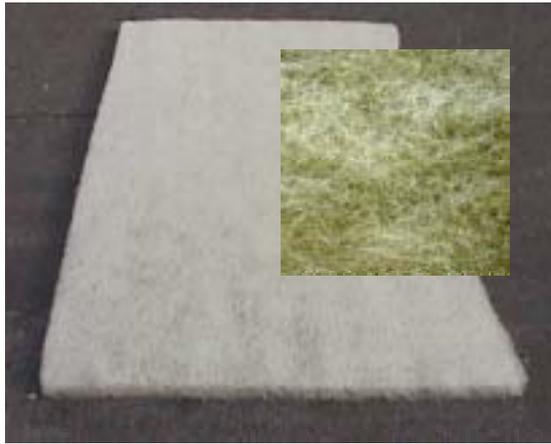


写真 - 1 ビニロン繊維マット

のビニロンの連続繊維を設計上必要な混入量に合わせてマット状に加工したもので、繊維は均一に配置され連続性を有している。また繊維同士は十分な空隙をもって織り込まれているため、充てん材料の浸透性に優れている。今回の実験で使用したマットは厚さ約 70mm で、これを 50mm に押し縮めてグラウトを注入することにより、所要の繊維混入率（約 1%）となるようにした。なおマットの切断ははさみやカッターなどで容易に行うことができる。

(2) 繊維補強ボード

埋め込み型枠となる繊維補強ボードはセメント系複合材料であり、径が 26~100 μ m、長さ 6mm 程度のビニロン繊維が 3vol%混入されている。そのため高い曲げ・引張靱性を有し、ひび割れ分散性能に優れており、強アルカリ材料であることからひび割れからの水分や塩分の浸透

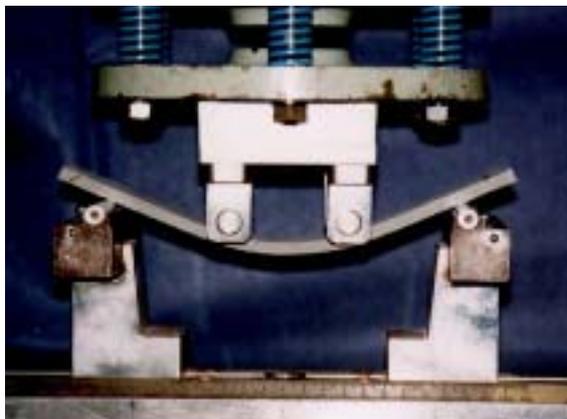


写真 - 2 繊維ボード曲げ試験状況

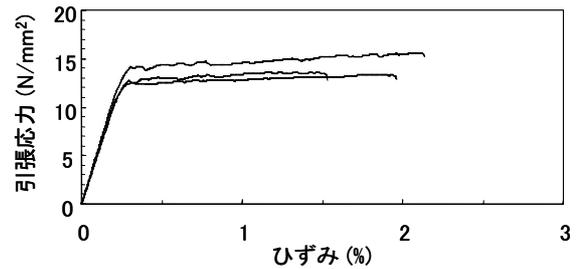


図 - 2 繊維ボード引張試験結果

を抑制する効果が期待できる。その圧縮強度は 88N/mm²、引張強度は 14N/mm²である。ボードの曲げ試験状況を写真 - 2、引張特性を図 - 2 に示す。同図に示すように、引張側ではひずみが 2%程度になるまで応力は保持される。ボードの厚さは 3mm~9mm で、電動ドリルやカッターなどの一般的な工具での加工が可能である。

(3) ビニロン繊維シート

グラウトの漏洩防止のために使用するシートは厚さ約 1mm の高密度のビニロン繊維の不織布である。

(4) ステンレスメッシュ

マットの突き合わせ箇所に配置するステンレスメッシュは、鋼線径 0.5mm、メッシュ間隔 4mm のものである。

(5) グラウト

セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、W/C は 35%~47%の間で変化させた。混和剤はポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤をセメント重量の 0.7%添加した。グラウトの配合を表 - 2 に示す。

表 - 2 グラウト配合

WC%	W(kg)	C(kg)	add(kg)
47	596	1268	8.88
40	557	1392	9.74
35	524	1496	10.47

3. 繊維混入モルタルの物性

3.1 曲げ特性

供試体は JSCE-G552-1999 にしたがって

100mm×100mm×400mm の型枠に繊維マツトを配置し，上からグラウトを流し込んで作製した。図 - 3 に作製した供試体のパターンを示す。グラウトの練り混ぜは，水と混和剤を入れた容器にセメントを投入しハンドミキサで 120 秒間攪拌して行った。供試体寸法，および計測箇所を図 - 4 に示す。

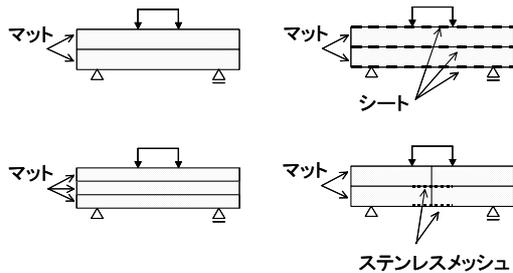


図 - 3 供試体作製パターン

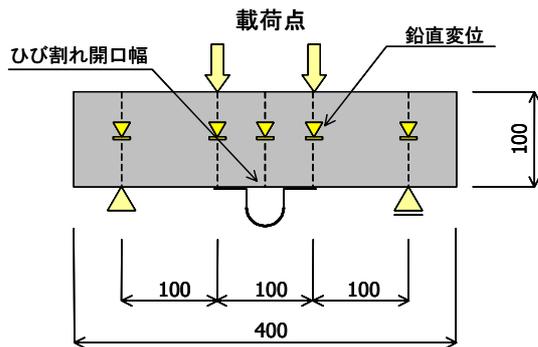


図 - 4 供試体寸法および計測箇所

写真 - 3 に曲げ試験後の供試体のひび割れ発生状況の一例を示す。いずれの供試体の場合も载荷開始から間もなくしてひび割れが複数発生し，その後最大荷重まで達してから一つのひび



写真 - 3 ひび割れ発生状況

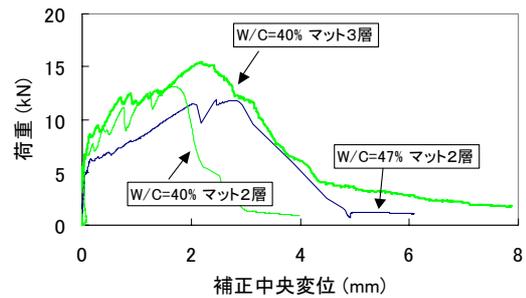
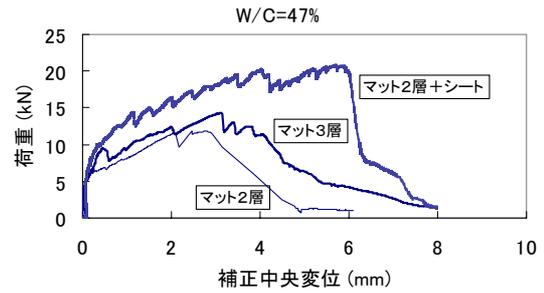


図 - 5 曲げ試験結果

表 - 3 曲げ試験の最大荷重

W/C	補強材		
	マット2層	マット3層	マット2層+シート
47%	12.3	16.9	18.2
40%	13.3	17.2	18.8
35%	-	16.0	15.0

(単位：kN)

割れが大きくなりその部分で破壊した。マット間にシートを挟んだ供試体では，下方から発生したひび割れがシートの高さまで進展した後シートに沿って横方向に進み，その後荷重が上がるに従って再度上方向に進展していった。図 - 5 に曲げ試験の荷重変位曲線を，表 - 3 に曲げ試験の最大荷重値を示す。3等分点载荷の曲げ試験の場合，特にこの場合は供試体中央にひび割れを誘発する切り欠きを設けていないため，ひび割れの発生する位置により中央の変位量にばらつきが生じる。したがって図 - 5 では载荷点変位の平均値から計算した補正中央変位を用いて結果を整理した¹⁾。同図および表 - 3 より，W/C が一定の場合には繊維混入量が多いほど曲げ靱性および最大荷重は高くなる傾向が確認で

きた。また、W/C が低いと靱性も低くなっている。これは W/C が低くなりマトリクス自体の強度が増すと繊維との付着が強くなり、繊維が引き抜けずに切れやすくなるためであると思われる。

また、マットの継ぎ目になる部分を想定してステンレスメッシュを配置した供試体では、図 - 6 に示すように継ぎ目のないマットのみの供試体と同等の強度を持ち、写真 - 4 に示すようにマットの継ぎ目部分にもひび割れは発生するものの、最終的な破壊は継ぎ目部以外の箇所で行きわたることが確認できた。

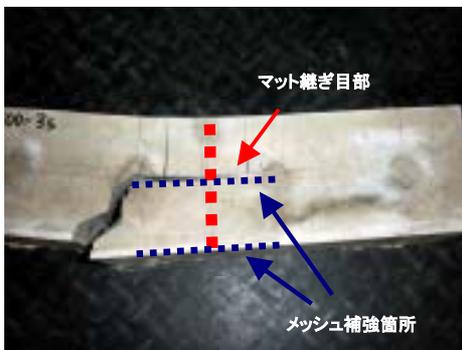


写真 - 4 メッシュを配置した供試体の破壊状況

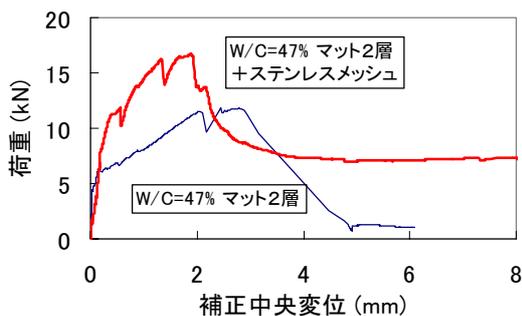


図 - 6 マットの継ぎ手部を想定した供試体との比較

3.2 圧縮特性

圧縮試験は JSCE-G551-1999 にしたがって 100mm × 200mm の円柱供試体を用いて行った。図 - 7 に圧縮試験結果を示す。いずれの場合も最大荷重以降、応力 - ひずみ曲線は緩やかに低下しており、繊維混入量が多いほど圧縮強度および靱性は高くなっている。

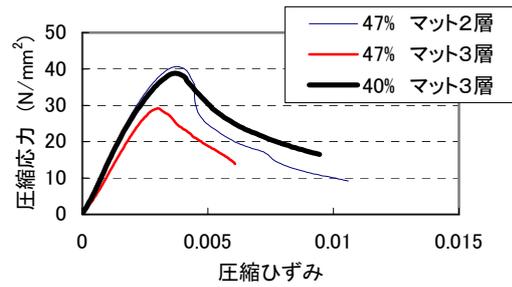


図 - 7 圧縮試験結果

3.3 引張特性

引張試験は 100mm × 100mm × 300mm の供試体の中央に切欠きを設け、両端を引張る直接引張試験²⁾を行った。図 - 8 に引張試験結果を、表 - 4 に引張試験結果から計算した破壊エネルギーを示す。図に示すように、W/C の大小に関わらず繊維混入量が増えることにより、最大荷重時のひび割れ開口幅は大きくなり、また最大荷重以降の荷重の落ちかたも緩やかになっている。

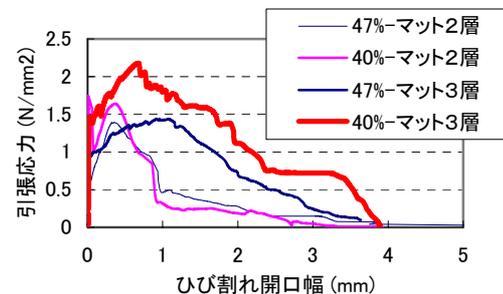


図 - 8 引張試験結果

表 - 4 破壊エネルギー

	47%	40%
2層	1381	1425
3層	2341	4732

(単位: N/m)

以上の強度特性試験結果を見ると、1vol%に相当するマット2層の場合でも、圧縮、曲げの靱性能を発揮する。

3.4 充てん性確認試験

ビニロン繊維マットに注入するグラウトの充てん性能を確認するために、図-9に示すような供試体を用いた注入実験を行った。供試体は、繊維マットをアクリル版ではさむことにより、注入状況を目視確認できるようにした。試験に用いたグラウトはW/Cのみを変化させ、高性能AE減水剤はセメント重量の0.7%で統一した。注入は小型の注入ポンプを用いて、下方にある注入口より行った。

注入に要した時間はいずれも10分～12分程度と大きな差はなかったが、写真-5に示すようにW/Cの低い配合ではグラウトが均一に打ち上がらずに、マットが一部押し上げられてしまった。この結果より、グラウトの配合はW/C=47%を基本とした。また、注入するグラウトの流動性を確認するために、土木学会規準「PCグラウトの流動性試験方法（JSCE-F

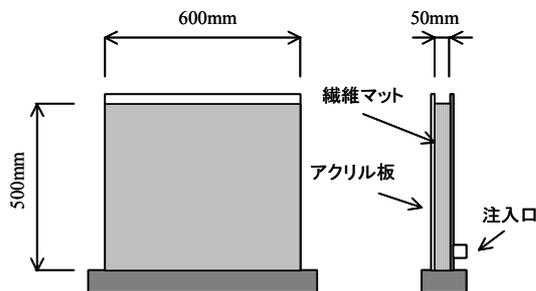


図-9 充てん試験供試体



写真-5 充てん状況

531-1999)」に従いJA漏斗を用いてグラウトの流下時間の測定を行った。測定結果はW/C=47%で18秒～28秒の範囲であったが、W/C=40%の場合では115秒～153秒と流下時間はかなり遅くなった。W/C=47%の流下時間はPCグラウトの基準値(15秒～30秒)内に入っている。

4. 実大モデルによる施工試験

4.1 施工手順

本工法の施工性の確認をするために、半径2.6mの模擬トンネルを用いた施工試験を行った。以下に具体的な手順を示す。なお、本工法では既設コンクリートとの付着を期待する工法ではないこと、マット+グラウトは多少の凹凸への追従性が高いことから不陸調整などの下地処理は不要となる。

(1) 補強端部処理工

本工法では脚部の接地面が平滑でないと、注入するグラウトが漏洩しやすくなるため、脚部にコンクリートを打ち平滑にする。

(2) 既設面へのアンカーボルト施工

アンカーボルトは注入時のボードのはらみ防止と硬化後のボードの落下防止を兼ねる。

(3) 妻枠取付

(3)の妻枠取付と(5)の工程では、端部およびボードの継ぎ目部からのグラウトの漏洩を防ぐために、高密度のビニロン繊維シートを貼り付ける。

(4) ビニロン繊維マット取付

ビニロン繊維マット取付け時は、マットの継ぎ目部にひび割れが集中し、継ぎ目部分で破壊することを避けるために、継ぎ目部分にステンレスのメッシュを配置し補強する。

(5) ビニロン繊維補強ボード取付

ボード取付け時には注入時にボードがはらまないように、押さえ治具をボードの上から取付ける。

(6) グラウト注入

グラウトの練混ぜは所定量の水を入れたグ

ラウトミキサー中に、セメントを投入しながら攪拌し、約0.9m 間隔でボードに設けた注入口よりグラウトポンプで下から打ち上げる。

(7) 養生・妻枠取外し

参考としてグラウトの硬化時間を測定するために、土木学会規準「コンクリート用化学混和剤(JIS A 6204-1995) 附属書1 コンクリートの凝結試験方法」に従い、自動凝結試験を用いてセメントペーストの凝結始発時間と終結時間を測定した。その結果、終結時間は6時間40分であり、その程度の時間で妻枠の取り外しは可能であると思われる。

4.2 試験結果

施工後の全景を写真-6に示す。今回の施工性確認試験から、1ブロック(ボード1間分、約9m²)の打設に5人/日で2日という実績が得られた。グラウト注入スピードは3~5リットル/分で厚さ50mm×9m²を2~3時間で打ち上げることができた。1回の注入高さは0.9mで最大0.04N/mm²のポンプ圧となった。JA漏斗によるグラウトの流下時間は平均16秒で、充てんは良好であった。硬化後に天端部分やマットの継ぎ目部分を切り出して確認した結果からも、未充てん部分は確認されなかった(写真-7)。また、ボード継ぎ目部や妻枠部からはグラウトのセメント分が漏れ出すことはなく、不織布の効果が確認できた。

今後の課題としては、トンネルが大断面になった場合、グラウトを注入していくと下部のボードにかかる圧が高くなるため、ボードのはらみやグラウトの漏れなど予想され、その防止策を講じることが挙げられる。

6. まとめ

以上、強度試験の結果からこのビニロン繊維マットを用いた繊維補強モルタルは、曲げが作用する場合だけでなく、圧縮時でも優れた靱性を持つことが明らかになった。トンネルなどの構造物では局所的に引張応力だけでなく、圧縮応力も作用することから、圧縮靱性も発揮する



写真 - 6 施工後全景



写真 - 7 充てん確認箇所

ことはトンネル補強に適した材料であると言える。また、ひび割れ発生後に急激な応力の低下が見られないこと、型枠となる繊維補強ボードも引張じん性が高いことから、落防止に有効であると思われる。注入試験結果からも良好な流動性が確認されており、JA漏斗の流下時間が管理値内に入る範囲でグラウトのW/Cを変化させ、必要に応じて繊維マットの密度とグラウト強度の組み合わせを選ぶことが可能である。

参考文献

- 1) 益田章久ほか：鋼繊維補強コンクリート品質管理についての一考察，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，第5部門，5-321，2000.9
- 2) 松岡 茂ほか：鋼繊維補強コンクリートの引張特性試験方法に関する研究，土木学会論文集 No.564/5-35，pp. 145-153，1997.5