

トンネル覆工における FRP 剥落対策工の適用性に関する基礎実験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○六車崇司、小島芳之、吉川和行

日鉄コンポジット 小林朗

ショーボンド建設 高橋徹

1. はじめに

平成 11 年に相次いで発生した鉄道トンネルの覆工コンクリートの剥落事故を踏まえて、JR 等の鉄道事業者は、平成 13 年度までにトンネルを対象として「初回全般検査」を行った。その結果に基づき様々な剥落対策が講じられつつあり、これらの対策の中でも、炭素、アラミドなどの繊維シートや FRP (Fiber Reinforced Plastic) 格子筋を用いた剥落対策工の実績が増えている。しかし、これらの材料を用いた剥落対策への適用性やメカニズムは解明されておらず、その設計法の確立が望まれていた。そこで、各種の繊維シートやネット材を用いた押抜き実験を行い、概略の適用性を把握した。

2. 実験概要

(1) 繊維シート接着工の押抜き実験

図 1、図 2 に示すように繊維シートを下面に樹脂で接着したコンクリート供試体の 2 辺を架台で支持し、中央に設けた $\phi 50\text{mm}$ の孔部に挿入した円筒形の圧子に強制変位を与えて FRP を引き剥がす実験を行った。表 1 に試験ケースを示す。载荷は変位制御とし、FRP の剥離までは 0.2mm/min 、剥離後は 1mm/min の速度で 1 ステップの押し込み量を 0.5mm とした。1 ステップごとに、载荷後 2 分経過してから荷重と载荷点変位を計測した。また、4 ステップ毎にたたき検査を実施して、繊維シートの表面に剥離範囲をマーキングした。図 3 に剥離の様子を示す。

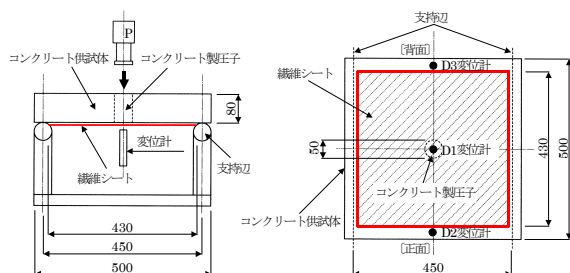


図1 実験概要



図2 実験状況

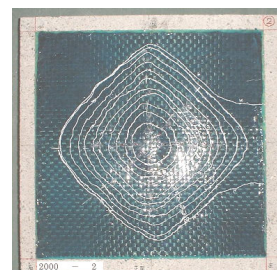


図3 剥離の様子(No.2)

表1 試験ケース(繊維シート)

No	繊維シート	コンクリート強度 N/mm^2	接着剤	目付 g/m^2	設計厚さ mm	引張強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2	備考
1	1方向炭素	21.4 ($\sigma_{ck}=20$)	エポキシ	200×2層	0.111	2,900	230,000	基本ケース
2	2方向炭素	〃	〃	200	0.0555	2,900	230,000	
3	2方向アラミド1	〃	〃	175	0.064	2,000	118,000	
4	2方向アラミド2	〃	〃	162	0.065	2,300	80,000	
5	2方向ガラス	〃	〃	200	0.039	1,900	120,000	
6	2方向ポリエステル	〃	〃	160	0.116	1,089	14,600	
7	2方向ナイロン	〃	〃	縦:110 横:70	縦:0.097 横:0.061	縦:588 横:540	縦:2,140 横:2,210	
8	SMC※1	〃	エポキシアクリレート	—	1.4	103	8,010	

※1: Sheet Molding Compound

(2) ネット材の押抜き実験

図 4 に実験概要を示す。実験方法は、各種ネット材 (FRP 格子筋、メッシュシートおよび金網) ($50\text{cm} \times 50\text{cm}$) をワッシャー (50mm 角) と M6 ボルトで試験機のベースプレートに固定 (図 5) し、引上金具を引上げるにより荷重を増加させた。計測項目は、荷重と引上金具の変位量である。表 2 に試験ケースを示す。図 6 に実験状況を示す。

キーワード：トンネル、剥落対策、繊維シート接着、模型実験

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel:042-573-7266 Fax:042-573-7248

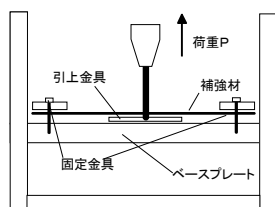


図4 実験概要

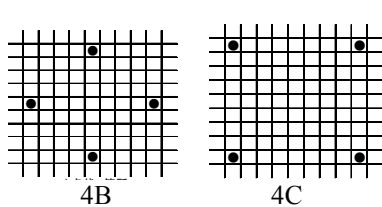


図5 固定方法



図6 実験状況

表2 試験ケース(ネット材)

種類	呼称	固定方法		断面積 mm ² /本	ピッチ mm	引張弾性率 N/mm ²	引張耐力 kN/m
		4B	4C				
ガラス繊維 GF#4	G4	○	○	13.1	50×50	29,400	153
メッシュシート	MS	○	○	—	4×4	—	39.2
金網 (φ2)	金網	○	—	3.14	—	—	—

3. 実験結果

図7に繊維シート接着工の荷重(P)－変位(u)関係を示す。弾性係数(E)と設計厚さ(t)が大きいほど、P-uの勾配が大きい。また、その勾配は、剥離が始まるまでと剥離進行後では変化し、後者のほうが緩やかである。No.8のSMCは、剥離開始と同時に一端荷重が低下しているが、これはシートの厚みが厚いために曲げ剛性が大きく、剥離の時に解放されたエネルギーが大きいと考えられる。

図8に繊維シート接着工の荷重(P)－剥離周長(L)の関係を示し、その関係はほぼ比例関係にある。図7と同じく、弾性係数(E)と設計厚さ(t)が大きいほど、勾配が大きい。ただし、No.7のナイロン繊維は例外で、剥離中のシートの状態が他と異なっていた。ここで、P/Lを、単位剥離強さ(sp)と定義すれば、No.1～8のspはそれぞれ、6.8、5.1、5.8、4.7、0.5、2.5、4.5、8.8kN/mとなる。

図9にネット材の荷重(P)－変位(u)関係を示す。ネット材はアンカー固定のみでコンクリート表面に接着されていないため、初期は荷重が上昇せずに変位が進むが、その後P-uは比例関係が見られる。破壊は、FRP格子筋では荷重の上昇と共にアンカーボルト固定部付近でのFRP格子筋のせん断破壊により、メッシュシートと金網ではその引張破壊により生じた。

図10に繊維シートとネット材のそれぞれのケースでの最大荷重 P_{max} と最大荷重時変位の関係を示す。ネット工は繊維シート接着工に比べ、最大荷重時変位が大きく、使用材料の違いにより最大荷重および最大荷重時変位が大きく異なっている。よって、繊維シート接着工は変位が制限される箇所においても適し、ネット工は変位の制限が緩い箇所に適していると言える。また、繊維シート接着工は、繊維シートの引張剛性が大きいほど単位剥離強さが大きく、また変位が抑制され耐荷重が大きくなる傾向にある。ただし、繊維シート接着工のNo.1、No.2、No.3、No.4は、繊維シートが端部まで剥離することにより試験が終了しているので、貼付け長さが長い場合は、より大きい耐荷重になると考えられる。

4. おわりに

現在、これらの得られた結果を基に、トンネルの剥落対策工の選定・設計法を整理¹⁾するとともに、マニュアルを作成中である。なお、本研究は、国土交通省(旧運輸省)の鉄道技術開発費補助金を得て行ったものである。また、TSC研究会のメンバーの方々には実験に関するご助言とご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

文献 1) 吉川和行他:FRPによるトンネル覆工剥落対策工への適用性評価、鉄道総研報告、Vol.16、No.3、pp.37～42、2002.3

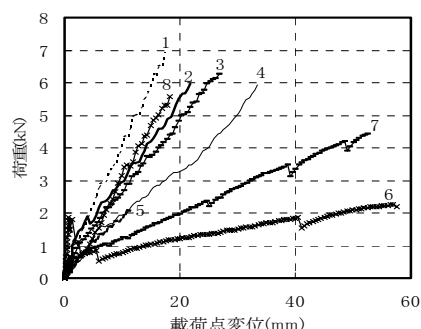


図7 荷重－変位(繊維シート接着工)

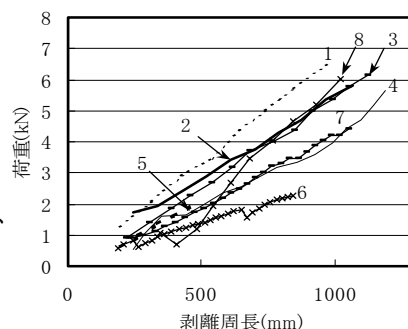


図8 荷重－剥離周長(繊維シート接着工)

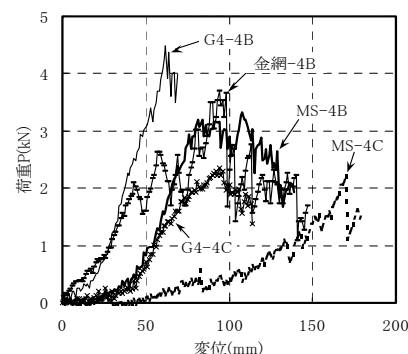


図9 荷重－変位(FRP格子筋)

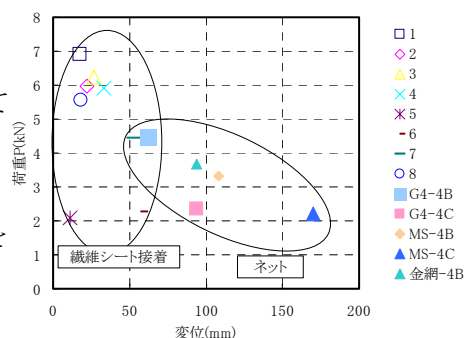


図10 荷重－変位(最大荷重時)