

4

タフメッシュシートの押し抜き特性と コンクリート片はく落防止用ネットに関する検討

柳 博文*1・松岡 茂*2・山村 康夫*3

概 要

トンネル覆工などコンクリート構造物の経年劣化による損傷に対して、補修を継続的に実施しているが、経年劣化による損傷が顕在化するにしたがって、補修の頻度は増加する傾向にある。また、コンクリート構造物の安全性に影響がない小さな損傷であっても、第三者を巻き込んだ重大事故を引き起こす可能性があり、そのはく落防止対策は不可欠なものとなっている。このような、比較的軽微な補修工事は、今後も継続して需要が見込まれており、簡便で効果的な対策方法の確立が望まれている。そこで、はく落防止対策を容易に施工するために、繊維材料と一体となった透明の繊維シート（タフメッシュシート）、およびコンクリート片の剥落防止用ネットを用いた新しい繊維シート系補修工法を開発し、その性能を確認した。

キーワード：はく落防止・コンクリート・押し抜き・タフメッシュ・ネット

STUDY ON PUNCHING LOAD PERFORMANCE OF THE TOUGH MESH SHEET AND CONCRETE-SPALLING PREVENTION NET

Hirofumi YANAGI*1, Shigeru MATSUOKA*2,
Yasuo YAMAMURA*3

Abstract

Damage due to aging of tunnel linings and other concrete structure have been repaired one after another. As aging damage becomes more significant, repair frequency tends to increase. Even minor damage that has only small impact on the safety of the concrete structure could cause a serious accident involving third parties. Anti-spalling measures are therefore indispensable. Demand for relatively minor repairs will continue to increase. Under these circumstances, simple and efficient repair techniques are desired. As a solution, transparent textile sheet (Tough Mesh Sheet) and a new repair technique using a concrete-spalling prevention net have been developed and verified for performance.

Keywords: spalling prevention, concrete, punching load, Tough Mesh Sheet

*1 Manager, Geotechnical Engineering Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 General Manager, Research and Development Department, Engineering Division

*3 Manager, Construction Technology Group, Research and Development Department, Engineering Division

タフメッシュシートの押し抜き特性とコンクリート片はく落防止用ネットに関する検討

柳 博文*1・松岡 茂*2・山村 康夫*3

1. はじめに

高速道路は、昭和 30 年代後半から昭和 50 年代前半に集中的に整備されており、経年劣化による損傷が顕在化する傾向がある。このような経年劣化に起因する損傷に対して、補修を継続的に実施しているが、損傷の発生は供用開始後 25 年経過すると急激に増加する傾向¹⁾があるため、補修の頻度も増加する傾向にある。このようなコンクリート構造物のはく落対策となる補修工法の一つに繊維シート接着工法がある。この工法は炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの繊維材料に、接着剤として樹脂を含浸させながら、補修個所の表面に貼り付けてコンクリート片のはく落を防止するものであり、その設計手法も確立されている。しかしながら、この工法は、①使用する材料、工程数が多いため施工費が高価になる、②含浸が不十分で繊維と樹脂の間に気泡が残ってしまうと接着力が低下する、③樹脂塗りのムラや層厚の不均一性などの品質管理が難しいなどの問題がある。そこで、筆者らははく落防止対策を容易に施工するために、繊維材料と一体となった透明のシートに接着樹脂を塗布してコンクリート表面に貼り付けることができる繊維シート（以下、タフメッシュシート）を開発し、その性能を把握するための押し抜き試験を実施した。

また、補修対象となる損傷の中には、コンクリート構造物自体の安全性に対しては全く影響を与えない極めて小さなものがある。し

かし、構造体の安全性に影響がない小さな損傷であっても、その損傷からコンクリート片のはく落が生じ、第三者を巻き込んだ重大事故を引き起こす可能性もあり、そのはく落防止対策は不可欠なものである。今後、このような損傷個所は、さらに増加することが予想されることから、簡便で効果的な対策方法の確立が望まれている。そこで、コンクリート片のはく落防止を目的としたネットを開発し、その性能を確認した。

2. タフメッシュ押し抜き試験

2. 1 実験概要

表-1 にタフメッシュシートの仕様を示す。はく落防止対策用として開発したタフメッシュシートは、三軸特殊ポリプロピレン繊維とアクリル系透明樹脂で構成されており、

表-1 タフメッシュシートの仕様

材質	樹 脂	PMMA（メタクリル酸メチル樹脂）
	強化材	高密度ポリプロピレン繊維
目付量	490 g/m ²	
引張強さ	38.1 N/mm ²	
厚 さ	約 0.5 mm	
重 量	約 557 g/m ² （保護フィルムを含む）	

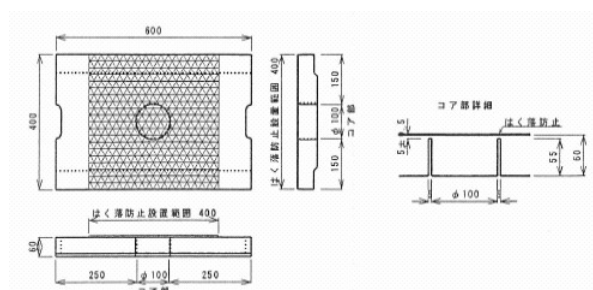


図-1 試験体標準（JHS424-H15）

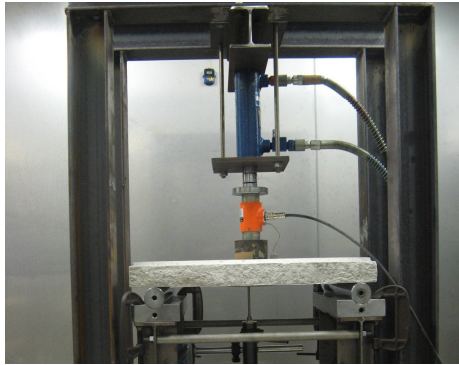
*1 エンジニアリング本部 研究開発部 地盤グループ GL

*2 エンジニアリング本部 研究開発部 部長

*3 エンジニアリング本部 研究開発部 施工技術グループ GL

表－２ 試験ケース

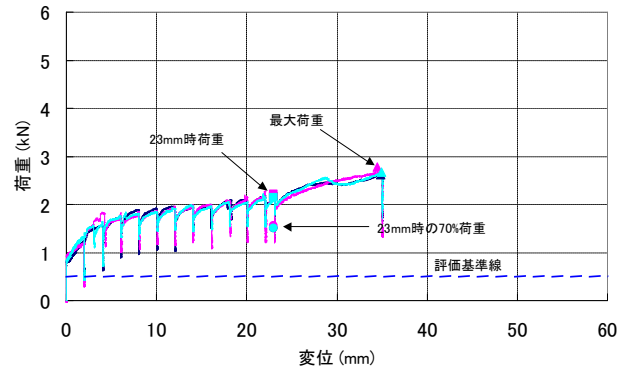
方法	室 温	試験体数
JHS736-H20 案	常温	各 3 体
JHS424-H15	$50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	
	$-10^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	
	$-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	



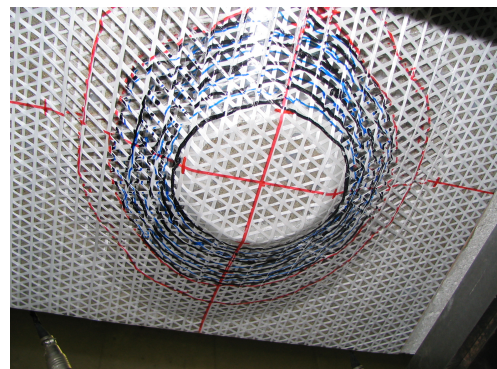
写真－１ 載荷状況（-10℃試験時）

従来の繊維シートと比較して非常に薄く、ロール状に巻き取ることができる。また、接着剤はタフメッシュ専用になっており、一般的には落防止工事における標準使用量は約 $0.8\text{kg}/\text{m}^2$ である。

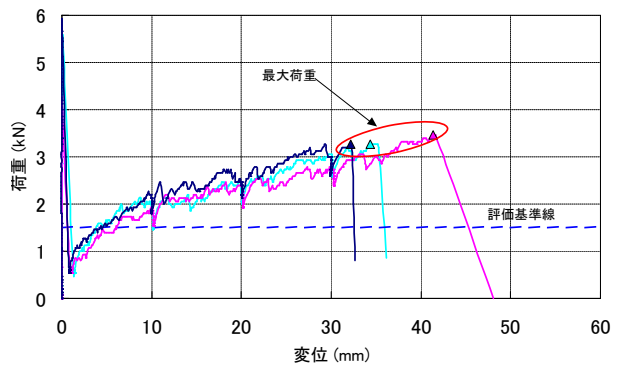
試験は、大嶋ら²⁾の文献を参考にしながら、NEXCO の「はく落防止の押し抜き試験方法」（JHS736-H20 案，JHS424-H15）に準拠して行った。図－１に JHS424-H15 による試験体の詳細図，表－２に試験ケースを示す。今回、トンネル内を想定した JHS736-H20 案により試験室内温度が常温の場合，一般的なコンクリート構造物を想定した JHS424-H15 により， $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ， $-10^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ， $-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ の場合をそれぞれ 3 体ずつ行った。載荷は，常温では試験室内の 2,000kN 万能試験機，その他は写真－１に示すように，恒温恒湿室内で載荷装置を設置して実施した。JHS736-H20 案では，まず $0.2\text{mm}/\text{min}$ の速度で載荷し，変位 2.0mm から載荷終了まで $1.0\text{mm}/\text{min}$ で押し抜き最大荷重を測定した。その間，変位 2.0mm ごとにはく離範囲を試験体にマーキングした。変位 23mm 以内において最終的な耐荷力が確認された場合には，その時点で試験を終了するが，耐荷力を有する場合には，最大 35mm



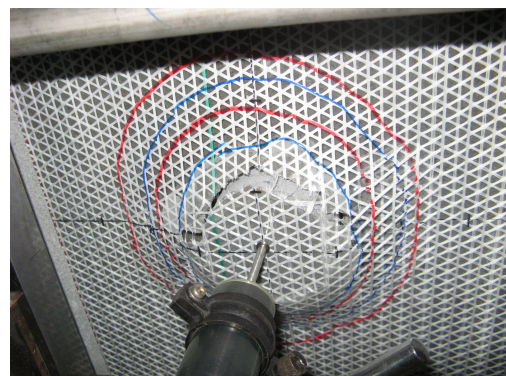
図－２ 常温の場合の荷重と変位の関係



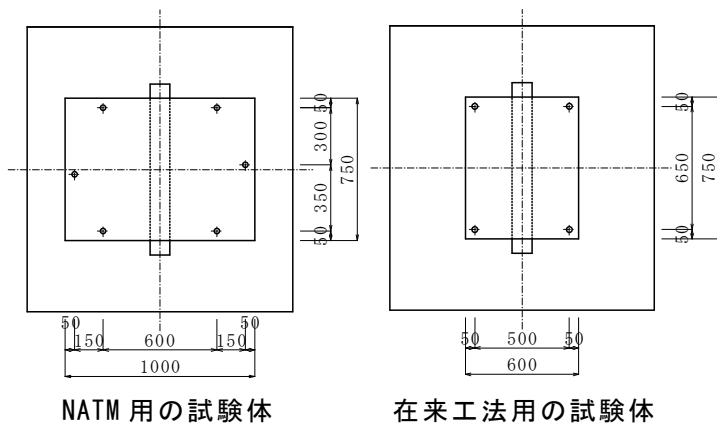
写真－２ 常温の場合の剥離状況



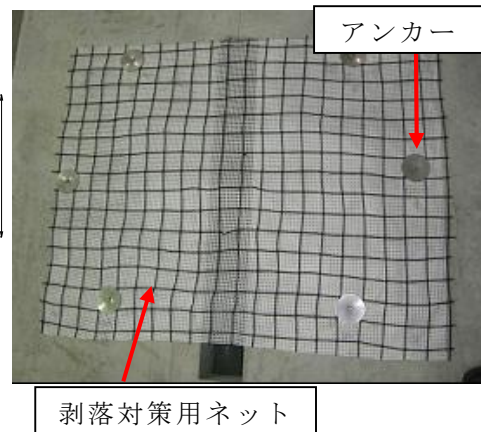
図－３ -10℃の場合の荷重と変位の関係



写真－３ -10℃の場合の剥離，破断状況



図－４ 剥落対策用ネットの試験体



写真－４ 在来工法用の試験体

の変位まで確認した。JHS424-H15 では、押し抜きをするコア部を完全に抜かないで 5mm 程度残しているのので、まず 1mm/min で U 字溝の蓋が破壊するまで行い、その後 5mm/min で載荷した。その間、10mm, 20mm, 30mm ではく離範囲の観察、マーキング等を行った。最終的な耐力を確認するまで最大 50mm まで載荷した。

２．２ 試験結果

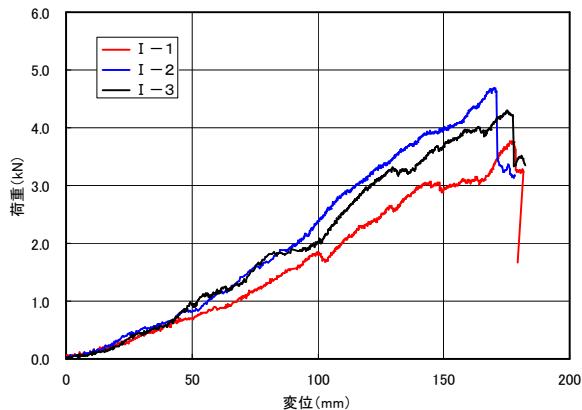
試験では、全ての温度設定において、要求性能を満足することができた。ここでは、トンネルを想定した常温の荷重－変位曲線を図－２に示す。要求性能は 3 供試体における変位 23 mm 時の荷重値の 70% 荷重が 0.5kN を上回ればよいことになっている。3 体とも荷重が約 1.5kN で要求性能を大きく上回っており、変位 35mm 時には約 2.6kN まで上昇した。はく離範囲も大きく、写真－２に示すように試験体の端部近くまで広がり、破断には至らなかった。一般的なコンクリート構造物を想定した -10℃ の場合では、図－３に示すように、変位 30mm を超えても耐荷力を有し、1.5kN を大きく上回った。はく離範囲は写真－３のように、試験体が端部に達する前にシートが破断して試験を終了した。-30℃ の場合も同様であった。しかしながら、50℃ の場合では、はく離範囲は完全に端部に達し、破断までに至らなかった。特性として、温度が低下するほど荷重－変位勾配が大きく

なる傾向があり、シートが破断するときのはく離範囲も小さい。これはシートおよび接着剤等の剛性が温度の影響を受けているためと考えられる。また、全てのケースで、3 体の試験体はほぼ同様な荷重と変位を示していることから、タフメッシュシートの均一性を検証できたと考えられる。

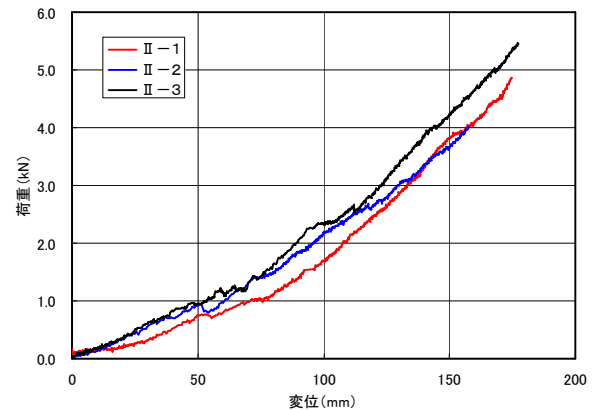
３． はく落防止用ネット載荷試験

３．１ 試験概要

はく落防止用ネットは、コンクリート構造物にアンカーで設置することになっており、アンカーの間隔については、想定されるコンクリートのはく落隕の大きさに基づいて決定されている。例えば、無筋コンクリートで施工されたトンネルの覆工コンクリートでは、図－４に示すように覆工厚が薄い NATM の場合、約 750mm 間隔、覆工が厚い在来工法の場合、約 350mm 間隔でアンカーを設置している。はく落防止性能を確認するため、図－４に示すように中央に長方形の穴が空いたコンクリート平板にネットを取り付け、中央部の長方形部分の空洞箇所全体に載荷した。なお、載荷は変位制御とし、その速度は 100mm/30 分である。今回の試験に用いたはく落対策用ネットは、ポリプロピレン繊維（以下 PP 繊維）を 50mm の格子状のネットに編みこんだもの（写真－４の黒い部分）と PP 繊維で製造した 3mm 目のメッシュの 2 つで構成されて



NATM 用



在来工法用

図－5 試験結果（荷重－変位曲線）

いる。

3. 2 試験結果

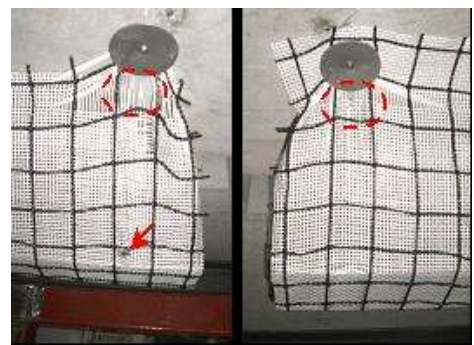
図－5 に載荷試験で得られた荷重－変位曲線を示す。NATM 用および在来工法用ともに 150mm 以上の変位が生じても、荷重が増加しており、優れた変形性能を示した。特に、在来工法用の試験結果では、載荷装置の限界値（180mm 程度）に達しても荷重が低下する傾向が見られず、非常に大きな変形性能があると判断される。

NATM 用の試験結果では、図－5 に示すように変位が 150mm を超えた付近で荷重が低下している。これは、写真－5 に示すように端部に設置したアンカーのネット格子点が引き抜けたためであるが、アンカーを 1 列内側に打設したものについては、ネット格子点の引き抜けが発生していない。一方、在来工法用の試験結果では、アンカーの打設位置に関わらずネット格子点の引き抜けは全く発生せず、

はく落対策用ネット自体に目視上は大きな損傷は見られなかった。トンネルの覆工コンクリートのはく落防止対策で要求される設計耐力は、2.0kN/m 程度である。本報告で試験した PP 繊維を用いたネットは図－6 に示すよ

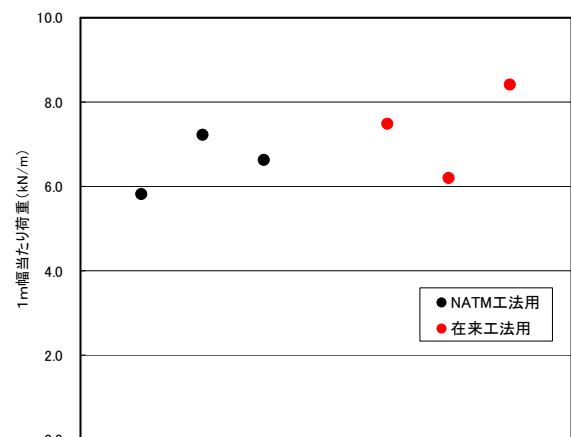


ネット格子点の引き抜け



試験終了時の端部

写真－5 NATM 用試験体の最終状態



図－6 1 m 当りの荷重

（注：1 m 当たり荷重は試験結果をアンカー間隔 0.65m で除した値である）

うに要求性能である設計耐力を大幅に上回っている。特に、在来工法の結果は、試験装置の載荷能力で決定されたものであり、ネットの耐力は試験結果以上であると判断できる。

4. まとめ

今回実施されたタフメッシュの押し抜き試験およびはく落防止用ネット載荷試験の結果より得られた知見をまとめると、下記の通りである。

- (1) タフメッシュシートの押し抜き試験の結果、温度環境が -30°C ～ 50°C の範囲において、要求性能をクリアでき、その有効性を確認できた。
- (2) タフメッシュシートは温度が低下するほど荷重－変位勾配が大きくなる傾向があり、シートが破断するときのはく落範囲も小さかった。
- (3) それぞれの環境下で、試験体はほぼ同様な荷重と変位を示していることから、タフメッシュシートの均一性を検証できた。
- (4) はく落防止用ネットは、トンネル覆工コンクリートのはく落防止対策で要求される設計体力を十分満足する結果となった。
- (5) 特に、在来工法の結果は、試験装置の載荷能力で決定されたものであり、ネットの耐力は試験結果以上あると判断できる。
- (6) 変形性能に優れていることから、点検要員が遠目でコンクリート片のはく落を確認できると推定され、保守管理の省力化に繋がると考えられる。

今後は、タフメッシュシートをコンクリート構造物のはく落対策としてトンネルやボックスカルバート、下床版などに適用していく予定である。また、はく落防止用ネットについては、従来のFRP製のはく落防止材料に比べて重量が約 1/10 と軽量であり、柔軟性に優れていることから、施工性の向上が期待される。今後、試験施工などを実施し、PP 繊維を用いたはく落防止用ネットの施工性を確認するとともに、耐久性や燃焼特性などの各種性能についても評価検討していく予定である。

参考文献

- 1) NEXCO 中日本：高速道路ネットワークの長期保全計画に関する検討会第一回資料，2008.12
- 2) 大嶋ほか：トンネル覆工剥落対策に用いる繊維シート接着工の基礎性能実験について，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，第 3 部門，pp491-492，2002