

穴開き帯状鋼板を用いた 覆工コンクリートひび割れ抑制対策の現場適用

ハイグリップ・メタルバンド

山 田 勉・関 根 一 郎・田 中 徹・尾 花 敬 治

山岳トンネルの覆工コンクリートに生じるひび割れ抑制技術のひとつとして、防食被覆を施した鋼板に円孔を配置した穴開き帯状鋼板（ハイグリップ・メタルバンド）（以下「本製品」という）を開発した。本技術は、ひび割れが発生しやすい部位に穴開き帯状鋼板を多段配置することで容易にひび割れの発生を抑制できるとともに、施工性が良好で経済性にも優れることを特長としている。本稿では、穴開き帯状鋼板を用いたひび割れ抑制技術の覆工コンクリート工事への適用結果等について報告する。

キーワード：ひび割れ抑制、山岳トンネル、覆工コンクリート、穴開き帯状鋼板、ハイグリップ・メタルバンド

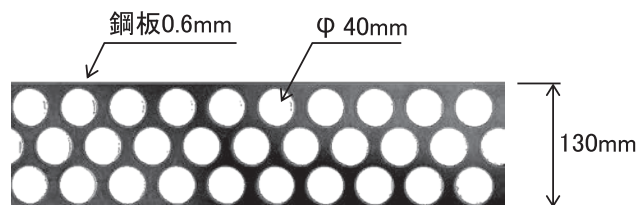
1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートでは、コンクリートの水和熱や気温変化に起因する温度収縮ならびに乾燥収縮による変形がインバートとの打継目や背面の凹凸形状に拘束されてひび割れが生じやすい。このうち、覆工コンクリートがインバートコンクリートとの打継目に拘束されて生じるひび割れは、打継目からトンネル軸直角方向に伸びるように規則的間隔で発生することが多い¹⁾。このひび割れは、必ずしも覆工コンクリートの機能を著しく損なうものではないが、覆工コンクリート断面を貫通して発生することがあるため、耐久性等の観点からひび割れ発生の抑制または発生した場合のひび割れ幅の制御が必要となる場合がある。

ひび割れ抑制対策としては、①材料（水和熱の少ないセメント、膨張材、乾燥収縮低減剤等の使用）、②配合（単位セメント量、単位水量が少ない配合の選定）、③背面平滑化（FILM工法の適用、吹付け面の平滑仕上げ等）、④ひび割れ誘発目地、⑤補強材（短繊維の混入、補強鉄筋や繊維系補強材の設置等）が考えられるが、高価となる場合や工程に影響を及ぼす場合がある等の課題が残されている。そこで、安価かつ施工性に優れる補強材として、穴開き帯状鋼板を用いたひび割れ抑制技術（本製品）を開発した。

2. 技術の概要

本製品は、防食被覆を施した鋼板（幅130mm、厚さ0.6mm、長さ2m）にφ40mmの円孔を3列で千鳥配置に加工したものである（写真—1）。特長を以下にまとめる。



写真—1 本製品の仕様

- ・φ40mmの円孔を3列に千鳥配置した鋼板を多段に設置することで、コンクリートとの一体性を確保したうえでコンクリートに作用する引張応力を分散・負担し、ひび割れを抑制する。
- ・軽量（260g/m）で設置が容易、かつ安価な材料のため、施工性と経済性に優れる。
- ・適度な剛性を有するため、コンクリート打設時の押出しや変形が小さく、充填・締固め時に特別な配慮が不要である。

覆工コンクリートにおいては、インバートコンクリートとの打継目からトンネル軸直角方向に伸びるひび割れに対して、打継目付近に本製品をトンネル軸方向に多段に設置することで効率的にひび割れを抑制する。

3. 性能確認試験

開発に当たっては、様々な室内試験によってその形状を最適化し、各性能を確認した。この章では主なものとして、曲げ性能、乾燥収縮、引張強度、および付着強度に関する試験結果を報告する。

(1) 曲げ性能に関する試験

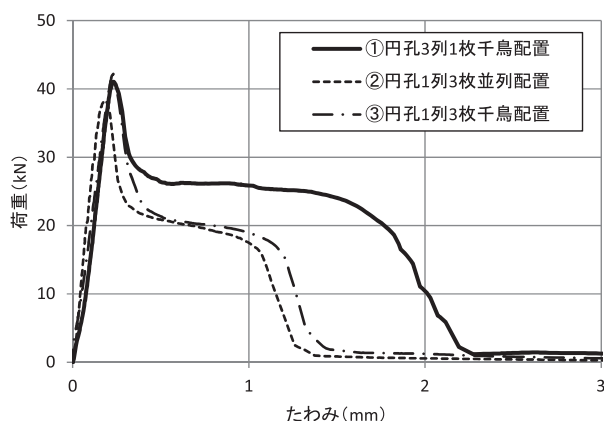
本製品の特徴である円孔の配置や部材幅等を最適化するため、JSCE-G552-2007 に準拠して曲げタフネス試験を行い、曲げじん性係数を測定した。供試体は JIS A 1132:2014 に準拠して 150 mm × 150 mm × 530 mm の角柱体とした。表—1 に供試体作製に用いたコンクリートの配合を示す。

表—1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE 減水剤 (C × %)
		W	C	S	G	
50	50	170	340	875	896	1.7

本製品は供試体下面から 20 mm の位置に、①円孔 3 列 1 枚千鳥配置 (幅 130 mm × 1)、②円孔 1 列 3 枚並列配置 (幅 50 mm × 3)、③円孔 1 列 3 枚千鳥配置 (幅 50 mm × 3) の 3 通りの方法で設置した。ここで用いた本製品の厚さは相対的に比較が容易になるよう考慮して比較的厚い 1.0 mm とし、円孔の大きさは φ 40 mm とした。

図—1 に曲げタフネス試験結果を示す。曲げじん性係数は上記①の条件で最も高くなり、曲げ性能に優れる結果となった。以下、乾燥収縮に関する試験を除き、円孔 3 列 1 枚千鳥配置 (幅 130 mm × 1、円孔 φ 40 mm) のものを使用することとした。



図—1 曲げタフネス試験結果

(2) 乾燥収縮に関する試験

本製品の乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性を確認するため、JIS A 1151:2011 に準拠して外部拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生日数を測定した。ここでは、拘束器具の寸法上、幅 50 mm、円孔 1 列の本製品 (厚さ 0.6 mm) を 2 枚ずつ並列に、供試体の上下面から 20 mm の位置に配置した (表—2, 写真—2, 3)。

表—2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE 減水剤 (C × %)
		W	C	S	G	
50	50	170	340	875	896	1.7



写真—2 拘束器具

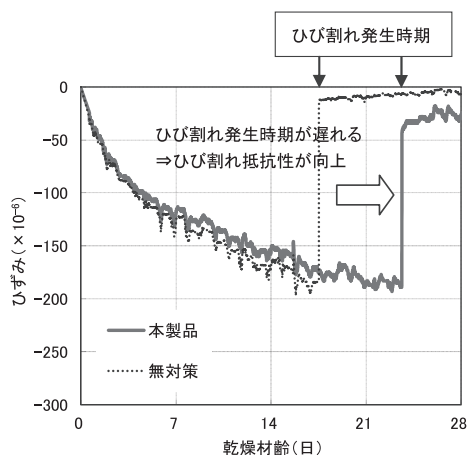


写真—3 試験状況

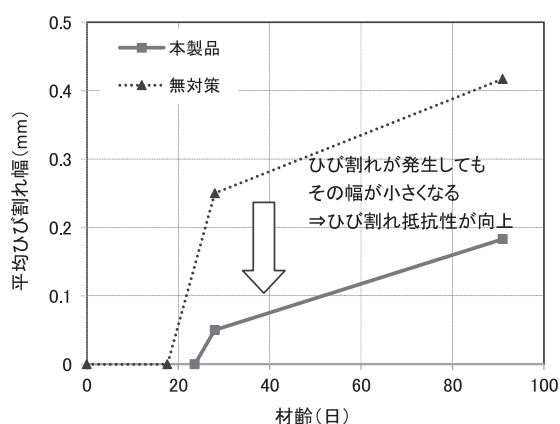
図—2 に拘束収縮ひずみの測定結果を示す。本製品を設置した供試体のひび割れ発生日数は、設置しない供試体より 34% 程度増大した。また、本製品を設置した供試体では、ひび割れ発生後も拘束収縮ひずみの増大が抑制されている。28 日後のひび割れ幅は、本製品を設置した場合で 0.05 mm に止まっているのに対して、設置なしで 0.25 mm となり、ひび割れ幅の低減効果があることも確認された (図—3)。

(3) 引張強度に関する試験

本製品によるコンクリートの引張強度への影響を確認するため、JIS A 1113:2006 に準拠して割裂引張強



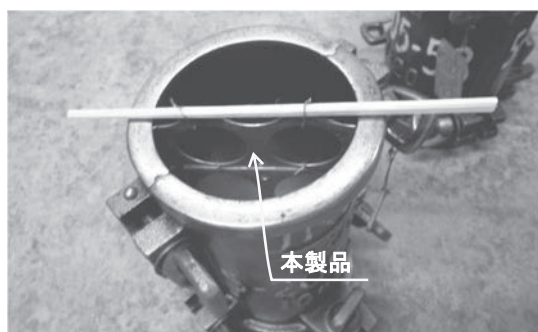
図—2 拘束収縮ひび割れの経時変化



図—3 ひび割れ幅の経時変化

表—3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
69	48	178	258	901	1003



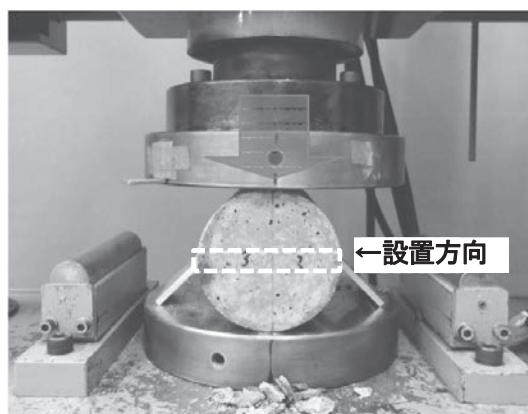
写真—4 供試体作成状況

度試験を行い、コンクリートの引張強度を測定した。供試体は JIS A 1132:2014 に準拠して $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ の円柱体とし、本製品（厚さ 0.6 mm）を供試体軸方向中央の全断面に配置した（表—3、写真—4）。

表—4 に材齢 7 日の割裂引張強度試験結果を示す。

表—4 割裂引張強度試験（材齢 7 日）

材料	番号	引張強度 (N/mm ²)	平均引張強度の比
本製品設置あり	1	2.67	
	2	2.58	
	3	2.68	
	平均	2.64	1.29
本製品設置なし	1	2.13	
	2	1.96	
	3	2.04	
	平均	2.04	1.00



写真—5 割裂引張強度試験状況

供試体への载荷方向は写真—5 に示すように本製品と直交する方向とした。本製品を設置したことにより、コンクリートの引張強度は 29% 増大した。コンクリートの収縮変形が拘束されて生じる引張力への抵抗性が向上することから、ひび割れ抑制効果も高まると考えられる。

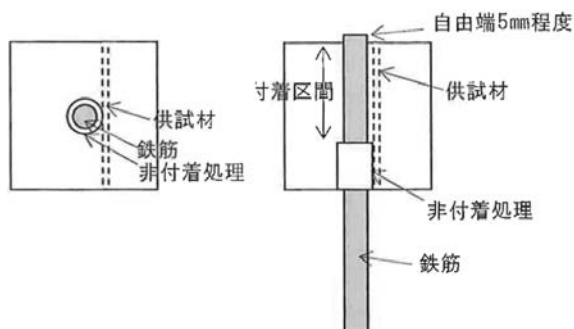
(4) 付着強度に関する試験

本製品は鉄筋に添えて設置されることから、鉄筋とコンクリートとの付着強度への影響を確認するため、JSTM C 2101:1999（引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法）に準拠して付着強度を測定した。供試体は JIS A 1132 および JSCE-G 503-2013 に準拠して $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ の立方体とし、中央に鉄筋（D25、長さ 800 mm）と本製品（厚さ 0.6 mm）を配置した（表—5、図—4）。

写真—6 と表—6 に試験結果を示す。本製品の有無で付着強度にほとんど差がないことから、本製品を

表—5 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
69	48	178	258	901	1003



図—4 供試体の概要



写真—6 付着強度試験後の破壊状況

表—6 付着強度の結果

材料	番号	付着応力度 (N/mm ²)	
		すべり量 0.002D (0.05 mm) 時	最大 (付着強度)
本製品設置あり	1	6.42	12.7
	2	4.95	11.8
	3	5.00	11.1
	平均	5.46	11.9
本製品設置なし	1	5.26	9.93
	2	4.71	13.1
	3	5.09	12.3
	平均	5.02	11.8

配置した場合においても鉄筋とコンクリートとの付着強度に影響は及ぼさないと考えられる。

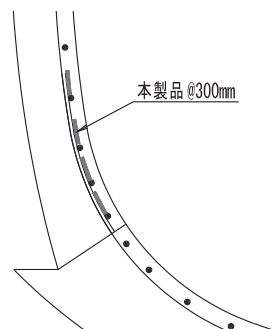
4. 山岳トンネルの覆工コンクリートへの適用例

長野県上高地トンネルの覆工コンクリートにおいて、インバートコンクリートとの打継目の拘束によりひび割れが生じやすい覆工コンクリート下端に本製品を設置することとした。

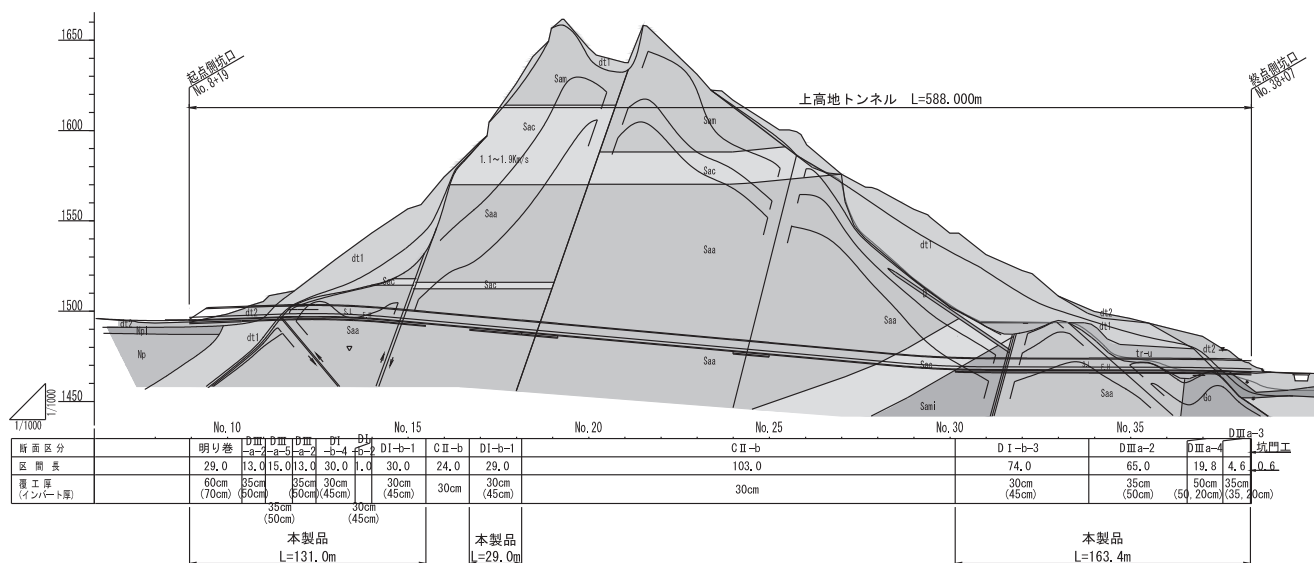
(1) 設置位置・方法

図—5 に設置位置図を示す。適用区間は D 区間および明かり巻区間とした。

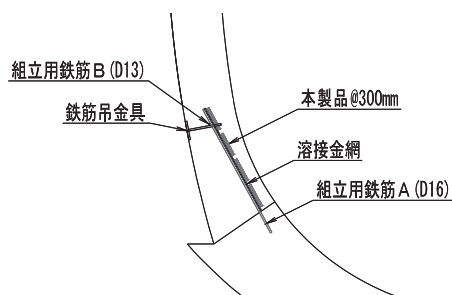
図—6, 7 に設置計画断面図を示す。覆工コンクリート下端に本製品を 300 mm 程度の間隔で 4 段設置した。有筋区間ではトンネル軸直角方向の鉄筋に結束線で固定した。無筋区間ではインバートコンクリート打設直後に組立用鉄筋 A (D16) を 2 m 程度の間隔で差し込み、鉄筋吊金具とトンネル軸方向の組立用鉄筋 B



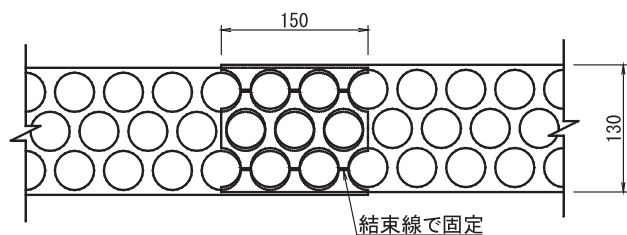
図—6 設置計画断面図 (有筋区間の例)



図—5 設置位置図



図一七 設置計画断面図（無筋区間の例）



図一八 接続方法

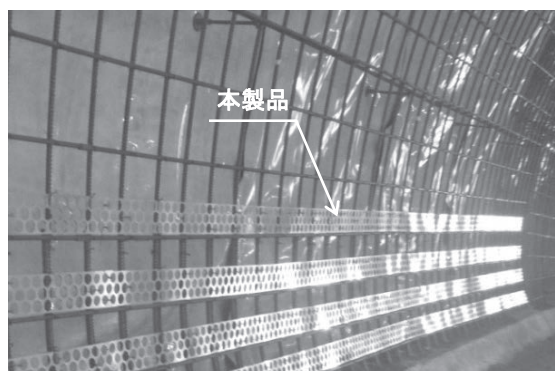
(D13) で構成される組立架台を設置する。そこにあらかじめ本製品を取り付けた溶接金網（線径 ϕ 6 mm，網目 150 mm $\times$ 150 mm，寸法 1.2 m $\times$ 2 m）を敷設し，結束線で固定した。

図一八に本製品の接続方法を示す。重ね継手長さは，150 mm（部材幅の1倍以上を確保）とし，円孔の位置を合わせて上下3箇所ずつ結束線で固定した。

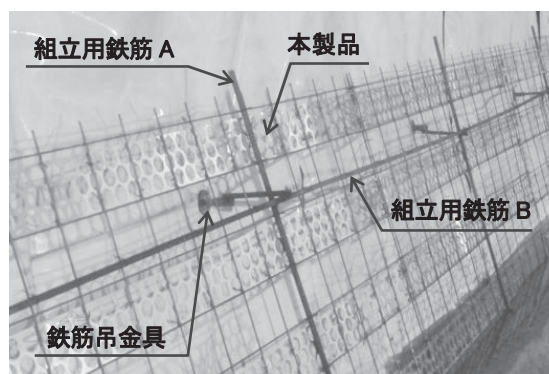
(2) 効果

有筋区間では，鉄筋に固定するため事前の段取り作業もなく，本製品が適度な剛性を有するため，組立時に取扱いが容易で施工性に優れることを確認した（写真一七）。無筋区間については，インバートコンクリート打設時に組立用鉄筋の差込み等の組立架台の設置が必要となり，有筋区間と比較して作業が増えるが，あらかじめ溶接金網に本製品を取り付けてユニット化しておくことで組立作業の効率化を図った（写真一八）。

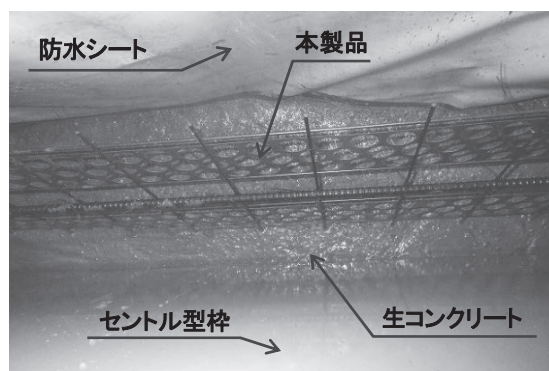
写真一九に無筋区間におけるコンクリート打設状



写真一七 設置状況（有筋区間）



写真一八 設置状況（無筋区間）



写真一九 コンクリート打設状況（無筋区間）

況を示す。コンクリートの打込みおよびバイブレータによる締固め時においても本製品が側方に押し出されないことを目視確認した。また，円孔内にコンクリートが回り込み，充填されていることも目視確認した。

覆工コンクリートの施工から約4カ月後において，インバートコンクリートの拘束が原因と考えられるひび割れの発生は認められていない。これは本製品のひび割れ抑制効果によるものと考えられる。

5. おわりに

山岳トンネルの覆工コンクリート等に生じるひび割れの抑制対策として，本製品ハイグリッパ・メタルバンドを開発し，その性能を室内試験で確認するとともに実際の現場に適用し施工性と効果を確認した。今後は覆工コンクリートへの適用を増やして，さらなる施工性向上やひび割れ抑制に効果的な配置方法等について検証していく予定である。

また，JISを満たすレディーミクストコンクリートを用いたにも拘らず，コンクリート構造物に過大な収縮ひび割れを生じ，想定外のたわみが生じた事例が報告されており，土木学会等でコンクリート構造物の収縮ひび割れの取扱いが大きく見直され²⁾，その制御の重要度が高まっている。このような背景のもと，本製

品を覆工コンクリート以外のコンクリート構造物に対しても可能な範囲で適用を検討し、多くのコンクリート構造物の耐久性向上に寄与したいと考える。

謝 辞

山岳トンネルの覆工コンクリートへ本製品を適用するにあたり、貴重な機会を与えてくださった長野県の関係各位に対して、この場を借りて深く御礼申し上げます。



《参考文献》

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針（案），pp.127-134，2001
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮問題検討委員会報告書，pp.1-4，2010

【筆者紹介】

山田 勉（やまだ つとむ）

戸田建設㈱

本社 土木技術営業部 技術2課
課長



関根 一郎（せきね いちろう）

戸田建設㈱

本社 アーバンルネッサンス部
部長



田中 徹（たなか とおる）

戸田建設㈱

本社 技術開発センター 社会基盤ユニット交通・ライフラインチーム
主管



尾花 敬治（おばな けいじ）

戸田建設㈱

名古屋支店 土木工事部 工事課
作業所長

