

コンクリートのひび割れ抑制材料（ハイグリップ・メタルバンド）の 特性試験と覆工コンクリートへの適用

CHARACTERISTIC TEST OF CRACK RESTRAINING MATERIAL (HIGH GRIP・METAL BAND) FOR CONCRETE AND APPLICATION FOR TUNNEL LINING

関根 一郎*¹, 浅野 均*², 田中 徹*³, 山田 勉*⁴, 山火智洋*⁴

Ichiro SEKINE, Hitoshi ASANO, Toru TANAKA, Tsutomu YAMADA and Tomohiro YAMABI

High Grip・Metal Band was developed as an effective reinforcement material for a crack in concrete. To research its characteristics, we carried out the cleave test including this material, bond strength test between concrete and reinforcing bar with High Grip・Metal Band and reinforcement corrosion accelerating test. After that we tried to use this material on lining of tunnel. We confirmed good performance for setting this material and the crack restraining effect.

Keywords : Crack Reduction, Reinforcing Material, Tunnel, Structural Work, Lining

ひび割れ抑制, 補強材料, トンネル, 構造物, 覆工コンクリート

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性向上は、品質の優れた社会資本を次世代に残すために重要である。耐久性向上のためにはコンクリートのひび割れを抑制することが効果的であり、そのために多くの研究開発が実施されている¹⁾²⁾。当社においては社内横断による各種 WG 等で技術開発を行っており、山岳トンネル新技術開発 WG では、覆工コンクリートなどを対象に効果的なひび割れ抑制材として穴あき帯状鋼板によるひび割れ抑制材料（ハイグリップ・メタルバンド）を開発してきた³⁾⁴⁾⁵⁾。本報告では、本材料の性能を確認するために実施した試験の内、前報³⁾に記載していない割裂引張強度試験、鉄筋とコンクリートとの付着強度試験、鉄筋の腐食促進試験の結果を示すとともに、長野県上高地トンネルで覆工コンクリートに本格的に適用した事例を報告する。

2. ハイグリップ・メタルバンドの特長

材料は、運搬、保管時等の発錆を防止するために溶融亜鉛めっきによる防食被覆を施した鋼板（幅 130mm, t=0.6mm）に写真-1 のようにφ40 mmの穴を金型で押し抜き、3列千鳥配置に加工したものである。これをコンクリート中に埋め込むことによって、ひび割れ抑制効果を持たせる。ハイグリップ・メタルバンドは次の特長を有する。

- ①ひび割れ抑制材としては、弾性係数が大きいこと、温度変化や乾燥に伴うコンクリートの体積変化がインバートコンクリート等により拘束されることで生じる引張応力を負担でき、ひび割れ発生の抑制が期待できる。
- ②3列千鳥配置に設けたφ40mmの穴の拘束力によってコンクリートとの一体性を確保できる。

- ③ハイグリップ・メタルバンドは、軽量（260g/m）であり、適度な硬さをもつため打設時の変形影響小さく、固定作業手間の軽減が期待でき、施工性の改善にも寄与する。

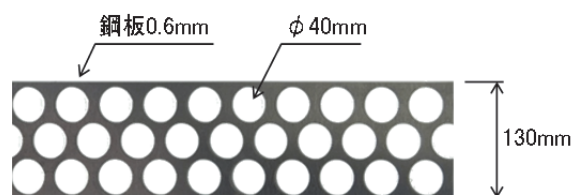


写真-1 ハイグリップ・メタルバンド

3. ハイグリップ・メタルバンドの性能試験

ハイグリップ・メタルバンドの性能を確かめるために、割裂引張強度試験、鉄筋とコンクリートとの付着強度試験、鉄筋の腐食促進試験を新たに実施した。既に報告した曲げ性能試験、乾燥収縮ひび割れ抑制試験、曲げひび割れ幅抑制試験については前報³⁾を参照されたい。

3.1 ひび割れ抑制材料を含んだ試験体の割裂引張試験

ひび割れ抑制材料は、引張強度を増加させることによってひび割れ抑制効果を発揮すると考えられる。ハイグリップ・メタルバンドによるコンクリートの引張強度補強効果を調べるため、JIS A 1113:2006に準拠した割裂引張強度試験を実施した。試験は（一財）建材試験センターで行った。試験体は JIS A

*1 戸田建設㈱アーバンルネッサンス部 博士（工学）

*2 戸田建設㈱執行役員（土木技術担当）修士（工学）

*3 戸田建設㈱技術開発センター 修士（工学）

*4 戸田建設㈱土木技術営業部

*1 Urban Renaissance Department, Toda Corporation, D. Eng.

*2 Executive officer, Toda Corporation, M. Eng.

*3 Research and Development Center, Toda Corporation, M. Eng.

*4 Civil Engineering Technology Sales Department, Toda Corporation

1132:2014 に準拠してφ100 mm×200 mmの円柱体とし、ハイグリップ・メタルバンド（厚さ 0.6 mm）を供試体軸方向中央の全断面に配置した（写真-2）。コンクリートの配合は表-1の通りとした。供試体への載荷方向は写真-3に示すようにハイグリップ・メタルバンドと直交する方向とした。



写真-2 ハイグリップ・メタルバンドを設置した試験体の作成状況

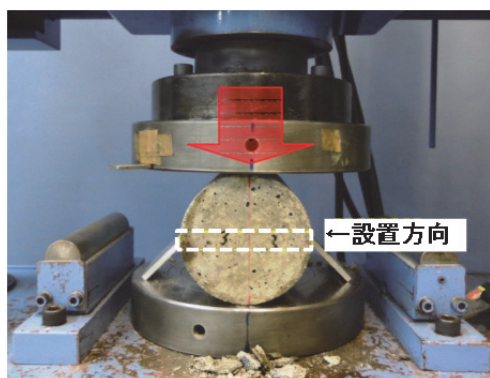


写真-3 ハイグリップ・メタルバンドを設置した試験体の割裂引張試験状況

表-1 ベース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

表-2 に材齢 7 日の割裂引張試験結果をプレーンと比較して示す。ハイグリップ・メタルバンドを設置することにより、引張強度は 29%増加することがわかる。ハイグリップ・メタルバンドを設置することで引張強度が増加し、ひび割れの原因となる引張応力に対する抵抗性が向上するため、ひび割れ発生を抑制すると思われる。

表-2 割裂引張強度試験（材齢 7 日）

材料	番号	引張強度 (N/mm ²)	比
ハイグリップ・メタルバンド設置あり	1	2.67	
	2	2.58	
	3	2.68	
	平均	2.64	1.29
ハイグリップ・メタルバンド設置なし	1	2.13	
	2	1.96	
	3	2.04	
	平均	2.04	1.00

3.2 鉄筋とコンクリートとの付着強度試験

ハイグリップ・メタルバンドは鉄筋に添えて設置される。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、JSCE-G 503（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 mm×150 mm×150 mm の立方体とし、中央に鉄筋（D25、長さ 800 mm）とハイグリップ・メタルバンド（厚さ 0.6 mm）を配置した（図-1、写真-4）。コンクリートの配合は表-1と同様とし、材齢 28 日で付着強度試験を実施した。付着強度試験に当たっては写真-5に示すように電気式変位計で自由端のすべり量を測定した。

写真-6 に付着強度試験後の試験体の状況を示す。また、表-3に付着強度試験結果を示す。ハイグリップ・メタルバンドを設置した場合の最大付着強度は、設置しなかった場合に比較して同等な結果となった。また、すべり量 0.002D の時の付着応力度はハイグリップ・メタルバンドを設置し場合の方が約 8%大きい結果となった。

以上から、ハイグリップ・メタルバンドを配置した場合において、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。

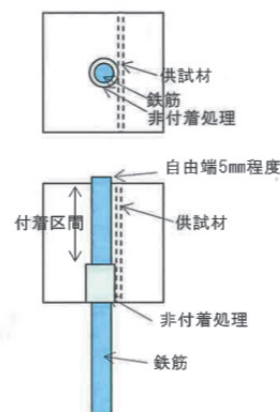


図-1 ハイグリップ・メタルバンドを設置した鉄筋とコンクリートとの付着試験の試験体

表 - 3 付着強度試験試験結果

材料	番号	付着応力度 (N/mm ²)	
		すべり量 0.002D(0.05mm)時	最大 付着強度
ハイグリップ・メ タルバンド設置	1	6.42	12.7
	2	4.95	11.8
	3	5.00	11.1
	平均	5.46	11.9
プレーン (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



写真 - 4 ハイグリップ・メタルバンドを設置した鉄筋とコンクリートとの付着試験の試験体作成状況

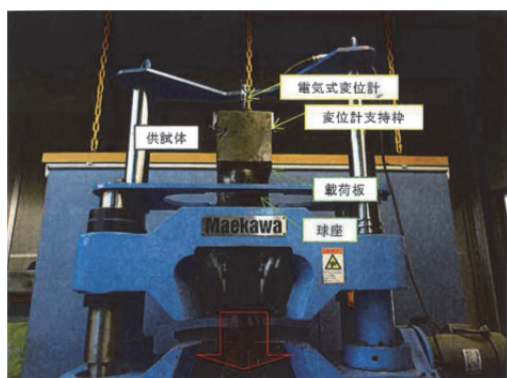


写真 - 5 鉄筋とコンクリートとの付着強度試験実施状況

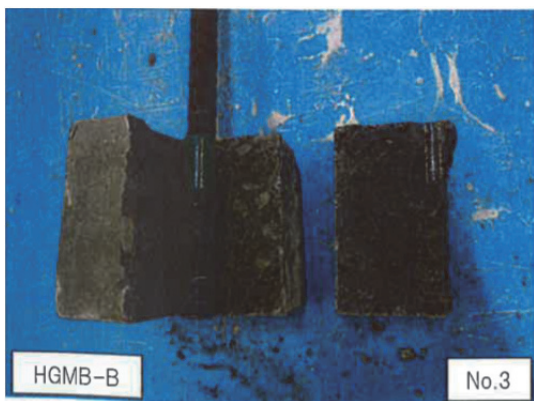


写真 - 6 鉄筋とコンクリートとの付着強度試験試験後供試体状況

3.3 鉄筋等の腐食促進試験

本材料の熔融亜鉛めっきは運搬時および保管時等の発錆防止のために施しており、コンクリート中でめっきによる長期の発錆防止作用を期待しているわけではない。沿岸部など厳しい条件での鉄筋の発錆防止のために使用される熔融亜鉛めっき鉄筋と本材料では熔融亜鉛めっきを施す目的が異なっている。ところで、熔融亜鉛めっきが施されたハイグリップ・メタルバンドは、鉄筋に焼き鈍し鉄線で結束し

てコンクリートに埋設されるため、異種金属が接触することによる鉄筋への影響を調査することにした。

試験は JIS A6205 附属書 2 (コンクリート中の鉄筋の促進腐食試験方法) に準じて実施した。試験に用いた試験体の概要を図 - 2 に示した。鉄筋にハイグリップ・メタルバンドを焼き鈍し鉄線で結束した試験体 a) (写真 - 7, 8) と、鉄筋のみの試験体 b) を比較することにより、ハイグリップ・メタルバンドが鉄筋腐食に与える影響がわかる。また、ハイグリップ・メタルバンドのみの試験体 c) と a) を比較することによりハイグリップ・メタルバンドの腐食状況を比較した。

コンクリートは塩分量 0.2% としたものを使用し、写真 - 9 のオートクレーブ内で促進腐食処理を行った。温度 180℃、1MPa で 5 時間保持する処理を 2 回繰り返すことで鉄筋腐食を促進する方法とした。

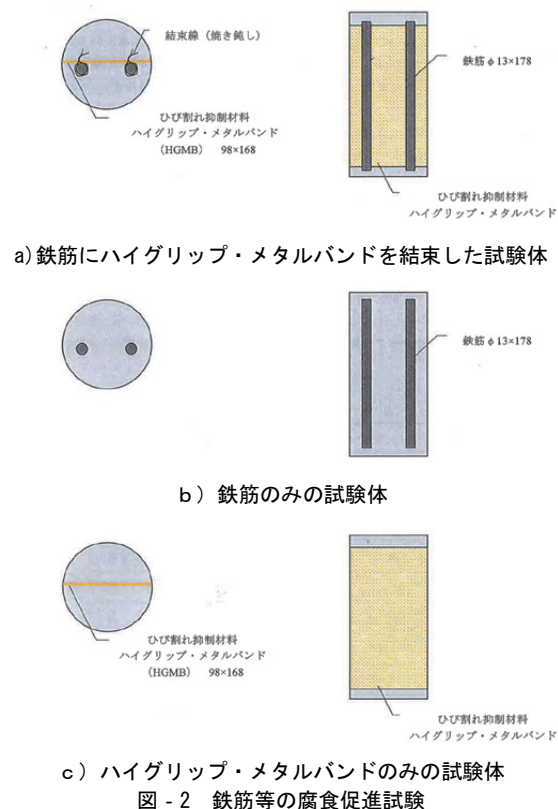


図 - 2 鉄筋等の腐食促進試験

図 - 3 は鉄筋の発錆状況を示しており、鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した a) では、鉄筋のみの b) に比較して発錆が抑制されることが明らかになった。腐食面積を読み取った結果が表 - 4 で、鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した a) では鉄



写真 - 9 オートクレーブによる腐食促進

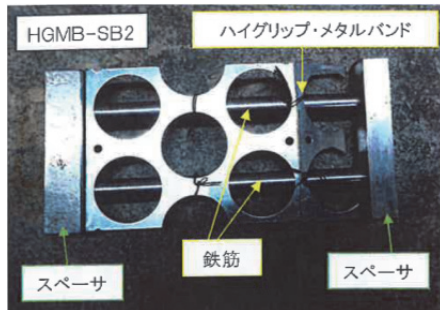


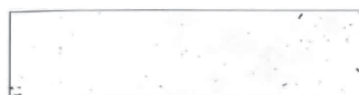
写真 - 7 鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した試験体



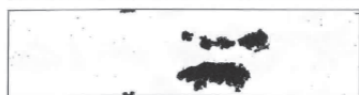
写真 - 8 鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した試験体を型枠に設置した状況

表 - 4 鉄筋の促進腐食試験結果

供試体 (記号)	供試体 番号	鉄筋 番号	腐食面積 (mm ²)	腐食率 (%)
a) 鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した試験体 (HGMB-SB2)	No. 1	1	13	0.2
		2	477	7.3
	No. 2	1	0	0.0
		2	0	0.0
	No. 3	1	948	14.5
		2	392	6.0
平均			305	4.7
b) 鉄筋のみの試験体 (SB2)	No. 1	1	725	11.1
		2	1,575	24.1
	No. 2	1	1,738	26.6
		2	1,372	21.0
	No. 3	1	1,000	15.3
		2	1,372	21.0
平均			1,297	19.9

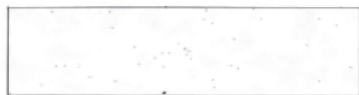


鉄筋番号 1



鉄筋番号 2

図2 腐食状況 [HGMB-SB2, No.1]



鉄筋番号 1



鉄筋番号 2

図3 腐食状況 [HGMB-SB2, No.2]

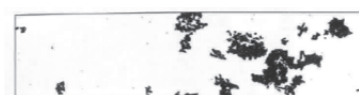


鉄筋番号 1



鉄筋番号 2

図4 腐食状況 [HGMB-SB2, No.3]



鉄筋番号 1



鉄筋番号 2

図5 腐食状況 [SB2, No.1]



鉄筋番号 1

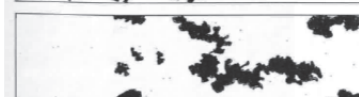


鉄筋番号 2

図6 腐食状況 [SB2, No.2]



鉄筋番号 1



鉄筋番号 2

図7 腐食状況 [SB2, No.3]

a) 鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束したケース

b) 鉄筋のみのケース

図 - 3 鉄筋のさび発生状況 (鉄筋の展開図にさび部分を着色して示す)

筋のみの試験体 b) に比較して腐食率が約 1/4 になることが明らかになった。これは溶融亜鉛めっきが犠牲陽極のように作用するため、鉄筋の腐食を抑制するものと思われる。

表 - 5 はハイグリッ・メタルバンドの腐食状況を鉄筋の有無で比較したもので、鉄筋とハイグリッ・メタルバンドを結束した a) の場合、部分的に軽微な腐食は認められたが、大差ない結果であった。

表 - 5 促進腐食試験結果
(ハイグリッ・メタルバンドの腐食比較)

供試体 (記号)	供試体 番号	腐食状況
a) 鉄筋にハイグリッ・メタルバンドを結束した試験体 (HGMB-SB2)	No. 1	軽微な腐食あり
	No. 2	軽微な腐食あり
	No. 3	軽微な腐食あり
c) ハイグリッ・メタルバンドのみの試験体 (HGMB)	No. 1	腐食なし
	No. 2	腐食なし
	No. 3	腐食なし

4. 山岳トンネル覆工コンクリートへの適用

長野県上高地トンネルでは、インバート拘束による覆工コンクリートのひび割れ対策としてハイグリッ・メタルバンドを適用した。図 - 4 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、覆工コンクリート下端にハイグリッ・メタルバンドを 300 mm 程度の間隔で 4 段設置した。

写真 - 10 に有筋区間におけるハイグリッ・メタルバンドの設置状況を示す。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。写真 - 11 に無筋区間での設置状況を、図 - 5 に無筋区間の設置計画断面図を示す。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 2m 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 (D13) で構成される組立架台を設置する。そこにあらかじめハイグリッ・メタルバンドを取り付けた溶接金網(線径φ6mm, 網目 150mm×150mm, 寸法 画面断 1.2m×2m) を敷設し、結束線で固定した。

ハイグリッ・メタルバンドは現在定尺 2m で製造されている。図 - 6 に継手部分の施工法を示す。継ぎ手部分は原則として 1W (W: 幅) 以上の重ね代を確保することとしている。重ねずに不連続部分を作った場合、そこにひび割れを誘発することになるので注意を要する。

写真 - 12 に無筋区間で本材料を適用した時の覆工コンクリートの打設状況を示した。締固めの際はバイブレーターをハイグリッ・メタルバンドの両側に挿入し、コンクリートとの密着や密実化を図った。ハイグリッ・メタルバンドは適度な剛性があるのでコンクリート打設時にたわんだりすることなく施工できた。トンネル貫通後、覆工コンクリートにインバート拘束によるひび割れは認められず、良好な覆工コンクリートを打設できた。

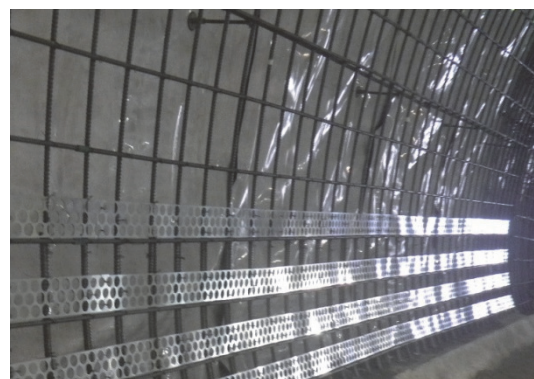


写真 - 10 覆工コンクリートへの適用例 (有筋区間)

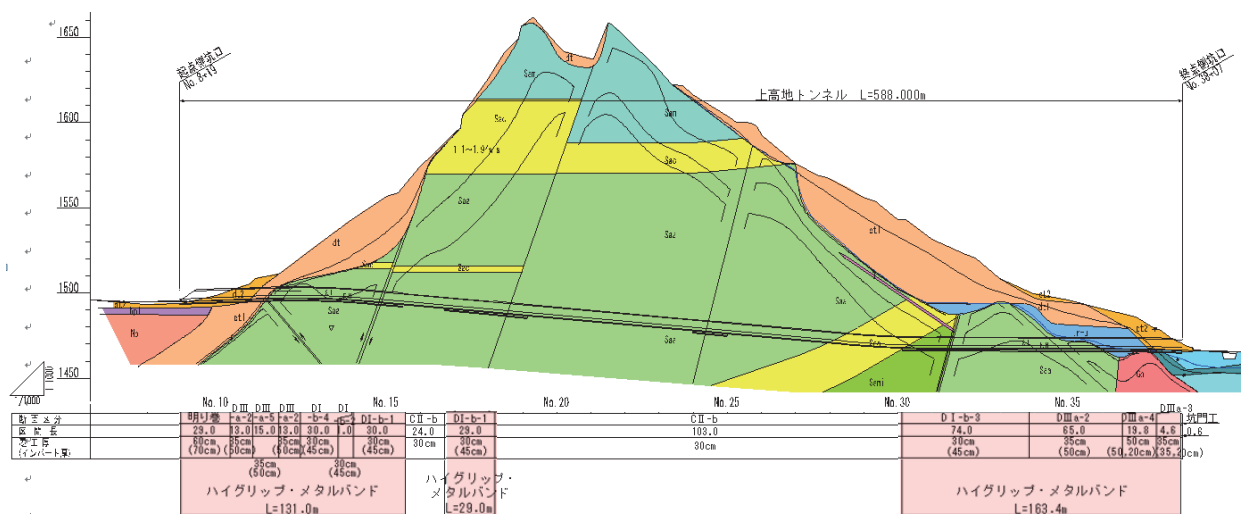


図 - 4 ハイグリッ・メタルバンドの設置位置 (長野県上高地トンネル)



写真 - 11 覆工コンクリートへの適用例（無筋区間）

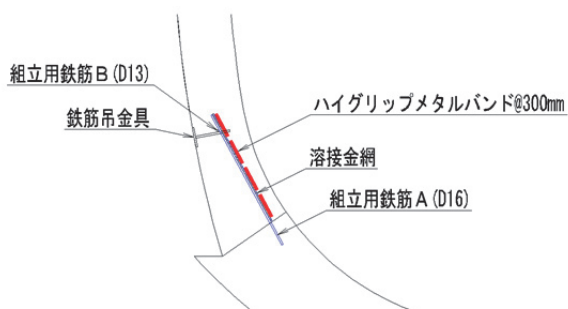


図 - 5 覆工コンクリートへの取付け（無筋区間）

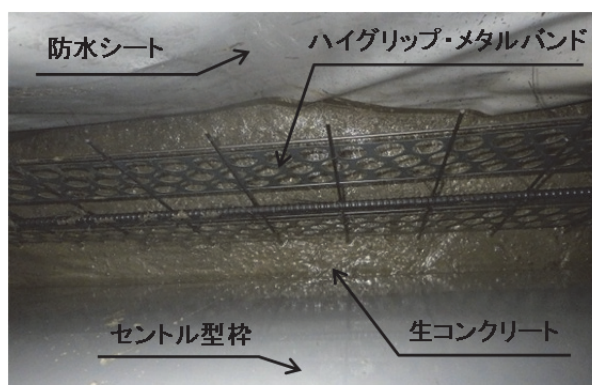


写真 - 12 覆工コンクリート打設状況（無筋区間）

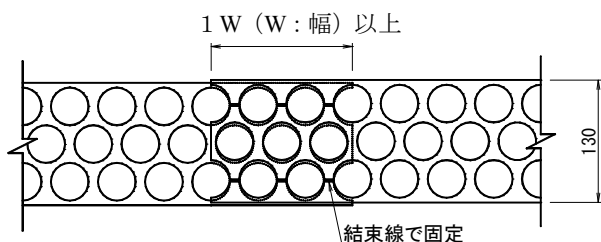


図 - 6 重ね継ぎ手部の施工方法

5. まとめ

コンクリートのひび割れ抑制を実現し、長寿命化に寄与する材料として、穴あき帯状鋼板による補強材料を開発してきた。本報告では、割裂引張強度試験、鉄筋とコンクリートとの付着強度試験、鉄筋の腐食促進試験の結果を示すとともに、長野県上高地トンネルで覆工コンクリートに本格的に適用した結果を報告した。割裂引張試験では本材料を設置した試験体で割裂引張強度の顕著な増加が認められた。鉄筋とコンクリートとの付着強度試験では、本材料を設置することによる鉄筋の付着強度への影響はないことが確かめられた。鉄筋の腐食促進試験では、本材料を設置した場合、鉄筋の腐食は低減することが示された。

トンネルの覆工コンクリートに適用した事例では、ひび割れの抑制効果が認められた他、良好な施工性を有することが確認された。今後適用事例を増やし、ひび割れ抑制効果についてさらに検証し、実績を積み重ねていきたいと考える。

謝辞

本技術の現場適用に当たり、施工の機会を与えていただいたご発注者の皆様に深く感謝いたします。本技術開発は、土木本部の部門横断型の技術開発WGであるトンネル新技術開発WGにおいて実施されました。WGリーダー並びのWGメンバーの各位に感謝する次第です。また、現場適用に当たり真摯に取り組んでいただいた支店の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 真下英人・砂金神治・木谷努・遠藤拓雄：トンネル覆工の収縮ひび割れに関する研究，トンネル工学論文集第 15 巻 pp. 1-11, 2005
- 2) 高山博文・増田康夫・仲山貴司・植村義幸・Narentorn YINGYONGRATTANAKUL・朝倉俊弘：トンネル覆工コンクリートに生じるひび割れの発生メカニズムに関する実験的研究，土木学会論文集 F Vol.66 No.1, 132-145, 2010
- 3) 関根一郎・浅野均・田中徹・山田勉：コンクリートのひび割れ抑制材料（ハイグリッパ・メタルバンド）の開発，戸田建設技術研究報告第 41 号，2015
- 4) 関根一郎・浅野均・田中徹：穴開き帯状鋼板によるコンクリートのひび割れ抑制効果について，土木学会第 69 回年次学術講演会，VI部門，2014 1)
- 5) 関根一郎・田中徹・山田勉：穴開き帯状鋼板によるコンクリートのひび割れ抑制技術の開発，電力土木，2016.5