

水和硬化性マットを用いた法面養生への適用事例

中村 廣義¹⁾, 中村 考宏²⁾, 村田 長司³⁾, 岡崎 和保⁴⁾, 鈴木 素之⁵⁾

- 1) 代表取締役, 中村建設(株), info@nakamura-k.jp
 2) 常務取締役, 中村建設(株), t.nakamura@nakamura-k.jp
 3) 環境事業部開発営業部長, 中村建設(株), t.murata@nakamura-k.jp
 4) 執行役員統括本部長, 中村建設(株), k.okazaki@nakamura-k.jp
 5) 教授, 山口大学大学院創成科学研究科, msuzuki@yamaguchi-u.ac.jp

頻発する土砂災害への初動対応策として, 水和硬化性マットの法面養生材としての有効性を検討した. 施工期間が従来のモルタル吹付けの半分以上となる迅速な施工性, 総コストの約 16%削減という経済性, 豪雨下でも剥がれを生じない耐久性を確認した. また, 人力施工・撤去が可能な軽量構造により, 現場作業の負担軽減や再資源化の観点からも利点がある. 一方, 厚みが薄く硬化後の強度が限定的であるため, 長期的な水流による洗掘への対応には技術的な課題が残るものの, ゲリラ豪雨や台風等の突発災害への短期的な応急対策資材として有効性があることを確認した.

キーワード: 法面保護, 法面養生, 護岸整備

(IGC : E-06, H-09, K-06)

1. はじめに

我が国では, 近年, 豪雨や台風などの気候変動に起因する土砂災害が頻発しており, 斜面崩壊や地盤侵食への迅速な対応が求められている. 特に, 法面の保護や応急養生においては, 従来のモルタル吹付け工法やブルーシートによる養生が使用されてきたが, 施工の手間や耐久性に課題が残されている. こうした背景を踏まえ, 本報告では, 施工が容易でありながら硬化後に高い耐久性を有する「水和硬化性マット」の開発と, 法面養生への適用事例について報告する.

著者が開発した水和硬化性マット(以下, 本報告ではマットと略記)は, シートを敷設し散水するだけでモルタルが硬化し, 地形に応じて自在に適合できる特性を持つ.

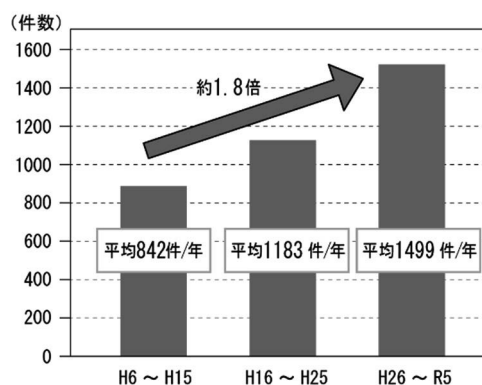
そのため, 従来工法と比較して施工期間を大幅に短縮し, 小規模工事においてはコスト削減にも寄与できる.

また, 施工後に最大 1 時間降水量 47mm, 24 時間降水量 270mm の豪雨が発生した現場においても, 剥がれなどの損傷は生じず, 法面養生材としての役割を十分に果たしていることが確認されている. 本報告では, こうした技術的特徴と現場適用結果を述べたうえで, 法面養生における新たな建設資材としての適用可能性を考察する.

2. 災害対応の状況と水和硬化性マット開発の経緯

2.1 災害対応の状況

我が国における土砂災害発生件数は増加傾向にあり,

図-1 土砂災害発生件数の推移¹⁾

国土交通省の統計(2024 年)によると, 平成 26 年から令和 5 年までの年間平均発生件数は, 20 年前(平成 6 年から平成 15 年)と比べ約 1.8 倍に増加している(図-1). 令和 6 年能登半島地震や熊本県を中心に九州や中部地方など日本各地で発生した令和 2 年 7 月豪雨等によって発生した多数の斜面崩壊による甚大な被害は記憶にあたらしい。

しかしながら, 国や地方公共団体が災害復旧予算を計上し, 工事を発注・本復旧施工が完了するまでには数年以上かかることもあり, 今もなお崩壊した斜面の多くにおいてブルーシート等による仮設養生のまま放置されている(写真-1). しかし, ブルーシートは紫外線による材料劣化により, 半年から 1 年のうちに表面が引き裂け(写真-2), 崩壊が拡大あるいは再崩壊する事象が発生している. そのため, 緊急性と長期耐久性を両立できな

いという課題があった。

2.2 水和硬化性マット開発の経緯

斜面崩壊等によって道路や鉄道が不通となる事例が全国的に発生している。例えば平成 30 年 7 月豪雨（2018 年西日本豪雨）では、山口県内でも多くの災害が発生した。そのなかで JR 山陽本線下松－光間もこの豪雨被害を受け、斜面崩壊によって電車が不通となった²⁾（写真-3）。

このような状況が継続すると、利用者にとって日常の交通手段が制限され、生活に重大な影響を及ぼす。そのため、早期復旧や再度災害防止対策を迅速に行う必要がある。しかしながら、相次ぐ自然災害を受けて、いくつかの問題点が顕在化してきた。以下に、その問題点を指摘する。

a) 土砂災害発生件数の増加

温暖化の影響によって線状降水帯の発生による豪雨の増加や台風の大型化により、土砂災害発生件数が増加している³⁾。

b) 建設業界の人材不足

建設業の就業者数は 1990 年代後半をピークに減少傾向にある。その要因として建設業就業者の高齢化および若者の労働力不足など、担い手確保の困難が挙げられる⁴⁾。

以上の問題点から、法面の崩壊防止対策や土砂災害発生後の早期復旧が進んでいない状況が全国各地でみられる。このような状態を放置していると、二次災害等の発生もまた危惧される。

したがって、災害多発期において、仮復旧から本復旧までの間に起こりうる、雨水侵食抑制、再崩壊防止等の役目を果たす技術開発が必要であり、ブルーシートの代用になり、かつ、耐久性の優れた材料開発を行い、法面・斜面等を保護する水和硬化性マットの開発に成功した。



写真-1 ブルーシートで養生された斜面崩壊現場

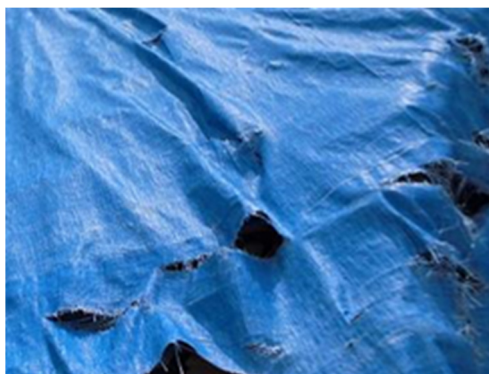


写真-2 経年劣化し引き裂けたブルーシート



写真-3 JR 山陽本線の土砂災害現場

3. 水和硬化性マットの特徴と適用事例

3.1 水和硬化性マットの特徴

本マットの特徴は、遮水性素材とセメントモルタルの組み合わせによって、表面をギプスのように硬化して地山への水の浸透を防ぎ（図-2）、降雨による侵食抑制、さらには再崩壊・崩壊箇所の拡大を防ぐことができる点である（図-3）。また、施工作业はブルーシート敷設と同等なので、新たな技能者を必要とせず、誰でも素早く施工できる。

a) 迅速性

被災箇所を本マットで覆い、マットをアンカーピンで斜面に固定するだけなので、災害発生後に迅速に対応できる。例えば、A 現場で 120m²の斜面を試験施工したときには、2 日間で施工が完了した。これを現場打ち法枠工法による本工事で施工すると、一般的には約 4～6 週

の工事期間が必要となる。

b) 耐候性

本マットは、高耐候性の上層シートとセメントモルタルから構成されているため、従来のブルーシートと比較して紫外線による劣化が生じにくく、長期間にわたり良好な状態を維持できる構造となっている。ブルーシートが半年から 1 年程度で紫外線により破損する事例が多いのに対し、本マットは構成材料の特性から、10 年以上の使用にも耐える耐候性を有することが期待される。また、硬化したモルタル自体の強さにより、風や水流に対する抵抗性が発揮される。

c) 難燃性

本マットは、高難燃性の上層シートとセメントモルタルからなるため、林野火災などが発生してもブルーシートと違い、燃えにくい。

d) 柔軟性

使用前すなわちセメントモルタルの未硬化状態では、本マットは柔らかいので、災害箇所を覆う際に地表面の形状に合わせて張り付けることができる。散水後はその状態で硬化するため、現場の状況に柔軟に対応できる。硬化時間は、夏場で散水後1時間経過後から初期硬化がはじまり、3日程度でほぼ硬化が完了した状態となる。

e) 粗度係数

2024年1月に徳山工業高等専門学校にて行った本マットの粗度係数測定試験により、粗度係数は $N=0.010$ と確認された⁵⁾。したがって、素掘り側溝後に本マットを設置すれば、より排水性の高い簡易側溝として利用することができる⁶⁾（表-1）。

表-1 Kerby と水和硬化性マットの粗度係数⁵⁾⁶⁾

工種	粗度係数 N
水和硬化性マット	0.010
アスファルト、コンクリート面	0.013
滑らかな不透水面	0.02
滑らかな締固め土面	0.10
低密な芝地面、耕地	0.20
芝地牧草地	0.40
落葉樹林	0.60
針葉樹林	0.80

3.2 現場適用事例

本マットは、誰でも素早く施工ができ、かつブルーシートと比べ長期間法面・斜面の表面を保護できるため、日本各地で本マットを使用した工事が行われている。以下に抜粋した4件の現場適用事例を示す。

a) 鉄道沿い法面保護工事

豪雨被害を受けた鉄道沿いの法面保護の工事において、地形に合わせて柔軟に敷設できること、散水のみで硬化する簡易施工性が評価されて、施工された（写真-4）。

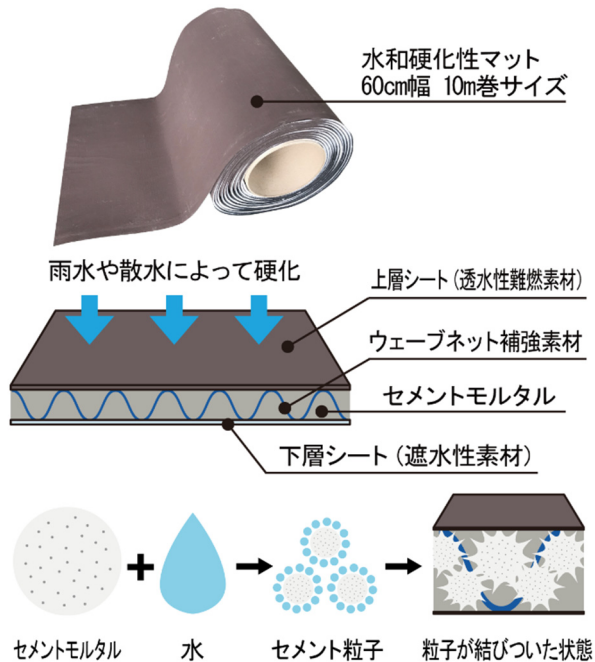


図-2 水和硬化性マットの構造と硬化のイメージ図



写真-4 鉄道沿い法面保護工の施工前後の状況

b) 民家隣法面保護工事

豪雨被害を受けた民家に隣接する法面保護工事において、a)と同様の理由により施工された（写真-5）。施工から1年9ヶ月経過しているが、今のところ下層シート直下の土の侵食は確認されていない。



写真-5 民家隣法面保護工の施工前後の状況

c) 素掘側溝排水路補強工事

太陽光発電施設敷地内のパネル周辺および素掘りした排水路の補強に用いられた。本マットは柔軟性に富み、整形が不十分な素掘り地形にも容易に追従して敷設が可能である。転圧や型枠を要せず迅速な施工が可能であり、仮排水路としての活用にも適していることが確認された。施工後は、マット表面での雑草の発生がほとんど見られず、維持管理の手間が軽減された。また、マット内部を通じて雨水が浸透・排水されることで、排水機能が良好

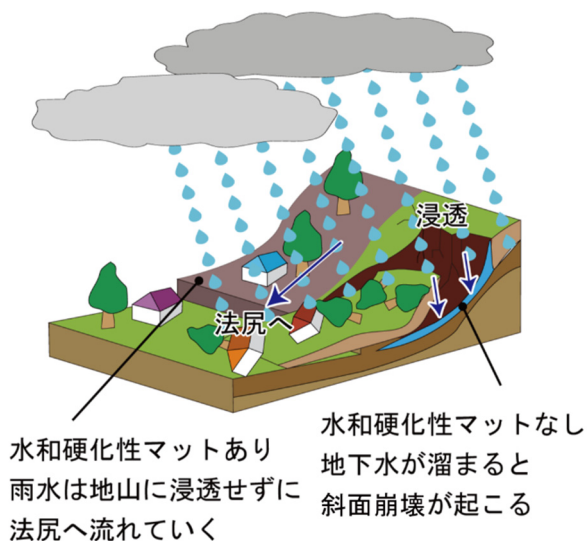


図-3 水和硬化性マットによる斜面崩壊発生の抑制

であることが確認された。これらの結果から、河道閉塞を生じた崩壊発生後に設置される仮排水路としての利用も有効であると考えられる。(写真-6)。



写真-6 素掘側溝排水路補強工事の施工後の状況

d) 水路周辺補強・防草対策工事

ある地域の自治会が管理する水路法面では、年3回の除草作業が行われていたが、住民の高齢化に伴って除草作業が困難かつ危険であったため、水路法面の補強と防草を目的として本マットを敷設した(写真-7)。一般市民でも簡単に敷設できる施工簡便性と防草効果が高く評価された。



写真-7 水路周辺補強・防草対策工事の施工前後の状況

4. 法面養生への水和硬化性マットの適用

4.1 適用の背景

本工事は、ある河川（B川と称す）に対し、時間雨量50mmに対応可能な機能を確保するため、既設護岸を撤去の上、河川護岸の再整備を実施する工事である。

本現場では鋼管杭の施工に必要な掘削を行うが、掘削後の法面は河川の高水位(H.W.L)より下位になるため、河川増水時に河水による法面工の洗堀の恐れがある。したがって、法面の養生が必要となる。その養生に水和硬化性マットが採用された。以下、その工事例の概要を述べる。

4.2 設計・施工プロセスと供用後の状況

4.2.1 設計プロセス

本工事は鋼管杭天端が現況地盤よりも低い場合、鋼管杭の施工には現況地盤の掘削と既設護岸の撤去が必要となる。施工前は既設石積護岸の存在により河川増水時の水による洗堀を防止していたが、既設護岸が無くなると、河川増水時に洗堀による土砂流出が発生する可能性がある。そのため、設計に盛り込まれていない掘削法面の養生の検討をすることになった。

養生方法としてはブルーシート、モルタル吹付け、水

和硬化性マットによる養生が考えられたが(表-2)、河川増水時の流速に耐えられる耐久性の高い構造であるこ

表-2 法面養生方法の比較評価

養生方法	ブルーシート	モルタル吹付け	水和硬化性マット
使用機械	人力施工が可能	吹付け用のポンプやコンプレッサーが必要	人力施工が可能
コスト	1m ² 当り 3,367 円 評価：○	1 m ² 当り 19,035 円 評価：×	1 m ² 当り 12,757 円 評価：△
施工性	事前の材料搬入が可能。運搬が容易であるため、施工性が良好	ラス網の設置等の下準備が必要。モルタルは吹付け日に搬入する必要があるため緊急時の施工は困難、施工性は悪い	事前の材料搬入が可能。人力で材料の運搬が可能であるため、施工性が良好
耐久性	強風や降雨の影響を受けやすく、河川水位の上昇による水の影響を非常に受けやすい	強風や降雨、河川水位の上昇に伴う水の影響を受けにくく、長期的な法面養生が可能	強風や降雨、河川水位の上昇に伴う水の影響を受けにくい、長期的な法面養生には適さない
撤去性	撤去は容易	撤去するにはブレーカーや電動ビックが必要であり、撤去が困難。撤去後、モルタル殻が発生	撤去は容易
評価	不可	2	8

※点数一覧 ○…2 △…1 ×…0

ブルーシート評価：耐久性×のため、不可とした

と、鋼管杭設置後に法面を追加掘削する場所があるため撤去しやすい構造であること、法面の背後に民家が存在していることや増水期に近いことから掘削後の速やかな法面養生が求められること、他工法よりも比較的安価であること等を総合的に検討した結果、水和硬化性マットを使用した法面養生が採用されるに至った(写真-8)。

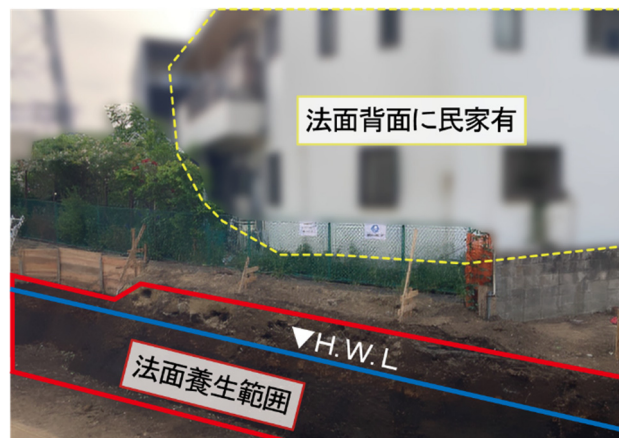


写真-8 高水位(H.W.L)と法面養生範囲

4.2.2 施工プロセス

本マットは、使用前は柔軟なため、法面の凸凹に応じて設置が可能で、散水によりセメント分の水和反応が進行し硬化する。また、1巻（10m巻）が29.0kgと比較的軽量なことから人力施工が可能であるうえ、水和硬化するため素掘り側溝の補強や法面の小段排水や縦排水などの水による侵食が発生しやすい箇所にも施工が可能である。また、撤去も容易で、施工機械を使用することなく人力で撤去が可能のため施工性が良い。また、マットの構造上、構成材料の分別が容易であることから資源の再生利用が可能であり、環境に配慮した仕様・構造となっている。

水和硬化性マット敷設の作業手順(1)～(3)は下記の通りである。

- (1) **敷設場所の簡易整形**：マットが敷設しやすくなる程度に掘削した法面の表面をバックホウのバケットで整形する。マットは、使用前は柔らかいため、法面の多少の不陸に追従して敷設が可能である。
- (2) **水和硬化性マットの敷設**：マットを敷設場所に設置する。マットは軽量であるため一人で運搬が可能である。マットを敷設場所に展開し、アンカーピンで端部とマット同士の重ね合わせ部分を固定する。重ね合わせ幅は50mmとする。
- (3) **散水**：マット表面に散水を行い、水和硬化を開始させる。散水はマット全体に内部セメントモルタル層まで染み渡るように満遍なく行い、10～20分間隔で計3回行う。なお、雨水でも硬化するため、緊急でない場合は、散水作業を省き、雨天になるまで静置して自然に水和硬化させることも可能である。

4.3 供用後の状況

結果として、130m²の範囲を2日で施工を完了した。これはモルタル吹付けと比較すると、半分以下の日数であり、本マットを用いた法面養生は施工性が良好な施工方法であることが実証できた。また、小規模工事の場合は、表-3に示すようにモルタル吹付けに対して本マットの施工コストは低いことから、施工コストの縮減に大きく寄与している。本マットの施工・撤去・処分費を含む総費用はモルタル吹付け工法のそれに比べて約16%低減できた。ただし、厚みが5mmであるため、モルタル吹付けと比較すると、硬化しても強度は高くなく、1年以上の長期的な洗掘を受けるような場所の養生には適さないと考えられる。

なお、本工事内で水和硬化性マットによる法面養生完了後に最大1時間降水量47mmを含む、24時間降水量270mmの豪雨が発生したが、水和硬化性マットで養生した法面の崩壊や、水位の上昇によって水流の影響を受けた場所について確認を行った結果、H.W.L付近の水位が約10時間程度継続したものの水和硬化性マットの剥離などはなく、法面の養生としての役割を果たしていることを確認した（写真-9）。加えて、上記の豪雨発生後

の安全パトロール時に本マットによる法面養生の安定性が確認され、他の法面の養生も行うことになった。結果として、豪雨発生時に法面養生としての有効性を発揮し、

表-3 コストと日数の比較表

養生方法		水和硬化性マット (厚さ5mm)	モルタル吹付け (厚さ100mm)
材料	コスト	9,600 円/ m ²	3,600 円/ m ²
	日数	63m ² /日 (5人/日)	12m ² /日 (5人/日)
施工	コスト	1,667 円/ m ²	8,333 円/ m ²
	日数	63m ² /日 (5人/日)	12m ² /日 (5人/日)
撤去	コスト	140 円/ m ²	600 円/ m ²
	日数	150m ² /日 (1人/日)	147m ² /日 (機械施工※)
運搬	コスト	23 円/ m ²	370 円/ m ²
処分	コスト	50 円/ m ²	775 円/ m ²
合計		11,480/ m ²	13,678/ m ²

※国土交通省 施工パッケージ 4-1 吹付け法面取壊し 参照
(0.45m³バックホウ、運転手、普通作業員、土木一般世話役)
水和硬化性マット：本工事の実績値より算出
モルタル吹付け：国土交通省施工パッケージ型積算基準⁷⁾により算出



写真-9 大雨後の水和硬化性マット養生箇所状況

ゲリラ豪雨等の異常気象に対しての事前対策として有効であることが確認された。

したがって、水和硬化性マットを使用した法面の養生方法は、長期間にわたり恒常的に流水の影響を受ける箇所では洗掘保護に対する課題が残るものの、ゲリラ豪雨による土砂災害への対策や、台風の影響で緊急の法面養生が必要である場所、梅雨、台風などによる水害の危険性がある場所など、短期的かつ緊急時の法面養生には適している。

近年、地球温暖化による気候変動によってゲリラ豪雨の発生頻度が増加している。今後、温室効果ガスの排出が高いレベルで続く場合、ゲリラ豪雨の発生頻度が今世紀末には20世紀末の2倍以上になるとされている⁸⁾。今回施工を行った水和硬化性マットによる法面養生は気象災害のリスクが年々高まる中で有効な災害防止の手段の一つと示すことができた。

5. まとめ

本報告では、気候変動により頻発する土砂災害に対する応急的な法面養生手段として開発された水和硬化性マットの技術的特徴と現場適用事例をもとに、この水和硬化性マットが、ブルーシートと同等の簡便な施工性を持ちながら、セメントモルタルの水和硬化により高い耐久性を兼ね備えており、緊急性と耐久性の両立が可能な資材であることを述べた。得られた知見を以下のようにまとめる。

- 1) 迅速な施工性により、敷設面積 130m² の法面をただか 2 日で養生でき、モルタル吹付け工法の工期と比較して半分以下の工期で完了した。
 - 2) 小規模工事におけるコスト削減効果が確認され、施工・撤去・処分費を含む総費用はモルタル吹付け工法に比べて約 16% 低減できた。
 - 3) 降雨に対する耐久性については、最大 1 時間降水量 47mm、24 時間降水量 270mm の条件下でも損傷はみられず、十分な機能を発揮していることを確認した。
 - 4) 水和硬化性マットは、環境負荷の低減にも寄与し、人力での施工・撤去が可能な軽量性と分別のしやすさから、再資源化の観点でも優れた点を有している。
- 以上より、突発的な大雨に対しては短期かつ緊急の法面保護対策としては有効であり、今後も増大する災害リスクに対峙して、災害復旧に有力な技術の一つであると考ええる。なお、長期間にわたる恒常的な洗掘への対応等の技術的課題は残るものと認識している。

謝辞

本研究開発を遂行するにあたり、山口県産業技術センターには、3D プリンタ設計に係る技術支援をいただいた。徳山工業高等専門学校土木建築工学科・桑嶋啓治教授には粗度係数測定試験および現場性能評価試験でご協力いただいた。多機能フィルター(株)には水和硬化性マット性能試験にご協力いただいた。(株)トクヤマおよび(株)トクヤマエムテックには水和硬化性マットに使用するセメントモルタルの開発にご協力いただいた。また、

やまぐち夢づくり産業支援ファンド投資事業有限責任組合には新株予約権付社債の引受という形でご支援を賜り、中小企業団体中央会ならびに公益財団法人やまぐち産業振興には補助金によるご支援をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：令和 6 年の土砂災害，<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/content/001877375.pdf>（参照 2025.6.6）。
- 2) 鈴木素之，太田岳洋，大和田正明，河内義文，楳原京子，片岡 知，西山健太，西川智樹，平成 30 年 7 月豪雨による山口県南東部の地盤被害の状況，第 61 回地盤工学シンポジウム，地盤工学会，pp.117-124，2018。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：砂防ニュース，<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001718260.pdf>（参照 2025.6.6）。
- 4) 国土交通省：国土交通白書 2020，第 1 節 我が国を取り巻く環境変化，3 就業状況の変化，<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1113000.html>（参照 2025.6.6）。
- 5) 桑嶋啓治，荒木功平，福田靖，上俊二，中村廣義，中村考宏，岡崎和保，鈴木素之：水和硬化性マットを用いた災害への取り組み，第 63 回地盤工学シンポジウム論文集(Web)，地盤工学会，2022。
- 6) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版），p.367，2009。
- 7) 国土交通省：施工パッケージ型積算基準，<https://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekkei/pdf/240508sekioupackage2.pdf>，p.42（参照 2025.6.6）。
- 8) 環境省：日本の気候に起きている変化とその影響（2024 年版），https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/topics/20240924-topic-61.html（参照 2025.6.6）。

（2025 年 6 月 16 日 受付）

Case Study on the Application of a Hydration-Hardening Mat for Temporary Slope Protection Work

Hiroyoshi NAKAMURA¹, Takahiro NAKAMURA², Tyoji MURATA³, Kazuyasu OKAZAKI⁴, and
Motoyuki SUZUKI⁵

1 Representative Director, Nakamura Construction Co., Ltd.

2 Managing Director, Nakamura Construction Co., Ltd.

3 General Manager, Environmental Business Development Department, Nakamura Construction Co., Ltd.

4 Executive Officer and General Manager, Headquarters Division, Nakamura Construction Co., Ltd.

5 Professor, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University

Abstract

This study evaluated the effectiveness of a hydration hardening mat as a temporary slope covering material for the initial response to increasingly frequent sediment-related disasters. As a result, the construction period was less than half that of the conventional mortar spraying method, total cost was reduced by approximately 16%, and durability was confirmed during heavy rain without detachment. Furthermore, the mat's lightweight structure enables manual installation and removal, reducing on-site labor, and its recyclability contributes to environmentally friendly. Although it is not suitable for long-term protection against continuous water flow, it has proven to be a highly effective short-term countermeasure against sudden events such as torrential downpours and typhoons.

Key words: Slope protection, Temporary slope stabilization, Riverbank improvement