

ソイルセメント・ジオグリッド・EPS を用いた 緩衝構造による落石防護擁壁補強例

A example of rockfall protection walls reinforced with absorbing system using soil cement, geo-grid, and EPS

鈴木健太郎*, 保木和弘**, 牛渡裕二***, 小室雅人****, 岸徳光*****

Kentaro Suzuki, Kazuhiro Hoki, Yuji Ushiwatari, Masato Komuro and Norimitsu Kishi

*修(工), (株) 構研エンジニアリング防災施設部, 主幹 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1)

**修(工), (株) 構研エンジニアリング技術管理部, 副主幹 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1)

***博(工), (株) 構研エンジニアリング防災施設部, 技師長 (〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1)

****博(工), 室蘭工業大学大学院准教授, もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

*****工博, 室蘭工業大学大学院特任教授, もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

Key Words: soil cement, absorbing system, rockfall protection walls, reinforcement

キーワード: ソイルセメント, 緩衝構造, 落石防護擁壁, 補強

1. はじめに

山間部や海岸線沿いの急崖斜面に近接する道路には、落石や土砂崩壊などの自然災害から人命や道路を守るため多くの落石防護構造物が建設されている¹⁾。また、近年、集中豪雨等の異常気象や大地震、積雪寒冷地における凍結融解作用などによる斜面の劣化によって、設計当初よりも落石規模が大型化している事例が報告されており、落石防護構造物の耐衝撃性の向上が求められる箇所も数多く存在している。

このような状況下において、著者らの研究グループでは落石防護擁壁の耐衝撃性向上を目的に、図-1 に示すソイルセメント等を用いた三層緩衝構造を提案している^{2),3)}。三層緩衝構造は、落石エネルギー $E = 1,200 \text{ kJ}$ 程度までは優れた緩衝性能を有していることを実証実験にて確認した⁴⁾。さらに、設計実務の参考資料として、設計手順や緩衝工適用範囲についても計算事例を踏まえて紹介している^{5),6)}。しかしながら、三層緩衝構造の採用事例は少なく、施設管理者あるいは設計者が実現場へ本工法を適用する際の参考資料が

不足している現状にある。

このような観点から、本論文ではソイルセメント等を用いた三層緩衝構造を広く現場に普及させる環境を整えることを目的として、写真-1 に示すような施工事例のほか、施工手順や構造細目等の紹介を行うこととした。また、施工時の創意工夫も併せて報告する。

2. 標準断面および施工事例概要

図-2 に本工法の標準断面を示す。本工法は落石防護擁壁用補強工であり、その必要高さは落石衝突高さに落石径程度の余裕高を考慮する必要がある。図は必要高さを満足する場合のほか、満足しない場合の適用例も併せて示している。

表-1 および図-3 には 2 件の施工事例^{7),8)} に関する現地状況や災害要因、採用理由および概略断面図を、写真-2 には施工時の状況写真を示す。

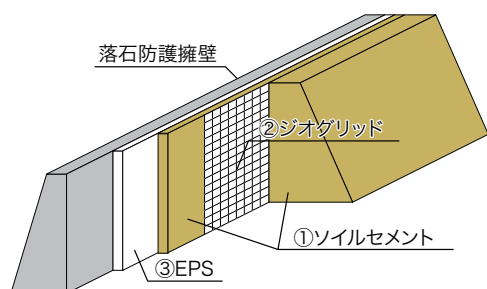


図-1 提案工法



写真-1 現地写真⁸⁾

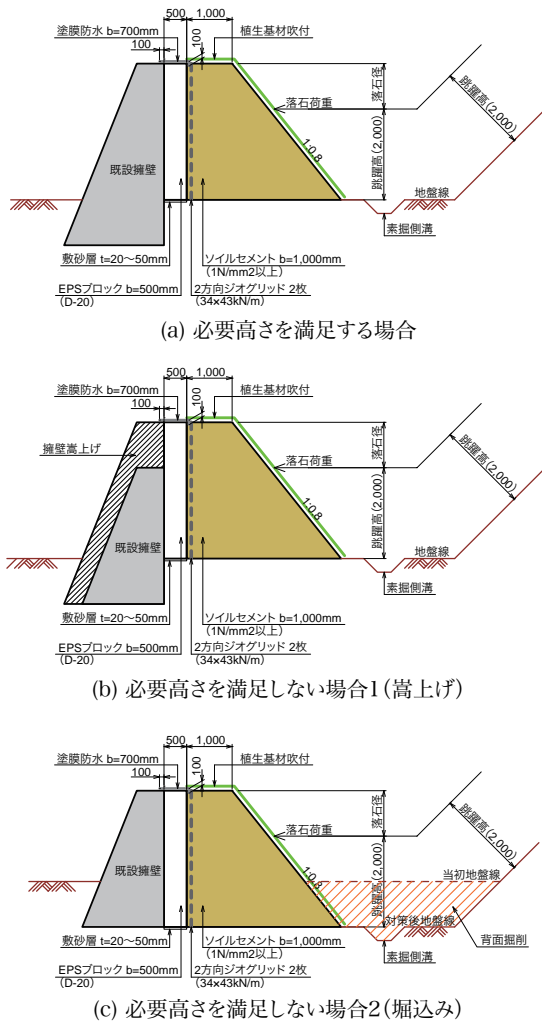


図-2 標準断面

3. 施工準備

3.1 ソイルセメント材料の確保

本工法を採用するにあたっては、ソイルセメント母材となる土砂材料の確保が重要となる。以下に準備段階におけるソイルセメント材料の注意点を示す。

- 使用土量を確保する（現地発生土の流用が可能であれば安価かつ建設廃材発生抑制に寄与できるが、困難な場合は購入土も検討する）。
- 文献9)に示すように、一般的な盛土材料としての条件を満足させる必要がある。
- 文献10)より、粒径は施工性・品質に大きな影響を与えないことが確認されているが、最大粒径は敷均し層厚の1/2程度とすることが望ましい。事例Aでは100mm以上の岩塊・礫は除去して使用している。
- 粘性土を用いた場合には、既往の研究¹¹⁾から砂を用いる場合よりもソイルセメントのひび割れの発生を抑制し、開口幅も小さくなる傾向にあること、落石衝撃力が小さくなり貫入量も抑制されること等の知見が得られている。これより、粘性土が含まれていても盛土材料としての条件を満足する場合には活用可能である。

3.2 ソイルセメント強度の確認

本緩衝システムに即したソイルセメントを構築するため、技術開発時に得られた知見を以下に示す。

- 本工法におけるソイルセメント強度は、室内実験¹²⁾にて0.2MPa（EPSブロックの降伏圧縮強度）以上の圧縮強度が必要であることを踏まえ、実規模実験⁴⁾では1.0MPaを目標強度と設定している。この実規模実験結果を踏まえ、本工法における最低目標強度は1.0MPa（=1.0N/mm²）以上とする。
- 参考までに技術開発時におけるソイルセメントの製作状況を記載すると、ソイルセメント母材は実験結果のばらつきを考慮し、均一性を確保するために比較的粒度分布の広い砂を用いた。また、最適含水比に調整したうえで早強ポルトランドセメントにより製作した。なお、含水比調整のために使用する水はソイルセメントの固化・硬化を妨げるものであってはならない¹⁰⁾。
- 室内実験時のセメント添加量は50、100、150kg/m³とし、最低目標強度1.0MPaが得られる100kg/m³で各種実験を実施した。また、実規模実験⁴⁾では実施工を想定し浅層混合処理工法時の配合設計¹³⁾に準じ、室内と現場の混合精度の差や施工時の気温などを考慮して、配合するセメント量を規定値の40%割増とした。なお、技術開発時には室内実験および実規模実験ともに1~3MPaであったため、使用セメント量の抑制を考慮し3MPa程度に抑えることが望ましい。ただし、上記添加量で3MPa以上の強度発現が確認された場合にはこの限りではない。
- 施工時のセメント攪拌は、事例Aではフェノールフタレイン溶液を用いて混合状況を確認した。

3.3 施工ヤード

ソイルセメントの攪拌・運搬・構築は、施工箇所に近接した位置にて行うことが望ましい。施工時には現地発生土の置き場あるいは土砂採取箇所からの土砂運搬計画を検討する必要がある。

4. 施工手順

4.1 準備工

- 土砂置場、ソイルセメント攪拌混合ヤードの確保、丁張設置、施工機械および材料搬入の準備を行う。
- 攪拌混合ヤードからソイルセメント築造場所までの運搬路を確保する（必要に応じて敷き鉄板を設置）。

4.2 床付け・EPSブロック設置

- ソイルセメント築造場所の雑草等を除去し、床付け面を水平に仕上げる。
- EPSブロック（基本形状：縦1.0m×横2.0m×厚0.5m）を既設壁面に沿って配置する。

表－1 本工法の施工事例概要

項目	事例 A ⁷⁾	事例 B ⁸⁾
場所	・北海道開発局帯広開発建設部管内の国道	・北海道開発局函館開発建設部管内の国道
現地の 特徴	・海沿い ・道路脇には最大比高 180 m 程度の斜面が連続 ・斜面法尻から現道までのクリアランスは 5 m 程度	・海沿い ・道路脇には最大比高 80 m 程度の斜面が連続 ・斜面法尻から現道までのクリアランスは 10 m 程度
既往 施設	・道路沿いには重力式落石防護擁壁が設置済 ・落石防護擁壁は全高 2.5 m, 突出高 2.0 m	・道路沿いには重力式落石防護擁壁が設置済 ・落石防護擁壁は全高 4.0 m, 突出高 3.0 m
災害 要因	・近年の現地踏査により, 平均径 0.5 m の転石が認められた。露岩部からは崩壊過程で最大径 1.0 m 程度に分離する落石が確認された ・落石は単位体積質量 2.6 ton/m ³ の花崗閃緑岩 ・落石発生源の比高は 75 m 程度であり, リバウンドを考慮した落石エネルギーは $E = 900$ kJ 程度	・近年の現地踏査により, 1 辺が数 m 規模の不安定岩体が確認された。不安定岩体からは径 1.0 m の落石が飛散し, 現道に到達するおそれが想定された ・落石は単位体積質量 2.7 ton/m ³ の粘板岩 ・落石発生源の比高は 35 m 程度であり, リバウンドを考慮した落石エネルギーは $E = 400$ kJ 程度
採用 経緯	・上記落石条件により既設擁壁を照査した結果, 許容値を満足しないことから既設擁壁補強あるいは新たな落石対策工が必要となった ・関係機関との協議により「単年度施工」, 「騒音・振動禁止」, 「定置網漁期間以外の施工」という施工条件が追加されたことから, 既設擁壁を取り壊さない工法を採用する必要が生じた ・落石条件および施工条件より, 当箇所の対策工として「第 1 案 落石防護補強土壁」, 「第 2 案 本工法」が抽出された (いずれも既設擁壁存置) ・落石条件, 施工条件および経済性を考慮し, 本工法が採用された	・不安定岩体は切土により個別処理する計画であるが施工完了までには時間を要することから, 飛散する落石を対象とした落石対策をまず施工した ・上記落石条件により既設擁壁を照査した結果, 許容値を満足しないことから既設擁壁補強あるいは新たな落石対策工が必要となった ・落石条件より, 当箇所の対策工として「第 1 案 落石防護補強土壁 (既設擁壁取り壊し)」, 「第 2 案 本工法 (既設擁壁存置)」が抽出された ・落石条件および経済性を考慮し, 本工法が採用された
対策 工法	・既設擁壁の高上げ・増し厚 ・ソイルセメント等を用いた緩衝構造による擁壁補強 (現地発生土を使用) ・ソイルセメントの盛土勾配は 1 : 0.5 ・現場管理におけるソイルセメント強度は 3 MPa	・ソイルセメント等を用いた緩衝構造による擁壁補強 (現地発生土を使用) ・ソイルセメントの盛土勾配は 1 : 0.8 ・現場管理におけるソイルセメント強度は 1 MPa

- (c) 不陸を調整しながら EPS ブロックを既設壁面に仮止めし, 緊結金具を設置する。
 (d) ソイルセメント敷均し転圧作業の進捗に応じ, 上記 (b), (c) の作業を繰り返す。

4.3 ジオグリッド設置

- (a) ジオグリッドの下端をアンカーピン等で固定し, 施工中の移動を防止する。
 (b) EPS ブロック部の仮固定には差し枠を使用し, 進捗に応じ上部へ引き上げる。

4.4 ソイルセメント製作

- (a) 事前に使用するバックホウの擦切り土量を計量しておき, 規定量を攪拌混合ヤード (ベッセル等) に投入する。
 (b) 混合ヤードに規定量の固化材 (セメント) を散布し攪拌混合を行う。
 (c) 土砂と固化材が十分混ざり合ったことを確認した後, 練混ぜ水を投入し再度攪拌混合を行う。
 ※事前に試験練りを実施し, 攪拌混合の標準時間を定めておく。

4.5 ソイルセメント運搬

- (a) ダンプトラック等にソイルセメントを積み込み, 所定の場所へ運搬する。

- (b) 遠距離の場合はシート等で覆いを行う。

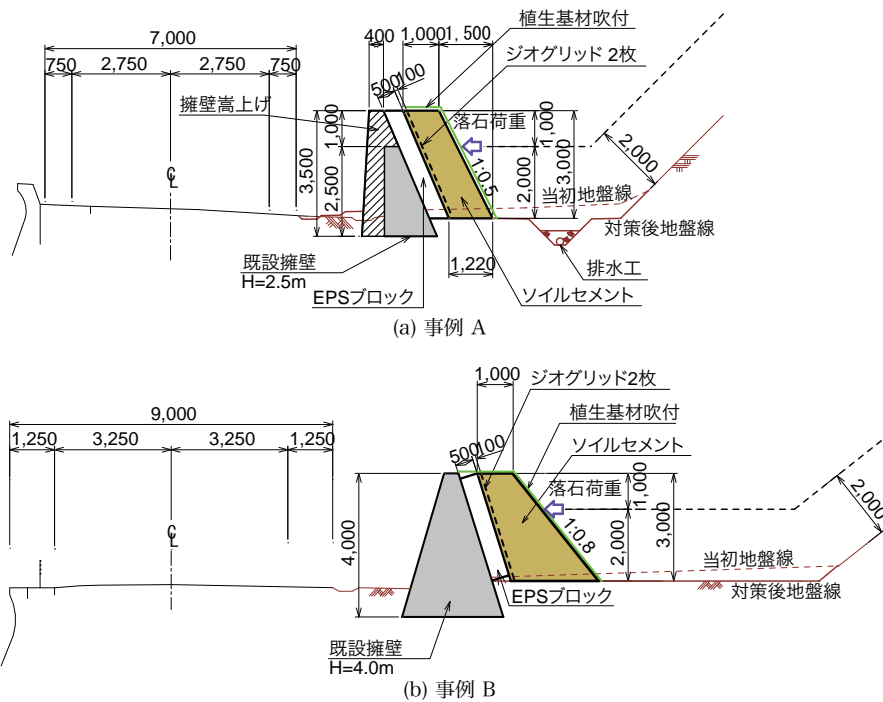
4.6 ソイルセメント敷均し転圧

- (a) 1 層の仕上り厚が 300 mm 程度^{9),10)} になるようソイルセメントをバックホウで敷均し, 振動ローラ (ハンドガイド式 0.8 ~ 1.1 ton) で転圧を行う。
 (b) 各層の法肩は 300 mm 程度余分に巻き出しを行い, 転圧不足を防ぐ。
 (c) ジオグリッドと EPS ブロック間 (100 mm) のソイルセメント打設については踏固めと突き棒等を使用した人力施工とし, ジオグリッドの配置を乱さずに十分に締固められるように留意が必要である。

※上記の作業を計画高まで繰り返す。なお, 締固めは盛土工の基準⁹⁾ に準じ, 試験施工により所定の転圧回数, 転圧速度, 衝撃加速度等を設定する方法がある。

4.7 法面整形・表面保護

- (a) 天端に仕上げ用の丁張を設置する。
 (b) 法面バケットを装着したバックホウで削り取り整形を行う。
 (c) 法面整形後, ラス張りおよび植生基材吹付を行う。



図ー3 施工事例の断面図

5. 細目

5.1 ソイルセメント

ソイルセメント厚は実規模実験に用いた厚さ以上とし、1.0mを最小厚とする。既設擁壁が勾配を有している場合には最小厚が1.0m未満とならないようにソイルセメント天端幅を設定する必要がある。また、ソイルセメント最急勾配について以下に示す。

- ソイルセメントの勾配は、クリアランスが小さい場合や後述する表面保護工としての植生の良好な繁茂環境が確保可能である場合等は1:0.5を最急勾配⁹⁾とするが、後述の植生による表面保護工の維持管理を考慮し、植生の適用勾配として1:0.8程度の緩勾配¹⁴⁾とすることが望ましい。
- なお、実規模実験⁴⁾における試験体では、勾配を考慮しないモデルとしていることから、ソイルセメントの最小厚さ、表面保護、地震時安定性、施工方法を検討のうえ、直勾配としても耐衝撃性能は確保される。

5.2 ジオグリッド

技術開発時に用いたジオグリッドを以下に示す。

- ジオグリッドは落石の貫入抑制効果およびソイルセメント割裂破壊抑制効果を踏まえ、ポリプロピレンの合成高分子性シートで二方向に強化されたタイプを使用した。品質管理強度は $34 \times 43 \text{ kN/m}$ (製品基準強度 $27 \times 37 \text{ kN/m}$)、目合いは $28 \times 33 \text{ mm}$ である。なお、実規模レベルの実験を別途行い、耐衝撃性能を確認することで他製品も使用可能と考えら

れる。

- ジオグリッドをEPSブロック側のソイルセメント内部に配置することで、ソイルセメントの割裂を拘束する効果が発揮¹⁵⁾される。なお、ソイルセメントとEPSブロックの境界に配置すると施工性が向上するものの、ソイルセメントとジオグリッドの付着が小さく緩衝性能が十分に発揮されないため注意を要する。また、本緩衝システムは落石エネルギーによらず1タイプ⁴⁾のみであることから、現時点ではソイルセメント内の芯かぶり100mmの位置にジオグリッドを配置する。
- 実規模実験⁴⁾では、二方向に強化されたジオグリッドを2枚重ね合わせて番線等で固定し、それぞれ直交させて展開配置させている。
- ジオグリッドは幅3.5m、ロール長30mとなっていることから、配置寸法により図-4(a)(b)のような接合が必要となる。接合方法は文献16), 17)を参考とし、図-4(c)(d)に示すように以下の方法によるものとした。なお、事例AではCリング、事例Bでは重合せ長を確保して配置している。
 - (a) 接合位置を極力一致させない。この場合には、200～300mm程度の重合せ長を確保する。
 - (b) 接合位置が一致する場合には、Cリング等による接合を行う(1目合い以上重ね合わせ)。

5.3 EPSブロック

技術開発時に用いたEPSブロックを以下に示す。

- EPSブロックは文献3)に規定された製品を使用しており、設計単位体積重量は 20 kg/m^3 (型内発泡法、



(a) EPS ブロック設置状況⁷⁾



(b) ジオグリッド設置状況⁸⁾

写真-2 施工状況写真

発泡倍率 50 倍) である。EPS ブロックについても、ジオグリッド同様に耐衝撃性能を確認することで他製品も使用可能と考えられる。

- 実施工時には、EPS ブロックを擁壁背面勾配に沿って配置する。なお、事例 A は高さ調整のために現場にて熱線ワイヤーで切断して設置している。
- EPS ブロックはポリスチレン樹脂を原料とするため、長期間に亘って紫外線に曝露するとその表面が黄色く変色することがある。そのため、露出部分は紫外線劣化対策として表面保護を行うものとする。EPS ブロックの表面保護としては、ボックスカルバートなどの目地部に適用¹⁸⁾するスプレー防水(ウレタン吹付、 $t=5\text{ mm}$)や土羽等がある。
- EPS ブロックを設置する際は、基盤工として 20 ~ 50 mm 程度の敷砂層を設ける。また、曲線配置時は必要に応じて加工ブロックや砂による間詰めにて対応する。なお、EPS ブロック相互は緊結金具で一体化する³⁾。

5.4 ソイルセメント表面保護工

ソイルセメントの表面保護工について以下に示す。

- ソイルセメントの露出部分は凍結融解抵抗性に乏しく、寒冷地における凍害劣化が懸念される。
- 技術開発時は形状や混合精度の誤差を極力防止する目的でソイルセメント材料に砂を使用しており、ソイルセメント表面が比較的平滑であったため、表面保護工として超速硬化ウレタン防水材 ($t=2\text{ mm}$) 吹付を施した^{4),19)}。

- 実施工時は礫質土等の混入により多少の凹凸が避けられないことから、超速硬化ウレタン防水材が適用困難となる場合も想定される。そのため、現時点では一般的なソイルセメントの表面保護工として実績の多い厚層基材吹付工を提案する。
- 事例 A の設計では文献 14) より、ソイルセメント土壌硬度を“30 mm 以上”，風化程度を“新鮮”と想定し、厚層基材吹付工(有機質系)を 60 ~ 100 mm として計画した。

6. 施工時の留意点

6.1 ソイルセメント

ソイルセメント施工時の留意点¹⁰⁾を以下に示す。

- ソイルセメント施工時には、降雨時の施工中止基準等を設ける等、ソイルセメント母材の含水比管理を慎重に行う必要がある。
- 暑中施工時において、打設面が著しく乾燥する場合は、必要に応じて散水を行い養生シート等で覆う。
- 寒中施工は極力実施しないことが望ましいが、実施する場合には初期に凍結しないよう十分に保護し、特に風を防ぐ必要がある。氷点下にさらされる場合は混練水の加熱、保温養生等の対策を講じる。
- セメント添加量設定では、適切な含水比の管理が必要となる。

6.2 EPS ブロック

EPS ブロック施工時の留意点を以下に示す。

- 事例 A では、EPS ブロック設置後、豪雨により施工現場に雨水が流入し、EPS ブロックの脱落が生じた。文献 3) にあるように、EPS ブロックの保管・設置時には気象条件も考慮のうえ施工計画を立案する必要がある。なお、復旧時はコンクリートボンド等により既設擁壁に EPS ブロックを固定し脱落防止を図った。
- 事例 A のように、周辺の雨水が流れ込むことが想定される場合には、EPS ブロックの施工中・施工後の浮き上がり対策として、排水工を整備する必要がある。
- 施工時期が古い既設擁壁は落石衝突面が傾斜していることが多く、事例 A では EPS ブロックの現場切断作業が生じた。事例 B は基礎工および天端処理を工夫し、切断作業が生じないよう計画した。
- その他の留意点としては文献 3) に記載されているが、特に仮置き時はネットやシートによる飛散防止・紫外線保護などが挙げられる。

6.3 その他

本工法は、落石が衝突した場合には、ソイルセメント、ジオグリッドおよび EPS ブロックに損傷が生じ

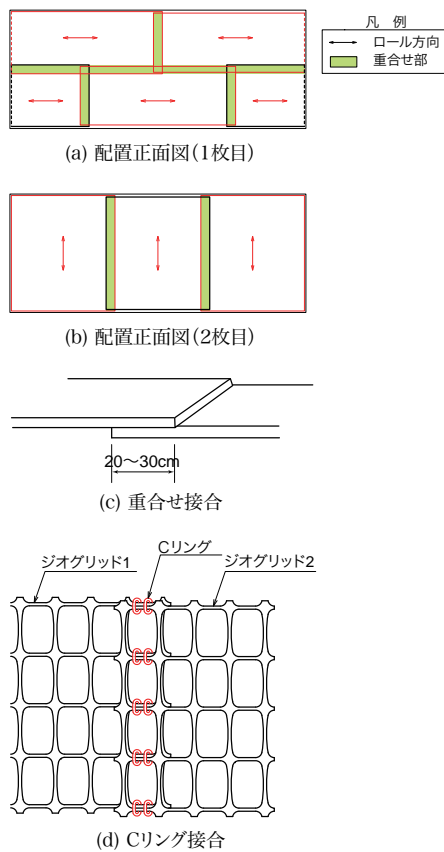


図-4 ジョグリッド概要図

る。落石エネルギー等により損傷状況は異なるが、損傷した場合には各材料の適宜交換が必要となる。

7. まとめ

本論文では、ソイルセメント等を用いた三層緩衝構造を広く現場に普及させる環境を整えることを目的として、施工事例のほか、施工手順や構造細目を紹介した。

謝辞

本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成制度における政策課題解決型技術開発（平成23～25年度）により実施した研究成果をもとに行ったものである。また、本工法の施工事例の収集には北海道開発局および工事関係者の方々に多大なるご支援を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2017
- 2) 新技術情報提供システム：
http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=HK-160017
(閲覧日：2019年9月24日)
- 3) 発泡スチロール土工法開発機構：最新 EDO-EPS 工法，pp.20, 107-131, 204, 2016.12
- 4) 牛渡裕二，小室雅人，前田健一，保木和弘，岸徳光：ソイルセメントを用いた緩衝システムの模型実験および実規模擁壁に関する衝撃応答解析，構造工学論文集，Vol.60A，pp.973-982，2014.3
- 5) 鈴木健太郎，川瀬良司，小室雅人，岸徳光：ソイルセメント緩衝工を設置した落石防護擁壁の安定照査検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.637-642，2017.7
- 6) 牛渡裕二，西弘明，栗橋祐介，岸徳光：落石防護擁壁に用いるソイルセメント製緩衝工の適用範囲に関する一検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.643-648，2017.7
- 7) 北海道開発局：一般国道336号広尾町タンネソ法面防災外一連工事，2017
- 8) 北海道開発局：一般国道228号福島町松浦災害防除外一連工事，2017
- 9) 社団法人日本道路協会：道路土工盛土工指針，pp.54-67, 147, 209-231，2010.4
- 10) 財団法人砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント設計・施工便覧，pp.37-51, 77, 92-93, 125，2011
- 11) 保木和弘，牛渡裕二，小室雅人，岸徳光：異なる母材を用いたソイルセメントの緩衝性能に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.739-744，2013.7
- 12) 菅原慶太，牛渡裕二，小室雅人，岸徳光：表層材ソイルセメント強度を変化させた落石防護擁壁用三層緩衝構造の緩衝性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.763-768，2013.7
- 13) 一般社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第4版），2012
- 14) 社団法人日本道路協会：道路土工切土工・斜面安定工指針，pp.214-221，2009.6
- 15) 牛渡裕二，保木和弘，栗橋祐介，岸徳光：落石防護擁壁用三層緩衝構造のジオグリッド位置が緩衝性能に及ぼす影響に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.541-546，2014.7
- 16) 一般財団法人土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル（第二回改訂版），2013.12
- 17) 財団法人土木研究センター：建設技術審査証明報告書（建技審証第0901号）pp.114-115，2006.3
- 18) 北海道開発局：道路設計要領第1集 道路，pp.1-8-16，2019.4
- 19) 鈴木健太郎，栗橋祐介，川瀬良司，岸徳光：三層緩衝構造におけるソイルセメントの長期耐久性向上策に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.499-504，2014.7