

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

蜂の巣状のシートで盛土を守る

地震などさまざまな自然現象から鉄道構造物を守ることは、鉄道の安全を保つうえで大切なことです。近年、これまでに経験したことのない大きな自然現象も発生しており、その必要性が増加しています。このことは、道路や宅地など幅広く用いられている盛土についても同様であり、とくに盛土は土で作られた構造物であることから、地震対策と合わせて、降雨に対する対応が重要とされています。そこで、地震と降雨の2大自然外力に対応可能な盛土の対策として、蜂の巣状のシートとセメントや鋼材料からなる棒状の補強材を組み合わせた工法を紹介します。



小島 謙一
Kenichi Kojima
鉄道地震工学研究センター
地震動力学研究室
室長
【専門分野】地盤工学



佐藤 武斗
Taketo Sato
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室
研究員
【専門分野】地盤工学

はじめに

土を締め固めて台形状に構築した「盛土」(図1)は鉄道のみならず、道路や宅地などでも多く用いられている構造物です。盛土は材料が入手しやすく、比較的廉価であること、補修がしやすいなどの理由から、古くから適用されています。鉄道においても、在来線の構造物の70~80%を占めるなど、現在でも非常に多く供用されています。

近年、巨大地震やゲリラ豪雨、突風など、これまでにないような自然現象が多く発生しており、これらの事象に対する鉄道構造物の安全性が課題となっています。たとえば、「耐震対策」という言葉をよく耳にされることがあるかと思いますが、盛土に限らず土木

構造物において、地震に対して強くするという事は、重点項目の一つとなっています。また、子供のころに砂場で時間をかけて一生懸命作った砂山が、夜中に降った雨のため翌日には大きく壊れてしまった体験をされた方も多いかと思います。この現象でもわかるように、土を材料にしている盛土は降雨に弱いことが特徴としてあげられます。これは、コンクリート構造物など他の土木構造物にはない、盛土特有の事象になります。

これまでも、兵庫県南部地震(1995年)や新潟県中越地震(2004年)、東北地方太平洋沖地震(2011年)などの巨大地震において、鉄道盛土に被害が発生しています。とくに、新潟県中越地

震では台風にともなう降雨が続いた後に地震が発生したため、二つの自然現象が被害を拡大させた「複合災害」として考えられています(図2)¹⁾。このように、盛土の安全性を保った

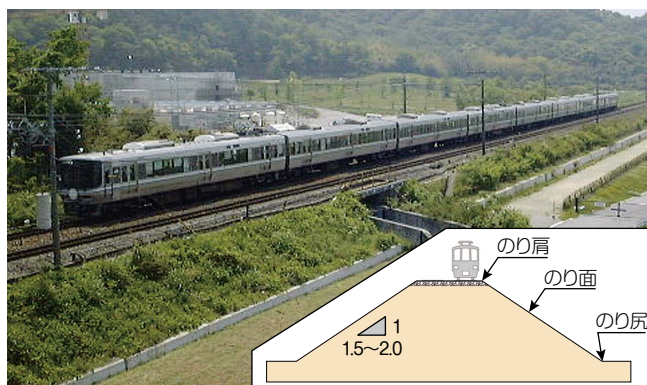


図1 盛土



図2 新潟県中越地震における盛土の被災



図3 ジオセル(展開時)

表1 盛土のり面工の例²⁾に加筆

主なり面工の例	機能					
	遮水	表層の浸食防止	表層のすべり抑止	表層の滑落防止(凍上)	土砂流出防止(湧水)	緑化
張ブロック	◎	◎	○	○	○	—
遮水・防草シート	◎	◎	—	—	—	○
格子枠	—*	◎	◎	◎	◎**	◎***
岩座張	—*	◎	○	○	○	—
植生	—	○	—	○	—	◎

*完全遮水ではないが遮水効果はあり, ** 枠内はぐり石など, *** 枠内は植生工など
◎:高い機能を有する, ○:機能を有する, —:機能を有しない

めには、降雨と地震の両方の自然現象に対して対策を施すことが、非常に重要なこととなります。

降雨と地震から盛土を守る

降雨で盛土が壊れるのは、盛土内に水が浸透していくことにより強度低下が起こることが要因となります。そのため、降雨に対しては雨を浸透させない対策を基本に行っています。とくに盛土は斜面部分(のり面)の面積が大きいので、この部分からの浸透を抑制する対策をとってきました。これがのり面工といわれるもので、構造・形式の異なるものが数種類あります(表1)²⁾。のり面工の設置により、盛土内への雨水の浸透を抑制し、また、のり面表面を流れる雨水による浸食も防ぐことができ、降雨に対する盛土の安定性を高めることが可能となります。

降雨と比較して、地震から盛土を守るのは容易ではありません。高架橋の柱であれば、鉄板やシートを巻くなど

の対策を講じていますが、盛土に対してはそのような表面から実施するような対策がありません。そのため、盛土の耐震対策としては盛土内部を強くする対策が開発されてきました。セメントや鋼材料による杭(棒状補強材)を盛土の中に構築して、盛土内を補強する工法です。この工法により、盛土自身を強化することができます。また、この工法は盛土そのものを強くすることから、地震のみならず降雨にも効果があることが、開発を進めていくにつれてわかってきました。

蜂の巣状のシートと棒状補強材で盛土を強くする

これまでは、前述のような抑止対策が、それぞれ必要に応じて講じられてきました。棒状補強材での盛土内部の強化は地震にも降雨にも効果がありますが、棒状補強材の反力としてのり面に何らかのプレートを構築しなければならない点、大崩壊は抑制できるもの

の部分的な小さな崩壊は止めることはできない点が課題でした。

このような課題を克服すべく、のり面工と棒状補強材を組み合わせた新しい盛土の耐震・耐降雨対策を開発しました。開発にあたっては、連続的にのり面全体を覆い、全体的な浸食から部分的な浸食まで対応できること、また棒状補強材の反力としての支持が可能であること、さまざまな施工条件に対して対応可能なことを主眼に検討しました。その結果、新しい耐震・耐降雨対策として、のり面工にジオセルとよばれる立体的な蜂の巣状(セル構造)の高密度ポリエチレン製シート(図3)を採用し、棒状補強材と組み合わせた工法としました³⁾。図4に概要図を示します。盛土ののり面にジオセルを敷き、盛土の中には棒状補強材を構築しています。ジオセルは棒状補強材と補強材の頭部で、支圧版とよばれるコンクリートの版と連結工とよばれる鉄筋により定着され、一体化がなされています。本工法の特徴を次に示します。

- (1) ジオセルの個々のシート(14.25m × 2.56m)はそれと同等な強度を有するバンドで締結する構造であり、さまざまな大きさのり面を連続的に覆うことが可能です。
- (2) 個々のセルを活用して任意の大きさの棒状補強材頭部のプレートが構築可能です。また、必要に応じ

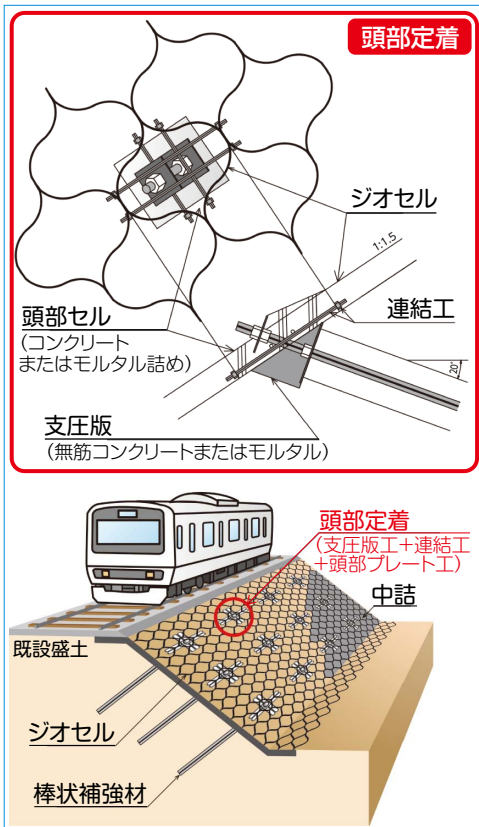


図4 概念図

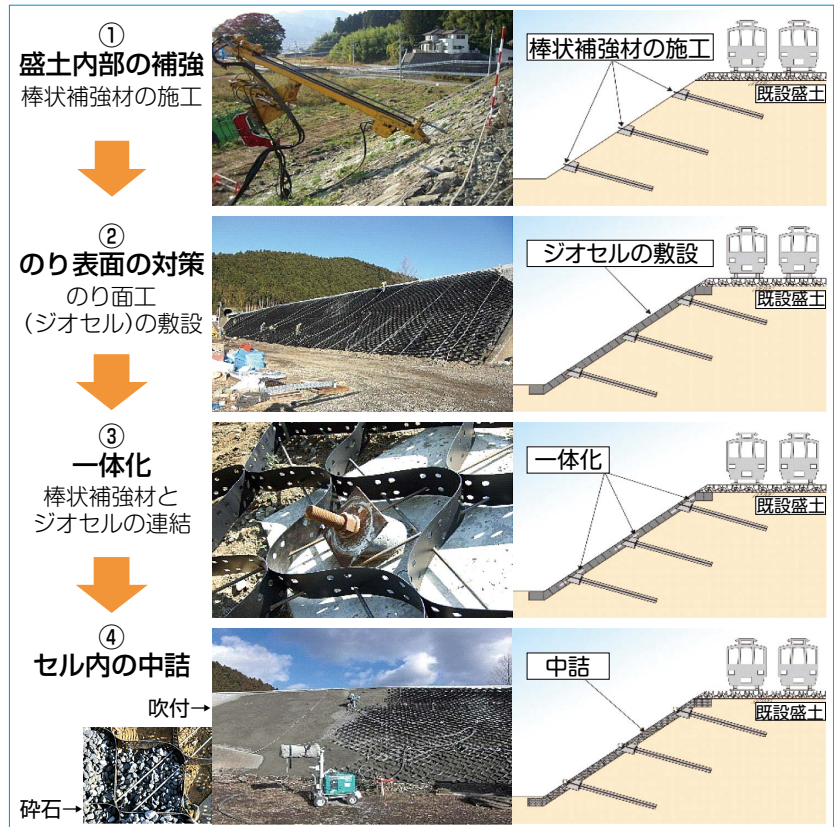


図5 施工の流れ

て、後からでも任意の箇所に棒状補強材を追加することもできます。

(3) ジオセルは軽量・コンパクトであり、現場での運搬、保管が容易です。また柔軟性もあることから、不陸のある面に対して追従することができ、のり面成形などの事前処理が不要となるなど、施工性にきわめて優れています。

(4) ジオセルは蜂の巣状のセル型立体構造であり、通常のシート材料と比べて剛性があります。

(5) セルの内部は空洞であることから、任意の中詰材の選定が可能であり、遮水効果の高いものから、植生を用いることによる緑化まで、多様な構造が採用できます。つまり、メンテナンスの省力化や機能向上、環境問題まで、ニーズに応じた対応ができます。

このように、本工法はこれまでの対策工の機能を保持しつつ、より多くの機能の追加と現場の条件にフレキシ

ブルな対応が可能な構造としたものです。

図5は本工法の施工手順を示したものです。最初に、現在、使われているままの状態ののり面に対して、棒状補強材を施工します(図5①)。棒状補強材の長さや径、施工の間隔は求められる補強の程度や現状で盛土が有している性能によって異なり、これは設計計算によって定量的に求めることができます⁴⁾⁵⁾。また、のり面工(ここではジオセル)を設置する前に、棒状補強材の施工を行うことから、その施工によってジオセルを損傷させる心配がなく、また現場状況に応じた急な位置の変更も容易に可能となります。棒状補強材の施工が終わると、ジオセルをのり表面に敷設します(図5②)。この場合、盛土上部までは図6にあるように折りたたんだ状態で運び、それを下方にカーテンを開くように展開するだけで施工が可能であり、少数数で、容易に施工が行えます。シートとシートの接続は図7に示すようにバンドを用い

ます。機械などが不要でかつ高強度の接合が可能であり、弱点箇所がなくジオセルの強度の連続性を保つことが可能となります。図8にジオセルの接続部の一軸の引張試験結果を示しますが、接続部では破断せず、ジオセル母材の強度(製品保証強度:1700kN)以上の強度を有していることがわかります⁶⁾。ジオセルの敷設が終わると、棒状補強材とジオセルの連結を行います(図5③)。本工法では棒状補強材とジオセルの一体化が構造的に重要ポイントとなっていますので、非常に大切な部分となります。棒状補強材との接合は鉄筋や鉄板を用い、一つまたは複数のセルとつなげます。ジオセルは蜂の巣状の構造となっており、連続的に個々のセルがつながっていますので、接続するセルを比較的任意に設定することができ、現地での状況に合わせたフレキシブルな対応が可能となります。最後に棒状補強材と接続した箇所以外の中詰を行います(図5④)。前述のよ

うに求められる機能に応じて、さまざまな工種の適用が可能です。このように、本工法は設計計算による効果を定量的に評価・設定が可能であると同時に、現場条件やニーズに合わせた組み合わせや対応が可能という柔軟性を持ち合わせた工法です。



図6 折りたたんだ状態のジオセル



図7 ジオセルの接続

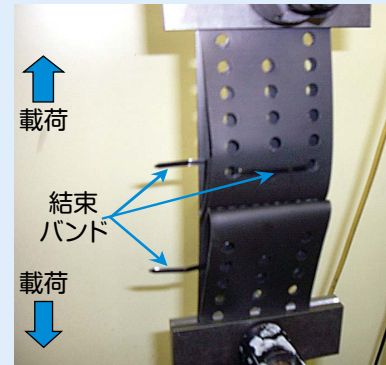
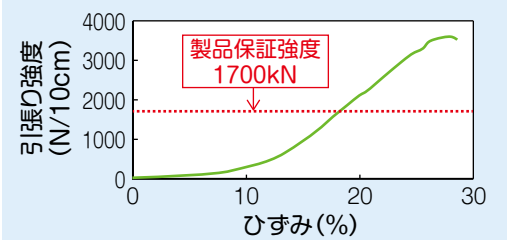


図8 一軸引張試験結果

実際に鉄道盛土を守る

本工法の適用事例について示します。図9 (a), (b)

は東北地方太平洋沖地震(2011年)で多くの構造物が被災した三陸鉄道における事例です。地震・津波を受けたものの、大きな損傷がなかった盛土の復旧に対して適用されました³⁾⁷⁾。適用した盛土は、岩を張り付けたのり面工(岩座張(表1))が施されており、こののり面工が被災しました。復旧の検討を行うにあ



(a)完成時(赤崎駅付近)

(b)現在(盛駅付近)

図9 三陸鉄道における復旧事業への適用

たって、現状ののり面工の撤去が難しいこと、鉄道のみならず同時に行われている他の復旧工事の関係から、コンクリートなどの土木材料が不足・高騰していることなどから、施工性、経済性の観点を考慮し本工法が採用されました。(a)は施工が終了し、開業した時の状況です。(b)には施工から4年経過した状況を示します。変状なども発生することなく、健全な状態が保たれています。また、当現場では中詰に吹き付け工を採用しましたが、雑草などが根付くことなく、メンテナンスの軽減にも寄与していることがわかります。

おわりに

降雨と地震という盛土の2大災害に対して、ジオセルという蜂の巣状のシートと棒状の補強材を組み合わせることによる新しい対策工法を開発しました。とくに、現地の盛土の条件・状態

に対して、フレキシブルな対応ができるように配慮しており、今後、さまざまな場面での適用が可能であると考えています。関係各所からの意見などをフィードバックし、さらなる改良を進めていきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 松丸貴樹, 石塚真記子, 館山勝, 小島謙一, 渡辺健治, 篠田昌弘: 2004年新潟県中越地震で被災した鉄道盛土の概要と降雨浸透流解析, ジオシンセティクス論文集, Vol.21, pp.187-194, 2006
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物), 丸善出版, 2007
- 3) 小島謙一, 佐藤武斗: ジオセルと地山補強材を併用した盛土の耐震・耐降雨補強工法, 日本鉄道施設協会誌, Vol.55, No.10, pp.752-755, 2017
- 4) 地盤工学会: 地山補強土工法設計・施工マニュアル, 丸善出版, 2011
- 5) 鉄道総合技術研究所, 複合技術研究所, ライト工業, 東京インキ: RRS工法設計・施工マニュアル(案), 2015
- 6) 原田道幸, 矢崎澄雄, 小島謙一, 横田弘一, 清川伸夫, 田村幸彦, 佐藤武斗, 伊藤正博: ジオセルと地山補強材による地山安定化工法の開発, ジオシンセティクス論文集, Vol.31, pp.23-30, 2016
- 7) 望月正彦, 野田軍治: 三陸鉄道の被害状況と復旧計画, 土木学会誌, Vo.92, No.2, 2012