

CMI 報告

生分解性プラスチックによる 鏡ボルト工

安井 成豊・寺戸 秀和・鈴木 健之

1. はじめに

トンネルを施工法によって分類すると、山岳工法、シールド工法、開削工法に大別される。このうち山岳工法は、わが国における山岳部のトンネル施工において標準的に用いられる工法で、NATM (New Austrian Tunnelling Method) という名称で呼ばれることが多い。

NATMは、施工時に確認される地山の性状に応じて適宜施工法等を見直すことができ、また、トンネル内での断面形状に対してもシールド工法に比べて柔軟な対応が可能である。さらに、一般に開削工法では施工が困難となるような土被りを有するトンネルでも、施工が可能である等の優位な点がある。

NATMの基本的な施工法は、掘削と支保工（主として吹付けコンクリートとロックボルト）を繰り返してトンネルを構築する。NATMでは、掘削後、支保工の施工が終了するまでは切羽が素掘りの状態で自立する必要がある。しかしながら、地山の性状によっては素掘り状態での切羽の自立が期待できないこともあり、このような場合は一掘進長の短縮や切羽安定対策などの補助工法による対策がとられる。

切羽安定対策は、一般に切羽近傍の安定を確保するための対策を総称したものであり、対象箇所によって「天端補強工」、「鏡補強工」、「脚部補強工」に分類できる。現在、鏡補強工として用いられる工法には、核残し、鏡吹付け、鏡ボルト工がある¹⁾。当研究所では、これらのうち、鏡ボルト工を対象として新しい材料である生分解性プラスチックを利用した鏡ボルト工について研究を行っている。

なお、本報告では、本研究の方針と生分解性プラスチックを利用した鏡ボルト工の概要について述べる。

2. 鏡ボルト工の現状と課題

本研究で対象とする鏡ボルト工は、その打設長によって短尺と長尺に分類される。短尺と長尺に明確な分類はないが、前者は打設長が3～6m、後者は6mを超えるものを指すことが多い¹⁾。その施工方法は、短尺、長尺に関わらず、ドリルジャンボ等によって鏡面を適当な間隔で削孔し、鋼管やグラスファイバー系のボルトを打設するのが一般的である。

鏡ボルト工を施工する対象とその目的は、2種類に分類することができる。一方は破砕帯区間などで、鏡ボルトの縫付け効果により、切羽の崩落を防止することを目的として施工する場合であり、もう一方は、未固結地山等のように、鏡ボルトを介して注入材を注入し、鏡ボルト周辺を注入改良することにより、掘削するまでの切羽の自立性を確保することを目的として施工する場合である。このように鏡ボルト工は不良地山での補助工法として用いられているものの、以下のような課題があると考えられる。

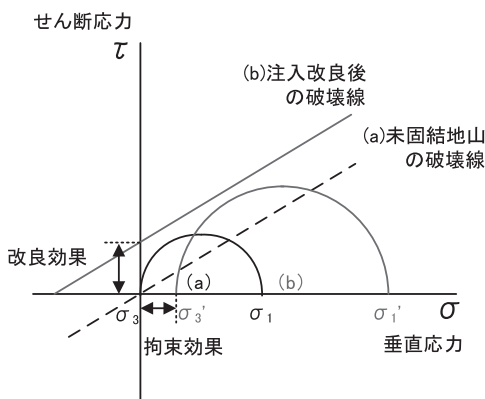
- ①鏡ボルト工の材料選定、打設長、配置などの設計方法が確立されていない。
- ②鏡ボルトはトンネル掘削と同時に除去する必要があるが、鋼管によるボルトを用いた場合、除去に要する労力が大きい。
- ③グラスファイバーによる鏡ボルト工では、トンネル掘削時の除去作業においてファイバーの飛散による作業員への影響が懸念される。
- ④鋼管およびグラスファイバーのボルトは産業廃棄物として処理する必要があるため、トンネル掘削時のずりとの分別が必要である。

鏡ボルト工の施工性や坑内環境を保全するためには、以上の課題を改善することが必要である。

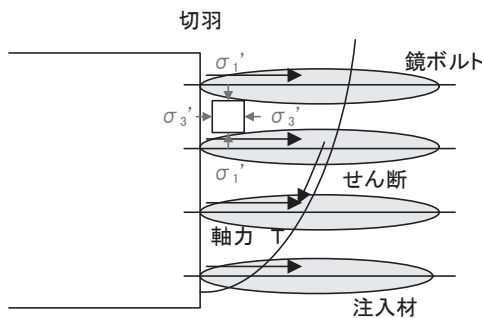
3. 研究の方針

都市部で多くみられる砂質土系の未固結地山では、**図—1 (a)** に示すような応力状態および破壊線であると想定される。すなわち、無対策で掘削すると、切羽前方に緩みが生じ、容易に破壊に達する応力状態になる。そこで、**図—2** に示すように鏡ボルト工の施工による改良効果と拘束効果によって鏡周辺の応力状態を**図—1 (b)** に示すような三軸状態とし、さらに注入改良によって地山のせん断効果を高めて破壊線

を移行させることで切羽の安定が確保できる可能性がある。特に、土砂地山のように元々の地山強度が小さい箇所に対しては、天端補強工の適用を含めて天端の緩み抑制を図りながら施工が実施されることが多いこと、大きな地圧を受ける地山とはなりにくいことから、切羽に発生する応力 (σ_1') も特殊なケースを除いては大きな値になることは想定しにくい。そのため、そのような施工条件下においては、適切な改良効果を発揮できれば、それに見合った拘束効果を発揮させることで切羽安定に必要な状態を確保できる可能性が高く、鏡ボルトそのものに高い強度や剛性を必要としない可能性も考えられる。



図一 注入改良の効果



図二 鏡ボルト工の作用効果

また、未固結地山では、一般に自由断面掘削機や油圧切削機等の掘削機械を用いて掘削作業を行う。そのため、現在多く使用されている鏡ボルト（鋼管、グラスファイバー製）を除去・切削する場合の施工性や注入材（シリカレジン等）を含む材料の産業廃棄物処理問題が生じている。

そのため、本研究では、土砂地山の切羽安定に必要なかつ十分な性能を把握するとともに、掘削時の施工性や産廃問題への対応を考慮した新しい材料を用いた鏡補強工について検討を行う方針とした。

そうした中で、従来多く使用されている鏡ボルトに比べて材料強度は小さいが、材料そのものが土壤中の

バクテリアにより分解される生分解性プラスチックを新たなボルト材料（エコボルト）とし、1日強度で1.0～1.5MPaの圧縮強度が発生する浸透性の良い生分解性の注入材（グリーングラウト）を使用することに着目した。これらの新しい材料を使用した鏡ボルト工は、切羽を早期に自立させることが可能であり、自由断面掘削機や油圧切削機等の機械での施工性が良く、ずりも産業廃棄物にならない鏡ボルト工になるものと期待される。

そこで、本研究は、要素実験や実現場における試験施工等によって、新しい材料の鏡ボルト工の未固結地山に対する適用性の検討を行うものとした。

4. 新しい材料を用いた鏡ボルト工

(1) 生分解性プラスチックの概要

生分解性プラスチック²⁾は、微生物が元々持っている分解能力を利用して造られたプラスチックであり、言い換えれば、微生物が分解可能な物質から作られた新材料のことである。

生分解性プラスチックの大きな特徴としては、上で述べたように、微生物の働きにより分子レベルまで分解し、最終的には水と二酸化炭素に分解され自然界に循環していく性質が挙げられる。しかし、生分解性プラスチックは、コストが高いため、量産体制が整えられず、ますますコスト削減が進まないといった悪循環に陥っており、なかなか普及しないということが現状である。

(2) エコボルトの概要

本研究で使用するエコボルトの特徴を以下に示す。

①表一に示すように材料の強度が低いため、自由断面掘削機や油圧切削機での掘削が容易であり、施工性が良い。

表一 強度比較

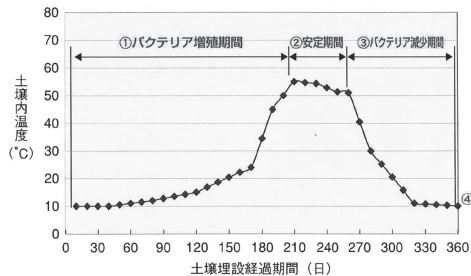
名称	引張強度 (kN)	せん断強度 (kN)
エコボルト φ 31 mm 中空タイプ	12	10
ファイバーボルト φ 30.5 mm	176.5	39.2

(エコボルト パンフレットより抜粋)

②コンニャクを製造する際に、不要となる「飛び粉」という材料と生分解性プラスチックを原料としているため、生分解性プラスチックと同様に土壤中のバ

クテリアにより分解される性質がある。

- ③バクテリアにより分解されるため、ずりを産業廃棄物として分別する必要がなくなり、コストや作業の手間が縮減される。
- ④エコボルトは1年程度の期間にて生分解される（図一3参照）。



（推定データは年平均18℃、最低気温2℃ 最高気温33℃の場合です。）

- ① 土壌内の温度が約25℃～55℃上昇する。→ バクテリアが餌を求め増える。
- ② 約55℃で安定する。→ バクテリアが必要数で安定する。
- ③ 約55℃～10℃まで減少する。→ バクテリアの餌がなくなってくる。
- ④ 土壌内の温度が約10℃を保つ。→ ボルト材は生分解され、バクテリアの餌がなくなる。
- ※ 土壌内の温度上昇＝バクテリア活動が活発＝ボルト材が生分解される。

図一3 生分解日数データの例
（エコボルト パンフレットより抜粋）

- ⑤掘削時にGFRPのようにファイバーが飛散し、作業員に悪影響を与えることもない。
- 以上のような特徴を有するため、エコボルトは、2章で挙げた鏡ボルトの課題②③④を解消することが可能な材料であるものと考えられる。

(3) グリーングラウトの概要

本研究で注入材として使用するグリーングラウトの特徴を以下に示す。

- ①グリーングラウトはバクテリアによって生分解されるため、注入して固化した土の残土処分は、一般土として処分可能である。
- ②粘性が低い（A液：100 mPa・s、B液：1.5 mPa・s）ため、浸透性が良く、広範囲かつ微細な間隙に注入が可能である。
- ③1日強度で1.0～1.5 MPaの圧縮強度が得られる（豊浦砂とグリーングラウトの重量比 85：15）。
- ④配合の選定によって瞬結から緩結まで対応が可能である（表一2参照）。

以上のような特性を有するため、グリーングラウトをエコボルトの注入材として用いることにより早期に切羽の自立性が確保できると同時に、エコボルトと共に使用することにより一般土として処分することが可能となる。

表一2 グリーングラウトの配合と特性

配合組成 400g 当り	種別	NJD-30	NJD-60	NJD-90
	A液(200g)	NJD主剤(g)	200.0	200.0
B液(200g)	NJD-G剤(g)	40.0	40.0	40
	NJD-R剤(g)	6.8	6.5	6.2
	水	153.2	153.5	153.8
ゲル時間(秒)		7~40	50~70	80~100 (MAX60分迄)
		瞬結~中結	中結~緩結	
固結標準砂(サンドゲル) 24時間後物性	一軸圧縮強度(MPa)	1.0~1.5		
	透水係数(cm/sec)	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁸		

（エコボルト パンフレットより抜粋）

5. おわりに

今回の報告では、研究の方針および生分解性プラスチックを利用した鏡ボルト工についてのみ述べたが、現在、地山と鏡ボルトの付着強度試験等を行っている。今後は、これらの試験結果を解析に用いる物性値に反映し、鏡ボルト工の最適な配置を検討するとともに、実現場にて試験施工を行い、新しい材料の鏡ボルト工の施工性や適用性を確認したいと考えている。

謝辞：本報告は、社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所と新日本開発株式会社の共同研究開発の成果である。ここに記して、本共同研究の関係者の方々に謝意を表す。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土学会：トンネルライブラリー20 山岳トンネルの補助工法、2009年9月
- 2) 生分解性プラスチック研究会：今日からモノ知りシリーズ トコトンやさしい 生分解性プラスチックの本、日刊工業新聞社、2004年8月

【筆者紹介】

安井 成豊（やすい しげとよ）
 (株)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所
 研究第一部
 次長

寺戸 秀和（てらと ひでかず）
 (株)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所
 研究第一部
 技術課長

鈴木 健之（すずき たけゆき）
 (株)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所
 研究第一部
 研究員