

生分解性ポリマーの地盤改良用注入材への応用

日油技研工業株式会社 正会員 ○松下 安克 平田 昭彦
 東洋大学 加賀 宗彦 丸山大輔 堀口隆史 相澤彰宏
 東鉄工業株式会社 元東洋大学 富山直樹

1. はじめに

1.1 ポリマーの自然界における生分解

ポリマーの自然界における生分解は、ポリマー鎖の切断による低分子化から始まる。低分子化には機械的な作用や熱、光、空気中の酸素や水分によっても生じるが、一般的なポリマーでは、その進行は非常にゆっくりしたものである。これに対して一部のポリマーでは、微生物が低分子化に関与しており、この場合、進行は物理的な低分子化と比べてはるかに早く、さらに分解が化学的に見て特異的に進行する。このようなものを一般に生分解性ポリマーと称している。以下に生分解性ポリマーの分解プロセスを示す(Figure 1)。

自然界では水及び酵素が通常存在し、分解には多くの場合これらが関わっている。従って、天然高分子の多くは加水分解性である。直接加水分解を受けないポリマーでも自然界で酵素または酵素により誘導される活性反応種(パーオキシドやラジカル)により、ポリマー鎖中の弱い結合部分が選択的に攻撃を受け、開裂を受ける。ポリビニルアルコール等のポリマーにおいては、酸化・脱水素と加水分解の組み合わせにより主鎖の開裂が生じる。ある程度まで低分子化したフラグメントが微生物の菌体内に取り込まれ、最終的に二酸化炭素と水などに無機化される。

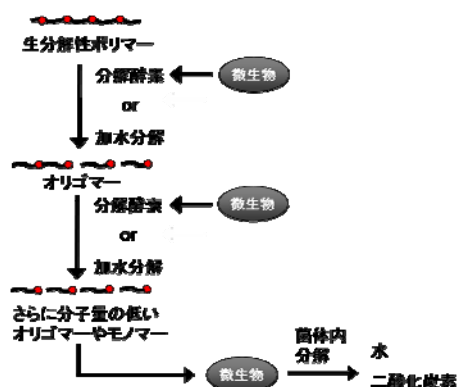


Figure 1 ポリマーの生分解プロセス

1.2 山岳トンネルにおける掘削技術の現状と課題

現在、わが国の山岳トンネルにおける掘削技術は、1970年代後半にヨーロッパより導入された新オーストリア工法(New Austrian Tunneling Method(NATM))が主流となっている。このNATMに基づくトンネル開発において、切羽天端の崩落防止及び地山の緩み防止に効果の高い補助工法として知られているAll Ground Fastening(AGF)工法が導入されている。

AGF工法は、鋼管と注入材によってトンネル周辺地山を先行補強する長尺鋼管フォアパイリングの一種である。この長尺鋼管内部にウレタン系あるいはセメント系注入材が導入され、地山内部を固結させることにより切羽天端の安定化を実現する(Figure 2)。しかしながら、このように改良した地山の掘削時に生じる土は、樹脂等不要物が混入していることから、産業廃棄物として扱われるのが現状である。掘削した土を有用物として再利用するための手段に、生分解性ポリマーの使用が挙げられる。生分解性ポリマーは、先に述べたように地中に生存する微生物の働きにより水、二酸化炭素にまで分解する性質を示すポリマーである。注入材に生分解性を付与することが出来れば、前述の課題の改善が期待される。

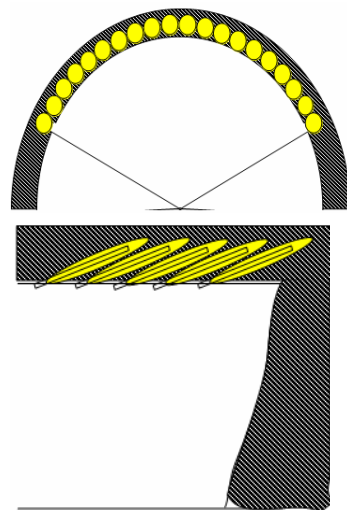


Figure 2 薬液注入による切羽の安定化

キーワード 薬液注入 地盤改良材 ポリビニルアルコール 生分解 NATM AGF 工法

連絡先 〒350-1107 埼玉県川越市市場新町 21-2 日油技研工業株式会社 TEL 049-234-6168

2. ポリビニルアルコールの地盤改良用注入材への応用

2.1 ポリビニルアルコールの硬化メカニズム

生分解性ポリマーを地盤改良用注入材へ応用するには、初期は注入することが可能な低粘度の液体で、何らかの添加剤を混合することで容易に硬化する原料を選定する必要がある。生分解性ポリマーは天然系、化学合成系を含めると数多くあるが、液体から固体を容易に制御することが可能なものとなると、その数はかなり限定される。特に地盤改良用注入材においては、コスト面及び環境面からポリマーを溶解する媒体として有機溶媒等を使用することは好ましくない。そこで本研究では、水溶性を示し、適当な架橋剤

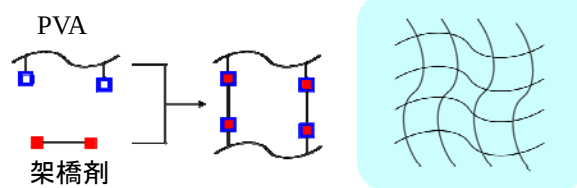


Figure 3 PVA の硬化メカニズム

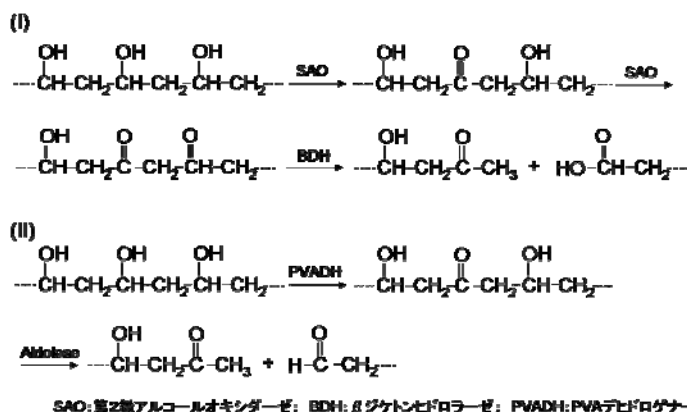
を混合することで容易に硬化することが可能な生分解性ポリマー、ポリビニルアルコール(Polyvinyl alcohol(PVA))に着目した。PVA はフィルムや接着剤、成形材料等、既に工業的に実用化されている。PVA の硬化メカニズムを Figure 3 に示す。PVA はポリマーの側鎖に水酸基等の反応基を有しており、適当な架橋剤を混合することで、ポリマー鎖間を架橋することが可能である。また、反応基の種類や濃度等の異なる種々のポリビニルアルコールが開発されており、硬化するまでの反応性や、強度特性を考慮した際、その選択性の自由度も比較的高い。PVA は反応が進行することで、ポリマー主鎖間が架橋され、全体として網目構造を構築する。この網目構造を形成することで、PVA は液体から形状維持が可能なゲル状の固体となる。このような性質を示すことから、軟弱な地盤に注入した際には、PVA がゲル内に砂を保持するように地盤を固結させ、切羽の安定化が実現し、且つ地盤内の微生物により分解される新たな注入材としての可能性が期待される。

2.2 ポリビニルアルコールの生分解反応

PVA は、唯一主鎖が C-C 結合よりなる生分解性の水溶性ポリマーである。自然界でポリマーの分解に関与できる酵素、結合形式及び分解物の末端基を Table 1 に示す。PVA の生分解は酸化・脱水素酵素と加水分解酵素またはアルドラーゼによる機構が報告されている。Scheme 1 に酵素分解反応機構を示す。各酵素による分解を受け主鎖が解裂し PVA は低分子化する。このように PVA の低分子化は、上記の網目構造が分解していくことを意味し、形状維持能が低下していくと考えられる。

Table1 生分解に関与する酵素とポリマー及び分解物の関係

分解に関与する酵素	ポリマー	結合形式	分解物の末端基
酸化還元酵素 デヒドロゲナーゼ オキシダーゼ ヒドロラーゼ	ポリビニルアルコール (PVA)	$\begin{array}{c} \text{---C---C---C---} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{---C=O} \quad \text{---H} \\ \text{---COOH} \end{array} \right.$



Scheme 1 PVA の酵素分解反応機構

3. 本研究の意義

本研究では、PVA の生分解性地盤改良用注入材への応用を目的とし、その第一歩として、PVA により改良し

た土の強度変化を明らかにする。強度変化はアレニウスの式に基づき予測を行った。PVA ポリマー側鎖には加水分解性の官能基を有しているため、経時的に分解を受け、改良した土の強度は低下していくと考えられる。今回は、生分解性を評価する上でのベースとなるこの加水分解による劣化挙動を評価することで、今後の研究における指標としたいと考えている。改良した土の強度における経時変化など、注入材としての適性評価は同じ本講演会で発表する。