

## CMI 報告

## 後注入方式「PG ボルト」の 開 発

亀岡 美友・横沢圭一郎・篠原 雅人

### 1. はじめに

現在、山岳トンネルにおけるロックボルトの施工では、一般的に、ボルト挿入に先立ち定着材を孔内に充填する先充填方式が採用されている。この方式では、孔荒れの状況によりモルタル充填ホースを孔底まで挿入できない場合には自穿孔方式を用いて、ロックボルトが本来目指すべき全面定着を確保していた。これに対して、PG ボルトは、安価な中実ボルトを用い、強風化岩や土砂地山のような地質状況において必要な定着力を確保するために、ボルト孔周辺地山に対する定着材の圧入が可能である。さらに、ウレタン系定着材ではなく、セメント系定着材を用いて後注入方式のPG ボルト（パッカ & グラウトボルト）を開発した。

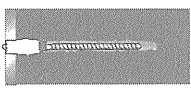
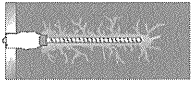
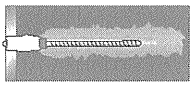
なお、PG ボルトは、当研究所が設立した新技術開発研究会内のトンネル地山補強研究部会として、株式会社エムシーエム、(株)ケー・エフ・シー、電気化学工業株式会社、東海ゴム工業株式会社と共同で研究・開発した成果である。

### 2. PG ボルトの特徴

PG ボルトは、設置が簡単なパッカで確実に口元をシールし、ボルトに取付けた注入管を用いて、圧力管理により定着材の注入を実施するものである。これは、従来の後注入方式で用いられている基本技術を利用したものであるが、新たに開発したパッカを組込むことで、口元におけるシール性を向上させている。

また、後注入方式に適する定着材を新規に開発し、ボルト孔内および周辺地山に対して注入を行うことで、表-1に示すように、ロックボルト孔内の完全充填のみならず、周辺地山への圧入効果が期待できる。

表-1 期待される効果

| 対象地山       | 期待される効果   | 概念図   |
|------------|---|---|
| 比較的良好な山    | 定着材をボルト孔内に完全充填することにより、ロックボルト本来の全面定着を確保することができる。   | <br>完全充填       |
| 多亀裂岩盤・強風化岩 | 定着材をボルト孔内に完全充填するのみならず、周辺地山に注入することで、ロックボルトに必要な定着力を確保するとともに、ボルト孔周辺地山を一部改良することにより、トンネル内空変位量の抑制に対して、より大きな効果を発揮することができる。         | <br>周辺地山への割裂注入 |
| 土砂地山・砂層・礫層 | ボルト孔周辺地山に対して定着材を注入することにより、ロックボルトに必要な定着力を確保するとともに、ボルト孔周辺地山を一部改良することにより、一般的な先充填方式では困難であるとされている土砂地山において、ロックボルトを有効に機能させることができる。 | <br>周辺地山への浸透注入 |

### 3. 施工方法

#### (1) 施工手順

PG ボルトの施工手順を図-1に示す。従来の後注入方式と同様であるが、穿孔する孔径は、施工性およびパッカ本体の構造を考慮して、φ60 mm を標準とする。

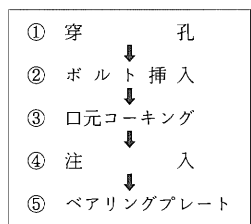


図-1 施工手順

#### (2) ボルト挿入

図-2に示すように、注入管とエア抜き管をあらかじめ設置した中実ボルトを孔内に設置する。エア抜き管は、注入作業における定着材の戻り確認も可能となる。地山状況により自穿孔ボルト（中空ボルト）を選定する場合は、注入管のみを設置し、ボルト本体をエア抜き管として利用する。

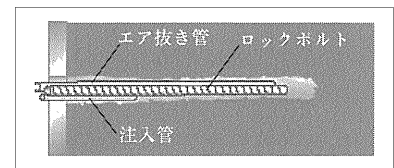


図-2 ボルト挿入

#### (3) 口元コーキング

図-3に示すように、従来のコーキングチューブとコーキング用布との組合せに比べて取付けが簡単であり、かつ確実な口元シールが可能な写真-1に示す「ワンタッチパッカ」を設置する。

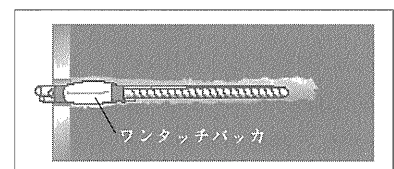


図-3 口元コーキング

このパッカは、発泡ウレタンにより、定着材が硬化反応

するまでのボルト保持と、定着材注入時の圧力保持を行うものである。

ワンタッチパッカの構造を図-4

に示すが、標準仕様は、55~80 mmの孔径に対応可能であり、1本で50 cm程度の口元シール長が確保できる。

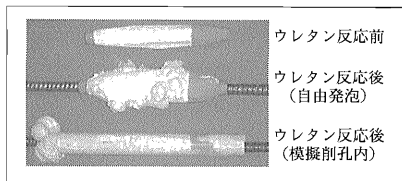


写真-1 ワンタッチパッカ

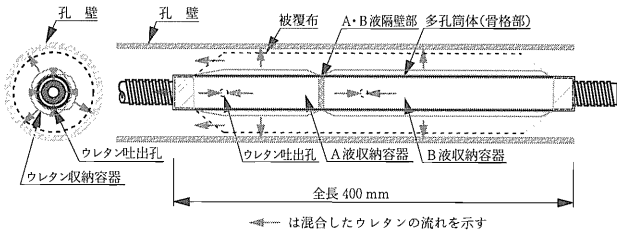


図-4 ワンタッチパッカの構造

#### (4) 注 入

##### (a) 定着材

PG ボルトでの標準定着材は、図-5 に示すように高い初期強度（材齢 24 時間で 10 N/mm<sup>2</sup> 以上）と所定の流動性を有するプレミックスモルタルの「デンカ P モル」（商品名）である。

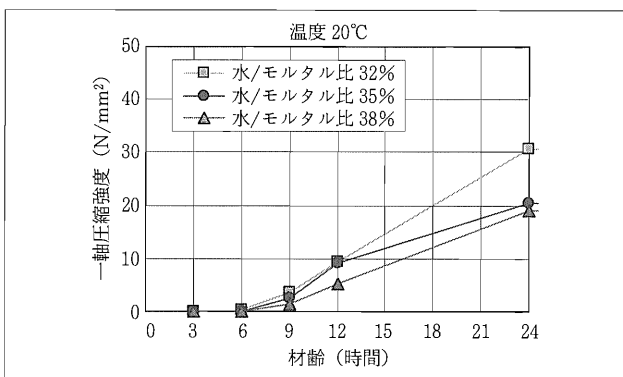


図-5 ホモゲルの一軸圧縮強度

この定着材は、圧送後に適度な可塑性を有するため（可塑化時間 15 分以内）、材料分離やダレが少なく、周辺地山への逸走防止を図ることが可能である。なお、可塑状態とは、写真-2 に示すように、再度圧力かけることで圧送が可能な状態であり、硬化とは異なる。

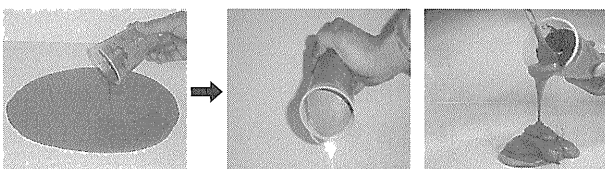


写真-2 「デンカ P モル」の流動性

##### (b) 注入システム

PG ボルトは、孔内への完全充填だけでなく、周辺地山

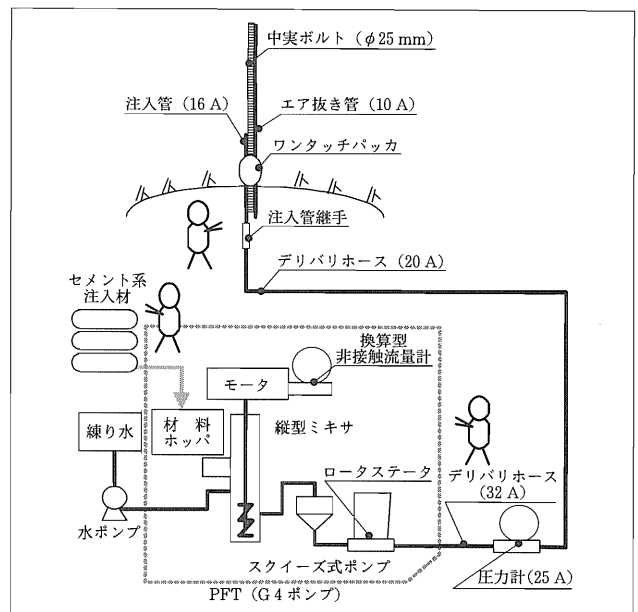


図-6 注入システム

への圧入効果を期待するため、図-6 に示す注入システムにより、エア抜き管からの定着材の戻りを確認したうえで、圧力管理により注入を行う。

ただし、定着材の逸走により、戻りが確認できない場合などを想定し、併せて量管理も行う。

#### 4. おわりに

PG ボルトは、先充填方式ではロックボルトの施工が困難であったトンネルで採用されるなど、地山内への圧入可能という特徴から、主に地山等級 D I ~ D II 相当の岩盤、および土砂地山において施工実績を増やしつつある。

また、この技術は、ロックボルトに限定されるものでなく、後注入方式により施工される補助工法への適用が可能であると考えており、貫通する際に坑口部を補強したボルトや、崖錐部での脚部補強ボルトとして採用された実績もある。

トンネル地山補強研究会としては、PG ボルトの技術を広く公開し、本技術の有効性を理解していただくことが重要であると考えている。

##### [筆者紹介]

亀岡 美友 (かめおか よしとも)  
社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所 技師長

横沢 圭一郎 (よこざわ けいいちろう)  
社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部長

篠原 雅人 (しのはら まさと)  
社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部主任研究員