

第VI部門

山岳トンネル (10)

2023年9月15日(金) 16:20 ~ 17:40 VI-16 (広島工業大 五日市キャンパス三宅の森Nexus21 806)

[VI-960] ロックボルト モルタル充填可視化システムの開発 Development of automatic measurement instrument rock bolt grout volume for on-site visualization.

*坂根 一聡¹、齊藤 賢吾¹ (1. フジモリ産業株式会社)

*Kazuaki Sakane¹, Kengo Saito¹ (1. FUJIMORI SANGYO CO.,LTD.)

キーワード：山岳トンネル、NATM、ロックボルト、モルタル充填設備、品質管理

Mountain tunnel, NATM, Rock bolt, Grouting pump, Quality control

山岳トンネルに用いられるロックボルトにおいて、一般的な定着材であるモルタルの充填管理は、「ロックボルトの挿入後、定着材が口元まで充填されていることを確認する」ことであり、管理方法は「目視」という主観的な施工管理方法となっている。モルタル充填が不足すると、地山とボルト間の定着力が低下し、十分な引抜耐力が得られず、支保効果を得る事ができない。定量的なモルタル充填管理が可能になると、品質向上に寄与できる。モルタルの流量を計測するだけでなく、モルタルポンプの動作状況も同時に計測することにより、計測値を、自動で孔毎の充填量に割り振ることが可能な、モルタル計測システムの開発を行った。

ロックボルト モルタル充填可視化システムの開発

フジモリ産業(株) 正会員 ○坂根 一聡 齊藤 賢吾

1. はじめに

ロックボルトの定着方式は、ロックボルト全長を地山に定着させる全面定着方式が基本であり、モルタル等の定着材を孔内に充填した後にロックボルトを挿入、定着する先充填型の使用実績が多い。定着材としては、モルタルが最も一般的に使用される定着材であり、ロックボルトの定着状況の施工管理例は、「ロックボルトの挿入後、定着材が口元まで充填されていることを確認する」ことであり、管理方法は「目視」¹⁾である。モルタル充填が不足すると、地山とボルト間の定着力が低下し、十分な引抜耐力が得られず、支保効果を得る事ができないため、定量的にモルタル充填を管理する方法を確立することで、ロックボルトの施工品質向上に寄与できる。定量的にモルタル充填を管理する方法としてはすでに、電磁流量計を用いてモルタル流量を計測する方法がある。「電磁流量計は流量検出機構として、機械的な可動部や流体の流れを妨げる物や絞り機構などが全くないという構造的な特徴」²⁾があるため、スラリーの流量測定に対しては、他に代替できる機種は少ない。構造的には配管とほとんど変わらず、圧力損失もほとんどないので、通常のポンプに組み合わせて使用しても、影響が少なく、ロックボルト用のモルタル流量計としては最適といえる。しかしながら、トンネルのロックボルトで使用するモルタルは、現場使用条件次第で性状は大きく変わり、モルタルフロー試験(JIS R5201)で120mm未満と、液体よりも固体に近い性状になってしまう場合、モルタルにエアが多く含まれ、電磁流量計では計測は困難である。また、先充填型のロックボルトのモルタル充填は連続して施工されるため、電磁流量計だけで計測を行うと、取得したデータは、連続した区切りの無いものとなり、孔毎のデータに変換するためには、区切りの基準となる「孔毎の充填時間」や、手動による「接点データ」等、データ生成の追加作業が必要となり、生産性低下の恐れがある。そこで、建設現場の生産性向上を加速させるICT技術を利用し、自動で孔毎のモルタル流量計測が可能なシステムを開発し、充填量の定量管理が可能になるように図った。

2. 開発システム概要

モルタル自動計測システムは、モルタル吐出部に電磁流量計を設置し、モルタル流量を計測するとともに、圧送ポンプと練り混ぜ用モルタルミキサーが一体化したMAIポンプの動作状況を、各種センサを取り付ける事により、認識できるようにした。前述した通り、トンネルのロックボルトで使用するモルタルは固液混合流体で、計測が困難である事から、電磁流量計での計測について、実験を行った。



図-1 開発システム写真

3. モルタル計測試験と課題

計測試験は、モルタル計測の精度検証と、各種センサの情報で孔毎にデータを分ける事ができるかを評価することを目的として行った。図-2は12L容器に対し、MAIポンプでモルタルを吐出したデータである。孔毎のデータとして、区別することは可能であったが、実際の容量と比較し、計測平均値は約76%の計測結果となった。原因として、様々な物が考えられ、対策を実施した。

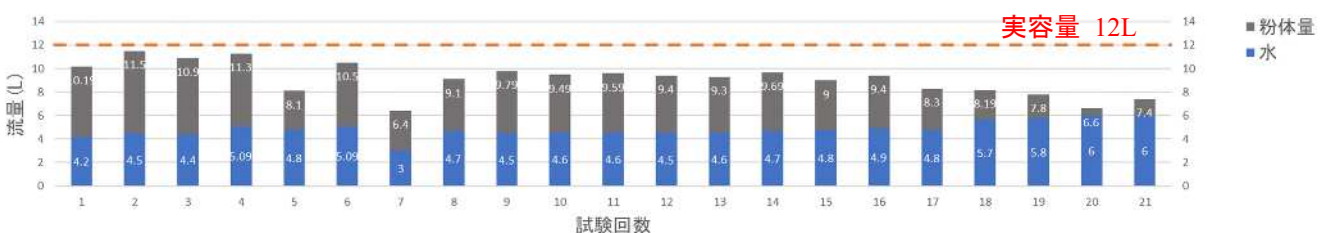


図-2 モルタル計測試験データ

(1) 流量計のノイズ対策

3機種流量計で実験を行った。図-3は代表的な流量計の1秒ごとのデータである。ノイズを含んだ波形となり、実際の計測に使用することが困難な結果となった。気泡混入によるノイズと、摩耗性が高いモルタルが、電極に衝突する際のノイズが考えられた。摩耗性に強い流量計の選定と、一定以上の誤差をあると見なされるデータは処理を行うことで、ノイズ波形が発生しないよう対策を行った。

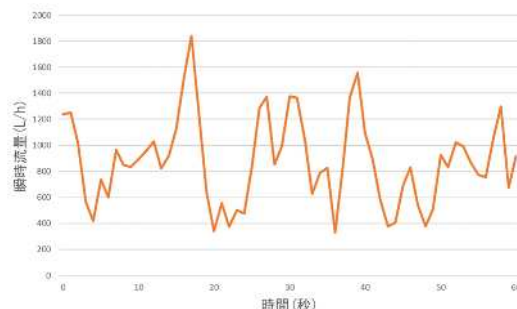


図-3 電磁流量計瞬時値データ

(2) 自動計測タイミング修正

計測開始、終了をポンプのモーターのON・OFFのタイミングとしていたが、モルタルはそれ自身が重量を持ち、粘度が高いため、モーターが停止したあとも慣性力で一定時間、吐出が続く現象が見られ、注入ホースが長いほど顕著であった。そのため、モーターOFFのタイミング後も、一定時間計測を行う形とした。

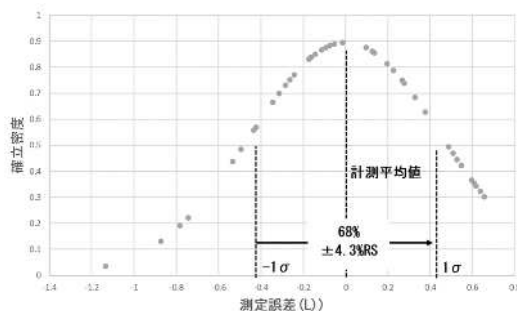


図-4 システム計測値 正規分布図

(3) 追加データ取得 (水圧力, 流量)

モルタルを練り、圧送を行うMAIポンプの動作状況だけでなく、使用する水の圧力・流れを計測し、計測のON/OFFの基準のひとつとした。水の流れのデータを元に、データ取得の有無を決定することで、MAIポンプの動作状況以外の要因を加味して、データ取得の有無を設定できるようになった。モルタルに含まれる水量が分かることで、W/Cの推測ができるため、それ自体も有益なデータとなる。

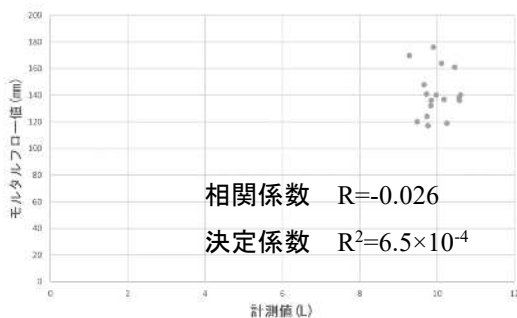


図-5 計測値・モルタルフロー散布図

4. 課題対策後の試験結果

上記対策実施後、再現性の確認のための試験を行った。図-4はその結果である。水量を変化させ、モルタルフロー値で117~176mmとモルタル性状を変化させ、10L容器にモルタルを吐出したデータである。結果を見ると、正規分布のグラフとなり、標準偏差が±4.3%におさまる結果となり、計測データとして利用可能な値であることが分かった。図-5は、モルタルフロー値とのシステムの計測値を散布図にしたものである。相関係数 $R = -0.026$ と相関関係は見られない。モルタル性状の変化は、計測結果と相関しない。

5. まとめ

従来は先充填型のロックボルトにおいて、モルタルを充填する際、定量的な計測方法がなく、その充填状況がどうなっているかが懸念されてきた。今回開発したモルタル計測システムを用いる事で、モルタル充填量を定量的に捉える事ができる。本システムを「モルタルディレクタ®」として、トンネル工事現場で利用いただくことで、ロックボルトのモルタル充填の品質向上に寄与していきたい。



図-6 システム概要図

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説 pp.233-234,2016
- 2) 吉備義和：スラリー流体計測における電磁流量計の応用 日本鉱業会誌 104 巻 1208 号 pp.731-734,1988

キーワード 山岳トンネル, NATM, ロックボルト, モルタル充填設備, 品質管理

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町 4-4-10 フジモリ産業(株)西日本土木資材課 TEL:06-6228-3864