

数値解析による鋼管膨張型ロックボルトのモデル化の検討

山口大学大学院 学生会員○今井政孝 向山博道 (株)熊谷組 青木宏一
山口大学工学部 正会員 進士正人 臨床トンネル工学研究所 フェロ-会員 中川浩二

1. はじめに

山岳トンネル工法の支保部材として用いられているロックボルトは、定着方式の違いにより全面定着方式、摩擦定着方式、及びそれらを合わせた併用方式に大別される。中でも摩擦定着方式の一つである鋼管膨張型ロックボルト(以下、「膨張型」と称す)は、打設直後に鋼管を膨張させ地山とボルトを密着させることが可能なため、その即時的な支保効果が期待されている。しかし、いまだに膨張型の適切なモデル化がなされていないというのが現状である。そこで本研究では、三次元数値解析によりモデル化した膨張型のせん断試験、引き抜き試験、トンネル掘削シミュレーションを行うことによって、鋼管膨張型ロックボルトの数値解析モデルの妥当性を検討することを目的としている。

2. 鋼管膨張型ロックボルトのモデル化

数値解析モデルとして、膨張型とその比較対照とした、従来の一般的なロックボルト(以下、「従来型」と称す)は共にケーブル要素を用いてモデル化した。ケーブル要素では、補強材(ケーブル)の周囲にグラウトがモデル化されている。そこで、打設直後から地山との摩擦力を発揮するため、グラウトの粘着力を強く設定することで膨張型を表現した。また従来型の引張強度は、膨張型とほぼ等しいD24の異形ボルトとした。表-1に本研究で用いたそれぞれのロックボルトの物性値を示す。

表-1 ボルトの物性値

	単位	膨張型	従来型
径	cm	4.8	2.25
厚さ	cm	0.22	—
断面積	cm ²	3.16547	3.97068
引張降伏強度	kN	120	120
弾性係数	MPa	2×10^5	2×10^5
グラウト剛性	MPa/m	35	35
グラウト粘着力	MPa	1×10^4	0.3

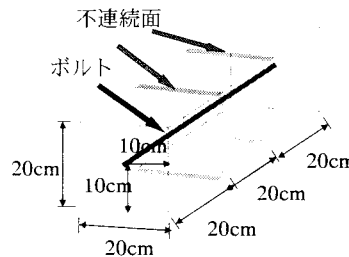


図-1 二面せん断のモデル

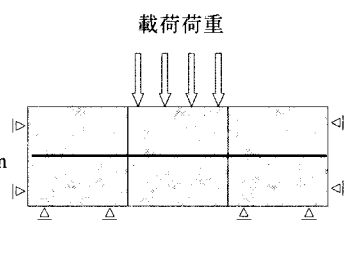


図-2 拘束条件・載荷荷重

3. せん断試験

3-1 解析条件

ボルトのせん断耐力を比較するために、数値解析によるせん断実験を行った。解析モデルを図-1に示す。モデルはコンクリートを仮定した一辺20cmの3つの立方体の要素の間に不連続面を設けたものとし、ボルトは要素の中央部分に貫通し打設した。物性値を表-2に示す。また、拘束条件は、左右の供試体の底面と側面を移動支点で固定し、中央部

表-2 供試体の物性値

	単位	せん断試験の供試体	引き抜き試験の供試体
弾性係数E	MPa	37×10^3	1500
単位体積重量 γ	kg/m ³	2300	2100
ポアソン比 ν	—	0.2	—

だけを拘束がない状態とした。このモデルの供試体の中央部に上部から載荷することによりせん断応力を発生させた。図-2に拘束条件と載荷荷重を示す。

3-2 ボルトの変位の比較

ボルト中央の鉛直変位と載荷応力との関係を図-3に示す。図より、膨張型は、従来型が1.7MPaですべりはじめるのに対し、膨張型は5MPaまで応力が増加する。これは地山と密着する効果が現れているため、今回のモデル化の妥当性を示すものである。

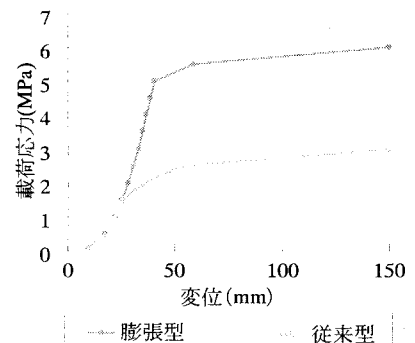


図-3 変位に対する載荷応力

4. 引き抜き試験シミュレーション

4-1 解析条件

ボルトの引き抜き耐力を比較するため引き抜き試験を行った。モデルを図-4に示す。供試体は、中央に定着長を50cmとしてボルトを打設した。物性値を表-2に示す。このモデルのボルト端に強制変位を与えることによって解析を行った。

4-2 強制変位による引き抜き最大荷重の比較

ボルト端に強制変位を与えた時の引き抜き試験のシミュレーション結果を図-5に示す。ボルトが塑性化する前は膨張型も従来型もほぼ同様の傾向を示すが、膨張型はボルトが降伏強度に達して塑性化した後も引き抜き最大荷重が増加し続けている。このことは引き抜き挙動がピークに達しても引き抜き耐力が機能し続けていることを意味しており、急激な強度低下が見られる従来型に対して優位であるという実験データと傾向が一致する。よって、膨張型の力学的特性を数値解析モデルとして表現することができたと言える。

5. トンネル掘削シミュレーション

5-1 解析条件

トンネル施工への膨張型の支保効果を検討するため、トンネル掘削時の天端沈下量を比較した。地山の解析モデルとトンネル断面を図-6に示す。解析メッシュの簡素化のために土被りは、100m分の上載荷重を加えることによってモデル化した。地山物性値は、DⅡ地山の物性値を採用し、Mohr-Coulombの破壊基準に従う弾塑性体とした。表-3に物性値を示す。掘削方法は素掘りで、坑口から30mまでを1m逐次掘削し、同時に図-6(b)に示すように、ロックボルト打設した。

5-2 天端沈下量の比較

坑口から30m地点までの素掘りのみと及び従来型を打設した各々の天端沈下量を比較した結果を図-7に示す。この図より、膨張型は、従来型より早期に地山の変位を抑制できていることが分かり、膨張型の打設後すぐに定着効果を発揮し、地山の変位を抑制する²⁾という力学的特性を数値解析モデルとして表現することができた。

6. まとめ

本研究では、と従来型をケーブル要素のグラウトの粘着力を変化させることでモデル化し、様々なシミュレーションを行い、両者を比較検討した。

その結果、両者のモデル化はほぼ妥当であるということが確認できた。しかし、膨張型の力学的な挙動はまだ不明な点も多く、モデル化にはさらなる実験や計測事例の収集が必要と思われる。

<参考文献>

- 1) 中川光雄・太田英将:鋼管膨張型ロックボルトの力学的メカニズムに基づく作用効果と適応性について,第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集pp.501-506, 2005.
- 2) 日新鋼管株式会社・日新製鋼株式会社・名古屋道路エンジニア株式会社・JH日本道路公団:RPEロックボルト

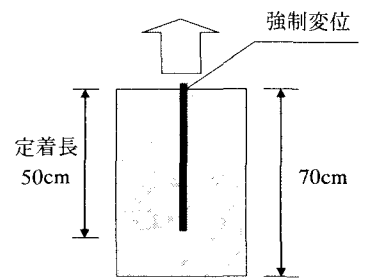


図-4 引き抜き試験モデル

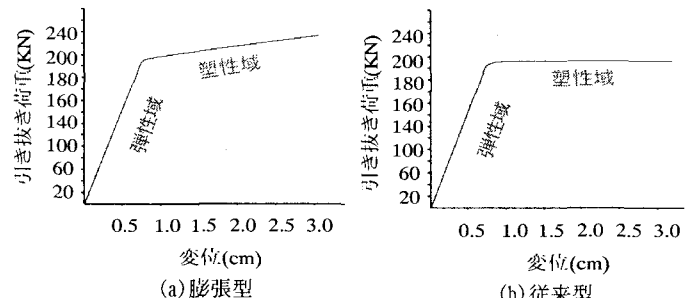


図-5 強制変位を与えたときの引き抜き荷重

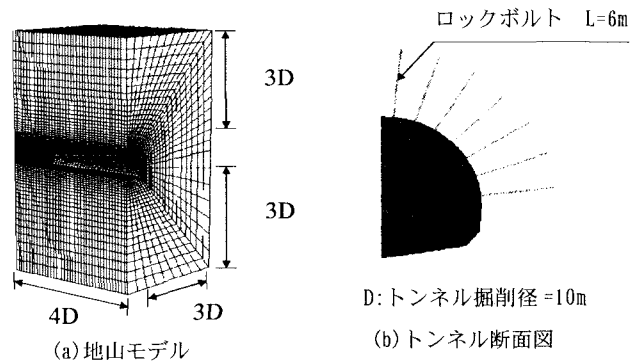


図-6 地山モデルとトンネル断面図

表-3 地山の物性値

	単位	
弾性係数E	MPa	1500
単位体積重量 γ	kg/m ³	2100
ポアソン比 ν	-	0.35
粘着力C	MPa	0.2
内部摩擦角 ϕ	°	30

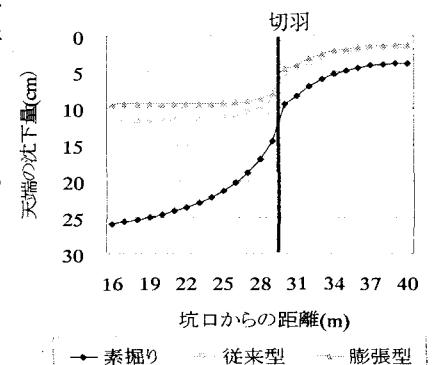


図-7 天端沈下量