脆弱地山でのロックボルトの定着力向上対策について

㈱大林組　正会員　○岡崎　雄一　　正会員　木梨　秀雄
正会員　伊藤　哲　　正会員　藤岡　大輔

1. はじめに

ロックボルトはNATMの主要支保部材の一つであるが，風化岩や土砂等の脆弱地山では地山と定着材間の付着が小さく，所定の引抜耐力を確保出来ない場合がある．

そこで，脆弱地山を対象にロックボルトの引抜耐力を向上させる技術として，削孔径を自在に変化できるビット（以下：拡径ロックボルト）を開発した．本稿では，模擬地盤による引抜試験と数値解析の結果について報告する．

2. 工法の概要

本技術は，時計回りで通常径（φ46mm），反時計回りで拡幅径（φ69 mm）となる専用ビット（**写真-1**）を用い，回転方向の制御によって，一つのビットで削孔形状の変化を可能とする．**図-1** のように，拡幅領域での付着面積の増加と形状変化部での支圧効果により，引抜耐力の向上を図った．また，削孔途中にビットの交換が不要であり，サイクルタイムに影響を与えないという利点がある．

写真-1　専用ビット

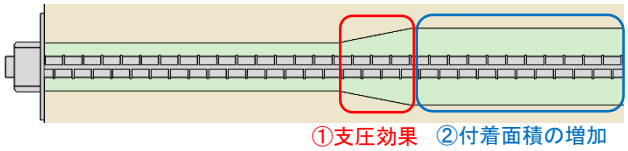


図-1　拡径ロックボルト概要

3. 模擬地盤によるロックボルトの引抜試験

3-1. 実験概要

引抜試験の概要を**図-2** に示す．模擬地盤にはセメントベントナイト（圧縮強度 3.0N/mm²程度），定着材にはドライモルタル（圧縮強度 10N/mm² 以上），ロックボルトは異形棒鋼（D25, L=2.0m）を使用した．定着長を 1.5m とし，削孔形状は通常径のみで削孔したものを標準とし，拡幅回数を 1,2 回としたものをそれぞれ作製した．各種材料定数を**表-1** に示す．

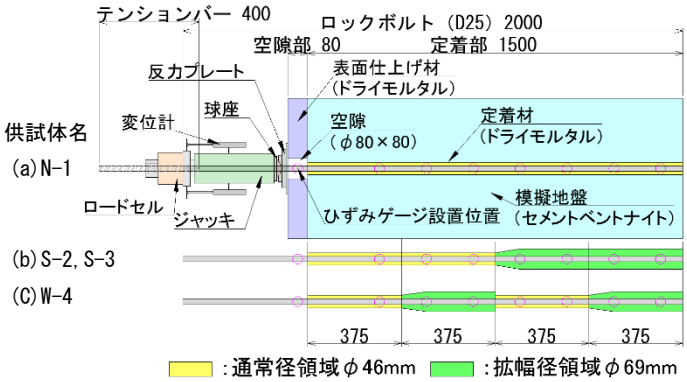


図-2　削孔パターン・ひずみゲージ設置位置

表-1　材料定数（ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ・模擬地盤・定着材）

呼称	降伏荷重 (kN)	降伏応力 (N/mm²)	最大荷重 (kN)
D25	202	398	299

項目	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm²)
模擬地盤	14	3.85
定着材	1	13.9

3-2. 実験結果

実験結果を**図-3**，**表-2** に示す．全ケースにおいて，地山と定着材間が滑った状態で抜け出し，同程度の強度で終局に至った．ロックボルトの引抜耐力は，荷重-変位関係において，一次勾配から二次勾配への変化点とした（図中◇印）．図より，拡幅部を設けることによって，引抜耐力が 6～8 割程度向上した．N-1 ではピーク以降，大きな荷重低下がないのに対し，S-2，3，W-4 ではピーク以降，大きな荷重低下がみられる．これは N-1 では地山と定着材間の摩擦力のみで終局しているのに対し，S-2，3 では拡幅部を設けることで支圧効果が発揮され，最大荷重以降，局所的に模擬地盤が破壊しているためだと考えられる．また，W-4 では一度荷重低下した後，再び荷重が増加し最大荷重に至っており，拡幅部を複数設けることで，引抜に対して引張側の拡幅部から順に抵抗し，靭性を向上させる傾向が得られた．

実際の削孔形状とロックボルトの軸力分布を**図-4** に示す．N-1 では引抜側から先端部へ付着切れが進行し，一定勾配の軸力分布となっているが，W-4 では拡幅開始位置から軸力分布の勾配が大きい．これは拡幅部の支

キーワード:NATM，トンネル，ロックボルト，模擬地盤，引抜試験，数値解析
連絡先:〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ　㈱大林組　TEL:03-5769-1319 FAX:03-5769-1979

圧効果によって拡幅部から奥の付着切れの発生が進行しにくくなるためと考えらえる．なお，引抜荷重 140kN 以降，ひずみゲージが破断したため，軸力分布が得られていないが，変位 10～40 ㎜の間に一つ目と同様に，二つ目の拡幅部でも支圧効果が発揮されているものと考えられる．

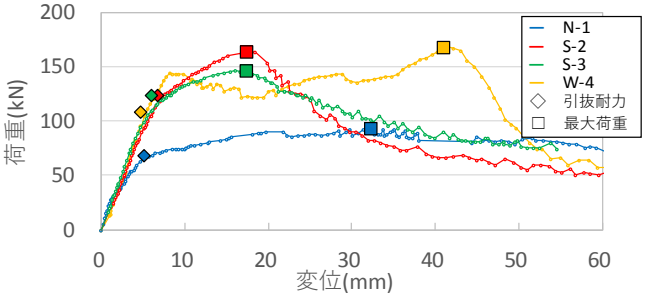
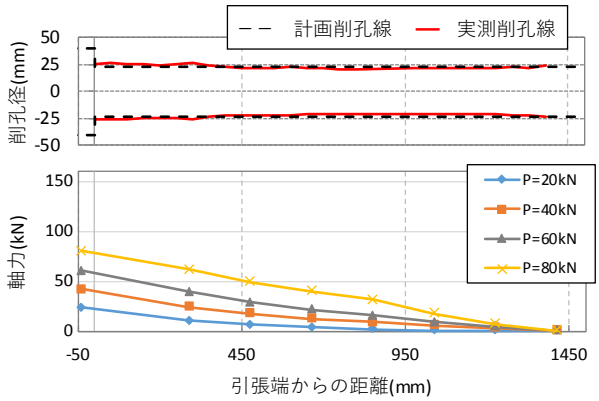


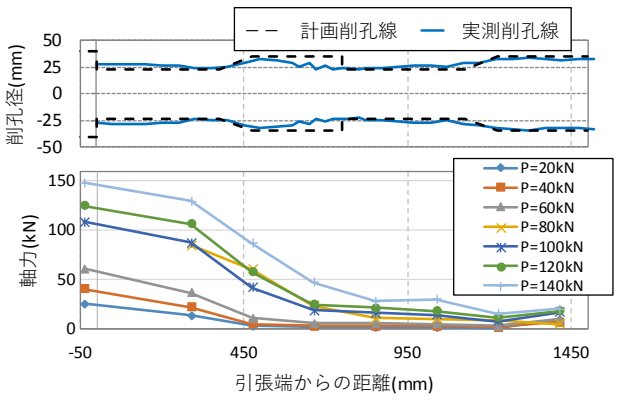
図-3　荷重-変位関係

表-2　試験結果

供試体名	引抜耐力			最大荷重		
	抜出し長 (mm)	荷重 (kN)	増分 (%)	抜出し長 (mm)	荷重 (kN)	増分 (%)
N-1	5.07	68.9	-	32.3	93.8	-
S-2	6.80	124	179	17.4	163	174
S-3	6.01	124	180	17.4	147	156
W-4	4.75	108	157	41.1	168	179



(a) N-1



(b) W-4

図-4　削孔形状とロックボルトの軸力分布

4. 数値解析

引抜試験の結果にもとづき，拡径ロックボルトの支保効果を三次元有限差分法（FLAC3D）で解析した．地山モデルは DⅡ[1] 級とし，ひずみ軟化特性を考慮し，地山のひずみに応じて粘着力を低減するものとした．付着特性は弾完全塑性でモデル化し，支圧効果と拡幅による付着面積の増加を付着強度の違いによって表現した（表-3）．解析ではトンネルを円形とし，掘削時の地山の塑性域と内空変位を比較した．

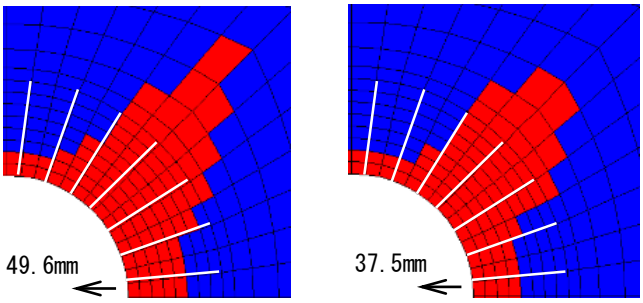
解析結果を表-4，図-5（1/4 部分）に示す．拡径ロックボルトを使用することで，負担できる軸力が増加し，水平内空変位が 20%程度低減した．また，拡径ロックボルトの支保効果で塑性領域も肩部でやや低減することが確認できた．

表-3　ロックボルト物性値

区間	素材部			グラウト部		
	断面係数 MN/m^2	断面積 m^2	引張強度 MN	剛性 MN/m^2	付着力 MN/m	周長 m
標準径	2.00.E+05	5.04.E-04	0.175	19.6	0.0785	0.157
ﾃｰﾊﾟｰ	2.00.E+05	5.04.E-04	0.175	117.5	0.4700	0.235
拡幅径	2.00.E+05	5.04.E-04	0.175	58.8	0.2350	0.235

表-4　解析結果

	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ打設間隔 m	水平内空変位 mm	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ軸力最大値 kN
通常ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	1.144	49.6	95.8
拡径ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	1.144	37.5	165.9



(a) 通常ロックボルト　(b) 拡径ロックボルト

図-5　内空変位・塑性域分布（青：弾性，赤：塑性）

5. まとめ

削孔形状を通常径から任意箇所で拡幅できる拡径ロックボルトの効果を実験及び解析で検討し，①拡幅部での支圧効果により，引抜耐力が 6～8 割増加すること，②拡幅回数を増加させることで靭性が向上すること，③脆弱地山の内空変位量や塑性領域を抑えられることが確認できた．今後は現場適用を進める．

参考資料

1)　日本道路公団試験所：「トンネルの標準設計に関する研究報告書－数値解析と施工実績の分析－」，試験研究所技術資料，第 350 号，1986