

### 大変形追従型ロックボルトの引抜き特性に関する一考察

株式会社 ケー・エフ・シー 正会員 ○井本 厚 岡部 正 山本 健太  
鹿島建設株式会社 正会員 横尾 敦 小泉 悠

#### 1. はじめに

土被りの大きい不良地山に対してトンネルを施工する場合、過大な地圧に伴う大変形に支保工が追従できず、支保工の破断によりその機能が早期に失われる可能性が懸念される。このような施工条件において、地山の変形を許容したり、地山の変形に追従することで支保工に作用する地圧の低減を図る「可縮支保工」が、海外のトンネルや鉱山でよく用いられている。本報告は海外の鉱山分野で実績の多い、変形追従型のロックボルトである D ボルト (Dynamic Bolt) <sup>1)</sup> の特性を把握すべく、室内及びトンネル現場にて引抜き試験を実施したので、その結果を報告する。

#### 2. Dボルトの概要 <sup>1)</sup>

D ボルトは、図-1 に示すように、複数のアンカー部と、それ以外のスムーズ部からなるロックボルトであり、ノルウェー工科大学の Li 博士によって考案開発された。アンカー部は、特殊な加工がなされており、モルタル・ウレタン等の定着材とよく密着し、地山内で固定される。一方のスムーズ部 (φ22) は、ボルト～定着材間での摩擦を極力低減し、滑動するように設定されている。これよりトンネル掘削に伴う応力解放によって亀裂が開口した際、D ボルトはスムーズ部全長の伸びにより変形に追従し、支保機能を維持できるものと期待できる。

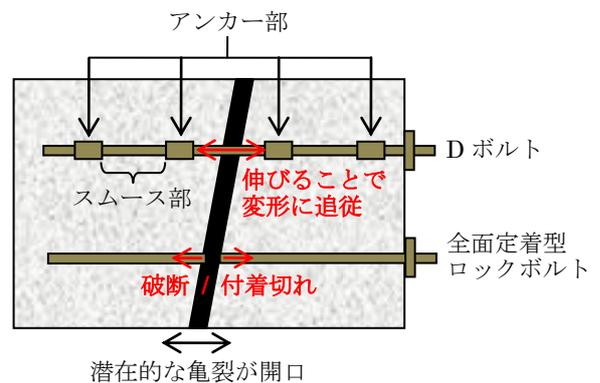
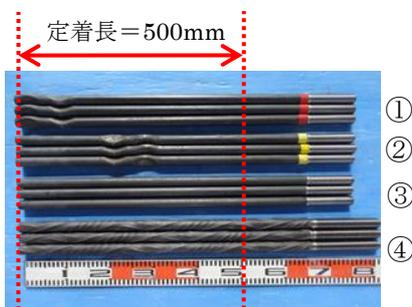


図-1 亀裂性地山における D ボルトと全面定着型ロックボルトの想定挙動

これに対し、国内でよく用いられる全面定着式ロックボルトは、異形ボルトの全面及び全長で定着を取るため、耐力と変形抑制効果が高い。しかし、想定を上回る変形が生じた場合、それに追従できず、ボルトの破断または定着材との付着切れによって、支保機能が早期に失われる可能性が懸念される。

#### 3. 室内引抜き試験結果

D ボルトの引抜き特性を把握するため、室内で引抜き試験を実施した。写真-1 に示すように D ボルトから切り出した①底部にアンカー部、②中央部にアンカー部、③スムーズ部 (アンカー部無し) および④異形ボルト



① D ボルト-底部にアンカー部  
② D ボルト-中央にアンカー部  
③ D ボルト-スムーズ部, ④ 異形ボルト

写真-1 D ボルト及び全面定着型ロックボルトの供試体



写真-2 室内引抜き試験状況

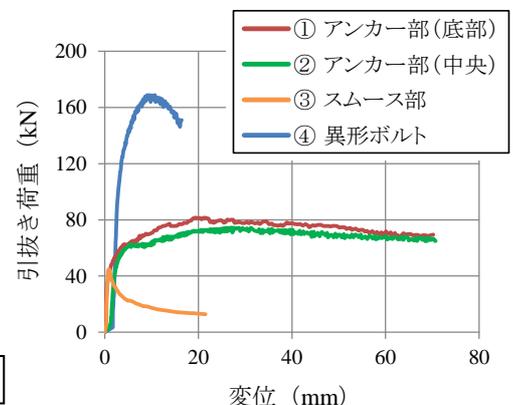


図-2 室内引抜き試験結果 (荷重-変位曲線)

キーワード 変形追従型ロックボルト, 引抜き試験, アンカー部, スムース部

連絡先 〒347-0010 埼玉県加須市大桑 1-19 ㈱ケー・エフ・シー 技術部 TEL0480-76-0095

ト（比較用）を内径 45mm の鋼管に挿入し、端部から 500mm をモルタルにより定着させた。1 日養生後（モルタル強度 10N/mm<sup>2</sup>）に実施した引抜き試験（写真-2）の結果（荷重-変位曲線）を図-2 に示す。同図より、①端部にアンカー部と②中央部にアンカー部とで有意な差異はなく、荷重のピーク値は 70kN 程度であった。ピーク後はボルト～定着材間で付着切れが生じ、ボルトが抜け出したが、荷重はピーク時の値がほぼ保たれた。アンカー部が周辺モルタルをせん断破壊しながら、抜け出しに抵抗していたものと考えられた。③スムーズ部は 30～50kN のピーク値を示した後、ボルト～定着材間で付着切れが生じた。前述のアンカー部の結果とは対照的に、ピーク後で荷重は急激に減少した。比較用の④異形ボルトは 160kN 程度の高いピーク値を示し、定着材～鋼管間で付着切れが生じた。その後、荷重は減少に転じた。

4. 現場引抜き試験結果

D ボルトの施工性と引抜き特性を把握するため、図-3 に示すように、トンネル現場の側壁部で引抜き試験を実施した。φ 55mm の孔にモルタルを充填した後、長さ 4m の D ボルトを挿入した。用いた D ボルトは 1.2m 間隔で 4 つのアンカー部を有するが、最も坑壁側に位置するアンカー部は非定着となるようにした。3 日養生後に実施した引抜き試験（写真-3）の結果を図-4 に示す。異形ボルト（比較用）は、荷重が 220kN に到達した際に抜重したが、それまで荷重-変位は比例関係が保たれ、変位は 5mm に抑制された。一方、D ボルトは、荷重が 150kN に到達した付近から変位が顕著に増加した。この変位は、ボルトの伸び量と抜け出し量の和と考えられる。今回の試験体のうちの 1 本の D ボルトにはひずみゲージを取り付けたが、ゲージがボルトとモルタルの定着を障害し、有意な結果が得られなかった。ひずみ計測による伸び量と抜け出し量の分離は、今後の試験での課題としたい。荷重については、150kN 以降、最終的に 190kN に至るまで増加傾向を示し、室内試験時と同様、アンカー部が周辺モルタルをせん断破壊しながら引抜きに抵抗していたものと考えられた。現場試験では、3 つのアンカー部を定着させて引抜き耐力が 190kN であったが、これは室内試験で測定したアンカー部 1 つの引抜き耐力（70kN）のほぼ 3 倍であり、アンカー部の数と引抜き耐力とが比例関係にある可能性が示唆された。さらなるデータの蓄積が必要であるが、アンカー部の数を増減させることで、岩種・土被り・地山の状態に応じて、地山変形時の抵抗力、また追従可能な変形量を適切に設計できるものと考えられた。

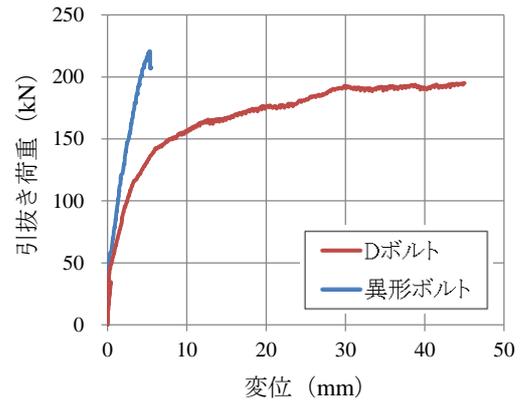


図-4 現場引抜き試験結果 (荷重-変位曲線)

5. まとめ

変形追従型のロックボルトとして D ボルトに着目し、室内及びトンネル現場で引抜き試験を実施することにより、引抜き時の荷重-変位関係に関する新たな知見を得た。この結果をもとに、今後は数値解析によって大土被りトンネルへの D ボルトのメカニズムを把握し、変形追従型ロックボルトの適用性を探っていく所存である。

参考文献

1) Li, C. C. : A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses. Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences, No.47, pp.396～404, 2010.

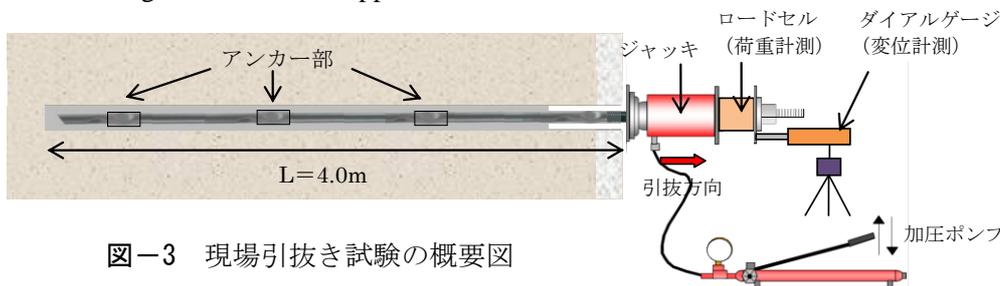


図-3 現場引抜き試験の概要図



写真-3 現場引抜き試験状況