

ロックボルトプレートの表面塗装を利用した軸力モニタリング技術の開発

鹿島建設 正会員 ○伊達 健介, 山田 謙二, 小林 幸司
 成田 望, 横田 泰宏, 山本 拓治
 ケー・エフ・シー 吉田 正博, 井本 厚
 北海道開発局 旭川開発建設部 齋藤 宏樹

1. はじめに

山岳トンネルや地下空洞の工事では、地山の押出し性が強くなるとともに、ロックボルトのプレートが変形することが広く知られている。また、プレートにスプレーなどを塗布した場合には、変形するとともに塗装が剥がれていくこともよく見られる現象である。今回、その性質を利用し、地山の押出しにより、ロックボルト端部の軸力が増加するのに伴い、塗装が徐々に剥がれて、縞状の模様を示す範囲が徐々に拡大していく技術を開発した。その結果、ロックボルトの軸力増加のシグナルとして使用できるロックボルトプレートの製作に成功した。その室内試験結果と現場適用結果について報告する。

2. 軸力増加とともに塗装の剥がれ範囲が拡大するロックボルトプレート

山岳トンネル工事では、支保工としてロックボルトを打設し、頭部にプレートを取り込み、ナットで壁面に緊結する。掘削に伴い、解放応力が作用した結果、ロックボルトを打設した周囲の地山がトンネル内空側に押出してくる。一方で、ボルトを打設した箇所は、ボルトの軸力とその剛性のために、相対的に周囲の地山よりも押し出す変位が小さい。その結果、押出しが強い場合は、図-1 に示すとおりプレートがたわみ、それを観察することで地山の変位状況を把握することができる。また、たわみが小さいレベルであっても、プレートに噴霧した塗料に縞状の模様が発生することで、工事担当者は押出しの強弱を判断することができる。

しかし、市販のラッカースプレーによる塗装では、塗りムラも生じ、また漏水にも弱く、必ずしも縞模様が起きるとも限らない。また、その縞模様も 1m 程度の至近距離であれば目視観察可能であるが、天端付近のプレートは遠く暗いため観察することはほとんど不可能である。

そこで、プレートのたわみの増加により、塗装が剥がれ縞模様が決まったパターンで生じるような配合を検討した。その結果、図-2 のとおり、実際に観察されるのと同じような縞模様を再現可能な配合を特定することに成功した。品質を安定させるため、塗装は現場ではなく出荷前に行うこととし、遠くからの判別に容易なように白をベースとした塗装に決定した。

3. 室内試験

次に、ロックボルトに発生する軸力の範囲内で、縞模様が生じるかどうか、また軸力の増加とともにどのように縞模様に変化するかを確認するため、室内試験を実施した。その概要を図-3 に示す。図に示す通り、押出しの強い現場での適用を想定し、まず高耐力ボルト用のプレート（材質 S45C、150×150×9mm、中心孔径 45mm）を使用した。背面には 75mm の孔を中央に配置した受台を設置し、受台と反力壁間にはラムチェアーを挟んでいる。反力壁の反対側にはセンターホールジャッキを設置し、ボルトを引っ張り込むように力がかかることで、周囲の地山が押出している状況を模擬した（JIS M 2506 に準拠）。その結果の一例を図-3 に示す。塗装の剥げ落ちが引張力が 107kN で現れ、191kN では 50～100mm 程度の範囲に縞模様が拡大している。239kN では縞が端部に達し、100

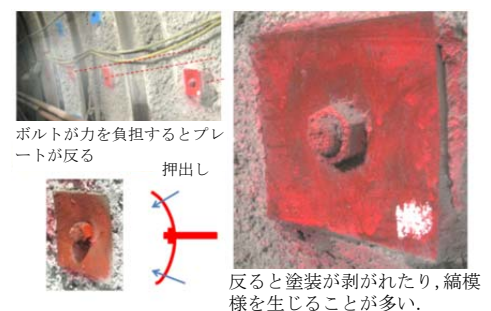


図-1 プレートのたわみと模様

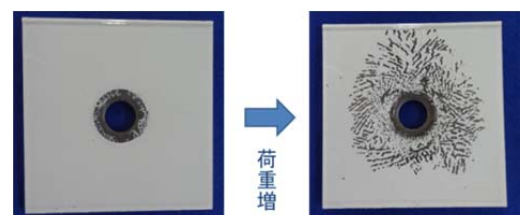


図-2 たわみで生じる縞模様

キーワード：山岳トンネル、膨張性地山、ロックボルト、プレート、可視化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL : 042-485-1111

～150mm 程度の範囲に拡大している．294kN では 150mm 以上の範囲に拡大していると考えられる．同試験を繰り返し実施した結果，±20kN 程度のバラツキはあるものの 100kN 付近で塗装が直径 50mm 以内の範囲で剥げ落ち，150～200kN でそれが直径 50～100mm 程度に拡大するとともに縞模様が生じる．200～250kN で直径 100～150mm 程度，250kN 付近以上で直径 150mm 以上となり，その傾向は一致していた．

4. 現場適用試験（現場適用結果）

室内試験により，縞模様の発生と荷重による分布範囲の拡大が確認できた．そこで，押出しの強い泥岩地山を掘削している北海道開発局 北の峰トンネル（仮称）にて現場適用を行った．B 計測断面を含む区間の高耐力ボルト用プレートにシグナル用のプレートを多数設置した．これには一断面の詳細なデータを提供する B 計測地点付近に本プレートを多数設置することで，トンネル全体の動きを捉える狙いがあった．一方で，実際の地山では室内試験とは異なり周囲の地山が押し出すことでプレートがたわむため，現場での縞模様の分布範囲と荷重の関係を把握することも目的としていた．プレート設置状況を図-4 に示す．

プレート設置後，予想した通り，地山の押出しが大きく，プレートに縞模様の元となるひび割れが発生し，進捗とともにそれが進展した．図-5 に観察結果を示す．観察対象のプレートはボルト軸力計測位置に隣接する位置（同じ高さ）に設置されたものである．まず，115kN で縞模様の元となるひび割れが生じ，131，142kN でひび割れ箇所が増えるとともに発生した範囲が直径 50mm 程度まで広がった．185kN では直径 50mm の範囲が少し拡大し，範囲内のひび割れの数も増大した．これにより，軸力が閾値を超えれば縞模様の元となるひび割れが発生すること，荷重とともにひび割れ箇所が増し，割れの程度も大きくなることが確認できた．発生開始の軸力も室内試験と同じ 100kN 程度であり，荷重増大後の傾向も室内試験に合致していた．ただし，室内試験よりは 185kN 付近での拡大範囲がやや狭い．この原因としては，試験条件と現場条件の違いが大きいものと思われる．今後，データを積み重ねることでトンネル坑内の条件におけるロックボルト軸力と拡大範囲の関係を把握していく必要がある．

また，図-5 のようなひび割れ（縞模様）を生じた箇所は，図-4 に示したように，L1，R1，下 R1 という 3 つのラインに集中した．この傾向は B 計測の曲げモーメントの計測結果と一致しており，トンネル全体が図-5 に示すような力を受けていることが確認できた．これは，本プレートを多数設置することで，トンネル全体がどのような力を受け，どれだけ支保が負担しているかを概略として把握できることを示していると思われる．

5. おわりに

山岳トンネルの技術者が経験的に判断していた事象をヒントに，特殊な塗料を配合し，軸力が閾値を超えると縞模様が発生しその発生範囲が軸力増加とともに拡大していくロックボルトプレートを開発することに成功した．その効果を室内試験に確認し，現場適用を実施した．その結果，ほぼ同じようなレベルでひび割れ（縞模様）が発生し，荷重とともにその範囲や程度が大きくなることも確認できた．また，トンネルの全体的な動きを把握できたことから，より早期に増し支保を適用し，未然にトラブルを防ぐことに貢献できると考えている．また逆に B 計測の位置の特定や局所的な変形の把握など，様々な用途としての可能性も考えている．

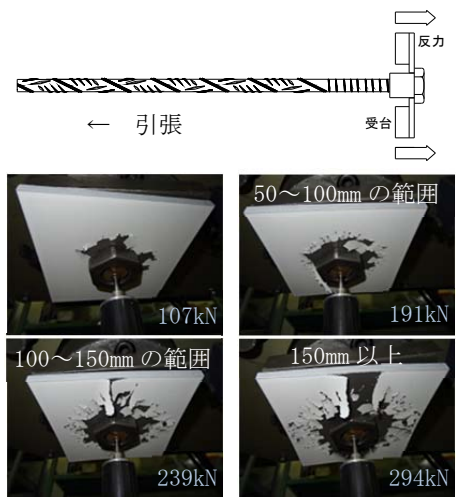


図-3 室内実験結果



図-4 プレート設置状況

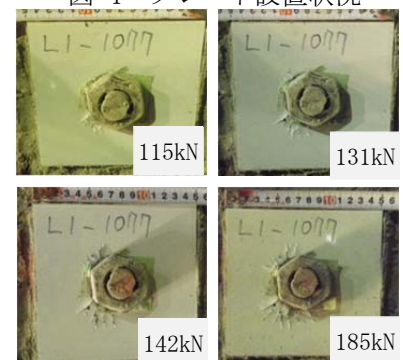


図-5 現場適用試験結果