

63. 地下構造物周辺岩盤における地質状況を考慮した 地山補強調査・設計・施工システムの開発

DEVELOPMENT OF AN EXPLORATION, DESIGN, AND CONSTRUCTION SYSTEM
FOR BEDROCK REINFORCEMENT CONSIDERING GEOLOGY AT THE TUNNEL

○宇津木慎司, 中谷匡志, 澤田純之, 西村毅 (安藤ハザマ)

Shinji UTSUKI, Masashi NAKAYA, Sumiyuki SAWADA and Tsuyoshi NISHIMURA

1. はじめに

地下深部に構造物建設が計画されている高レベル放射性廃棄物地層処分空洞やリニア中央新幹線トンネルなどにおいては、高地圧に起因する空洞の不安定化や突発湧水の発生などが懸念されている。これに対しては、施工時の安全確保とともに、恒久的な地下空洞の安定性を保持するために、種々の対策を講じる必要があると考えられる。さらに、これらの構造物においては、全体工費の抑制が最重要課題とされており、効率的かつ効果的な調査・設計・施工の実現が求められる。

これに対して筆者らは、より多くの割れ目と交差しやすいロックボルト打設方向を算定する割れ目密度ダイアグラムを用いて、効率的かつ効果的な地下空洞周辺岩盤補強を目的とした新たな調査・設計・施工システムを構築した(特願 2014-256832)。本論文においては、本システムの具体的な内容を示すと同時に、妥当性を評価するために実施した解析結果について詳述する。

2. 地下構造物建設における調査・設計・施工の課題

地下空洞の安定性に関して、岩盤の割れ目が及ぼす影響は広く知られており、Bieniawski が提唱している RMR 法によるトンネル地盤分類の中に、空洞に対して不利な不連続面が示されている。このような、岩盤中の割れ目の分布状況によって空洞の安定性が異なる岩盤の異方性については、地下発電所などの大規模空洞における設計の際、空洞の設定位置や方向を考慮する事例があるものの、通常の道路や鉄道トンネルにおいては、全体路線の線形などが優先されることが多い。

山岳トンネルに適用される NATM 工法において、空洞周辺地山を支持する支保部材の一つであるロックボルトについては、縫付け効果・はり形成効果・内圧効果・アーチ形成効果・地山改良効果などが地山において複合的に作用するとされている。これに対して、上述した岩盤の異方性を考慮すると、例えば図-1 のように、高角度を呈する層状の割れ目が卓越する場合においては、現状のトンネル壁面に対して直交方向に打設されるロックボルト(青線)と交差しにくい場合、所要の支保効果が得られない可能性がある。特に、上述した高

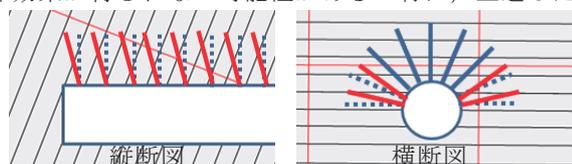


図-1 異方性を考慮したロックボルト打設例

土被り部の施工となる地下構造物においては、より多くの割れ目と交差しやすい方向(赤線)に打設した方が効果的であると考えられる。

3. 地山補強調査・設計・施工システムの検討

地質調査で測定された割れ目は、シュミットネットなどの球面投影法を用いて整理されるが、この方法は方向性の定性的な評価として利用されるに留っており、上述した岩盤の異方性を考慮するまでには至っていない。これに対して本システムにおいては、球面投影法を用いて割れ目分布密度を評価し、定量的に設計・施工に反映できる新しい図的解法を考案した¹⁾。この方法は、任意の削孔方向における割れ目交差密度(単位:個/m)を算出し、その結果を図-2 のようなシュミットネット上にコンター図として整理する。

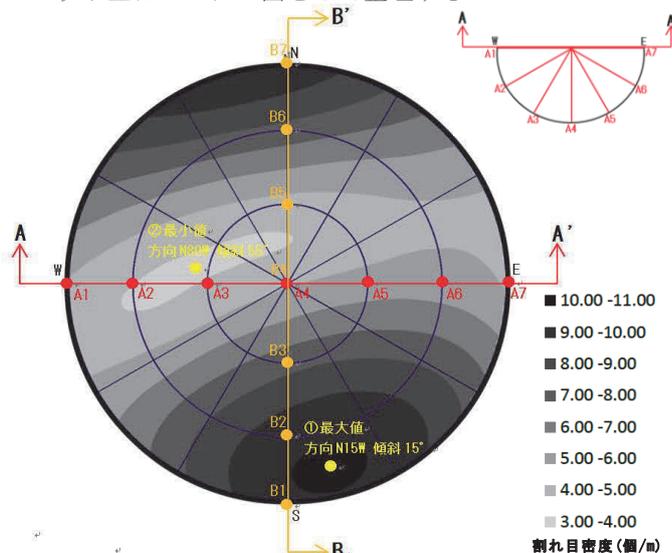


図-2 割れ目密度ダイアグラムの検討例

以下に、この割れ目密度ダイアグラムを用いて、実際の地下構造物周辺岩盤で得られた割れ目データ²⁾より、最適な支保設計を評価した事例について詳述する。

検討を実施した地点の地質は新第三紀の泥岩である。連続性のよい、東西走向を有し傾斜角 70° 以上を呈する高角度の割れ目が卓越しており、これらの割れ目に沿って透水性が高いことが確認されている。

まず、上述した割れ目密度ダイアグラムを用いて、当該空洞の 30m 区間で得られた 193 個の割れ目に対して、任意の方向に削孔した際に交差する割れ目の密度を算出した結果が図-2 である。この図は、下半球に整理された任意の削孔方向における割れ目交差密度を投影したものであり、図-2 中の東西方向の断面図を例に

とると、円の中心 A4 が鉛直下方へ削孔した場合の密度を、右端の点 A7 が東方向に 0° 、その間の点が東方向に 30° (A6)、 60° (A5) の密度をそれぞれ示している。この図をみると、南北方向に低角度で削孔する場合で交差密度が大きく、東西方向および高角度に削孔する場合で交差密度が小さい傾向が認められる。

ここで以下に、本論文の主題であるロックボルトの最適な打設方向について検討を実施する。図-3 に示すように、東西走向で高角度の割れ目が卓越する当地点で南北方向に地下空洞を掘削し、ロックボルトを東西方向の A-A' 断面において設定する場合を想定する。図-2 において赤の円で示したのが、ロックボルトごとの割れ目交差密度を示したものであるが、これを見ると、当地点で卓越する東西走向で高角度を呈する割れ目とロックボルトの交差密度が低いことが分かる。また、地下空洞を東西方向に掘削し、ロックボルトを南北方向の B-B' 断面で打設する場合には異なる結果が得られる。すなわち、図-2 の橙色の円で示した B1~B7 について、高角度の B4 や B5 で交差密度が低いものの、南北方向に低角度で打設するその他の点においては密度が大きくなること分かる。

このように、地質状況が同一の地点において空洞を掘削する場合において、割れ目の卓越傾向と空洞設定方向との関係により、空洞支保の重要な役割を担うロックボルトによる抑止効果に差異が生じると考えられる。これに対しては、図-3 に示すように、当該ダイアグラムを用いてより多くの割れ目と交差する設定方向を評価し、断面図の赤線のように、数十 $^\circ$ 傾斜させることが効果的であると考えられる。

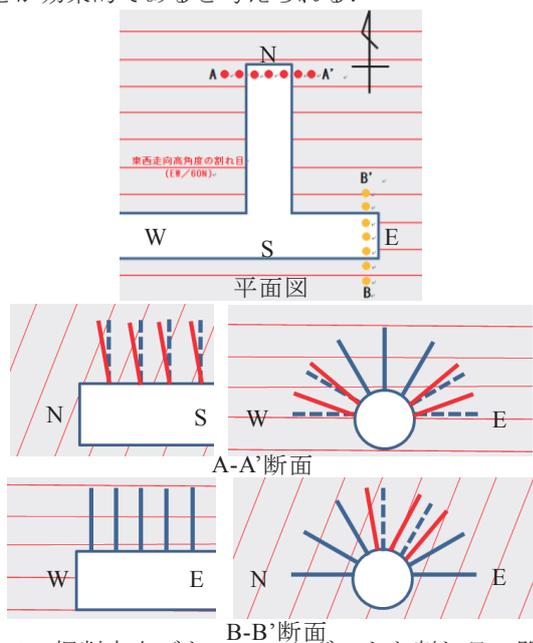


図-3 掘削方向ごとのロックボルトと割れ目の関係

4. 安定解析による本システムの妥当性検討

本章においては、上述した評価結果の妥当性を検証する目的で、異方性を有する岩盤における空洞掘削について、ロックボルトの打設角度を変化させた場合の

空洞沈下量の差異について、FEM 解析により評価した。

図-4 に示すように、割れ目の傾斜角を 30° ・ 45° ・ 60° と変化させた場合における、ロックボルト打設角度ごとの空洞沈下量を計算した結果、挿入深度の同一なロックボルト打設角 30° と 150° および 60° と 120° において、より多くの割れ目と交差する 120° と 150° の方が、変位を抑制できていることが分かる。そして、打設角が 150° から 120° と挿入深度が深くなるほど変位が小さくなるものの、最も挿入深度の深い既往施工の打設角 90° よりも多くの割れ目と交差する打設角 100° ~ 110° で最も変位量が小さくなっている。これは、打設角 100° ~ 110° は、 90° よりも改良深度が浅くなるものの、より多くの割れ目と交差するため、より大きな抑止力が作用するためであると考えられる。

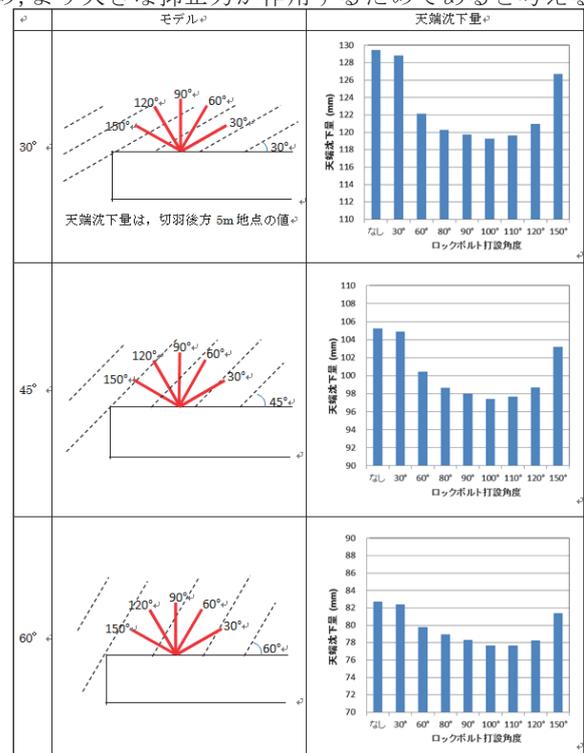


図-4 ロックボルト打設角度ごとの天端沈下量

5. おわりに

本論文においては、地下構造物施工時に掘削箇所の地質状況に応じた最適な支保設計を実施することにより、より効率的かつ効果的な地下構造物施工を実現するための、調査・設計・施工システムについて詳述した。

本システムを実用化するには、事前に詳細な解析を実施することにより、当該箇所の地質状況に応じた最適なロックボルトの打設角度と改良深度を評価する必要がある。また実用化に際しては、実際の空洞において試験施工を実施し、各種計測工などを実施することにより、当該評価の妥当性を検証する所存である。

参考文献

- 1) 宇津木慎司, 水戸義忠, 小山倫史: 地質状況を考慮したグラウチング品質管理支援システムの構築, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 69, No. 1, 118-125, 2013.
- 2) 稲垣 大介, 常盤 哲也, 村上 裕晃: 幌延深地層研究計画; 平成 23 年度地下施設計測データ集, JAEA-Data/Code 2012-029, 2012.