

不連続解析手法の大断面トンネルへの適用性検討

日本道路公団 試験研究所 道路研究部 正会員 大嶋 健二
試験研究所 道路研究部 正会員 伊藤 哲男
試験研究所 道路研究部 正会員 城間 博通
高速道路技術センター トンネル技術課 正会員 吉塚 守

1. はじめに

第二東名・名神高速道路の大断面トンネルでは、東名改築時の3車線トンネルの施工事例やFEM、骨組み(フレーム)解析による解析結果などを参考として、内空断面、支保構造、覆工厚さ、掘削工法等についての基本案が定められ、これによりTBM導坑拡幅掘削で清水第三トンネルと栗東トンネル、上半工法で静岡第二トンネルにおいて試験施工工事が行われている。

試験施工工事は、より合理的な支保構造の設定を目的として、高強度吹付けコンクリートや高規格鋼アーチ支保工などの高品質の新材料を用いた実証試験が行われ、平成11年末現在、清水第三トンネルではトンネル掘削が終了し、静岡第二トンネルでは上半中壁分割工法とNATM導坑拡幅掘削の比較検証試験が終了し上半工法による施工が本格化している。さらに、栗東トンネルにおいては、上り線でTBM導坑の拡幅掘削実証試験を開始し、下り線でTBMによる導坑掘削を行っている。

本報文はこのような中、栗東トンネルを対象とした支保検討の一環として、節理の強度を直接的に評価できる、Qシステム¹⁾(ノルウェー地盤工学研究所(NGI)のBarton博士が提唱)によって、節理(不連続面)の特性(強度や変形)を定量化した上で、解析的手法(個別要素法解析コード UDEC-BB)を用いた大断面トンネルの支保構造決定について、適用性の検討を実施したので、その概要を報告するものである

2. 解析の概要

(1) 解析コードの特徴

本検討で用いた解析コードは、UDEC-BB(Universal Distinct Element Code with Barton-Bandis model)で、その起源は剛体ブロックの個別要素法(DEM)であり、さらにブロック内部を要素分割して変形性を持たせたものがUDECである。UDECの解析領域は不連続面で区切られた複数個のブロックによって構成され、ブロック間はバネで結合されている。分割されたブロック内部の各要素には、弾性係数、ポアソン比単位体積重量が与えられている。

UDEC-BBには、BartonとBandis(1985)によって開発された非線形節理挙動モデルが組み込まれており、岩盤のモデル化は節理のせん断強度を3つのパラメータJRC、JCS、 ϕ_r によって定量化する。JRC(Joint roughness coefficient)は節理面の粗さを表す係数、JCS(Joint compressive strength)は節理面の圧縮強度、 ϕ_r は節理面の残留摩擦角である。これらのパラメータは比較的簡便な室内試験と原位置試験によって精度よく測定することが可能である。

(2) 地山物性

今回の検討では、ボーリングコアを利用してQ値法による地山評価を行った上で解析に用いる地山の物性値を設定し、さらに現地で不連続面(節理面)の強度試験などを行って不連続面の物性値を設定することとした。トンネル天端付近の平均Q値は以下に示すとおり9.3であった。(図1にQ値算定に用いたコアロギングチャートを示す。)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = \frac{78.0}{8.0} \times \frac{2.3}{1.6} \times \frac{0.66}{1.0} = 9.3$$

キーワード：不連続解析 大断面トンネル 支保構造決定 現場適用

連絡先：〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1 Tel 042-791-1621 Fax 042-791-2380

(3) 地山のモデル化と解析ケース

ボアホールカメラによる測定結果から、トンネル天端付近では2つの主な節理系が認められ、節理面の走向と傾斜はN80E75NW, N90E45Sである。トンネル延長方向を走向で表すとほぼN30Wであるから、2つの節理系はトンネル軸と60°近い角度をなしている。このような場合、実際の切羽に現れる節理の傾斜は、上記の測定結果よりも水平に近くなると考えられるが、今回は測定結果をそのまま解析断面に組み込むこととした。

今回の解析では、TBM 発進基地ボーリングコア (STA332+66) 1個、西坑口のずりから採取した岩片3個(節理面)でチルト試験および西坑口切羽の節理面11個所、西坑口法面の節理面10個所でシュミットハンマー試験を行い得られた物性値を基本として、節理に関する主要なパラメータJRC, JCS, ϕ_r に関するパラメトリックスタディを行った。

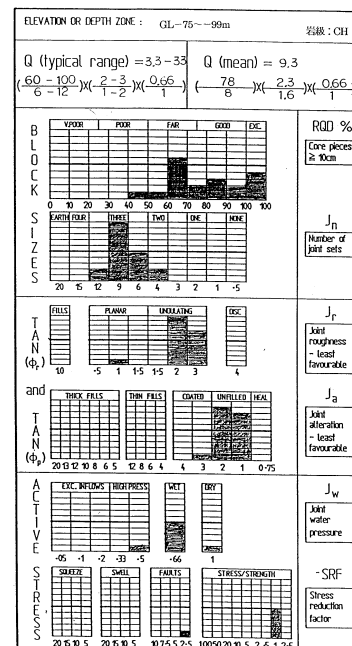


図-1 コアロギングチャート

表-1 栗東トンネルパラメトリックスタディ解析結果(代表値)

・トンネル内空変位(上段:上半収束時、下段:下半収束時)

	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE2-1	CASE2-2	CASE2-3
天端沈下 (mm)	- 3.1 - 3.4	- 2.9 - 3.1	- 2.9 - 3.1	- 3.7 - 3.8	- 3.7 - 3.9	- 3.8 - 4.4
水平内空変位 (mm)	1.5 2.9	1.4 2.8	1.4 1.7	4.3 5.6	4.0 5.2	4.0 5.6

・支保部材力(上段:上半収束時、下段:下半収束時)

支保部材	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE2-1	CASE2-2	CASE2-3
吹付け コンクリート	軸力 (tf) 32.8 33.3	23.4 26.9	20.4 22.6	24.3 25.4	20.2 19.9	24.5 22.9
鋼アーチ 支保工	軸力 (tf) 43.8 41.3	43.6 42.0	40.0 39.3	40.4 34.9	37.1 34.8	45.3 45.1
ロックボルト軸力(tf)	- 17.7 - 17.8	- 16.7 - 17.5	- 17.0 - 16.0	- 17.6 - 17.7	- 16.9 - 17.0	- 17.1 - 17.8

地山の変形(変位)挙動については、不連続面の強度差(JRC₀:1,5,10、JCS₀:40,80,160(MPa), ϕ_r :20,24,30°)による、解析値の差異は比較的小さな値となった。

変位量(解析値)は、FEMに代表される連続体解析とは異なり、岩盤ブロックの回転が節点(トンネル壁面)の値に影響するため、今回のケースのような差が微少な事例では、解析結果の評価に際し岩盤挙動の相対(全体)的な評価とするなど留意が必要である。

支保工に発生する応力に関しては、FEMなどの一般的な連続体解析では、ステップ前後での評価しかできないが、今回の解析(DEM)では、ステップ内(解析途中)での破壊判定が可能である。

節理パターンの影響について今回の解析では、不連続面(節理)の物性値よりも節理パターンによる解析結果の違いの方が際だつ結果となった。

4. おわりに

今回の検討で、大断面トンネルへの不連続解析の適用は地山の不連続面の分布(節理パターン)を適切に設定することにより、充分可能である事が確認できたが、今後、解析的手法(不連続解析)が有効である地山や節理(不連続面)特性(強度や変形)の範囲を見極めるための検討が必要不可欠であり、これらを適正に実施する上で統一的、客観的な地山判定法や不連続面強度の評価試験法の確立が重要であることが分かった。

【参考文献】1) ノルウェートンネル工法(NMT)の概要・トンネルと地下・Vol. 26, №12, 1995年12月