

透気特性を利用したトンネル掘削時の岩盤緩み域調査事例

サンコーコンサルタント（株）		○東谷 謙, 正会員	萩原 育夫
三井住友建設（株）	正会員	山地 宏志, 正会員	山田 文孝
（財）建設工学研究所	正会員	櫻井 春輔	
神戸大学	正会員	芥川 真一	
中日本高速道路（株）	正会員	田中 一	

1. はじめに

不連続性岩盤を対象とした各種土木構造物の設計・施工において、構造物周辺に形成される岩盤の緩み域を把握することは、構造物の安全性の評価にとって重要な検討項目の一つである。不連続性岩盤の緩み域においては、不連続面の開口や新たな形成といった変形過程が想定され、不連続面の性状変化に着目した各種の緩み域評価手法が提案されている¹⁾。本報告では、不連続性岩盤の透気特性に関する調査手法である真空透気試験²⁾を、トンネル掘削時の坑壁周辺の緩み域評価に適用した事例について報告する。

2. 試験方法の概要

真空透気試験は、ボーリング孔内にダブルパッカーを挿入して閉鎖区間を設け、真空ポンプによって試験区間内の空気を吸引し、このときの吸引量と圧力の関係から岩盤の透気特性を捉える試験である。図-1に試験機器の概要を示し、図-2に試験記録例を示す。透気特性は、吸引時定常状態における吸引量と試験区間圧力をもとに、次式によって固有透過度として解析する²⁾。

$$k = \frac{\mu p_0 q_s}{2\pi(p_0^2 - p_s^2)} \left\{ \frac{1}{r_e} - \frac{1}{\sqrt{r_e^2 + 4H^2}} \right\} \quad (1)$$

ここに、 k : 固有透過度、 μ : 空気粘性係数、 q_s : 吸引流量、 p_0 : 外気圧、 p_s : 試験圧、 r_e : 測定部の等価半径、 H : 試験区間長である。

岩盤中の空気の流動経路は不連続面沿いの開口部が支配的と考えられ、不連続面の新規形成や開口に伴った岩盤の透気特性変化を捉えることにより、岩盤の緩み域を捉えることが可能と考える³⁾。

3. 試験箇所の概要

試験を実施したトンネルは、TBMによって導坑(φ5m円形断面)掘削後、NATM工法によって本坑(掘削断面積=約200m²)を掘削した。真空透気試験は、導坑掘削後にボーリング孔を掘削して実施し、さらに本坑拡幅中にボーリング孔を維持して、本坑拡幅後に同一のボーリング孔を利用して再試験を実施した。試験実施箇所の土被りは約200mであった。試験箇所の岩盤は新第三紀の泥岩と細粒砂岩の互層からなり、ボアホールカメラ観察結果等では、割れ目系分布については下記の卓越方向が確認された(図-2参照)。

- ①破砕帯 : 割れ目沿いの軟質化や粘土を挟在するもの
- ②割れ目系Ⅰ: 開口した割れ目。開口量は0.5~2.0mm程度
- ③割れ目系Ⅱ: 開口幅が微少な割れ目(部分開口割れ目を含む)
- ④割れ目系Ⅲ: 孔壁全周にわたって密着した割れ目

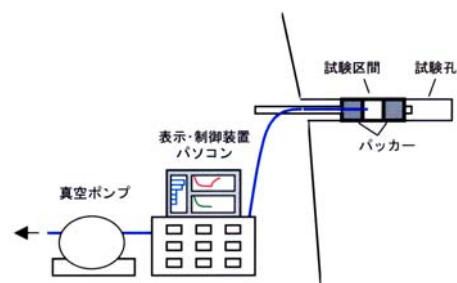


図-1 真空透気試験装置概念図

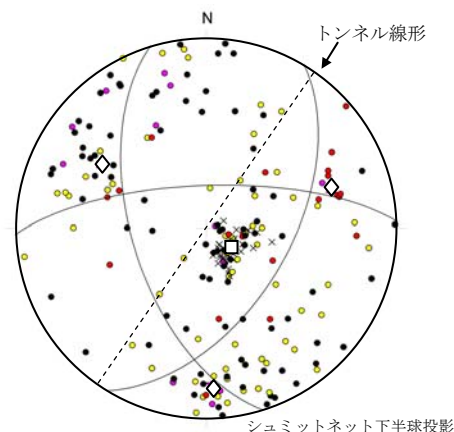


図-2 試験箇所の不連続面分布

- ×: 層理面
- : 破砕帯
- : 割れ目系Ⅰ(開口)
- : 割れ目系Ⅱ(微少~一部開口)
- : 割れ目系Ⅲ(密着)
- ◇: 割れ目の卓越方向(大円表記)
- : 層理面及び層理沿い割れ目の卓越方向

キーワード 不連続性岩盤, 真空透気試験, 透過特性

連絡先 〒136-8522 東京都江東区亀戸 1-8-9 サンコーコンサルタント(株) 岩盤工学研究所 TEL. 03-3683-7139

4. 真空透気試験結果

図-3 に試験結果の総括断面図を示す。本坑掘削前における試験区間内の割れ目状態と固有透過度を比較すると、割れ目の本数及び開口幅（試験区間毎の累計）と固有透過度には正の相関関係が認められ、岩盤中の割れ系の頻度と開口程度に対応して透過特性が変化したものと捉えられた（図-4 参照）。なお、割れ目の開口幅の累計が小さいものの固有透過度のばらつきが相対的に大きくなったが（図-4b）、ボアホールカメラ画像の開口量に関する観察上の判読精度は 0.5mm 程度であり、微少な開口亀裂における開口幅の判読誤差が影響した可能性が考えられた。本坑掘削前後の試験結果を比較すると、下記の特徴が認められ、天盤部坑壁から 10m 程度の領域が、緩傾斜の不連続面の開口を伴った岩盤変形を生じた範囲（緩み域）と捉えられた。

- ① A-1・A-3 孔では坑壁から 3～4m（ボーリング孔沿い、以下同様）の範囲で固有透過度が増加。A-2 孔では、坑壁から 11m の範囲で固有透過度が増加。
- ③ ボアホールカメラによる本坑掘削後では坑壁から 3～4m の範囲で層理に平行な割れ目の開口が認められ（図-5 参照）、A-3 孔で相対的に顕著。
- ④ 上記以外の箇所では、本坑掘削前後の固有透過度は概ね同一（再現性有り）。

一方天盤部の沈下量計測結果の変位量は 10mm 以内で収束したが（図-6）、鉛直中心線に対して非対称な変形が認められ、不連続面に規制された岩盤ブロック単位の変形に関連した透気特性変化（緩み範囲形成）が想定された。

5. 終わりに

不連続性岩盤の変形機構としては、岩盤ブロック自体の弾性的変形とブロックの剛体的変形が一般に考えられる。今回の事例検討結果から、真空透気試験は後者の発生領域としての緩み域の把握に有効な手法と考えられ、測定結果の再現性の点から繰り返し測定による岩盤緩み域評価手法としての有効性が考えられた。真空透気試験の製作、解析に際し、神戸大学中山昭彦教授に多大な指導を戴きました。末筆ながらここに記して深甚の謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 桜井春輔ほか：パネルディスカッション、第 23 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、PP378-387, 1993.
- 2) 中山昭彦ほか：岩盤ゆるみの緩み現象の域評価のための真空透気試験、土木学会論文集、No. 575/III-40, pp. 9-24, 1997
- 3) 山田文孝：真空透気試験を利用した岩盤評価に関する研究、三井建設技術研究報告別冊第 11 号, 1999.

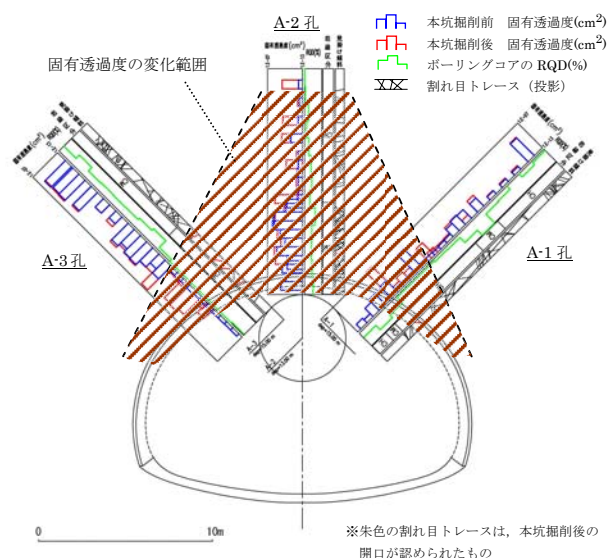


図-3 試験結果 総括断面図（北東向き）

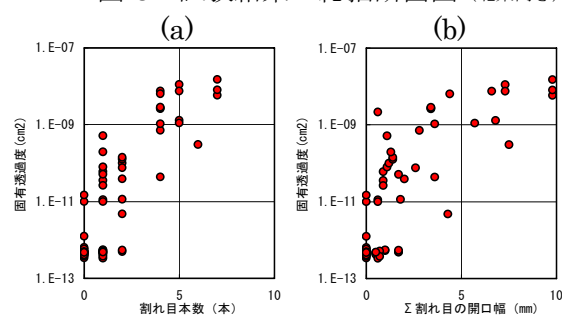


図-4 真空透気試験結果と割れ目

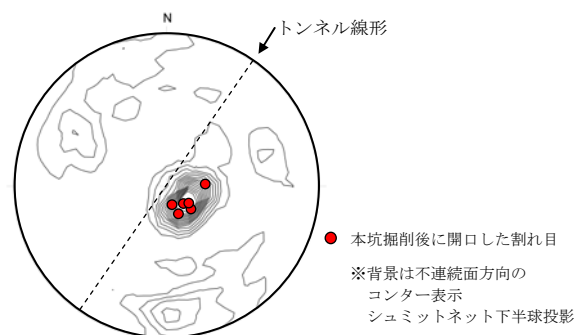


図-5 本坑掘削に伴って開口した割れ目

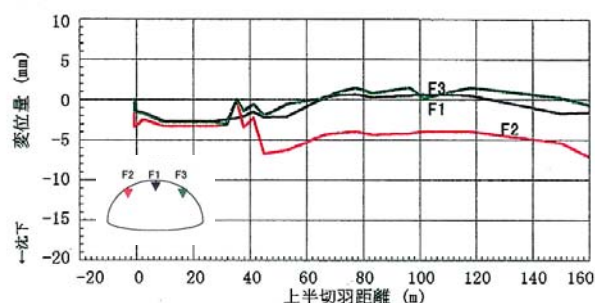


図-6 天盤部の沈下量計測結果³⁾