

ボアホールテレビの岩盤調査への適用

平 間 邦 興 丸 山 誠
畑 浩 二 桑 原 徹

Application of Borehole TV System to Investigation of Bedrock

Kunioki Hirama Makoto Maruyama
Koji Hata Tohru Kuwahara

Abstract

A borehole TV system was used as one of the investigation methods on the loosened zones in bedrock. The observations were carried out to clarify the range of the loosened zone accompanying road tunnelling in cracky bedrock of medium hardness. Consequently, it has become possible to estimate both the expanse of the zone and the state of crack distribution in the bedrock.

This report describes the application of the TV system to bedrock investigation, as well as the mechanism and analytical method of the system.

概 要

岩盤のゆるみ領域に関する調査方法の一つとしてボアホールテレビ観測を実施し、調査結果の検討を試みた。割れ目の多い中硬岩での道路トンネル工事において、掘削に伴うゆるみ領域について調査を行なった。その結果、一応のゆるみ領域を推定することができる。とともに、岩盤の亀裂分布状況についてかなり明確な傾向を得ることができた。

この報告では、ボアホールテレビ観測の調査解析方法と解析結果などの概要を述べるとともに、岩盤調査への適用について述べる。

1. まえがき

岩盤を対象とした調査・試験には種々の方法があり、設計・施工に数多く適用されている。近年、地下発電所あるいは岩盤地下備蓄などの地下空洞の建設にあたっては、岩盤の工学的特性に対応する種々な調査方法が検討されている。

元来、岩石の自重や地山運動に基づく一次地圧を有している岩盤内部にトンネルなどの空洞を掘削すると、空洞周辺の地山には応力の再配置が起り、いわゆる二次地圧が生じる。これらの地圧の発生機構やその大きさなどについては不明な点が多くまた測定例も数少ない。

今回は割れ目の多い中硬岩での道路トンネル工事において、岩盤のゆるみ領域に関する調査の一つとしてボアホールテレビ観測を実施した。以下にその観測方法と解析結果の概要について示す。

2. ボアホールテレビ観測システム

2.1. 観測システム

使用したボアホールテレビシステムは、KBT-3000シリーズ（川崎地質（株）製）である。この観測システムは、カメラゾンデ、ケーブル、制御器およびゾンデ昇降装置より構成されている。以下にそれらの機能を示す。

(1) カメラゾンデ 孔内照明用ライトおよびビデオカメラを内蔵する部分で、焦点調節、カメラの旋回、ミラーの昇降および方位方向の測定などの諸機能を有している。カメラゾンデの本体を写真-1に示す。

(2) ケーブル 特殊材料による多芯ケーブルを使用し、ケーブルの伸縮を最少限にとどめている。

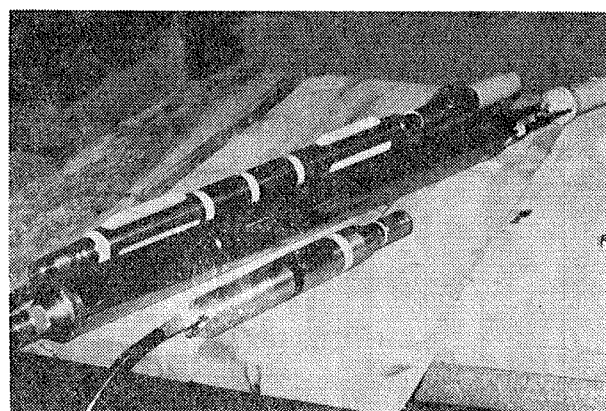
(3) 制御器 モニター用照明の調光、焦点調整、カメラの旋回調整およびミラーの昇降調整が可能な他に、測定データや情報をテレビ画面に表示することができる。

また、テレビ画面上に映し出された画像は VTR による記録が可能である。

(4) ゾンデ昇降装置 カメラゾンデを電動モータによって自動的に昇降させる。

2.2. 観測方法

ボアホールテレビによる孔壁の観測では、カメラゾンデの前方 45° の方向に取付けられた可動式鏡面を上下に移動させることによって、観察方向を任意に変えることができる。鏡面を下げた場合には、ボーリング孔内を見下ろした状態の全周観察（直視）が、また、鏡面を上げた場合は、孔壁を真横から見る状態での側壁観察（側視）が可能となる。これらの観察状況の模式図を図一に示す。全周観察の場合、画面内には光源部に重った鏡面が画面中央に、その光源部から伸びる 2 本の支柱ならびにこの鏡面と支柱をはさんで上下に孔壁が映し出される。この観察方法では、孔壁を斜視しているため一度に広範囲の観察が可能となる。また、孔壁の乱れや亀裂が強調される傾向を避けるため、短い時間に多くの孔内状況を観察するのに適している。側壁観察で見られる画像は孔壁の一部であるが、カメラを回転させることによって 360° 全周の孔壁を観察することができる。しかも、画面内のスケールがほぼ同じ縮尺となっているので、ボーリングの孔径がわかれば容易に亀裂の大きさを測定することが可能である。したがって、この観察方法は詳細な孔壁岩盤状況を把握するのに適している。ボーリング孔壁の亀裂分布や孔壁展開状況の一例を図二に示す。亀裂の走向・傾斜は、例えば北（磁北）から θ° 西への走行をもち南に α° 傾く亀裂がボーリング孔を横切っているとすると、孔壁の展開図に表われる亀裂はある周期関数（正弦関数・余弦関数）として示される。また、ボーリング孔が鉛直の場合には、亀裂の走行は亀裂の最大傾斜方向に、傾斜は最大傾斜点の水平線と亀裂とのなす角度に、そして、亀裂方向は凹部分を示す極小点の方向で示すことができる。今回の調査では、上述の観察方法のうち側壁観察を重点的に行ない一連の解析を実施した。



写真一 カメラゾンデ本体 (カラー用・白黒用)

2.3. 解析方法

観測された亀裂分布を明確にするために、展開図上の亀裂（周期関数は図二参照）の変曲点にその亀裂が存在するものとする。そこで、深度 50 cm ごとに存在する亀裂の本数を累計したものを亀裂本数と定義する。また、展開図において計測された亀裂（亀裂幅 2 mm 以上を開口亀裂、2 mm 未満を微小亀裂と定義した。）面積は、ボーリング孔における測定結果であるため、各亀裂面積の深度分布を直接には比較することができない。そこで、ボーリング孔と同じ径を持つ円筒が、亀裂面に直交する時に切り取る間隙量に亀裂面積を換算する必要がある。その場合の換算式は次式を用いる。この場合、亀裂の存在する位置は亀裂本数の場合と同様とする。

$$S = \frac{2\pi r}{L_{\text{mean}}} S'$$

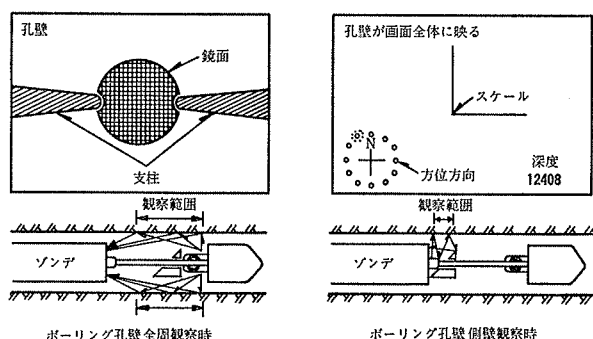
ここで、 L_{mean} : 亀裂の平均周長 (mm)

r : ボーリング孔径 (mm)

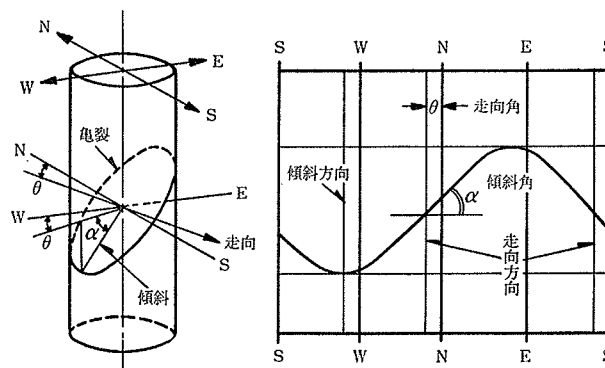
S' : 計測される亀裂面積 (mm²)

S : 換算亀裂面積 (mm²)

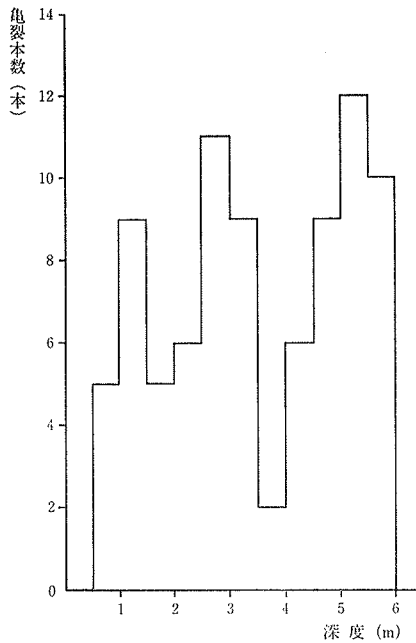
また、開口亀裂面積に剝離面積を加えて、前述と同様の方法で比較した。ところで、一般に断層・シーム・節理などの割れ目（亀裂）の卓越性を統計的に把握する方法として、等面積投影法（シュミットネット）および等



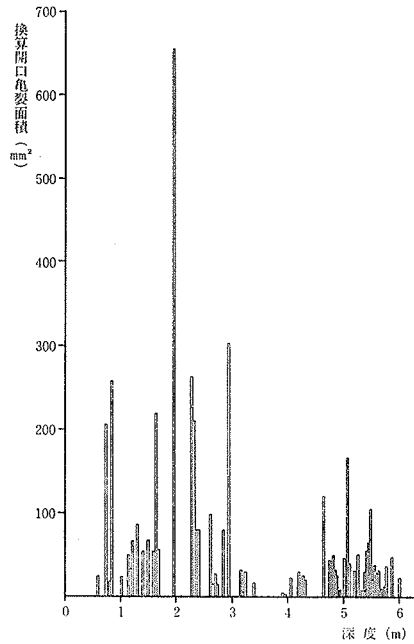
図一 孔壁の観察状況



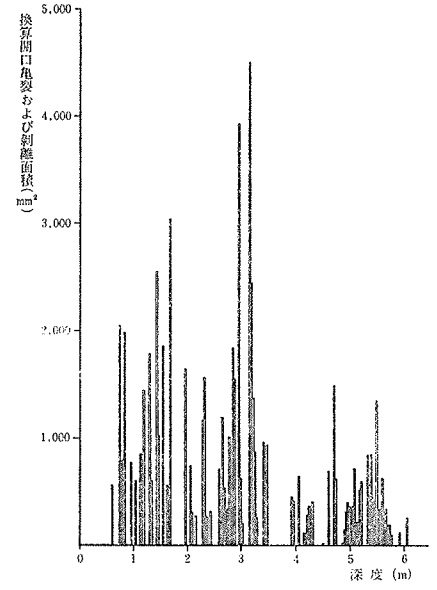
図二 孔壁の展開状況



図一三 亀裂本数の深度分布



図一四 換算開口亀裂面積の深度分布



図一五 換算開口亀裂および剝離面積の深度分布

角投影法（ウルフネット）が用いられており、それぞれに北半球投影法と南半球投影法とがある。等面積投影法は球面座標を極面に投影したもので、割れ目の卓越傾向を感覚的にとらえるのに適している。また、等角投影法は球面座標を赤道面に投影したもので、割れ目の卓越傾向を量的にとらえることが可能で、その統計処理を行なうのに適している。今回は、前者の方法（シュミットネット）のうち南半球投影法により亀裂分布の方向やその卓越性についての検討を行なった。

3. 解析結果と 2, 3 の考察

3.1. 亀裂頻度分布の傾向

今回のボーリング孔において観測された孔壁状況の一部を写真一2に示す。また、亀裂本数の深度分布を図一3に、換算開口亀裂面積の深度分布を図一4に、そして換算開口亀裂および剝離面積の深度分布を図一5に示す。これらの解析結果により、いずれも深度 3.5~4.0 m 付近を境にして異なった亀裂分布を示していることがわかる。つまり、3.5 m 以浅では 4.0 m 以深に比較して亀裂本数は少ないが、面積の大きな亀裂が分布していると解釈できる。すなわち、3.5 m 以浅では亀裂本数が15本/m程度の「開いた亀裂」の存在することがわかる。ところが、4.0 m 以深については逆の傾向を示して亀裂本数は18.5本/m程度と多いが、亀裂面積・亀裂および剝離面積の小さな「閉じた亀裂」が存在することがわかる。つぎに、換算開口亀裂面積の深度分布（図一4）と換算開口亀裂および剝離面積の深度分布（図一5）とを比較してみると、亀裂面積の大きい範囲では剝離面積もまた大

きくなる傾向を示している。この傾向は、亀裂間隔が広がるにつれて亀裂周辺の岩片が剝離したものと考えられる。したがって、3.5 m 以浅ではトンネル開削によって何らかの力を受け、亀裂面積（亀裂間隔）や剝離面積が大きくなったものと推定される。ところで、亀裂の傾斜角 α があまりに大きくなると、その深度分布と岩盤状況とが一致しない可能性があり、亀裂の存在位置を展開図上の変曲点とするには問題となる場合がある。そこで、ボーリング孔を 1 cm 単位に輪切りした場合の単位区間に含まれる亀裂面積・剝離面積を求めた結果と、前述の亀裂面積などを換算する方法とを比較してみる。単位区間の開口亀裂面積の深度分布を図一6に、単位区間の開口亀裂および剝離面積の深度分布を図一7に示す。開口亀裂面積・開口亀裂および剝離面積が、ともに最大値を示す深度と若干異なることを除けば、ほぼ同じ分布形状（3.5~4.0 m 付近を境にして異なった分布形状）を示し



写真一2 孔壁岩盤の亀裂分布状況

ていることがわかる。このように、分布形状のみを見る限りでは、亀裂傾斜角の大小は特に問題はないようである。

3.2. 亀裂方向の分布

亀裂方向の分布を図一8に示す。この解析結果より、 $N65^{\circ}E68^{\circ}S$ に最も亀裂の方向が卓越するほか、 $N20^{\circ}E50^{\circ}S \cdot N35^{\circ}E20^{\circ}S \cdot N72^{\circ}W75^{\circ}S \cdot N10^{\circ}W38^{\circ}S \cdot N40^{\circ}W50^{\circ}N$ などに亀裂方向の分布の集中していることがわかる。ところで、ボーリング孔には一定の方向性があり、一般にボーリング孔に対して直交する亀裂の頻度が高く、平行する亀裂の頻度は低くなる傾向がある。今回の亀裂分布の解析は1方向のボーリング孔による観測のため、岩盤に含まれる亀裂の頻度分布を十分に表わしているとは言いがたい。これを解消するためには、2方向ないし3方向のボーリング孔による亀裂方向の解析検討を行なう必要がある。

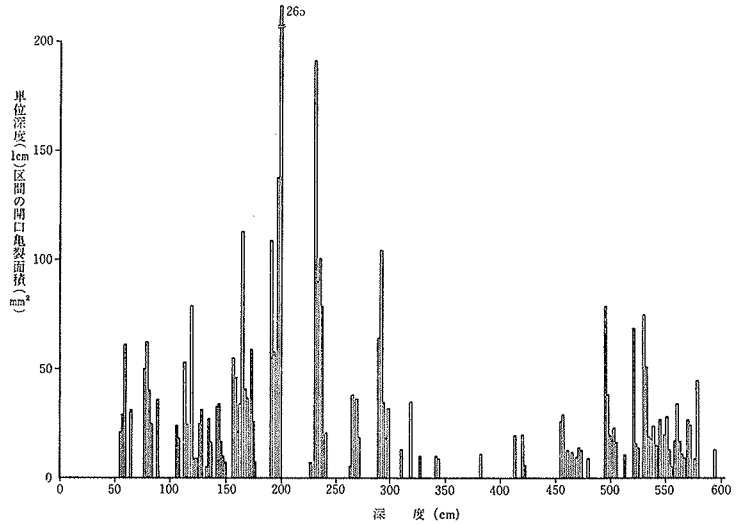
4. あとがき

今回得られたボアホールテレビ観測における解析検討結果では、トンネルのゆるみ領域は側壁より深度3.3~3.5m付近まで分布するものと推定された。亀裂性の岩盤における一応の傾向を得ることができたが、幾つかの問題は残されていよう。例えば、軟質岩盤への調査の適用や解析作業の電算システム化、あるいは多方向や深部ボーリング孔による観測などは今後の課題となる。現在、ボアホールテレビ観測は、ボーリング孔による水圧破砕法やAE法による初期地圧の推定などの岩盤調査に適用されている。特に水圧破砕試験によって発生した亀裂は、地圧の方向と密接な関係があるとされ、その亀裂の方向を詳細に求めることにも利用されている。以上のように、実際の孔壁岩盤状況を適確に確認することができるため、単に岩盤調査に限らずその利用範囲はかなり広いと予想される。

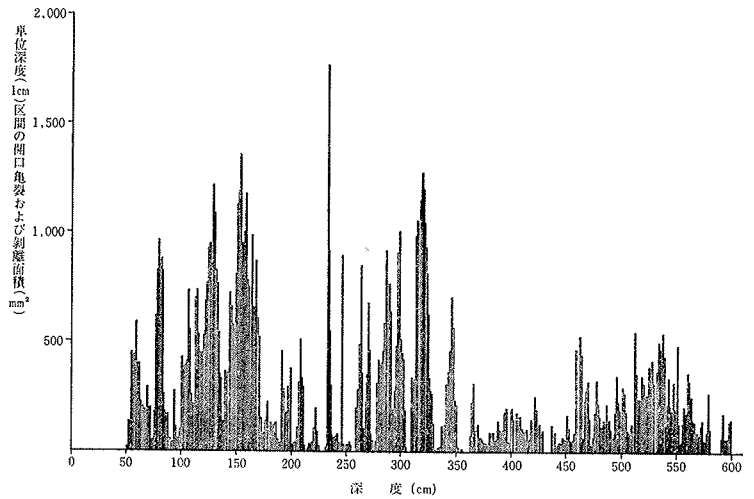
なお、この研究は本社土木技術部との共同研究の一部である。また、技術研究所藤原紀夫主任研究員、吉岡尚也研究員、ならびに川崎地質(株)川村泰資、中田文雄両氏より多大の助言をいただいた。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

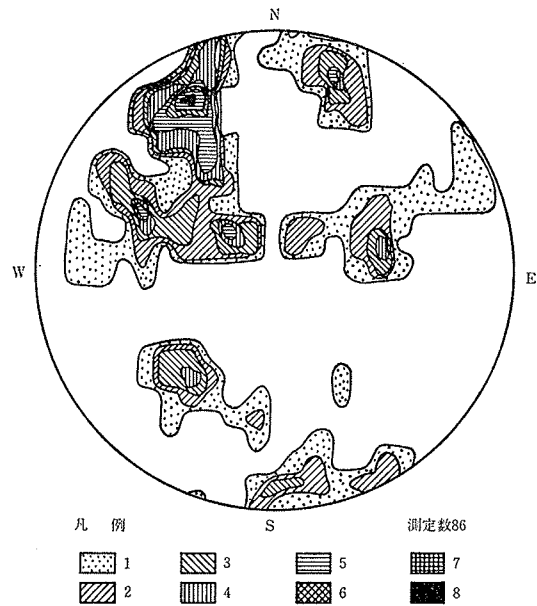
- 1) 藤原, 平岡, 丸山, 吉岡, 畑: 岩盤のゆるみ領域に関する調査の試み, 大林組技術研究所報, No. 25, (1982), pp. 99~104



図一6 単位区間の開口亀裂面積の深度分布



図一7 単位区間の開口亀裂および割離面積の深度分布



図一8 亀裂方向の分布