

評価点法を用いた事前調査による地山評価と施工

ROCK MASS EVALUATION AND TUNNEL CONSTRUCTION USING DATA OF PRIOR SURVEY BASED ON A SCORING METHOD

木村正樹¹⁾、杉田 理²⁾、大塚康範¹⁾

Masaki KIMURA, Osamu SUGITA, Yasunori OOTUKA

In the construction of a tunnel with a length of about 2.4 km described in this report, the seismic survey showed that about 80% of the tunneling medium would have seismic wave velocity of 4.7 km/s. However, since an alteration zone was found: including survey by the Resistivity image profiling; additional test boring at three representative points for measuring the resistivity; and electrical logging. The tunneling medium was then scored and classified using the results of these investigations. It was revealed that the arrangement of supports designed based on the results of these investigations was almost the same as that actually used during the construction of the tunnel.

Key Words: tunnel, Rock mass evaluation, seismic survey, resistivity

1. まえがき

トンネルの地山区分は地質踏査結果、弾性波探査、ボーリング調査等の結果から行われるが、大土被りのトンネルでは中間部分のボーリングに制約が多く、弾性波探査による速度区分だけで検討が行われることも多い。しかし、弾性波探査では初動の到達時間を解析するために、地山を良好なものとして判断しやすく施工時の地山区分との乖離が問題となる場合が多い。

ここで紹介するトンネルは、図-1に示すように奈良県中部に位置する全長約2.4kmの2車線道路トンネルである。地質は花崗閃緑岩・崗閃緑岩であり、1次調査の弾性波探査では8割以上の区間が4.7~5.0km/sであり、当初B地山と推定された。しかし、踏査の結果、変質帯が確認されたため、効率的な2次調査を行い、精度の高い地山評価を行うことが要求された。

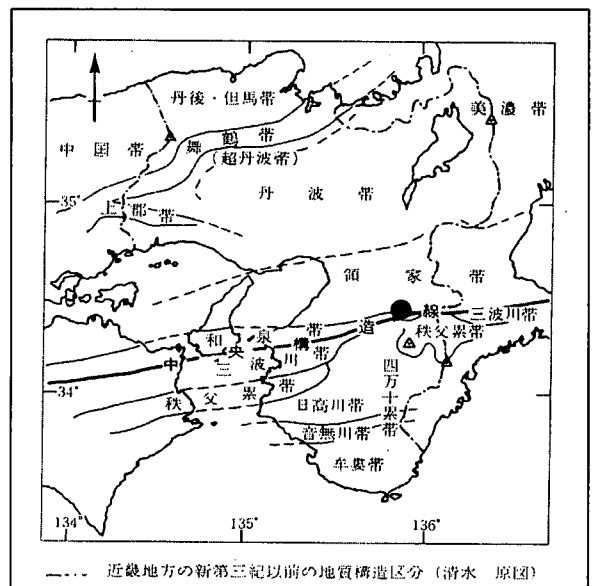


図-1 対象トンネル位置地図

1) 正会員 応用地質株式会社 西日本技術センター
2) 応用地質株式会社 西日本技術センター

2. 調査・検討方針

対象トンネルの最大土被りが 300mに達し、想定された変質帯や断層の傾斜も高い角度であったためボーリング地点の選定を慎重に行う必要があった。このため図-2に示す流れに沿って調査・検討を行うこととした。調査地域に分布する花崗岩類は一般的に高比抵抗であるため、変質帯や断層破碎帯のように低比抵抗の位置検出に有利であるため比抵抗映像法による調査を行ない、その結果に基づいて表-1に示すような2次調査ボーリングを実施した。

また、施工段階における支保選定は切羽における亀裂の間隔や性状等を点数化した「切羽評価点」による得点により評価されるのが一般的である。このため、ボーリングコアも同様な指標で評価し、調査・設計段階と施工段階の地山区分判定の乖離を少なくなるようにした。

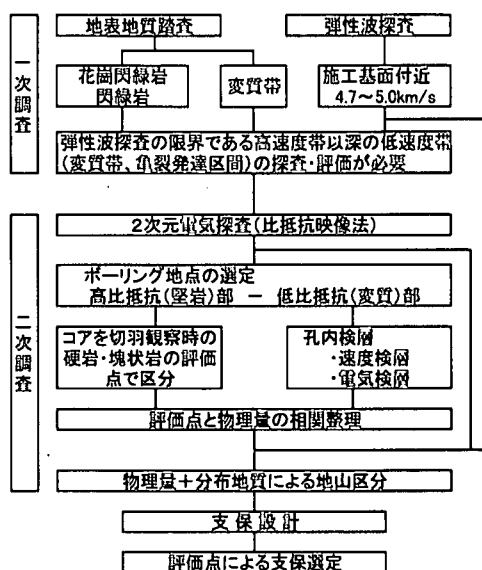


図-2 対象トンネルの調査・検討の流れ

表-1 2次調査ボーリング概要一覧表（ボーリング地点は図-5参照）

孔名	孔径mm	掘進長m	選定理由	実施試験
B-1	66	107	堅岩部が予想される高比抵抗帯	速度検層、電気検層、湧水圧試験、岩石試験
B-2	66	167	変質帯が予想される低比抵抗帯	速度検層、電気検層、湧水圧試験、岩石試験
B-3	66	47	低速度帯に相当する低比抵抗帯	速度検層、電気検層、湧水圧試験、岩石試験

3. 調査結果に基づく地山評価

ボーリング調査で確認された地質は花崗閃緑岩、石英閃緑岩であり、特にB-2の低比抵抗帯の深度では白色に変質した区間が出現し、孔壁が自立しないためにセメンテーションを行う必要があった。このような地質が切羽に出現した場合には、塑性地圧の発生が予想されたが事前の弾性波探査では明瞭な低速度帯として評価するような記録は得られていなかった。また、2次調査のボーリング孔内で実施した電気検層による比抵抗値と、速度検層による弾性波速度を4ランクの変質の区分毎に整理すると表-2のようになる。

表-2 ボーリング地点変質区分と孔内検層・評価点の対比

変質区分	記事	一軸圧縮強度 MPa	弾性係数 MPa	比抵抗値 Q・m 1000 2000 3000	弾性波速度 km/sec 2.0 3.0 4.0 5.0	JH切羽 評価点 20 40 60 80
新鮮部	岩質は堅硬。 亀裂に粘土を挟まない。 若干の風化、変質を受ける。	max = 105 min = 32.3 ave = 73.0	max = 55100 min = 2420 ave = 15900	300 1870 3100	4.3 5.3 4.8	25 73
弱変質 (閃緑化帯)	岩質は比較的堅硬。 亀裂が比較的多い。 緑泥石を割れ目に挟む。 る。	max = 76.6 min = 8.4 ave = 44.7	max = 52800 min = 49200 ave = 51000	230 980 2400	3.2 5.3 4.4	26 56 67
中変質 (中閃緑化帯)	岩質はやや軟質化。 粘土を挟む割れ目が発達する。 岩はレキ状に割れる。	ave = 6.8	max = 12100 min = 33.6 ave = 5100	200 840 540	4.3 4.7 4.4	18 63 44
強変質 (強閃緑化帯)	岩質は軟質し容易に割ることが できる。 割れ目に比較的厚い粘土層 を挟む。 一部は土砂化する。	max = 49.8 min = 1.2 ave = 18.1	ave = 1800	180 700 280	3.3 4.3 3.8	0 63 29

▲ 値の分布範囲
平均値

また、コア観察の結果をJHの新切羽判定手法の塊状・硬岩の配点に基づいて区分したところ、評価点と比抵抗値、評価点と弾性波速度の関係には図-3に示すような関係があり、比抵抗値は図-4に示すように観察の各項目の分類とも相関が高いことがわかった。これらの結果から、切羽判定の指標となる評価点は変質帯を挟む硬岩地山の地山区分には弾性波速度による区分よりも比抵抗値に基づく評価が望ましいと考えられるため、比抵抗値に主眼を置き、地質踏査の結果トンネル施工基面付近に分布すると想定される岩種に基づいた区分を行うこととした。

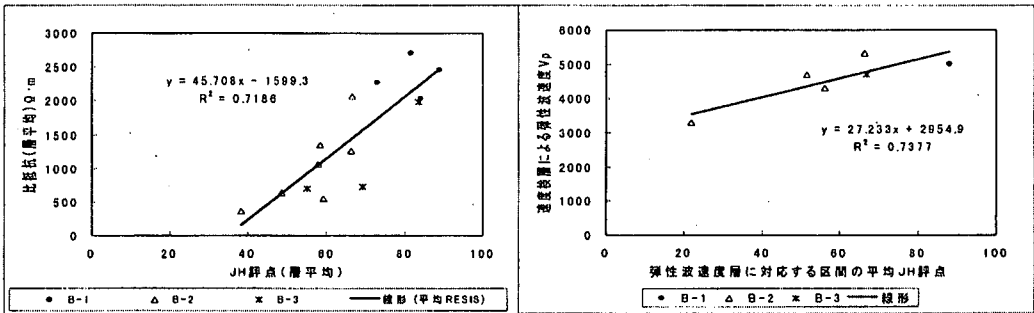


図-3 ボーリングコアの評価点と検層結果による物理量との関係

なお、切羽観察項目のうち、ボーリングコアの観察で行える岩片の強度や割れ目の性状について電気検層による比抵抗値と比較すると図-4のような関係にあり、各観察項目について比抵抗値と評価点に関連があることがわかる。

また、JHの新切羽評価点と選定支保パターンとの関係は表-3のようになっているが、対象トンネルでは地表踏査および湧水圧試験試験の結果、切羽からの湧水が多いことが推定されたため、湧水によるマイナス調整点10点をコア観察結果による評価点から減じたものを基準に地山区分の境界線を選定した。表-4には比抵抗値と評価点の関係図から求めた評価点と比抵抗値の対比表を示す。

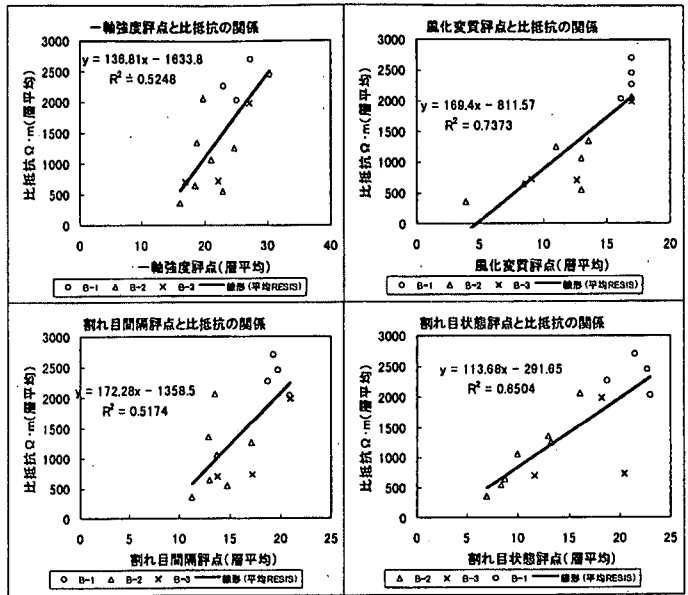


図-4 電気検層による比抵抗値と観察項目毎の評価点

表-3 評価点と支保パターンの関係

JH切羽評価点	JH式支保	今回評価点
70点以上	B-a	80点以上
55~75	CⅠ-a	65~85
45~65	CⅡ-a	55~75
30~55	CⅡ-b	40~65
40点以下	DⅠ-a,b	50点以下

表-4 比抵抗値と評価点の対比

今回評価点	比抵抗値 Ω/m
80	2060
70	1600
60	1140
55	920
50	690

4. 設計・施工との対比

図－5 に地山区分と施工支保パターンの対比図を示し、図－6～8 に比抵抗値と実施支保パターン、評価点の関係等、表－5 に調査結果と施工結果の対比を示す。

本トンネルの施工は図－5 の左側から片押しで掘削され、坑口付近の DⅢパターンを除くと、図－5、6 に示すように CⅠ、CⅡ主体の施工となっている（JHパターンである CⅡ-a に相当する鋼アーチ支保鋼支保なしのパターンは未採用）。比抵抗値に基づく 2 次調査の地山区分で B 地山は全体の 1 割程度と評価したが施工の結果では全体の 1 割程度予想されていた B パターンは岩片は硬質なもの亀裂が多いため施工延長は縮小した。また、図－5 に示すように 100 リットル／分を越える大湧水が発生した区間もあり、亀裂間隔は広いものの CⅡで施工した区間もあった。さらに、部分的な押し出しを生じる変質帯に対応した DⅠパターンの区間が想定より増加した。しかし、一次調査で想定された弾性波速度のみによる地山区分では B 地山が約 8 割であり、比抵抗値による区分の有効性が伺える。

また、図－7 に示す比抵抗区分毎の施工支保パターンの割合を見ると、低比抵抗区間では DⅠ、CⅡパターンが多く、高比抵抗区間になるにつれて DⅠパターンが減少して CⅠパターン施工区間が増加している。

全体的な傾向としては、大湧水区間を除くと新鮮な硬岩部と軟質な変質帯の出現傾向はおおむね一致しているように見受けられるが、土被りが 200m 以上となるトンネル中央付近では必ずしも新鮮部、変質帯の位置が予想とは一致していない。この一つの原因として、土被りの大きな区間の電極間隔が 20m であり、電極間隔程度の区間の判別が困難であることが考えられる。また、電流が流れる経路が実際は電極から電極まで半球状の 3 次元の面を通過して行くために、深部の脈状の変質帯やレンズ状の幅の狭い新鮮部を検出することが困難であることが考えられる。

表－5 調査結果と施工結果の対比（坑口部のパターンを除く）

距離呈m	土被りm	比抵抗値 Ω/m	設計時の地山評価	施工結果
0～400	0～150	800～2000	CⅡ、CⅠ	CⅡの施工延長がのびたが、良不良区間の出現傾向は一致
400～600	150～200	2000 以上	B、CⅠ	湧水がほとんど無かったが、亀裂沿いの部分的剥離があり CⅠで施工
600～900	200～250	1500～2000	CⅡ、CⅠ	亀裂間隔は広いものの、湧水が多い区間は CⅡで施工
900～1100	250～300	800～1500	CⅡ、CⅠ	湧水が減少し CⅠ主体で施工
1100～1300	200～250	1000～1500	CⅠ	1100m 付近の低比抵抗帯は部分的な粘土を挟むものの CⅠで施工。1000 Ω/m の区間で 26m DⅠで施工。
1300～1700	150～200	600～1500	CⅡ	おおむね想定通りだが 21m 区間 DⅠ挟む
1700～2000	100～150	800～2000	CⅠ、CⅡ	弾性波探索の低速度帯に隣接する区間で CⅡ区間が増加
2000～2400	0～100	600～1500	CⅡ、DⅠ	湧水があり 600 Ω/m 程度の区間では DⅠで施工。

支保選定のための切羽評価は JH 方式の切羽評価点とは別の指標で実施されたが、観察項目は JH の新切羽評価点法による評価項目と重複していた。このため、花崗閃緑岩に対応する「硬質・塊状」岩の配点に基づき各切羽における JH 方式の評価点を求め平均、標準偏差を求めると図－8 のようになる。

図－8 は土被り 100m 以浅地点の切羽評価点についてまとめたものであるが、800～1500 Ω/m の範囲では評価点並びに図－7 に示す施工支保パターンでは DⅠ、CⅡ、CⅠ以上のパターンの割合に大差が認められない。図－3、表－4 に示すボーリングコアの評価点と孔内の電気検層による比抵抗値の関係図でもこの範囲で評価点のばらつきが大きくこの区間での評価が今後の課題となる。

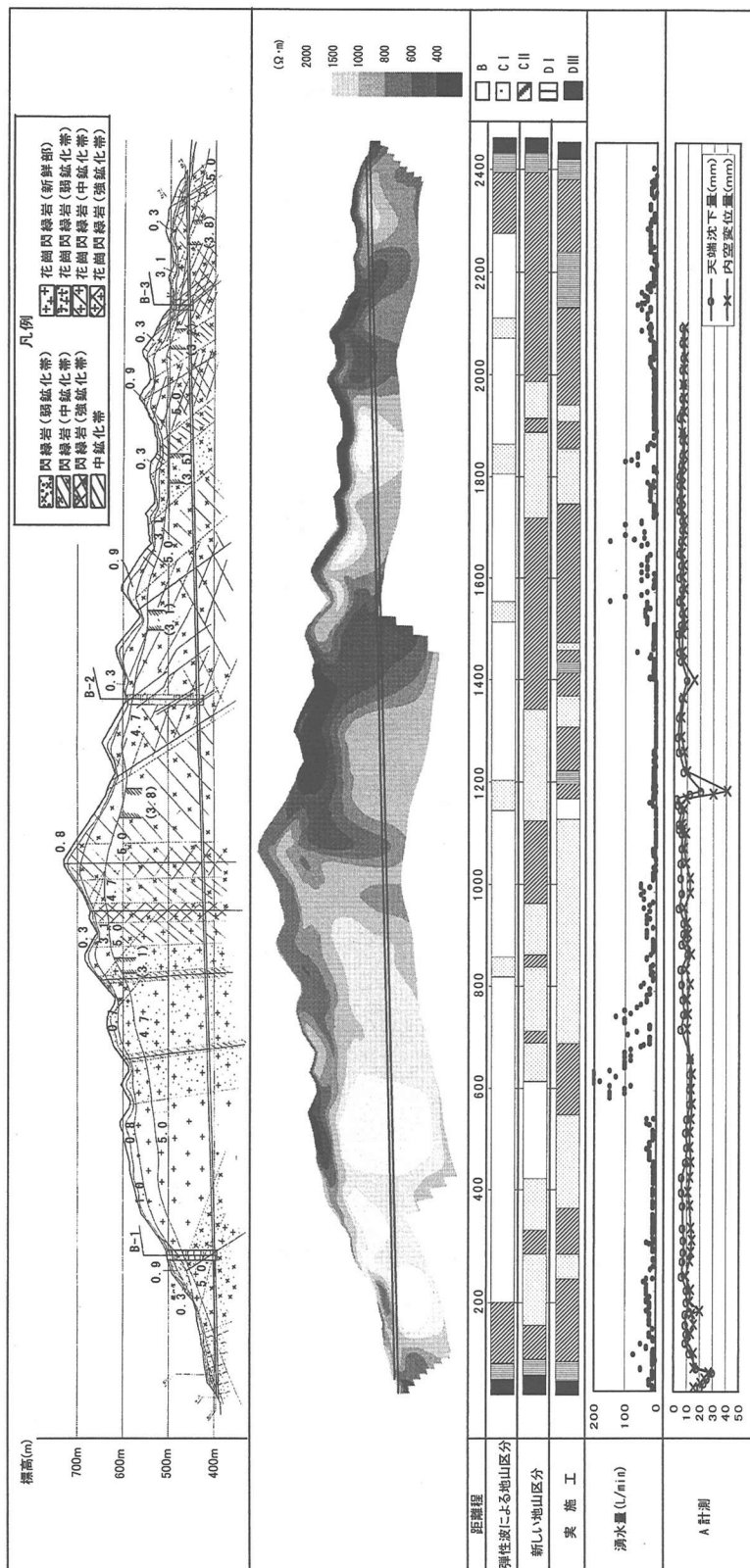


図-5 弾性波探査・比抵抗影画像法探査結果断面図と地山区分・施工支保パターン

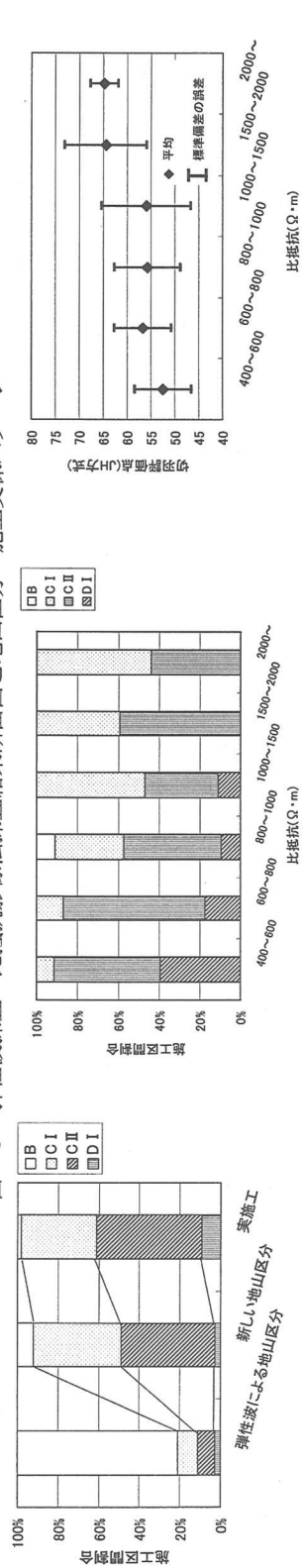


図-6 地山区分の考え方と施工支保パターン

図-7 地山の比抵抗値と支保実施支保パターン

図-8 比抵抗と切羽評価点(JH方式)の関係

5. 今後の課題

以上述べたように対象トンネルのような硬質・塊状な地質であれば、比抵抗による地山区分が有利であることが考えられる。また、図-9に示すように、弾性波探査でトンネルフォーメーション付近の速度が正確に測定できたとしても、地質によっては掘削により切羽直近で弾性波速度が急激に低下しやすく、弾性波速度を過信することは設計と施工支保パターンの乖離を生じさせる原因となる。

ただし、比抵抗映像法による探査は最近実績が増加しているものの、低比抵抗帯が変質によるものか、地下水によるものか、もともと比抵抗値の低い泥質岩によるものかを少ないデータで判定するのは困難である。

現在、亀裂性の層状岩盤や、地山全体の抵抗が低い泥質岩の地山にも電気探査とボーリングコアの評価点法による区分が適用されはじめているが、今後も施工記録との対比を行い、多様な地山での精度の高い地山区分を目指したい。

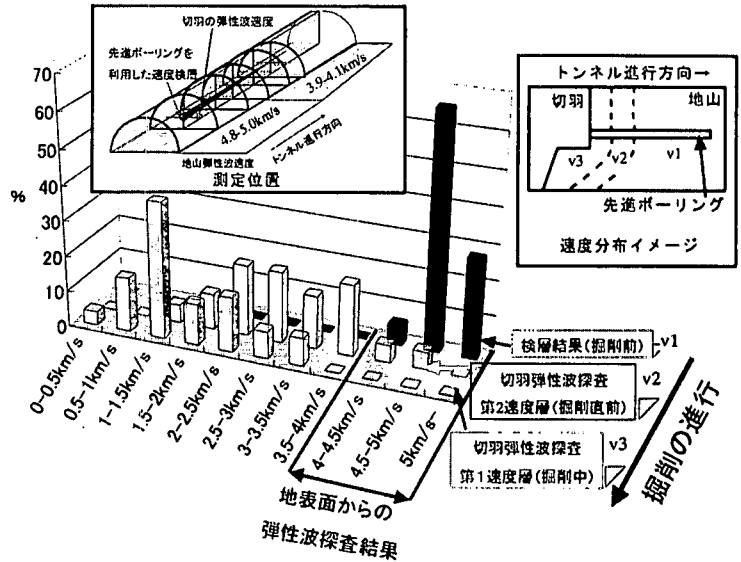


図-9 トンネル掘削に伴う弾性波速度の変化計測例【文献3編集】

<参考文献>

- 1) 真下・石村・宮川(1997)：トンネルの地山状態と比抵抗値との関係に関する研究、第7回トンネル工学研究論文・報告集7巻
- 2) 笹野・力武・木村・中垣(1999)：トンネル切羽判定手法による支保の選定結果と事前調査結果の対比 第9回トンネル工学研究論文・報告表9巻
- 3) 竹内・佐治・大橋・木村(2001)：近畿地方の美濃・丹波帯、四万十帯トンネルにおける地山評価と実施工の対比、日本応用地質学会関西支部平成13年度講演会
- 4) (財)災害科学研究所トンネル調査研究会(2001)：地盤の可視化と探査技術【比抵抗高密度短作法の実際】、鹿島出版会
- 5) 中川(2001)：弾性波速度分布によるトンネル岩盤の事前予測と施工時の岩盤評価との関係、日本応用地質学会平成13年度シンポジウム 予稿集