

III-121

九州新幹線第3紫尾山トンネル施工による四万十層群輝緑凝灰岩の特性について

日本鉄道建設公団九州新幹線建設局 石田勝政、宇都暢生
川崎地質株式会社九州支店 正会員 三角富男、吉田 亮

1. はじめに

九州新幹線鹿児島ルート（八代・西鹿児島間）の内、出水～川内間においては、現在第3紫尾山トンネル本坑が掘削されている。この区間は鹿児島県出水市～高尾野町～東郷町～川内市にわたる約33kmの区間で、両端の出水駅・川内駅付近の平地部を除くと紫尾山（1067m）を最高地とする急峻な山岳地帯よりなり、その約70％は第1・第2・第3紫尾山トンネルを始め大小12箇所のトンネルにより構成されている。その中でも第3紫尾山トンネルは、トンネル長約10km、最大土被り約400mの最長大トンネルであり、その中央部付近から約500mの横坑を掘削し、本坑との交点（74°949'80）に到達後起点側に向け本坑掘削を行なっているところである。掘削対象の主な地質は、中生代四万十層群の輝緑凝灰岩と砂岩・頁岩であり、輝緑凝灰岩での長い区間に及ぶ大断面トンネルの掘削事例は少ないので、その概要を報告するものである。

2. トンネル施工前の地質調査と施工の経緯

第3紫尾山トンネル（中工区）は、鹿児島県薩摩郡東郷町の中津保より北西に向かって横坑を約500m掘削し、本線位置（74°949'80）に到達後北方（起点側）に本坑を掘削する計画になっていた。トンネル掘削前に実施した地表踏査資料によると、当該区間の地質は中生代白亜紀の堆積岩である四万十層群よりなり、岩種は砂岩・頁岩・砂岩頁岩互層及び輝緑凝灰岩より構成されていて、当該区間の地層の走向・傾斜はN-S～N10°E・50～70°Wとなっていた。第3紫尾山トンネルの掘削方向は概略N8～9°Eであるので、掘削はほぼ地層の走向に沿って進むことになる。地表踏査の結果では、ルート西側に幅100～150mの輝緑凝灰岩の露頭が確認されたので、横坑の途中から輝緑凝灰岩に遭遇し、本坑は輝緑凝灰岩と砂岩・頁岩の地層境界を縫って進むと予想していた。当初設計の段階においては、輝緑凝灰岩の強度特性については、砂岩・頁岩と同一の堆積物であることから、これらは同一に取り扱えると判断し、地山分類を実施し、分類した岩種と弾性波探査速度とによって地山等級を決め、それに対応する標準支保パターンを採用した（表-2）。

施工実績によれば、横坑々口から約330mの地点までの地質は、所々頁岩を挟んでいたが、主に四万十層群砂岩であり、坑口より6～70mの区間こそ風化を受けて脆弱であったが、他は比較的堅硬で新鮮な砂岩で、亀裂も少なく、湧水も僅かな良好な岩盤であった。しかしながら、坑口より約330mの位置で輝緑凝灰岩に遭遇し、地層境界付近から5～6m³/minの集中湧水が始まった。輝緑凝灰岩の岩質は、新鮮な部分は青緑色を呈し、比較的均質で堅硬緻密な塩基性凝灰岩であるが、層理・節理等の亀裂が発達するところが多く、亀裂面から変質が進み、亀裂の多い部分は顕著な褐色化を受け湧水が多く脆弱で、密着した潜在亀裂であっても掘削後、水が付くと亀裂面より剥離し崩落する状態であった。横坑々口より420m付近から本坑位置（74°949'80）、更に74°866'付近までは岩盤状態も良くなり、湧水量も減衰して安定してきた。しかし、74°866'付近からは再度湧水が増加し、亀裂も多く、変質した脆弱部とそうでない良質岩盤部が数メートル間隔で互層し、脆弱部では掘削直後から肌落ち、崩落が発生し切羽も自立しなくなり、全体としても当初の支保パターンでは掘削出来なくなった。

輝緑凝灰岩の場合、かなりの部分で支保パターンを当初設計よりも1～3ランク低くした施工となった。この為に、輝緑凝灰岩そのものの強度特性及び地質状況を再検討し、地山等級を決定すべきであるという考えに至った。

3. 輝緑凝灰岩の特性と実測弾性波速度の補正

本来地質学上の「輝緑凝灰岩」は、多少変質した塩基性火山噴出物である火砕岩・溶岩の集合物に対する呼称であり、近年は厳密な意味での岩石名として用いられることはなくなってきている。しかし、かつてから中生代の堆積岩である四万十層群に含まれる緑色凝灰岩・玄武岩質溶岩等の一

連の塩基性火山噴出物は「輝緑凝灰岩」の呼び名を与えていたので、当地域の調査においてもその呼び名を踏襲している。当地域で言う「輝緑凝灰岩」は、青緑色～緑灰色（一部で赤紫色）を呈する凝灰岩で、葉理が発達し、亀裂を二次的に方解石や石英の細脈が充填したり、あるいは軽い蛇紋岩化、珪化が認められるものの、比較的均質な岩石である。

地山の弾性波速度は岩盤を構成する「岩石」の速度値と、「割れ目」を通る速度値の合算した値である。従って、速度値の絶対値のみでは両者の割合は判定できず、あくまでも亀裂を含みぬ新鮮な「岩石」部分の速度値に対する相対的な値として岩盤を評価することになる。即ち、「岩石」の弾性波速度と「地山（岩盤）」の弾性波速度の差は両者の空隙の差であると言える。この「空隙」には節理、層理等のいわゆる「亀裂」と、岩石自体が持つ「間隙」とが含まれる。従って、亀裂が多いほど、かつ、風化、変質によって間隙が増加するほど地山弾性波速度は小さくなる。小野寺・工藤は弾性波速度（P波、S波）から求まる岩石と地山の「動弾性係数」の比で「良好度」・「亀裂係数」として岩盤を評価した（表-1）。つまり、地山の絶対値ではなく、新鮮（亀裂を含みぬ）な岩石に対する相対的な値として評価しようとするものである。通常の弾性波探査では、S波まで測定することはなく、動弾性係数は計算できないが、ポアソン比（ μ ）と密度（ ρ ）は、亀裂の有無に関わらず一定と仮定すると、近似的には小野寺・工藤の言う岩盤の良好度は、地山の弾性波速度（ V_p ）と新鮮な岩石の弾性波速度（ $V_{p,c}$ ）の比の自乗〔 $= (V_p/V_{p,c})^2$ 〕で表されることになる。当初、調査地においては輝緑凝灰岩の岩石としての弾性波速度の測定データがなかったので、砂岩・頁岩の新鮮なボーリングコアの超音波速度測定結果よりの値（ $V_{p,c}=5.65\text{km/s}$ ）と、弾性波探査で求めた地山の弾性波速度値（ V_p ）を用いて（ $V_p/V_{p,c}$ ）²を計算し、それにより地山の良好度を定性的に評価してきた（表-1）。しかし、施工実績で支保パターンのランクが低くなったことから、第3紫尾山トンネルで採取した輝緑凝灰岩のコアの超音波速度測定を実施したところ、 $V_{p,c}=6.19\sim 7.08\text{km/s}$ 、平均 $\bar{V}_{p,c}=6.55\text{km/s}$ 、乾燥密度も $\rho=2.863\sim 3.043\text{g/cm}^3$ 、平均 $\rho=2.953\text{g/cm}^3$ の予想よりもかなり高い値が測定された。資料数こそ少ないが、この結果からは、当該地区の四万十層群の輝緑凝灰岩の物性値は、当初想定した砂岩・頁岩の物性値とはかなり異なっていると判断された（表-1）。いま、同一 V_p に対する良好度を $V_{p,c}=5.65\text{km/s}$ と $\bar{V}_{p,c}=6.55\text{km/s}$ で比較すると良好度は後者が前者の約75%となり岩盤評価が低下する。輝緑凝灰岩に関する資料は少ないが、施工実績による支保パターンは、地山の弾性波速度（ V_p ）を下記の式で補正した値（ V_p' ）にほぼ合致している。

$$V_p' = (5.65/6.55)^2 \times V_p \approx 0.75 \times V_p$$

（表-1）岩種の差による岩盤評価の違い

小野寺・工藤の分類			良好度に対応する V_p (km/s)	
記号	等 級	良 好 度	$V_{p,c}=5.65$ の場合	$\bar{V}_{p,c}=6.55$ の場合
A	非常に良い	>0.75	>4.9	>5.6
B	良 い	$0.75\sim 0.50$	$4.9\sim 4.0$	$5.6\sim 4.6$
C	中 程 度	$0.50\sim 0.35$	$4.0\sim 3.4$	$4.6\sim 3.9$
D	やや悪い	$0.35\sim 0.20$	$3.4\sim 2.5$	$3.9\sim 2.9$
E	悪 い	<0.20	<2.5	<2.9

（表-2）地山分類基準

地山の種類	硬 岩
地山等級	A・B 岩種
V_N	$V_p \geq 5.2$
IV_N	$5.2 > V_p \geq 4.6$
III_N	$4.6 > V_p \geq 3.8$
II_N	$3.8 > V_p \geq 3.2$
I_N	$3.2 >$

（図-1）調査位置図・平面図

