

2. 中生代酸性凝灰岩のトンネルにおける設計と施工の乖離原因の検討

Investigation of the cause of the discrepancy Design and Construction in tunnel of Mesozoic acidic tuff

○北村晴夫(宇部建設コンサルタント)・宮武大輔・秋田伸(鹿島建設)・足立忠彦(カテックス)・栗原繁美(ミヤベ)

1. はじめに

中国地方には、中生代～古第3紀の酸性凝灰岩(以下、一括して中生代酸性凝灰岩と称する)が同時代の深成岩とともに広く分布する。近年、横断自動車道などでこの地質でのトンネル施工が多くなってきている。その一つである野呂谷第一トンネルの支保パターンが設計と施工で著しく乖離した。設計と施工における一般的な乖離原因は2つある。第一に、調査方法に関する問題がある。我が国の地質は複雑である上に露頭が少ないという条件の中で、事前調査の精度と、探査法自体の問題が指摘できる。第2は、調査対象が直接か間接かという問題である。事前調査は主に地表から深いトンネル深度の地質を間接的に調査するのに対して、施工時は直接切羽での地質観察となる。以上の理由で、設計と施工の地山分類が乖離するのは不思議ではないが、一方向にのみずれるのは何か原因があるはずである。その原因を探るため、特定非営利活動法人臨床トンネル工学研究所の会誌に報告された約400箇所ものトンネル施工事例の中から中生代酸性凝灰岩トンネルを11事例抽出し検証した。

その結果、全てのトンネルで支保パターンが1～2ランクアップという傾向が確認され、支保パターンの乖離は中生代酸性凝灰岩における一般的特性である可能性が高まってきた。そこで、その原因を地層の生成過程に遡って検討した。

2. 中生代酸性凝灰岩の分布と性状

中国地方における中生代酸性凝灰岩とコールドロンの分布を図-1に示す。代表的な地質名は、広島では高田流紋岩類、山口では周南層群・阿武層群、島根では匹見層群、岡山では新見火山岩類などである。時代区分では、周南期火山岩、匹見阿武期火山岩(以上、中生代白亜紀後期)、田万川期火山岩(新生代古第3紀)に区分される。

周南層群は安山岩やデイサイトー流紋岩質火砕岩からなり、しばしば、貫入岩体とともにコールドロンを構成する。吉部コールドロンは、東西約15km南北約7km、山口コールドロンは東西約15km、南北約12kmのほぼ楕円状の形態を示す。

匹見層群は山口県北東端から島根県中西部にかけて幅10～20km、延長70kmにわたって広がり、北東～南西方向の細長い分布を示す。本層群の大部分は流紋岩質ーデイサイト質の再結晶した凝灰岩からなり、深成岩や半深成岩を伴う火山ー深成複合体を形成している。また、本層群と基盤岩とは北東～南西方向の高角度断層で接し、火山構造的陥没体(グラーベン)をなしている。陥没量は弾性波探査とボーリングデータ(通商産業省, 1972)から600～800mあるいはそれ以上と推定されている。

阿武層群は中国地方西部の脊梁山地から日本海側にかけて広大な分布域を有する後期白亜紀火山岩である。匹見層群に比較してより珪長質である。主に乾陸上に堆積した流紋岩質ー流紋デイ

サイト質火砕岩及び溶岩からなり，部分的に安山岩—デイサイト質火砕岩や凝灰質砂岩・頁岩などの湖成堆積物層を伴う．全層厚は1400–2200mで，多くの地域で基盤の中・古生界を不整合に覆うが，断層関係を示す場所もある．佐々並コールドロンや白滝山コールドロンなどを形成する．

高田流紋岩類は広島県に広く分布し，西部は匹見層群に連続している．分布範囲はほぼ広島県全域に及ぶが，花崗岩類の貫入によって大きく広島県南部，北東部，北西部の3つの地域に分断される．地域ごとに層相は幾分相違するが，基本的にはデイサイト質—流紋岩質溶結凝灰岩と少量の安山岩ないし流紋岩質溶岩からなり，一部に湖成層である砂岩・頁岩を挟む．

高田流紋岩分布域でコールドロンについての報告はないが，それはないということではなく，研究されていないだけであり，コールドロンを伴う火成活動が山陽全域にわたって広域的に起こった可能性があると考えられている．

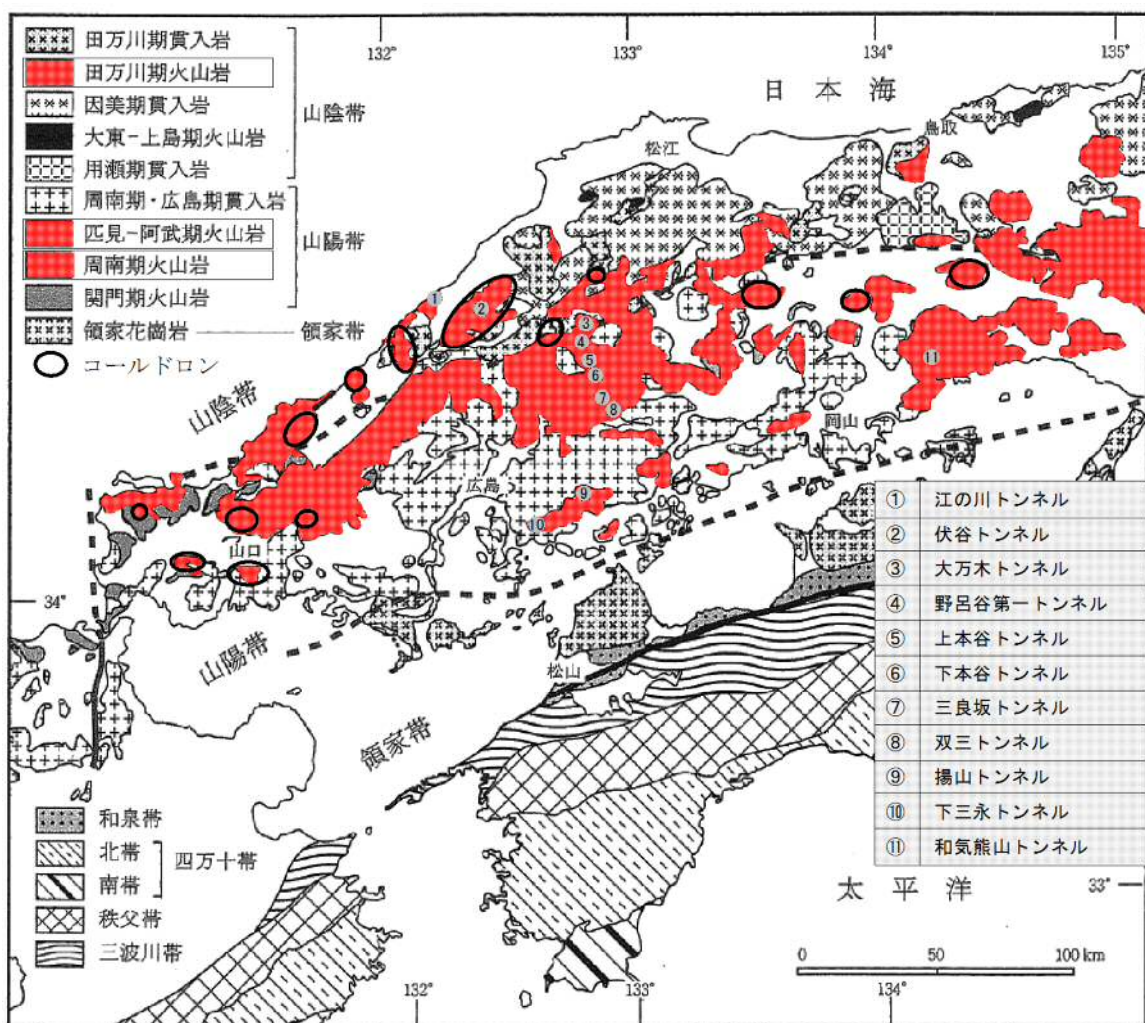


図-1 中国地方の中生代酸性凝灰岩とコールドロンの分布及びトンネル位置図¹⁾
(西村ほか (2012) に加筆修正)

3. 中国地方の中生代酸性凝灰岩トンネルの事例検討

本研究のきっかけとなった野呂谷ト第一ンネル南工事では，図-2に示すとおり，B パターン

が 51.9%，C I パターンが 19.1%とトンネル全延長の 70%以上が鋼製支保工の無い支保パターンで設定されており，全体的には安定した地質でのトンネル掘削が想定されていた．しかし，施工結果を見ると，B パターンと C I パターンは皆無で，そのほとんどが鋼製支保工のある C II - b パターン（一部 D I パターン）となった．同パターンでの標準爆薬使用量は 0.8 kg/m^3 であるのに対して，本トンネルの平均爆薬使用量は 0.39 kg/m^3 と約半分であり，C II - b の中でも脆弱で D I に近い地山であったことを示唆している．

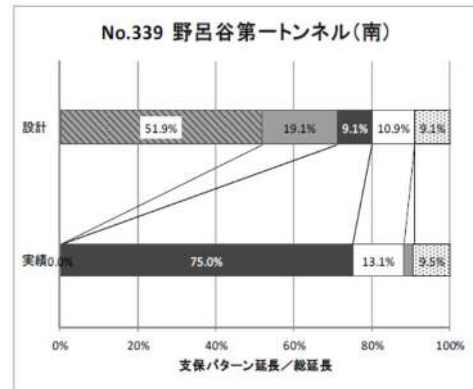
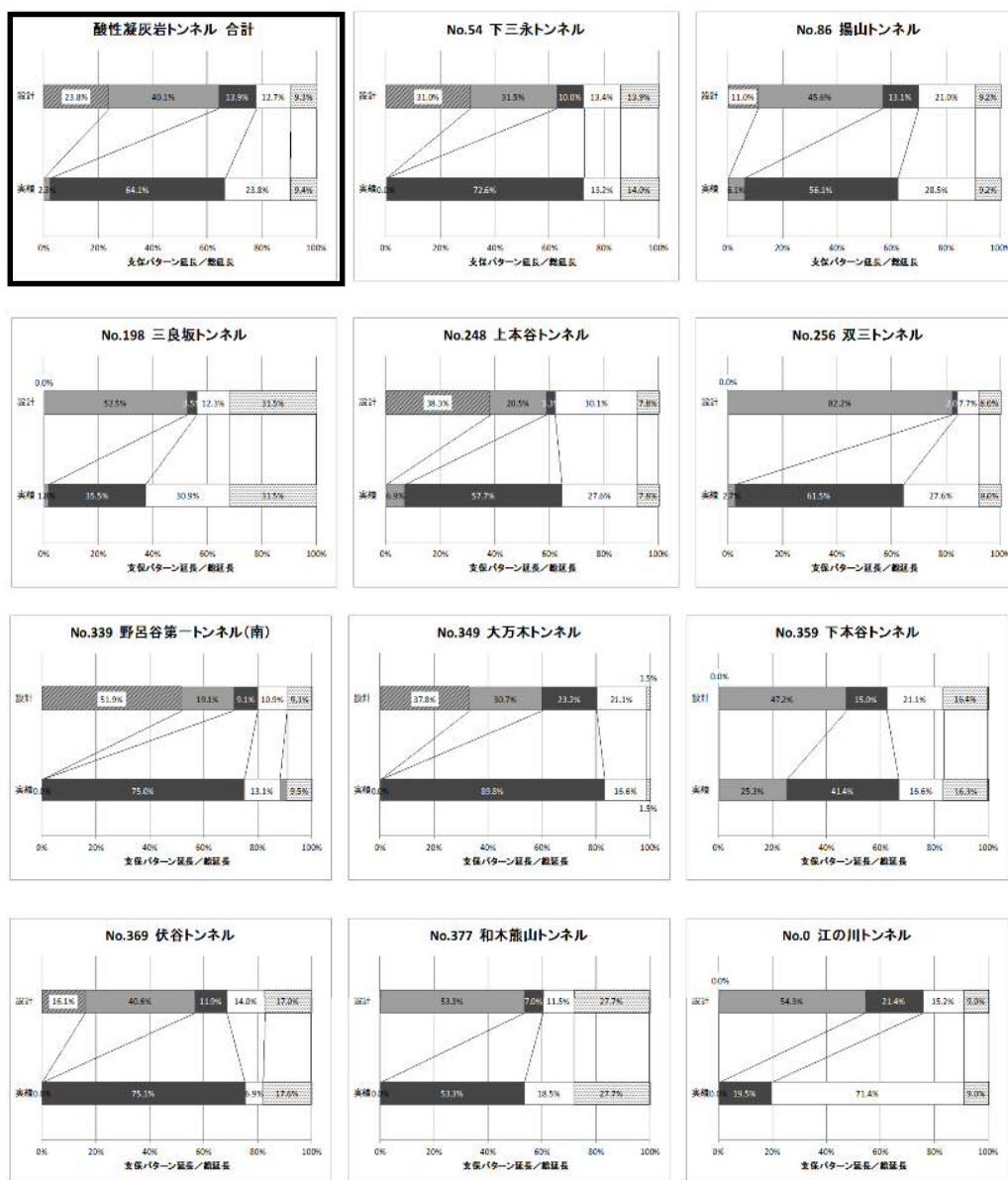


図-2 設計と施工の支保パターン²⁾



凡例： ■ B ■ CI ■ C II - b □ D I - b ■ D II □ D III ■ (坑門)

図-3 設計と施工の支保パターンの比較図²⁾

野呂谷第一トンネルの事例がここだけの個別事例であるのか、中生代酸性凝灰岩の一般的特性であるのかを検証するために、過去の施工事例を調べてみた。特定非営利活動法人 臨床トンネル工学研究所の会誌に掲載された 400 本の施工報告から中生代酸性凝灰岩のトンネルの施工事例を 11 本抽出した。トンネルの位置は図-1 のとおりである。

設計と施工を比較分析した結果を図-3 に示す。全体の平均は図左上の太四角枠に示したとおり、鋼製支保工の無い B 及び C I パターンは、設計では 23.8%、40.1%、合計で約 65% であるのに対して、施工では 0%、2.3% とほとんどないに等しい。一方、鋼製支保工のある C II - b パターンは 13.9% から 64.1% へと激増する。

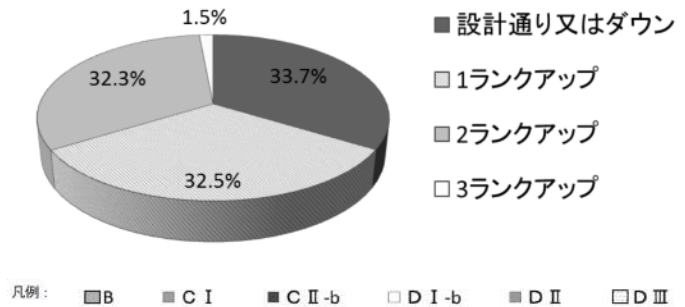


図-4 デザインと施工の支保パターンの変化割合²⁾

支保パターンのランクアップの程度は図-4 のとおり、1 ランクアップ、2 ランクアップとも 32% で、全体の 66% で支保がランクアップしている。この結果からわかるように、野呂谷第一トンネルの事例は、特殊な事例ではなく、中生代酸性凝灰岩トンネルの一般特性である可能性が極めて高くなった。

4. 乖離原因の地質学的検討

中生代酸性凝灰岩は、流紋岩質～デイサイト質溶結凝灰岩を主体とし、一部に湖成堆積層を挟む。

本層分布域には火山構造的陥没地であるコールドロンが大きな面積を占めている。コールドロンの初期形態であるカルデラ形成過程の模式図を図-5 に示す。陥没は複数回発生することがあり、その深さは 800m 以上に及ぶ。その際の衝撃による亀裂の発達は顕著であると想定される。

また、花崗岩の貫入や岩脈の貫入により接触変成作用と熱水変質作用を受けることがこの地層の特徴である。熱水変質の概念を図-6 に示す。熱水変質帯はマグマからの熱水により岩盤が劣化したものであるが、地表から地下に浸透する天水との作用により変質する場合もある。

コールドロン内の熱水変質については、歌田が詳しく報告している。その一例である田万川

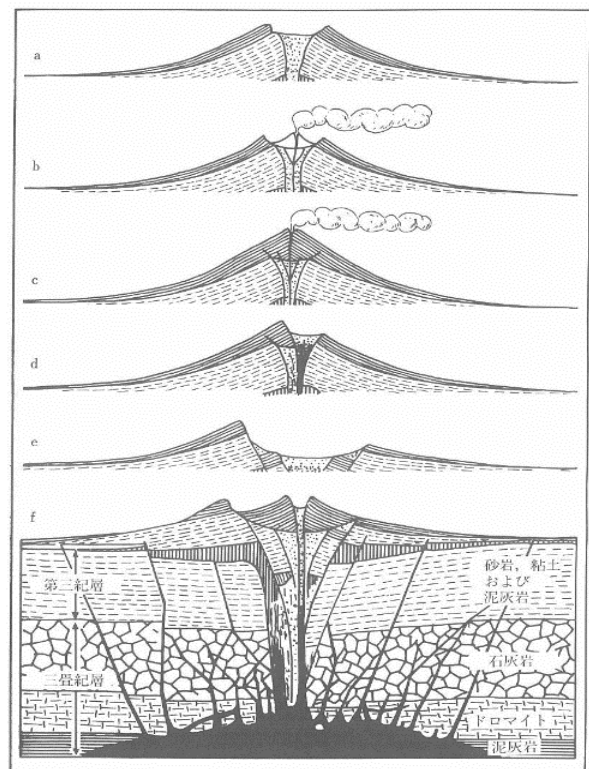


図-5 カルデラ形成過程³⁾

コールドロンの変質状況を図-7 に示す。熱水の影響で岩体が著しく脆弱化するのにはスメクタイト帯や混合帯や熱水変質帯であり、緑泥石帯においても若干の脆弱化が想定される。いずれにしろ、

コールドロン内は熱水変質の影響を多少なりとも受け、地層が脆弱化していることが容易に想定される。

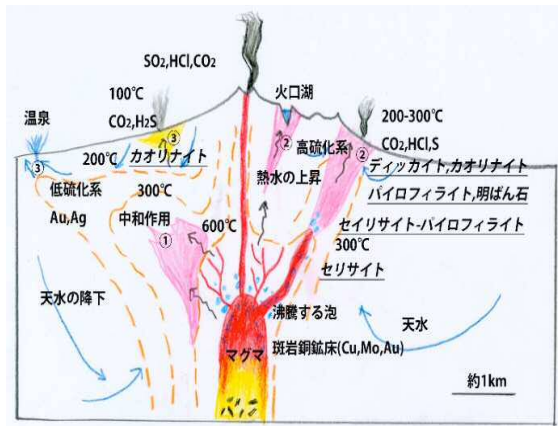


図7.2.1 変質作用と貫入岩の関係模式図 (Hedenquist, et al., 1996および渡辺, 1998, p.551による)

図一六 熱水変質模式図⁴⁾

以上の中生代酸性凝灰岩の特長を踏まえ、支保パターンにおける設計と施工の乖離の原因を推定すると次のようになる。

乖離に係る地質要因を列挙すると次の5点である。

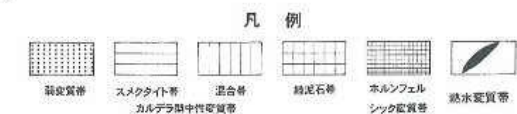
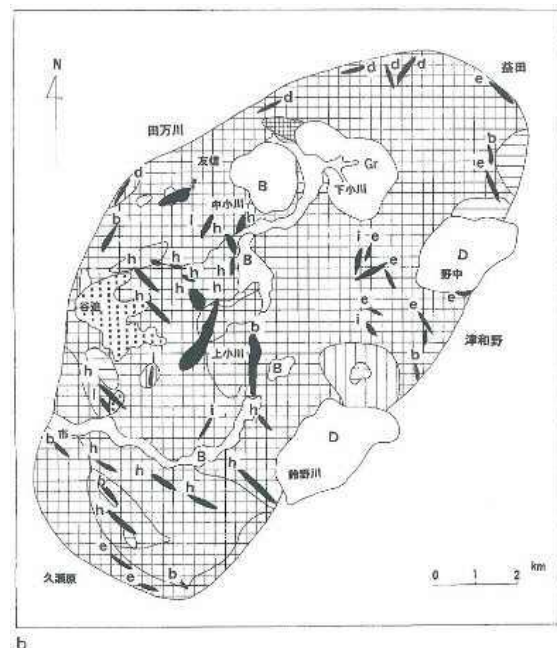
- ① 岩相が流紋岩質～デイサイト質であることから、SiO₂(シリカ)にとみ、岩片は硬いが脆いという性質を持つ。そのため、プレート圧力によって他の岩種より亀裂が発達しやすい。
- ② 溶結凝灰岩は冷却時に収縮し柱状節理などの節理が発達する。
- ③ 複数回に及ぶ火山性陥没により顕在及び潜在亀裂が発達する。
- ④ 湖成堆積物(砂岩・頁岩・凝灰岩)の薄層を挟むことによる、分離しやすい層理面の存在
- ⑤ 火山活動に伴う熱水変質作用により、亀裂面に膨潤性の粘土細脈が発生し、岩体が脆弱化。

これらを総合すると、中生代酸性凝灰岩の地質特性は、地質分離面の発達(節理・層理・亀裂など)と熱水変質の2点に集約される。

地質特性とトンネル施工時に起きる現象及び結果(支保への影響)を表一1にまとめた。

表一 地質要因と支保ランクアップの関係

地質特性	工事で起きる現象	結果
地質分離面の発達 (①・②・③・④)	掘削による応力開放でゆるみ進行 分離面からの岩塊崩落	支保のランクアップ (鋼製支保 無⇒有へ)
熱水変質 (⑤)	スレーキングによる脆弱化 切羽や側壁の押出	



図一七 田万川コールドロンの変質状況⁵⁾

事前調査の弾性波探査では、土被りによる拘束圧で地質分離面が密着し、弾性波速度を高めに表示する可能性がある。その結果、弾性波速度値が高く、ボーリングコアが良好に見えても、トンネル掘削時の応力解放で地質分離面が緩み、切羽での崩落が発生しやすくなる。これは掘削時の過少な爆薬量で裏付けられる。また、熱水変質を受けている個所では膨潤性を有し地山は脆弱化する。以上の理由により、設計と施工の支保パターンが乖離、すなわち支保パターンのランクアップという結果になると推定される。

5. まとめ

中国地方の中生代酸性凝灰岩トンネルでは設計と施工の支保パターンが1~2ランクアップ方向に乖離することを、収集可能な11のデータで検証できた。乖離原因について、中生代酸性凝灰岩の生成過程にさかのぼって検討し、地質分離面の発達、熱水変質の2つの地質特性に由来すると推定した。

今後の課題としては、中国地方の中生代~古第3紀酸性凝灰岩トンネルで確認された設計と施工の乖離という現象を、中部地方の濃飛流紋岩など日本全国に範囲を広げて確認することと、新第3紀中新世の熊野酸性岩類でも同様の報告があることから、時代の範囲を広げて確認する必要があると思われる。

【参考文献】

- 1) 山口地学会：山口県地質図 第3版(15万分の1) 説明書, 2012.12
- 2) 特定非営利活動法人 臨床トンネル工学研究所 技術研究部会 トンネル補助工法委員会, 中国地方の中生代酸性凝灰岩(高田流紋岩等)トンネルにおける設計と施工実績, 平成24-25年度活動報告書(2/3), 2014.3
- 3) クリフ・オリエル著, 太田陽子訳, 火山, 古今書院, p 79
- 4) 渡辺寧: Advanced Aegillica Akteration. 地球科学, vol.52, pp55-56,1998
- 5) 歌田実, 山陰地方西部の古第三紀コールドロンにおける火山岩類および火山砕屑岩類の変質作用, 地質学雑誌, 第112巻, 第6号
- 6) 今岡照喜外: 山陰西部における古第三紀コールドロン群の地質, 多角形コールドロンの例, 地質学雑誌, 第98巻, 第8号, pp741-759, 1982.8,
- 7) 佐藤英一, 今岡照喜: 岡山県北部における白亜紀コールドロン: 予報, 松本征夫教授記念論文集, 1992
- 8) 日本地質学会編集: 日本地方地質誌<6>中国地方, 朝倉書店