

P26. 我が国におけるトンネルの難工事事象の分布とその地質要因の関係

Distribution and geological factors of difficult cases for tunneling, in Japan

- 荒井融(地圏科学研究所), 大塚正幸(朝日航洋株), 志田原巧, 秦野輝儀(電力中央研究所),
Toru Arai, Masayuki Otsuka, Takumi Shidahara, Teruyoshi Hatano,
畑元浩樹(元原子力発電環境整備機構)*, 土宏之(原子力発電環境整備機構)
Hiroki Hatamoto, Hiroyuki Tsuchi

1. まえがき

地下施設を深度 300m 以深の地下深部に建設するにあたって、事前検討段階で、文献調査により難工事を生じる事象の有無について検討し、施工難易度を予測する体系的な評価法が検討された¹⁾。検討に際して我が国におけるトンネルの難工事事象の分布を把握するとともに、難工事を生じた地質要因の事例分析を行い、その関係が体系的に整理されたので報告する。

2. 公開文献による事例抽出と整理

昨年提示された施工難易度推定法構築の流れ²⁾にしたがい、難工事となったトンネルの施工事例を収集し、以下のような考え方に基づいて整理した。

(1) 難工事事象

難工事を生じた事象(以下、難工事事象と称す)の種類を以下のように整理した。

- ① 地下水を主因とする難工事: 高圧・大量の地下水が、坑内災害・坑内埋没などの重大事故、坑内作業環境の悪化、坑外に漏水被害等を及ぼした事例(高圧・大量湧水)と、水とともに砂質土の流出を生じ、逐次崩壊により坑内埋没に至る事例(流砂崩壊)に分類した。
- ② 力学的特性を主因とする難工事: 掘削の進行に伴い大きな変形の発生する地山であり、地山内応力と岩盤強度の関係で切羽や坑壁に押し出しやすべりを生じた事例(膨張性地山)と、掘削した切羽周辺の岩石が、振動と音響をともなって飛散する事例(山はね)に分類した。
- ③ その他の難工事: 高熱・熱水、空洞、有害ガス湧出、酸性水・有害物質、火山性隆起災害が抽出された。

(2) 難工事事例

2002 年までに公開された以下の事例を対象とした。

- ① 地質に関する記述があり、地質・地域・時代が認定できるもの。
- ② 特殊な対策工が施された事例、または工期の遅延を生じた事例。
- ③ 地下施設の設置深度を考慮し、地質要因が風化作用・斜面崩壊・地滑り等の地表付近の現象ではないと考えられるもの。
- ④ 膨張性地山に対しては、少なくとも鋼製支保工の使用が定着して以降のもの。

*: 現所属は九州電力(株)

(3) 難工事地質要因

難工事地質要因の名称は、文献の記述をそのまま列記したものではなく、土木地質的判断にもとづいて整理した。地質要因には、地層の性質や岩種に関連するもの(多孔質火山噴出物・固結度の低い砂層・膨張性泥岩・蛇紋岩等)と、地質構造に関連するもの(不整合面・断層破砕帯・熱水変質帯・貫入岩・褶曲構造・混在岩の劣化部等)があり、両者が複合した事例もある。

(4) 難工事地質区分

我が国に分布する地質に対応する施工難易度を推定する評価を行うため、地域性と難工事地質要因の特徴が反映されるように、産総研の時代区分・岩石区分を整理・統合して工学的な区分(以下、難工事地質区分と称す)を設定した。

下記の 8 区分を設定することにより、難工事事象・地質要因の関係が体系的に整理された。

- ① 第四紀火山に関連するもの
- ② 新第三紀の火山噴出岩類
- ③ 新第三紀～第四紀の堆積岩類
- ④ 古第三紀以前の正常堆積物
- ⑤ 古第三紀以前の付加体
- ⑥ 高圧型変成岩類
- ⑦ 中・低圧型変成岩類
- ⑧ 花崗岩類(濃飛・高田流紋岩などを含む)

3. 難工事事象の分布とその地質要因の特徴

収集された難工事事例とその地質要因は、表-1 のような難工事事象と難工事地質区分の関係から整理された。

(1) 地下水を主因とする難工事

・高圧・大量湧水

高圧・大量湧水の事例のうち、「第四紀火山に関連するもの」は、多孔質火山噴出物・盆状構造を地質要因とする難工事が特徴的である。

グリーンタフ地域の「新第三紀火山噴出岩類」では、断層破砕帯・貫入岩・熱水変質帯による事例が多い。

「古第三紀以前の付加体」では、西南日本外帯(秩父帯・四万十帯)、内帯(美濃帯・丹波帯)の混在岩の劣化部・断層破砕帯を地質要因とした事例が多く、特に四国黒瀬川構造帯・仏像構造線付近に集中する。

「花崗岩類(濃飛・高田流紋岩などを含む)」では、主

表-1 難工事地質区分にもとづく難工事事象と難工事地質要因の関係の整理

難工事地質区分	難工事事象		その他の難工事	
	地下水を主因とする難工事	力学的特性を主因とする難工事	山はね	高熱・熱水
地域性・時代等の特徴	地下大風湧水 (湯水被害)	膨張性地山	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
① 第四紀火山に関連 第四紀火山分布地域 (火山の影響がおよぶ 直下の基盤岩を含む)	高圧・大風湧水 (湯水被害)	膨張性地山	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
② 新第三紀火山噴出物 グリーンタフ地域	多孔隙火山噴出物 不整合面(盆状構造) 中山・安房・丹名・新丹名 加久藤・高森	熱水変質帯(温泉系) 緩みの大きい岩盤(角礫状溶岩) 新宇佐美・新丹名	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
③ 新第三紀～第四紀堆積岩 膨張性地山はグリーンタフ地域に多い (褶曲帯との関連性が深い) 流砂崩壊は鮮新世以降に限定される	多孔隙火山噴出物・盆状構造・不整合面 断層破砕帯・貫入岩・熱水変質帯 青函・蔵王・新羅木・日本坂 森武・鳴鼓	熱水変質帯・貫入岩・断層破砕帯 青函・みちのく・折爪・蔵王 盃山・神長・中山	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
④ 古第三紀以前の正常堆積物 主要な構造線とその近傍に多い	互層・向斜構造 赤倉・山中・花立	固結度の低い火山噴出物 新羅	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
⑤ 古第三紀以前の付加体 蛇紋岩を伴う飛騨外縁帯・黒瀬川 構造帯・嶺南帯に集中する傾向	断層破砕帯 三頭	固結度の低い火山噴出物 ・礫岩(砂礫層) 津軽・片倉・湯佐 堀の内・御牧原	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
⑥ 高圧型変成岩類 蛇紋岩が多い神居古潭構造帯・ 御荷鉢構造帯に集中する傾向	断層破砕帯・混在岩劣化部 石灰岩溶洞 多紀連山・地芳・吉田湯水路 土佐山・肥後・万之瀬湯水路	膨張性泥岩・褶曲帯・断層破砕帯 熱水変質帯・固結度の低い砂岩 青函・日暮山・新羅木・春日山 赤倉・鶴立山・浦佐・蘆山・御牧原	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
⑦ 中・低圧型変成岩類 (領家帯など)	断層破砕帯・片岩 草木・福岡	断層破砕帯 美咲・太刀野・大蔵	山はね	火山の地熱 高熱・熱水
⑧ 花崗岩類(濃飛・高田流紋岩を含む) 主要な構造線・構造帯の近傍に多い	断層破砕帯・片岩 草木・福岡	断層破砕帯・混在岩劣化部・蛇紋岩 谷瀬・地芳・小川・大壺 聖ヶ岡・嶺南・北小谷	山はね	火山の地熱 高熱・熱水

注) 事例数の取り扱い
 ① 道路トンネルに多いI期線・II期線は区別せず、1トンネルとした
 ② 1トンネルを1事例とカウントした。例えば1トンネルに複数の出水事故があっても、難工事地質区分が同一であるかぎり、1事例と扱った。
 ③ 同じトンネルに2種以上の難工事地質区分、または難工事事象が存在する場合には、複数の事例として扱った。

要構造線・主要断層とその近傍の断層破砕帯・熱水変質帯に生じた事例が多い。

・流砂崩壊

流砂崩壊の事例のうち、「第四紀火山に関連するもの」は固結度の低い火山噴出物を地質要因とし、南九州のシラスの事例等が目立つ。一方「新第三紀～第四紀の堆積岩類」では、固結度の低い砂層・礫層を地質要因とした東北北部・上信越地域・関東平野などに事例が集中する。

(2) 力学特性を主因とする難工事

・膨張性地山

「第四紀火山に関連するもの」では熱水変質作用(温泉余土)を原因とした事例が特徴的である。

グリーンタフ地域の「新第三紀の火山噴出岩類」では、熱水変質帯・貫入岩・断層破砕帯を地質要因とした事例が東北地方脊梁山地に集中するのに対し、「新第三紀～第四紀の堆積岩類」の事例は、膨張性泥岩・褶曲構造・断層破砕帯(擾乱帯)を地質要因として、上信越地域から日本海沿岸地域に集中する。

「古第三紀以前の付加体」では、西南日本外帯(秩父帯・四万十帯)、内帯(美濃帯・丹波帯)の混在岩の劣化部・断層破砕帯を地質要因とした事例と、「高圧型変成岩類(三波川帯・三群帯)」の片岩・断層破砕帯を地質要因とした事例が多い。神居古譚帯、飛騨外縁帯、御荷鉢・黒瀬川構造帯、嶺岡帯では、蛇紋岩による事例が目立っている。

「花崗岩類(濃飛・高田流紋岩を含む)」と、「古第三紀以前の正常堆積物」が分布する地域では、主要構造線・主要断層とその近傍で、断層破砕帯・熱水変質帯を地質要因とする事例がある。

・山はね

山はねは花崗岩の分布地域に事例が多いが、金属鉱床坑道での事例も報告されている。

(3) その他の難工事

高熱・熱水と火山性隆起災害は、「第四紀火山の関連するもの」が多いが、花崗岩地帯の高温岩体での事例も抽出される。空洞には溶岩空洞や付加体の石灰岩溶洞の事例とともに、金属鉱床や炭鉱の人工空洞による事例も抽出される。有害ガス湧出は「新第三紀～第四紀の堆積岩類」に特徴的である。酸性水・有害物質は新第三紀の熱水変質帯と海成泥岩での報告がある。

4. まとめ 難工事事象の日本地質図への図示

日本列島での難工事事象の分布位置を、産業技術総合研究所発行の電子地質図上に図示するとともに、特徴的な難工事事象とその地質要因の分布範囲を示した(図-1A・B)。図示にもとづいて、難工事事象の地域的特徴と、その地質要因の関係を表-2にとりまとめた。

表-2 難工事事象の地域的特徴と地質要因の関係

主因	難工事事象	地域性・難工事地質区分⇒地質要因
地下水を主因	高圧・大量湧水	第四紀火山分布地域 ◎第四紀の火山噴出物とその基盤岩 ⇒多孔質火山噴出物・盆状構造を形成する不整合面 グリーンタフ地域 ◎新第三紀の火山噴出岩類 ⇒断層破砕帯・貫入岩・熱水変質帯 多孔質火山噴出物・盆状構造を形成する不整合面 ○新第三紀～第四紀の堆積岩類 ⇒互層・向斜構造 古第三紀以前の地体構造 ◎古第三紀以前の付加体 ⇒混在岩の劣化部・断層破砕帯・石灰岩溶洞 主要構造線・主要断層とその近傍 ◎花崗岩類(濃飛・高田流紋岩を含む)⇒断層破砕帯・熱水変質帯 ○古第三紀以前の正常堆積物 ⇒断層破砕帯 ○高圧型・低圧型変成岩類 ⇒断層破砕帯・片岩
		流砂崩壊 第四紀火山分布地域 ◎第四紀の火山噴出物 ⇒固結度の低い火山噴出物(シラス・軽石層・スコリア) 東北北部・上信越地域・関東平野・大阪平野など ●新第三紀～第四紀の堆積岩類 ⇒固結度の低い砂層・礫層
力学特性を主因	膨張性地山	第四紀火山分布地域 ◎第四紀の火山噴出物とその基盤岩 ⇒熱水変質帯(温泉余土) グリーンタフ地域 特に東北脊梁山地 ●新第三紀の火山噴出岩類 ⇒熱水変質帯・貫入岩・断層破砕帯 特に上信越地域・日本海沿岸の褶曲帯 ●新第三系～第四紀の堆積岩類 ⇒膨張性泥岩・断層破砕帯(擾乱帯) 古第三紀以前の地体構造 蛇紋岩を伴う構造帯(神居古譚・飛騨外縁・嶺岡・御荷鉢・黒瀬川帯)に関連する地域 ●古第三紀以前の付加体 ⇒混在岩の劣化部・断層破砕帯・蛇紋岩 ●高圧型変成岩類 ⇒片岩・断層破砕帯・蛇紋岩 主要構造線・主要断層とその近傍 ◎花崗岩類(濃飛・高田流紋岩を含む) ⇒断層破砕帯・熱水変質帯 ◎古第三紀以前の正常堆積物 ⇒断層破砕帯 ○中・低圧型変成岩 ⇒断層破砕帯・片岩
		山はね ○花崗岩類(濃飛・高田流紋岩を含む)

●:20例以上 ◎:10~20例 ○:10例未満

5. あとがき

なお、本検討は原子力発電環境整備機構が電力中央研究所に委託して実施した「地下施設の施工性に係る岩盤評価法の検討(平成16年度)」の成果をもとに、取りまとめたものである。

引用文献

- 1) 秦野輝儀・志田原巧・大塚正幸・荒井融・畑元浩・土宏之(2005):我が国におけるトンネルの難工事事象の出現可能性と施工難易度に関する検討,応用地質学会平成17年度研究発表会講演要旨集,34,(本講演要旨集)。
- 2) 志田原巧・秦野輝儀・大塚正幸・荒井融・畑元浩・土宏之(2004):事前検討段階での地下施設の施工難易度推定に関する予備的検討,応用地質学会平成16年度研究発表会講演要旨集,27。

