

熱水変質によるトンネル地山の酸性化と対策

大我 龍樹¹・囲 勝則¹・井上正広²・大佐古泰紀²・村山秀幸³

¹長崎県 長崎南バイパス建設事務所 (〒850-0035 長崎県長崎市元船町 17-1 長崎県大波止ビル 4 階)

E-mail:t-ohga@pref.nagasaki.lg.jp

²フジタ・小田急・中嶋特定建設工事共同企業体 (〒851-0242 長崎県長崎市北浦町 1716-1)

³正会員 (株)フジタ 技術センター 基盤技術研究部 (〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1)

主要地方道長崎南環状線(仮称)唐八景トンネルは、延長1,826mの道路トンネルであり、路線地質は泥質片岩、凝灰角礫岩、安山岩溶岩などから構成される。本トンネルの凝灰角礫岩分布区間のうち約580m区間は、ボーリング調査および地表地質踏査から湧水を伴う熱水変質帯が数箇所に発達し、熱水変質の影響で地山の酸性化することが懸念されていた。

本稿では、現場において地山の酸性化を簡便に判定する手法として簡易pH試験を採用し、切羽到達前に先進ボーリングで採取したコア試料を用いた一次判定と切羽到達時に切羽で採取した岩石試料を用いた二次判定によって、耐酸性の対策工法を実施する区間を合理的に選定した事例について報告する。

Key Words : acidified geological features, hydrothermal alteration, counter measures, tunnel

1. はじめに

近年、日本各地で土壤汚染問題や地下水汚染問題が顕在化し、土壤汚染の状況調査と人の健康被害防止への措置を規定した土壤汚染対策法が施行されている¹⁾。一方、トンネル等の掘削工事では、地山に自然由来の重金属等の環境汚染物質が含まれる場合があり、建設発生土(いわゆる掘削ずり)を安易に管理地外で処分・再利用すると酸性水の浸出や重金属等の流出が懸念され、建設工事における掘削ずりの処理が課題となり、自然由来の重金属汚染対応マニュアル等²⁾が整備されつつある。

トンネル工事では、ルート等の制約から自然由来の汚染物質が地山に含まれる可能性が高い地域、例えば鉱山跡地や火山活動が活発な地域などを避けることができないケースが増えてきている。よって、トンネル地山に自然由来の汚染物質が含まれる場合には、計画時から施工・管理に至るまで掘削ずり等の処分を環境に配慮しながら施工した事例が増えつつある³⁾。

主要地方道長崎南環状線(仮称)唐八景トンネル(以下、唐八景トンネルと称す)では、事前地質調査結果から、熱水変質作用を受けた凝灰角礫岩分布区間において地山に硫化鉱物(黄鉄鉱: FeS_2)が含まれることが明らかとなり、周辺に地下水脈も発達することから、トンネル掘削に伴い地山および掘削ずりが暴露され、空気と水

が供給されることによって硫酸酸性水となる可能性が示唆されていた。よって、トンネル施工中に簡便な手法で将来的に酸性化する可能性のある地山(以下、酸性土と称す)を判定し適切な対策を講じることが望まれていた。

一方、本トンネルでは事前調査で地山に有害な重金属が含まれないことを確認している。よって、黄鉄鉱に起因する酸性水によって、重金属が周辺環境へ流出する危険性は極めて低いと想定された。

本稿では、現場において酸性土を簡便に判定する手法として簡易pH試験⁴⁾を採用し、切羽到達以前に先進ボーリングで採取したコア試料を用いた一次判定と切羽到達時に切羽で採取した岩石試料を用いた二次判定において本試験法を適用し、酸性土区間を選定すると同時に、酸性土と判定された区間において適切な耐酸性材料を使用した支保を選定・施工した事例について報告する。

2. トンネル工事概要

(1) 工事概要

長崎市の道路網は、平坦地が乏しいという地形的要因から、一般交通が市街地中心部に集中し、市内の幹線道路は慢性的な交通渋滞を呈しており、都市機能を著しく低下させている。長崎県ではこのような状況を解消する

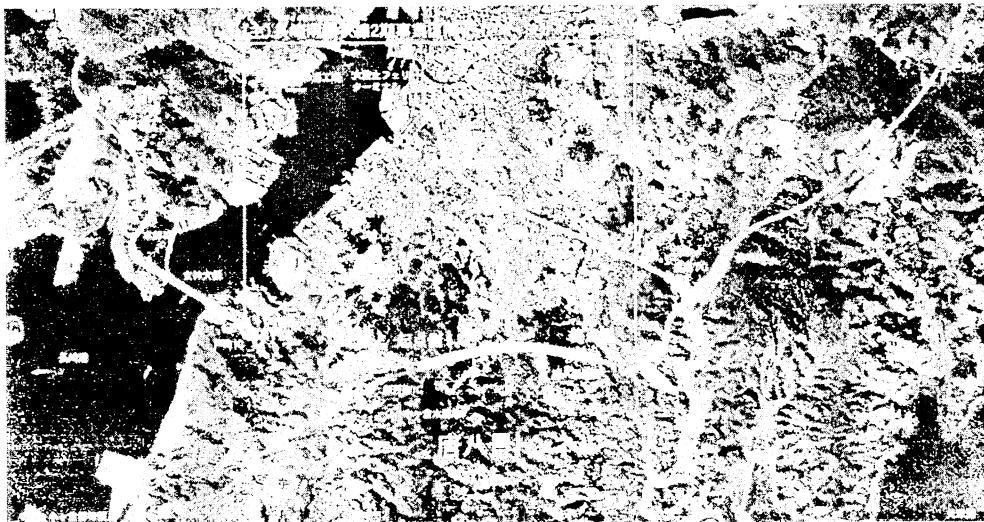


図-1 主要地方道長崎南環状線における唐八景トンネル位置図

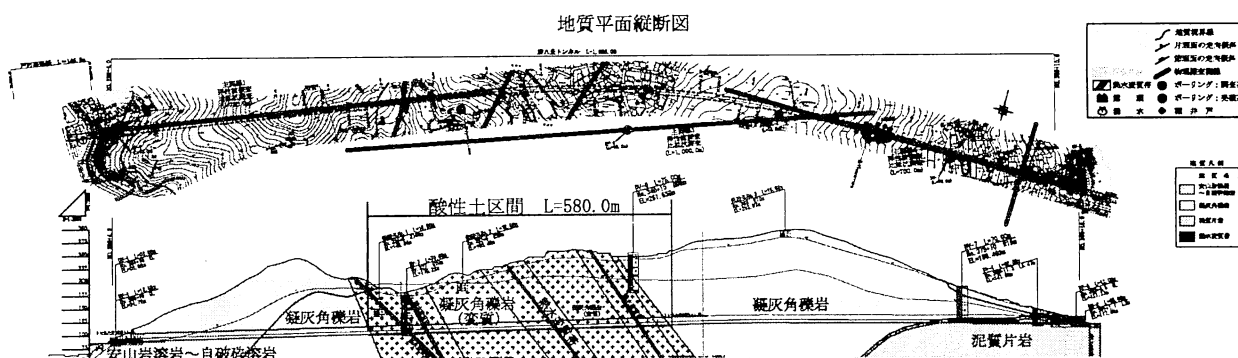


図-2 唐八景トンネル地質平面および縦断面図と熱水変質帯区間

ために、幹線道路を計画・整備してきている。主要地方道長崎南環状線（上戸町～田上間）の唐八景トンネル工事はその一環に相当する。

図-1に、唐八景トンネルの位置を示す。

(2) 地形・地質概要

唐八景トンネルは、長崎市中心部から南方約3kmに位置し、ほぼ東西に連なる一連の山稜を呈する唐八景（標高298.5m）、星取山（標高270.0m）の直下を縦貫する。

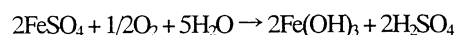
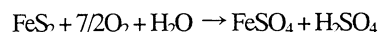
当該地域は、中・古生代の長崎変成岩類を基盤としその上位に第三紀の長崎火山岩類が分布している。

図-2に、トンネル地質平面および断面図を示す。トンネルは終点側（東側）から起点側（西側）に向かって掘削する計画である。終点側から約250m区間には長崎変成岩類の泥質片岩が分布し、それ以降は、長崎火山岩類の安山岩質凝灰角礫岩および安山岩溶岩が分布する。トンネル路線地質の約70%が、直径数cmから数10cmの安山岩角礫を含む凝灰角礫岩であり、トンネル中央部の延長約580mに熱水変質作用を受けた凝灰角礫岩中に黄鉄鉱が含まれるために酸性土の発生が危惧されていた。この熱水変質帯の地質性状は、特に起点側坑口近傍の小ヶ倉水源地右岸側の露頭でよく観察することができる。

3. 酸性土の判定方法と耐酸性支保の検討

(1) pH試験方法の検討

岩石中に含まれる黄鉄鉱(FeS_2)は、通常地下水位以下にあれば還元状態にあり安定している。しかしながら、地山が掘削によって暴露され空気と水が供給されると、以下のように硫酸(H_2SO_4)を生じて強酸性を示す²⁹⁾。



一般に、土や岩石のpHを把握するためには室内で試料を粉碎して一定の重量比で水（蒸留水）を加えて懸濁させ、その溶出液のpHを測定する。

しかしながら、この溶出試験では、現場での試料採取からpH測定まで数10時間から数日間が必要となり即時性がない。

一方、上記の硫酸を生成する酸化速度は非常に遅いので、水で懸濁させてもその溶出液が酸性を示さないことが多い。しかしながら、水と空気が供給される環境では黄鉄鉱の酸化が確実に進行するので構造物等に有害な影響を及ぼす場合がある。よって、土や岩石の長期的な酸化を予測する手法として、過酸化水素水 (H_2O_2) を強制酸化試薬として用いる方法がある。

松崎ら²⁹⁾は、現場において岩石中の黄鉄鉱に起因する酸性水の発生を短期間で安価に事前予測できる手法として、簡易pH試験を提案している。本手法は、黄鉄鉱等の硫化鉄を含む土が将来どの程度まで酸化するか予測する方法として地盤工学会⁷⁾が定めている「土懸濁液のpH試験（JGS0211-2000）」の規格・基準以外の試験方法に相当する「過酸化水素水を用いるpH試験方法」と「試験紙（pH試験紙）による試験方法」を岩石に応用した試験方法であり、過酸化水素水を強制酸化試薬として用いたpH試験紙による目視判定手法である。

松崎らは、ボーリングコアを用いた連続的な岩石の酸性化判定予測手法に簡易pH試験を適用しその有効性を示している。さらに、簡易pH試験の定量的な評価として、室内試験として溶出試験（過酸化水素水を用いた溶出液のpH）や含有量試験として全硫黄分析等と測定結果を対比し、本試験方法の妥当性を検証している。

以上の岩石における適用実績から、本現場では酸性土の判定に簡易pH試験を採用することとした。なお、まず簡易pH試験を既存のボーリングコアおよび前述の小ヶ倉水源地右岸側の露頭で試験的に実施し、本現場の凝灰角礫岩における適用性を事前に十分把握した。

(2) 酸性土の判定手順

a) 簡易pH試験の実施手順

図-3に、簡易pH試験の実施手順³⁰⁾を示す。pH試験紙は、pHが1～11まで測定可能なユニバーサル試験紙を使用した。以下に簡易pH試験手順が概略を示す。

①強制酸化試薬となる過酸化水素水(30%)は酸性なので、少量の水酸化ナトリウム溶液を添加してpH6に調整する。

②試薬をハケで岩石試料表面に塗り、表面が乾く程度まで一定時間放置する。

③pH試験紙をコアあるいは岩石試料に貼付して蒸留水を散布する。

④貼付したpH試験紙の色調変化を素早く読み取りpH値とする。なお、pH値の読み取りは1桁単位で実施する。

b) 一次判定と二次判定

切羽到達時に、耐酸性支保を採用すべきかおよび対策を必要とする掘削ずり（以下、要対策掘削ずりと称す）であるかどうかを素早く判断するためには、切羽到達以前にその区間が酸性土であるか否かを判定する必要がある。よって、本現場では事前に予測された熱水変質帯区間に対して先進ボーリングを実施し、コア試料を用いた簡易pH試験結果から酸性土の一次判定を実施した。

図-4に、先進ボーリングにおけるコア試料を用いた一次判定のフローを示す。一次判定の目的は、耐酸性支保の採用区間を判定することと、掘削ずり処理に対する判

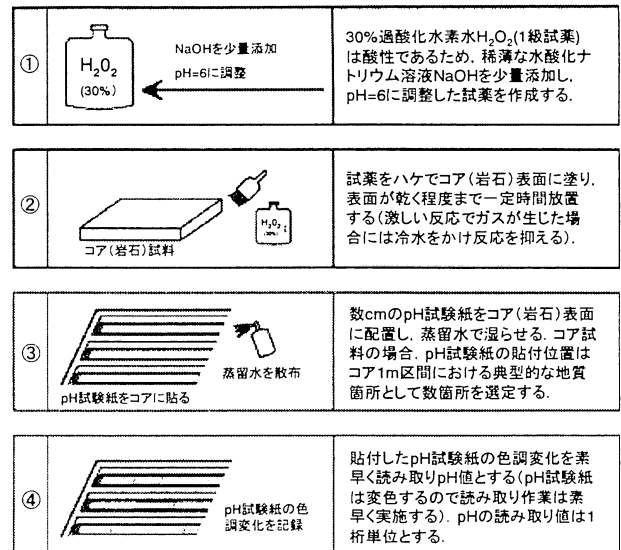


図-3 簡易pH試験の実施手順

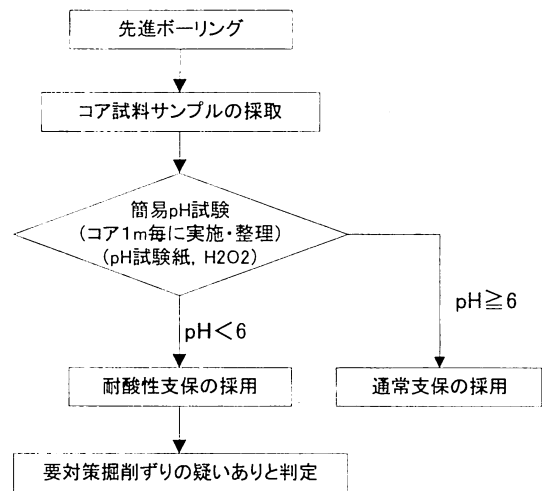


図-4 ボーリングコアを用いた一次判定のフロー

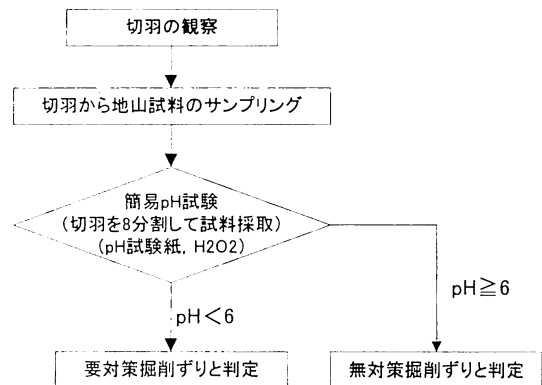


図-5 切羽で採取した岩石試料を用いた二次判定のフロー

定（要対策掘削ずりかの判定）の目安を得ることにある。

図-4に示した一次判定における酸性土の判定基準となるpHは、次の事項を考慮してpH6.0を採用した。

・排水基準の酸性側規定値であるpH5.8以上を満足すること。

・事前調査で重金属の含有が地山に確認されていないことから、弱酸性領域（pH6.0～7.0）であれば環境に与える影響は少ないと考えられること。

・鋼材やグラウトにおける耐酸性の目安がpH5.5以下であること（後述参照）。

・重金属を含有する地山における対策事例（八甲田トンネル）³⁴⁾における判定基準がpH6.0であること。

なお、簡易pH試験におけるpHの読み取り値は1桁単位であるため、図-5のフローにおいて酸性土に対する対策が必要と判断されるのはpH5以下の場合となる。

次に、切羽に到達した時に二次判定として切羽で採取した岩石試料を用いて、簡易pH試験を実施して酸性土の判定を実施する。図-5に二次判定のフローを示す。判定基準となるpHは一次判定と同一である。二次判定の目的は、主に掘削ずり処理に対する判定であり要対策掘削ずりとするか否かを判定することにある。さらに、ボーリングコアを用いた一次判定結果との整合性を検証し、耐酸性支保の採用区間に修正が必要か否かを判断する。

(3) 耐酸性支保部材の検討

熱水変質のよって酸性土が分布区間には、事前の調査ボーリングから地下水が帯水していることが明らかとなっており、特に熱水変質帯中の起点側に位置するボーリングBV-3では被圧を受け自噴している。トンネルは地下水を排出しながら掘削するので、地下水位は掘削時にトンネル底盤高さまで低下すると考えられる。一方、覆工コンクリート施工後は、水位の回復がある程度見込まれるが、トンネルが排水構造であるため地下水位は完全には回復せず、トンネル周辺地山の地下水は空気を含む通気帯となると考えられる。よって、トンネル周辺の地山は掘削以前の完全な還元環境から徐々に酸化環境に移行し、長期的には地山に含有する黄鉄鉱が酸化し、地山内で酸性水が発生する可能性が危惧される。

よって、設計段階で耐酸性支保部材として、エポキシコーティングされたロックボルトおよび耐酸性のドライモルタル、高炉セメントを用いた吹付けコンクリート、さらに、覆工コンクリートに影響を与えないとの観点から厚さ2.0mmの防水シートの採用が検討された。

トンネル支保部材の選定において耐酸性を考慮した事例は極めて少ない。一方、グラウンドアンカーでは鋼材の腐食が問題となるため地盤のpHと使用材料に関して設計・施工基準⁹⁾に、以下のような記述がある。

・pHが低く酸度が高くなると腐食速度は増大し、鋼の場合、pH4.0以下になると特に腐食が激しくなる。

・土壌中にアミノ酸などの有機物を含む場合、pHが

表-1 地盤の酸性度に対する規準⁹⁾

pH値	使用条件
5.5以上	地下水が停滞している場合、良質のグラウトであれば侵食されない。
5.5～3.5	水密性グラウトを使用すること。微粉燃料灰(pfa)や高炉スラグは効果的である。
3.5以下	ポルトランドセメント系グラウト以外の防錆効果のある注入材料を使用しなければならない。

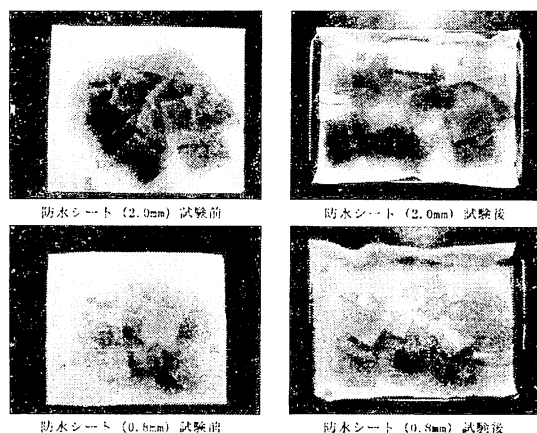


写真-1 防水シート（厚さ2.0mm, 0.8mm）の腐食試験状況

中性に近くても酸度（酸性物質の含有量）が高いため腐食しやすい傾向になる。FIP（国際プレストレスコンクリート連盟）指針では表-1のように規定している。

以上から、設計で採用を検討したエポキシコーティングされたロックボルトおよび耐酸性のドライモルタル、高炉セメントを用いた吹付けコンクリートは酸性地山に対する支保として妥当性があると考えられる。

防水シートに関しては、耐酸性に関するデータがないため厚さ2.0mm（主に防水型トンネルで使用）および0.8mm（通常のトンネルで使用）のシートを用いて強酸性に対する腐食試験を実施した。

写真-1に腐食試験の実施状況を示す。実験はpH1.6の強酸試薬にシートを浸水させ、約1ヶ月経過観察を行った。その結果、両シートはほとんど腐食せず、通常の厚さ0.8mmの防水シートでも耐酸性効果が十分期待できることが明らかとなった。よって、トンネル全線で厚さ0.8mmの防水シートを採用した。

一方、高炉セメントと通常のポルトランドセメントを用いた吹付けコンクリートを併用するためには、吹付けプラントの改良（セメントサイロの増設）が必要となることから、その採用区間を図-4に示したフローによって判定せずに、一次判定で酸性土が最初に確認された箇所から最終確認箇所までの区間で採用することとした。

よって、図-4に示した一次判定では耐酸性支保部材として、エポキシコーティングされたロックボルトおよび耐酸性のドライモルタルの採用区間を判定している。

一方、一次判定で決定される耐酸性支保の区間延長に

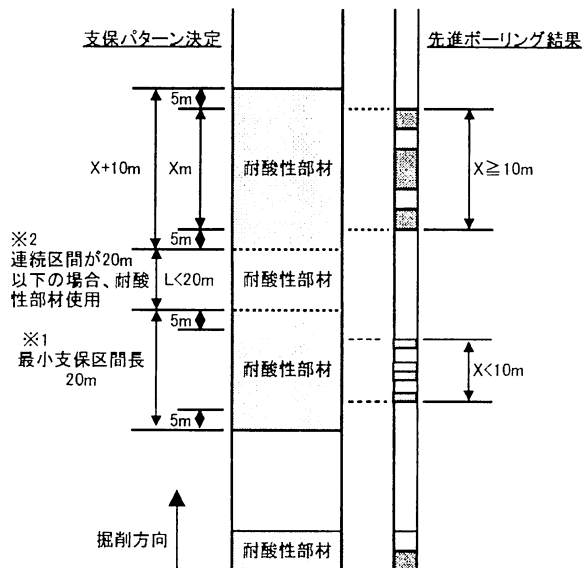


図-6 耐酸性支保の採用区間長に対する考え方

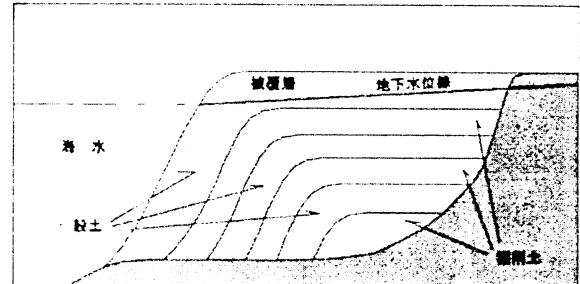


図-7 要対策掘削ずり（酸性土）の海中投棄における概念図

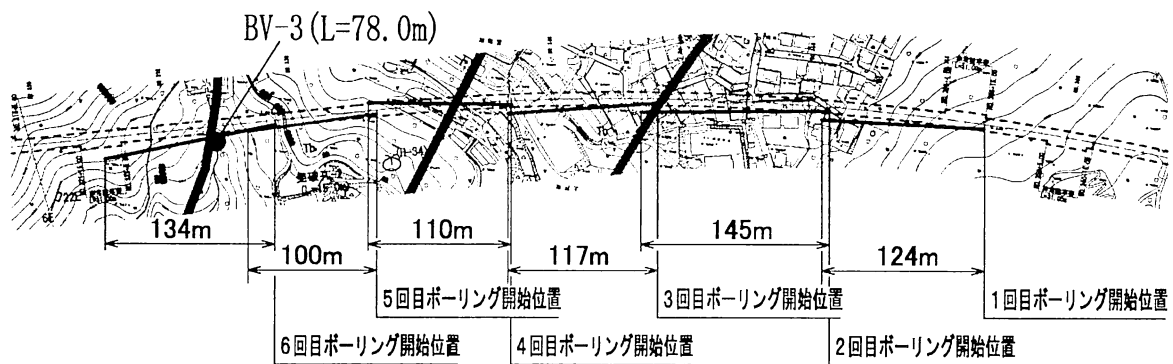


図-8 先進ボーリング施工位置平面図

関しては、設計段階で採用される支保パターンの最小区間長が一般に20m程度であることから、その最小区間長を20mとして緩衝区間を両側に5m設ける計画とした。図-6に、耐酸性支保の採用区間長に対する考え方を示す。

(4) 掘削ずりの処理

要対策掘削ずりに対しては、将来に渡って酸性土からの酸性水が周辺環境へ流出することを防止するために、還元環境に掘削ずりを封じ込める方策を検討した。

図-7に示すように、酸性土を海中の干潮時の海水面以下に封じ込めれば、空気供給が非常に少ないので酸性土は還元環境となり将来的な酸化の進行は抑えられると考えられるので海中に投棄する計画とした。

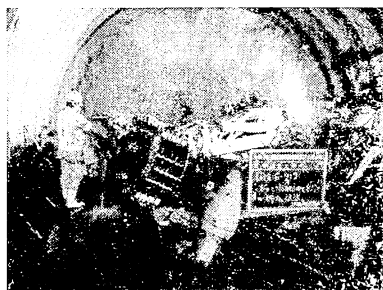
なお、設計段階では酸性土を石灰で中和する方法も検討したが、海中投棄に最適な処理場が確保できたため石灰による中和は必要ないと考えた。

4. 熱水変質帯区間での酸性土の判定と施工

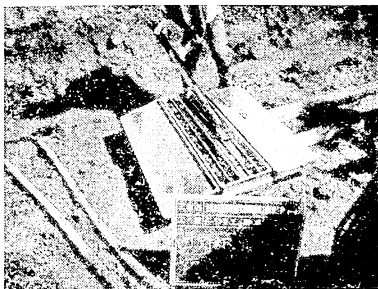
(1) 先進ボーリングによる判定（一次判定）

先進ボーリングは、ロータリーパカッション・ワイヤーライン方式を採用しコア試料を採取した。図-8に、先進ボーリングの施工位置を示す。1回当たりの先進ボーリングの延長は地質状況と湧水状況に依存し100～150mであり、最終的に計6回で延長730mの先進ボーリングを切羽から実施した。得られたコア試料は、ロータリー式のコアと比較するとその品質はやや劣るがコア採取率は90%以上であり、酸性土の一次判定は十分実施可能であった。ボーリング削孔水にはほぼ中性(pH7.5)の坑内湧水を使用しているが、簡易pH試験は強制酸化試薬を用いた試験であり酸性土の判定に特に支障はなかった。なお、先進ボーリングは当初の酸性土分布想定区間より約90m手前から実施している。

一方、第5回目の先進ボーリングでは最大約1.2t/分の突発性湧水が発生したが切羽地質が良好であったため切羽



(a)先進ボーリング施工状況



(b)採取コアの状況



(c)ボーリング孔からの湧水状況

写真-2 先進ボーリング施工の概況

崩壊等は発生していない。しかしながら、図-8に示したルート近傍で自噴していたボーリング孔BV-3の地下水位は急激に低下し、切羽到達時にはトンネル計画高さまで低下した。よって、先進ボーリングは水抜き効果も十分に発揮したと考えられ、当初想定通り施工時に地下水位がトンネル計画高さ付近まで低下したことを確認した。よって前述のように、トンネル周辺地山は酸性水が発生する可能性が示唆される環境状態に達したと考えられる。

なお、当然ながら得られたコア試料の観察から地山分類を実施し支保パターンの選定にも活用している。

写真-2に、先進ボーリングの概況として実施状況、採取コア状況、ボーリング孔からの湧水状況を示す。

図-9に、酸性土の一次判定における簡易pH試験結果として、第6回目先進ボーリングの深度115m～120m区間の事例を示す。ボーリングコア試料ではコア1m区間に数cmのpH試験紙を10箇所程度貼付して、図-9に示したようにその1m区間におけるpHを割合(%)で整理し、pH5以下となる割合の合計が50%を超えた場合に酸性土と判定した。すなわち、図-10では115.0m～116.0mでpH3が45%、pH4が20%となることからpH5以下が合計が50%を超過し酸性土と判定されるが、その他の区間はpH5以下の割合の合計が50%以下となり酸性土ではない。

図-10に、第6回先進ボーリングにおける簡易pH試験の結果を深度とpHの合計割合で示し、耐酸性支保採用区間を選定した事例を示す。図-10より、pH合計割合が50%を超過するのは、深度102.0m～116.0m(区間長14mの酸性土)のうち数箇所の区間であるが、前述した耐酸性支保採用の最小区間長の設定20mと緩和区間5mの規定から、酸性土区間14mの両側に5mの緩和区間を設けて、深度97.0m～121.0mの24m区間で耐酸性支保を採用し、その他の区間では通常支保を採用することとした。

以上のような一次判定で耐酸性支保の採用区間を選定し、要対策掘削ずりが発生する区間に対する目安とした。

(2) 切羽での判定(二次判定)と施工

切羽で岩石試料を採取して実施する二次判定は、掘削翌日のずり運搬場所を決定することを目的として昼間の

簡	易	pH(H ₂ O ₂)		試	験								
主要地方道長崎南端状橋道時改良工事(唐八景トンネル)													
調査件名 先進ボーリング		試験日		平成21年1月12日									
調査番号 第6回(Nc.6)		掘削地点 No.329+06.25		試験者	本田 俊徳								
区間 115.00m ~ 116.00m		備考											
pH(H ₂ O ₂)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
割合(%)				45	20		25	10					
区間 116.00m ~ 117.00m		備考											
pH(H ₂ O ₂)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
割合(%)				10	5		50	35					
区間 117.00m ~ 118.00m		備考											
pH(H ₂ O ₂)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
割合(%)					5	5	50	40					
区間 118.00m ~ 119.00m		備考											
pH(H ₂ O ₂)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
割合(%)				5	10		45	40					
区間 119.00m ~ 120.00m		備考											
pH(H ₂ O ₂)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
割合(%)				10	15		40	35					
特記事項													

図-9 簡易pH試験による酸性土の一次判定結果の一例
(第6回先進ボーリング：深度115.0～120m区間)

掘削作業における切羽で実施することとし、夜勤作業での切羽では実施しないこととした。

図-11に、切羽での岩石試料の採取位置(切羽での岩質分布を考慮して6～8試料を採取)と簡易pH試験結果を示す。図-11では、試料No3.5でpH5.0以下の割合が90%以上となり酸性土に相当するが総合評価では50%以下であり、この切羽に分布する岩石は酸性土ではないと判定している。一例として図-12に、一次判定と二次判定の結果を対比して示す。二次判定は一次判定のような連続記録になっていないが、pH合計割合に多少の差はあるがpHが低くなる位置はよく一致していることがわかる。

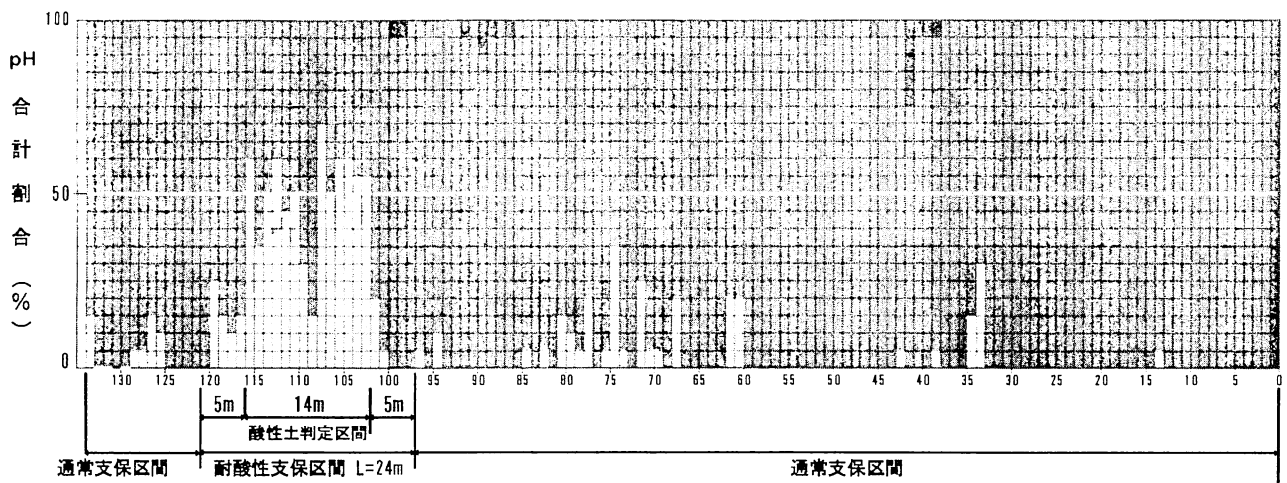


図-10 第6回先進ボーリングにおける簡易pH試験の結果（深度とpHの合計割合）と耐酸性支保区間の選定



①～⑧：試料採取位置

試料 No.	試験化水濁水 出(H ₂ O ₂) - 割合 (%)											切羽 での 割合 (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1			2	8		16	50					点状	15
2					3	49	52	5					20
3			20	60	20							全面	20
4							50	50					5
5							40	60				点状	5
6				3			47	50					15
7							50	50				点状	10
8							50			20			10
合計 で割合	0	4	13	6	0	32	13	1	6	1	0	試験 - 全面	100

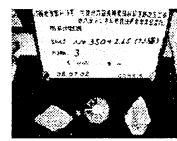


図-11 切羽での試料採取位置とpH試験結果の一例

先進ボーリングの			掘削土の		
深度	簡易pH(H2O2)試験/割合 (%)	測点No.	簡易pH(H2O2)試験/割合 (%)		
(m)	0 50 100		0 50 100		
5		No. 350+ 15.85			
10		No. 350+ 05.85			
15		No. 350+ 00.85			
20		No. 349+ 15.85			
25		No. 349+ 10.85			
30		No. 349+ 05.85			
35		No. 349+ 00.85			
40		No. 348+ 15.85			
45		No. 348+ 10.85			
50		No. 348+ 05.85			
55		No. 348+ 00.85			
60		No. 347+ 15.85			

図-12 一次判定結果と二次判定結果の比較

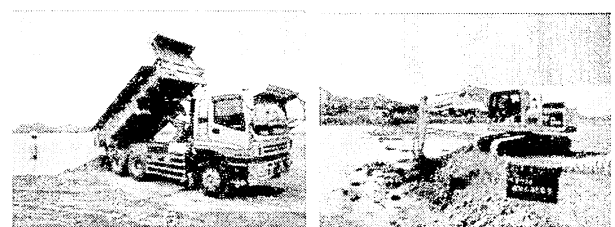
よって、一次判定と二次判定の結果は整合性が高いと判断できる。

二次判定は、要対策掘削ずりの判定を主な目的としている。写真-3に、二次判定によって要対策掘削ずりと判定され処理場にて海中投棄されている状況を示す。

(3) その他の地山の化学的特性試験結果と地下水モニタリング結果の概要

本トンネルの地山には事前調査で重金属等の有害物質が含有していないことを確認しているが、施工時の再確認として先進ボーリングコア試料を用いた蛍光X線分析、切羽での岩石試料を用いた含有量試験および溶出試験を実施している。

蛍光X線分析は、酸性土と判定された区間を参照として1回のボーリングあたり数箇所試料を採取し



(a)運搬 (b)海中への投棄
写真-3 要対策掘削ずりの運搬と海中への投棄

て、計6回のボーリングにおいて分析を実施した。その結果、クロム、セレン、水銀、鉛、砒素の各項目で基準値以下の分析結果を得た。第4回ボーリングの1試料において基準値以下ではあるが砒素の含有がやや高い結果が得られた。この砒素は、黄鉄鉱(FeS_2)の硫黄が砒素に置き換えられた硫砒鉄鉱

(FeAsS)であると考えられる。

切羽で採取した岩石を用いた含有量試験および溶出試験は200mに1回の割合で土壤汚染防止法に基づく試験項目で実施した。その結果、いずれの項目もごく微量であり基準値を大きく下回った。

以上から、本トンネル地山には重金属等の有害物質が含まれていないことを施工時にも再確認した。

周辺地下水に関しては、掘削時に前述のようにボーリングBv-3にてトンネル計画高さ付近まで地下水位が低下することを確認した。

事前調査における周辺地下水のpHは7.4～7.7でありほぼ中性であることを確認しており水質的にも特に問題はない。施工時に坑内湧水のpHを測定した結果はpH7.7～8.0、ボーリングBv-3のpHは7.3～7.8であり、いずれもほぼ中性で変化は小さかった。よって、地下水のpHは水位が低下しても短期的にはほぼ中性を示しており、酸性を示すことはないことを確認した。

以上から、トンネル掘削による地下水位変動によって地山の黄鉄鉱が酸性化し周辺環境に影響を及ぼす可能性は短期的には低いことが確認できた。よって、将来的に酸性土区間が酸性化したとしてもその影響はトンネル周辺のごく限られた地山内であると推測できる。

5. おわりに

本稿では、唐八景トンネルにおいて酸性土を簡便に判定する手法として簡易pH試験を採用し、切羽到達以前に先進ボーリングで採取したコア試料を用いた一次判定と切羽到達時に切羽で採取した岩石試料を用いた二次判定において本試験法を適用し、酸性土が分布する区間を選定すると同時に、酸性土と判定された区間において合理的に耐酸性支保を選定し、掘削ずりを適切に処理した事例について報告した。その結果、一次判定と二次判定ではほぼ整合

する結果を得ることができ、当初設計では約580mの区間を酸性土対策区間と想定していたが、約半分の約280m区間で対策を実施した。よって、工事費の大幅なコストダウンに寄与することができた。

今後の掘削工事においても黄鉄鉱に起因する酸性土の問題は少なからず発生すると考えられ、本稿が参考となれば幸いである。

謝辞：本トンネルにおける酸性土の判定および各種試験のにおいて、応用地質株式会社九州支社村嶋光明リーダー、川本康司リーダーをはじめ関係各位に多大なるご尽力とご協力を賜った。ここに深謝する次第である。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所編：建設工事遭遇する地盤汚染対策マニュアル，鹿島出版会，2006.
- 2) 独立行政法人土木研究所他編：建設工事における自然由来の重金属対応マニュアル（暫定版），2007.
- 3) 服部修一，太田岳洋，木谷日出男：酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討—鉱山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法—，応用地質，Vol.43，No.6，pp.359-371，2003.
- 4) 服部修一，太田岳洋，菊地良弘：八甲田トンネルにおける掘削残土の酸性水溶出に関する判定方法の評価，応用地質，Vol.47，No.6，pp.323-336，2007.
- 5) 松崎達二，堀川滋雄，東谷謙，山口廣文：酸性水発生地山の事前検出予測手法の提案，—簡易 pH 試験の事例—，日本応用地質学会平成 15 年研究発表会講演論文集，pp.433-436，2003.
- 6) 松崎達二，山口廣文，飯野竜一，田中登：酸性水発生の事前予測手法（パートⅡ）—簡易 pH 試験の定量的評価—，日本応用地質学会平成 18 年研究発表会講演論文集，pp.453-456，2006.
- 7) 社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説（第一回改訂版），pp.159-165，2007.
- 8) 社団法人土質工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，p.66，1990.

THE COUNTER MEASURES TO THE ACIDIFIED GEOLOGICAL FEATURES THAT RECEIVE INFLUENCE OF HYDROTHERMAL ALTERATION UNDER TUNNEL CONSTRUCTION

Tatsuki OHGA, Katsunori KAKOI, Masahiro INOUE,
Yasunori OHSAGO and Hideyuki MURAYAMA

The Tohakkei Tunnel of the Nagasaki south loop road is a road tunnel and it extend 1,826m. The tunnel geological features are composed of the pelitic schist, the tuff breccia, and the andesite. It was assumed that the hydrothermally-altered zone including ground water was distributed in several places of this tunnel from the boring and geological field survey. Especially, it was worried that the section of about 700m which consisted of the tuff breccia zone was acidified because of the hydrothermal alteration.

In this paper, the simple pH examination is adopted as a technique for judging the acidified rock in the advancing boring and the tunnel face, and the method where the counter measures is selected is described.