

(別紙 1)

研究課題名=変状を伴う老朽化トンネルの地質評価・診断技術の開発

研究期間 (元号) =平成 25 年・平成 26 年

代表者名=伊東佳彦 (国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)

研究代表者名=伊東佳彦 (国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)

共同研究者名=倉橋稔幸 (国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)、岡崎健治 (国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)、大日向昭彦 (国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)、笹谷輝勝 (株式会社フジタ)、村山秀幸 (株式会社フジタ)、丹羽廣海 (株式会社フジタ)

補助金交付総額 (円) =44,200,000 円

研究・技術開発の目的=老朽化した道路トンネルでは、供用後にわたる長期的な路盤の隆起や覆工コンクリートのひび割れ等の変状事例が近年全国的に多く報告されるようになり、維持管理コストの面から問題となっている。これらの時間依存性を有する変状の多くは地質に起因するものと考えられるが、従来の考え方や評価指標では説明の付かない事例がいくつかある。そこで、地質の時間依存性変状に対する地山変状メカニズムを解明し、その評価指標および診断技術を新たに確立することを目標として研究開発を行う。なお、時間依存性を有する変状とは、トンネル施工中に顕在化する変状と区別して、完成または供用後にトンネル地山の地質劣化の進行、または周辺環境の変化などを要因とした地質性状の変化に起因して発生する変状のことを言う。本研究の目的は、(1)将来の時間依存性変状を予測するための新しい地質評価指標を構築すること、(2)将来の時間依存性変状発生の可能性に関する診断技術を開発することである。

研究・技術開発の内容と成果=本研究、技術開発は、北海道の道路トンネルを試験フィールドとして、(1)時間依存性変状に対する地質評価指標の構築と、(2)時間依存性変状に対する診断技術の現場適用実験を中心に、現場実験および室内実験を進めてきた。適用トンネルは、新旧 2 本のトンネルからなり、旧トンネルは昭和 52 年に供用を開始したトンネルで、施工中から現在まで劣化した地質に起因する覆工背面の時間依存性変状が継続している。新トンネルは旧トンネルの代替ルートとして 2014 年に新たに建設されたトンネルで、施工中に盤ぶくれが発生しインバートコンクリートの変状が確認されている。新旧トンネルの地質は変質安山岩を主体とし、既往調査結果から変質度の高い箇所に変状が大きい傾向にあること、地山の変質度は地山弾性波速度と良好な相関があることが明らかとなっていた。以上の傾向から、(1)時間依存性変状に対する地質評価指標として、地山弾性波速度の経年変化を表す何らかの新しい指標が有効であると考えられる。また、(2)時間依存性変状に対する診断技術としては、供用中のトンネル周辺の地山弾性波速度を継続的に測定可能な技術が必要となる。(1)では、トンネル建設によって生じる時間依存性変状のメカニズムを解明し、その評価指標および診断技術を新たに確立することを目標として、1)時間依存性変状区間における地質情報の整理と岩石の特徴の把握、2)岩石の経年劣化の評価法に関する検討を行った。(2)では、供用中のトンネル周辺の地山弾性波速度を、片側交互通行を確保しながら測定を可能とする診断手法の確立を目標として、1)完成トンネルにおける地山弾性波速度測定の適用実験、2)実トンネルにおける地山弾性波速度の測定(時間依存性変状区間と健全部を含む)を行った。(1)1)では、ボーリングコアを使用した亀裂の進展状況の経時観察、鉱物組成分析

により、将来劣化を生じる可能性がある岩石を事前に判定できる可能性があることが確認された。亀裂の進展状況の経時観察は、時間経過とともにボーリングコアに発生する亀裂の発生数をカウントすると、採取直後の初期に急激な亀裂の進展が確認され、大部分は5日程度で収束することが確認されたことから、採取初期（1週間以内）のボーリングコア観察によって劣化範囲を大部分絞り込むことが出来ることが分かった。また、ボーリングコアの膨張が確認された区間におけるボーリングコアの鉱物組成分析から、膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトの含有量が少なくても硫酸塩鉱物が含まれる場合には、化学的変化により硫酸塩鉱物が石膏に変化することによって体積の膨張が発生する可能性が示唆された。一方、ボーリングコアの膨張が確認されなかった区間の鉱物組成分析から、硫酸塩鉱物が含まれる場合でも炭酸塩鉱物が共存すれば、化学的変化が抑制され体積膨張が発生しにくい傾向にあることが示唆された。(1)2)では、室内でボーリングコアを使用して、いくつかのケースによる暴露試験を行い、その過程における弾性波速度の経時変化を測定した。その結果、乾湿繰り返しによる暴露試験で時間経過に伴う弾性波速度の低下が確認された。一方、後述する現場実験で実測された時間依存性変状区間の弾性波速度と、健全区間の弾性波速度を対比すると、前者が後者に比べてその低下率が大きい傾向が確認された。以上より、弾性波速度がトンネル背面地質の健全性を表す有効な指標となり得ることが確認された。また、弾性波速度低下率を求めることによって、現状のトンネル背面地質の健全性を評価することが出来る可能性が示唆された。(2)1)では、片側交互通行下で弾性波探査を適用することを考慮して走行車両による振動ノイズを模擬した現場実験を行い、機械震源を使用することによって車両の振動ノイズが弾性波の初動読み取り精度にほとんど影響がないことを確認した。また、診断技術では点検時に弾性波速度を繰り返し測定することを考慮して探査結果の再現性を確保できるかどうか実験で確認した。この結果、本トンネル地質 ($V_p=3.2\text{km/s}$ 程度)では $\pm 0.1\text{km/s}$ 程度の精度で探査結果に再現性があることが確認された。(2)2)では、新旧トンネルの地山弾性波速度を測定し、時間依存性変状区間では表層の弾性波速度が低く、健全部では高い傾向が確認された。トンネル掘削による緩みや変状の影響を受けていない深部の弾性波速度と表層の弾性波速度の比率を求めることによって、トンネル周囲の地質の健全度を評価することが出来ることが示唆された。以上の結果より、時間依存性変状メカニズムに関する新たな着目点として、掘削直後のボーリングコアにおける亀裂の進展や、硫酸塩鉱物と炭酸塩鉱物の組成が将来の変状に寄与する可能性があることが分かってきた。また、時間依存性変状に対する新しい地質診断技術として、地山弾性波速度を指標としたひとつの方向性を示すとともに有効性を実証できたと考える。今後は他の地質でも適用実績を重ね本診断技術の普及を図るとともに、変状メカニズムを踏まえた、より合理的な評価指標および診断技術へとブラッシュアップして行きたい。

研究成果の刊行に関する一覧表=土木学会第69回年次学術講演会講演概要集、熱水変質作用を受けた岩石の劣化に伴う超音波伝播速度の経時変化、平成26年9月10日、(社)土木学会、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、大日向昭彦、伊東佳彦、土木学会第69回年次学術講演会講演概要集、熱水変質作用を受けた岩石コアにおける物理強度特性の変化に関する検討、平成26年9月10日、(社)土木学会、岡崎健治、大日向昭彦、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、日本応用地質学会平成26年度研究発表会講演論文集、先進ボーリングコア情報によるトンネルの時間遅れ変状機構に関する考察、平成26年10月29日、(社)日本応用地質学会、伊東佳彦、岡崎健治、大日向昭彦、村山秀幸、丹羽廣海、日本応用地質学会平成26年度研究発表会講演論文集、建設後に変状を生じたトンネルにおける施工時の計測データに関する考察、平成26年10月29日、(社)日本応用地質学会、岡崎健治、大日向昭彦、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、土木学会第24回トンネル工学研究発表会報告集、地山の長期的な健全性診断を目的とした弾性波屈折法探査の適用実験、平成26年12月4日、(社)土木学会、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、大日向昭彦、伊東佳彦、土木学会第43回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、地山弾性波速度の経年変化を指標

としたトンネル地質の健全性評価の試行、平成 27 年 1 月 8 日、(社) 土木学会、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、大日向昭彦、伊東佳彦、土木学会第 43 回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、変質安山岩の経年劣化と鉱物学的特徴に関する考察、平成 27 年 1 月 8 日、(社) 土木学会、岡崎健治、丹羽廣海、村山秀幸、伊東佳彦、第 58 回(平成 26 年度)北海道開発技術研究発表会(Web)、先進ボーリングコア試料を用いたトンネル変状の要因解析例—新第三紀火山岩類の岩石学的・鉱物学的解析—、平成 27 年 2 月 18 日、国土交通省北海道開発局、山崎秀策、岡崎健治、倉橋稔幸、第 58 回(平成 26 年度)北海道開発技術研究発表会(Web)、トンネルの地質性状に起因する変状とその現象解明に向けた検討事例、平成 27 年 2 月 18 日、国土交通省北海道開発局、岡崎健治、丹羽廣海、安藤彰、2015 トンネル技術研究発表会論文集、山岳トンネルにおける時間依存性変状と地山弾性波速度に関する一考察、平成 27 年 2 月 27 日、北海道土木技術会トンネル研究委員会、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、伊東佳彦、寒地土木研究所月報、第 742 号、変状を生じたトンネルの長期的な地質検討、平成 27 年 3 月 10 日、寒地土木研究所、岡崎健治、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、笹谷輝勝、大日向昭彦、倉橋稔幸、物理探査学会第 132 回学術講演会講演論文集、屈折法地震探査を用いたトンネル地質に対する健全性評価の試行、平成 27 年 5 月 11 日、(公社) 物理探査学会、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、伊東佳彦、ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly Proceedings、Project Study on tunnels with time dependent behavior—Records of planning and construction、平成 27 年 5 月 22 日、International tunneling and underground space association、村山秀幸、丹羽廣海、伊東佳彦、ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly Proceedings、Project Study on tunnels with time dependent behavior—Geochemical and mechanical characteristic of rock mass、平成 27 年 5 月 22 日、International tunneling and underground space association、岡崎健治、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、笹谷輝勝、ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly Proceedings、Project study of tunnels with time-dependent behavior—A diagnostic method using seismic velocity、平成 27 年 5 月 22 日、International tunneling and underground space association、丹羽廣海、村山秀幸、岡崎健治、平成 27 年度日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会合同研究発表会、時間依存性変状を生じたトンネル地山における岩石の経年劣化と地質診断手法の適用事例、平成 27 年 6 月 19 日(予定)、(社) 日本応用地質学会、岡崎健治、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、時間依存性の劣化を伴う岩石の評価方法に関する検討例、平成 27 年 9 月 16 日(予定)、(社) 土木学会、岡崎健治、伊東佳彦、丹羽廣海、村山秀幸、10th Asian Regional Conference of IAEG Proceedings、Case study of a tunnel with time-dependent behavior in a volcanic area of Hokkaido、平成 27 年 10 月 26 日(予定)、International association of engineering geology、伊東佳彦、岡崎健治、倉橋稔幸、丹羽廣海、村山秀幸、笹谷輝勝、10th Asian Regional Conference of IAEG Proceedings、Case study of the reconsidering of the measurement data and geological survey results of the tunnel with time-dependent behavior、平成 27 年 10 月 26 日(予定)、International association of engineering geology、岡崎健治、丹羽廣海、村山秀幸、伊東佳彦、笹谷輝勝、倉橋稔幸、10th Asian Regional Conference of IAEG Proceedings、Case study of the diagnostic method by monitoring the time-dependent behavior of the tunnel ground、平成 27 年 10 月 26 日(予定)、International association of engineering geology、丹羽廣海、岡崎健治、村山秀幸、伊東佳彦、笹谷輝勝、倉橋稔幸、第 31 回日本道路会議、トンネル維持管理における路面下部の地山劣化とその診断技術、平成 27 年 10 月 27 日(予定)、(公) 日本道路協会、岡崎健治、伊東佳彦、丹羽廣海

研究成果による知的財産権の出願・取得状況=なし

成果の実用化の見通し=平成 25～26 年度に実施した「変状を伴う老朽化トンネルの地質評

「価値・診断技術の開発」における成果については、技術講習会や協学会での研究発表等を通じて、普及に努めた。また、産学官からなる委員会（トンネルの変状調査計測技術に関する検討委員会）のなかで、参画者の管理地等での適用現場の選定や開発手法の活用に向けた取り組みの実施について依頼した。なお、本技術開発については、供用前の国道トンネルで試行したことで実際の道路管理に活用するための情報として提供した。ただし、平成 27 年度もトンネル坑内での計測を継続し、実用化に向けた課題解決の取り組みを行うとともに、最終的にはマニュアル等に整理して実用化に向けた普及を進めたい。

その他=なし