

山岳トンネルのインバートの合理的な設計手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 5～令 7

担当チーム：トンネルチーム

研究担当者：日下敦、菊地浩貴、蔭山凌

供用中の道路トンネルにおいて路面隆起（盤ぶくれ）が発生し、利用者の快適性の低下や構造安定性へ影響する事例がある。盤ぶくれ対策としてはインバートの設置が力学的に最も有効な対策のひとつであるが、路面を掘り込んで設置することから、トンネル建設時においても施工性は悪く、また、供用開始後に施工する場合も通行規制による社会的影響が大きい。さらに、インバートの耐荷力特性およびその評価手法が未確立であるため、施工性に優れた新技術の適用が困難で、実務上の対策は施工性の劣る従来構造に限定され、インバート設置かオーバーレイ等の簡易対策かの二極化が課題となっている。

そこで本研究では、将来変位に応じた合理的なインバート構造の選択を可能とする設計体系の確立に向けた基礎的検討として、覆工を含むインバートの耐荷力および破壊メカニズムの解明と、盤ぶくれの将来変位予測手法の提案を目的とした。本研究で得られた主な成果を以下に示す。

- ・ 模型実験および非線形数値解析を実施し、覆工およびインバートにおける損傷・破壊の進展過程に着目して構造の破壊過程を明らかにした。これにより、従来十分に整理されていなかった非線形的な破壊メカニズムと耐荷力の関係を体系的に整理し、構造性能評価に資する基礎的知見を得た（論文リスト e-2 ほか）。
- ・ 盤ぶくれの将来変位予測手法として複数の近似曲線式を適用し、既往事例に対する適合性および特性の検証を行った。その結果、本手法が一定の有効性を有することを確認するとともに、予測精度の確保に必要な計測期間や計測頻度など、適用上の留意点を整理した（論文リスト e-6）。

キーワード：山岳トンネル、インバート、盤ぶくれ、模型実験、数値解析

DEVELOPMENT OF RATIONAL DESIGN METHODS FOR INVERTS IN MOUNTAIN TUNNELS

Research Period: FY2023-2025

Research Team: Tunnel Research Team,

Road Technology Research Group

Author: KUSAKA Atsushi

KIKUCHI Koki

KAGEYAMA Ryo

Abstract: In road tunnels, floor heave has been observed, reducing user comfort and potentially affecting structural stability. Although invert installation is mechanically effective, it causes significant social impacts due to traffic restrictions during construction. Moreover, the lack of established evaluation methods limits countermeasures to conventional structures, leading to a choice between full invert installation and simplified measures such as overlays.

This study aims to enable rational selection of invert structures based on future deformation. The load-bearing capacity and failure mechanisms of inverts, including the lining, were investigated through model tests and nonlinear numerical analysis, and structural states were defined according to damage progression. In addition, a prediction method for future floor heave displacement was developed and validated using case histories, confirming its applicability and identifying requirements for monitoring to ensure accuracy.

Keywords: Mountain Tunnel, Invert, Floor Heave, Model Experiments, Numerical Analysis

論文リスト

● 学術誌等による成果普及

査読付論文・国内（計 2 本）

- a-1) 菊地浩貴、日下敦：トンネル拡幅掘削時の支保内圧の低減効果に関する模型実験と数値解析による考察、第 16 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.13-18、2025.1
- a-2) 蔭山凌、菊地浩貴、日下敦：模型実験を再現した数値解析による山岳トンネルのインバート耐荷力に関する考察、岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.193-198、2025.12

査読付論文・海外（計 1 本）

- b-1) Yu Koizumi, Atsushi Kusaka, Nobuharu Isago, Kosuke Kawata, Toshiro Otsu and Naoto Mikami: Model Experiment on load-bearing performance and failure process of newly proposed invert to reduce volume of excavation, world tunnel congress 2024, pp.2681-2688, 2024.4

査読無し論文・国内（計 1 本）

- c-1) 中里倫子、山田芽生、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、三上尚人、日下敦、小泉悠：載荷条件を考慮したインバート形状と耐荷力の関連性に関する研究、トンネル工学報告集、第 34 巻、I-4、2024.12

査読無し論文・海外（計 1 本）

- d-1) Megumi Yamada, Rinko Nakazato, Kosuke Kawata, Atsushi Kusaka, Toshiro Otsu and Nobuharu Isago: Mechanical Behavior of Tunnels with New Invert Shape, Rapid Excavation and Tunneling Conference 2025, pp.196-207, 2025.6

学会発表等その他（計 9 本）

- e-1) 中里倫子、山田芽生、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、三上尚人、日下敦、小泉悠：インバート形状と耐荷力の関連性に関する検討、令和 6 年度土木学会全国大会 第 79 回年次学術講演会、Ⅲ-243、2024.9
- e-2) 山田芽生、中里倫子、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、三上尚人、日下敦、小泉悠：盤ぶくれを模擬した模型実験の再現解析に関する検討、令和 6 年度土木学会全国大会 第 79 回年次学術講演会、Ⅲ-244、2024.9
- e-3) 菊地浩貴、日下敦：拡大掘削時の地山挙動に関する特性曲線方を用いた検討、令和 6 年度土木学会全国大会 第 79 回年次学術講演会、Ⅲ-243、2024.9
- e-4) 大森瑞貴、山田芽生、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、日下敦、小泉悠：トンネル施工データに基づくインバート補強工設置範囲に関する考察、令和 7 年度土木学会全国大会 第 80 回年次学術講演会、11PM2-Ae-08、2025.9
- e-5) 山田芽生、大森瑞貴、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、日下敦、小泉悠：ひび割れに着目した新たなインバート形状に関する解析的考察、令和 7 年度土木学会全国大会 第 80 回年次学術講演会、11PM2-Ae-06、2025.9
- e-6) 蔭山凌、日下敦、菊地浩貴：盤ぶくれ変位量の簡易予測手法に関する一考察、日本道路会議論文集、6026、2025.11
- e-7) 大森瑞貴、山田芽生、河田皓介、砂金伸治、大津敏郎、日下敦、小泉悠：トンネル施工データに基づく盤ぶくれ発生区間の傾向分析、日本道路会議論文集、6009、2025.11
- e-8) 菊地浩貴、日下敦、蔭山凌：ファイバー要素を用いた山岳トンネル覆工およびインバート耐荷力の評価、令和 8 年度土木学会全国大会 第 81 回年次学術講演会、2026.8
- e-9) 蔭山凌、日下敦、菊地浩貴、佐野和弥：模型実験および再現解析に基づく山岳トンネルインバート形状の荷重-変位特性評価、令和 8 年度土木学会全国大会 第 81 回年次学術講演会、2026.8