

# 長大山岳トンネルの施工技術の高度化に関する研究

北 沢 淳 史

## 要 旨

本研究は、建設事業の計画・設計・施工・維持管理の一連の流れの中で、施工に係わることを扱っている。とくに、受注者としての現場施工の技術およびマネジメントについて、その高度化を図るための研究である。長大山岳トンネルの施工技術は、自然環境への影響が少ない工法として国内外に展開されており、この技術のソフト・ハード面で高度化することが望まれている。なお、長大山岳トンネルは、延長が通常の山岳トンネルより大きい(延長 3,000 m 以上)の線状構造物である。また、建設マネジメントにおいても受注 PM (プロジェクトマネジメント) の顧客満足 (CS) とともに自体満足 (SS) —工程確保, 品質確保, 安全確保, 技術開発, 技術蓄積, 新技術導入ほか—について、その重要性が、指摘されている。さらに、掘削時の施工技術に関する研究開発の公表は、工事記録 (工事誌) や社内報告書など、比較的限定的なものであった。しかし性能設計への移行をふまえ、技術者の継続教育、高等教育機関における実務面の教育の重視など、今まで以上に施工技術に関する成果の公表が重視されている。

この論文における施工技術の高度化とは以下のように捉えている。

- (1) 急速施工などによる事業コスト縮減の実現、
- (2) 他分野で開発された先端技術の活用
- (3) 測量における省力化など。

長大山岳トンネルは、新幹線や高速道路などで自然環境への悪影響の少ない工法として今後も増加すると思われる。したがって、長大山岳トンネルの施工技術に関する研究は、今後とも必要性がますます高まると考えられる。

本研究では、長大山岳トンネルの施工技術の高度化として必要な受注 PM の CS と SS の各項目—工程確保, 品質確保, 安全確保, 技術開発, 技術蓄積, 新技術導入—について検討を行ったこれらの項目それぞれの考え方を提案している。

第1章では、本研究の目的として (1) 急速施工などによる事業コスト縮減の実現, (2) 他分野で開発された先端技術の活用, (3) 測量における省力化などを目指したことを述べている。また従来の研究と本書の構成について述べている。

第2章では、山岳トンネルの標準的施工方法の流れを述べている。

第3章では急速施工などによるコスト低減、品質確保への提案を行っている。

長大山岳トンネルでは、いくつかの地質構造や断層などを通過するため、施工中に不良地山に遭遇する場合が多い。また、詳細な設計ができるまでの調査がコスト面や技術面で難しい。施工段階では、すでに事業費などの大枠が決まっているため、その対策工法のコストは計画時の予想範囲内で最小限にとどめる必要があり、事業全体のクリティカルパスとなる場合が多く、時間によるコス

トの減少も重要な課題となる。この章では、出現した不良地山に対して、調査の追加や、崩壊や出水に対応した補助工法の開発について述べている。

湧水に関する不良地山の対策には、水圧を減少する対策と地山強度を上げる対策があり、同時施工は難しい。また坑内から水圧を減ずる工法は、効果が発現するまでに時間を要する場合が多い。ここでは、長大山岳トンネルの不良地山対策として、急速施工に伴うコストの節約や不良地山対策計画に有効な地山評価について、さらには、不確定な不良地山に対する作業の安全確保などについて述べており、以下を新たに提案している。

I) 亀裂からの湧水に支配される長大山岳トンネルの不良地山対策に切羽進行に影響しない地上からの施工も考慮すべきであること。

II) 水圧を下げながら地山を補強する不良地山対策として、水抜き工と併用で不均質な地山を補強する工法を開発し、コストの節減に繋げていること。

III) 不確定な地質評価の元で、切羽作業での地山評価、緊急連絡、応急対策と恒久対策について手順をフロー化し、周知徹底させることが、安全性の向上、引いてはコストの低減に繋がること。

第4章では、新しい技術の導入を図ることの必要性を述べている。前述 P.1 のように受注 PM(プロジェクトマネジメント)においても新技術導入は、CS(顧客満足)およびSS(自体満足)にとって重要な項目である。ここでは、長大トンネルで発生した酸性化するずり処理に関して、(1) 浸出水処理槽に国内での使用実績が少ないフローティングカバー形式を採用した。(2) 光ファイバセンサを用い管理型捨場のキャッピングシートや覆土の安定性を評価する計測に用いるための室内実験・現地計測を行い、以下の新しい知見を得ている。

I) フローティングカバーの適用により、設置から撤去までのライフサイクルコストを考慮して3割程度のコストダウンが可能であること。

II) 光ファイバセンサが、敷設された遮水シートの連続的なひずみ測定に適用でき、敷設されたジオブレメンの健全性評価に有効であること。

第5章では、不均質な地山に対応した地山の評価方法や測量における省力化について提案している。山岳トンネルの施工では、地山状況が急変した場合や掘削初期には、内空断面の確保や支保の補強の判断のために変位量を予測する必要がある。また、施工で遭遇する不均質な地山を評価する方法については、簡易な方法の開発が望まれている。ここでは、変位予測手法の確度をあげることがを試み、更にこの手法の不均質な地山安定評価への適用も試みている。さらに、坑口からの片押し延長が長くなるため精度確保に多大な労力を費やしている長大山岳トンネルでの測量に関し、統計的考え方を持ち込み、測量精度確保に係わる省力化を試み、以下の提案をしている。

I) 長大山岳トンネルの計測に関し、支保構造などの重要な指標である変位予測手法に範囲推定を導入することで確度を高めることができること。

II) 同様に範囲推定が不均質性を考慮した支保の評価に適用することが可能であること。

III) 長大山岳トンネルの測量に関しシステム化した測量により高精度を確保した上で省力化が可能であること。

第6章では、本研究の結論として、各章で述べた、長大山岳トンネルに関し、受注者としての現場施工の技術およびマネジメントについて、受注 PM の CS や SS として高度化を図るための提案をまとめている。

主指導教員 熊谷浩二

## A Study on the Sophistication of Long Mountain Tunnel Construction Technology

Atsusi KITAZAWA

### Abstract

This study refers to the construction phase, one of a series of phases of construction projects from planning to design, construction and maintenance. The objective of the study is to reinforce site construction technology and management from a viewpoint of contractor. Long mountain tunnel construction technologies have been employed in and out of Japan because they have little impact on the natural environment. It is hoped that both software and hardware will be enhanced for the technologies. Long mountain tunnels are linear structures with a length larger than that of ordinary mountain tunnels (the length of long mountain tunnels exceeds 3,000 m). In project management as part of construction management, the importance not only of customer satisfaction but also of self satisfaction of the contractor with respect to process control, quality control, technology application, technical development, technology accumulation and employment of new technologies has been pointed out. The results of studies and development related to excavation techniques have been publicized only through limited media such as construction records (construction logs) and in-house reports. With the shift to capacity design, emphasis has been placed on continued education of engineers and practical education in institutions of higher education, and the disclosure of results of construction technology development has been of greater interest.

In this paper, the enhancement of construction technology is assumed to contribute to the

- (i) Reduction of project cost through quick construction or other means,
- (ii) Use of state-of-the-art technology developed in other fields than construction, and
- (iii) Saving of labor in measurement.

Long-distance mountain tunneling is expected to be adopted in more applications such as on Shinkansen railway lines and expressways as a construction method with little adverse impact on the natural environment. The need for long-distance mountain tunneling technologies is therefore expected to increase further.

This study reviews and presents discussions on parameters of self satisfaction of the contractor such as process control, quality control, technology application, technical development, technology accumulation and employment of new technologies. Both customer satisfaction and self satisfaction of the contractor with project management are essential to the enhancement of long tunnel construction technology.

Chapter 1 presents three objectives of this study: (i) reduction of project cost by quick

construction, (ii) use of state-of-the-art technologies developed in other fields than construction, and (iii) saving of labor in measurement. Existing studies and the configuration of the paper are also described.

Chapter 2 discusses a standard flow of mountain tunnel construction steps.

Chapter 3 makes proposals for cost reduction and quality assurance by quick construction. Long mountain tunnels pass through various geological settings and faults, so weak soils are often encountered. Conducting geological surveys for detailed design is difficult for economic and technical reasons. In the construction phase, the budget is in place including the project cost, so the cost of remedial measures should be minimized within the budget developed in the planning phase. Thus, taking measures to control weak soils may frequently become a critical path. Reducing cost through quick construction is therefore considered important. This chapter describes additional surveys that are made for weak soils encountered and the development of auxiliary methods to control collapse or inrush of water into the tunnel.

To control seepage in weak soils, either water pressure should be reduced or the soil strength should be increased. These measures cannot be implemented simultaneously. Reducing the water pressure in the tunnel frequently takes much time before it becomes effective. This chapter describes weak soil control measures in long mountain tunnels such as cost reduction by quick construction, geological evaluation and securing of safety of work in unstable weak soils.

The following points are suggested.

(i) Stabilizing weak soils from the ground level while continuing the work at the cutting face should be considered in long mountain tunnels subjected to seepage through cracks.

(ii) For strengthening weak soils while reducing the water pressure, developing a construction method for strengthening heterogeneous soils in combination with dewatering contributes to cost reduction.

(iii) Where geological conditions are unknown, defining procedures and communicating them to those concerned for soil evaluation, emergency reporting, and temporary and permanent measures during the work at the face increase safety and lower the cost.

Chapter 4 points to the need to introduce new technologies. Adopting new technologies is important to both customer satisfaction and self satisfaction of the contractor in project management. In this study, for treating the muck produced in long tunnels and is acidified, (i) floating-type covers are used for seepage water treatment tanks although few have been practically used in Japan, and (ii) fiber optic sensors are applied for measurements to evaluate the safety of capping sheets or earth cover in controlled landfill. Laboratory and field tests of these measures produced the following findings.

(i) Using floating-type covers is likely to reduce cost by approximately 30% throughout the life cycle from installation to removal.

(ii) Fiber optic sensors are applicable to continuous strain measurement for the waterproofing geomembrane, and so they are effective for evaluating the soundness of geomembrane.

Chapter 5 makes proposals for saving labor in evaluation and measurement in heterogeneous soil. At the time of drastic change in geological condition or in the early stages of excavation during the construction of mountain tunnels, displacement needs to be estimated to make decisions to secure the inner tunnel cross section and to reinforce the support system. Developing a simple method is required for evaluating heterogeneous soil that is encountered during excavation. In this study, attempts are made to increase the accuracy of displacement estimation and to apply displacement estimation to evaluate the stability of heterogeneous soil. Long mountain tunnels are excavated in one direction from a portal over a long length, so great efforts are required to ensure the accuracy of measurement. A statistical approach is taken to solve this problem and attempts are made to save labor to ensure measurement accuracy. The following points are suggested.

- (i) As part of measurements for long mountain tunnels, the accuracy of estimation of displacement, an important indicator of support structure, can be increased by estimating displacement in a designated area.
- (ii) Displacement in a designated area is applicable to the evaluation of supports while considering the heterogeneity of soils.
- (iii) Developing a long mountain tunnel measurement system ensures accuracy and saves labor.

Professor (Chairperson) Kouji KUMAGAI