

# 大規模地下空洞盤下げ掘削における効率的施工法に関する研究

A Study of Bench Blasting Methods on the Rock Cavern for Efficient Excavation

河邊信之 Nobuyuki Kawabe\*

## 要 旨

大規模地下空洞とトンネルはその規模によって分けられる。内空断面積 100m<sup>2</sup> までが小断面から大断面までの標準的なトンネルであり、これを超えるものが超大断面トンネルと呼ばれている。一方、大規模地下空洞は小さいものでも掘削断面積が 300m<sup>2</sup> を超えるのが一般的で、1,500m<sup>2</sup> を超えるものもある。岩盤内に設置されるこのような大規模な地下空洞の掘削は発破方式によるものがほとんどであり、空洞上部にあたるアーチ部を掘削した後、掘削底盤を掘り下げていくベンチ掘削を主体とする盤下げ掘削により施工される。掘削量で見た場合、盤下げ掘削は地下空洞全体掘削量の約 70~80% を占めており、工程面で見た場合、掘削工事の約 60% を占めることから、盤下げ掘削の施工性を向上させることが空洞全体の施工性向上に繋がる。したがって、地下空洞の大規模化が進む中、地下空洞掘削工事のなかで大きな割合を占める盤下げ掘削の施工性向上に着目し、合理的な発破方式による効率的な掘削工法が求められている。

一方で、大規模地下空洞は空洞断面が通常のトンネルに比べて大きくなり、空洞を安定させる支保工も大規模になるため、周辺岩盤の支保能力を最大限引き出すよう、極力岩盤を傷めない施工法も求められる。従来、大規模地下空洞の盤下げ掘削で適用される発破方式、掘削工法についても、周辺岩盤を極力傷めないよう留意はされているが、周辺岩盤への損傷防止を前提に効率性向上の観点から施工法の改善を図った事例はなく、従来の施工法を踏襲した画一的な施工がほとんどである。

このような背景を踏まえ、本研究では、地下空洞の安定性を確保しつつ、盤下げ掘削の工程、コスト等、施工性を向上させる施工法の確立を図っている。

本論文は、6章より構成される。

以下に、各章の概要を述べる。

第1章は序論であり、大規模地下空洞を取り巻く背景から地下空洞盤下げ掘削における効率性向上を図る必要性について述べるとともに、本論文の構成について概説している。

第2章では、わが国で建設された主な大規模地下空洞盤下げ掘削の施工実績を分析することで、従来の盤下げ掘削で適用される掘削工法、1発破あたりの発破規模を明らかにしている。また、従来の地下空洞盤下げ掘削の施工サイクルを分析することで、施工性に関する課題を明らかにしている。

第3章では、大規模地下空洞の一例である関西電力奥多々良木発電所増設工事における盤下げ掘削の施工実績を分析し、周辺岩盤を傷めないよう1発破掘削量の少ない小規模発破を繰り返し施工した場合、発破遅延などのロス時間の積み重ねにより施工性が低下することを明らかにしている。その上で、1発破掘削量を多くした大規模発破の適用について考察している。大規模発破の適用にあたっては、発破後から支保工完了までの無支保時間が長くなることによる地下空洞の安定性に与える影響、発破が周辺岩盤に与える損傷が懸念されたことから、1) 地下空洞の安定性への影響を評価できる掘削時の指標の確立、2) 周辺岩盤への発破による損傷を低減した発破パターンの提案と周辺岩盤に与える損傷程度の解明を行っている。また、大規模発破を適用するにあたって、施工の効率性向上の観点から施工サイクルの最適化を図っている。以上の大規模発破の適用性の検討にあたっては、奥多々良木発電所増設工事地下空洞盤下げ掘削を対象に、実施工での計測結果に基づいて検証を行っている。

第4章では、第3章で示した大規模発破は、地質条件が良好で空洞の安定性が高いと判断される場合に適用される工法であることを踏まえ、この適用条件を外れる場合に適用する標準的で効率的な施工法として、緩め発破の適用を検討している。緩め発破は、最近のわが国の石灰石鉱山、砕石場などでずり（掘削、破碎した岩石片）を存置したまま次回以降の発破を行う工法であり、装薬・発破とずり処理を併行作業することにより効率化を図ることができる。したがって、この緩め発破を大規模地下空洞での標準的な掘削工法である中割先進側壁切掘工法のうち、ベンチ掘削となる中割部に適用することにより、施工の効率化を図ることができることを示している。ただし、適用にあたってはずりを存置することによる地下空洞の安定性に及ぼす影響が懸念されることから、この影響について検証し、緩め発破の適用範囲を明らかにしている。以上の緩め発破の適用研究にあたっては、九州電力小丸川発電所地下空洞盤下げ掘削を対象に、実施工での計測結果に基づく検証を行っている。

\* 技術第三部

「首都大学東京大学院学位論文 2010.3」の要旨を掲載

第5章では、大規模発破と緩め発破の適用研究を踏まえ、地下空洞盤下げ掘削において、地山条件などに応じ、空洞の安定性を評価した上で、最も効率的な盤下げ掘削工法を選択できる選定フローの策定を行っている。

第6章では、本論文の各章の研究成果をとりまとめるとともに、今後の大規模地下空洞の盤下げ掘削の効率化に向けた課題と今後の展望について述べている。

キーワード：大規模地下空洞，盤下げ掘削，大規模発破，緩め発破，効率的掘削工法

## Summary

The large-scale rock cavern for underground power stations, LPG underground storage, and radioactive waste disposal had been carefully excavated to keep the stability of surrounding rock. On the other hand, the establishment of an efficient excavation system is an important subject for reduction of construction cost, in order to realize future construction of larger rock cavern in deeper excavation.

The author applied the large section bench blasting in the Okutataragi Underground Power Station. This paper presents the large section bench blasting for efficient excavation on the basis of machine ability improvement and observational construction in the beginning. However, the large section bench blasting is limited to the rock conditions. Then, the author applied the loosening blasting in the Omarugawa Underground Power Station. By studying an actual application of the loosening blasting, this paper presents applicable conditions for the loosening blasting and its effects on blasting efficiency.