

# 官民連帯共同研究「地下空間におけるA E・地圧・岩盤特性の精密評価技術に関する研究」について

小出 仁<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

地質調査所では、地下に関する様々な研究を長年にわたり実施してきている。1966年には、高圧岩石三軸変形試験機を導入し、地下における岩石の変形・破壊特性を系統的に調べてきた(小出ほか, 1971; Hoshino et al. 1972)。1979年頃からは、変形実験中に岩石内部の破壊による微小な振動(アコースティックエミッション, A Eと略す)を検出し、そのデータから、破壊位置を精密に求めたり、波形を解析して破壊の性質を調べる技術を開発してきた。また、1983年度には、工業技術特別研究促進費による「実験岩石学による地殻開発の実態に関する調査研究」を実施し、地下空間利用が重要な開発課題になりつつあることを示した(小出, 1984)。他方、資源環境技術総合研究所(1991年10月に公害資源研究所を改称)においても、工学的な立場から、地下空間利用の研究を実施しており、特に地下空間における地圧現場計測手法を研究し、孔底でのオーバーコアリングに伴う微小な変位変化から、三次元の地圧を測定する技術を開発してきた。

技術の発達と共に、地下利用は大規模化および深部化する傾向にある。大規模化・深部化すると、空洞壁岩盤の管理も大幅に高度化する必要がある。空洞壁岩盤に加わる地圧や岩盤の変位、さらに岩盤内部のごく微細なクラックの発達にも注意し、精密かつ確実に検出して、設計や管理に反映させなければならない。

現在、久慈(岩手県)、菊間(愛媛県)および串木野(鹿児島県)の3地点で建設中の石油地下備蓄基地は、画期的な大規模地下空間利用であり、周到な準備と調査・研究の上で建設されている(星野, 1983)。地下空間利用は、今後もさらに大規模化・深部化すると考えられ、また、超電導電力貯蔵のように岩盤に特別な荷重や熱応力がかかる可能性があるものも多くなると予想される(稲田, 1989)。

建設中の大規模地下空洞は、将来予想されるさらに大規模な地下空間利用のための高度な岩盤管理のための基礎技術開発にとって、絶好の研究の場になるところか

ら、資源環境技術総合研究所・計量研究所・鹿島建設株式会社・清水建設株式会社・大成建設株式会社と共同で、官民連帯共同研究「地下空間におけるA E・地圧・岩盤特性の精密評価技術に関する研究」を1988年より4年計画で開始した。したがって、本研究は、将来の大規模地下空間利用に備えた高度技術開発のための基礎研究であって、地質調査所は、空洞周辺の緩み域から発生する極微弱な高周波の弾性波を検出できるような精密な高周波地震計の開発を、また、資源環境技術総合研究所は、空洞の掘削に伴う地圧変化の精密計測技術の開発と現位置計測システムの確立を目標とした。

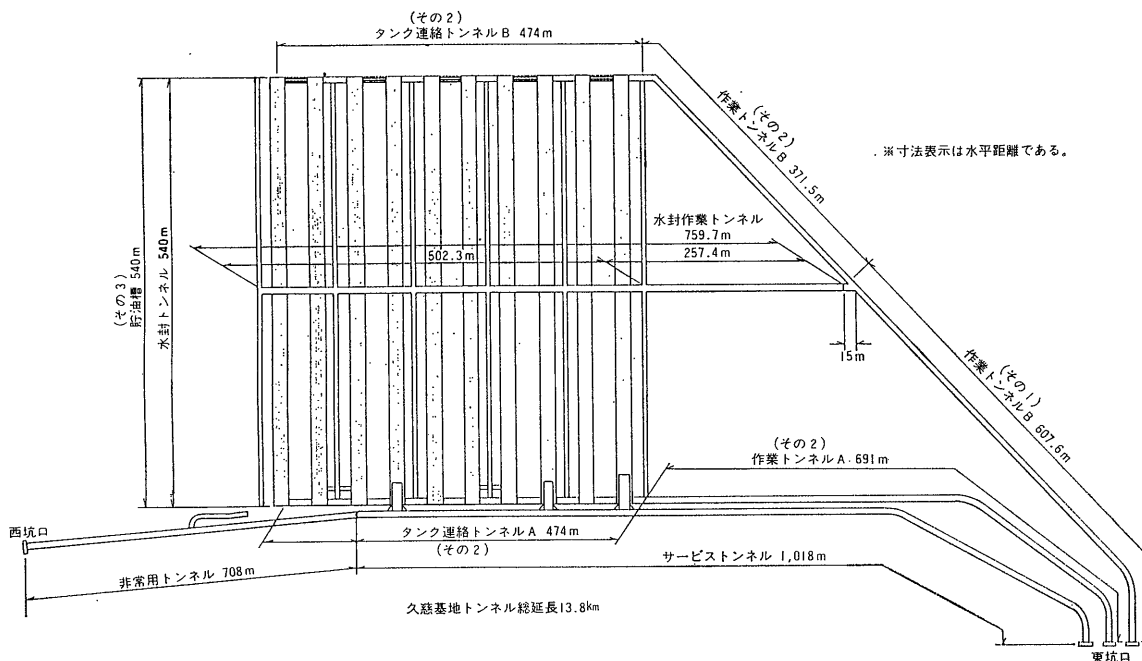
## 2. 地下空洞の大規模化

北京原人の遺跡が洞窟内から発見されていることから実証されるように、人類の地下空間利用は数10万年以上の歴史がある。人類は、住居・墓・倉庫などに地下を利用した他、鉱山・交通トンネル・水路トンネルとして、古代からかなり大規模な地下利用を行っている(村上, 1975, 1976, 1979)。しかし、トンネルの掘削が、広く普及したのは、火薬の使用などの技術革新の進んだ近代になってからである。日本でも、明治時代以降、多くの鉄道トンネル・道路トンネル・水路トンネルが掘削されているが、近年になって世界最長の青函海底トンネル(鉄道, 53.9km)をはじめ、大清水トンネル(鉄道, 22.2km)・関越トンネル(道路, 10.9km)・恵那山トンネル(道路, 8.6km)などの長大トンネルが相次いで建設された。これらの長大トンネルは、日本のトンネル建設技術の優秀さを示しているが、また、そのトンネル技術のおかげで、日本の様な地形でも、新幹線や高速道路網の建設が可能になったともいえる。

揚水式地下発電所は、長さでは長大トンネルに及ばないが、掘削断面が大きく、巨大な地下空洞が建設されている。例えば、新高瀬川発電所(東京電力, 128万kW, 1977年)の地下空洞は、幅27m, 高さ55m, 長さ163m, 掘削量21.2万 $m^3$ に達する。石油地下備蓄の実証実験は、地下空間利用の技術開発にとって、世界的にも画期的であっ

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード：地下空間利用, 大規模地下空洞, 大深度地下利用, 硬岩, 軟岩, 地下石油備蓄



第1図 久慈地下石油備蓄基地平面図

油地下備蓄の研究が始められ、昭和55年から石油公団に委託され、愛媛県菊間町で水封式地下岩盤貯油槽の実証実験が開始された。掘削された地下空洞は、幅15m、高さ20m、長さ112mで、貯油容量2.5万 $kl$ 程度であったが、十分な計画の上で、綿密な調査・計測がなされ、地下空間利用の実用性・安定性を立証した(星野, 1983, 1984)。この実証実験の成果を反映して、昭和61年には日本地下石油備蓄株式会社が設立され、岩手県久慈市に容量175万 $kl$ 、愛媛県菊間町に容量150万 $kl$ 、鹿児島県串木野市に容量175万 $kl$ 合計約500万 $kl$ の本格的な大規模地下石油備蓄基地が初めて建設されつつある。これらの備蓄基地は、例えば、久慈基地の場合、幅18m、高さ22m、長さ540mの貯油槽空洞が並列に10本建設され、サービストンネル等も含めるとトンネル総延長は13.8kmに達する(第1図)。

このような巨大な地下空洞の建設は、高度な調査・施工・管理技術の発達によって可能になったものであるが、岩盤力学などの基礎研究の発達も見逃せない。

### 3. 都市域の大深度地下空間利用

本研究が開始される前後から、土地価格の異常な高騰が社会問題となり、特に都市の空間利用を高度化する必要が痛感され出した。都市域で、空間利用を高度化するためには、立体化が必然の趨勢となり、従来省みられなかった都市直下の深度50m以上の大深度地下空間利用が

注目されるようになった。

日本の都市の多くは、堆積盆地や海岸の平野部に立地しているもので、その地下はごく若い軟質の堆積層からなる。従来の地下空間利用は、大規模化・深部化しているとはいっても、山地などに見られる強度の高い基盤岩(岩盤工学では「硬岩」と呼んでいる)中の利用にはほぼ限られており、都市域の地下に見られるような「軟岩」中の大深度地下利用は進んでいなかった。

地表に堆積した砂や泥は、地下深くに埋もれるにつれ、圧力や温度のために圧密・固結し、数100万～数1000万年の年月をかけて、硬質の岩石になる。このような固結途上にある「堆積軟岩」のうちでも、多くの都市の地下の堆積層は、まだ固結のほとんど進んでいない初期段階の軟岩であり、粒子がごく緩やかに結合し、粒子の間に数%～数十%もの空隙を残している。また、空隙は地下水で満たされていると考えていなければならない。

地下深部の圧力下では、軟岩中の空洞は変形し易く、また地下水対策も必要なため、日本の都市の深部地下利用は進んでいなかったが、昨今の需要の高まりと技術革新を背景として、都市域大深度地下空間利用技術の開発プロジェクトが計画されるようになり、日本の都市もやっと本格的な地下空間利用の時代を迎えようとしている。

基盤岩中の大規模地下空洞建設のための技術開発と、都市域大深度地下空間利用のための技術開発の相違点

た。昭和51年から通産省資源エネルギー庁によって、石は、強度が大きく、脆性的な硬岩と、変形し易く、崩れ易い軟岩という対象材質の違いによるものが大きい、それ以上に開発フェーズの違いが大きな相違点になっている。すなわち、硬岩中の地下空間利用は古い歴史を持っていて、建設システムとしてはほとんど完成域に達して、今後は空洞の大規模化のための岩盤管理技術の高度化や掘削能率の向上などの要素技術の高度化を進めればよい状態にあると思われる。それに対し、軟岩中の都市域大深度地下空間利用は、新しい試みであるので、建設システム全体を作り上げる必要がある(地下空間利用に関するテクノロジー・アセスメント委員会編, 1988)。欧米の都市は、硬岩上に立地している場合が多く(例えば、ニューヨーク)、日本の都市のように堆積軟岩上に立地している都市は開発途上国に多い。このため、軟岩中の地下空間利用技術の開発は、否応なく、日本が先頭に立って進めなければならないになっている。

このため、通産省工業技術院でも、1989年度から、大型工業技術開発「大深度地下空間開発技術」を開始し、都市域軟岩中の大深度地下空間利用のシステム作りを進めている。この計画は、調査・建設・保全・利用にわたる総合的な地下空間利用システムの開発をねらっており、地質調査所・資源環境技術総合研究所・機械技術研究所の他に多数の民間企業が参加し、開発期間も7年間と長期にわたっている。

#### 4. ま と め

ますます大規模化しつつある硬岩中の地下空洞建設のための岩盤管理技術の高度化を目標とした官民連帯共同研究「地下空間におけるAE・地圧・岩盤特性の精密評価技術に関する研究」の経緯について述べると共に、都市域軟岩中の大深度地下空間利用の総合システムの開発を目標とした「大深度地下空間開発技術との違いについて述べた。「大深度地下空間開発技術」は、まだ、研究の初期の段階であるが、その計画の概要は本号の花村氏による記事をご覧ください。限りある国土を有効に使うためには、地下空間利用の進展は必然的であるが、そのためには地下利用技術の高度化を欠かすことはできない。地下空間利用の歴史は古いが、複雑かつ巨大な地球を相手にしているだけに、研究・開発を進めなければならない課題も多い。本研究は、その中では極くささやかな試みであったが、地下空間利用の進展の機運のさきがけの一つとなったことは幸いであった。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり多大なご協力をいただいた通産省資源エネルギー庁石油部備蓄課・石油公団・日本地下石油備蓄株式会社に感謝いたします。

#### 文 献

- 稲田善紀(1989): 地下の空間利用. 森北出版, 168p.  
 小出 仁(1984): アンダーグラウンド—隠れたフロンティア. 地質ニュース, no. 363, 38-55.  
 小出 仁・星野一男・井波和夫・岩村茂男・三井 忍(1971): 第三系堆積岩の強度・延性度の年代・地域による差異について. 地質学雑誌, 77, 327-334.  
 地下空間利用技術に関するテクノロジー・アセスメント委員会編(1988): 地下空間利用技術に関するテクノロジー・アセスメント. 日本産業技術振興協会・エンジニアリング振興協会, 147p.  
 星野一男(1983): 菊間石油地下実証プラント その1. 地質ニュース, no. 350, 6-18.  
 星野一男(1984): 菊間石油地下実証プラント その2. 地質ニュース, no. 353, 48-62.  
 Hoshino, K., Koide, K., Inami, K., Iwamura, S. and Mitsui, S. (1972): Mechanical properties of Japanese Tertiary sedimentary rocks under confining pressures. 地質調査所報告, no. 244, 225p.  
 村上良丸(1975): トンネルの歴史, 土木工学社. 第1巻, 281p.  
 村上良丸(1976): トンネルの歴史, 土木工学社. 第2巻, 285p.  
 村上良丸(1979): トンネルの歴史, 土木工学社. 第3巻, 283p.
- \* 公害資源研究所は1991年10月に改称、資源環境技術総合研究所となったため、本文では新名称にて記載してあります。

---

KOIDE Hitoshi (1991): Rerview about "Development of rock characterization technique for underground development based on AE and in-situ stress monitorings" project.

---

<受付: 1991年8月1日>