Tunnelling and Underground Space Technology

Nos.2, March 2009

2009. 10. 27 海外文献ワーキング

1) Internal separation distances for underground explosives strage in hard rock (pp.119~125)

硬岩地山における爆薬貯蔵のための空洞間距離

Authors: Y. Zhou, A. Jenssen

爆薬庫を地下に構築することは、安全性や防護などのメリットがあるが、現在地下爆薬庫で問題となっているのは、地下施設間の安全離隔の設計法である。

通常、離隔の設計は、Net explosives quantity(NEQ)を用いて行われる。

例えば、近接爆破に対して剥落等の岩盤落下による爆破の発生・進展を防ぐためには

$Dcp = 1.0\ Q^{1/3}$

で求まる離隔を確保しなければならない。

ここで DcP は、空洞の離れ(m)

Q は、爆薬量(explosive quantity) (kg)

ただしこのような手法で求まる空洞間距離は、チャンバー内の貯蔵量や岩種が考慮されていないなど不備な面がある。

本論文では、大規模実験を Alvdalen(Sweden)の Klotz トンネルで行い、上記の安全離隔を検証した結果について述べる。地質は斑岩などであり、一軸圧縮強度は 200―250Mpa を超える。

チャンバー等のトンネル配置および計測位置図を Fig.2 に示す。

チャンバートンネルの大きさは幅 8.8m×高さ 4.2m、スロットトンネルは 2m×4.2m、土被りは約 100m である。

実験および解析の結果、安全離隔を決めるためのパラメータとして、爆薬量や岩種の他にトンネル内の爆薬の装填密度(loading density)が重要であることが確認された。

装填密度が 50kg/m³ までであれば、心配されるような現象は起こらず、10kg/m³ 以内では、空洞の離れを 1.0 $Q^{1/3}$ から、0.6 $Q^{1/3}$ まで減らせることがわかった。

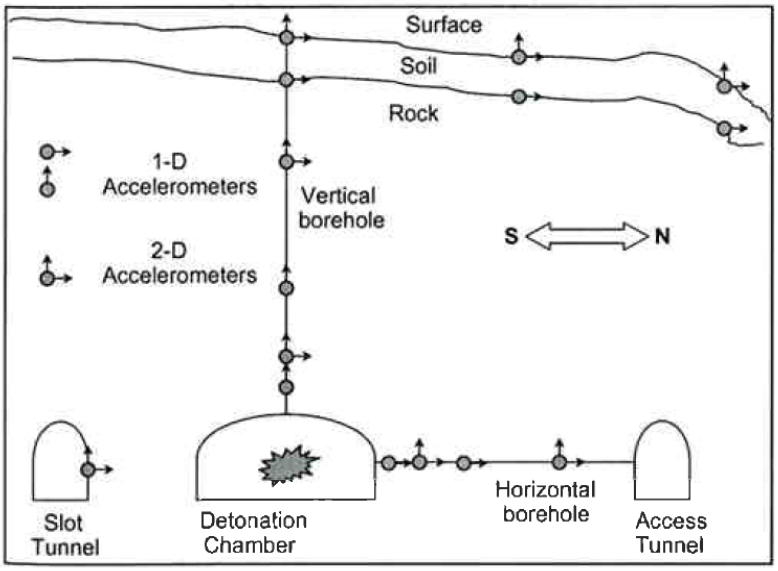

Fig. 2. Section view of ground shock instrumentation.

2) Effects of rock pillar width on the excavation behavior of parallel tunnels (pp.148~154)

並列トンネル掘削時の挙動に及ぼすセンターピラー幅の影響

Author: S.L. Chen, S.C. Lee, M.W. Gui

本論文は、並列トンネル構築時のセンターピラー部の幅がトンネル掘削時の挙動に及ぼす影響について台湾で計画されている XueShan トンネルという 3 連並列トンネルをモデルとして数値解析を行ったものである。

Fig.2 に解析断面を示す。トンネルは２つのメイントンネル(110m²) と１つのパイロットトンネル(18m²) からなり、メイントンネルは NATM、パイロットトンネルは TBM により施工されている。土被りは約 300m。

本解析ではメインとパイロットの中心間距離を 12m～85m の間で変化させて、それがパイロットトンネルの最大変位に及ぼす影響を見る。

Fig.3 に各施工段階ごとのパイロットトンネルの変位を図化したものを示す。上段が、パイロットトンネルが馬蹄形、下段が円形の場合である。

解析の結果、馬蹄形トンネルでは、中心間距離が 2B（B は隣接トンネル径）を超えると影響はほとんどなく、また馬蹄形トンネルよりも円形トンネルの方が変位抑制効果は大きい。

また本論文では日本で施工実績の多いセンターピラー先行構築方式の双設トンネルについても解析が行われており、坑口付近で土被りが薄く地質条件が悪い個所においては、センターピラー先行方式のトンネル構造が有利との結果が示されている。

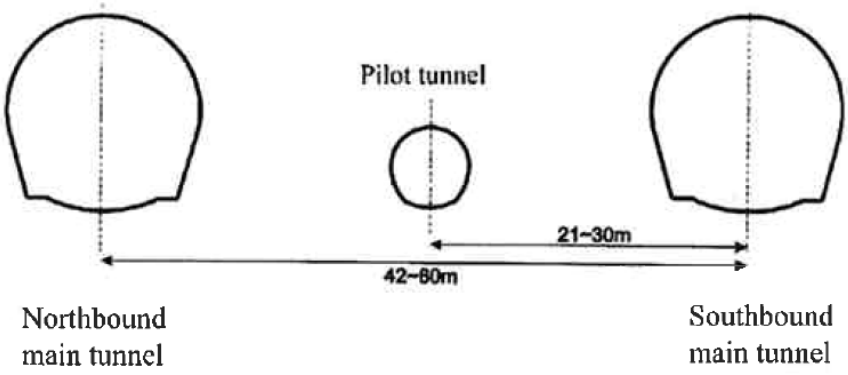

Fig. 2. Cross-sectional layout of Xueshan Tunnel.

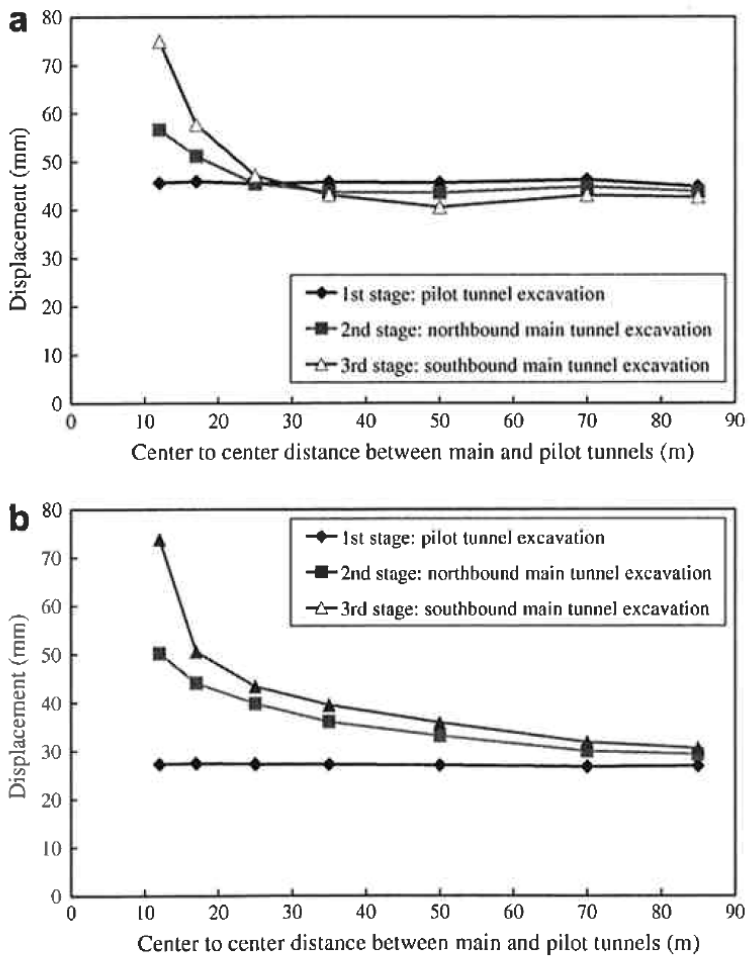

Fig. 3. Displacement profile of pilot tunnel vs rock pillar width for: (a) horse-shoe shape and (b) circular shape cross-sections tunnel.

3) Engineering geological characteristics, failure modes and protective measures of Longyou rock caverns of 2000 years old (pp.190~207)

掘削後 2000 年経過した Longyou 岩盤空洞の地質特性、破壊モードおよび安定対策

Authors: L.H. Li, Z.Q. Yue, L.Q. Zhang

中国の Longyou (Fig.1)において 1992 年 4 人の農場主によって 5 つの巨大な人力掘りの空洞が発掘された。発見当時空洞はプール状態となっており、水を抜いたことにより空洞が出現した。さらにその後 19 個、合計 24 の空洞が発見された。Fig.2 に 5 つの空洞の写真を示す。

この空洞は以下の特徴を持っている。

1) 2000 年以上経過

2) 人力構築（世界中に存在する巨大地下空洞の多くは地下水の浸食により形成されている）

3) 大スパン構造

4) 地表に近い

5) 軟岩地山である

本論文では、この空洞の地質条件、水理条件、湧水条件、亀裂状態、過去に受けた地震履歴、そして既に崩壊してしまった空洞などに関する調査を実施したうえで、本空洞が如何に安定を保っているか、また今後安定を保つための対策について言及している。

空洞周辺の地質の特徴としては、スメクタイトを主体とする固結度の高い泥質岩となっており、乾湿の繰返しを受けなければ経年劣化を受けにくい。また地下水は弱酸性である。亀裂状態については 1992 年に発掘された後、増加・進展している。これは排水したことにより、以前よりも乾湿の影響を受けるようになったためと考えられる。

Fig. 1. Location map of the Longyou caverns.

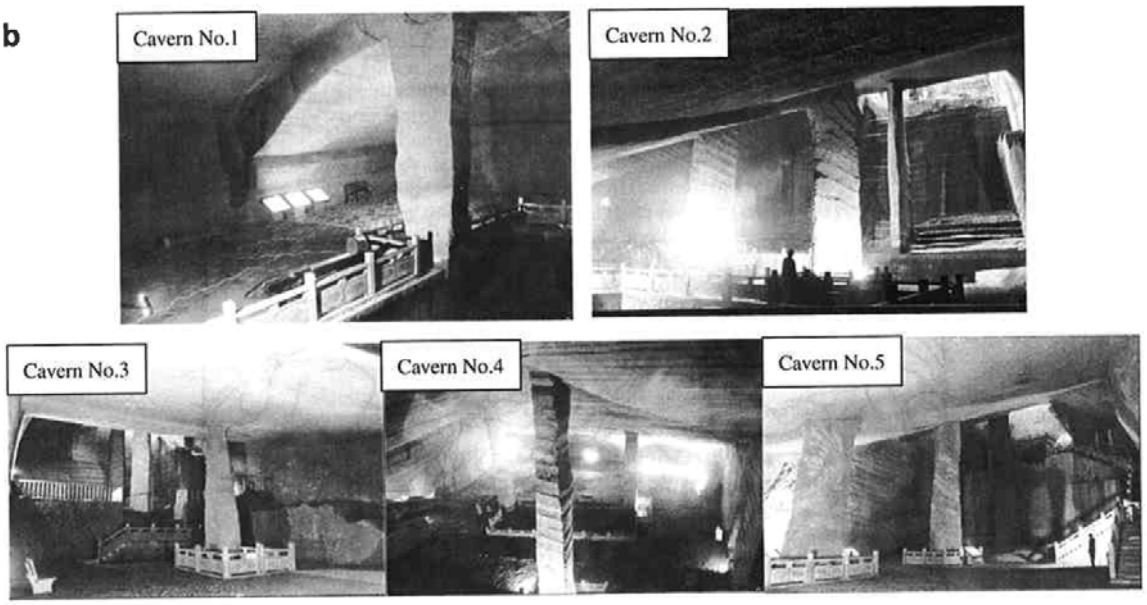

Fig. 3. The location plan and the inner view of the five caverns that were opened in 1992. (a) The location plan; (b) the inner view of the five caverns.