

## 地下の開発・利用と環境システム

九州大学工学部 ○学生員 堂蔵 俊多  
 正員 江崎 哲郎  
 正員 木村 強  
 九州共立大学工学部 正員 龜田 伸裕

### 1.まえがき

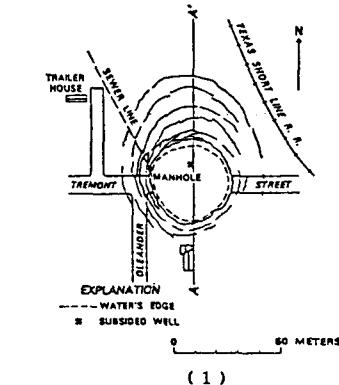
大都市における人口集中、地価の高騰などに関する対策として、「ジオフロント」と称する大深度地下開発が一躍脚光を浴びている。そして、新たに開発すべき技術として、地下探査技術、掘削技術および防災システム等が検討され始めた。これらの個々の技術開発は、何れも大深度地下開発を成功させる上で重要なものである。しかしながら、将来へ向けて多様な利便性を持ち、かつ環境に阻害のない地下利用を実現させるためには、建設過程における問題点の他にも多くの考慮すべき点がある。筆者らは地盤環境システムという立場から地下開発を検討していくことにする。

例えば、地下空間は一度建設されると元に戻しにくい不可逆性の強い空間であり、長期的展望をふまえた利用計画が必要である。将来の交通手段、運送方法の変化やエネルギー情勢の変化、技術の進展等によって近い将来これらの空間が廃止されたり、転換改造されることはあるが、もし、将来放棄されたとすれば、その空間が大きな地下帯水層となり、周辺構造物の機能、地下水系および将来の建設活動に著しい影響を及ぼすかも知れない。

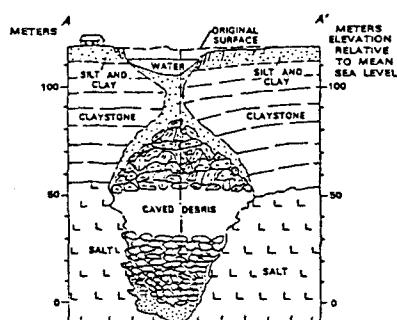
このような問題点の対策を考えるにあたり、設計時の空洞の安定状態がどの程度持続するものなのか、もし風化に伴う崩壊が生じるならば、構造物の寿命と比較して無視しうるもののか否かを確かめる必要がある。わが国ではこれまで、土木構造物の寿命の設定に対してあまり具体的ではなかった。しかし今後の地下利用を考えると不可欠のものとなろう。地下空洞掘削後 無支保の状態で空洞を維持し得る時間を「自立時間 (stand-up time)」と呼ぶが、その研究は Lauffer によって始められ、最近の岩盤分類の発展に影響を与えていた。自立時間は空洞形成時の安定条件だけからは予測できないものであり、岩盤の特性、特に不連続性によってその値を大きく変えるものであることが知られている。地下空洞の長期的安定性の検討を進めていくには、まず過去に発生した現象等を解析することが大切であると思われるが、本稿では地下空洞崩壊現象のひとつである地表陥没現象を例に検討してみる。

### 2.地表陥没現象

地表から比較的浅所に位置する地下空間においては、長期間にわたっての風化作用による空洞天盤の強度劣化や上載荷重の増加、地下水位の移動、地震力等によって天盤が崩落する「浅所陥没 (sinkhole)」と呼ばれる地表陥没を生じることがある。この現象はある日突然に生じ、陥没も一瞬のうちに起こるので予測が難しく、死亡事故となった例もある。またその発生例も、石炭、鉱石などの採掘跡、石灰岩地帯のドリーネ、古い地下空洞等々において、国内のみならず国外でも数多く見られる。



(1)



(2)

Map of a sinkhole that developed in Grand Saline, Tex., on April 27, 1976, due to solution mining of a salt dome.

大深度地下利用で計画されている空間の大きさを考えると、地下50～100mの深度における地下空間に対しても当然こういった陥没現象は生じうる。これは、先頃発生した大谷石採掘跡の陥没や、アメリカにおける Solution Mining による大規模陥没現象などにおいても実証された。その一例を図1<sup>1)</sup>に示す。またこの陥没は、空洞形成以後数十年という長期間後にも発生するという特徴を持っており、空洞形成時の天盤安定だけからは予測することができない。

### 3. 浅所陥没発生状況

次に、ある産炭地域で発生した浅所陥没の発生記録によって具体的に発生状況をみてみる。ある炭鉱地域（面積約 300km<sup>2</sup>）で発生した浅所陥没の月別発生状況を図2（データ数 785 件）に示す。これから梅雨期、集中豪雨など降雨量の多い時期に全体の約 60%が発生していることが分かる。また降水量の多い年に多くの陥没発生が見られる傾向がある。このことは降雨による間隙水圧の上昇および一時的な天盤荷重の増加が陥没発生の重要な影響要素であることを裏付けている。次に、地下空洞形成時からどの程度の時間を経過して陥没が発生したのかを推定してみる。

陥没が発生した地点の正確な空洞形成時期を断定することが困難なため、ここでは炭鉱の閉山年と閉山年を用いて（A）空洞形成時を閉山年とする場合（B）空洞形成時を開山年とする場合（C）空洞形成時を開山年と閉山年の中間とする場合の3通りについて集計を行った。陥没発生率と時間との関係を図3に示す。（D）はアメリカにおける同様の統計値<sup>2)</sup>である。陥没発生までの経過時間はアメリカのそれよりも短い傾向があるようだが、これについては今後の発生推移を含めて考えていくべきであろう。また実際にには、地下採掘が比較的初期の段階で多く行われた事実があり、このような場所で陥没が多発していることからも、（B）、（C）の中間程度が妥当な値ではないかと思われる。そのように考えると、地下採掘から陥没発生までの期間は約 30～40 年、事実上の終息は 70～100 年となる。

### 4.まとめ

本稿では浅所陥没を例にとって、地下空洞形成後数十年を経過した後に崩壊が発生する可能性のあることを示した。このことは、地下構造物に求められる長期的安定性を考慮する上で、決して無視しうる値ではない。この問題を解決するためには、地盤工学の立場から新たな対策を講じていく必要がある。また、こういった点も含めた上で、現在および将来を見据えた計画、維持管理、更にはそれと関わりあう社会との連携を含めた新しい技術システムの構築が、大深度地下プロジェクトを成功させるための課題である。

#### 〈参考文献〉

- Dunrud, C.R. and Nevins, B.B.:Miscellaneous investigations series MAP I-1298, the U.S.Geo-logical Survey(1981), 2)Gray, R.E. and Bruhn, R.W.:Man-Induced Land Subsidence, 123-150, GSA, Boulder (1984)

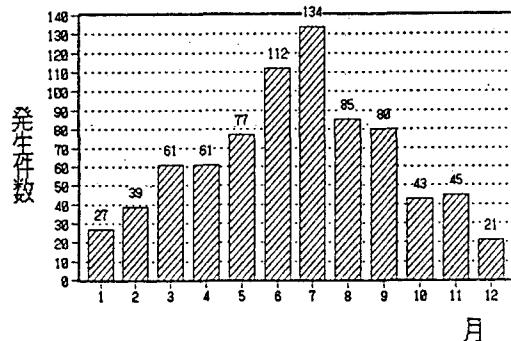


図 2 浅所陥没 月別発生件数  
(総数 785 件)

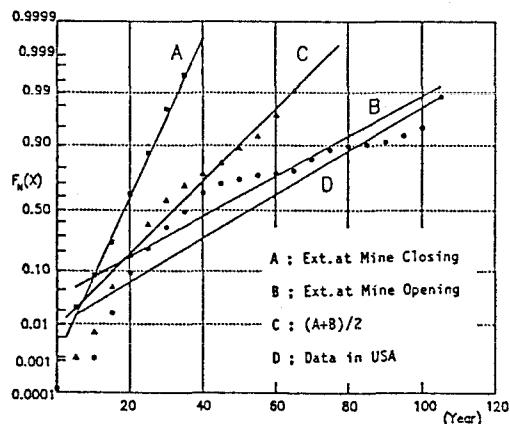


図 3 陥没発生率と経過時間