

地下空間—21世紀に向けて—

8. 地下空間の地盤・地下水環境

佐藤 邦明 (さとう くにあき)
 埼玉大学助教授 工学部地盤水理実験施設

陶野 郁雄 (とうの いくお)
 国立環境研究所 地下環境研究室 室長

地下空間の性格上それを支える地盤と地下水にかかわる環境問題は避けて通れない。これは地下空間の利用形態，社会条件，地形・地質，水文条件などによって問題の性格が違ってくるため画一的に論じ得ないが，いくつかの共通した性質を重点的にかつ選択的に把握することはできる。ここでは主要な地下空間利用において根幹をなすと思われる地盤・地下水環境問題を考えてみる。その内容は，我が国の都市における土質地盤のトンネルのような線状地下空間，立坑のような鉛直空間および岩盤地山の地下空洞を対象にした岩盤・地下水環境について述べてある。環境の項目は地盤沈下・変状と地下水の変化が中心であり，工事中における酸欠現象や水質障害，更に今後の予測される環境問題についても検討を加えている。

8.1 地下空間の利用形態と環境因子

8.1.1 地下空間と地盤・地下水のかかわり

地下空間の利用の仕方と地盤・地下水環境とを関連づけて考えようとする時，それが都市にあるか都市外にあるか，また地山が土質地盤であるか岩盤であるか，更に地下水位が高いか低いかは最も基本的な条件である¹⁾。つまり，環境への影響が現れる程度と応答は大きくこれらに依存する。ついで地盤が堅いか軟らかいか，透水性が大きい小さいか，また技術的にどういった空間形状となるか，またどういった方法で施工するかといった事がこれにつぐ。

地下空間と地盤・地下水の関係を考える上でいくつか留意すべき点がある。一つは，建設期間に起こりやすい工事上の環境影響と建設後の長期的な操業中の影響である。もう一つは地下水技術の上から地下水制御・利用の側面と排除のそれとの両面があること，また場合によって地下空間利用による水質が量の問題より重要となることがある。

表—8.1 地下空間にかかわる環境因子²⁾

環境影響 影響期間	内 容	
	短 期 的 (工事中)	地下水(局所的水位の異常低下，遮水，湧水等) 地盤沈下(陥没，すべり，圧密) 工事排水処理に伴う水質インパクト 振動，酸欠 騒音
長 期 的 (完成後)	地下水環境の変化(湧水・濁水，水位低下，湿地化，植生への影響，井戸・湖沼・田畑の減水，枯渇，流況阻害等) 地盤変動(地盤沈下，耐震性の劣化) 地質環境の動的特性変化 水質変化	

8.1.2 地下空間にかかわる環境因子^{2),3)}

地下空間のみならず地下掘削に伴う環境影響は立地条件や対象地山によって現れ方が違うが，考えられる因子は技術的側面からまとめると，表—8.1のようになろう。これらは短期的(工事中)な地下水流の変化を通じて現れやすいものと地下空間が完成後操業中に徐々にかつ長期的に表面化してくるものに区別される。前者の中には工事そのものによる水域汚染の恐れ，また騒音，振動といったものも環境に対する配慮事項となる。工事中における地盤変状や地盤沈下は地下掘削に伴う地盤の支持力，強度・安定性の低下，土留めの不十分などによる陥没とかすべりを除けば，ほとんど地下水が関与して起こるから地下水の問題である。

地下空間にかかわる地下水問題として従来から知られているものは水位低下工法による地下水障害であるが，帯水層の規模に比べて地下空間が大型化・長大化すると，地下空間そのものへの漏水・湧水による水位低下および地下空間構造体による地下水流況の阻害が予測される(後述)。当然，それに伴う地盤変動が考えられる。しかし，問題のとらえ方と評価の段階で次の点は念頭におく必要がある。つまり，都市を支える地盤のスケールは人が構築する地

講座

下構造物に比べて十分大きく、例え都市トンネルのように長いものであっても断面は十分小さく、かつ地下水盆の広がりから見ればそれは非常に細い線のようなものである。したがって、巨視的に考えれば、拠点の地下空間は点、線状地下空間は細い線と見なし得よう。その観点から推して地下空間による広域地下水への影響は考えにくく、地下空間周辺のかなり局所的な地下水流況の変化や工事中の水位低下といったものが問題の中心になるものと思われる。

つぎに、地下空間開発による水質問題は工事中の地盤改良材によるもの、石油・液化ガスの岩盤タンク備蓄に伴う漏液・漏気の地下水質への影響、放射性廃棄物の地層処分に起因する放射性核種の移行等が考えられる。更に、地下空間の影響といえば、従来の環境問題に入るか否かは別として、地下空間中の環境保全に関する事は新しい角度から研究の余地はあるように思う。

8.2 地下空間の対象となる地形・地質

日本列島は環太平洋を縁どる形で弧状列島であって地質は非常に複雑である。地質は大づかみに見る

と、

- ① 古い時代の地層群と広域変成岩
- ② 花崗岩と流紋岩
- ③ 新生代後期の地層群
- ④ 平野と台地の第四紀層
- ⑤ 火山

からなる⁴⁾。

日本の地質の特色をつかもうとする時、ヨーロッパや北米大陸の地質と比べて見ると、よく理解できる。まず、日本列島が変動帯（島弧地域）にあることであり、地質学的に新しい年代にある。一方、ヨーロッパや北米大陸は古い地質年代にあり、安定している。もう一つは日本列島が多雨地域にあることである。地質変動が激しいため地形・地質がブロック化しやすくかつ複雑になり、岩盤に割れ目が発生しやすい。また、多雨であることと第四紀の海水準変動が重なって侵食、風化、堆積が進んできた。したがって、平野・沖積地盤が厚く、地形的にも微地形が作られやすくなる。地質年代が新しいことから地層は軟らかい。上述の事が日本の地質を支える根底にある⁵⁾。

最近の大深度地下開発への関心は、主に首都圏を対象としている。そこで、首都圏の大深度地下開発の対象となる地層について考えてみる。

関東平野は、表層地形が緩やかで急峻な所がない。しかしながら、平野を構成する堆積層の層相は意外に連続性に乏しく、その地質構造は地形が緩やかなわりには複雑である。平野を構成する地盤は全般的に軟らかく、主として砂質堆積物からなり、透水性がよい。しかも、地下水のかん養が多く、良質な地下水が豊富にある。

今日における深い地下開発の対象となる地下50～100mの地層は、主として下総層群（相模層群、東京層・江戸川層）と上総層群であり、第四紀更新世に堆積したものである。これらの地層は工学的には、『土質地盤』であり、『岩盤』ではない。

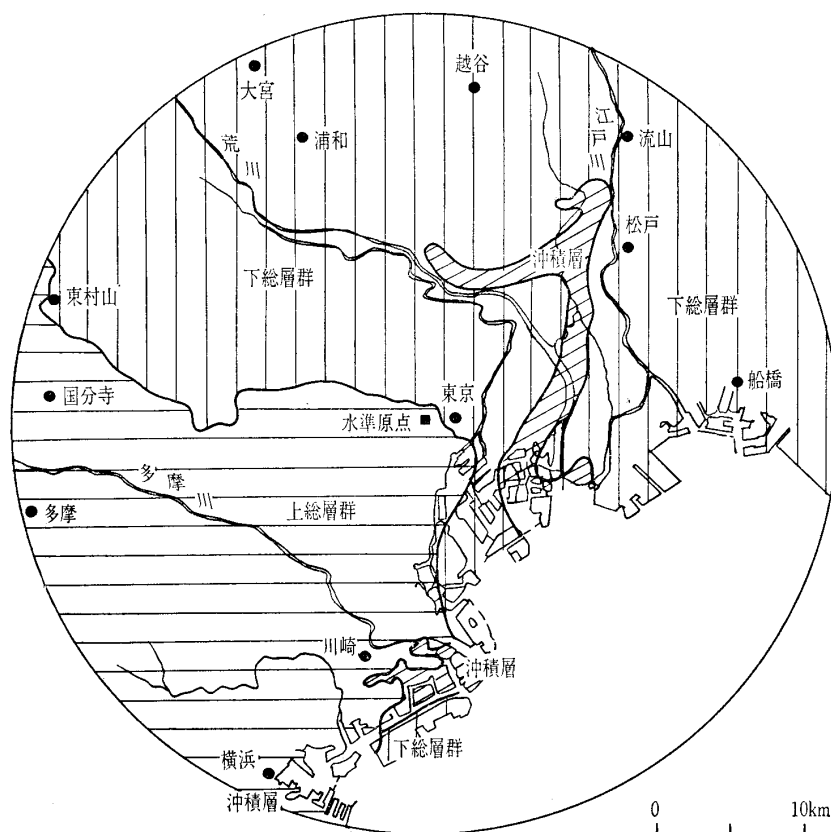


図-8.1 首都圏における標高-50m面の地質水平断面図⁶⁾

岩盤と土質地盤とでは、粒子自体が互いに結合しているか否かの違いがあり、応力-変形特性などの物性にはかなりの違いがみられる。また、土質地盤はその間隙（地下水）が連続しているが、岩盤はその間隙（割れ目水）が必ずしも連続していないという違いもある。

大深度地下開発の対象となる地層を把握するため、図-8.1に標高-50m面の地質水平断面図を示した⁶⁾。沖積層（有楽町層と七号地層）は東京の夢の島から荒川流域に沿って北上し、金町付近で分かれ、埼玉県川口市と三郷市付近まで分布する。さらに、神奈川県川崎市の浮島から扇町にかけてと横浜港付近に分布している。また、下総層群（東京層と江戸川層）と上総層群の境界は、東村山から小金井、高井戸、晴海とほぼ東へ延び、晴海から南下し、羽田に至っている。この境界の南西側が上総層群の分布する地域となる。いずれにせよ、首都圏におけるこのような深さは第三紀およびそれよりも古い時代の地層は

なく、岩盤はほとんど存在しない。このように、首都圏で大深度地下空間を利用しようとしている地盤は、ヨーロッパなどで地下利用しているような中生代や古生代にできた硬い岩盤ではなく、すべて第四紀という人類誕生以降にできた土質地盤からなっている。

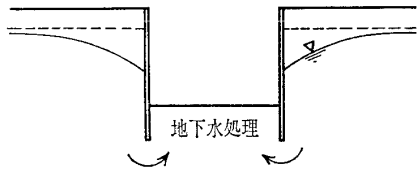
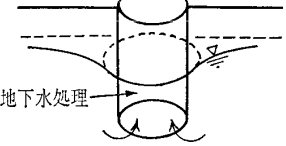
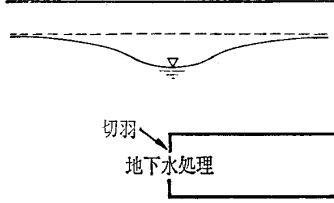

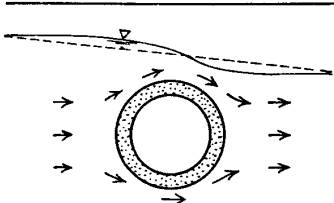
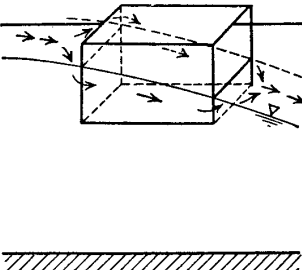
8.3 地下空間の地盤・地下水への影響と対策

8.3.1 基本的な空間形態における地下水と地盤の応答

(a) 地下水の挙動

地下空間と地下水の関係は図-8.2のように概念的に描くことができる。一つは図中、(a), (b), (c)図のように地下空間の建設・施工中におけるものであり、これは地盤・地下水に対して短期間にかつ局所的に、しかも急激な影響を与えやすい。ほかは(d), (e), (f)図のように地下空間の建設完成

図-8.2 地下掘削および地下空間と地下水のかかわり

地下掘削と地下空間	影響範囲	予測・評価技術	今後の技術開発
 <p>(a) 開削</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・工事中の地下水への影響は短期であり、完成後は長期に及ぶ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水理・浸透流および地盤解析による予測。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下空間が大深度化した際における地盤・地下水へ影響を与えない工法・技術の開発。
 <p>(b) 立坑</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削プロセスと地下水変化の予測と工法改善・開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・許容・限界水位低下と沈下量の範囲にとどめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下掘削場・空間への湧水・漏水防止技術の開発。
 <p>(c) トンネル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削プロセスと地下水変化の予測と工法改善・開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削プロセスと地下水変化の予測と工法改善・開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下空間による地下水流況阻害や地下水障害の防止。
 <p>(d) 湧水</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・線状の場合は線の両側に数百m程度の範囲。 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水量の予測および実測値の評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下空間内の水管理手法の確立。
 <p>(e) 流況阻害</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地形・地質と空間の規模・深さによって地下水への影響が異なる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既往の現地実測例が少ないため二次元、三次元地下水解析の信頼性を高める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水調査・予測と評価法の確立。
 <p>(f) 三次元流況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・三次元地下水シミュレーション手法の適用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・三次元地下水シミュレーション手法の適用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・地下水のモニター技術の改善。

講 座

後において、ゆっくりと長期にわたって現れる影響であり、漏水や地下水の流況阻害のようなものである。

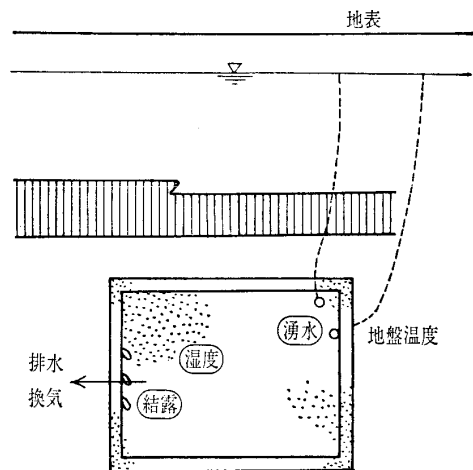
掘削工事中の短期的な地下水への影響の中で最も表面化しやすいものは、開削と立坑工事による場合であろう。開削工事は、地下街、ビルの地下、地下鉄の駅部といった拠点の地下空間の建設の際に、また、立坑工事は拠点の地下空間の建設に加えてシールドトンネルの発進基地建設の際に行われるものである。両者ともに地下水に影響を与えない工法をとるのが基本となるが、施工方法、地質条件、施工深度等によっては、工事の過程で周囲の地下水を低下させざるを得ない場合がある。しばしば開削場内および周辺にウェルポイントを配置して周辺の地下水位を強制低下させる方法がとられる。

次に、地下空間完成後における長期的な地下水への影響は、トンネル部などの線状地下空間および駅部などの拠点的空間による遮水影響、地下空間内の漏水による周辺地下水位の低下、シールドトンネルのような線状地下空間に沿う地下水の流れによる地下水位の低下などが考えられる。遮水による地下水変化は、地下空間の利用形態、地質条件、地下空間と地層の規模や位置関係等によるが、実用上は巨視的に構造物を遮水壁におきかえ、条件を単純化してもおおその水理的影響を知ることができる。対象となる帯水層が不圧か被圧地下水によって分け、また遮水の形態を全断面遮水か部分遮水に分けて遮水影響を算定することができる。

トンネル部への漏水による地下水への影響は直上部の水位低下となる。しかし、都市部のトンネル施工には、密閉型シールドが主体になると考えられ、シールド材の改良・開発により、トンネル内への漏水が極力おさえられればこの影響は比較的軽微となろう。また、シールドトンネルのセグメントの外周は注入材で充てんするのが常識となっているが、周囲の地層よりも透水性のよいゾーンが形成されれば、トンネル直上部は透水性がよくなり、周囲よりも地下水位が低下する場合も生じ得よう。

地下空間内の水環境については次のようである。

地下街、駐車場、工場、交通トンネルといったものは常時、あるいは一時的にせよ必ず人間が活動する空間である。そのような空間においては適当な空



図—8.3 地下空間内の水

調条件になければならない。図—8.3のように閉空間における水環境の3要素は“湧水”“湿度”“結露”であり、これらは気圧、温度および換気条件に支配される。地下空間内の水、熱および換気による水と熱の収支は、快適な地下空間環境を保つためにはこれらの収支が適切に管理されねばなるまい。地下空間が深くなると、空間内の環境保全が空間内の衛生確保にもつながる⁷⁾。

これまでどちらかといえば、土質地盤を意識して地下空間と地下水について考えたが、岩盤に作られる空間には水封方式の石油備蓄空洞のように地下水が機能的に必要な不可欠な場合と、地下発電所空洞のように地下水が歓迎されないものがある。また、放射性廃棄物の陸地中処分空洞のように地下水が放射性核種の移行媒体となる場合がある。我が国においてはいずれの空洞も都市の外に作られる。ここで、これら地下空洞と地下水のかかわりについて要約する。

まず、地下岩盤空洞の地下水について考える⁸⁾。

現状では地下岩盤発電所にしても燃料貯蔵地下空洞にしても陸上地山に作られている。これら土木構造物の建設・施工に際し、水理・水文的な問題として、次の二つに分けて考えることができる。

一つは施工・工事自体にかかわってある期間に生じる空洞漏水や高水圧のような、比較的局所的な技術的色彩の強い問題であり、ほかは工事や建設に伴うかなり広域的な地下水環境の変化である。

前者については、工事中に不測の多量湧水があったり、水圧による空洞の異常変形、水圧あるいは緩みが生じると現場では施工上支障がある。これらは

特に空洞周辺の断層・裂か水のような非常に局所的な帯水に起因することが多く、直接施工技術の問題に結びつき、掘削工法自体の工夫やグラウト、水抜きなどの補助工法も併用して対処することになる。したがって、こういった場合、ボーリング・試掘などによる現地調査と同時に空洞を含む鉛直断面内二次元（あるいは三次元）地下水流解析を試み、事前に空洞周辺の地下水の動きを予測しておく必要がある。一方、後者の問題についてであるが、周知のように巨視的に地下空洞はトンネルのように線状構造物ではなく、むしろ拠点的なものである。岩盤空洞は地表下相当深くに設けられ、施工・工事期間も数年に及び、また空洞自体に流入する湧水のほかに一種の地下水低下工法を併用して、地山地下水を抜き取ることもある。また、石油やLPGの水封式備蓄のための岩盤空洞の場合には水封水の安定した涵養・注水が求められ、地下水は不可欠となり、どちらかといえばそれを制御する場に対応する。したがって、地表水と岩盤内の地下水を不可分一体として捕え、水収支と空洞周辺の水理挙動の両面より検討しておくことが肝心である。

更に、放射性廃棄物地中処分と地下水については次のような背景に立つ⁹⁾。

周知のように原子力利用に伴って排出される放射性廃棄物処分は非常に重要な問題となってきた。この処分に当たって最も有望視されているものが地中処分であるが、欧米各国では今日この技術開発が大変活発に進められつつあり、我が国においても非常に関心が高まっている。廃棄物が放射性をもつため処分に当たっては特別の配慮を要すると共に高い安全性技術が要求され、放射性核種の移行問題が地下水問題と密接にかかわってくることはいうまでもなく、新しい地下水技術が求められている。

放射性廃棄物の陸地・地層処分概念は、低レベル放射性廃棄物の浅地層処分と高レベル放射性廃棄物の深地層処分に大別される。地下水は、空洞掘削・処分施設建設当初は湧水・水位低下といった従来の地下水障害とかかわり、その後人工バリアの腐食を経て天然バリア材での核種移行に移る。この後者の過程で生活環境への核種進入防止に努める。処分場がその役割を終えるまで終始地下水がかかわりを持つことになる。

(b) 地下水と地盤沈下等の関係

地盤の沈下や変状といった現象のすべてが地下水変化によって発生するとはいえないが、少なくとも地下帯水層の水頭（水位）や水圧低下による圧密・収縮沈下は地下水が原因する。地盤沈下等も工事に伴って短期間（数か月程度以上）に急に発生原因が形成される場合とかなり長期（数年以上）に及んで進行がみられる場合がある。地盤の圧密沈下や収縮現象についてのメカニズムは圧密理論とか弾性・塑性論によって明らかにされており、ある程度事前に調査・解析は可能である。

実際の地盤沈下等の障害・被害は大別すると、構造物と建築物の損傷・破壊、機能劣化、および用地利用性の低下のようなものに分けられる。これらの中で地盤沈下については水資源のための揚水による広域地盤沈下が古くからよく知られており、地下掘削工事に伴う地下水低下工法による地盤沈下についても過去にいくつかの事例が報告されている。

今日、広域地下水揚水に関する過去いくつかのデータによる地盤沈下量と水位低下量の相関が知られているが、これが地下空間の掘削等によってそのまま応用できるかどうかは別としても現象の発生には参考になる¹⁰⁾。

つぎに、地盤沈下による建築物への影響は不同沈下、相対沈下、変形角等が問題となり、建物の高さ、平面積、基礎の種類、骨組構造、材料が関係する。一方、地盤の地層、力学特性によっても許容沈下量が変わる。また、地盤沈下そのものの原因も地下水揚水によるもののみでなく、掘削時の矢板の変形、盤ぶくれ、噴砂といったものがある。更に、グラウト注入による注入圧力の伝達や残留地圧による地盤変状も知られている。掘削工事による環境に与える影響として酸欠空気が工事現場あるいは既設地下空間に噴出・流動して被害をもたらすことが知られている。

8.3.2 環境影響予測と評価・対策

環境調査の方向は、まず対象開発の環境へのインパクトとフィジビリティを知る事前調査、ついで具体的な実施に伴う詳細調査、更に完成後の影響を操業・営業に即してモニターしながら行われる事後調査といったものとなる。こういった環境調査は地下空間に限ったことではなく、ほとんどの開発行為

講 座

に適用される考え方であり、いうまでもなく対象と目的によって力点を置く項目や調査・評価内容に違いが現れるのは当然である。いま、地下空間における地盤・地下水の環境調査に焦点をあてて考えてみる。

事前調査は大きく分けると、自然環境（地形・地質、水文、地下水、および地盤特性）および利用環境（土地利用、地下水利用状況、構造物、および法的規制）が地下空間・開発の場をなすものであり、対象地下空間の目的、形状・規模、深度、施工法などと自然・利用環境との関係解明・影響予測が次になされる。ついで、環境への対策が作成される。事前調査はフィジビリティ・スタディーの中で行われている。

詳細調査は事前調査の段階から進んで地下空間の工事・施工におけるより具体的な調査と位置づけることができ、新たに調査範囲や調査項目を拡大したり、施工中における現地計測はもとより工事の進捗段階に応じて臨機応変に解析を進めることもある。したがって、環境対策も含めて工事上の対応も具体的に施工の段階でなされる。更に、工事の進行中はもとより、地下構造物・空間が完成した後、地盤・地下水環境による支障があるかどうか確認・モニターする調査が行われる手順となる。

つぎに予測・評価と対策について考える。

環境調査は対策や予測がつけられることが前提に

行われるわけであり、環境予測が最も中心的作業となり、それに基づいて対策を考えることになる。対象となる地下開発による地盤・地下水の環境予測は

- ① 地下掘削工事と空間における環境予測
- ② 工事中および完成後の地盤・地下水挙動予測
- ③ 地盤・地下水環境による副次的影響予測

に集約される。

地下水の環境予測は、蓄積された経済的知識・実測結果によって類推・延長して予測する手法と数学モデルによって予測する手法がある。この考え方は地盤についても同じである。今日、ほとんどの場合、地下水理解析を数値シミュレーションによって行い、同時に地盤沈下も計算できる。予測に当たって実際の現地実測データと水理解析とを整合させつつ検討するのが望ましい。いうまでもないが、予測・評価と対策は事前に切り離して考えるのではなく、対策方法と共に検討する。したがって、事前予測・評価・対策は工事中（実施中）常に可否が判断できる。

環境影響の対策は、事前対策（未然防止）が最優先されるべきであるが、不測の事態や障害に対しても適切な対応がなされねばならない。しかし、基本的には設計・計画段階において、地下空間の構造、深さ、施工法といった事と環境を考慮して対応することが大切となる（表-8.2参照）。

更に、工事中においては排水・揚水はできるだけ避け、漏水・湧水量を最小限にとどめ、土留め工事

表-8.2 主な地下掘削工法と適用

工 法	地盤安定・地下水への対応	適 用 性	
開削・立坑等	<ul style="list-style-type: none"> ・親杭横矢板工法 ・鋼矢板土留め工法 ・連続地中壁工法 ・鋼管矢板工法 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水低下工法や掘削地盤改良の併用、壁の根入れの適正化。 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来の実績は多く、掘削深度は20～30m程度より浅いものがほとんどである。 ・地上に用地が確保できる。 ・大深度化への技術が進む。
	<ul style="list-style-type: none"> ・（ニューマチック）ケーソン 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧気により掘削底盤の地下水圧と湧水に対処する。 ・水深40m以上の場合水圧低下工法併用。 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小規模。 ・周辺に構造部が少ない。
トンネル	<ul style="list-style-type: none"> ・開放型シールド（非密閉） 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤がよいと、切羽部で地下水処理。 ・地下水があり、地盤が悪いとき、圧気、注入工法、凍結工法で止水・地盤安定を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・礫質地盤で湧水がある場合は不適。 ・地盤条件が悪く、構造物があると補助工法に費用がかかる。 ・地下水・地盤への影響を避け得る。
	<ul style="list-style-type: none"> ・密閉型シールド 	<ul style="list-style-type: none"> ・泥水圧等により切羽の安定性と地下水圧に対応。 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・NATM（New Austrian Tunneling Method） 	<ul style="list-style-type: none"> ・切羽を含む掘削部で地下水処理のため必要に応じ薬注、凍結、水抜きを併用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水が少なく、地盤がよいと、断面形状の変化にも対応できる。

や連続地中壁の変形を防止し、補助工法としてのアンダーピニング、圧気、グラウト注入等を適切に実施することが求められる。

8.4 む す び

地下空間における地下水環境への影響とその保全についてある程度考えられそうなものを土質工学的な面から述べた。まず、都市における地下空間利用に当たっては施工・建設中の地下水低下・地盤沈下の防止はもとより地下空間の完成後においても環境保全に留意する必要がある。そのためには、地下掘削における排水を少なくし、構造物への漏水防止技術を確立し、地下帯水層の地下空間による流動阻害などの障害のないよう慎重な配慮がいる。

つぎに、同じ地下空間でも岩盤地下空洞による地下水問題の中には、石油・液化ガスの岩盤タンク備蓄のように地下水の制御に力点がおかれるものもある。更に放射性廃棄物の地中処分のような地下水問題はかなり広域的にかつ長期に及ぶ地下水質挙動が予測されねばなくなる。

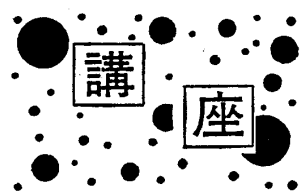
このように、地下空間の利用形態・目的はいうに及ばず、地下空間の建設場所、周辺環境によっても地盤・地下水の環境評価に対する考え方や対策が違ってくことになる。しかし、今日のように我が国の社会が豊かさを求め、情報化・ソフト化の方向を歩むような時代にあっては、地下空間利用といえども成熟した相応の技術的背景に支えられた視点が求められる。中でも環境への配慮は最優先されるべきものとなっている。

一方、地下空間にかかわる環境評価・対策につい

ては事前の調査にもとづき設計・施工がなされ、施工中に環境を計測しつつ工事を進め、必要な対策と工法の選択においても活用する。さらに、地下工事が終了した後も環境影響についてモニターすることが望まれよう。最近、地下工事も含めて地下空間にかかわる環境アセスメント手法を確立しようという方向で検討がなされつつある。将来に期待がもてるものと評価に値する。いずれにしても、今後、地下水や地盤にかかわる広範な新しい技術が要求されるようになるであろうことは誰の目にも明らかである。

参 考 文 献

- 1) 土木学会編：ニューフロンティア地下空間，技報堂，pp. 245～254，1990. 10
- 2) 佐藤邦明・西 淳二：都市地下空間開発における地下水環境保全・管理手法の研究，土木学会，水講演文集，pp. 229～234，1989.
- 3) 佐藤邦明・藤森英水：地下空間における地盤・地下水環境，土木学会，地下空間利用シンポジウム1989，pp. 131～136，1989.
- 4) 勘米良亀齡・橋本光男・松田時彦：地球科学15，日本の地質，岩波書店，pp. 1～4，1980.
- 5) 陶野郁雄：家を建てるための地質学，地学の散歩道，せきれい会，pp. 53～76，1971.
- 6) 陶野郁雄・遠藤邦彦：第4紀学的立場から見た大深度地下開発と地盤環境問題，土木学会，地下空間利用シンポジウム1989，pp. 119～124，1989.
- 7) 地下空間利用研究グループ：地下都市—ジオフロントへの挑戦—，清文社，pp. 124～125，1988.
- 8) 佐藤邦明：地下空洞の水理解析へのアプローチ，土と基礎，Vol. 29，No. 12，pp. 45～50，1981.
- 9) 佐藤邦明・松鶴秀夫・伊藤 洋：放射性廃棄物の地層処分に係わる地下水問題の論点，土木学会誌，pp. 41～44，1989. 3.
- 10) 田中修司・久保朝雄：大深度地下空間利用に伴う地盤環境影響，土木学会，地下空間利用シンポジウム1989，pp. 137～142，1989.



地下空間—21世紀に向けて—

講座を終わるに当たって

佐藤邦明 (さとう くにあき)

埼玉大学助教授 工学部地盤水理実験施設

ここ数年来、我が国では地下空間利用への関心が急激に高まっており、今日いろいろな構想やプロジェクトが語られ、具体化されつつあるものもいくつかある。このような背景にあって時宜を得て「地下

空間—21世紀へ向けて—」が講座として取りあげられた。幸いにも各分野における新進気鋭の専門の方々のご執筆によって予定どおり7か月で終了した。

周知のように地下空間の利用には永い歴史があっ