

## 地下空間利用の技術の現状と今後の展開

### THE STATE OF THE ART TECHNOLOGY AND FUTURE DEVELOPMENT FOR UTILIZATION OF UNDERGROUND-SPACE

本文は、当社における地下空間利用技術について、企画本部、技術開発本部、エンジニアリング本部、原子力本部、土木本部、技術研究所、串木野基地建設所の担当職員による座談会での話題をまとめたものである。当社の限られた実績の範囲にとどまっていることを、あらかじめご了承いただきたい。

(編者) 児玉 利昭 Toshiaki KODAMA  
正会員 清水建設(株)

A 当社は地下の空間利用ということでトンネルとか、上下水道のシールドトンネルとか、そういうようなところから地下利用技術との取り組みが始まったわけですが、先輩あるいは皆さんが当たってこられた業務を通じて、技術開発の中でどんな歴史があるか、簡単に話していただけませんでしょうか。トンネルということで長年担当しているBさんいかがですか。

#### トンネル

B 先輩の話を聞いていますと、鉄道トンネルでは当初は単線トンネルだったようです。昭和20年の後半ぐらいから30年代ぐらいまでです。それと水路トンネルですね。これもどちらかというと小さな断面というような感じだったように思われます。それが40年代になりますと複線の鉄道トンネル、それから道路トンネルも昭和40年の初めぐらいから増えてきてまして、それで一挙に新幹線の時代ですね。山陽新幹線、まず岡山まで、ついで岡山から博多まで。その辺から一挙に複線断面のトンネルが普通になってきました。

それから上越新幹線、東北新幹線、青函トンネルというあたりで鉄道トンネルの最盛期を迎え、それとともに

高速道路のトンネルも増えてきたというふうに感じます。また同じように建設省関係の道路トンネルもだいぶ増えてきました。

当社で特に変わった点といえば、鉱山開発工事で、たとえば宇部興産さんの雨乞鉱山開発とか、秩父セメントさんの叶山鉱山開発工事、これは大きなベンチカットで月25万m<sup>3</sup>ぐらいを処理する鉱山ですけれども、ベンチカットで掘削したものを300mぐらいの立坑で下りを落とし、その立坑のすぐ下の地下の大空洞に機械室、破碎設備を設けて、破碎したものをベルトコンベヤで運搬するという、地下空間利用の工場設備として非常にもしろいものです。

他社に先駆けて、そういうものを2つやっています。このあたりから徐々に、石油地下備蓄実証プラントの菊間プロジェクト等の今日の話題の地下空間利用へつながってまいります。また最近観光開発関係でも地下空

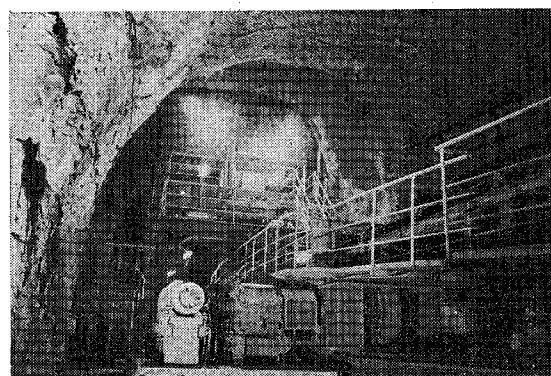


写真-1 秩父セメント(株)叶山鉱山  
石灰岩輸送ベルトコンベヤ

間の利用でトンネルの利用も出てきており、多様化の傾向を示しています。

**A** 長いトンネルは地盤の良いところを選んでいたものが、交通の最短距離を結ぶルートというふうに変わつて、非常に地盤の悪いところも掘らなければならないようになり、当社でも昭和40年代の中頃から技術開発を取り組んできたわけですが、その辺で苦労された技術開発はございませんか。NATMの勉強にドイツに若手技術者を派遣しましたね。その辺の苦労話は？

### NATM の導入

**C** ナトムは人を派遣しなければできなかつたの。  
**D** できなかつたことはないでしようが、行くことに意義があつたんでしょう（笑い）。

**C** 向こうから NATM を持ってきたということでお、みんなに認知してもらうためにそうしたの。それとも、あそこで得たものがこっちに移転できたわけ？

**D** 両方あるんじゃないでしょうか。  
**C** 具体的になにを持ってきたの。  
**D** ノウハウ、知識（笑い）。

**E** 今まで知らなかつたことを見るとか、体験するとかというのはものすごく生きてくるんですね。

**D** 知つてしまえばたいしたことではないということはあると思いますね。ところが知らないと、自分のテキストにないかとか、もっと応用できないかとか、そういうきっかけがなかなかつかみにくいわけですね。ところが先達者あるいは先行しているところの技術を見ると、ほとんどが要素的にはわれわれが保有している技術なんですよ。それをいかに結び付けて1つのコンセプトというかテクノロジーにもつくるかという、その辺が一番重要なと思うんですけど、その辺のきっかけをつかむのに、ヨーロッパの技術とかはアイディア的にオリジナリティがあるので、非常に重要な位置付けにあるんですね。

**C** あの場合はあなたが行かれたけど、これから先も技術移転みたいなものが考えられる場合どういう人が適任でしょうか？

**A** あまり研究熱心でも困るし、商売じみても困るし。問題提起をして、なおかつ解決策を模索できる人じゃないとね。

**D** 技術開発プロジェクトが成功するとか、向こうから持ってきた技術が日本に定着するかとか、開発が著しく進むかとか、ブレークスルーができるかどうかというのは、ひとえにそれに携わっている人の情熱と行動力によっていると思いますね。今までのいろんな事例を見ても、そういう機関車役を果たした人がいたかどうかというの、ものすごく大きな要素なわけですよ。そういう

人がいて、いろんな人が引っ張っていくし、それによって技術が膨らんで定着していく。

**E** NATMを取り入れた動機は？

**D** これからは地下空間だと考えていましたところ、私ども指示を受けて、地下空間の利用が今後展開していくだろうから当社として何をやればいいかというものを少し調査して答申書を出せという話がありました。私どもまたまそういう部署にいたので、何人かでチームを組んでまとめた中の1つに NATM というのがあったんです。

**C** ミューラー事務所と技術提携したのは何年でした。

**D** 55年です。

**B** その前に谷稻葉トンネルとか稻里トンネルで小規模ながら NATM の試験工事をしていました。

**D** そうそう。ですから実際的には52年の暮れぐらいいからわれわれは取り組んでいるわけです。

**C** それで始めは文献を集めて勉強したわけ？

**D** 試験工事の現場を設定して実際にやってだんだんと。

**A** 実際問題、提携するまでにはだいぶ伏線があると思うんですね。52~53年頃に試験工事を数々やってましたよね。それが基調になって提携をし、仕事を取り、大断面トンネルまでできたというわけです。

ちょっと急ぎますので先に進めさせてもらいます。そういうふうなことで大断面トンネルが掘れるようになった。このトンネル技術を交通手段だけではなしに、いろいろな利用を考えていくということで、そのころだと思ひますけれども、北欧のほうに見学に行って地下備蓄のほうへ发展させましたFさん、その辺からなにか。

### 石油地下備蓄

**F** 石油地下備蓄は話したら何時間でもしゃべれるテーマですが（笑い）。これは、一番肝心なときに一番向いた人がそれぞれそこにいたプロジェクトじゃなかったかと思うんです。

地下を何に利用できるか、そういうテーマを探しているうちに、地下に油を貯めるということを考えたわけです。そのときスウェーデンでやっているとか、そういうことは全然知らなかった。本読まないほうですから。

たまたまそのときにNさんという石油に詳しい人がいまして、この人が私の目の前にいたからそういう話をしたら、「おもしろい、Fさん、あなたの言う値段で空洞ができるならポンチ絵を書いてあげるよ」と、システムとしての絵を書いてくれました。これは大事なことなんで、システムでなくて空洞だけで売りにいってたら駄目だったと思う。

それを持って資源エネルギー庁へ行きました。その後2か月ぐらいしたら水島で油の流出事故が起ったんですね。そこへデュッセルドルフの駐在員のK君から、ヨーロッパではこういう貯蔵法があります、日本ではどうですかとニュースが入ってきたんです。これは駐在員のレポートとして入ってきて、それが当時の担当常務のSさんのところにきて、土木技術へおりてきた。

たまたま水島で事故が起きたでしょう。そこでSさんから「これを機会に安全性の高い地下備蓄の開発を進めよ」と指示を受け提携先はヨーロッパで探ししました。ところが情報ネットワークが小さいから、対象がスウェーデンだけになっちゃったんです。それで選んだのがSKANSKA社です。

G あのときSKANSKA社はちょうど日本に来てたんですね。

F そう。わが国のX社とSKANSKA社の子会社が同じテーマで技術提携をしようとしていたんです。こっちが先に飛び込んで、SKANSKA本社と先に提携してしまった。

G 非常に早かったです。

F それで技術提携をやって、そこはSさんの偉いところでしょうね。提携したら向こうのものを使わなきゃ損だというんで、「それやれ、それやれ」でしょうね。

若手を連続で、第一陣が3か月ですね。これに与えたテーマは、地下備蓄の概要をつかんでこい、なんでもいいからと。第二陣が2人、これは片方はシステムを勉強してこい、片方は発破だけ勉強してこいと。スウェーデンの発破が特に硬岩に対してすごいと思っていましたので。

その次も2人をやって、このときは現実の資料を手に入れてこいでよ(笑い)。向こうは提携したからといって、これとこれがありますよと提出してはくれないですね。いろいろ経過はあるのですが、水封式というのがこのシステムの特徴なんです。その水封式をセールスポイントにしたわけです。水で押さえ込むんだって別に難しい問題じゃないんですよね。ただ他社はそんなことはなにもやっていないから、それじゃ水封ということで当社がリードしてやれるということで、そこぐらいまでが私の仕事ですか。

A Cさん、菊間のほうはどうだったですか。

C 調査・設計・施工なので本当におもしろかったですね。

E あれは設計のトップもCさんですね。

C あれはまったく行き掛かり上です。だけど、最終的にこれでいいよという結論を、特に危険物ですから、規制する官側の許可を取るという作業が一番問題でした。

E 基準が確立していませんでしたしね。

C 物差しなしに判断できないわけですよ。なんの物差しでものを言つたらいいのという質問がいつも返ってくるわけですね。最終的には、土木学会のエネルギー小委員会の報告書が基本となって指針が決まったわけですが、物差しが整備されるのに時間がかかりましたね。一方では資料の作り方が1つのポイントだなという感じもしました。

E ストーリー性ですか。

C そうです。それも官側の立場にたったストーリーとか、発注者の立場にたったストーリーとか、いろいろあるんですね。

E 菊間での技術的なネック、問題みたいなものはどちら辺だったんですか。

C 菊間は結果的に岩が良かったので施工技術的な問題は比較的少なかったですね。しかし、その前提として考えられるのは、調査技術が、この場合成功の80%ぐらいを占めているんじゃないですかね。いい場所を選ぶということですね。トンネルを作るのと違って三次元的なところから空間を選び出せばいいですからね。ここいうやつを。それを選ぶのは調査技術ですよね。

F 経験があればある程度わかりますが、そこから先是本当の調査をするわけですからね。ただそれよりも事前に、ここなら大丈夫だということをまず予測するんで

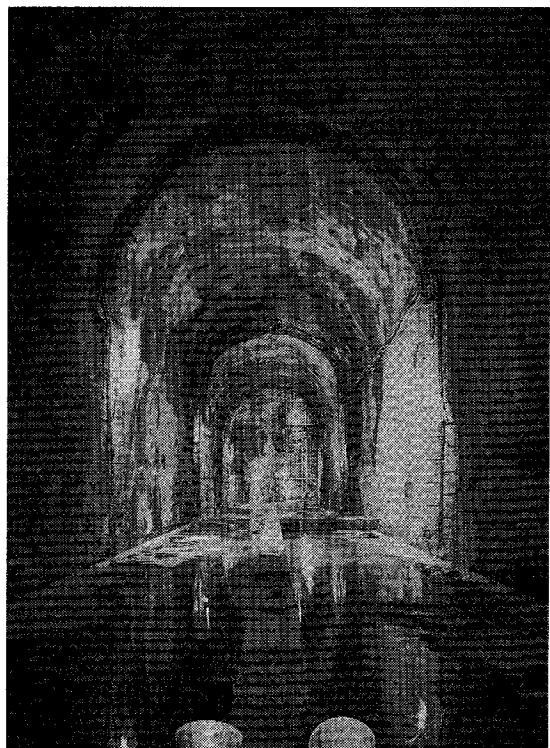


写真-2 石油公団菊間実証プラント貯蔵油槽

すね。それが必要じゃないかと思うんで、しかし予測するときは恐いですよ。

**C** あれはたいした度胸がいるよ。

**G** ほんと(笑い)、地上から眺めただけでは、なぜこの場所に決めたのか専門家以外にはわかりませんね。

**A** 菊間の話がだいぶ佳境にきたんですけど、石油備蓄ということで串木野プロジェクトに着手しているわけですが、この辺の将来展望のようなことをCさんお願ひします。

**C** 国家備蓄の重要性が説かれ、地上・海上・地中・地下と一応そろったわけですが、着手までどうしてあんなに時間がかかったかというのはわかりませんが、菊間での結果が評価されたと理解しています。

**A** 社会的にはどうですか。どうもスウェーデンなどはミリタリーというか、国防上の話がだいぶからんでいるようですが。

**F** 私は社会的には非常にいいと思いますよ。もし備蓄というのが必要であるとすれば、このシステムは防災にしても、自然保護にしても確かにいいと思いますね。

**C** 串木野の将来というか、地下の将来のことを考えると、今度国家備蓄で4ケースやってるわけですね。オペレーションを2,3年した時点でそれなりの評価ができるくるんでしょうけれど、結論はこれが一番いいという話になるんじゃないかなと思いますね。ではその次どうなるんだろうということですね。

**F** その次はないですね。

**C** そうなんだけど、たとえば、いま175万kLの施設で配管とか、海上の受扱施設等を含めて、kL当たり3万数千円といわれている。そのうち、容れ物を作る金は約60%です。その隣に同規模のものを増設したら、より経済的になりますよね。

**G** 実績がそういうふうに証明すれば、現在もある地上タンクを今度は備蓄ではなくて、操業用のものも将来全部地下に入れてしまえという話にもなってくるかもしれませんね。

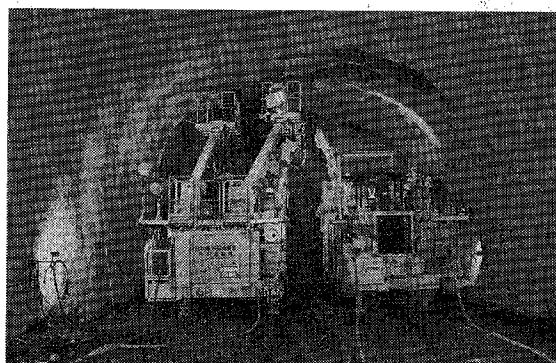


写真-3 串木野国家地下石油備蓄基地仮設トシネル

**F** ただ立地の問題ね。

**C** 港があり、リファイナリーが隣りにあって、それで岩盤が良くて、発破に文句言われなくて、这样一个条件がそろう場所となるとどこでもというわけにはゆきませんが。

**G** スウェーデンなどは原油だけでなく、石油製品になったものも地中に入れているものもあるのですか。

**F** ありますね。原油だけじゃなく、軽油もあるし、ガソリンもあるし、確かに気楽にやっていますね。

**A** 環境を汚さず、保全性も良く、安全性も良く、建設コストもそんなにかかるない、社会情勢の変動によってどう変わってくるかわかりませんけれども、将来性のあるものだということで、石油備蓄地下タンクはこの辺でおいて、もう1つの柱である開削式地下タンクへ移っていきたいと思います。

### LNG 地下タンク

**G** LNGはいまの岩盤なんかと一番違うのは、当社は昭和44年から最初の地下タンクをやっており、また将来大々的に地下にしたいという東京ガスさん、東京電力さんの強いニーズがありました。それからLNGそのものが年々増大していくというもう1つのニーズがあつたわけで、そういう意味で、まったく先がどうなるかわからないというのではなかったという点が大きく違っています。44~45年当時は私どもは土木設計にいたんですが、ドックの設計などで忙しく技術開発に力を割くということがなかなかできなかつたんですが、施工のほうは、現業中心でずっとやられており、施工技術は連壁とか掘削とかはかなり進んでいたのですが、いわゆる解析技術というのではなかなか手がつけられない状況でした。

ところが48年のオイルショックを境にして、設計部の仕事が少なくなつて、それから開発に全力をあげるようになったわけです。

そういううちに東京ガスさんのほうからも、餅は餅屋だと、土木は土木専門のところがやるのがいいという認識を持っていただくなつて、それで今日がずっとあるということで、その辺が石油備蓄とは違うスタートをしているといえます。

**A** この場合は非常に発注者に恵まれて、発注者ニーズを直に聞けて、それを研究開発力で補つていったというように受け取れるんですけれども、その続きをEさんから。

**E** その当時連壁技術はすでにあったわけですが、その連壁技術を使って、逆巻工法でどうだという話があつて、昭和44年に実現したのが第1号の地下タンクです。

その当時、設計はできませんで、メーカーの設計でうち仮設設計と施工だけということで、その当時われわ

れとしても円形に設けた連壁の内側を無支保工で掘るということがなかなか自信がなくて現場への指示ができなかつたんです。

というのは、製鉄所の高炉基礎は直径 30 m ぐらいでしたか、鋼管矢板をリングビームで受けて掘るんですけども、リングビームだけで計算はもつんです。コンプレッションだけですから。ある程度の偏圧をかけてももつわけですけれども、ある程度の偏圧といつても、その程度でいいという保証がないわけですので、安全のためリング支保工にも放射状の切ばりを取り付け、補強しまして、それで掘ったんです。

地下タンクになりますと、切ばり支保工がないわけです。やはり直径 30 m です。そのとき、私ども施工業者ですから、他にいい方法はないかというのでいろいろとスタディをするんですが、やはり無支保工のリングにはかなわないんですね。それで実際に施工し、これはできました。

根岸ではその方式で、初めは 30 m、次は 50 m、袖ヶ浦に行きました 60 m と、大きくなつたんですけども、考え方は、逆巻でリングで押さえながら下におりていく。

そういうしているうちに、施工だけではなくて、設計技術を開発して自社で設計できて建設することが必要ではないかという話になりました。

それで技術開発を始めたわけですけれども、始めた当初はやはりみんなわからないというのは、LNG の液温  $-162^{\circ}\text{C}$  というと土木では未知の領域なんです。それからもう 1 つは、LNG を入れると周囲の地盤が凍結するということ。施工的には丸く掘りますが、なぜ安全に丸く掘れているんだろうということがわからない（笑い）。とにかく施工はできるけれども、丸く掘るために設計をどうすればいいんだろうかというのがわからない。わからないというのはその 3 つぐらいでした。

それで開発しようということになりました、2 つ案が出たんです。1 つはモデルタンクを作って、わからない

ことを全部モデル実験で解明しようというのが 1 つ。もう 1 つは、そんなことをやっても何もわからない、わからないものを 1 つずつぶしていくのが開発の本筋だという、2 つのやり方があります。結論としては、後者でいくことになりました。

難しかったのは、 $-162^{\circ}\text{C}$  を再現する装置がないんですね。それを工夫しまして、液体窒素を噴霧しまして、噴霧のしかたによって適度な温度を再現しようということでお始めたんです。

文献で調べてみても、鉄筋がマイナス温度でどうなるかとか、コンクリートがどうなるかとか、PC 鋼材はどうだというのは案外ないんです。ないものですからこれは自分でやらなければいけないというので、1 つ 1 つ詰めまして、それで鉄筋コンクリートの部材、プレストレストコンクリートの部材を作って実験しました。やってみたところ新しい発見はなくて、常温と同じでいいということなんですね（笑い）。

常温と同じという結論で、これも先ほどのお話しのように、やってみればなんのことではない。やる前は不思議なことが起こるのではないかと思っていましたが、常温と差がない。さらに、いい方向に向かうのは、コンクリートの場合は低温になると強くなる、特に引張強度が強くなる、粘りも出るといういい面が現われました。鉄のほうは昔から低温になると脆性破壊といいますか、パリッと割れて脆くなるという、普通の鋼材では  $-10^{\circ}\text{C}$  ぐらいで駄目になるといわれていたんですけど、鉄筋の場合には案外それがもちまして、低温では駄目というではなくて、低温でも使えるという発見をしました。

また凍土とか凍上現象については、その当時凍結工法というのがすでにあったんです。地盤を凍らすことによって強度を増加させ、それを支保工代わりにする工法です。日本では高志先生というすでにお亡くなりになつた方が、非常に凍上に対して研究された先生で、先生の凍上理論というのがあったんですね。通常高志式といいます。

われわれとしては、それを取り入れまして、それを再現する実験をやろうではないかということで、実際に装置を作りまして、それは普通の土の圧密試験機を用い両面から凍結するような工夫をしたのですが、凍結させて、土の凍上の特性である圧力や凍上量を測ることから始めました。やってみますとよく合うんですね。土によっては非常に膨れる、凍上するものだということがわかりました。

そういうふうに 1 つ 1 つの要素を解明していくのですが、まだ設計には結び付かない、1 つ 1 つはわかつても、一体どうまとめるんだということになりますと、応力とか変形の解析をしなければいけないんですが、その

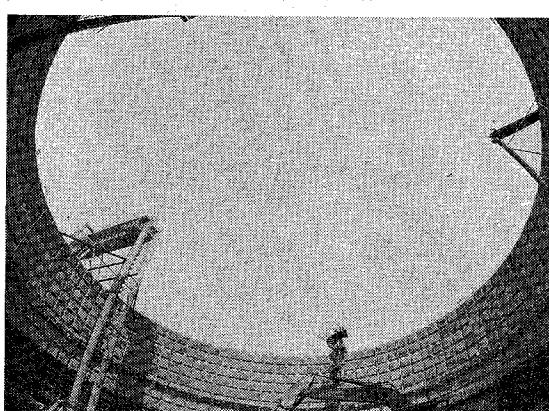


写真-4 東京ガス(株)袖ヶ浦工場 LNG 地下タンク

頃はまだ電子計算機といいましても、小型といつても当時は大型の IBM の 360 というのしかなく、それでシェルを解きますとえらく時間がかかります。かかるものですから、シェルの解析解をコンピュータがあまり回らないような解析方法で解くしかないんですが、そうすると境界条件が制限されまして、いろんな境界に対して解けるものではないんです。

その頃 FEM のはしりで、それまではマトリックス変位法ということでやっていたんですが、FEM でやれば解けるのではないかと、その頃大学院を出て、シェルの解析を習ってきた社員がいましたので、先生に相談したところ、やればできますよ、しかしコンピュータは1週間回りっ放しになるとか威かされましてね(笑い)。これは騒ぎだと。しかしやらないとしょうがないということで、とにかく FEM をやろうということで取り組み始めたんです。

解析も構造解析と、伝熱解析と、凍上解析とをやらなければ設計にならないわけです。それが1つ1つ時間食うんですね、コンピュータが。それは大変だということですが、とにかくやらなければいかん、やろうということでやり始めました。

それには全社的にも、電算センターにずいぶん勝手を聞いてもらいました。その頃から、IBM 360 から大きくて速い 3033 という、いまよりもう1世代前のコンピュータに変わって、一昼夜はかかりますけれども、1週間はかかるないようになりました。その頃、1週間ベタに流しますと全社の電算業務が停まりますから、細切れにしまして、夜通し7日間とか10日間、夜だけとか、センターにスケジュールジョブをお願いしまして、夜を空けてもらって流したんです。

**G** 地下タンクの場合はそういう解析、実験は、全社的なプロジェクトで動いたわけで、もう1つのインパクトは、東京ガスさんで当時は 60 000 kJ の容量がマキシマムだったわけですが、直径を広げないで 60 000 kJ 以上に容量を増やすとなると深く掘らなければいけない。そうなると、今度は連壁の深さの問題が新たに生じました。

**E** 当時の技術で連壁は 60 m が限度でした。60 000 kJ にするためには、不透水層が存在するのが -90 m 辺ですから、100 m の連壁をやらないと地下空間が作れないということになりました、100 m まで止水する方法があるかということで、いろいろな研究開発をしました。

考え方として、鋼管矢板、連壁、凍結工法、とニューマチックケーソンの4つをスタディしました。

鋼管矢板はわれわれも打てさえすればできる。ところが連壁は精度よく掘れるかどうか、あるいはコンクリートが本当に 100 m 打って大丈夫かとか、いろいろな問題

がありまして、これも全社的なプロジェクトとしてやり、いろんな部署の協力を得て、東京ガスさんが最終的には凍結工法と钢管矢板、連壁、もう1つ他社の提案で注入工法で不透水層を形成する案、全部で4つですか。これらの実験工事を袖ヶ浦でやりました。

その結果最終的には钢管矢板と連壁が残って、技術比較をすると連壁のほうがいいということになりました。それから各社連壁の開発競争が始まったということです。

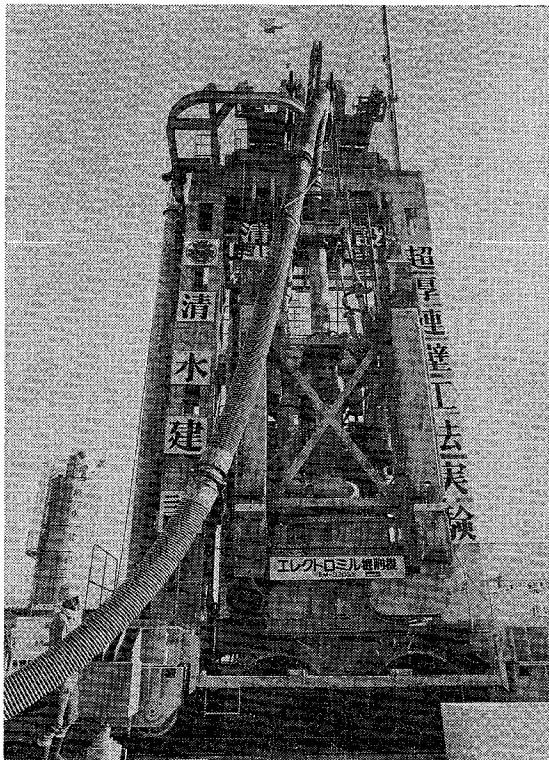
地下タンクの場合は、解析的な技術、設計というか、ソフトの技術とハードな施工技術、両方を並行させながらうまく進めなければいけませんでした。

**A** 現在は幅が 3.2 m、深さが 150 m までの連続地中壁ができる機械を作っておりますので、これは LNG のハードな技術の積み重ねの結果だと思います。

今までロックオイルタンクと LNG の地下タンクの技術開発について話してもらったわけですけれども、別な地下空間の利用方法として、大谷石を掘った後の空洞を貯蔵とかイベントに使うことを提案して実際にやってきたわけですが、変わった意味の地下利用ということで F さんからお願ひします。

### 大谷採石空洞利用

**F** たまたま大谷の地下空洞をなんとかしてくれない



写真—5 超厚大深度地中連続壁施工機械

かという話があったんです。行ってみたらえらい空洞があって、これは大変だと。これはなにかになるぞ、話を聞いてみたら空洞の高さが 50 m もある。それならと実験設備を作るという名目で、何か利用できるものはないかということです。整地をやったわけです。本当はそのときに目標があったわけじゃないんです。整地したら何かできるだろうと。大谷の空洞内は年がら年中温度が 5°C とか 6°C という状態であまり変化しないんです。しかも湿度は一定している。なにか貯蔵ができるのではないか。そういうことを聞くと、私の部下に問題意識の旺盛な社員がおりまして、柑橘類貯蔵試験場というんですか、静岡県の興津に農林水産省の試験場があるんですが、そこへ飛び込んでいったんです（笑い）。

先生こんな場所なんとか貯蔵に使えませんかと。たまたまその先生がミカン類の貯蔵をやっている先生で、同じようなことを考えていたんです。ミカンの貯蔵というのは富士山の 5 合目ぐらいですか、もうちょっと下ですか、あの辺りに貯蔵庫を作つて熊本から持ってきて入れるんですね。やはり自然の条件を使うということで。そういう指導をされそこからスタートしたんです。

試験的に貯蔵してみると結果がいいものだから、それならやれということで、これは貯蔵事業ということでやっているわけです。

農林水産省の予算をもらって 2 年間貯蔵実験も行いました。各地の名産ではないんですけど、こっちはリンゴを入れる、こっちはミカンを入れる、こっちはスイカを入れる、12 種目を入れました。それでいまやっているのは、何が一番多く入っているかといったら、九州からの甘夏と、バレイショ、タマネギ、こんなものが非常に貯蔵の条件として適しているのです。

大谷の地下というのは恒温、恒温のほかに振動が非常に少ないんです。常時の微振動が非常に少ないので、これが何かにならないか。振動がないということの延長線上にホログラフィーがあり、大きな被写体の作品製作が可能となっています。またこの空間の振動が小さいとい

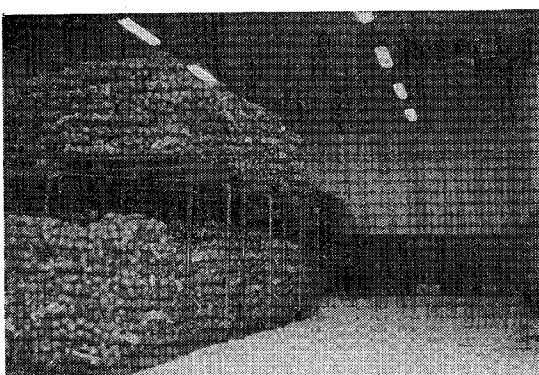


写真-6 大谷採石空洞での玉葱貯蔵



写真-7 大谷採石空洞での演劇

うことは、ほかに工学的な利用が考えられ、今そういうことに興味を示している専門家が新しい利用について検討を始めてくれています。大谷はそういう展開をやりながら動いているわけですけれども、いろんなものが出でています。

生ハムを忘れていた（笑い）。豚のもも肉の塩漬をぶら下げておくだけでいいわけだけど、普通の状態でぶら下げておくと腐るんですね。たまたま大谷の条件が非常に良かったらしくて、うまくいっているんですね。

それからイメージが地上と違いますね。だから舞台とか絵、能、そういうことを局部的に使っていますけれども、これは大谷でなくても、都市の近くにそういう空間を作つたらおもしろいでしょうね。

A いま大谷石の採石跡の利用ということがでましたが、その他、今日的な問題として放射性廃棄物の処分、あるいは超電導エネルギー貯蔵、圧縮空気の貯蔵、地下ダム、都市空間の利用だと、その辺で、対象物をあまり限定しないで皆さんのが自由なご発言をお願いします。

研究がだいぶ進んでいるのが放射性廃棄物をどうやって捨てるかという話ではないかと思います。

#### 放射性廃棄物処理

H これはまだ実現している話ではなくて、ご存じのようにやつと低レベルのほうが、下北でぼちぼち仕事が始まるという程度です。2000 年ぐらいを目標にして作ろうとしているわけですが、それもあくまでも本当の R & D の段階で、設計すら緒についたばかりで、今後の話ですね。でも高レベルになるとどうしても地下深いところがいいと。国でも数百 m 以深のところ、地下深いところに処分するということになっていますから。

廃棄物処理施設はそんなに数多くできる施設ではないですけれども、これは地下でなければ駄目だという施設の最たるものだと思います。

先ほどの菊間のときにも話しましたけれども、深いところで問題になっているのは、三次元的なところでどう

いう地盤条件のいいところがあるか、それを探す調査技術が一番望まれているもので、浅いところだとわりと既存のものがあるんですが、深いことでなおわざりにくくなっているので、調査技術というのは早急に開発するニーズがあるんですね。

**E** 地下調査技術というのはリモートセンシングみたいに地上から探査すれば地下がわかる、そんなことをしているわけですか。

**H** そういうものもあります。それから、菊間で何本ボーリング打たれたか覚えていませんが、なるべく本数を少なくして地盤を傷めないで調べないと、ボーリング孔が漏洩する通路になってしまいうとい問題があります。

**A** Hさん、いま研究しているのは放射性廃棄物の貯蔵庫を掘るだけですか、掘った跡をどういうふうに管理しなければいけないかとか、その辺の勉強はどうですか。

**H** いま動力炉核燃料事業団さんでやっている仕事としては、設計から最後の閉鎖まで全部システムとして扱っていますから、いろんな技術が入ってくるんですね。現実にいま受託研究なり進めていく場合でもハードというのはそのうちの一部だと思うんです。立坑を掘るという。

**A** あるいは下の水平ヘトンネルを掘るというのは。

**E** 水平トンネルの断面はどのくらいですか。

**F** 掘削幅は4~5mぐらいと思います。

**B** ただいろんなケースがある。廃棄物カプセルというんですか、それを横移動する方法や、埋め戻し方法などを考慮してトンネルの断面が決められます。

**H** どういうものを入れるか、どういう機械で掘るかというのもありますけれども、どういう岩盤だったら大丈夫かとか、そういうのがまず第一じゃないですか。それで形状も決まってくるし、大きさも決まってくると思います。どういうところに施設を作るかで決まってくると思います。

**F** 空洞を作り廃棄物搬入開始までは人が行った方がいいですね。その後システムとしてどうやって自動的に全部完了するか。システムの勉強は大変なんでしょうね。

**A** そういうトンネルは掘りっ放しで、ライニングはしないんですか。

**H** いや、考えないと無理だろうというふうに言われています。1km四方ぐらいのところに断層とかそういう弱点が1か所もないというところはなかなか見付けにくいでしょう。だから最低限の支保は考えておかないと駄目だと思います。廃棄物を置いてきたあとは全部埋め戻す予定になっていますから。立坑はどういうふうにあ

と活用するか、いま一応概念的には埋め戻すというようになっていますけど、せっかく掘ったのにもったいないという話もあるし、排熱は使ったほうがいいんじゃないとかとか、そういう地元に何か残すという考え方もありますので、完全に埋め戻すかどうかはまだ先の話だと思います。

**A** 現実に廃棄物処理場を作るとなると、社会的にいろいろ問題が出てくるでしょうね。

**J** ウン万年という非常に長い間、本当に安定しているかというのは、日本国民を説得する最大のポイントになるでしょうね。アメリカみたいに、ウン億年絶対に動いてないという保証は絶対ないんだから、日本列島はそんなオーダーで見たらどうなっているかわからないくらいですからね。

細かいところはいくらでもいまの技術でできるけど、時間のファクターをどう立証するかというのは最大のポイントになるんじゃないでしょうか。

**H** 研究する場合でも、コンクリートは何年もつかという話ですね。今までのレンジではないですからね。

**F** 1万年とか10万年というオーダーでものを考えないといけないですね。

**J** しかしこれは絶対に地下に作らなければいけない代物でしょうね。

### 超電導エネルギー貯蔵

**A** 超電導エネルギー貯蔵も筑波のトристンと同じような構造なんでしょうか。

**F** ちょっと違うんです。これは先に断わっておきますが、超電導エネルギー貯蔵研究会というのがいま約36社集まってできています。その研究会でいま勉強しているというのが現状なんです。

研究内容は、要するに超電導現象を起こさせて、ということは、いまのところは-270°Cとか、-260°Cですか、そのレベルへくるとストーンと電気抵抗がゼロになって、ということは電気をいくら流しても減らない、熱にならない。超電導状態を作つて電気をコイルの中に流していれば、全然減らないで貯蔵できる。それを必要なときに取り出す。揚水発電の効率が非常にいいものだというふうに考えて下さい。電気が運動会をやっている。そういう状態で電力を貯蔵しようというのが1つの夢なんですね。研究会でも2000年ぐらいには実現化したいといっているんです。研究会がいってる規模というのは、500万kWですから、揚水の一番大きいものに匹敵するので、経済的に引合います。

**A** これはトンネルですか。

**F** トンネルです。直径が400mぐらいのトンネル

の中にループのコイル、その中に液体ヘリウムを入れてそのコイルを冷やすわけです。問題が非常に多くて、液体ヘリウムを $-270^{\circ}\text{C}$ に冷やした状態の中に超電導コイルが入っているわけです。超電導エネルギー貯蔵では、電気をコイルに流していますが、取り出すときとか入れるときに円周方向の外力が発生するらしいのです。フレミングのなんとかの法則。

**E** 磁界ができるんですね。

**F** その力を支えるのが、そういう大きな規模になると岩盤でしかないと。

**E** そういう意味で岩盤なんですか。

**F** そういう意味で岩盤なんです。土木の工事としてはそれほど特殊な工事ではないし、それほど難しくはないと思うんですけど、取り合いのことが、たとえいようと断熱サポートするにはどうするかとか、力が中から押してくるわけですが、それをサポートする問題。それから、こういうサポートを伝って熱が漏れてくる、 $-270^{\circ}\text{C}$ という熱が漏れて岩盤にいきますね。そのときにどうなるんだとか。

もっと基本的なことで、電力は1日に1回出し入れするので、力は1日に1回しか掛からないわけですよ。きわめてサイクルの長いゆっくりした力の掛け方をする。そういうケースは今までないわけです。こんなところが岩盤のほうの技術としては問題になります。

**A** そういう実証プラントみたいなものは地上に作るわけですか。

**F** 2つのケースが考えられて、小さな実験モデルは地上で鉄で作ってもいいし、小さいものだったら力もたいしたことありませんから地上でできるわけです。でも本当にそういう地下に岩盤を支持材にするという現象を調べるためにには、小さくても岩盤の中に作った方がいいんじゃないかと提案しているわけです。

**D** 超電導というのは最近ものすごい進歩でしょう。素材的に、いまは高い温度で超電導現象を起こさせるという研究がされているわけです。かなり常温に近くなっています。もう一方の研究としては、大容量の電流を流す研究をしているんですね。高い温度でできる超電導というのが実用化されるのはわりと早いと思いますが。

**F** 早いというのは私もそう思ってる。プロの連中は、いやどんなに早くても10年かかるといっているが、実際は近いんじゃないですか。

**E** コイルの大きさはどのくらいですか？

**F** いまのは500万kWという揚水発電並みのもので直径400mというんですね。直径400mのドーナツですね。空洞そのものはたいしたものではないし、幅が4~5mの高さが10mという感じのものです。だけど、現実にはもうちょっと小さい、直径20mとか40mのものが都市の近郊で作られる可能性もあります。そのと

●試験プラントの鳥瞰図

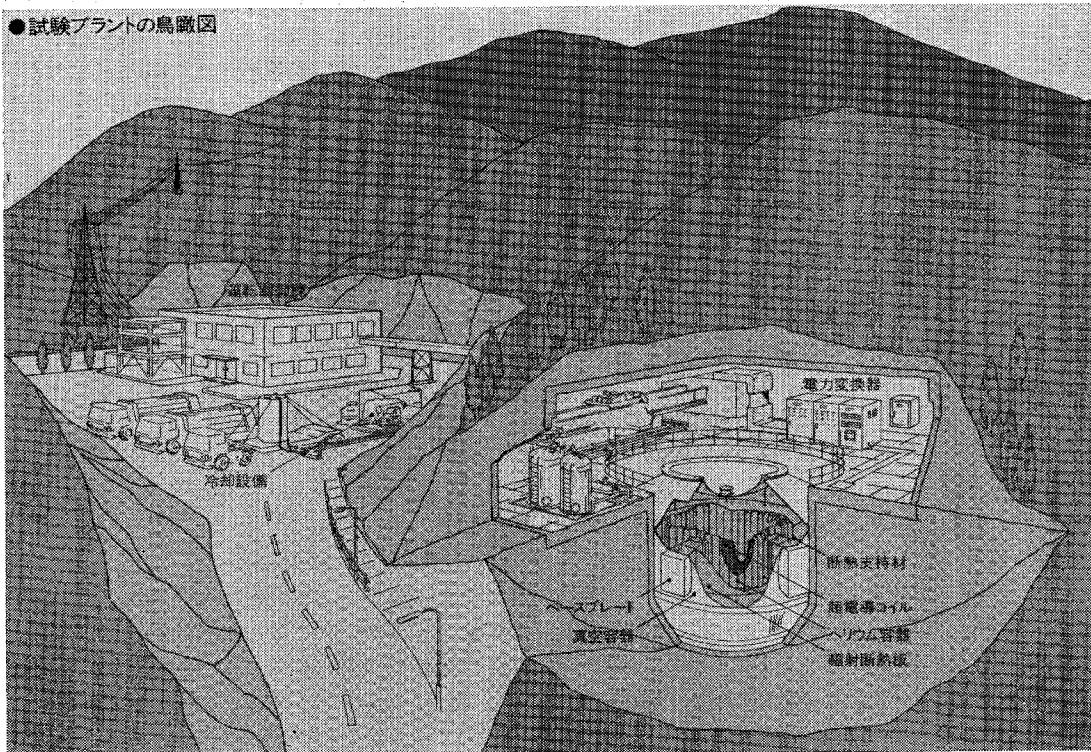


図-1 超電導エネルギー貯蔵研究会 超電導エネルギー貯蔵試験プラント

きには、どうやって磁界を防ぐかという非常に大きなテーマがあります。

A ありがとうございました。次に圧縮空気の貯蔵の話をお願ひします。

### 圧縮空気貯蔵その他

H これもまさに都会型だと思います。夜間の電力を使って圧縮空気をためて、昼間タービンに使おうというわけですから、田舎でやってもあり益のないものだと思います。現在あるのは東京と新潟ほか、日本に3か所ぐらいしかないらしいですよ。

F 地上のガスタービン発電。

H ですから、それは今後新設するすればその近くに作ればいいので、もし既存の場所でやるとしても、いま話したように岩盤ではなくて未固結のところが多いわけですから、そういうところに、深さとか、貯める空気の圧力でいろいろ空洞のボリュームは変わってきます。けれども、未固結層のところ、または土丹層でどのくらいの大きさの空洞を効率よく掘るかという問題が出てくる。ですから、さっき話した廃棄物とはちょっと違う岩盤を対象にすることになる。でもこれも、揚水発電に代わり得るものなので、わりと早く実現化するんじゃないかという気はします。まさに都市の近くであれば即できるのではないかでしょうか。

B ドイツではすでに試験的にやられているんですね。

A その他の地下空間利用全般についての今後の展望をお願いします。

B 最近いわれているのは、都市域での洪水調節用のトンネルですね。それは相当大容量のものが、都市域の河川で流出係数が非常に高くなっているものですから。

A そうですね。舗装の影響ですね。

B 洪水時にのみ貯水するようなトンネルということで、もう計画ができるようです。

それから土工協が提案している山手線の地下化ですね。地下100mぐらいのところにトンネルを掘るという考えがあります。そういう地下化は他の民鉄さんにもあるようです。

F 私はやっぱりなんとかして都市、だから建築との業際のところでなにかできるのではないかと期待しているんですが。

E 人が集まるところで地下に。

D いまそういう動きがあるんじゃないですか。たとえば、建設省も通産省も地下空間がニューフロンティアの1つとして注目しているわけですよ。なかでも地下貯蔵はこの10年、20年の間に技術的にも研究されてきています。

いま1つの動きとしては、居住スペースとして地下を利用しようというのがあるわけです。当社でも地下の居住スペースの研究をやっているわけです。これは比較的浅いところですけれども、深いところも当然考えられます。いまは地下1階、2階、あるいは地下街という恰好だけれども、現にアメリカではミネソタ大学などで教育施設を地下に入れることを行っています。

その中で一番問題になってくるのは、ハードな施工技術というよりも、むしろソフトというか人間的な問題です。地下の空間というのは閉塞感などの心理的な面とか、いろいろ問題があるわけです。人間というのは自然の太陽の下が好きだから、太陽光をうまく地下に取り込む技術とか、地上のそよ風とか空気を送るとか。要は、地表とか海岸沿いとか人間が住みたいと思うような環境を地下で再現する。そういう技術が欲しいですね。そういう技術が確立してくると、地下に住もうという考えも出てくるんじゃないでしょうか。

J 閉塞感という話が出ましたが、中国というのは、横穴式を地下と考えれば4000年から5000年ぐらいの歴史があるんだけど、横穴というのはおそらく地面とつながった意識だろうと思う。垂直は抵抗があるんじゃないですか。

F 地上と地下とがリンクした状態の地下開発ですね。これは本当にそう思う。

J 人間との関係で考えると、なんか地上との自然な連続性が必要なんじゃないですかね。垂直におろすというのはある意味で相当抵抗感が出てくるかもしれない。

D 昔、鉄腕アトムの漫画があったでしょう。あれなんか地下工場とか、地下住宅とか、モグラみたいな、キリンみたいなロボットみたいのがあって、ポンポン掘っていく(笑い)。

F 地下工場というのはあると思うね。FAが進んでいるから、別に人間がいなくても、人間はチェックに行くだけでいい。コストの問題はあるけど。

E そうなると掘削技術ですね。安く大量に掘削できる工法。

C 正直いってそれはかなり安くなりますよ。大きなものを作らうと思ったら。

B 地下の使い方をどうするかによって今後の地下開発も変わってくるだろうと思いますね。

D 利用開発とか用途開発ね。

B さっきからFさんが言われているように、都心とか都会のほうに持ってこようすると、どうしても地価が高いですから、地価が高いところの地下利用となると、それなりのものがあると思うんですね。

そういう面で、いま建築の話をいろいろ聞いてみると、地下階の利用というのではありませんみたいですね。

地下階と道路、あるいは鉄道などとドッキングした形でのメガストラクチャー的な扱いをしていけば、コストにも合った形での事業もできるんじゃないかなと思いますが。

**I** 日本の場合、哲学というのは経済主義的合理主義でしょう、すぐ「コストは」とといってコストミニマムで、地上でやったほうが安いじゃないかという考え方でいくとなかなか難しいので、全然違う観点で、地下でなければいけないんだ、地下にするんだと叫ばないと。

**E** 人の心を大切にするとすれば、地上を人に与えて、地下のほうは人でなくともいいのを入れるというふうにしたほうが、未来は豊かだ。

**B** 山手線を地下に入れるなら、跡地は全部公園にすれば良い。

**D** 環状公園とかね。

**C** 森林にして、丘も作って小川を流す。

**E** 主な幹線道路も全部地下に入れて、そこも公園にする。

**F** さっそく山手線の地下化を。

**C** そういうパンフレットを作つて、“人の心を大切にする土木”とかなんとかいって、東京を緑にするような仕事をしたいですね。土木のイメージは大きく変わるものではないですか。

**A** そうですね。土木のイメージアップは土木学会でも運動を始めているところですが、われわれ土木屋は、もともとはロマンチストんですよ。地下空間にとどまらず地上も海も宇宙も、人類のためにもっと開発しなければならないと思います。話題はつきませんが、時間がきましたので、これで終わりとします。皆様ありがとうございました。

(1987.7.31・受付)

### ● 土木学会刊行物案内 ●

B5判 210ページ 定価2800円 会員特価2500円(税350)

コンクリートライブラー 62

## PC合成床版工法設計施工指針(案)

●関連各社からの委託研究成果を公表したもの。

A5判 202ページ 定価2000円 会員特価1800円(税300)

## 全国土木系大学教官・教員名簿

付・土木系短期大学・工業高等専門学校教官・教員名簿

●昭和62年4月時点作成した最新版