

## 第8回国際トンネル会議参加および欧州の トンネル工事現場を訪問して

よし だ  
吉 田たもつ  
保\*

### 1. はじめに

1982年6月6日から6月11日までの6日間、英国ブライトン市で開かれた第8回国際トンネル会議に参加した。この国際会議は国際トンネル会議(ITA)の総会を兼ね、毎年開催国のトンネル協会が主催し開かれているもので、今回は「地下利用と省エネルギー」をテーマに、30箇国、総勢300名のトンネル関係者が集まり、ブライトン市内のホテルを会場にして行われた。

会議終了後、日本からの参加者とともに、イギリス、ノルウェー、西ドイツ、フランスのトンネル工事現場、地下施設、研究所等を視察訪問した。

本文においては、会議と現場視察を通じての私なりの率直な印象、感想について述べてみたいと思います。

### 2. 会議の概要

会議参加国の内訳は表-1に示すとおりで、ヨーロッパ諸国が過半数を占め、アジアからは日本、韓国、中華人民共和国の3箇国であった。

会議のプログラムは、総会、作業部会、シンポジウム、オープンセッション、エキジビションで構成されていた。特に印象に残った作業部会、シンポジウムについて以下に述べる。

作業部会は、標準化、研究開発、契約、地下利用、安全、保守管理、工事記録、構造設計、地震の九つの部会ごとにホテル内の小会議室に、各国から1~2名の代表者が集ま

表-1 会議参加国の分類

ヨーロッパ	18	加盟国	15	西ドイツ、オーストリア、ベルギー、スペイン、フィンランド、フランス、スイス、アイスランド、イタリア、ノルウェー、オランダ、ポーランド、イギリス、スウェーデン、チェコスロバキア
		オブザーバー	3	ハンガリー、ポルトガル、ユーゴスラビア
アジア	3	加盟国	3	中華人民共和国、韓国、日本
アメリカ	4	加盟国	4	カナダ、アメリカ、メキシコ、ベネズエラ
中近東	1	加盟国	1	イラク
アフリカ	2	加盟国	1	南アフリカ
		オブザーバー	1	ザンビア
その他	2	加盟国	1	ニュージーランド
		オブザーバー	1	ソ連
合計	39	加盟国	25	
		オブザーバー	5	

\*日本工営 土木部

り行われた。私もその一人として地下利用部会に参加した。地下利用部会には10箇国の代表者が集まり、各国の地下利用の現状報告がなされた。報告はいずれも興味深く、各国とも自国の自然や社会環境などの諸条件にマッチした地下利用を推進していることがよく分かった。中でも developed country のイギリスの代表者が、地下に新たに地下鉄や下水道を建設する計画を持ち出しても、既に地下には100年以上前に造られた上下水道や旧跡などが至る所にあり、計画が実現できずお手上げである旨を西洋人独特の大きなジェスチャーで表現していたのに対し、developing country のイラクの代表者が、地下の所有権は個人に無く、したがって地下鉄なども縦横無尽に計画できるので「I am ambitious and optimistic」と自信ありげに語っていたのは、対照的な両国の事情を象徴しているようで印象的であった。

シンポジウムは、Case Histories (一般、TBM、土質、岩盤力学、凍結)、Techniques (支保、発破と振動)、Geotechnics (沈下、岩質)、Machines (一般、TBM) の計11のSessionに分かれ、36編が報告された。日本からは、Case Histories (一般)に「青函トンネル」、Case Histories (TBM)に「TBMによる斜坑の掘削」、Geotechnics (沈下)に「軟弱地盤におけるシールド掘削による地盤沈下の測定結果」の各論文が発表された。

「青函トンネル」はこの長大海底トンネルプロジェクトの経緯、計画調査から設計施工までを紹介したもので、会場内にドーバー海峡トンネル関係者が参加していたこともあって、事前の地質調査の方法、止水方法等に関して詳細の質問が出された。

「TBMによる斜坑の掘削」は、下郷発電所の急勾配の導水トンネルをTBMにより施工した工事を紹介したものである。

「軟弱地盤におけるシールド掘削による地盤沈下の測定結果」は土圧バランス、泥水加圧式等の新しいシールド機を用いた下水道幹線工事現場において実施した地盤沈下に関する詳細の測定結果をまとめたものであるが、地上家屋や地中埋設管への被害を防止するという観点から測定結果を分析し、沈下の予測法、沈下の許容値、沈下防止対策などについて提案しており、欧州では軟弱地盤における同種の工事および調査実績が少ないだけに関心を集めた。

ひろば

表-2 視察訪問先一覧表

国名	視察先	地名	種類	技術的特徴
イギリス	M2.5 ロンドン環状道路	ロンドン近郊	道路	大規模半地下トンネル工事
	スミスストリート下水管きよ施設	ロンドン市	下水道	シールド工法による下水道管きよ(貯留式)工事
ノルウェー	オセツト上水ポンプ場	オスロ市近郊	上水道	地下上水ポンプ場
	ノルウェー水資源電力省	オスロ市	電力	ノルウェーの電力事業についての説明
	ピアス下水処理場	オスロ市近郊	下水道	地下下水処理施設
	スポーツ施設およびプール	オスロ市近郊	その他	地下シェルター兼用スポーツ施設
	アイスクリーム貯蔵庫	オスロ市近郊	その他	地下備蓄貯蔵庫
	ノルウェー地質工学研究所	オスロ市	その他	岩盤力学, 爆破技術研究, テルツァーギ・ライブラリー
ドイツ	ポッフム地下鉄	ポッフム市	地下鉄	NATM工法による地下鉄工事
	デュッセルドルフ新線	デュッセルドルフ市	鉄道	国鉄, 地下鉄, 同時切替築設工事
	ハノーバー, ウルツブルグ間新線	ウルツブルグ市近郊	鉄道	大断面 NATM 工法工事
	ミュンヘン地下鉄	ミュンヘン市	地下鉄	圧気併用 NATM 工法工事
フランス	グランドメゾン地下水力発電所	グルノーブル市近郊	電力	ヨーロッパ最大の地下水力発電所工事
	パリ地下鉄	パリ市	地下鉄	市街地開削工法による地下鉄工事
スイス	シャモニートンネル	グルノーブル市近郊	道路	フランス~イタリアを結ぶ延長11.6kmのトンネル
	T.G.V	ジュネーブ~パリ	鉄道	時速250km/hのフランス新幹線

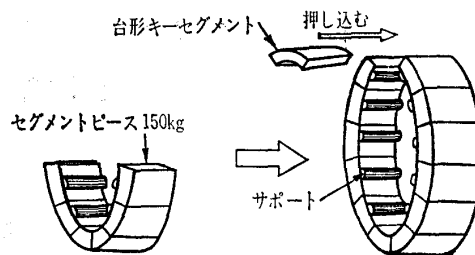


図-1 台形キーセグメントを用いた押し込み式ライニング方法



写真-2 台形キーセグメント押し込み後の目地仕上げ(イギリス)

### 3. 欧州のトンネル技術の特徴

視察訪問先の名称, 国名, 所在地, 種類, 技術的特徴をまとめて表-2に示す。これらは, 道路の半地下トンネル, 下水道管きよ, 地下上水施設, 地下スポーツ施設, 地下鉄, 山岳鉄道, 水力発電所, 地質研究所と多岐にわたっていた。この内, 日本ではあまり接することのない欧州の特徴的なトンネル技術について以下に述べる。

#### 3.1 ロンドンクレーの下水管きよ布設工事

ロンドンでは約100年前のれんが造りの下水管きよがあり, 現在も写真-1に示すように内側に内管を取り付けるなどして補修し利用している。したがって新設管の布設工

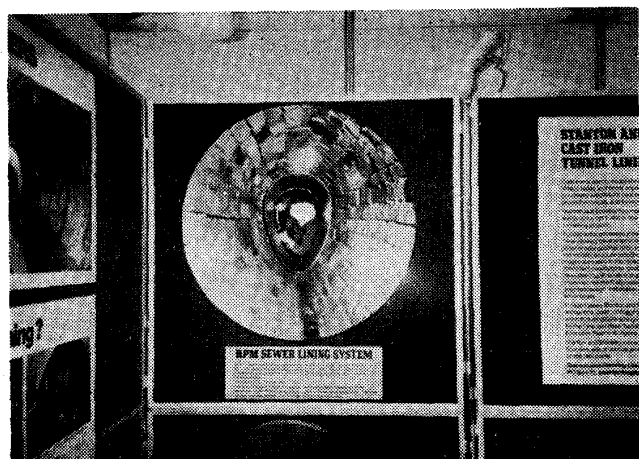


写真-1 既設下水道補修用内管(イギリス)

事は非常に少ない。見学した工事は, 大雨時の既存下水道管きよの容量不足を補い, 超過流量分を一時的に貯留するための, いわゆるピークカットを目的とした貯留管きよ布設工事である。掘削にはシールド工法が採用されていたが, ライニングのやり方が日本の場合とだいぶ異なっていた。すなわち, 図-1に示すようにまず1ピース150kgのナックルジョイントのRCセグメントを12個, 人力で下から順番にサポートを使って組み上げ, 次に台形のキーセグメントをシールド縦断方向にくさびを打ち込むようにジャッキで押し込み, 円周方向に expand することにより円形に組み立てるのである。したがってボルトは一切使用していない。またこの方法だと地山とセグメント外周面とが圧着し空隙が残らないので裏込めを行う必要もない。押し込み後の台形のキーセグメント先端の空隙は写真-2に示すようにモルタルで目地仕上げをし, セグメントリング間にはアスファルトを充てんするのみで二次覆工は施されていない。

この現場の対象土質は, いわゆるロンドンクレーであるが, 日本の粘性土のイメージと異なり, 固結シルト, あるいは泥岩に近く, したがって自立性も高く, またゆう水もほとんどない。このような良質な地盤条件だからこそ適用可能な施工法といえるが, 確かに組立てスピードがはやく, 施工性も良い。実績が多いことから経済的にも優れていると判断でき, 地盤条件にマッチした合理的な施工法として長年月かかって開発されたものなのであろう。

#### 3.2 ノルウェーの地下施設

ノルウェーは1年の約2/3が冬で, 海に近いオスロでも

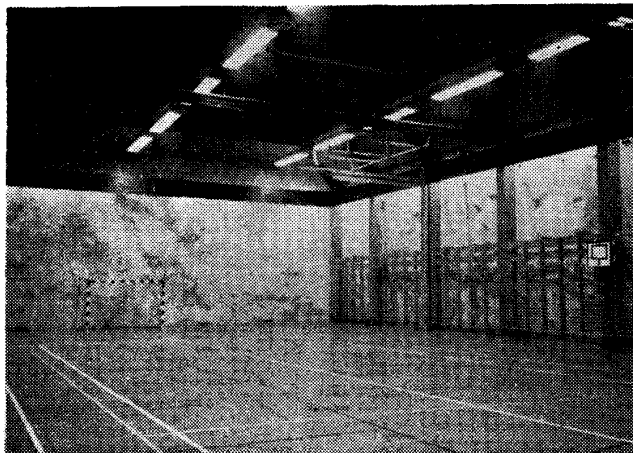


写真-3 シェルター兼用地下スポーツ施設（ノルウェー）

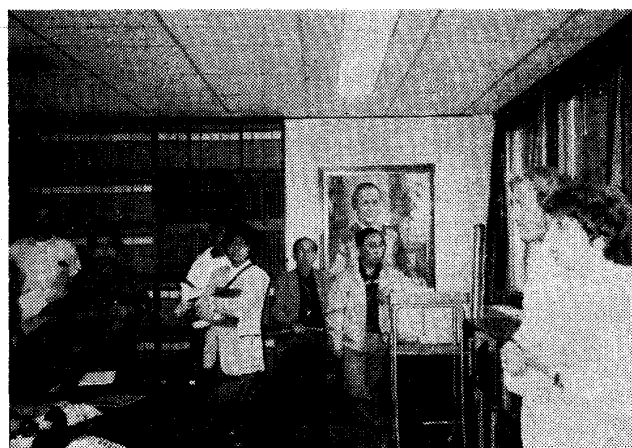


写真-5 テルツァーギライブラリー（ノルウェー）

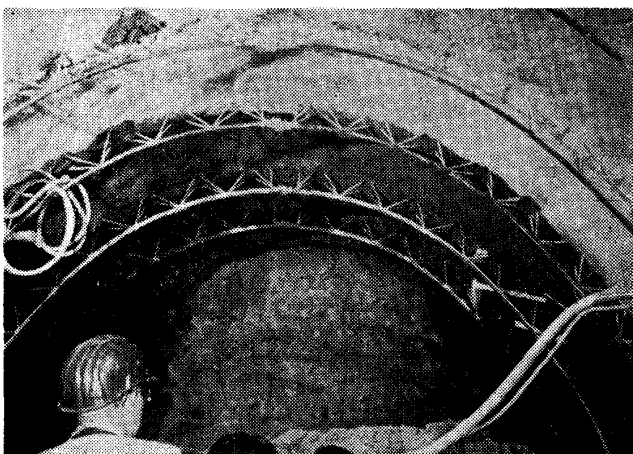


写真-4 市街地における NATM 工法（西ドイツ）

冬の平均気温が $-26\sim-28^{\circ}\text{C}$ の豪雪地帯である。したがって冬期間の利用の便利さ、暖房などの維持管理の観点から多くの公共施設を地下に建設している。建設コストの面でも、岩盤が良いので20mを越す大断面でもライニングの必要がないこと、建設工期がとれることなどの理由で地上建設の場合とほとんど変わらないそうである。しかし、地下建設を積極的に進める背景には確かにこれら自然条件、経済的理由もあるが、そのほかに忘れてならないもう一つの重要な理由がある。それは防衛上の理由である。

写真-3に示す地下スポーツ施設は常時は学校の体育施設として利用しているが、有事の時は周辺住民が避難できる核シェルターの役割を持っている。ちなみに、この施設の場合は4000人の人が数分の間に避難できる構造になっており、ガスフィルターをついた換気設備、爆風に耐えられる厚い防護扉が備えつけられている。ノルウェーでは大きな公共施設、オフィスビルにはシェルター兼用の地下施設を設けることが義務づけられており、政府はそのために40%の補助金を出しているとのことであった。

### 3.3 市街地の NATM 工法

欧州では、パリ、ミュンヘンなどの大都市の市街地で地下鉄建設のため NATM 工法が数多く行われている。西ドイツ ポップム市の NATM 工法による地下鉄工事の一例を写真-4に示す。日本との施工法の違いといえば、三角ト

ラス形の支保工を使用していること、およびゆう水処理のため、圧気工法を併用する場合があることなどである。

このように市街地において NATM 工法が適用可能なのは、掘削対象地盤が洪積層の固結シルト、砂あるいは第三紀層の土丹などで地山の自立性が高くゆう水が少ないためである。東京、大阪など軟弱地盤を対象にすることの多い日本の地下鉄工事の概念とはかなり隔たりがあるとの印象を持った。

## 4. おわりに

国際会議、欧州のトンネル工事現場視察を通じて、日本と欧州とでは、地盤、気候、地震などの自然条件、国を取りまく周辺社会環境、長い期間かかって培われた伝統、歴史に基づくものの考え方などに関して歴然とした相違があり、それが、トンネル工事を進める上での計画の立て方、設計・施工方法にも反映していることを強く感じた。

したがって、トンネル技術に関して単純にその優劣の比較を行うことはそぐわない面があるが、少なくともシールド工法など軟弱地盤を対象にしたトンネル技術に関しては、日本はむしろ指導的立場にあることが確認でき誇りに感じた。厳しい条件下での施工を余儀なくされたことが否応なく技術を進歩させる結果となったのであろう。独断を恐れず、あえて言わせていただければ、トンネル技術に関する限り、総じて欧州から学ぶべきものは hard なテクノロジーではなく、100年以上前下水道を補修し生かしながら使用する、周辺環境との調和、住民との協調を常に念頭におく、20~30年を見越した長期的視野に立つてものを考える、といった建設計画を立案する上での基本的な姿勢、考え方などの soft な面にあるように思えた。

また、土質のエンジニアとして、特に興味深かったのは、視察の途中、岩盤力学、発破技術などの研究が盛んなノルウェー地質工学研究所 (NGI) を訪問し、Q 値を用いた岩盤分類の講義、クイッククレーの崩壊の実写フィルム、NGI 型単純繰返しせん断試験機の説明などを受けたことである。中でも印象的だったのは、所内にある (写真-5)

ひろば

テルツァーギライブラリーを訪れたことである。ここには、生前 Terzaghi (テルツァーギ) が彼の業績のすべてを寄贈することを NGI の所長と約束したことにより、数箇国語で翻訳された「Soil Mechanics and Foundation」をはじめ、彼の携わった仕事に関するレポート、書簡、技術資料が保管されている。その中の1冊を書棚から取り、ファイルされたレポートを取り出すと、そこには図-2に示すようなスケッチや文章が自筆で几帳面に描かれていた。土質を職とする者の一人として、思いがけず先人の足跡にじかに触れることができ、深い感動を覚えたと同時に、膨大な業績と一つ一つのレポートの緻密さに、エンジニアリングにかけ

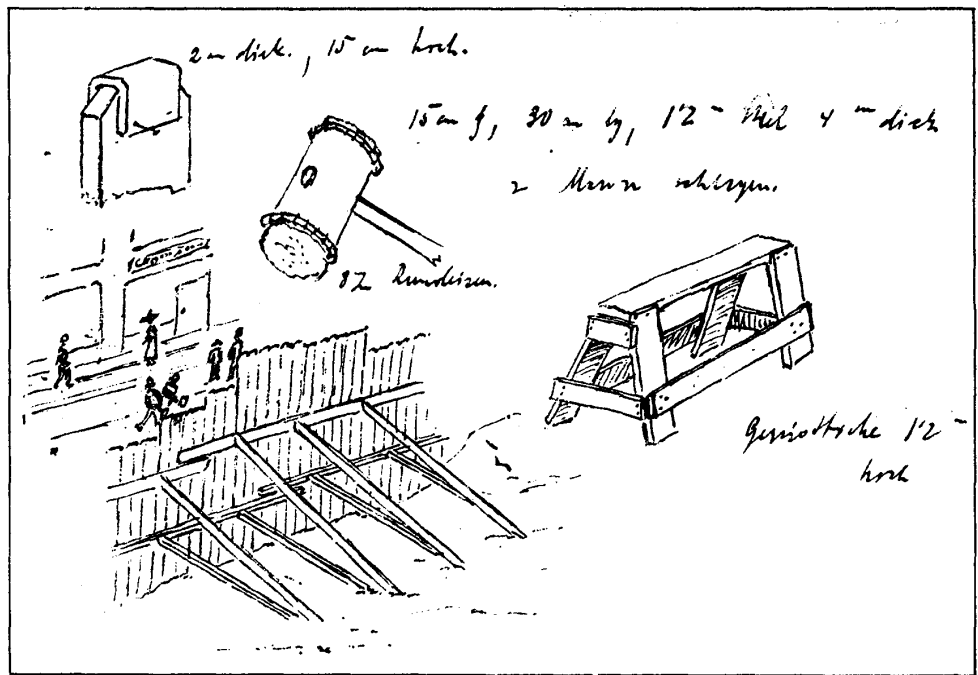


図-2 Terzaghi 自筆のスケッチ

る熱情と意気を感じ、身のひきしまる思いがした。最後に、本文を取りまとめるに際し、同行したメンバー

各位の書かれた調査報告書、報文、記事を参考にさせていただいたことに対し深く感謝の意を表します。

土質工学会新刊案内

土質工学会編

地盤の平板載荷試験方法・同解説

A5判 ビニール上製本 本文 184ページ

会員特価 2200円 定価 2800円 送料1冊 300円

平板載荷試験は、地盤調査法の中で最も古くから行われてきた試験の一つである。この試験は、地盤の種類にかかわらず適用できること、地盤上の載荷板に荷重を加えることが構造物基礎の模型に対比できることなどのために、試験条件や相似則の面などで多くの問題を有しながら、今日まで実務的に多く行われてきたものである。なお、これらの内容に関しては、必ずしも共通に扱える条件で行われておらず、データ相互の直接的な対比ができない場合が多い。このことは蓄積される多くの資料を土質工学上の有効な資料として総合化するための大きな障害となっており、試験結果の総合化を前提とした標準的な試験法の確立が待たれていた。

地盤の支持特性は、多くの要因によって支配され、単一の平板載荷試験結果だけから、これらのすべてを推定することができないことは言うまでもないことではある。

このため、試験結果から期待できる内容の範囲と、そのための必要条件の設定をどこに調和させるかが、基準の作成を進めていく過程で生じた大きな問題であった。

基準は、多くの異なった目的と条件に対応して行われる試験に対して、共通的に最小限もつていなければならない条件を集約した形で標準的な試験方法を示すことによって、その目的を達しようとしている。試験結果から期待される成果、すなわち試験法の適用性に関しても、標準的試験としての限界を明確にした上で展開させる立場に立っている。

本書は、「基準」「解説」および「付録」で構成しており、それぞれを有機的に連携して読んでいただくことにより読者の理解を容易にすることを考えている。

ご注文は 社団法人 土質工学会 図書販売係 電話 03-251-7661 へ