



123

土木研究所資料

第 896 号

第 7 回

地質担当者会議資料

昭和49年 2 月

建設省土木研究所
地質研究室

まえがき

地質調査技術の向上、統一化、基準化、あるいは相互の情報交換などを目的として、昭和42年に始められた地質担当者会議は今回で第7回となった。その間参加者も増加し、今回は北海道開発局、沖縄開発庁の参加をみた。また今回は第6回と同様に本省技術調査室主催で開かれた。

これまでの会議では、主としてダム、道路、トンネル等の地質上の問題点あるいは地質調査上の問題点について研究発表や意見交換を行ない、またボーリング共通仕様書(案)についての討議を行ってきた。今回はトンネルの地質上の問題点、新期堆積物のダム基礎岩盤としての問題点について意見を交換し、さらにトンネル技術基準の改定案の素案の地質関連について討議を行った。

トンネルの地質上の問題点としては設計・施工に関連した地質調査のあり方、すなわちトンネル位置で地質情報をいかに正確につかみ、かつ評価するかが論及された。また軟弱岩がトンネルに及ぼす盤圧と凍害の問題について多くの実測データをもとにした研究が発表され、今後のトンネルの設計施工に貴重なデータをもたらした。

ダムの問題では最近とくに増加してきた、第三紀層をダム基礎岩盤とする場合の地質調査上の問題点、ダム設計上の考え方、あるいはグラウト計画上での考え方など、今までダムでは余り取扱わなかった軟岩領域における問題点について実例をまじえて論及された。さらにこの問題に関連し、インドネシアのウリンギダムの地質調査やグラウト計画について現地で技術指導を行なった結果についてスライドをまじえて報告された。

トンネルの技術基準については道路協会から提案された素案の地質関連に関して環境問題、気象調査、資料の保存等も含めて総合的に討議し、貴重な意見が出された。これらの意見はトンネル技術基準やトンネル便覧に反映されることであろう。

ここに会議における資料や討議内容等を中心とした会議の議事録をまとめて、今後の参考に供しようとするものである。

昭和49年2月

建設省土木研究所

地質研究室長

岡本隆一

目 次

ま え が き	1
第7回地質担当者会議議事録	5
日 時	5
場 所	5
出席者	5
開会のあいさつ	7
技術参事官ごあいさつ	8
土木研究所長ごあいさつ	10
閉会のごあいさつ	11
議事および参考資料	
1. トンネル工事と地質	13
同質疑応答	20
2. トンネル内の軟弱岩の凍害と盤圧	23
同質疑応答	45
3. トンネルの技術基準	47
同質疑応答	50
資料-1 トンネル技術基準(案)	54
資料-2 道路技術基準(昭37.3)第6編	59
資料-3 トンネル便覧小委員会名簿	62
4. 第三紀層におけるダム の地質的問題	63
5. インドネシア, ウリンギダムの地質調査と基礎処理について	81
同質疑応答	88

第 7 回地質担当者会議議事録

日 時 昭和 48 年 12 月 7 日 (金) 10:00~17:00
場 所 虎ノ門共済会館
出 席 者

第 7 回地質担当者会議出席者

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
本 省	宮 崎 明	大臣官房技術参事官
	甲 斐 忠 義	河川局治水課
	長 門 明	河川局開発課企画調整係長
	貞 包 秀 浩	河川局河川計画課調査第一係長
	笠 井 益 男	道路局企画課
	長谷川 淳	"
	菊 地 賢 三	有料道路課技術係長
	中 原 繁 夫	" 研修員
	地 理 院	江 川 良 武 地理調査部地理第 1 課地理第 1 係長
	斎 藤 祥	" 地理第 2 課長補佐
東 北 地 建	野 村 和 正	道路計画課長補佐
	山 本 重 義	道路工事課長補佐
	市 川 慧	河川計画課専門官
	大 島 善三郎	郡山国道工事調査課長
関 東 地 建	白 浜 正 芳	技術管理課長
北 陸 地 建	榎 本 真	企画部専門官
	丸 山 幹 雄	道路計画課計画係長
	中 川 健太郎	高田工事調査課道路調査係長
中 部 地 建	大 島 福 夫	阿賀川工事開発調査課開発調査係長
	畑 中 博 文	河川計画課専門官
	安 江 和 美	高山国道工事調査課長
	西 田 豊	道路工事課改良第 1 係長
	中 根 長 蔵	河川工事課ダム係長
	井 戸 康 雄	技術管理課基準係長
	鈴 木 達 彦	滋賀国道工事調査課長
近 畿 地 建	河 村 信 武	道路工事課長補佐
	柳 代 頼 正	道路工事課
中 国 地 建		

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
中国地建	昌 子 宏	三次工事江の川総合開発調査出張所技術係長
四国地建	堀 繁	技術管理課長補佐
九州地建	三 浦 三 郎	河川部専門官
	荒 川 森 男	道路工事課長補佐
	田 原 正 清	肝属川工事所長
北海道開発局	星 野 寔	土木試験所地質研究室長
	小 林 雄 一	" 副室長
沖縄開発庁	安孫子 正 幸	北部ダム事務所建設監督官
土 研	長 尾 満	所長
	吉 村 弘	企画部長
	今 西 誠 也	地質化学部長
	飯 田 隆 一	ダム部長
	岡 本 隆 一	地質研究室長
	菅 原 捷	" 主任研究員
	桑 原 啓 三	" "
	神 尾 重 雄	" 研究員
	佐 藤 暁	"
	柴 田 功	ダム構造研究室長
	水 野 光 章	" 研究員
	城 島 誠 之	フィルダム研究室長
	松 本 徳 久	" 研究員
	吉 岡 良 朗	砂防研究室長
	太田原 幸 亘	" 研究員
	中 村 浩	地すべり研究室研究員
	安 江 朝 光	急傾斜地崩壊研究室長
	今 田 徹	トンネル研究室長
	座 親 勝 喜	土質研究室長
	中 村 康 夫	" 研究員
	駒 田 敬 一	基礎研究室長
	酒 井 淳 行	新潟試験所主任研究員
	光 岡 毅	企画課長
	菅 原 政 一	企画調査係長
	神 村 隆 也	企画調査係
	田 中 勇 一	"

開会のあいさつ

土木研究所地質化学部長

今 西 誠 也

皆さん、おはようございます。今日、第7回地質担当者会議を開催するはこびとなりました。昨年度より本省主催で地質担当者会議は開かれ、今回も同じ主旨で本省、地理院、各地建、北海道開発庁、沖縄開発庁、土研の地質関係の皆様にお集りいただきました。この会議は地質職だけの会議ではなくて、建設省で土木の方を含め地質にかかわりあいのある仕事をしている方が一同に集って大いに知識を交換し、また新しい知識を得るところでございます。議題といたしまして新しい技術とか、午後の部の議題で1年半ほどいろいろ検討して出された道路協会のトンネルの技術基準の改定案（建設省依託）がございます。恐らく道路局から各地建へ原案を一部紹介されていると思いますが、その地質上の問題について協議し、現場の方々のご意見を伺いたいと考えています。

今日一日でございますが、各地建の方、地理院、開発庁の方と久しぶりにお会いしたわけですから、知識を交換すると共に皆さんと互に知り会って、そこから新しく情報を交換し合う道をつくっていただきたいと思います。簡単でございますが開会のあいさつとさせていただきます。

技術参事官ごあいさつ

おはようございます。技術参事官の宮崎です。

昨年から技術参事官名で会議を持つようになったわけですが、今、今西部長からごあいさつありましたように、地質屋さんだけの会合というのではなく皆様方のかゝわる仕事の範囲がいわゆる土木地質でございます。地質ばかりからこれからの時代は判定され得ない。いわゆる社会情勢、それから施工の能力といえますか、そういう面からの検討も合わせてやって行かなければならぬと思います。若いうち、あるいは職場、職場のポストの関係でかなり専門的な面での追求の段階と、もう少し全般的に見るいわゆる大局的に見る立場のポストになる段階、それぞれものの考え方がだんだん違ってくると思います。特に私のお願いしたいのは、いわゆる専門的な知識を十分身につけるのは勿論ですが、役所の仕事の流れも覚えて行かなくやならん。それから他の今野の仕事もよく学び取ってゆくということです。それによって皆様方の将来のポスト、地位というものも、だんだん地固めができるというふうに考えています。今後共大いにそういう点ご努力いただきまして、私共は、むしろ積極的に地位の確保、処理の改善ということも十分考えて行きたいと思っていますのでよろしく願います。

話は少し変わりますが、ご承知のようにこういう石油不足の状態となりました。事業の執行が大変ピンチになってきているわけです。最近における工事の入札状況を見ますと、半分位が落札不調ということでございます。これは異常な物価騰貴に対する先行き不安ということで業界側としても何か保証がないと落札できないという不安でございます。それと、もう一つはいわゆる物不足のことでございます。すべての物がスローダウンせざるを得ない状況になってきています。たとえばいいますとセメントの11月の生産は約50万トン減、12月になりますと、85万トンから100万トン位の生産減の見通しでございます。1月・3月の当初の生産予定は約2千万トンでございますけれど、それも400万トンから500万トン近い減産になる見通しでございます。こうなりますと、全体的に見ましていわゆる20%位の生産減ということになるわけでございます。今まで予定された事業も、当然ひきのばさざるを得なくなる。来年度の予算につきましても、かなり公共事業は圧迫されます。とにかく社会保障とか、そういうような当然の経費増が前年度より17%増になっているそうです。従って来年度の予算規模が例えば20%あるいは21~22%としますと、予算増になる分野は5%しかない。それもあり社会福祉的な面の投資というものも考えねばなりませんので、私どもが担当する公共事業費というのは、およそ横ばいするということです。そういうことで私共としますと、むしろこれがいいチャンスといえますか、災を転じて福となすということで、少し今まで馬車馬的に走りすぎて来たそして仕事に追かけられてきた中でここで一つスローダウンされて、ゆっくり仕事にとりかかるといふ平常な状態をむかえるというふうに考えています。そういう事業費の削減の中で私共はむしろ、試験研究費あるいは調査費そういうものは、この際こそ大いに飛躍的にのばしていただき、十分研究し、調査してものごとに取り組むことが必要じゃないかと考えています。そういう意味でこういう調

査費試験研究費の予算の確保につきましては、全省をあげて努力すべきだという声が非常に高まっておりますので、むしろ腰をおちつけてこういう仕事にとりくむというチャンスを迎えたということで、私共はかえって喜んでいいチャンスだと、このように考えています。

非常な厳しい試練、いわゆる社会全体に悪性インフレが進行する中で失業者あるいは倒産、そういうものがかなり増えてくる見通しでございます。恐らくそういう不安といいますか混乱状態がかなり続いて物不足の中での安定状態というのをとりもどすのも来年の秋になるのか、あるいは年を越すのかその辺見通しわかりませんが、かなり不安定な状態が出現すると思いますけれど、私共は私共なりに、ひとつ本来の仕事に取り組んで行くように皆様方をお願いする次第であります。大変雑ばくな話で恐縮でございますが、こういう会議を通じまして皆様のコミュニケーションを高め、また、それぞれの知識の導入ということも合せて皆様の質の向上ということになってくれれば非常にありがたいと思います。

簡単でございますがこれで終わります。

土木研究所所長ごあいさつ

本日は地質担当者会議として、全国より関係の皆様方多数参加して頂いて、当面する問題あるいは現場で行なっている仕事について討議し、種々の問題について討論する機会を持ったことはまことに有意義であります。

昨年もお話しましたが、我々の仕事は土のことを離れて考えるわけにはいかないので、土木の人は地質のことを、地質の人は土木のことを互に足らざるところを補うようにして仕事をしていくようにしなければならないと思います。今日でも土や地質については解らない所が多いので皆で十分討議し、ポテンシャルを上げるよう努力しなければならないと考えます。未知の分野をやるのは難しいでしょうが、経験を積みながら新しいことを解明していかなければなりません。その意味で今日のような会議で互に勉強していくことは大変良いことだと思います。

皆さんも御承知のように唯今は大変な時期を迎えています。おそらく来年度の事業規模は縮少すると聞いています。こんな時期こそ私は逆に、現場の方も研究所の方もじっくり腰を落ちつけてやる良い機会だと思います。広島での技術研究会でもお話しましたが、仕事、仕事と忙しくやっていると腰が落ちつかなく、高度経済成長を背景にした公共事業を担当するわれわれは、いつも仕事に追いまぐられていましたが、このようなエネルギー危機の時代には時間的余裕を持てると思うので、今こそ問題になっているもの、問題になりそうなものを時間をかけて検討していくべきではないかと考えています。来年度の予算はどうなるか判りませんが、少なくともこのような基本的な考え方で、ゆとりを持って仕事をしていくようにすれば、今回のアクシデントは決して無駄ではないと思います。

皆様方もそれぞれの職場でいろいろ苦勞されていると思いますが、今後とも連絡を密にして、建設行政をやっていく担い手としてさらに尽力して頂きたいと思います。研究所としても現場に対応できるような態勢と研究内容を持つように努力を続けたいと思います。そしてお互に今後以上に連絡を密にして共に努力していくようお願いして私の挨拶に代えさせていただきます。

閉会のごあいさつ

土木研究所 企画部長

吉 村 弘

本日は朝早くから御熱心な討議をやって頂き、地質担当者会議の事務局としても嬉しく思っています。

全国より地質担当の方が一同に会して熱心な討議、午後早々にはトンネルの技術基準の討議など有意義なことだと思います。

最近ダムの数増加、トンネル施工箇所の困難さの増大などにより地質的検討が重要度を増してきています。土研でも関係者は一生懸命やっておりますが、工事関係者の協力なしには仕事が上手くいかないので、そういう意味でも会議で討議していくことは有意義だと思います。

地質関係の仕事は増え、また難かしくなっていて重要視されてきています。49年の組織要求として土研で地質官のポストを要求しています。このように一層土研でも地質関係を充実していこうと思っていますので、皆様の御支援をお願いします。

それではこれで第7回地質担当者会議を終了します。

1. トンネル工事と地質

土木研究所トンネル研究室

室長 今田 徹

本論に入る前に、最近トンネルの需要が急増しているの、まずこの点について紹介することも適当であろうと考えられる。

日本の国土の65%は山岳地帯で占められており、多くの都市は、これ等の山岳地帯からの堆積物で形成された狭少な平野等に立地している関係から、都市相互間は山地で分断され必然的にトンネルが多く建設される条件にある。今までの道路整備は日本列島を縦方向に結ぶ縦貫線を中心として進められて来たが、最近では日本列島を横断する路線の整備が進められるようになり、トンネルの建設される機会が多くなっている。

このような位置的な原因の他に、トンネルが多くなった原因として、道路の規格が高くなったことがあげられる。たとえば、道路の種別毎に全延長に占めるトンネルの割合を調べると表-1のようになり、道路規格が上がるに従ってトンネルの建設される機会が増大することが明らかである。

表-1 トンネルの全延長に占める割合

高速自動車国道	2.77%
一般国道	0.82
都道府県道	0.16
市町村道	0.01

また、最近の問題として、公害の問題と道路の安全の確保の問題がある。都市における幹線道路は騒音の発生を防ぐ目的から、半地下式、或は、トンネル形式によらざるを得ない場合が増大して来るものと考えられ、土被りの浅いトンネルが都市およびその周辺で増大する原因となる。

道路の安全の確保の問題では、山間部において、のり面崩壊、落石等により多くの問題を起しており、切り取りの方が安価であるという理由で、無理して明りとするような時代でなくなったといふことができ、既設の路線においても、防災トンネルというような名称で多くのトンネルが計画されるような状況にある。また、自然保護の面からもトンネルとする要請は多くなるものと考えられる。

このようなことからトンネルは今後ますます建設される方向にあり、その重要性は増大しているといえるが、具体的にどれだけのトンネルが計画されているかを、道路整備7次5ヶ年計画について調べると表-2のようになり、合計で約600Kmとなる。今後5年間

表-2 現在計画されているトンネルの延長

種 別	トンネル延長	備 考
高速道路	220 Km	施工命令の出ているもののみ
国道(直轄)	202	
国道(補助)	156	
その他	23	

ぐらいに600Km以上のトンネルを施工しなければならない訳であるが、この量がいかに大きいものであるかは、昭和46年3月現在の道路トンネルの総延長が575Kmであることを考えれば容易に理解できる。道路トンネルについて状況を述べたが、鉄道、上下水道、その他のトンネルについてもほぼ似たような状況である。

このように工事が増大しているトンネルではあるが、その工学的な水準は他の構造物に比較すると低い位置にとどまっているというのが現実であろうと考えられる。すなわち、トンネルの分野においてはいまだに経験が技術的判断のよりどころとなっており、定量的な取扱いで構要素素、

或は、施工法を決定する段階に至っていない。この主要な原因は、トンネルを施工する地点の条件の把握が極めて困難であるということにある。すべての土木工事において、構造物が作られる地点の条件を把握することは必要不可欠であり、各種の調査試験が行なわれて設計、施工の条件が確定されている。トンネルにおいてもこのことは同じであるが、トンネルではその精度などの点において特別の問題を有している。

トンネル以外の構造物では、地質と直接関係するその構造物の面的広がりには限られているため、比較的精密な費用をかけた調査を実施することが可能である。また、地質条件として設計上最も必要とするデータは、構造物の基礎として関係するものが殆んどであり、工学的特性としても支持力、外力に対する変形特性など比較的単純なものである。

一方、トンネルの場合は、地盤そのものがトンネルの構造の主体であり、また、線的な構造物であるため調査する範囲が面的に広い広がりを持ち、しかも、土破りが深いこともあって精密な調査を経済的に合理的な範囲において実施することは極めて困難である。地盤そのものがトンネルの構造体であるということは、必要とする調査精度は基礎として地盤を使用する一般の構造物とは比較にならない程の地質に関する情報が必要であることを意味する。このことは、橋梁等において使用するコンクリート、鋼材などの性質がいかに精密に又正確に把握されているかを考えれば容易に理解できる。

このようにトンネルにおいては、極めて高い調査精度を必要とする反面、十分な費用をかけることが経済的に成立する範囲でできないという二重のハンディキャップがあるということができる。従って、在来の経験・実績による判断が設計・施工の上で重要な役割を有しているのが現状である。そして、最も重要であるべき地質条件の把握は、'非常に良い'、'良い'、'普通'、'悪い'、'非常に悪い'、あるいは、A、B、C、D、E、といった程度の総合的とらえ方がされるのが一般であり、物理的定数がいくらであるからどうなるという議論が行なわれるのは稀である。

このような現状から抜け出すためには、今まで述べたような問題を解決しなければならない訳であるが、これは極めて困難なことであって、実用的な意味では、これと直正面から取組むよりも、トンネルの実情を考慮して何が現在最も必要であるかを明らかにし、目標をしぼるのが適当であると考えられる。

トンネルの施工上必要なデーターは、その要求する性質によって2つに分けることができる。

まず第1は掘削方式を決めるためのデーター、すなわち、掘削機械と掘削方法に影響を与える地質条件であり、第2は、トンネル空間を維持するためのデーター、すなわち、トンネル周辺の地山材料の安定性と強度および支保工・覆工の設計に必要とするものである。

掘削の方法を決めるために必要な資料としては、まず第1に施工法を決定するために地山の自立性が問題となる。地山の自立性は、一度に掘削できる切端の大きさと無支保で放置する時間と密接な関係があり、どのくらいの掘削面積と時間を許容できるかによって、全断面掘削が可能であるか否かなど基本とする掘削方式が決定される。すなわち、全断面工法、上部半断面工法、リングカット工法、さらに、多段導坑方式などへと切端の自立時間の減少に伴って掘削断面を小さ

くした工法が採用される。自立性に関連する地質要素は地山の強度、作用している地山応力が主なものであるが、これに大きな影響を与える要素として湧水がある。湧水は自立性に影響を与えるのみでなく、トンネルの施工全搬にわたって大きな影響を与え、その状況を把握することは非常に重要である。

掘削機械に関するものとしては、まず岩を穿孔する場合の穿孔のしやすさ 'drillability' が問題になる。これに関しては相当の試験調査が行なわれているが、実際の現場で大きな問題となることは少なくないようである。最近では機械掘削、たとえば、トンネルボーリングマシンやロードヘッダーなどの機械で発破を使用せずにトンネルを掘削することが多くなっており、機械の岩に対する適応性はだんだん地質調査において重要性が高くなってゆくものと考えられる。特に、ヘッダー式の部分掘削機は、今後盛んに利用される傾向にある。

次に、トンネル空間を維持するために必要な構造物の設計に関するデータでは、まず、周辺地山がトンネル掘削による応力の再配分に耐え得るかどうかが、支保工、覆工にどれだけの荷重が作用するかを知る必要がある。また、支保工や覆工の基礎として地山がどの程度の地耐力を発揮することができるかも大きな問題である。その他、地山が時間の経過とともに変質しないかどうかなどの岩の特性の変化も地質によっては重要な事項である。

以上は、トンネルの設計・施工上知る必要のある項目を並べたものであるが、具体的に岩の物理的な性質、たとえば、圧縮強度、硬度、あるいは地山としての不連続性などの性質とどのような関係にあるのかを見いだすことは一般的に容易なことではない。

トンネルの掘削される地山が岩に不連続な面を持っていたとしても、トンネルの大きさに比較して均質と見なすことができるような場合は、これ等に対するアプローチもできるものと考えられるが、多くの場合、地山の不連続性は、トンネルの大きさにくらべ無視できるようなものではなく、不連続面の位置、性質を知ることが実際には重要である。

たとえば、同じ切端であっても上半は軟岩で下半断面は硬岩でなるなどということは良く起ることであり、実際のトンネルの施工にあたってはこのような局所的な地山の変化を知ることがより必要である。トンネルが堅岩中であってもすぐ上部に軟弱層あるいは剝離しやすい層が存在していたため落盤の原因となることがある。

すなわち、トンネル工事においては地質の変化を的確にとらえることがまず必要であり、そのとらえ方は地質の局所的な変化をも知ることができるようなものであることが望ましい。ここで必要とするような精度の情報を得るためには、少なくともボーリング程度以上の調査が必要と考えられる。トンネル掘削前の調査において、トンネル全線にわたって、このような調査を実施することは一般に非常に困難であることから、トンネルの掘削をしながら前方および周辺の地質の確認をするという方法を取らざるを得ない。確認の方法には、水平ボーリングによる方法、底設導坑やパイロットトンネルによる方法などがある。水平ボーリングによる方法は、一般の地質の部分についてはボーリングの手法それ自体としては特に問題はないが、掘削のサイクルを妨げないようしながら、切端から行なうのは困難であり、通常は横に導坑を設けて行なうか、或は、休日を利用して切端から行なうなどの方法が取られるのが普通である。このような形で行なうと掘進

長の大きな高能率の機械が必要となり、すべてのトンネルでこれを実施することは現状では問題があるが、この種の機械が普及することが望まれる。どの程度前方の情報を得ることが必要であるかは、種々問題のあるところであるが、通常50～20m程度のカバーロックを残しておけば、極端な地質の変化にも対処できるものと考えられる。トンネルで一番問題になる破碎帯は、ボーリングにおいても問題が生じる部分であり、破碎帯を能率良く掘進できるようにするための手法の検討が必要であろうと考えられる。ボーリングはコアボーリングとすることが望ましいと考えられるが、必ずしもコアを採取する必要はなく、トリコンビットやダウンザホールドリルなども使用されており、現在では能率の点からノンコアの機械が主流となってきているようである。これ等は、ビット荷重、トルク、掘進速度およびスライムなどから地質の状況を判断するもので、一応必要な情報は得られるといわれている。しかし、将来はコアを採取できる高能率の機械の開発や孔壁の利用など技術が進歩すればより高い精度の情報が得られるものと考えられ、今後の発展が期待される。図-1はリバースサーキュレーションを利用した連続コア採取機の例である。

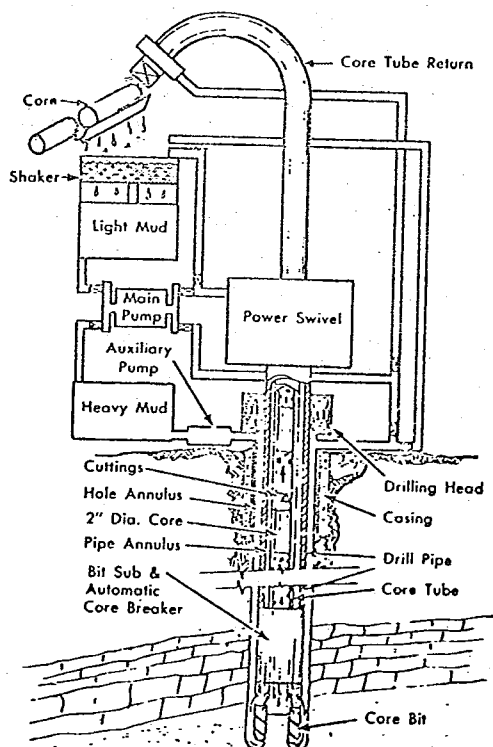


図-1 リバースサーキュレーションによる連続コア採取
(Homer I. Henderson, 11th Symposium on
Exploration Drilling at Colorado School of Mines)

現在のトンネルの施工技術では、地質条件を適確に把握すれば、段取りを早くすることによって、非常に条件の悪いところでも克服することができる。水平ボーリング等により得られる情報は、まず第1に工法の適応性の検討に用いられる訳であるが、この段階で必要とする情報の程度はどの程度のものであるかを考えると、そう高いものは必要としないように考えられる。何故なら、対処しうる工法の種類は限られており、その選択に使用されるものであるから、あまり細かいことは問題とならない。従って、ノンコアボーリングや目視による観察の程度で判断できているものと考えられる。

しかし、支保工、覆工の形式や量を決めるためには、先に述べたような地質の工学的性質を知ることが必要であり、現在の目視を中心とした地質の判定では十分なものと言えない。従って、支保工や覆工の形式や量と関係する地質の工学的特性を地質のトンネル周辺の局部的分布とともにとらえることが必要である。しかし、現在の水準ではこの要求を満足することはむずかしく、経験により問題を処理しているのが現状である。トンネル構造の合理化のためにはどうしてもこの問題は解決しなければならず、経験による判断から脱脚しなければならない。最終的には地山の工学的定数からトンネル構造の設計を行なうという手法に持って行く必要があるにしても、これが非常にむづかしいとすれば、もう1つの方法として現場において、対象とする構造物の挙動の観測を強化することが考えられる。たとえば、鋼アーチ支保工に作用する荷重を測定し、その結果から覆工の設計を行なったり、或は、補強の必要性を判断し安全性の管理を行なうといったような手法が考えられる。しかし、ここでも実際には問題がある。それは経済性の問題であり、一般にこれ等の観測、測定には多くの費用と時間を要することである。従って、現在では特に問題のある箇所についてのみ行なわれているのが普通である。地質が一樣であれば1箇所あたりの経費がかかってもその結果を有効に利用することができるが、地質の変化が激しい場合には多数の測点を必要とし経済性の点で成り立たなくなる。安価でしかも有用な結果の得られる測定法の開発と測定結果の応用の研究がトンネル技術の発達のために重要である。

以上、トンネルと地質との関連において問題となる事項を述べたが、トンネルほど地質と密接な関係のある構造物はない。従って、地質状況の把握の程度がトンネル工事の工法決定やその構造設計の精度に直接的影響を与える。地質調査の精度は十分高いものが要求される。しかし、現実に得られる情報は量・質ともに少なく、要求と現実との差が大きすぎる。地質と関係するトンネルの問題点をまとめると次のようになると考えられる。

- (1) トンネルの地質調査はルート選定のための調査、設計施工のための調査に分けることができるが、トンネル着工前の調査では設計、施工に十分な資料は経済的に成立する範囲で得られない。
- (2) 従って、設計、施工のために必要な資料はトンネル着工後の調査により得る必要があるが、現状ではこの調査はあまり行なわれておらず問題である。調査の主体は着工後の調査であるべきである。
- (3) トンネルの地質調査においては、何が必要なデータであるか必ずしも明らかにされておらず、調査手法項目を明らかにする必要がある。

(4) この際実用的な意味で、調査結果がどのように利用できるかを考慮して、いたずらに項目が多かったり、必要以上の精度を要求するようなことのないようにし、簡易な指標を見いだすことが必要である。

(5) 現在地質の把握は総括的に行なわれているが、目的別に把握するようにする必要がある。

(6) 現在の調査では、地質の変化を線的にとらえているが、これを立体的にとらえることができるような手法が必要と考えられる。

トンネル工事における困難さの主要な原因は、地質が変化することである。地質が変化しなければ、現在の技術で十分精度の高い調査を行なうことができ、その結果を用いて合理的で経済的なトンネルの設計、施工が可能である。わが国においては、地質は極めて複雑であり、地質の変化は大巾で、予想していなかったような地質に遭遇し工事の困難をきたすことがしばしばある。従って、トンネル工事においては、地質の変化をいかにして早く、的確にとらえるかがまず必要であり、各々の地質とトンネル構造との関連は極めて重要ではあるが、実的な意味では2次のものであると考えられる。すなわち、現在の段階は、後者の問題は経験による定性的な把握でも処理することが可能であるような水準であるといえるであろう。しかし、トンネルの合理的な設計・施工のためにはこの問題はどうしても明らかにしなければならない。

トンネル工事をより科学的なものとするための道は極めて遠く、大きな努力が要求される。

〔質疑応答〕

大島（北陸）：うちのダムの場合、とりつけ道路の調査の時に問題になったのですが、トンネルの調査で水平ボーリングを入れました。この時、相当崖錐中を掘り進んだのですが、86とか105mmで切って行っても相当穴曲りを生じます。とらえた地質境界面の位置を確実に押えるため、孔曲り測定をしたいのですが、崖錐中ですとケーシングをはずして孔曲り測定することは、孔壁崩壊を引き起こすことが予想されます。

お伺いしたいのは、ケーシングパイプをはずさないで、孔曲り測定ができないか、ということなのですが。

今西（土研）：私は孔径によるんじゃないかと思いますが、孔径が大きければできるはずだと思います。

大島：チャート紙をうつ村田式でやられているようですが、磁場の関係があつてケーシングを入れるとどうしても動かないという話を聞いていますが。

今西：磁場を使わない方式も今たしかあるはずですが、というのは、水平ボーリングなどでも皆測定しています。今ほとんど村田式でやっていることはやっています。大丈夫だと思います。

岡本（土研）：ジャイロですね。

今西：ジャイロです。

大島：水平の場合でも効くわけですか。

岡本：ジャイロで効くと思いますが、部長のおっしゃったように孔径の問題と他に精度の問題があります。ジャイロは度のオーダーでの誤差があります。トンネル位の断面で30から50m先の地質を

知りたい時、1度誤差があればトンネルの断面を飛び出す恐れがあって改良しなければまだそのまま使用できません。数100m掘っても、石油鉦山関係の場合は、1度の誤差があってもかまわないんですが、トンネルにもってくる場合、もっときめの細かい方法がないと具合が悪い。

2. トンネル内の軟弱岩の凍害と盤圧

北海道開発局土木試験所地質研究室

室長 星野 寔

当報告はこれらの試験調査の結果の一部について述べたものである。

- 25 -

上部半断面方式で、札幌側、留萌側の両坑口より掘削を進めている。盤圧は前記、鉍化変質の著しい札幌側坑口付近で、測点18.326km地点で(坑口より156.90m)測定を実施し、尚計測を続行中である。

1 地形および地質概要

本地域を構成する地層は、第三紀の火山岩類と、これを覆う第四紀の未固結堆積物である。

火山岩類は、昆砂別市街から送毛市街にかけて、ほぼ南北に延びる向斜軸を中心に、安山岩質集塊岩が主体を成す。その傾斜は西翼で $10 \sim 20^\circ$ 、東翼で $20 \sim 30^\circ$ 、北方へゆるく沈降する。

安山岩質熔岩及び玄武岩質熔岩は、向斜軸を中心に昆砂別市街から峠にかけてのなだらかな熔岩台地に、輝石安山岩質熔岩・同質集塊岩はさらに「十三曲」へかけて、峠付近の熔岩台地から送毛側への急斜面を形成する。角閃石安山岩質熔岩・同質集塊岩は本地域の基盤岩で最も広く分布し、計画路線の約70%の面積を占める。

上記岩類の新鮮なものは、いずれも堅硬緻密であるが、熔岩独特の柱～塊状の割れ目が発達し、輝石安山岩類及び角閃石安山岩類の一部は珪化、鉍化作用により白色～赤褐色に変質し、粘土化の進んだものも見受けられる。

本地域の地形的特徴は、トンネル北側の測点19.000km～19.500km間の水系異常、送毛沢を中心とする直線的沢地形や海岸線の入江の発達である。

水系異常は単調な熔岩台地であって、離れ山的独立山体、鞍部を形成し、異常な地形変化地となっている。

トンネル内の地質は南坑、北坑ともに新第三紀中新世、浜益層群中の含角閃石両輝石安山岩よりなる。産状は熔岩流とみられる。

岩石は熱水変質及び深部風化をうけている。

熱水変質は鉍化作用に伴うもので、明瞭な果帯配列を示し、局所的な構造支配をうけている。

トンネル南側は変質帯の内帯に相当し、絹雲母化、珪化、粘土化をうけた軟弱な岩石となり、一方北側は外帯に相当し、緑泥石、緑れん石化帯の硬い岩石となっている。

1-1 岩石

南坑、北坑ともに新第三紀中新世の浜益層群中の含角閃石両輝石安山岩よりなる。坑内観察結果だけでは、角閃石が肉眼で見れるものと、見れないものと、そして粘土化灰色の3種類に分けられるが、検鏡の結果、この差異は変質差によるもので、岩石の組織、鉱物組成、斜長石のAn成分からみて同一、しかも単一岩石であるとみられる。

岩石は肉眼的には変質によって次のような様相を呈する。

- 1) 灰黒色～帯紫灰色(緑泥石・緑れん石化帯～未変質帯)
- 2) 黒色(緑泥石、炭酸塩鉍物化帯)

3) 灰白色(珪化, 絹雲母化, マグネシア緑泥石化帯)

又岩石は全体として斑状構造を示し, 石基は一般にガラス質で岩質は緻密なものからルーズなものまで変化する。ガラス質部分の水平にのびるパッチの介在, 岩相変化の状況からみて, この岩石は熔岩流とみられる。

岩石薄片検鏡結果によると, 斑晶は短柱状の斜長石, 長柱状の角閃石, 普通輝石, シン輝石からなり, 少量の石英を伴う。

石基は斜長石微晶及びガラスにより填間組織を示す。斜長石は An 成分の測定からほぼ中性長石に相当する。鉱物組成からみて成分的には中性ないし酸性の安山岩に相当するであろう。

1-2 構造

岩石の構造はほぼ平坦な熔岩流で, この中の走向 $N 20^{\circ} \sim 25^{\circ} W$, 傾斜 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} S$, 及び走向 $N 30^{\circ} E$, 傾斜 $35^{\circ} N$ 等のゆるい傾斜の断層, 破碎帯が鈰北変質帯の構造規制に主要な役割を果している。一般に断層は走向 NW 系の物が卓越し全断層中約 50% を占め, 又節理系は走向 NE 系, 急傾斜の物が多く, 約 50% を占める。

1-3 変質

岩石は鈰化による熱水変質と鈰化帯特有の深部風化をうけている。熱水変質はその鉱物組合せ, それらの累帯配列からみて鈰化作用に伴われるものである。

変質帯の坑内での観察結果と, 岩石薄片検鏡結果, 及び X 線回析によるチェックはそれぞれほぼ一致し, これらから変質帯について次のことが言える。(付図-1 参照)

① 変質帯は次の 3 つに分帯できる。

I 緑泥石, 緑れん石化帯	(外帯)	(弱変質)	(早期)
II 緑泥石, 炭酸塩鈰物化帯	↓	↓	↓
III 珪化, 絹雲母化, Mg 緑泥石化帯	(内帯)	(強変質)	(晩期)

② これらの変質帯は, トンネルを通る断面線上では南を内帯, 北を外帯として累帯配列を示す。

③ これらの変質は通常浅熱水性の鈰床に見られる変質の一つのパターンに一致し, 鈰化作用に伴う変質である。

変質の状況は

I) 帯

鏡下では主に斜長石のまわり, 格子, 双晶沿いに曹長石化と弱い黄鉄鈰化が認められるだけであるが, 野外では大きな割目沿いに緑泥石, 緑れん石, 黄鉄鈰の細脈が発達。

II) 帯

鏡下では I) 帯に重複して斑晶のほとんどが炭酸塩鈰化, 一部緑泥石化をうけ, ところにより方解石の細脈が発達。石基の一部は未変質。

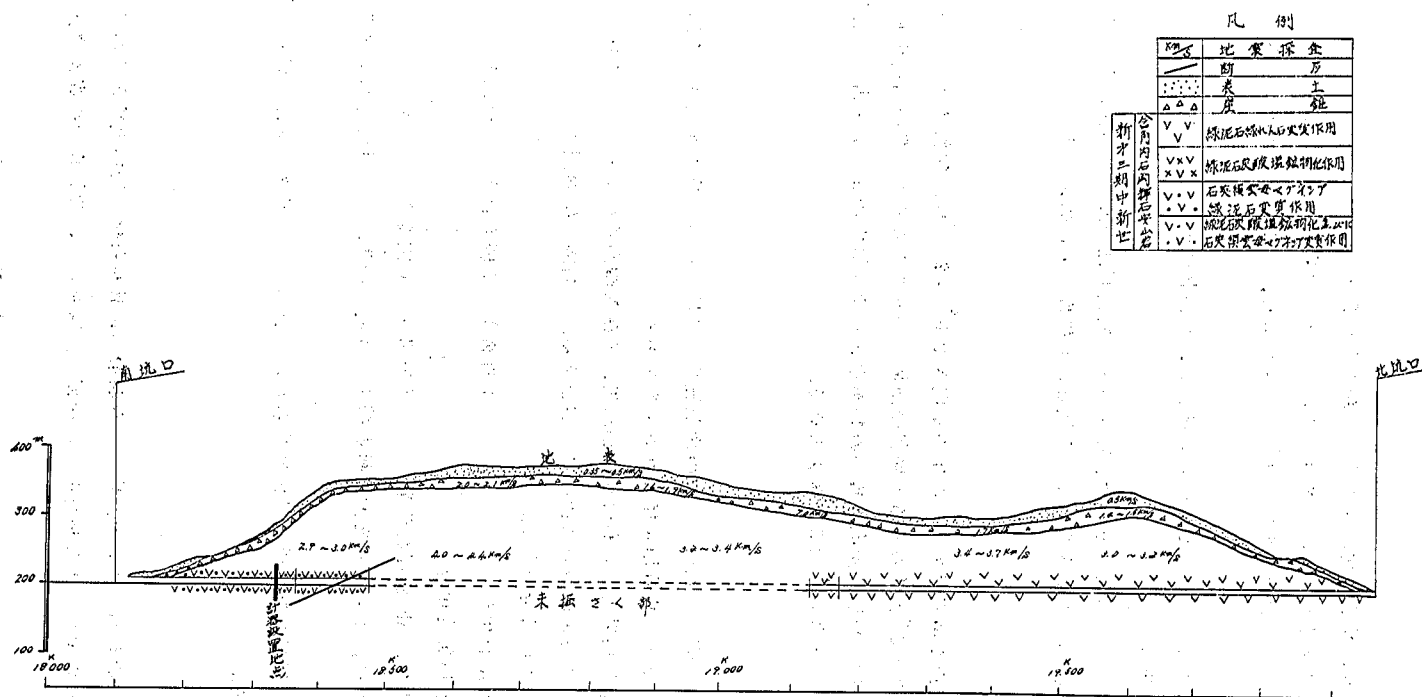


図 - 1 送毛トンネル内母岩の変質模式断面図

Ⅲ) 帯

鏡下では原石の組織を一部残すが全面変質。珪化、絹雲母化、炭酸塩鉱物化、Mg 緑泥石化及び黄鉄鉱鉱化をうけている。

鉱化作用は黄鉄鉱鉱染にとどまり、この濃集部は上記のⅢ帯に集中するが、その他の金属鉱物、また脈石に相当するものも見られず、本来Ⅲ帯は鉱床形成の地質的な場であるが、定性的にも鉱床を形成するに至っていない。

黄鉄鉱には2種類あり、細粒黄灰色と、メルニコバイト (Melnikovite) 質の微粒黒のものとなり、後者は上記Ⅲ帯に集中し鉱化変質最末期の産物である。

以上のことから、本トンネル周辺に関する限り、鉱化作用はその過程のなかで中断、またはほぼ不毛低温の状態で終わったと見ることができる。

従って本トンネル周辺に関する限り、鉱化作用は鉱床の形成にまで至らなかったのではないかと考察される。

地質構造と鉱化変質との関係は、

I), II) の変質帯は広域変質でトンネル内の地質だけでは構造との関係は不明である。この変質作用は鉱化作用に関係しない変質作用と一般には理解されていたが、近年では特に、斑岩銅鉱床などの場合、最外縁部の鉱化作用に係る変質作用と見なす場合が多い。

Ⅲの変質帯 (鉱化帯) はゆるい傾斜の断層破碎帯によって構造支配をうけている。主なものは

18 k 4 7 5 附近 N 30° E, 35° N 破さい帯の中だけⅢ帯

18 k 4 4 0 附近 N 20° W, 30° S 上盤Ⅲ帯, 下盤Ⅱ帯, 下盤に一部Ⅲ帯くい込む

18 k 2 3 0 附近 N 25° W, 40° S 破さい帯中強粘土化, 黄鉄鉱に富む

これらのゆるい傾斜の断層破さい帯は変質Ⅲ帯及び鉱化作用に主導的な役目をはたしていた割目であろう。坑内でみられる風化による変質は、主に割目沿いの深部風化が発達し、ところにより定性的には地表から深度150mに至るまで風化が及んでいる。

熱水変質によるモンモリロナイト化、黄鉄鉱の酸化による褐鉄鉱化、地下水、酸性溶液による粘土化がみられ、これらは鉱化変質帯に普通にみることのできる特有の現象である。

恐らく鉱化変質の場として好ましい割目の発達、変質による母岩の空隙率の増加、地下水網の発達、黄鉄鉱の酸化による酸性溶液の生成等、鉱化帯特有の上記の現象が風化帯の生成に加速性を与えているものと考察される。

2 試験及び測定の詳細

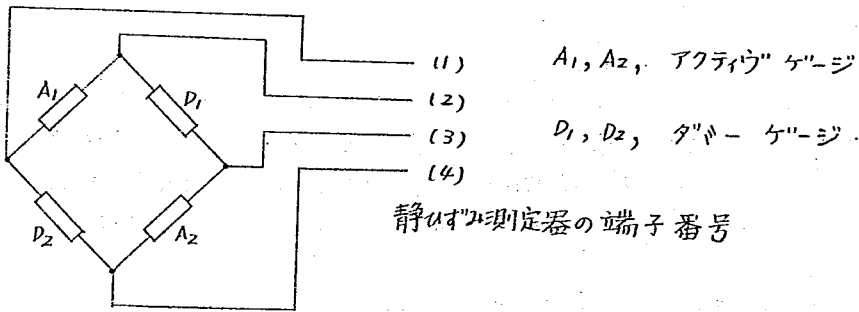
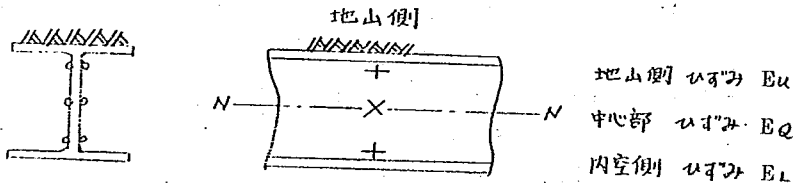
従来トンネル土圧の測定方法は、土圧計や荷重計を用いて地山圧力を直接測定する方法が行われていた。これに対して、支保工に作用する土圧を、支保工の三断面力 (軸力、せん断力、曲げモーメント) により、土圧合力の大きさと作用位置を算出する方法とがある。

送毛トンネルでは、支保工アーチ部にひずみゲージを貼付け三断面力を測定し、両脚部にロー

ドセルを設置し反力を測定する方法を実施した。

ひずみゲージによる測定原理と方法については次の通りである。

2-1 測定原理と方法



4枚ゲージ法の結線

まず測定原理を述べる前に地山側ひずみを E_u , 内空側ひずみを E_L , 中心部ひずみを E_Q と表示する。(上図参照)

さて、 E_u, E_Q, E_L を求めるために、支保工の表裏に直交2軸ゲージを貼り、表側と裏側の4枚ゲージにてホイートストーンブリッジを構成し4枚ゲージ法で測定した。4枚ゲージ法を採用した理由は、出力ひずみが大きく得られることと、温度補償が容易である。

このような4枚ゲージ法によって静ひずみ測定器で測定された値を、指示ひずみ E' とすると、次の関係が成立つ。

指示ひずみ $E' = 4$ 枚ゲージのおおのの和のひずみ (2-1)
例として E_u を求める場合を考えてみると

$$E'u = E_u + \nu E_u + E_u + \nu E_u = 2(1 + \nu) E_u$$

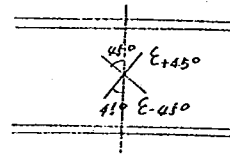
$$\therefore E_u = \frac{E'u}{2(1 + \nu)} \quad \text{..... (2-2)}$$

ν = ポアソン比

として求まる。 E_L も同様にして求めることができる。

セン断ひずみの場合は、図の様なひずみゲージの貼付け方法であり表裏4枚ブリッジを組み測定するから、指示ひずみは、

$$\begin{aligned}
 E_Q' &= (E_{+45^\circ} - E_{-45^\circ}) \\
 &\quad + (E_{+45^\circ} - E_{-45^\circ}) \\
 &= 2 E_Q \\
 \therefore E_Q &= \frac{1}{2} E_Q' \dots\dots\dots (2-3)
 \end{aligned}$$



としてせん断ひずみを求めることができる。

以上の様にして E_u, E_L, E_Q を測定することができる。

せん断ひずみを求めるゲージの位置

測定方法は次に示す測定ブロック図により測定する。尚、計器の取付は図-2に示す通りである。

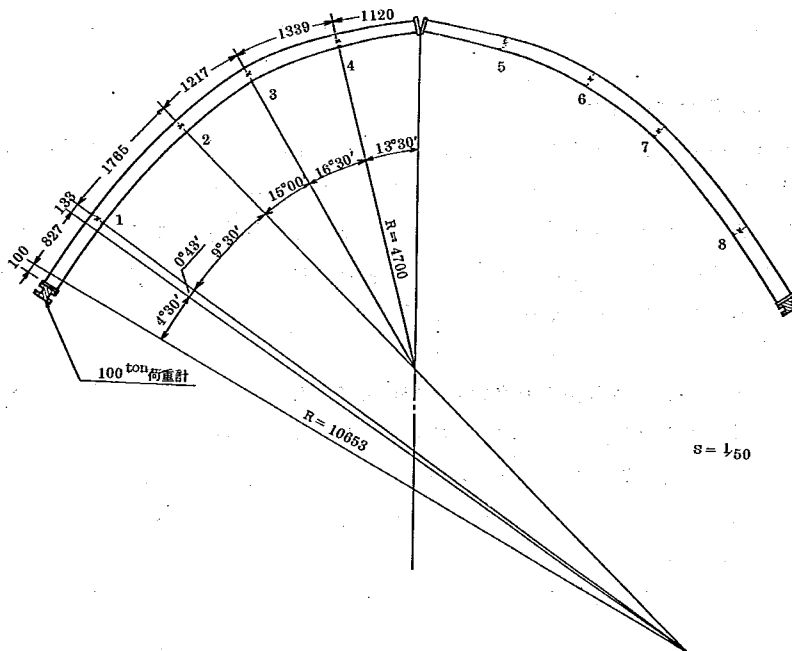
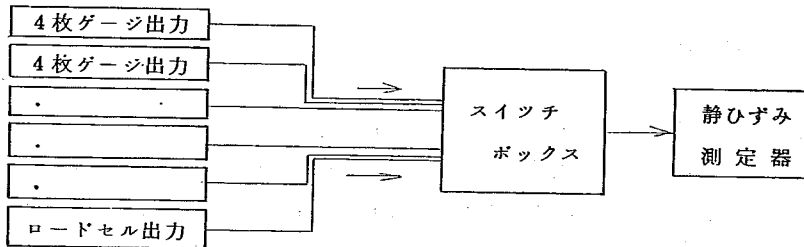


図-2 支保工ゲージ測定位置

3 測定結果とその考察

送毛トンネルの計器設置は、昭和48年2月23日に実施した。その後47年度分工事は、同年2月26日をもって一時中止し、同年5月13日に工事を再開している。従って計器設置地点から約6m掘進し、その後約2ヶ月半放置し、その後18k332m地点から掘削を再開している。

その間、雪害による計測不能あるいは、ケーブル切断の事故があったため、ひずみゲージについては5月12日を基準にとり、その後約1ヶ月間の測定データについて解析した。

3-1 三断面力の計算結果

図-3～5に三断面力の基準日より、3日後、7日後、30日後の分布図を示す。軸力分布図においては順次その軸力は増加の傾向を示すが、 σ_4 だけが時間の経過と共に減少している。この原因としては、①支保工材の形状の不均一、②施工後の管理不備、③局所的な力の作用、の三つが考えられるが、ゲージ、地山の状況から①が主たる原因と考えられる。

3-2 土圧合力とその作用位置の計算結果

図-6に土圧合力の大きさと、方向のグラフを示す。

これによると、土圧合力は接線方向の成分 S_i に大きく作用されていることがわかる。

3-3 支保工脚部反力測定結果

図-7に支保工脚部反力の変化曲線を示す。これを見ると、掘削後約7日程度で荷重は急激に増加し、掘削を中止すると、荷重の増加も中断し、荷重経日曲線は横ばいとなり、掘削再開によって(5月13日)再び荷重は上昇を続け、計測位置からほぼ4.0m程度(5月28日)掘削位置から離れると再び荷重増加は減少し、ほぼ荷重一経日曲線は横ばいとなる。又この変化曲線が示すように、支保工の左側半分に大きな荷重が作用している。

3-4 ロードセル反力と土圧合力の鉛直成分の総和との比較

P_i, S_i を鉛直成分と水平成分に分解し、鉛直成分の総和を求め、ロードセルの値と比較すると図-8のようになる。これを更にわかり易く表示すると図-9のようになる。

荷重の小さい値の時は、ひずみゲージにより求めた荷重の方が大きく、荷重が大きくなるにしたがって両者の値は近づく傾向にある。

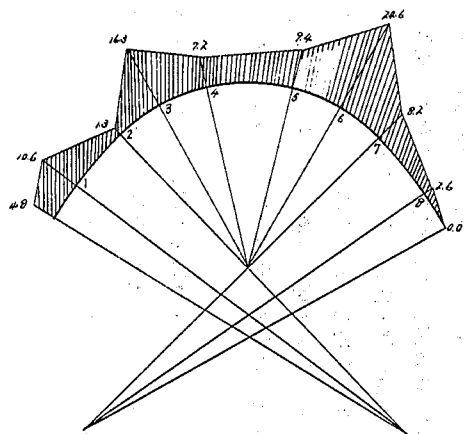
図-10は鉛直土圧の対称性を観察するために、左側支保工鉛直土圧と、右側支保工鉛直土圧をプロットしたものである。これをみてもわかるように、左側支保工に大きく荷重が作用していることがわかり、ロードセルの結果と良く一致している。

4 ま と め

以上当トンネルの地質あるいは地圧測定の結果をまとめ、更に工事に対する問題点を述べると下記の通りである。

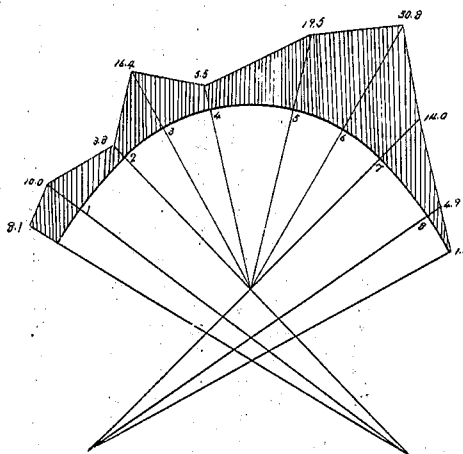
- ① 当トンネルの熱水変質は、金属鉱床生成に伴う変質で走向 $N 20^{\circ} \sim 25^{\circ} W$ 、傾斜 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} S$ 及び $N 30^{\circ} E$ 、 $35^{\circ} N$ のゆるい傾斜の断層が鉱化変質帯の構造規制に主要な役割りを果たしている。
- ② 熱水変質はトンネルを通る断面線上では北部（浜益側）がその外縁で弱変質帯、南部（厚田側）に至るにつれて強変質中心部と、北から南に向けて、普通鉱床地域に認められると同じパターンの、外帯から内帯への明瞭な果帯構造を示す。
つまり外帯から内帯に向けて
 - イ 緑泥石、緑れん石変質作用
 - ロ 緑泥石炭酸塩鉱物変質作用
 - ハ 石英、絹雲母、マグネシヤ緑泥石変質作用鉱化作用は貧弱で黄鉄鉱化に留まっている。
風化は主に割目沿いの深部風化が発達し、熱水変質によるモンモリロナイト化、黄鉄鉱の酸化による褐鉄鉱化、地下水、酸性溶液による粘土化がみられる。
- ③ 地圧の性状は、上記の地質状況に支配されて、一般の火成岩系岩石のゆるみ荷重にみられる、垂直方向の土荷重よりむしろ土圧合力は接線方向に大きな流動的な土荷重である。この荷重は地山の地形に関係することなく生じている。従ってトンネルにおいては、左右非対称の偏圧荷重の形をとる。
- ④ 地圧は掘削の初期の段階、すなわち掘削後約 10 日間程度で大部分発生し、掘削を中止すると、その後地圧はほとんど増加しない。更にトンネル延長方向に掘削を進めると、地圧は更に増加し、その影響圏も掘削位置 40~45 m 離れると、掘削による荷重の増加はきわめて緩慢になる。
- ⑤ 熱水変質地帯の地圧は、その合力が接線方向に大きいことから、岩石の外観的な強度から推定される支保工より大きい支保工を採用し、支保工間の連結は特に重要となる。
- ⑥ 熱水変質地帯は、その特徴として岩石の強度は急激に変化する。特にこのトンネルでは、測点 18 k 430 m 付近の断層ではその構造上下盤の極端なる岩質の相違から、偏圧が予想されるので留意しなければならない。
- ⑦ 当トンネルのように長大トンネルで、地山の被りの深い所では、当然湧水は予想しなければならない。しかも、熱水変質による岩石の粘土化部にこの湧水が遭遇すると、岩盤の滑動、移動を生ずるから、排水パイロットボーリングによる排水がトンネル施工上その安全性の上からも必要である。

基準日より 3 日後



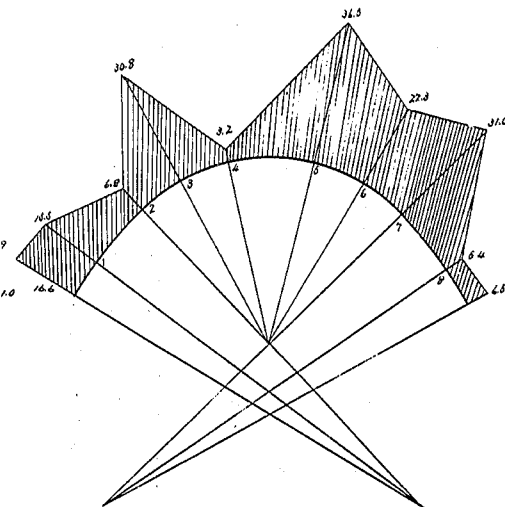
昭和 48 年 5 月 15 日

基準日より 7 日後



5 月 19 日

基準日より 30 日後

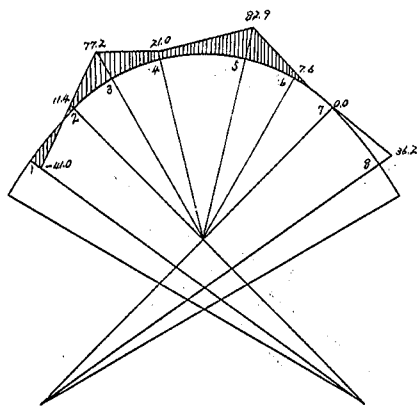


6 月 12 日

図-3 送毛トンネル軸力分布図

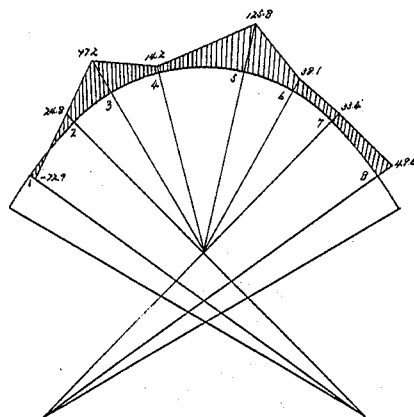
単位 トン

基準日より3日後



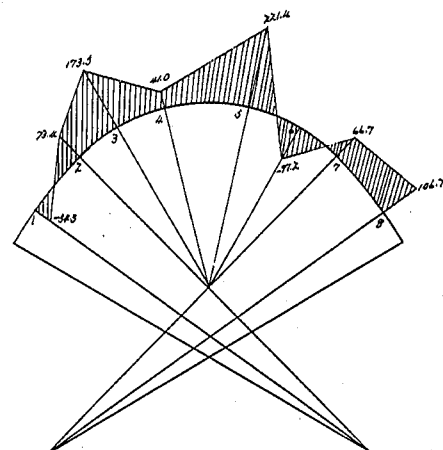
昭和48年5月15日

基準日より7日後



5月19日

基準日より30日後



6月12日

図-4 送毛トンネルモーメント分布図 単位トン- cm

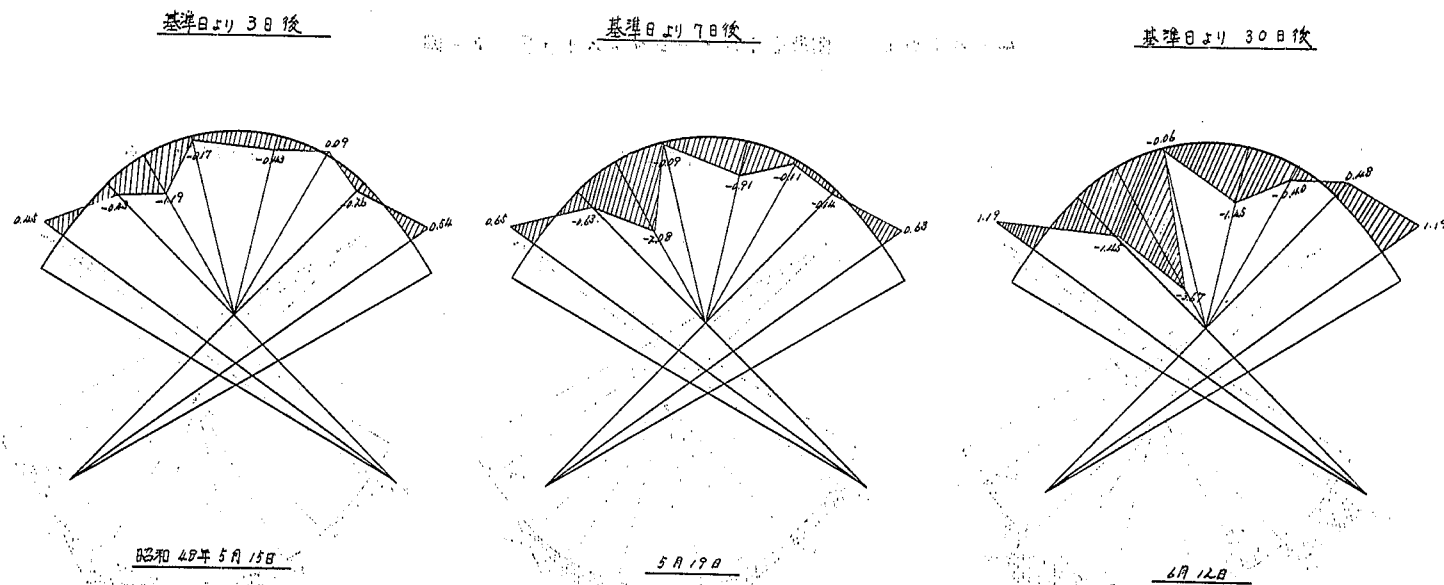


図-5 送毛トンネルセリ断力分布図 単位トン

単位
10 ton
1 cm

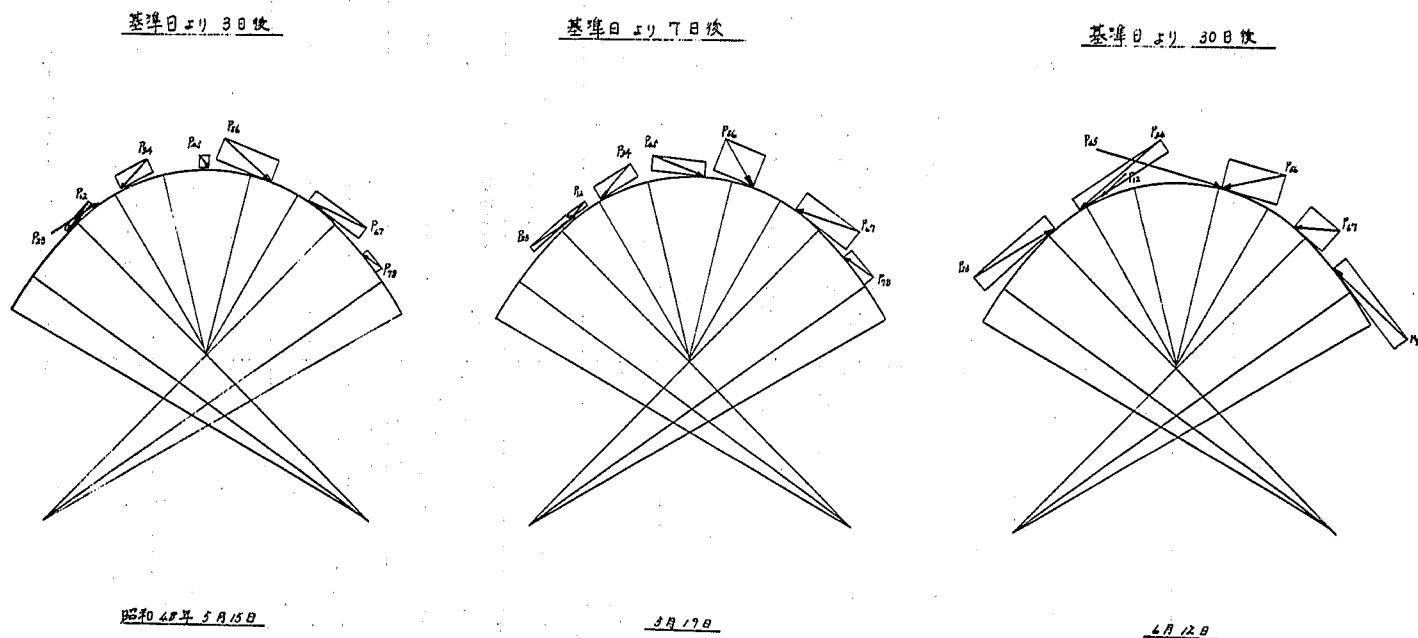


図 - 6 送毛トンネル土圧合力の大きさと方向

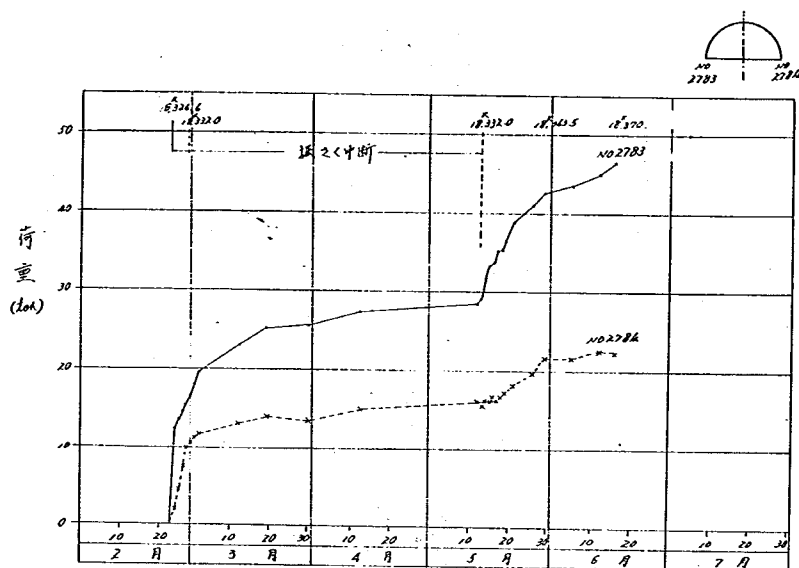


図-7 支保工脚部反力变化曲线

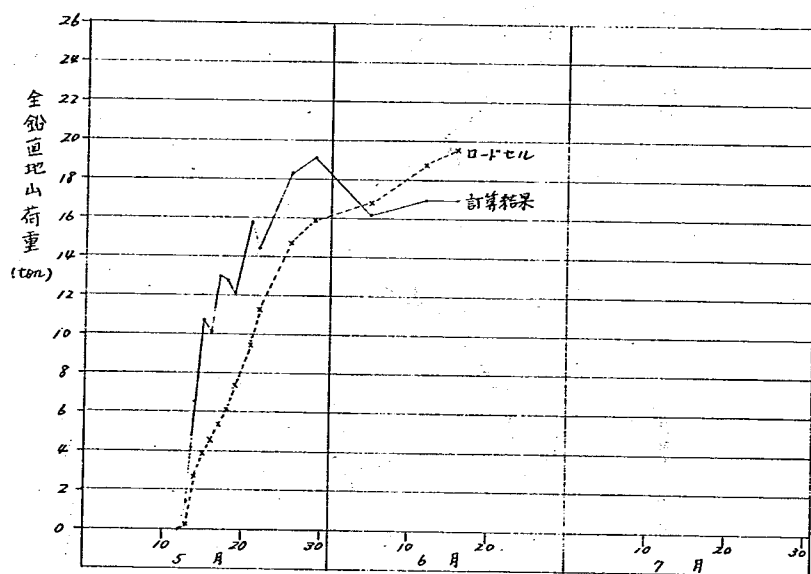


図-8 全鉛直地山荷重变化曲线

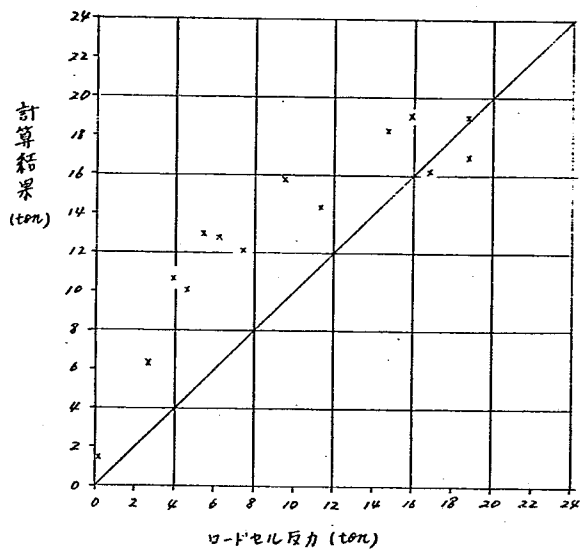


図-9 計測法による支保工反力の相違

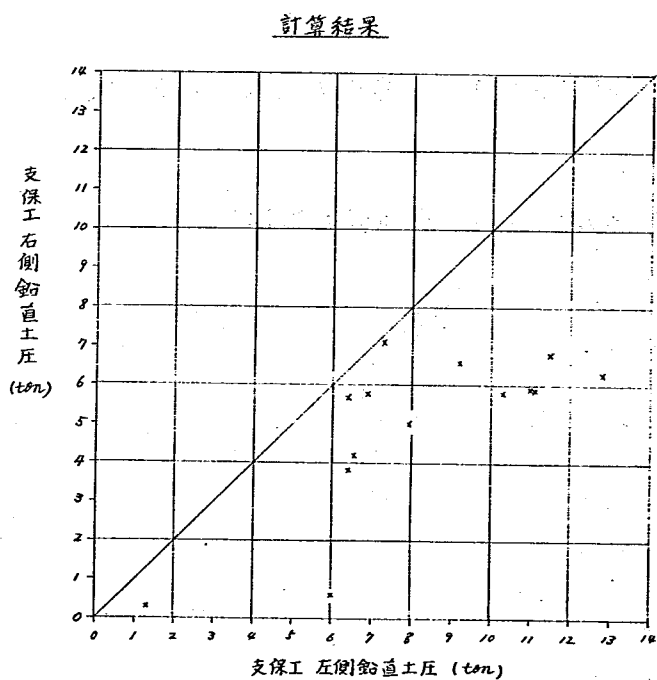


図-10 鉛直土圧の対称性

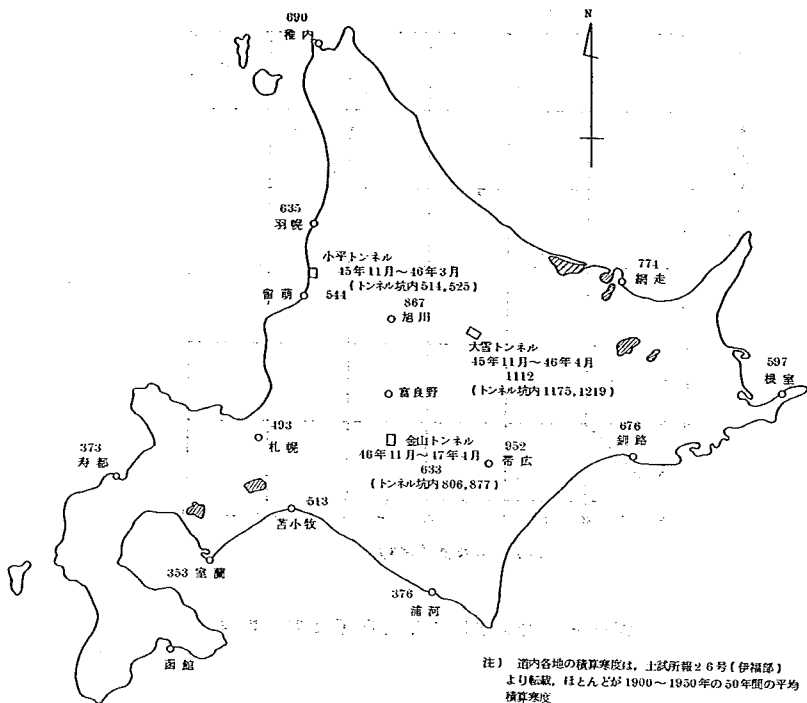


図-11 北海道内各地の積算寒度

第Ⅱ部 トンネル内軟弱者の凍害に関する試験調査

I トンネル内気温、岩盤温度の測定

温度測定を実施したトンネルは、留萌開発建設部管内国道232号小平トンネル、旭川建設部管内国道39号大雪トンネル、旭川建設部管内国道236号金山トンネル、および開発主要道道浜屯別音威子府線、寿トンネル

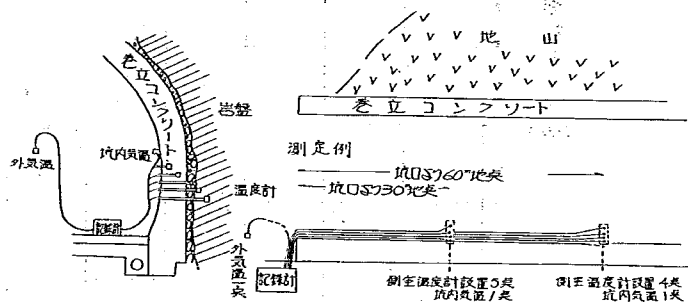


図-12

の4カ所である。(図-11) 気温測定、期間および位置は、表-1に示すとうりであり、ライニングコンクリートおよび岩盤温度の測定は坑内気温測定位置において概ね図-12に示すような方法で行った。温度計設置位置はおよそ道路面から1~1.5mの高さの側壁であるが、金山トンネルにおいては一部クラウンの部分に設置した。温度計は白金式測温抵抗体式温度計を使用した。

なお、トンネル内気温との比較のために、道内各地の最近の調査による凍結指数を図-11に示した。

表-1

トンネル名	測定年月日	外気温測定位置 ^{*1}	坑内気温測定位置 ^{*2}	備 考
小平トンネル	43.12.11~44.4.2	10.0m	40.0m 70.0m	トンネル不通
"	44.1.14~45.3.1	10.0"	35.0" 65.0"	トンネル不通
"	45.1.13~46.3.31	10.0"	31.2" 61.7"	トンネル貫通
大雪トンネル	44.1.29~45.3.24	10.0"	30.0" 80.0"	トンネル不通
"	45.1.20~46.4.14	10.2"	18.7" 39.2"	トンネル貫通
金山トンネル	46.1.10~47.5.17	5.0"	34.1" 52.1"	トンネル貫通
寿トンネル	46.1.20~47.3.20	5.0"	10.0" 40.0" 60.0"	トンネル貫通

注1. 外気温測定位置：トンネル坑口から外側への距離 m

2. 坑内気温測定位置：トンネル坑口を基準とし、それより坑内側への距離 m

1 小平トンネル(国道232号線)

表-1に示すごとく、43.12.11~44.4.2および44.1.14~45.3.1の測定期間では、トンネルはまだ貫通していなかった。その故に、岩盤内の温度は0℃まで下らなかった。特に44年~45年にかけての測定では前年度より、岩盤温度は低下していない。これは、トンネル工事の作業の影響によるものである。

45年~46年測定時点においてトンネルは貫通しており最大凍結深度は約100cm(内ライニングコンクリート60~70cm, その裏側裏込めおよび岩盤(泥岩30cm))であった。このときの積算寒度(凍結指数)は-525℃daysである。

2 大雪トンネル(国道39号線)

表-1に示すごとく44.1.29~45.3.24にかけて測定期間ではトンネルは不通であった。この年の最大凍結深度は約120cmで積算寒度(凍結指数)は-870℃days前後であった。45.1.20~46.4.14の測定期間ではトンネルは貫通しており、前年度より岩盤温度の低下

がかなりみられた。この年の最大凍結深度は155 cm以上(170 cmと推定される)で積算寒度(凍結指数)は-1220°C days 前後であった。

3 金山トンネル(国道237号線)

4 6.1 1.1 0 ~ 4 7.5.1 5の測定期間においてトンネルは貫通しており、最大凍結深度は140 cm前後で積算寒度(凍結指数)は-877°C days であった。

上記諸測定のうち一例として金山トンネルの結果を示す。(図-13)

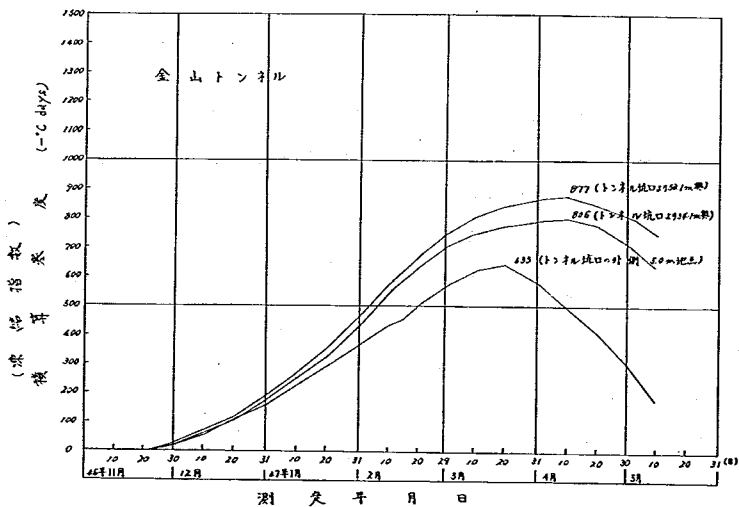
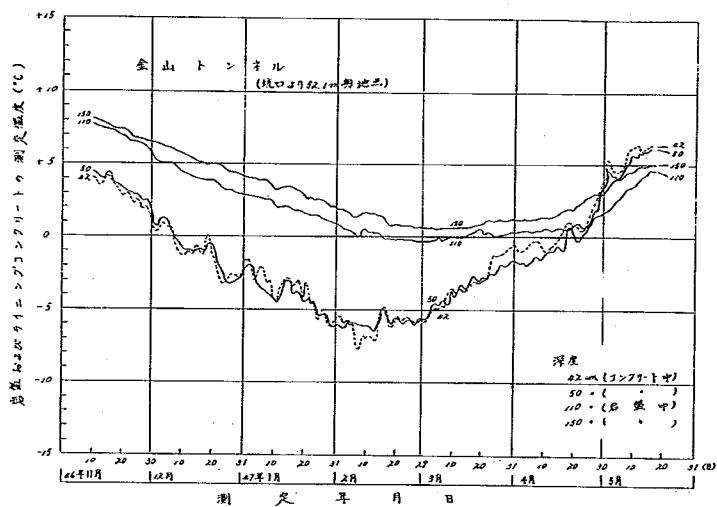
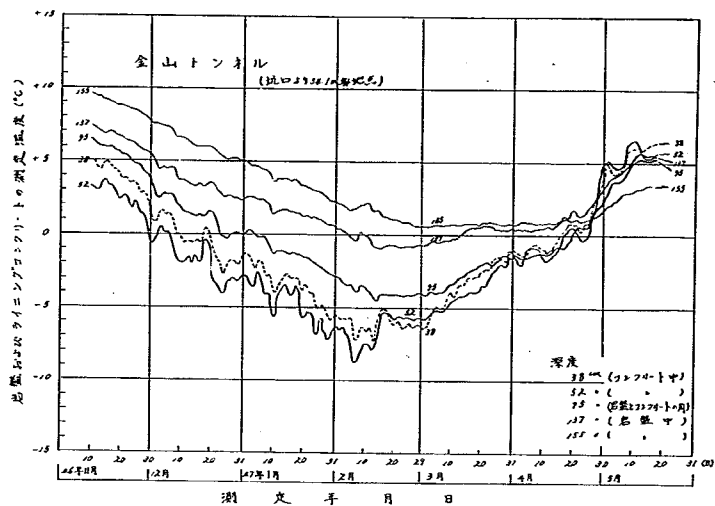


図-13

4 考 察

1) 坑内気温

当調査においては坑内全延長に亘って測定を行ったものでなく、坑口より約60m奥程度までであるが、この調査からすると、積算寒度においては一般に坑奥の方がやや大であり、坑口より坑内の方がより温度が低いという結果を得た。(表-2)

表-2 坑内気温測定結果

	坑内気温測定カ所(坑口からの深度)	積算寒度(F)	測定年月日
小平トンネル	坑 口	478°C days	4 5.1 1 ~ 4 6. 3
	3 1.2 m	514 " "	
	6 1.7 "	525 " "	
大雪トンネル	1 0.2 "	1112 " "	4 5.1 1 ~ 4 6. 4
	1 8.7 "	1219 " "	
	3 9.2 "	1175 " "	
金山トンネル	3 4.1 "	806 " "	4 6.1 1 ~ 4 7. 4
	5 2.1 "	877 " "	
寿トンネル	1 0.0 "	654 " "	4 6.1 2 ~ 4 7. 3
	4 0.0 "	691 " "	
	6 0.0 "	704 " "	

2) 凍結深度

凍結深さを計算によって求める方法はいくつか提案されているが、一般にAldrichの式に帰着するとされている。ここでは実測された凍結深さおよび積算寒度(凍結指数)からCの値を逆算してみると次のような値が得られた。すなわち、小平トンネル(新第3紀泥岩)では $C=4.37$ 、金山トンネル(白亜紀泥岩)では、 $C=4.73$ 、大雪トンネル(先白亜紀の粘板岩および砂岩)では、 $C=4.07 \sim 4.87$ であった。(ここでは、実測値は最大凍結深さのみをとっている。)

$Z = C \sqrt{F}$ ここにおいて Z =凍結深さ(cm), C =定数, F =凍結指数(°Cdays)
(Cの値は、土の熱的定数、含水比、乾燥密度、凍結前後の地表面温度などによって定まり、凍結指数(積算寒度)にも影響される。)

表-3 凍結指数, 凍結深度

F (°C days)		凍結深さ(m)	C	測定位置	測定年月日	コンクリートの厚さ
小平	5 2 5	100	4.37	坑口より6.17m	45.11~46.3	
大雪	8 7 0	120	4.07	3 0.0m	44.11~46.4	
	1, 2 2 0	160~170	4.58~4.87	1 8.7 m	44.11~46.4	
金山	8 7 7	140	4.73	5 2.1 m	46.11~47.4	

〔質疑応答〕

今田（土研）：土圧の測定方法についてお伺いしたい。支保工の変形を計っていたのでしょうか。

それとロードセルをとりつけた脚部の状態および矢板の状況についてお教え願いたい。

星野（北海道開発庁）：支保工の変形については計っておりません。脚部については岩盤を少しほりこんで整形した後ロードセルを設置しました。矢板については、一部曲っている程度で折れたりしている所はありませんでした。

今田：どうもありがとうございました。

山本（東北）：脚部の反力を測定したグラフや結論を見ると、日数なり個々のカーブなりは異なるが、一般の中硬岩盤と似た傾向を示すのではないか。3, 4, 5月中旬までの工事中断期間の熱水作用の影響でこういう傾向が続くかどうか、覆工後も計測するそうですが特異なものとは考えられない。

星野：私もこれを特異なものと考えていない。上部半断面先進工法で掘っていけるような岩盤ですから、膨張性岩盤ではない。試験の目的は、施工と荷重がどのように変化するかということと、目の先でくるくる変る変質作用を捕えてやりたかったのですが、比較的地質が悪くなかった。始めは膨張性岩盤を予想していた。来年やる土平返しの時どうなるか、注入圧と地圧の関係をこれから計っていきたい。

大島：わかりました。どうもありがとうございました。

3. トンネルの技術基準

土木研究所 地質研究室

主任研究員 菅原 捷

まえがき

現行の道路技術基準は昭和37年3月道路局長名で通達されたもので、その第6編にトンネルに関する事項が規定されているが、内容が非常に簡単なもので現場ではあまり使われていない嫌いがある(資料-2)。また、近時、トンネル建設が益々多くなり、さらに長大化しているので現行基準は現状にそぐわなくなったり、新しい工法や材料の開発などがあり、改定の必要に迫られている。

昭和46年度に道路局からの委託にもとずいて日本道路協会に「道路トンネル技術基準調査特別委員会」が設置され、この委員会で討議されたものが昭和47年3月「道路トンネル技術基準(案)」として提出された。その後道路局から各地建や都道府県に通達され、現在、この基準(案)に対する意見が集められている。同時にこの基準の解説編ともいふべき「トンネル便覧」の執筆が日本道路協会に設けられた「トンネル便覧小委員会」によって進められている(資料-3)。

1 改定の趣旨

昭和37年現行基準制定後トンネル技術は長足の進歩をとげ、あるいは社会情勢が大きく変って来たので、現行基準は現状にそぐわなくなっており、また法令にもとづく運用基準としては道路構造令があり、土木学会制定(昭和39年3月)の「トンネル標準示方書」があったりしてあまり使われなくなっている。

そこで新しい技術基準は、道路構造令を補完するもので、新しい技術を十分取り入れ、道路トンネル特有の問題を前面に出し、特に大切なものを強調することにした。

2 全体の構成

現行技術基準は全部で6章からできている。第1章総論で路線の選定要領を取りあげ、地質調査および線形を扱っている(1節3ページ)。第2章は設計、第3章工事計画、第4章施工、第5章換気、第6章照明となっているが、3章と4章をのぞくと簡単な記述しかされていない。

新しい基準(案)では次のような構成とした。

- | | | | |
|-----|-------|-------|--|
| I | 総 則 | | 適用範囲 |
| II | 計画・調査 | | 計画調査の基本、調査の概要、予定路線の決定、トンネル位置の選定、測量 |
| III | 設 計 | | 線形設計、断面設計、支保工設計、覆工設計、細部設計 |
| IV | 施 工 | | 施工計画、安全管理、公害防止、測量、掘さく、支保工、型わく、コンクリート覆工、裏込め注入 |
| V | 換 気 | | 調査・計画、設計、製作・施工、運転・制御 |

- Ⅵ 照 明 調査・計画, 設計
- Ⅶ 非常用施設 種類, 設置計画, 設計
- Ⅷ 維持修繕

以下、大巾な改変を行なった第Ⅱ章計画・調査について説明する(資料-1)。

資料 1

資料 2

資料 3

〔質疑応答〕

今西(土研)：只今紹介致しましたものは、トンネル技術基準の建設省原案の原稿というつもりでご検討いただきたいと思います。技術基準としては二段構えにしており、省令として出すものは幾分漠然としており、詳しくは便覧で解説することになると思います。

この基準は山岳道路の2車線トンネルを対象としており、沈埋トンネルとか開さくトンネルなどは追々基準化されると思います。

同様なものに土木学会の指針がありますが、これはトンネル一般についてかなり詳しく扱っております。この技術基準は道路トンネルを対象としておりますので取りつけ道路等を含めて道路トンネルの特殊性を強調して行こうという精神があります。

計画調査編は計画、資料の集め方から維持管理まで通して必要な我々の心構えを書いております。

この中に現場でやっていることと矛盾することや不都合なことがありましたら合せてご意見いただきたいと思います。

酒井(土研)：社会情勢の変化につれて環境問題が重要になっている。自然保護、環境保護などを解説でもっと詳しくすべきではないか。

今西：トンネル便覧では詳しくふれている。

酒井：道路機能を主体に考えておりますが、自然環境保護ということをもっと重視し条文にも明記すべきだ。

今西：この条文は維持管理のところにある。交通騒音については便覧でふれている。省令では出しにくいのではないか。

榎本(北陸)：先程のトンネル室長のお話をふまえて考えると、施工中の調査項目や調査法を書く必要があるのではないか。

施工編に地質調査という項目を入れる必要はないか。施工中のトラブルは地質にかかわることが多い。

菅原(土研)：第4章施工中の調査に規定されている。調査は施工中を含めて将来も使えるようにする必要がある。

榎本：国鉄の場合既設トンネルの資料がよく保存されていると聞く。ボーリングコアやトンネル掘削後の地質資料を永久保存する必要がある。

菅原：資料を紛失しないように管理保存することは重要だ。この件についても審議されたがもれているのでつけ加えたい。

今西：便覧の地質調査のまとめのところで規定している。

菅原：調査稿の半分以上が地質精査にさかれており、その中に一部書かれている。技術基準でも資料がよく保存されるよう明記すべきだと思う。

榎本：完成後トラブルが起った場合、資料がないと調査を初めからやり直さなければならない。資料の保存義務は便覧に書くだけでなく、基準に入れて欲しい。

菅原：資料の種類、内容、期間などいろいろな問題があるので検討して入れて貰うようにしたい。

今西：調査だけでなく設計・施工を含めて全体的な問題として捉えて行きたい。

山本（東北）：省令で決める必要があるだろうか。省令の方は読まれないと思われるので漠然と書いておき、便覧で詳しくした方がよいのではないか。

星野（北海道）：長大トンネルになると膨大な量の試料（ボーリング試料）となるのでとっておくことができない。悪いものは半年経つと変化してしまつて地質の判定が困難になる。全部とっておく必要はなく、写真等の資料の併用がよいと思う。

岡本（土研）：サンプルと資料（データ）が混同されているようだが、両者の取り扱い方が違うはずだ。

榎本：ボーリングが一例だが資料はできるだけ詳しい方がよいと思う。

今西：便覧でも調査結果のとりまとめと保存の規定があるが、その期間はない。内部でも討議したが、細かい表現はむずかしいのではないか。

長門（本省）：その他の調査で落ちている法令があるのではないか。

例えば自然環境保護法がある。

丸山（北陸）：2車線では一方通行と対面交通があるが、この点の違いはどうか。取り扱いは。

今西：換気は問題となるが、掘る方は問題ないと思う。

調査計画で関連したことが述べられている。

中川（北陸）：トンネルの位置の選定は決めにくいと思うが、トンネルが集中して何本も掘られる場合トンネルの接近についての問題にふれて欲しい。

今西：設計編で離間間隔の問題として取り扱っている。非常に近いものもあるし、離れたものもある。非常に漠然とした文章にならざるを得ない。単線トンネルであるが、国鉄は接近したものが多。

畑中（中部）：飛騨川事故に見られるように何百年に一度というような大出水の時には土石流が問題となる。土石流の検討を取りあげて欲しい。

菅原：2-2-5気象調査で扱っている。

畑中：気象とは性格が違う。調査すれば判る問題だ。

菅原：坑口付近の問題として崩壊、出水などと一緒に扱っている。

畑中：中部地建では、小さな沢でもシェルターで逃げることを考慮している。

酒井：気象調査で日照の問題を扱った方がよい。坑口付近の凍結が問題になっているので。

大島（東北）：気象調査だが、降雪調査で現場で容易にできる調査法はないか。降雪地方は気流が悪くて飛行機が飛べなく雪の量がつかめない。金のかからない良い方法はないか。

今西：調査法は具体的には書いてない。降雪調査は飛行機が主体となると思いますが。

星野：崩雪の調査は現道でもできなく飛行機も飛べない。山奥の場合は全く困難である。うまい調査法はないか。現状では調査費を多くつけて貰いたい。

今西：便覧の方でもうまい方法が見つからないのでのせてない。

菅原：気象調査は分らないことが多い。雪については標高どれ位のところで、どれ位の雪積があるかなどと、ごく大雑把でもよいと思う。気温、風向、風速など調査時点と完成後とは条件が違ってくるので、今後解釈法が確立しなければ、データの利用は制限されたものとなる。

山本：計画段階で維持管理のことを考えなければならない。気象は、トンネル坑口付近の管理体制上重要な問題を含んでいる。除雪をどうすればよいか、時間当りの降雪量が予測できないか。

今西：トンネルの調査は地質だけでない。施工だけでなく維持管理を含めて全体の経済性を考えなければならない。この点について皆さんのご意見を伺いたい。この基準では簡単にのべている。便覧で詳しく解説することにした。

岡本（土研）：河川局を中心として現在河川砂防技術基準の全面改定を行なっている。同じ建設省で出すのに全く違うものではどうかと思いますが、両者の違いはどうなっていますか。

長門：河川砂防技術基準では分り易く書くという方針である。あまり細かいことまで書かないが、解説的なことまで本文に取り上げ便覧はつくらないことにしている。

今西：トンネルは数値をワクの中に入れないのが特徴である。

川越（土研）：河川砂防技術基準では数字を入れて現場ですぐ使えるようにしている。河川法による技術基準はあまり細かいことは扱っていない。

菅原：ワクは基準だけで、手順を見逃したり間違えないようにして貰うのが主旨だと思う。現場では係長以上が読めば分るようにしているが、詳細はやっぱり便覧でということになるのではないか。

今西：設計編でも数字はワクからはずし解説に入れてある。

長門：計画交通量は道路構造令で決められるので不要ではないか。

今西：よく交通量を過大に見積ったり過少にすることがあるので入れた。

大島：環境調査で騒音等を調べると書いてあるが、設計や施工法が述べられているか。

今西：便覧でふれている。

岡本：各編の相互関係について特にふれている項があるか。

調査と設計についてその結びつきが述べられているか。

今西：これまでは未だふれていない。やりたいということで検討中だ。

吉岡（土研）：2-2-7土地条件調査の土捨て場に関してトンネルの土捨て場として一次谷が選ばれることが多く、これが流出して下流に害を及ぼすことがある。下流の安全を考えて計画をたてるよう明記する必要がある。

鈴木（近畿）：都市近郊のトンネル工事が多くなっており、環境対策として開さくトンネルが多くなりつつある。早く基準や指針のようなものを作って貰いたい。

環境調査で換気計画や設計面で反影させるとなっており調査しなさいと書いているが、調査の方法や範囲等が問題で、その辺を考慮して解説して貰いたい。

今西：この基準は山岳トンネルを対象としたもので、開さくトンネルはこの続きとして検討されると思う。

大島：気象調査の中で水文データを取ることになっており、その他の調査の中では権利に対する調査をすることになっているが、実際には個人の権利に関することで、簡単には閲覧できないのが現状だ。通産省がやっているものは気象調査のデータなんかも中々見せてくれない。基準とは別にそういうものの申し合せとか、マニュアルができないか。

今西：現在のところまだ検討していない。

市川（東北）：便覧では調査で地質図の縮尺を規定しているか。

今西：調査範囲と共に概査と精査に分けて規定してあります。

これまでご検討していただいたご意見を基準や便覧の作成に反映させて良いものにしたいと思います。今後もしご意見がありましたら直接ご連絡願います。

資料－１

トンネル技術基準（案）

Ⅰ 総 則

Ⅰ－１ 適用範囲

この技術基準は、道路法に規定する高速自動車国道、一般国道、都道府県道および市町村道における通常の山岳トンネルの調査、計画、設計、施工並びに維持管理に適用するものである。

〔解説〕

道路トンネルは、地質や立地条件などにより、山岳トンネル工法、開さく埋戻し工法、シールド工法、沈埋工法などの工法で建設されるが、この技術基準は、これらのうちもっとも一般的な山岳トンネル工法による道路トンネルの、しかも主として２車線トンネルの場合について、調査、計画、設計、施工並びに維持管理に関する一般的技術的基準を示したものである。したがって、路線の性格、トンネル延長、地形・地質等によっては、本基準をそのまま適用できない場合があるので、これらの場合には、個々のトンネルの実情に応じたさらに詳細な技術的検討が必要とされる。

Ⅱ 計画・調査

Ⅱ－１ 計画・調査の基本

トンネル計画にあたっては、自然条件調査、経済調査等の実施により、トンネル部および前後の一般道路部について総合的に検討し、建設時、完成後の問題に対して十分対応できるよう計画されなければならない。

〔解説〕

道路トンネルにおいては、良好な平面・縦断線形の確保、走行時間の短縮、降雨、降雪等による災害の防除等の問題が、道路計画上、重要な点である。一方、トンネルの建設費および建設後の維持管理費は多大であることから、事前に必要な基礎資料の収集を行なわねばならない。

Ⅱ－２ 調査の概要

Ⅱ－２－１ 計画交通量

トンネル計画にあたっては、構造規格の決定、付帯設備の設計等のために、交通調査その他の資料をもとに将来の交通需要を想定し、計画交通量を定めるものとする。

〔解説〕

本文の計画交通量とは、道路構造令で定めるものであり、換気設備等の付帯設備を計画する場合にはその車種構成についても推定しなければならない。

Ⅱ-2-2 既往資料の収集

既往の地質調査資料、災害資料、工事資料、気象、土地利用、環境等に関する資料を収集するものとする。

〔解説〕

取り付け道路を含む広域のトンネル路線の調査計画をたてるため、既往資料を収集する。例えば、官公庁、大学、地質調査所などの地質調査資料、地すべりやなだれなどの災害資料、隣接するトンネルの工事資料などがある。また、霧や降雨、風向、風速などの気象条件も大きな影響があるので、必要に応じて付近の測候所などの資料を収集する。

Ⅱ-2-3 地形、地質、植性などの概査

地形図や空中写真などの判読、および既往資料をもとに現地踏査を行ない、路線選定上重要な地形、地質、植生などの概査を行なうものとする。

〔解説〕

特に問題となる地形、地質条件は、崖スイ、地すべり、崩壊地、断層、破碎帯、地下水などである。これらの条件は路線全体の線形、トンネルの延長、取り付け道路、トンネルの坑口付近、工用道路その他の付帯工事などに大きな影響を与える。

Ⅱ-2-4 地質精査

必要に応じて、地質踏査、弾性波探査、およびボーリング調査などにより、地質の精査を行なうものとする。

〔解説〕

地形、地質の概査だけでは不十分な場合、地質精査を行なう。地質精査には、精密地質踏査、弾性波探査、ボーリング調査、電気探査、坑内試験、岩石試験などがある。調査項目としては、岩質、地質構造、湧水濁水、鉱物資源などがあるが、特に、崖スイその他の厚い未固結堆積物、地すべり、崩壊地、断層、破碎帯などは、よく調査しなければならない。

Ⅱ-2-5 気象調査

気象に関する次の事項について、必要に応じて資料の収集、現地調査、観測を行なうものとする。

- (1) 降雨, 降雪 (2) 気温, 水温, 地中温度 (3) 風向, 風速 (4) 霧 (5) なだれ, 吹きだまり, 出水 (6) 気圧

〔解説〕

気象上の問題は, トンネルの路線選定, 設計, 坑外設備計画, 工事管理および付帯設備の設計等において重要となる。特に, 路線選定や設計においては, 坑口付近の崩壊, 排水, 防水工, 突風, 吹きだまり, なだれ, 霧による視程障害, 路面の凍結, つらら等の問題を考慮しなければならない。工事管理, 坑外設備計画においては, その機能が十分に発揮できるよう, 作業工程や坑外設備の位置および規模の決定等に必要な資料を準備する。

Ⅱ-2-6 環境調査

予定路線において, 工事中あるいは完成後に影響を及ぼすと考えられる範囲の環境の調査を行なうものとする。

〔解説〕

トンネル周辺地域における, 自然環境, 土地利用, 既設構造物, 文化財, 天然記念物ならびにトンネル建設時, 供用時に影響すると考えられる植生, 地下水, および, 必要に応じて排気ガス, 騒音, 振動, 沈下などに関する調査を実施する。

Ⅱ-2-7 立地条件調査

工用設備, 土捨て場等施工計画の立案に関する調査を行なわなければならない。

〔解説〕

工用設備の計画に考慮すべき事項として, 坑口設備, 動力, 用排水, 資材の運搬・保管骨材およびコンクリートプラント設備, 仮建物設備, 労務資材等がある。これらが, その機能を十分にかつ安全に発揮できるよう立地条件を調査する。また, 土捨て場を必要とする場合は, 地形, 用地の取得, 運搬方式, 捨て可能量等について事前に調査しておかなければならない。

Ⅱ-2-8 その他の調査

トンネルの計画にあたっては, 諸種の法的な工事の規制および制約などと, その対策について必要な調査を行なわなければならない。

〔解説〕

工事の実施上, 規制を受ける法令には次のようなものがあり, その内容, 手続き, 対策等について事前に調査しておかなければならない。

海岸法 河川法

公有水面埋立法	砂防法
自然公園法	森林法
宅地造成等規制法	地すべり等防止法
道路法	都市計画法
文化財保護法	公害防止条例
騒音規制法	

予定路線付近の種々の権利としては、例えば、鉱業権（試掘権、採掘権等）、水利権、温泉権、等があり、これらの設定の現状と工事に起因するこれらの権利の侵害の有無等を調査する。

また、工事中および完成後に、対策を必要とする事項について工事前の状況と問題点、処理方法等を調査しておかなければならない。この事項には次のようなものがある。

- (1) 沈下、変状
- (2) 湧水、水質変化
- (3) 植生
- (4) 騒音、排気ガス、振動

II-3 予定路線の決定

II-3-1 道路構造規格の決定

道路の種類、道路の存する地域の地形、計画交通量により、道路構造令に基づいて構造規定を定めるものとする。

II-3-2 予定路線の選定

既往資料または調査の結果をもとに、いくつかの比較路線を選定し、比較検討を行ない、予定路線を決定するものとする。

〔解説〕

調査の進展、路線の性格、規模に応じた縮尺の図面を用い、既往資料または調査の結果をもとに考えられるいくつかの比較路線を選定する。選定された路線については、次の内容について、適宜、比較検討を実施する。

- (1) 平面線形・縦断線形
- (2) トンネル等構造物の延長・線形
- (3) トンネル等構造物の予定地点の地質概要
- (4) 取付道路とトンネルとの接続
- (5) 施工の難易性
- (6) 災害の危険度

(7) 環境および立地条件

(8) 経済性

(9) 総合評価

II-4 トンネル位置の選定

設定された予定路線について、適切な地形図を路線沿に作成し、調査資料に基づいて、トンネル予定位置の詳細な検討を行わなければならない。

〔解説〕

トンネルの規模や重要性に応じて、次の内容について、適宜、検討しなければならない。

- (1) 地形および地質による施工性の検討
- (2) 平面線形・縦断線形
- (3) 坑口の選定
- (4) 環境条件
- (5) 立地条件

II-5 測 量

II-5-1 地形図の作成

計画・設計の基礎となる地図の作成は、その目的に応じて、必要な精度を確保できるような縮尺で慎重に行わなければならない。

II-5-2 坑外測量

- (1) 坑外には設計施工の基準とするために必要な基準点を設置し、トンネルの規模、地形の状況、施工の方法等を十分に考慮して、適切な測量方法を用い必要な精度で基準点間の相互関係を明らかにしなければならない。
- (2) この基準点は施工の際の坑外基準点もしくは坑外基準点設置の基礎となる場合が多いので、き損、移動のおそれのないよう十分に保護しておかなければならない。

1 章 総 論

1.1 路線の選定要領

路線の選定には、次の方針に従って行うものとする。

1. 地質構造および地質の種類を詳細に調査し、工事の容易となる位置を選定する。
2. 極力、トンネ延長を短かくし、縦断コウ配を緩にし、トンネル中に曲線部を設ける必要のない位置を選定する。

〔解説〕

地質構造上および地質の種類によって、注意すべき、主な事項は下記の通りであるが、最も信頼し得る資料は、附近のトンネルの掘削当時の資料であるから、これらの資料を調べるのが肝要である。

調査方法

トンネル工事にともなう地質調査法を表示すれば、表-1.1のごとくである。調査方法の詳細については、1編7章土質調査、8章地質調査を参照されたい。

表-1.1 トンネル工事にともなう地質調査法¹⁾

地 質 調 査 法 目 的			一 般 地 質 調 査					特 殊 地 質 調 査				
			航 空 写 真 の 利 用	地 質 性 質 の 踏 査	弾 性 波 調 査	電 気 リ ン グ 試 験	岩 石 試 験	電 気 検 査	弾 性 波 検 査	透 水 係 数 測 定	孔 壁 掘 削 影 響	海 底 ボ ー リ ン グ
路 線 選 定			○◎○○ ○ ○○○○ ○ ○○○◎									
設計 施工 の 合 理 化	支保工 工 強 度	成 層 状 態	◎ ○○○									
		岩 石 割 目	○○◎ ◎○○					○ ○ ○				
		風 化 變 質 層	○○○ ○○○									
	爆 薬 量	岩 石 割 目	○○◎ ◎○○					○ ○ ○				
	湧 水 量	湧 水 量	○○◎ ◎○○					○ ○ ○				
海底トンネル計画			○○◎ ○ ○					○ ◎ ○				

備考 ○：重要調査項目 ◎：最重要調査項目

1. 地質構造上、注意すべき点

- (a) 褶曲が著しい所は注意すること：褶曲がいちじるしい箇所は、山がもまれていることが多いから施工が困難となる。
- (b) 断層谷に沿って上らぬこと：トンネル延長を短くするため直線的に狭く長く走っている谷にはいることは危険である。その谷が断層谷であるかないかを調べる必要がある。もし断層谷である場合には工事の初めから、終りまで工事は困難である。
- (c) 断層の交点を通過しないこと：2断層の交点では、断層破碎帯を形成し、工事は困難を極めるものであるから、万止むを得ない場合の他、これを避けるべきである。
- (d) 断層を通過するときは直角に交わるようにすること：相当長いトンネルでは、断層は大なり小なり必ず遭遇するものであるが、直角に交わることによって危険を少なくすることができる。
- (e) 峠の地形が低い鞍形の凹地をなしている場合にはまず断層であるかどうか疑ってみる必要がある。そうでないときでもおうおうにして両側の山の麓のガイスイ（崖錐）によって埋められていて、トンネルに不適当な地質でできている場合が多い。
- (f) 河段丘：砂レキの厚層からなり、凝集力が不十分のことが多い。ことに、トンネルの位置が砂レキ層と、その下の岩盤との境にきたときは危険である。
- (g) 地スベリまたは山崩のある場所：トンネル坑内が、この附近に位置するときは、工事は困難をきわめる。
- (h) 海岸砂丘：海岸の丘地は砂丘のことがある。トンネルを掘る際ややもすれば崩壊する。
- (i) 地層が一方向のみに傾斜している場合：水成岩の単斜層のみならず火成岩や変成岩でも、地層や、節理、ヘキ開、片理などが一方にのみ傾斜しているときは、崩壊しやすいことがある。ことに水分の浸透、風化作用粘土化作用が見られれば、さらに危険であり、表土が浅い部分などはやっかいである。ゆえに、このような場合、坑内附近において特別の設計施工を必要とする場合がしばしばある。
- (j) 地熱作用：活火山附近とか硫化鉄の山における酸化による地熱などでなやまされることがある。このような場合、地質が軟弱で湧水のあるときは、さらに注意を要する。

2. 地質の種類と注意すべき点

- (a) 粘土：粘土は透水性の低いこと、圧縮性の高いこと、圧力の除去に伴う膨脹、圧力とせん断抵抗および応力状況の変化に対する反応の速度において特殊なものである。粘土中のトンネルは、普通困難なものと覚悟しなければならない。また断層粘土層であるときは、それにさまたげなれていた水が急激に奔出することがある。
- (b) シルト：河川のシルトは非常に柔いスープ状をなして切羽面から押し出してくるおそれがある。粘土と同じく困難な地質である。
- (c) 砂質土：導坑を掘ることによって幾分膨脹することがある。また透水性のために支保工の基礎の支持力が、著しく減ずることがある。また、土カブリの薄い場合には、山の荷が全部かかってくるおそれがある。

- (d) 砂岩およびレキ岩、破碎された砂岩では、土と全く同じく考えなくてはならぬ場合もあるが、このような地帯は比較的少ない。中には20～40%の含水率をもつものがあるが、急激の大湧水はなく、きわめて緩慢に滲出してくる。
- (e) 石灰岩：石灰岩自身は、不透水性であるから、湧水は少ないが地下水がショウ乳洞中を、いわゆる盲谷となって流れている場合には湧水に出会うことがある。
- (f) ケツ岩：いわゆるケツ岩といわれるものの性質は、堅石から膨脹性の粘土まで広い範囲にまたがっている。石炭の層と一緒にするとメタンを発生し、硬石膏の層と一緒にしていると、はげしい膨脹を受ける。
- (g) 結晶片岩：岩質そのものの含水率は比較的小さいが、大低シュウ曲が激しく、そのため空ゲキが多く、湧水も案外大きい。
- (h) 集塊岩：比較的湧水量は少ないが地層が不規則であるおそれがあり、火山泥流は含水率高く湧水量も多い。
- (i) 片麻岩：風化していない場合はよいが、風化している場合には押し出しと膨脹性に遭遇するもので、非常に大きな岩圧を伴う。
- (j) 深成岩：花こう岩、セン緑岩のような深成岩は、含水量も少なく堅硬で、節理も大低大目であるゆえ、掘りやすく、また支保工なして行けることも多い。しかし、ときとして非常に目が細かったり、流水、押出性または膨脹性であって、極端に悪い場合がある。清水トンネル（セン緑岩）はよかった方の例であるが、中心線と斜交して数本の断層に出合い、多量の湧水のため相当困難した。
- (k) 蛇紋岩：吸水膨脹性を有し、崩壊の原因となる。きわめて危険な岩質であるから、避けなければならない。
- (l) 温泉余土：丹那トンネルで有名な温泉余土は、安山岩質溶岩と同質の集塊岩が地下より湧出した熱泉と高熱ガスの作用によって粘土化したものであった。支保工組立て後、早くて3日おそくて10日頃で破損し、古レール、アングルなどの支保をもってしても抵抗できなかった例があるから、十分な調査を必要とする。

トンネルは、その工費の膨大であること、またトンネル壁面の圧迫感から、走行上不快感をあたえ、ひいては、走行速度、交通容量を低下させるおそれがあるから、極力これを避けるべきである。

しかしながら、地形上および交通需要上から、やむを得ず、設ける場合には、極力その延長を短かくすべきである。

勿論、このために、前に述べた地質上の問題となるような路線を選んだり、坑門を切り込んで崩壊をまねいたり、片押しの位置に坑門を設けたりすべきでなく、また、そのために、いたずらに標高を高くし、冬期交通に支障を与え、あるいは、坑門の至るまでの距離を不必要に長くして、実際上の利便を無為にしないことを心掛けることが必要であることはいうまでもない。

勾配が急にすぎるとは、施工上からも走行上からも望ましくなく、施工中の排水からいえば、緩かな中央突破形が望ましい。

トンネル中に曲線を設けることは、施工上からも、換気、照明の点からも望ましくない。殊に、トンネル入口に曲線部を設けることは、運転手の眼がなれないため、不測の事故を起すおそれがあるから厳に戒むべきである。運転手の眼がなれる距離は、時速50Kmで、トンネル路面照度20ルクスのとき、150m程度と見なされる。

路線選定上の理由から、やむを得ず曲線を設ける場合には、上記の入口部を避ける外、一般道路と同じく、路面の片コウ配および拡幅を行なうべきであって、片コウ配の不足は、壁面の圧迫感と相まって、走行上きわめて不快感をあたえるものであるから、トンネル内において、特は欠くことのできないものである。

(著者注：調査に相当するものはこの1節だけである。また1編7章および8章は未だ制定されていない)

資料-3

トンネル便覧小委員会名簿

○委員は幹事併任

委員長 山 本 元

委 員

相石	沢高	林敏	作明	青稻	木吉	礼正	二敬	芥稻	川見	真悦	知彦
○石上	橋崎	正宏	穂一	石牛	浜込	元武	庸志	今大	西字	誠照	也一
岡冲	野中	和浩	夫一郎	忍小	見野	明重	男典	大久	保治	紀晃	生三
加佐	茂藤	金寿	吾一	栗菅	本原	典彦	捷薰	鍛佐	藤山	和好	夫信
住立	友石	榮俊	吉一	高伊	木達	英忠	夫久	杉田	島田	利博	男博
内並	藤木	和信	寛夫	中萩	島原	佐正	浩利	塚中	野井	俊迪	次彦
堀水	井谷	敏康	一則	真三	籠谷	正良	浩丸	○益宮	子田	真鎮	之夫
水山	出本	康治	雄雄	村横	上田	良高	丸良	森渡	田辺	実幸	二太郎

幹 事

井ケ	田塚	哲行	伊中	藤垣	茂光	孝弘	岩中	井村	勝博	彦昭
定畑	中村	一志	大肥	川木	正修	克修	泉元	山	堅二	郎宏

4. 第三紀層におけるダム地質的問題

土木研究所 地質研究室
室長 岡本隆一

1 第三紀層（堆積岩、火山岩）を基礎とするダム

最近、治水、利水上の要請によってダム計画が急激に増加しているが、それに伴って、今迄あまり手をつけられなかった火山山麓、中小の河川あるいは、河口近くの丘陵地帯にもダムを建設する必要に迫られている。この結果、従来、ダム計画地点としては適さないとして後まわしにされていた第三紀層が分布する地域にも、ダムを建設することになり、それに関連して、ダム建設上多くの問題点が提示されてきている。もとより、従来もまったく、第三紀層分布地域にダムが建設されなかったわけではなく、図-1および表-1に示すように数多くのダムが建設されている。これによると、過去、高いダムやアーチダムも建設されているので、特別の問題はないようにみえるが、やはり、第三紀層（火山岩も含めて）特有の問題点を苦勞して解決しながら建設されてきていることがわかる。現在、調査中あるいは建設中のダムで、平均以上に地質的悪条件を有し、計画の遂行に支障を来たしているもののうちの過半数は第三紀層に関係しているといえる。また、予備調査を行なって、現時点の技術ではダム建設の見通しが樹てられないとして、計画の中止あるいは休止をしたものの殆んどが第三紀層に関係している。これは、たとえばダムタイプをコンクリートダムからフィルダムに変更したからといって解決できるようなものでもない。

2 第三紀層

第三紀および第三紀層は地質学的にみて、どのように位置づけられているのかを示すために地史的、地質構造的に簡単に説明する。

まず、第三紀は下の表-2のように区分される。

表-2 第三紀区分表

古第三紀	暁新世	15 × 10 ⁶ 年	約 (67 ± 3) × 10 ⁶ 年前
	始新世	20 "	
	漸新世	10 "	
新第三紀	中新世	15 "	
	鮮新世	10 "	約 2 × 10 ⁶ 年前

つまり、第三紀は、約7000万年前から200万年前にわたる期間といえる。日本の場合、このうちで古第三紀層は、主として北海道、常磐、および北九州の炭田地域に分布し、新第三紀層と比較するとその分布はごく少ないので、ダムに関連のある第三紀層といえばほとんど新第三紀層といえる。新第三紀層および新第三紀の火山岩類の分布は図-2に示すように日本全土にまたがり表-3に示すように広範囲にわたり、沖洪積層を除いたものの約半分を占める。

中生代末から第三紀初めにかけて、全地球的に大きな地殻変動期に入り、現在の大陸および海

(直轄)

表-1 第三紀層地帯のダム

水系河川名	ダム名	型式	高さ(m)	基礎岩盤	地質的問題点	完成年度
石狩川	豊平峡	アーチダム	102.5	安山岩熔岩, 自破砕熔岩	河床部が軟質自破砕熔岩	昭和47年
岩木川	目屋	重力ダム	53.0	輝石安山岩		昭和34年
北上川	石淵	ロックフィルダム	53.0	石英粗面岩		昭和28年
北上川	四十四田	重力ダム, アースダム	50.0	輝緑岩, 輝緑凝灰岩	右岸に軟質な火山砕屑物	昭和43年
北上川	御所	重力ダム, ロックフィル	50.0	右岸安山岩質集塊岩, 左岸凝灰岩	左岸は凝灰岩, 凝灰質頁岩互層で軟質	建設中
名取川	大倉	アーチダム	82.0(河谷) 42.0(台地)	一部安山岩, 第3紀層凝灰岩		昭和35年
名取川	釜房	重力ダム	45.5	石英安山岩, 凝灰角礫岩, 凝灰質泥岩	左岸尾根の凝灰岩にバイピングの心配があった	昭和45年
雄物川	皆瀬	ロックフィルダム	66.5	凝灰岩(三途川層), 凝灰質砂岩, 頁岩, 泥岩	軟質泥岩に洪水吐基礎	昭和38年
最上川	白川	ロックフィルダム	69.0	凝灰質砂岩	砂岩の一部が非常に軟質である	建設中
利根川	藤原	重力ダム	95.0	緑色変質安山岩		昭和32年
利根川	相俣	重力ダム	67.0	輝石安山岩	上位の礫層からの漏水	昭和33年
利根川	川俣	アーチダム	117.0	石英粗面岩質, 熔結凝灰岩	大きな割れ目の発達	昭和41年
利根川	八ッ場	重力ダム	131.0	変質凝灰角礫岩	基礎の強度, 湧水	建設中
利根川	川治	アーチダム	140.0	凝灰角礫岩及び閃緑岩	大きな割れ目の発達	"
筑後川	松原	重力ダム	83.0	安山岩, 凝灰角礫岩及び集塊岩質凝灰角礫岩	割れ目が非常に発達し, 漏水性	昭和46年
筑後川	下笠	アーチダム	98.0	複輝石角閃石安山岩, 黒雲母複輝石角閃石安山岩	" 貯水池地すべり	昭和46年
(水資源公団)						
淀川	室生	重力ダム	63.5	斜長流紋岩質熔結凝灰岩	割れ目からの漏水	昭和48年
(補助) 浅瀬石川	沖浦	重力ダム	40.0	玄武岩, 安山岩, 角礫凝灰岩, 凝灰岩, 凝灰質砂岩, 泥岩	河床部が軟質, 断層	20年完成 39,40改修

水系河川名	ダム名	型 式	高さ (m)	基 礎 岩 盤	地 質 的 問 題 点	完成年度
飯 詰 川	飯 詰	アースダム	3 8.0	泥岩	強度不足 ※	昭和47年
一 迫 川	花 山	重力ダム	4 7.8	安山岩, 玄武岩	良好な地形, 地質 (貯水効率66%)	昭和32年
増 田 川	梅 水	ロックフィルダム	4 3.0	角礫凝灰岩, 安山岩及び火山角礫岩	下に旧崖錐堆積物	建設中
小 又 川	森 吉	重力ダム	6 2.0	輝石安山岩		昭和28年
粕 毛 川	素 波 里	重力ダム	7 2.0	角閃石安山岩	良好な地形地質	昭和45年
早 口 川	早 口	重力ダム	6 1.0	粗粒玄武岩	変質部	建設中
赤 川	荒 沢	重力ダム	6 1.0	安山岩		昭和30年
大 沢 川	高 坂	重力ダム	5 7.0	角閃石流紋岩		昭和41年
吾 妻 川	品 木	重力ダム	4 3.5	輝石安山岩	酸性水	昭和40年
小 櫃 川	亀 山	重力ダム	3 3.3	泥石, 一部砂岩 (大田代層)	強度不足, バイキングの恐れ	建設中
酒 勾 川	酒 勾	ロックフィルダム	1 0 0.0	安山岩質角礫凝灰岩 (御坂層)	変質, 破碎多い	建設中
裾 花 川	裾 花	アーチダム	8 3.0	角礫凝灰岩, 安山岩, 一部泥岩	軟質な泥岩と凝灰角礫岩の処置	昭和44年
五十嵐 川	笠 堀	重力ダム	7 4.5	凝灰岩, 石英粗面岩	変質 (グリーンタフ)	昭和40年
加 治 川	金	中空重力ダム	8 2.5	斜長流紋岩	割れ目の発達	昭和47年
井 田 川	室 牧	アーチダム	8 0.5	安山岩, 一部集塊岩	良好	
上 市 川	上 市 川	重力ダム	6 4.0	緑色凝灰岩, 安山岩岩脈	漏水	昭和39年
和 田 川	和 田 川	重力ダム	2 1.0	砂質シルト岩 (第3紀最上位)	強度不足 ($\tau_c = 1.8 \text{ t/m}^2$) 地すべり	昭和42年
白 岩 川	白 岩 川	ロック重力複合式	5 0.0	中粒砂岩, 礫岩, 凝灰岩, 細粒砂岩	強度不足	建設中
大聖寺 川	我 谷	重力ダム	5 6.5	安山岩, 凝灰岩	夾在する凝灰岩の強度が劣るが全体として良好	昭和40年
犀 川	犀 川	重力ダム	7 2.0	安山岩, 凝灰角礫岩	地表部は堅硬な安山岩であるが, 内部 (15~30m) は軟質の凝灰角礫岩	昭和40年
内 川	内 川	重力ダム	8 1.0	石英安山岩, 凝灰角礫岩	断層, 破碎帯	昭和48年
浜 田 川	浜 田 川	重力ダム	5 9.7	石英粗面岩質凝灰角礫岩		昭和38年
八 戸 川	八 戸 川	重力ダム	7 2.0	安山岩質凝灰岩, 流紋岩質凝灰岩	河床部に大きな断層破碎帯	建設中
木 屋 川	木 屋 川	重力ダム	3 7.0	礫岩, 砂岩		昭和29年
矢 部 川	日 向 川	重力ダム	7 9.5	輝石角閃石安山岩	割れ目からの漏水, 岩盤は強堅	昭和34年
有 田 川	有 田 川	重力ダム	2 7.5	石英粗面岩	良好	昭和35年
郡 川	萱 瀬	重力ダム	5 1.0	複輝石安山岩及び集塊岩層	集塊岩部が軟質	昭和36年
芹 川	芹 川	重力ダム	5 2.2	安山岩	割れ目からの漏水	昭和31年
汐 泊 川	矢 別	重力ダム	3 4.5	粗粒玄武岩		建設中

水系河川名	ダム名	型 式	高さ (m)	基 礎 岩 盤	地 質 的 問 題 点	完成年度
平 川	遠 部	重力ダム	4 5.0	右岸角礫凝灰岩, 左岸玄武岩	河床部が軟質	建 設 中
鳴 瀬 川	漆 沢	ロックフィルダム	7 5.0	凝灰岩, 凝灰角礫岩, 安山岩および石英粗面岩	山裾部に大きな断層破砕帯	建 設 中
旭 川	旭 川	重力ダム	5 1.5	角礫凝灰岩, 集塊岩	風化と厚い表層堆積物	昭和47年
解 川	塩 原	重力ダム	6 0.0	凝灰岩, 凝灰質砂岩	一部に非常に軟質な砂岩をはさむ	建 設 中
霧 積 川	霧 積	重力ダム	5 7.5	塩基性安山岩, 凝灰岩	接触部が軟質で形状が悪い	建 設 中
湯 川	湯 川	重力ダム	5 0.0	凝灰角礫岩	そで部に未固結火山砂→バイピング	建 設 中
下 糸 川	下 糸 川	重力ダム	3 0.0	泥岩 (西山層)	強度不足	建 設 中
梯 川	赤 瀬	重力ダム	3 7.7	流紋岩, 石英粗面岩	断層と軟弱な礫石質部	建 設 中
塩 田 川	岩 屋 川 内	重力ダム	5 6.5	輝石安山岩 (玄武岩)		建 設 中
有 田 川	竜 門	重力ダム	3 5.0	流紋岩		建 設 中
日 宇 川	猫 山	重力ダム	3 2.5	砂岩, 頁岩, 玄武岩岩脈	強度不足	昭和48年
鱒 石 川	鱒 石 川	重力ダム	本 3 7.5 副 2 2.0	泥岩, 未凝結砂岩 (魚沼層)	強度不足, 未固結砂岩に対するグラウト	昭和48年
酒 谷 川	日 南			砂岩, 頁岩	河床部に大断層, 地すべり	建 設 中

※ 現在本邦第2位の貯水効率 (有効貯水量 / 堤体積)

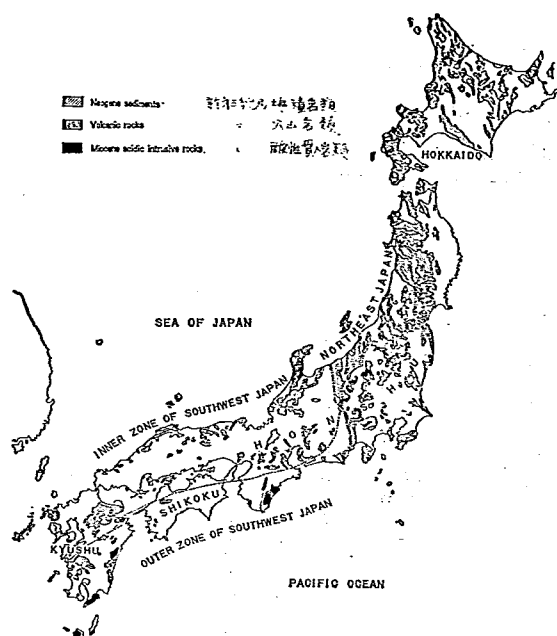


図-2 日本の新第三紀層の分布

洋分布の大略が定まった。この地殻変動はアルプス造山運動と呼ばれている。日本においてもほぼ同時期に地殻変動期に入り、中央構造線やフォッサマグナなどの大構造線もこの時期から形成されはじめ、新第三紀に入ると活発な火山活動を伴って、日本列島の原形が構成された。これを日本ではグリーンタフ造山運動と呼んでいる。これから述べようとする第三紀層とくに新第三生紀層のダムに関連する問題点は、この新第三紀の造山運動、火

表-3 日本における岩石の露出面積
(都城秋穂より)

岩 石	面 積 (Km ²)	面積 (%)
広域変成岩	13,300	3.6
花崗岩	49,300	13.3
塩基性および超塩基性貫入岩	5,800	1.6
第三紀および第四紀の火山岩	75,400	20.4
古生代堆積岩	45,200	12.2
中生代堆積岩	34,400	9.3
第三紀堆積岩	69,900	18.9
第四紀堆積岩	76,500	20.7
合 計	369,800	100.0

山活動に起因した地質構造や岩質に影響を受けたものが多い。

3 第三紀層の地質的特徴

ここで述べるものはほとんど新第三紀の堆積岩、火山岩類についての特徴である。

3-1 火山活動の影響

新第三紀には、日本各地で活発な火山活動があり、火山岩（流紋岩、安山岩、玄武岩など）、火山碎屑岩（凝灰角礫岩、火山礫岩、凝灰岩など）あるいは、軽石層、火山灰層が広く分布し、それらの岩層独自や基盤岩との関係で種々の問題を生じている。

3-1-1 火山岩の冷却節理

火山岩類は、高温の熔融状態で流動し、冷却して固結するが冷却の際に収縮し、比較的規則正しい数多くの割れ目（節理）を生じる。この節理は、火山岩体の内部にまでよく発達し、オープンクラックになっていて全体に透水帯を形成する。岩片は堅硬な場合が多いので、基礎岩盤としての強度、支持力のみに注意が片寄っているとこの節理からの透水に対する注意がおろそかになり、止水対策が後手になることがある。火山岩類からの透水量はルチオン値で数十に達することが稀でなく、完成後のダムの基礎岩盤から 10 t/min の漏水の例もある。

3-1-2 岩層の変化が激しく、連続しない。

火山岩や火山碎屑岩は、一枚一枚の岩層の規模が小さく、水平方向、上下方向とも変化が著しい。たとえば、安山岩の熔岩を水平方向に追跡していくと、自破砕熔岩になり、さらに凝灰角礫岩に変化するなどよくある例である。また、同一の熔岩や凝灰角礫岩でも上下方向に割れ目の頻度や、強度が変化することも非常に多い。このようなことが不十分な地質調査の結果、よく把握されていないと、ダムの設計施工上支障を来とし、後で計画の変更をせざるを得ないような例がある。

3-1-3 埋没地形

新期の火山岩や火山碎屑岩は、旧地形の基盤の上に堆積するものであるが、その場合には、地形的低所すなわち、旧河床、旧湖沼を埋没させることが多い。その結果、透水性の高い旧河床礫層などを被覆してしまって現在の地形から埋没地形が予想されないことがある。ダムの基礎そのものは問題はなくとも、ダムサイトから下流へ、あるいは隣接流域への漏水問題が起ることがある。また、火山岩熔岩や、火山泥流のようなもので一時河がせき止められて生じた湖沼に新期の堆積物が厚く堆積した後で、さらにその上位を火山岩や火山碎屑岩で被覆されたような場合も、そのような旧湖沼地形が判らず、後日問題を起すことがある。

3-1-4 堅硬な岩層の間に弱層が夾まれている

火山岩類の地質構造は地質的にも複雑なことが多い。火山には活動期と休止期とがあり、火山から放出されて生じる岩石の状態も異なる。例えば、熔岩層との間に凝灰岩や軽石層を挟むことは普通であり、また休止期に河が流れたとすれば砂礫層を挟むこともある。温泉変質を受けた部分を挟むこともあり、また凝灰岩や、凝灰角礫岩の固結度や強度もまちまちである。熔岩自体についても、元の地表に接した末端部や空気中にさらされた表面では急冷相を示し、緩やかに冷却固化した部分に比べると、軟質で空隙に富む場合が多い。このようなダム基礎としての条件からは劣悪な弱層が堅硬とみえる岩層の間に夾まって存在するということを一応全部疑ってかかるべきである。

一般に火山岩の熔岩や凝灰角礫岩は堅硬であるから、不十分な地質調査で、ダムサイトがそれら堅硬な岩層のみから構成されていると楽観的に判断して、後日例えば掘削後などで、上記弱層が発見され、問題となることが多い。

3-1-5 熱水変質、温泉変質

火山活動には、温泉あるいは噴気はつきものである。高温で化学反応が活発である上に、温泉は強い酸性あるいはアルカリ性であることが多いので、長い時間かかつて岩石が変質して粘土に変じて行く。金属鉱物イオンを多量に含む、岩石中に浸透して金属鉱床を生成する熱水によっても温泉変質に類似した現象がおこり、工学的に劣悪な条件をもたらす。

3-1-6 漏水、バイピング、被圧地下水に関連した地質構造、岩質が多い

前にも述べたように火山岩や火山砕屑岩が分布する地域では、漏水が著しい岩質や地質構造が多い。火山岩熔岩にはしばしばオーブンクラック状の節理がよく発達し、透水性が高い。熔岩周辺部に多い自破砕熔岩は断層破砕帯に近い性質で水を透し易い条件にあり、熔岩下位に多い旧河床砂礫層の透水性も高い。その他、風化した基盤岩を被って熔岩類が存在する場合には、その風化部が透水層になることもあるし、また、火山活動の前駆現象として、火山灰や、軽石の大量の放出があれば、それらの堆積によって生じた火山灰層、スコリア層、軽石層は透水性が高いことが多い。また、そのような火山性堆積物の固結度の低い場合には、バイピングの恐れのあることがある。バイピングを起す可能性のある地層は第四紀の火山活動によるものが多いが、第三紀の最も新しい時期である鮮新世のものでは第四紀に近い性質を示すことがあるので注意を要する。

被圧地下水も、前に述べたような旧河床地形や地質構造によって十分注意する必要がある。とくに旧河床、熔岩末端部、基盤岩との不整合面、不透水性の泥岩との境界部などで被圧された地下水が存在することが多い。

3-2 固結度が低い

火山岩熔岩や凝灰角礫岩を除いて、第三紀層では古第三紀層は固結度が高く堅硬であるが新第三紀層になると、砂質岩、泥質岩とも固結度が低いのが普通である。固結度が低いということは

ダム基礎としての工学的性質が劣悪になることで、とくに圧縮強度やせん断強度の低下が著しい。一軸圧縮強度は100~10%程度が多く、せん断強度も100 t/m²以下であることが多い。さらに固結度が低いことや強度が小さいことに加えて、それら固結度や強度が岩層ごとに变化する点が、一段と地質調査および解析を困難なものにしダム基礎としての条件を悪くしている。中生層や古生層のような古期の地層や花崗岩、斑岩類のような本来堅硬な岩石では、表層は風化しても地山の内部では新鮮堅硬になっていくことが予想できるし、断層破碎帯が若し非常に劣化しているとしても、破碎帯をはなれば堅硬になって行くであろうという推定がなり立つ。しかし、新第三紀層では風化の影響や破碎帯の範囲を明確にすることが困難であるばかりでなく、同じように見える岩層でも固結度あるいは強度が大きく異なる場合があり、その理由を明確に認識することができない場合が多い。

また泥質岩では強度が小さいばかりでなく、変形量が非常に大きいという特徴があり、クリープの影響を大きく受ける。千葉県亀山ダムサイトにおいて長時間(24時間)載荷によるジャッキ試験を実施したところ、普通一般に行なわれているジャッキ試験と比較して、残留変形量で約10倍、変形係数で約40%減少することが確められ、長時間載荷後の強度は最大50%までになっていることが認められた。このような試験や解析を重ねることによって泥質岩のクリープ特性はさらに検討され設計にも考慮を払わざるを得なくなると思われる。

3-3 地質単元が小さい

新第三紀層は、一部の海成堆積層を除いて一般に層相の変化が激しい。凝灰質堆積岩(火山活動に関係した堆積岩)、非凝灰質堆積岩を問わず岩層としての厚さが薄く、十数mから数m程度で極端に薄いものは数cmにしか過ぎず、数十m~数百mに達するものは極く稀である。分布も古期の地層や、主要な火成岩、変成岩に比べると一般に狭く、水平にも垂直方向にも漸移して異種岩層に変わることがある。このような細かく変化する岩層ごとに強度、変形性あるいは透水性のような工学的性質が変わるのであるから個々の岩層の工学的性質をそれぞれ識別することが困難であると同時に全体的、平均的な工学的性質を把握することが困難である。

4 第三紀層に対する地質調査および試験上の注意点

上述のように第三紀の地層や岩石が分布している地域にダムの建設計画がある場合には、第三紀の地層あるいは岩石に特有の種々の問題点があるので、ダムサイトの地質調査を行なう場合には細心の配慮が必要となる。そのような注意すべき点の幾つかについて以下に述べる。

4-1 広域調査の必要性

第三紀とくに新第三紀の火山岩と堆積岩とが分布する地域では、地質構成が複雑に変化するの
で、ダムサイト付近の限られた部分だけでなく広域にわたって地質調査を行なう必要がある。地質踏査による地質図も他の岩種にまして広い範囲にわたって作成すべきである。

旧河床を通じての下流や他流域への漏水や、地すべりの危険性、変質帯の存在、岩相の水平変化、弱層の夾みの確認などは広域の地質調査によらなければ状況を把握することは難しい。図-3はあるダムサイトで、地質調査を非常に狭い範囲にそれも浅いボーリングのみしか実施しなかった例である。当初ダムは、堅硬な安山岩熔岩の上に位置し、上下流にもその安山岩が連続しているという先入観でコンクリート重力ダムが計画された。そ

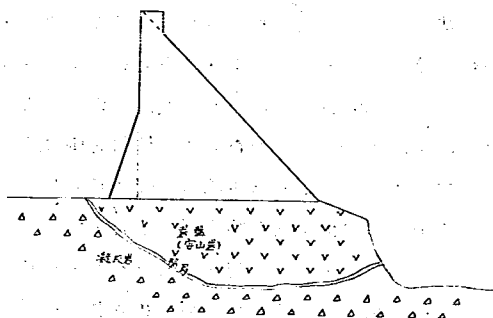


図-3 Aダムサイトの基礎岩盤

の後掘削中に安山岩熔岩がさほど大きな岩体でなく、また、安山岩と凝灰角礫岩との境界部に未固結の凝灰岩質の弱層が存在することが分った。丁度その安山岩と凝灰角礫岩の境界が下流さりの円弧すべり面状になっていて、このままではダムの安全性に疑問があるということになり、

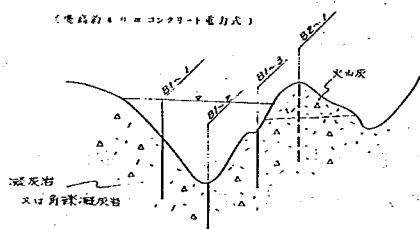


図-4 Bダムサイト地質断面図

コンクリート打設の時期になって大問題になった一例である。図-4は、河床部および山腹の比較的低所にのみボーリングがなされて、河床の凝灰角礫岩の露頭状況が良いこともあって、山腹上位の調査が不十分であった例である。計画がかなり進んだ後に、山腹上位の満水面近くのボーリングを実施した所、満水面より下位から山頂部まで全く未固結の火山灰が厚く堆積して、強度からも透水性からもダムの基礎と

し得ないことが判明した。その結果ダム計画を中止せざるを得なかった一例である。

4-2 経時変化に注意する

新第三紀のいわゆる軟岩は、地山内部に拘束された状態と掘削等によって地表に現われたものでは、強度が明らかに異なってくる。地山内部では割れ目も殆んどなくて、塊状であったものが、地表にさらされてしばらく経つと割れ目が発生し、細片化していき、極端な場合は粘土までなる事例がよく見受けられる。これは、含水比の変化、応力解放、乾湿の繰返しおよび温度変化によって起るもので、基礎岩盤としての強度を判定する場合に十分注意すべき点である。施工に際して、地表面の劣化がどうしても避けられない条件では、設計に際して地山内部における時の強度より落して設計強度とするか、施工管理に十分注意を払ってできるだけ強度を落さぬような配慮をすべきである。経時変化はほとんどすべての新第三紀の軟岩において起るが、とくに凝灰岩、凝灰質泥岩、海成の泥岩において著しい傾向がある。

4-3 ダムサイトの狭い範囲の地表の状況にとらわれない

第三紀の地層では、地表に露出している岩盤の状態と地山内部の状態が大きく異なる場合が多い。それぞれの異なり方や異なる原因は種々であるが、第三紀の火山活動や、岩石生成時およびその後の過程による岩質に起因する。

火山岩が発達する地域では、堅硬な熔岩の部分で侵食が止まっていて、一見堅硬で安定した急崖を形成することがある。このような峡谷状の地形は、ダムサイトとして好適であるからしばしばダムが計画される。しかし、堅硬な熔岩が露出している地山の内部に軟質な自破砕熔岩や凝灰岩が隠されていることがしばしばある。松原ダム、下笠ダムなどがこれに近い例であるが、このような恐れがある地質の場合は、地山内部への深い地質調査をする必要がある。そしてボーリングより調査横坑の方が効果的である。熔岩類の下位に凝灰岩や礫層が存在し、地表面より地山内部の方が厚くなっていて、地表面からはそれらが推定できない場合がある。図-5 がその例である。

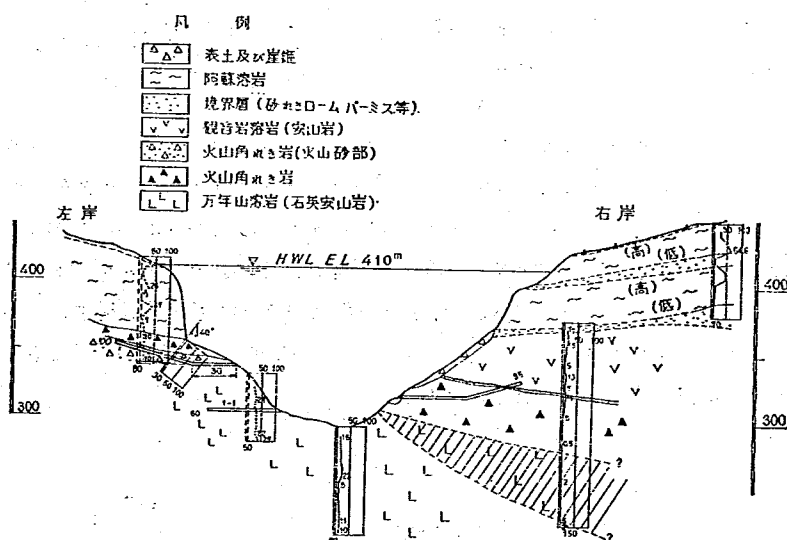


図-5 Oダムにおける地質断面図

るが、このような場合はグリッドシステムによるボーリングを先ず行なって、その疑いを生じた個所に調査横坑を入れるという方法をとるべきである。後述するが、このような場合には弾性波探査は無力である。

逆に堅硬な熔岩あるいは凝灰角礫岩の上位を未固結の新期堆積物が被っているような地質構造も多い。火山活動によって、小さなせき止め湖を生じたり、小規模な堆積盆地ができることは多い。たまたまそのような新期堆積物がダムを計画する谷の裏側の地山にあって、ボーリングなどの調査が地表から浅い位置にとどまっていると、最初発見できなくて、後日計画が進んでから、発見されることがある。図-6は、堅硬な凝灰角礫岩の上位を未固結の湖沼堆積物が被っている例で、図-7は安山熔岩の上位に土石流堆積物がある例である。いずれも、ダムの直接基礎とな

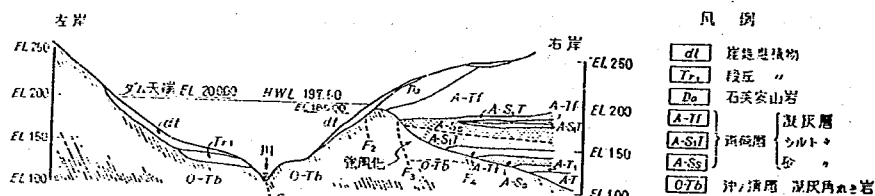


図-6 Dダムにおける地質断面図

る部分は堅硬な岩盤がでていて、地山の奥で軟質な堆積物が満水面上りずっと下位まで存在している。このような条件では、やはりグリッドシステムのボーリングが有効であるが、調査横坑を一般的傾向よりずっと深く突入してみる必要がある。また、弾性波探査の測線をダム敷の数倍も長くしてアバットの奥まで探査しておくことと地質調査の早期に発見することができる。

この他、古期の基盤岩の部分に急峻な峡谷状になっていて、一見好適なダムサイトと判断されるが、やはり地山の奥に予想外に厚い新期堆積物（新第三紀～第四紀）が存在することがある。図-8がその例である。この場合、初期のボーリングが浅いために、この新期の堆積物の異常な厚さを把握できず、ダムサイトの基礎岩盤の良好さにばかり気をとられていた例である。新期堆積物の分布すなわち地質構造に疑問をもって、深いボーリングを地山側の奥へ次々に実施してみたところ、断面図に示すような地質構造であると推定され、一応計画が中止されたものである。

ダムの高さ 57 m

地質：第三紀、火山角礫、安山岩

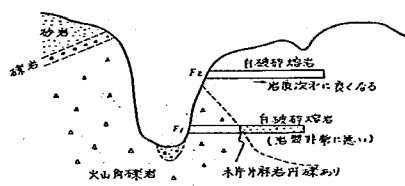


図-7 Eダムにおける地質断面図

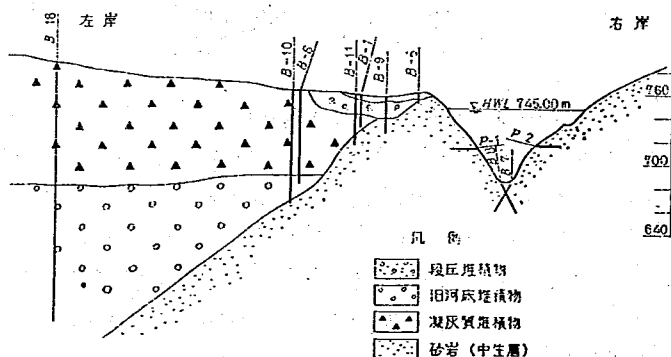


図-8 Fダムにおける地質断面図

この他、ダムサイトは良好な基礎岩盤であっても、透水層が山の裏側を通り、ダム側からは狭い調査範囲では発見し得ない例は少ない。4-1で述べたように先ず広域の地質踏査を行なうことがもっとも適切な地質調査方法である。

4-4 低角度の弱層

新第三紀層にも低角度の断層がしばしば存在する。第三紀の堆積岩では断層は、明瞭で大きな破碎帯とならず、いわば、スリッププレーンの集合状になることが多い。しかし、低角度の断層はしばしば衝上断層であることが多く、断層の見かけ上の上盤側は全体的ゆるんでいて、ダムの基礎岩盤となり得ない場合が多い。経験的には、これら低角度の断層は火山性の堆積岩より海成の堆積岩に多い傾向が見られる。地質踏査を綿密に行なって、地層の走向、傾斜の乱れや、各単層の厚さの不連続などから低角度断層は把握することができる。

また断層でなくても、非常に軟質なシルト層や凝灰岩層が低角度あるいは水平に夾在することがある。地質踏査で認識するように努めると同時に、地すべり地形から逆に弱層の存在を推定することがある。

このような特徴的に弱い地層は断層に準じて取扱わなければならないが、きめの細かい踏査、ボーリング、調査横坑の組合せから総合的に判断するようにしなければならない。

4-5 ボーリング

第三紀の地層におけるボーリングの注意点の第一は透水性の把握である。固結度の低い岩層ではコアを採取するために無水掘を行なうことがある。この場合には、コアの表面に岩層の自然の状態と異なるいわゆるマッドケーキができて、コアの崩壊を防いでいるが、同様なマッドケーキが孔壁にもできている。このマッドケーキは非常に緻密で透水性が低いため、無水掘のままの状態ではルチオンテストを行なうと難透水性であるかのようなデータを得て、現実と異なる判断をする恐れがある。正確なルチオン値を求めるためには、コア採取を主目的とする無水掘とは別に、水を使用したボーリングを実施してマッドケーキを作らずにルチオンテストを行なう必要がある。

4-6 弾性波探査

第三紀の岩層で、弾性波探査によって地質構造を把握しようとするのは非常に困難な場合が多い。弾性波探査屈折波法の原理から、地表側に堅硬な、すなわち速度の早い層があって、その下位に軟質の、すなわち速度の遅い地層がある場合にはこの軟質な層の位置、方向、厚さなどを弾性波探査によって把握することは不可能である。具体的にいえば、安山岩熔岩の下位に、軟弱で透水性の高い凝灰岩層があるというような地質構造は、弾性波探査では把握し得ない。

第三紀の堆積岩では、新鮮な岩盤と断層破碎帯あるいは風化層との間で速度の大きな差がないために、弾性波探査によって、断層破碎帯を発見することは困難で、風化帯の厚さを想定する場合も誤差が大きい。

基盤岩と第三紀層との境界を知るためには弾性波探査は有効であるが、地下水の存在状況によ

って大きな誤差を生じることもある。

4-7 ジャッキ試験、ブロックせん断試験

第三紀の岩盤においてジャッキ試験を行なう場合は、岩盤が軟質であるから石膏やモルタルの受圧板を大きく頭丈にして、局部破壊を起させない配慮や、変形量が大きいため、偏圧がかかることに注意すべきである。

ブロックせん断試験では、コンクリートブロックを打設する前にせん断する岩盤を長期間放置しないことである。4-2で述べたように、第三紀層の軟岩は経時変化を起すものが多いので、放置して劣化したまません断試験を行なうと非常に小さいせん断強さを示すことがある。また、凝灰角礫岩のように極端に強さの異なる部分の集合した岩盤では、場所によってせん断強さが大きく異なるので、せん断試験箇所が全体の岩盤区分を代表しているかどうかより慎重な検討が必要である。

軟岩では、コンクリートブロックに垂直荷重をかけた場合の変位から、変形係数を略式に求めるやり方は無理が大きくて無意味である。

ジャッキ試験やブロックせん断試験においても、クリープの影響が強く出るため、大規模なダムや、より軟質と考えられる基礎、すなわち設計値の余裕が少ないと考えられる計画では、長時間載荷を加味した試験を併用しておくことが望ましい。

4-8 粘 土

第三紀層は固結度が低いことから、泥質岩では粘土に近い場合があるし、また火山活動に伴って、熱水変質、温泉変質などによる後成的な粘土が割れ目を充てんしていることが多い。また、地表からかなり奥まで火山岩の節理に多量の流入粘土が入っている例も多い。これらの粘土はダムの基礎岩盤の条件を著しく悪くするものであるから、地表や調査横坑の踏査で十分性状を把握しておく必要がある。膨潤性の粘土鉱物（たとえばモンモリロナイト）を含有する疑いのある場合（火山岩、凝灰岩に関連して多い、また凝灰質の海成泥岩にも多量に含まれることがある。含有する場合には、地表へ取り出したサンプルが速やかにスレーキングするので判断がつく）には、一応X線分析など粘土鉱物分析を行なって確認しておく必要がある。

4-9 地すべり

第三紀層地帯は別名地すべり地帯といっても良い位に地すべりの発生頻度が高い。とくに日本海沿岸のいわゆるグリーントフ地域では、ダムサイトや、貯水池には必ず地すべりが存在すると疑ってかかってよいほどである。現在休止しているものも、掘削や湛水による地下水の上昇によって新たに動きだすといった例も多い。第三紀層地域ではダムサイトに限らず貯水池全域にわたって、地すべりの可能性について、地形、地質の調査を行なう必要がある。地すべりの可能性がある場合はできるだけ早い時期に地すべりの専門家の指示指導を仰ぐべきである。

4-10 鉱山旧坑

古第三紀層は、北海道から九州まで日本の代表的な炭田が多いので、戦中戦後の乱掘時代の旧坑（あるいは狸掘）が存在する恐れがある。新第三紀ではまた、日本各地で金属鉱床が生成されているので、試掘坑や採掘坑が埋れている恐れがある。図-9はあるダムサイトにおいて第三紀の流紋岩中の銅鉱床を採掘した坑道の配置図である。この旧坑は、地質概査や数本のボーリングによる地質調査の時点では、坑口が崩れて発見されていなかった。調査が進むにつれて発見され、当初の予想以上に深部まで掘進され一部坑道の崩壊も見られることが判った。ダムの直下にこのような旧坑が未発見のまゝ残っていて、湛水によって漏水したとすれば大きな問題をひき起す恐れがある。旧廃坑道については、十分地元から聞き込みを行なって事前に発見するようにしなければならない。（ボーリングや調査横坑で発見するのは偶然を期待するに過ぎない）

この他第三紀層では、珪藻土を採掘した坑道が存在することもある。

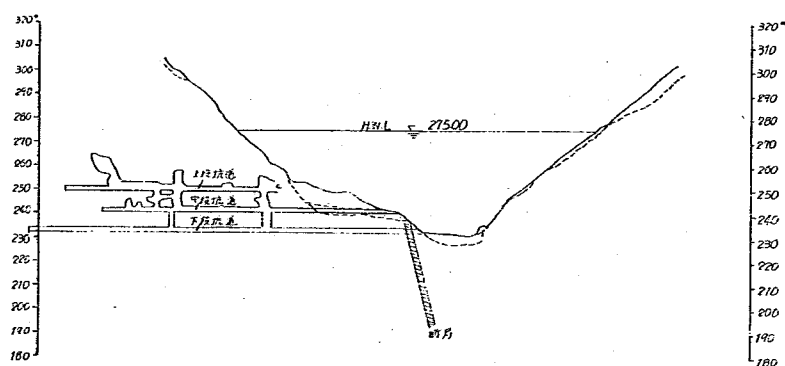


図-9 Gダムサイトにおける採掘旧坑

5. インドネシア、ウリンギダムの地質調査と 基礎処理について

九州地方建設局河川部

建設専門官 三浦三郎

肝属川工事々務所

所長 田原正清

1 はじめに

筆者らはインドネシア政府の要請により、コロンボ計画に基く技術協力の専門家として昭和48年9月20日より10月20日までの1ヶ月間、インドネシアに出張し、現在インドネシア政府で実施中のブラントス河総合開発計画の一環として調査中であるウリンギダムの地質調査と基礎処理計画についての技術指導を行った。

ウリンギダムの地質調査はこの開発計画の実施機関である公共事業省水資源開発総局のブラントス河多目的計画事務所 (Ministry of Public Works and Electric Power, Directorate General of Water Resources Development, Brantas Multipurpose Project) により1959年から1963年にかけて 最初の調査が行われ、1971年より現在に至るまで再調査が行われており、既に相当量の調査資料が集積されていた。従って筆者らの任務はこれらの既存資料を検討し、現地調査を行ない、不足調査があればこれを補ってダムの築造の可能性を検討し、基礎処理計画について指導することであった。

以下ウリンギダムの計画と上記検討結果の概要を紹介する。

2 ウリンギダムの計画概要

ブラントス河はジャワ島第2の大河で流路延長320Km, 流域面積12,000Km², 流域内人口1,000万人を有し、下流には人口140万でインドネシア第2の港湾都市スラバヤ市がある。

インドネシア政府はブラントス河総合開発計画を立案し、これに基いて上流部において既にセロルジョー、カランカテス、ラホール等のダムに着手しており、ウリンギダムは今後この計画に基いて実施される事業の中で第1の優先順位とされている。

ダム計画地点はブラントス河本川の上流にあたり、カランカテス、ラホールの両コンビネーションダム (貯水池を水路トンネルで連絡) の下流約30Kmに位置し、発電、かんがい、洪水及び流出土砂防御の多目的ダムとして計画されている。

下表にカランカテス、ラホールを加えてダム計画諸元を示す。

諸元 \ ダム名	ウリンギダム	カランカテスダム	ラホールダム
流域面積	2,890 Km ²	2,050 Km ²	160 Km ²
総貯水容量	24,000 千 m ³	34,300 千 m ³	3,700 千 m ³
ダム高	27 m	100 m	73 m
堤体積	625 千 m ³	6,156 千 m ³	1,310 千 m ³

3 ダムサイトの地形・地質

ダムサイト周辺の地形は比較的平坦でプランタス河は巾約100m程度、深さ約20mで鍋底型に開削している。右岸はクルド火山の極めて緩かな山麓斜面が続き、左岸側では標高240m程度の丘を有するがこの傾斜も極めて緩やかである。

ダムサイト周辺の地質は石灰岩、火山堆積物および現河床堆積物に大別される。

イ) 石灰岩は本地域の基盤をなし、ほぼ水平な走向傾斜を有し、左岸側の丘を形成しているが、右岸側では侵蝕されて低い位置に分布し火山堆積物で覆われている。

この石灰岩は新第三紀中新世～鮮新世のものと云われ、いわゆる Coral lime stone であり、日本の中・古生層に見られる石灰岩とは様相を異にしている。左岸の河岸沿いにその露頭が見られ、黄褐色を呈して小さな空洞(巾1～2cm長さ数cm)を有し、多くの場合この空洞は石灰質粘土で充てんされている。流水に対する抵抗が弱く、水衝部では深く侵蝕され、洞窟状となっている。また河床部の数ヶ所より多量の湧水が見られる。

ロ) 火山堆積物は石灰岩を覆って分布し、左岸ではうすく5m程度であるが、右岸側では40m程度の厚さで分布する。

この火山堆積物は下部より Compact volcanic deposit, Loose volcanic deposit および Loam に大別される。

○ Compact v. d. …… 安山岩質な凝灰角礫岩～集塊岩で比較的固結度が高く、一軸圧縮強度で50%程度は有するものと思われ、透水性も低く見受けられる。
(透水テストの結果は高い透水性を示し、露頭観察よりの印象とは異なるが、パイピングに対する安全性は高いと思われる)

○ Loose v. d. …… 火山砂及び粒径1cm程度の軽石を主とし、固結度が低く、透水性が高く、パイピングも懸念される。

○ Loam …………… 左右岸とも地表部に3～4m(max10m)程度の厚さで分布し、シルト質粘土～砂質シルトであり、概略左岸のものは粘性分が多く、右岸のものは砂分が多い。

ハ) 現河床堆積物は河床部にのみ分布し、ダム軸附近では20mの厚さを有するものと推定される砂礫層で、主として安山岩礫よりなり径1m以上の巨礫も存在する。

以上のように全般的に見てダム基礎としては決して良好とは云えない地域である。

4 ダム基礎としての問題点

ダムタイプは当初コンクリートダムが計画されていたが、地質状況と経済性の面より変更され、現在はフィルタイプダムとして計画されている。したがって問題点を基礎岩盤の透水性に置いて、以下の事項について重点的に調査した。

- ① グラウトによる止水の可能性
- ② 左岸石灰岩中の湧水経路
- ③ 石灰岩中の空洞
- ④ Loose v. d. の分布
- ⑤ 石灰岩の溶解

これらについて既存の調査資料を検討し、現地での補足調査を行なった結果に大胆な推測を混えれば次のようなことが言える。

①については既存のグラウトテスト結果より石灰岩についてはセメントグラウトによる改良が可能であるが、volcanic depositの場合は極めて困難である。

②については色素投入による地下水追跡を行った結果よりこの湧水は石灰岩中を全面浸透的に流れているのではなく、特定の水道を通して来ている。

③については既設の2本の横坑を観察する限り、大空洞は形成されておらず、小空洞は存在するが比較的連続性に乏しい。

④についてはボーリングコアよりcompactなものと区分することは極めて困難で、堅坑によって調査することが望ましい。補足調査として掘削した1ヶ所の堅坑では本層の厚さが比較的うすく、地表踏査及び弾性波探査資料より現在計画しているダム軸よりやや上流側では分布位置が高くなっているように推定されることより、調査の進展により基礎処理上より有利な場所を選定出来る可能性がある。

⑤については、水質調査(PHテスト)の結果より地下水はほぼ中性に近く、火山作用等による強酸性水などは見受けられない。

5 基礎処理計画

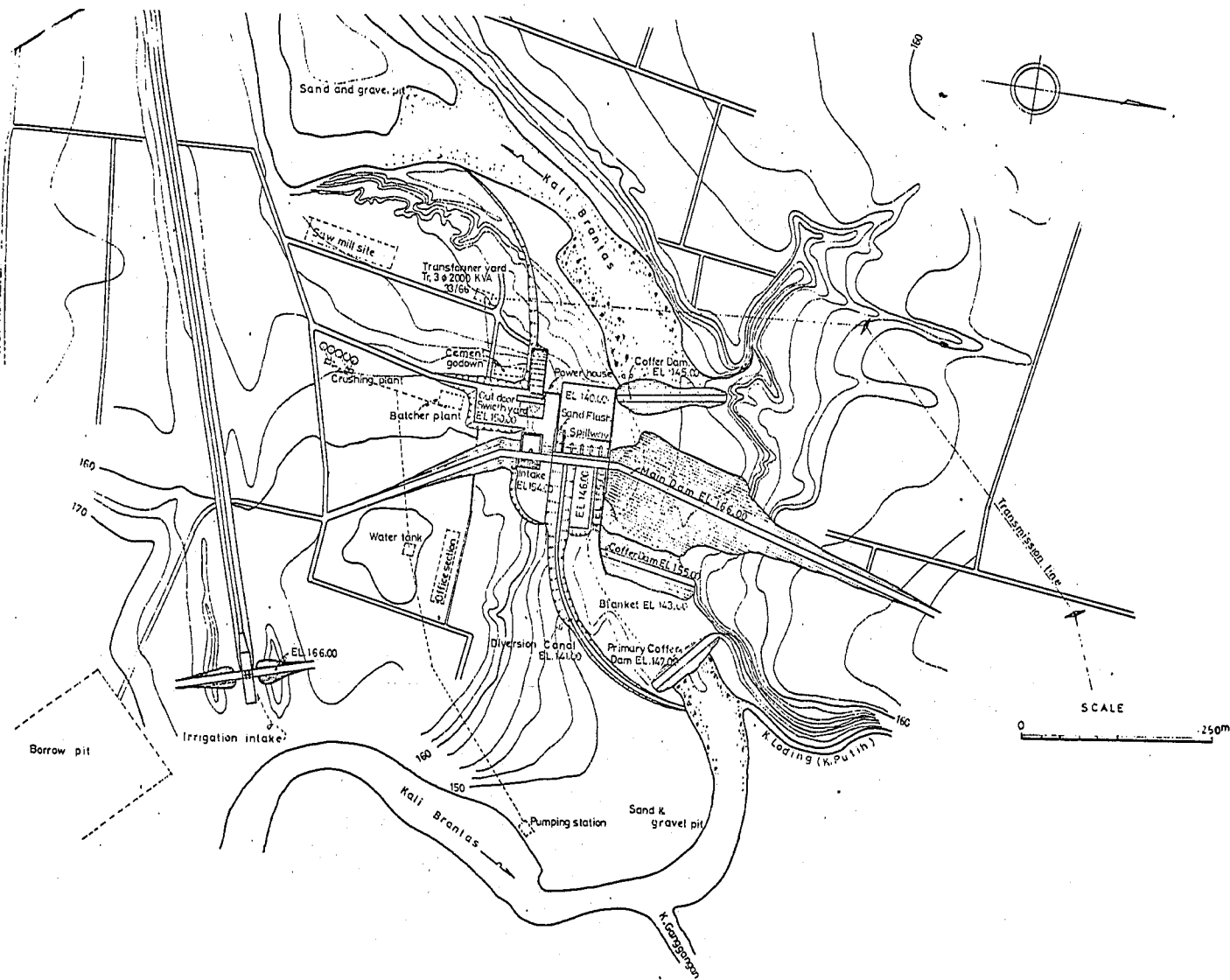
基礎処理としてどのような方法でどの程度(範囲)実施するかについては今後の調査に待つところが多いが、現段階として次のようなことを提案した。

方法としてはセメントグラウトが最も信頼度が高く経済的であることより、これを主体とする。しかし右岸部のvolcanic depositについては効果が期待出来ないと思われるのでケミカルグラウトの併用とする。(特に問題となるのはloose v. d.であるが前述のごとく、今後の調査によっては土質遮水壁等で置き換え得る可能性がある。)

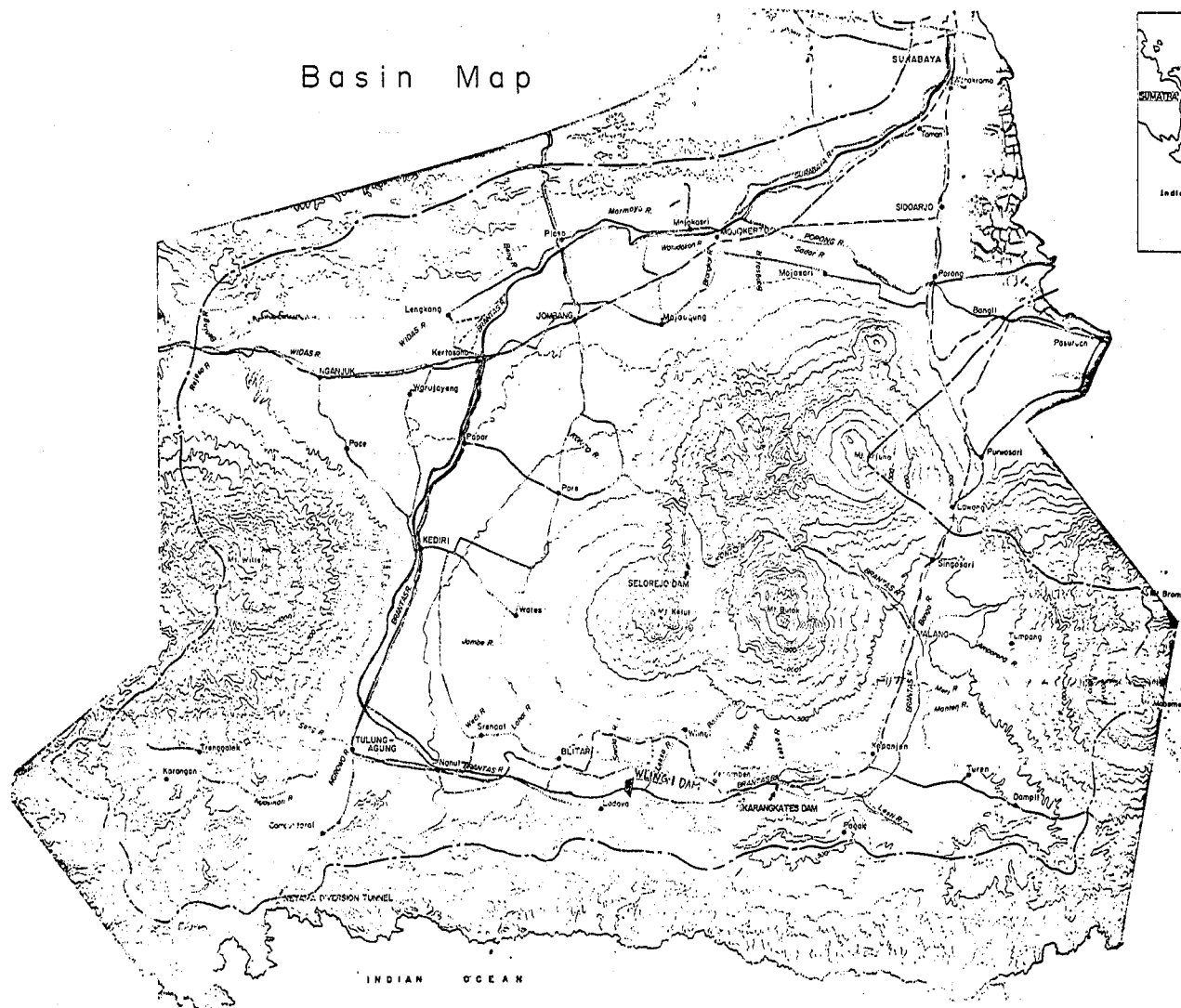
施工パターン(密度)については水深と貯水池との距離を考慮し、重要性に応じてA・B・Cの三つのパターンに区分した。Aは主として河床部で密度を高くし、両岸では貯水池側よりB・Cとそれぞれ密度を落した。

施工範囲はダム軸方向の延長では築堤部分をすべて対象とし、深度は河床部では水深の $\frac{2}{3}$ 以上を取り、右岸部ではloose v. d.をすべてカバーするようにし、左岸部では既存の透水試験結果および構造物の存在すること等を考慮して右岸よりやや深く取った。

なお左岸部で湧水現象の見られることよりアバット周辺では数mビッチのパイロットホールを



Basin Map



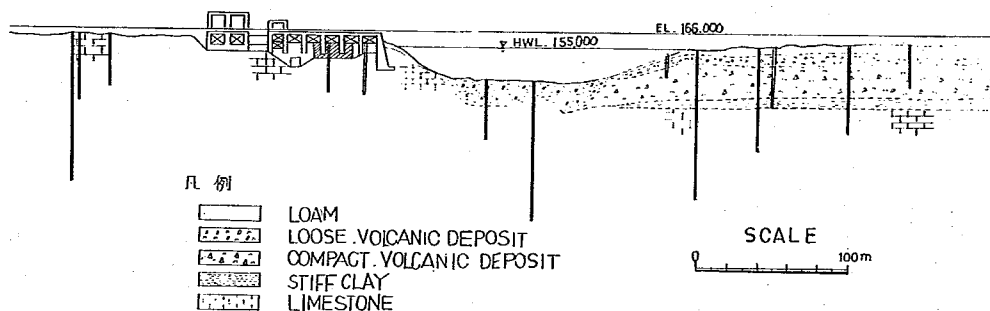
河床部のグラウト深度と同程度まで施工することとし、併せて湛水後のトラブルに対応出来るようにグラウトギャラリーを設置するよう提案した。

6 おわりに

上記の基礎処理計画等の提案については相当大胆な面もあり今後の調査によって再検討すべき点も多いかと思われる（詳細なグラウトテストや最適ダム軸選定等の調査はその後実施されているものと思われる）。

なお現地での調査実施にあたっては、ブランタス河多目的開発事務所の関係係官ならびに同事務所内で、このプロジェクトの技術指導に従事している日本工営㈱の佐藤、平川、澄川、福間の各氏には絶大な協力を賜った。

ウリングダム地質横断図



〔質疑応答〕

大島（北陸）：基礎処理について、石灰岩の中もグラウトで改善できないかと計画されているが、ガサガサと思われるのでグラウトで改良できるのか。

グラウトで改良できる範囲は目安として10ルジオンと聞いているが、15ルジオンでも改良できないのか。

ビット（立坑）は3日で15m進んだということだが、水の問題など出なかったのか。爆薬等を使わないでできるという条件が整っていたのか。

ロックフィルダムのロック材の量はとれるのか。

遺跡の石材は何であるか。

三浦（九州）：初期ルジオン値は30前後でグラウトテストの結果グラウトによって1ケタのオーダーのルジオン値になる。そこでもう少しやり方を変えると何とかなるのではないかと思います。

ビットは川より高く、また地下水位よりも高かった。1.5 m位は無支保で行っていた。上の方は loose volcanic deposit で簡単のようだったが、下の方は compact volcanic deposit になるので苦勞していたようだった。なおビットの直径は 2 m でした。

ロック材は河床の安山岩レキ等を主体にしようとしている。ロックフィルダムと云ってもアースロックフィルタイプである。

遺跡の石材は石灰岩と安山岩であった。

大島：大川ダムで基岩が深い所にあり、ダムベースを高い所にもってくると岩盤の透水性が問題になってくる。どの程度の所まで改良できるのか。

岡本（土研）：周囲の条件による。軟かくてルジオン値が高いのか、または岩は硬いが割目によってルジオン値が高いのか、水みちができる前と後ではまた押え方が違う。例えば九州の阿蘇熔岩（軟かい）はオーブンクラックが多くあり、そのままでは何 10 ルジオンの値を示すが、全部の割目から一様に出るのではなく、1カ所から集中して出ている所があり、また粘土が夾まっている所もある。

軟かい所で何 10 ルジオンを 1 ケタにしようとするのは無理で、硬くてキ裂の場合は何とかやりようがある。例えば圧を上げるとかビッチをかえるなどで改善は効くと思う。

今西（土研）：グラウトの事です。石灰岩にはセメントグラウト、loose volcanic deposit にはケミカルグラウトとしているが、お二人（田原、三浦）のノーハウについて定性的にでも説明して頂けると良いのだが。

田原（九州）：石灰岩は硬岩の方に属すると思う。口元圧 1～2 ㎏で行なっているものは効果少ないが、10～20 ㎏で行なうとルジオン値が 1 桁になり改善効果が認められたのでセメントグラウトでいけると判断した。

loose volcanic deposit はこのダムが逆調整ダムで、水位の変動が 1 m 位しかない。地下水位はほぼ一定と思われ、そのため loose volcanic deposit が浅い所にあると判れば随時置換えがきくということで、工事費の関係もありケミカルグラウトにした。これは工費の積算を対象として考えた。

今西：セメントはコロイドセメントを使っているのか。

田原：ポルトランドセメントを使っている。但しセメントの値段が高い。しかしセメントとケミカルとの値段の差は日本ほどではない。

菅原（土研）：石灰岩のセメントの走った範囲はどの程度か。cave 中のグラウト効果の判定ですが、相当量のセメントが cave の所に入っても全体の効果にならないのではないかと。

三浦：セメントの走りは確認横坑をやっていないので解らない。cave は 2 ケ所でグラウトテストを行なってルジオン値が 1 桁に下がっている。良いと判断した。

菅原：グラウトテストのパターンは。

三浦：確か最終ビッチが 60 cm だと記憶している。

岡本：積算は 60 cm でやったのか。

三浦：積算は 1.6 m の千鳥ですから 80 cm の 2 列と上の方にサブカーテンをつけるということで行

なった。

岡本：テストが60cmで積算が80cmで良いのか。

三浦：テストの結果80cm位で良いと判断した。

柴田（土研）：最近走った例が多いので、どの程度走ったかが問題だが、この場合最初に2m位のビットで、だんだん狭くしていったと思うが、その結果80cmで良いと判断したのではないか。

三浦：そうです。

菅原：TVAの例を見ても、グラウト効果が良いと判断されていても、水を貯めるとルジオン値が上がり、最終的には本体工事費よりもグラウト工事費の方が多くなった例もある。グラウトの範囲はルジオン値が1桁になった時に改良されたと判断して良いのかどうか。

柴田：圧と量でカバーできると思う。ただ範囲の問題は残る。走りの問題だが、ある圧力と量で押した時、入ったセメント量は判り、あとで透水試験を行なって水がどれ位止まるかということが判れば良いと思う。ビットをやって確認することは余り意味がないと思う。

大島さん（北陸）の話で岩が硬くなればかなり圧力を上げることができて必ずできるとはいえないが、かなり解決しやすくなる。但しこのようなダムの場合に水で洗い流れてパイピングが起り、それを防げるかどうかは問題がある。

第三紀層のHigh damで洗い流されはしないかと心配になる（ウリングダムの場合も判らない）。このような場合に修繕の仕方、危険度の予測はもう少しやって皆で考えていかねばならないと思う。

田原：総括説明の時に忘れていたがダムに近接した部分はパイロットホール的に間隔8mで荒いサウンディングをしておき、その状態が悪ければある程度まで追いかねばならないだろう。同時に左岸のダムコンタクト部分よりスビルウェイにかけてインスペクトとしてギャラリーを設けておくと同時に、広範囲に手当が必要な時はこの背面を使うということまで計画した。したがって、全体計画の5%だけはこのようなことが起るとして計画している。

座親（土研）：ロックフィルの最適含水比と施工の場合の転圧はどうやっているのか。

三浦：インドネシアでもそれは相当神経を使ってコア材についてはローム層についてテストビットを使って土質試験を行っているが、右岸は含水比が高く、左岸は砂っぽいので混ぜて使えば良いと思うのだが、混ぜるのも大変なのでもう少し場所捜しをやるように検討している。

大島（北陸）：ロック材は河床レキを使うということでしたが、常時2m位の水深の所で材料のとり方はどうやってやるのか。

三浦：洲の所の材料を使うので問題ない。

大島：乾期と雨期の問題は。

三浦：4～10月が乾期なので乾期に盛立てをするように気を使っている。

第7回地質担当者会議資料

土研資料第896号

昭49.2(1974)

建設省土木研究所地質研究室

要 旨 第7回地質担当者会議において発表された研究、報告、講演内容とその討論内容をまとめたものである。主なものは

1. トンネル工事と地質
2. トンネル内の軟弱岩盤圧と凍害
3. 討議 トンネルの技術基準
4. 第三紀層地域におけるダム地質的問題
5. インドネシア ウリンギダムの地質調査と基礎処理について