

## 膨脹性地山におけるずい道の土圧と施工法について (その 1)

日 振 ず い 道 工 事 誌 (I)

野 沢 太 三\*

## 1. 序 論

## 1. 要 旨

この報告は辺富内線日振ずい道 (Hiburi T., Hetonai L.) において、地山を掘さくする際に発生する頁岩の膨脹およびそれに伴う土圧の原因と性質について考察し、膨脹性地山におけるずい道の施工法に対して 2, 3 の提案を行なったものである。

## 2. 膨脹性地山について

じゅうらい軟弱な地質、たとえば温泉余土、風化頁岩などから構成される山の中にずい道を作る場合に、しばしば地山の膨脹 (押出の意味も含む。以下同様) に伴う強大な土圧に遭遇し、支保工を痛められ、覆工を破壊された例が少なくない。

これから膨脹性地山と呼ぶのは、その中に坑道を掘削した場合比較的短期の間 (数日から数週間位) に膨脹を起し、断面を縮小して、支保工、覆工に大きな土圧をおよぼすものをいう。

K. Terzaghi の分類によれば、強い側圧と盤膨れを伴う地質すなわち Swelling rock に相当する。

いかなる岩石、地質であっても地下にあれば、重力の作用で圧縮され、ヒズミを保有しているから坑道掘さくにより、その平衡状態を破られると、弾性的に伸長し、新しい平衡状態に達しようとする。その大きさは実際に測定できるが、堅岩の場合にはほとんど問題とするに足りない。

しかるに作用している地圧よりも破壊強度の小さい岩石であると掘削面が数センチから数十センチにおよぶ膨脹を起し、坑道は上下左右から縮小されてしまう。

膨脹を起す地質を構成する岩石の種類は、その生成原因から見て、変成岩に属するものに温泉余土 (溶岩、凝灰岩、集塊岩などが亜硫酸を含む熱水蒸気によって変質し、粘土化したもの)、プロピライト (安山岩が変質して風化したもので輝石類の緑泥化したもの)、があり、伊東線宇佐見ずい道、東海道線泉越ずい道にその例を見る。また緑泥片岩が膨脹した例として、予讃線夜昼ずい道がある。

滞積岩としては、頁岩よりなるものに、辺富内線日振

ずい道、安山岩質凝灰岩よりなる大糸線大野ずい道など例は多い。

火成岩が風化して膨脹を起した例として、風化した珩岩花コウ岩の北陸線深坂ずい道がある。

これらの地質を地質年代の面から見ると、緑泥片岩のように太古界から古生界に属するもの、中生界に属する粘板岩や頁岩、新生界第三系に属する頁岩や凝灰岩など、各地質年代にわたっており、特別の層に限定して出現する傾向は認められない。

しかし共通の特徴としては、褶曲作用や、断層による破碎作用を受けたり、火山活動の影響を受け、いちじるしく破碎、風化され、変質したものが多し。掘削に際し、つるはし、エアピックだけで火薬を用いないか、用いた場合でも少量でことたりることであり、圧縮強度、弾性係数は共に小さい。いずれの地質でも鱗片様の滑肌がよく発達しており、空気に触れると風化がいちじるしいことは共通の特色である。また不透水性の地層である場合が多く、湧水はこの種地層の中からは滅多に認められない。

膨脹の主原因として考えられているものは、

- 1) 潜在圧縮応力
- 2) 吸水膨脹
- 3) 化学変化
- 4) 水の凍結

などがある。

1) の潜在圧縮応力による膨脹は、地下深部では一般に認められるもので、地表面近くでも地質が特に軟弱な場合に発生することがある。日振ずい道、大野ずい道、夜昼ずい道などはこの原因によるものと考えられる。

2) の吸水膨脹は風化した岩石中に存在するモンモリロナイトが吸水して膨脹するものである。モンモリロナイトの結晶構造の中に水分子が吸着されて体積を増すことと、一般に粘土が圧密されて含水比と体積の増減をなすことは全く別な現象であって、区別して考える必要がある。まして風化した岩石を水中に投ざると体積を増しながら崩壊することから直ちに水を地山の膨脹と結びつけて考えることは判断を誤る危険がある。モンモリロナイトの膨脹の場合でも同時に 1) の潜在圧縮応力による膨脹が重なって作用するので両者の識別は厳密な調査

\* 国鉄 建設局線増課

によらねばならない。深坂ずい道では、珩岩の風化した青粘土の中に約75%のモンモリロナイトが観察された。

3) の化学変化による膨脹は、温泉余土が空気に触れ、石膏が生成されて発熱を伴いながら膨脹するもので、宇佐美ずい道が有名である。この場合でも主因かどうかは別として1)の潜在圧縮応力の作用は同時に考えねばならない。

4) の水の凍結による地山の膨脹は一般の凍上現象と同様に考えてよく、施工中よりむしろずい道完成後に覆工に被害を与えることに注意しなければならない。これは寒地におけるずい道の設計施工で特に留意すべきことであるが、地山が透水性の岩石からなるか堅岩であるか、不透水性の粘土などからなるかで様子が異なる。相当量の湧水がある場合はむしろ安全で適水程度の水が地山からしみでるような地質では、レンズ状の水層が発達して覆工を破壊する。特に坑門口にはこの例が多い。

凍結深度まで裏込で置換えるなど施工の際十分の配慮を要する。

以上あげたほか、地山の膨脹に伴い、掘削面の風化、はく落によってより深部まで影響が及ぶことが考えられ、いくつかの原因が組み合わされている場合が多いものと考えられる。

以下述べる土圧に対する考え方は1)の潜在圧縮応力による場合であるが、4)を除く他の場合も現象的には非常によく似ており、施工法を考えるとときには共通の扱いはできることがある。

土圧の大きさ、性質、分布などについては、地形、地質の調査と関連してずい道建設の基本をなすものであるからじゅうらい多くの測定が行なわれているが、いまだ決定的方法が見つからない状態である。ずい道が変状を生ずるのは全断面が完成する以前、豊築中に現われるものと、完成後数年あるいはそれ以上の年月を経て発生するものと二通りに大別することができる。

ずい道覆工は大きな偏圧がかからぬ限り、相当大きな土圧に耐えられるものであるが、施工途中においてはきわめて危険な状態にしばしば置かれる。したがって完成後の想定土圧と応力状態から施工途中の問題を論ずることはできない。そこで、土圧の大きさ、方向などを調べて覆工に対する影響を考慮すると共に、覆工自身どのような応力状態を経験して平衡状態に達するかを直接調査測定することが重要になってくる。

ここでは主として施工中の問題をとりあげる。

膨脹性の地山におけるずい道施工法の一例として以下日振ずい道の工事記録を報告しよう。このずい道には、膨脹性土圧に対する考え方や施工法について今まで知られているものはことごとく問題にされているので、今後かかる地質のずい道工事に対して何らかの参考になれば

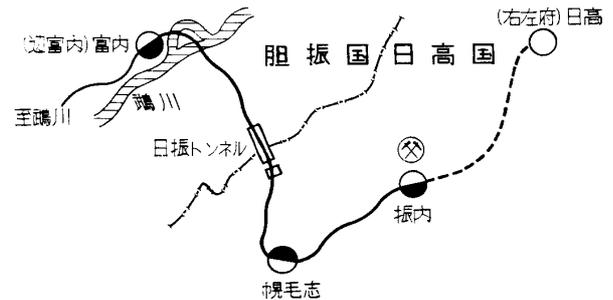
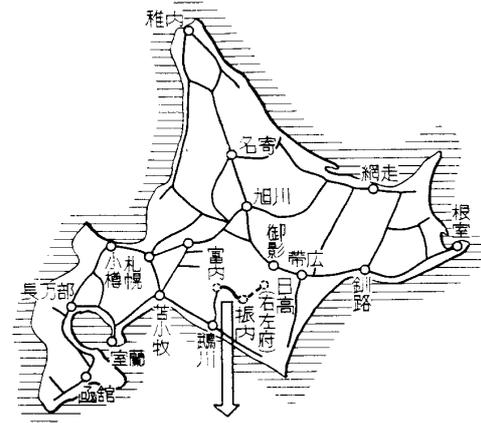


図-1 辺富内線日振ずい道位置

幸いである。

### 3. 日振ずい道の沿革

日振ずい道は、辺富内線富内起点 4.966 km から 6.026 km におよぶ延長 1.060 km のずい道である。

辺富内線は昭和 11 年、十勝国御影付近より、日高国右左府（日高）を経て予定線に編入され、同時に建設線の決定を見たものである。

昭和 14 年、富内・振内間 13 km を富内方より着工したが、沿線は悪地質で、特に日振ずい道は膨脹性の土圧を受け、施工は困難をきわめた。昭和 20 年 1 月、戦争の影響から一時中止となり、昭和 21 年 1 月再び着手したが、昭和 23 年 9 月、全般的に工事中止の止むなきに至った。

その後昭和 28 年 8 月、富内、振内間 13 km がみたび着工の運びとなり、20 年近くの年月を経て、昭和 33 年、11 月に開通を見た。

この工事の山となった日振ずい道は次の順序で施工された。

#### 1) 御影口

昭和 16 年 1 月、直轄で着工、底設導坑を 80 m 掘進したが膨脹性の重圧に悩まされて中止。16 年 4 月になり、富内起点（以下同様）5.920 km 付近に左 50° の斜角で横坑を掘削し、同年 5 月末完成、以後この地点から坑奥および坑口に向い掘進した。

昭和 17 年 12 月に至り、坑口と横坑からの豊築工が合してから後はもっぱら坑奥へ掘進し、延長 425.80 m を完成して昭和 23 年 6 月中止した。

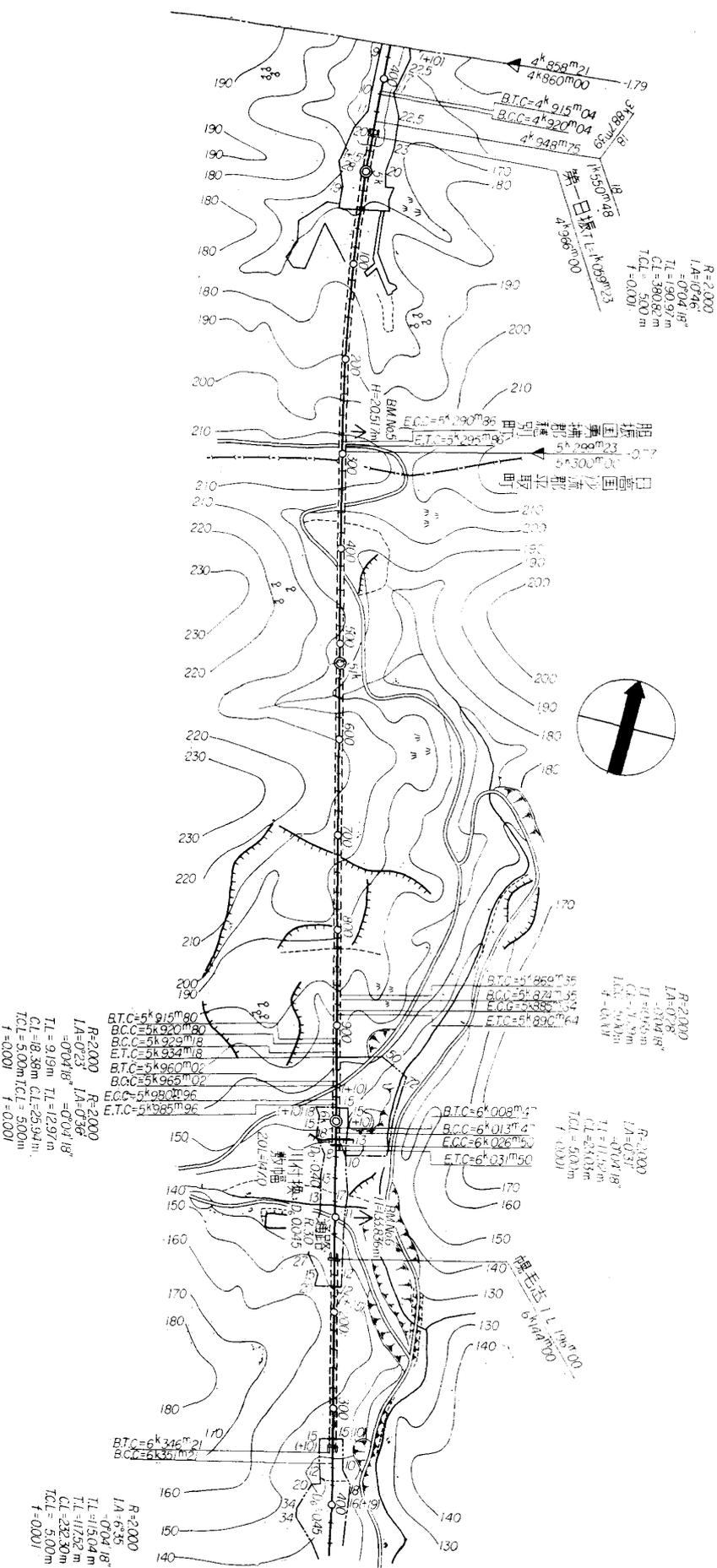


図 2-1 平面

2) 富内口

昭和 17 年 4 月に 5.020 km までの 54 m を請負で着工, 18 年 4 月に完成, 続いて 5.050 km までの 30 m 間を同様に施工し 18 年 12 月に完成した。昭和 18 年 7 月に 5.200 km 付近に斜坑を直轄で着工し, 同年 9 月 14 日完成した。その後富内口および坑奥へ向い掘進し, 延長 307.50 m を完成して, 昭和 19 年 10 月中止した。斜坑は斜角左 43°, 勾配 1/2.4, 延長 48.70 m である。

3) たて坑

昭和 17 年 9 月に 5.377 km 付近に竪坑を直轄施工, 18 年 2 月完成した。土圧の加わり方が比較的遅いので, 新奥式で両坑口に向って掘進し, 延長 100 m を完成して 19 年 5 月中止した。

4) 最終回

昭和 31 年 8 月に再開された工事は, 5.600 km から 5.425 km 間の 175.2 m と, たて坑で施工した 100 m の区間をはさんで, 5.325 km から 5,273.5 km 間 51.5 m の計 226.7 m である。

工事は途中 1 度出水事故で中断されたが 33 年 6 月に切抜貫通, 改築を行って, 33 年 11 月に使用開始を見た。17 年にわたった工事であるが正味の施工期間は 9 カ年である。

以上の各施工区間の中, 1)~3) まではすでに粕谷逸男氏によって, 発表されているので(土と基礎 Vol. 1 No. 3~Vol. 2 No. 6 Oct. 1953 ~July 1954) ごく概要を記すに止め, 最終回の施工を中心に報告する。また原稿の最後に当初からの設計施工の考え方を要約してかかげ理解の便に供した。

4. 地質

日振ずい道が貫く日高・胆振 (Iburi) 国境付近は夕張炭田の南々東に当る複雑な褶曲構造地帯に属し, 白亜系の上中部菊石層 (穂別層) および函淵属, 古第三系の幌内層, 新第三系の川端層などが, いず

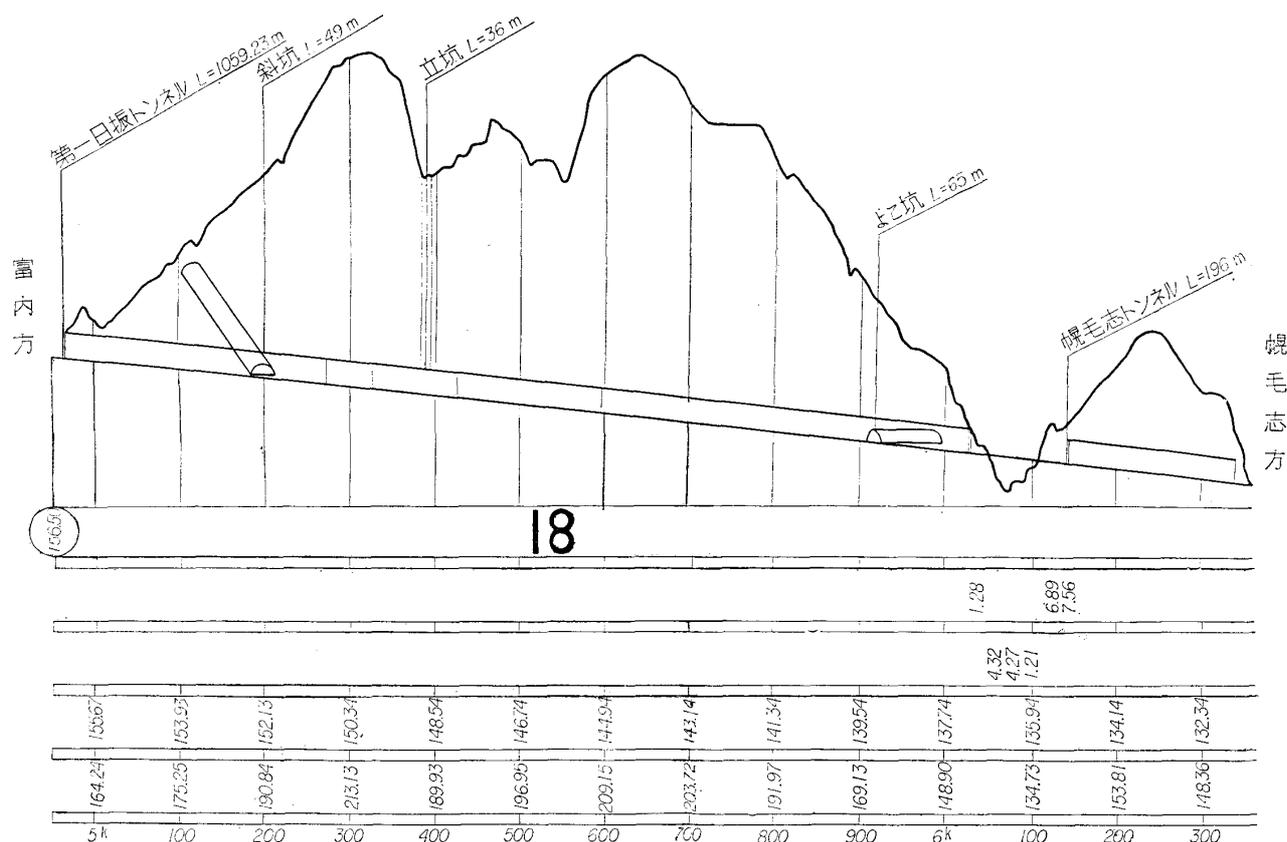


図-3 ずい道縦断面図

れも相当な急傾斜をもって北々西に走り、その間は幾多の褶曲軸を起伏させ、特に富内南方には白亜系の中を切る辺富内断層がいちじるしい。

日振ずい道は川端層との不整合面にきわめて近く、前記上部菊石層の中に掘られている。

同層の主体は灰色ないし黒色の頁岩で、その中に白色凝灰質砂岩をはさんでいるが、ずい道付近ではたび重なる地殻変動に伴う圧力および熱水溶液の浸透によりいちじるしく変質、破碎され、内部まで脆弱となり、あるいは粘土化して、地層面の走向、傾斜などほとんど測定不可能である。熱水溶液の浸透により、ずい道の掘削面にしばしば脈状の石膏および方解石の岩脈が見出される。

また川端層の基底レキ岩はずい道東側を流れるポロケシオマップ川支流の河岸に見出され、不整合面がずい道に近接しほぼそれに平行していることを物語っている。

地質のかく乱はずい道の全延長にわたっているが、この頁岩を観察すると、破碎作用を受けぬものは塊状をなしており、破碎作用のあまりいちじるしくないものは層が分離し、層に直角の方向にも割目が発達している。破碎作用の特にいちじるしいところは、ほとんど粘土化しており、表面が鱗片状に剝離してくる。ここには油で磨いたような滑肌がよく発達しており、これは70°から80°位に立って、ずい道中心に対して左右にわずかに傾いている。

この地山の膨脹は掘削後一両日中に始り、5日から10日位の間に最もいちじるしい。この膨脹は掘削面を

支保工で押えてある場合、20日から1カ月位でほぼ落ち着く傾向にあるが、前後の掘進状態と密接な関係があるので、一概に膨脹量を規定することはできない。

これについては膨脹と土圧に関する項で述べる。

### 5. 設計

当初の計画は単線1号型であったが変更され、仰供がついた馬蹄形が最初に用いられた。しかし側圧に弱いためその後次第に改良されて、円形となり側壁に抱きかついた。これを一覧にまとめたのが図-4である。

覆工材料は当所場所打コンクリート、次でコンクリートブロック、切石などが採用されたが、ふたたび場所打コンクリートになり、最後に少区間ではあるが、可縮支保工に使ったV型鋼を埋め殺した鉄骨コンクリートが用いられた。

### 6. 施工

施工法のおもな変せんは次の通りである。

- 1) 新壊式、日本式による逆巻工法
- 2) 覆工裏に大きな余掘りをおき、粗だせずりなどを入れ、地山の膨脹の余地をあらかじめ残して覆工コンクリートを施工した。日本式あるいは新壊式による逆巻工法
- 3) 余掘りの中に砂利やコンクリートを詰めると好結果が得られることがわかり、地山の膨脹の激しい約2週間位の期間を経過してから、地山に密着するよう覆工コンクリートを施工した。底設導坑を

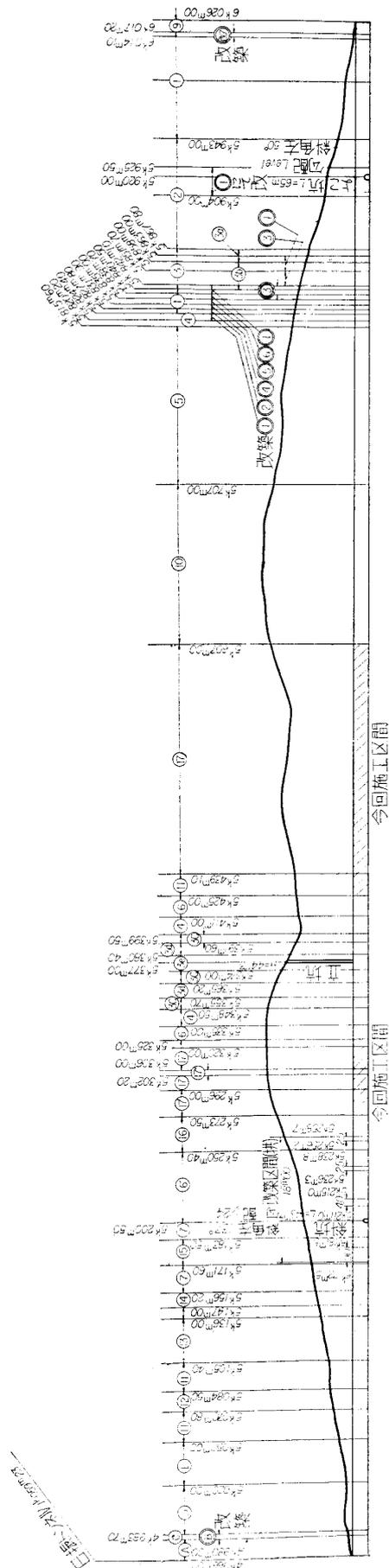


図-4 (1)

進めない日本式の逆巻工法。

- 4) 地山の膨脹を促進させ、土圧を軽減してから畳築するように、底設導坑を 15 m 位置築端から先進させる新塊式逆巻工法。

アーチコンクリートは丸型切掘りから 2 週間位の期間を経てから地山に密着するよう畳築する。これが 31 年 8 月以降の工法であった。

- 5) 最後に採られたのは半断面掘削を行なって鋼製可縮アーチ支保工で地山を押え、土圧とバランスするのを待って覆工コンクリートを本巻きする工法である。

## 7. 研究の要点

- 1) 地山の膨脹の状況と、それが支保工覆工におよぼす土圧についての観察と各種の測定を行なったこと。
- 2) 地山の頁岩が膨脹する原因についてこれまでなされた種々の解釈を批判し、膨脹の原因は、吸水膨脹、風化などによるものでなく、土かぶりその他による土圧のために蓄積された内部ヒズミが掘削により遅延して開放されてくるものであることを明らかにした。
- 3) 土圧、膨脹、時間の間にある関係を求め、施工法を改良する資料とした。
- 4) カールソンヒズミ計、ワイヤーストレンゲージにより、穹拱コンクリートの応力を測定し、土圧の沈下、側圧などによって穹拱コンクリートに多大の曲げモーメントが発生することから膨脹性地山において、新塊式逆巻工法が不適當なことを指適した。
- 5) 可縮目地を有する覆工について試験を行なった。
- 6) 新塊式逆巻工法に代わって、半断面鋼製可縮アーチ支保工を用いる工法を採用し、本巻により覆工コンクリートを施工した。

## 2. 膨脹性土圧に関する研究

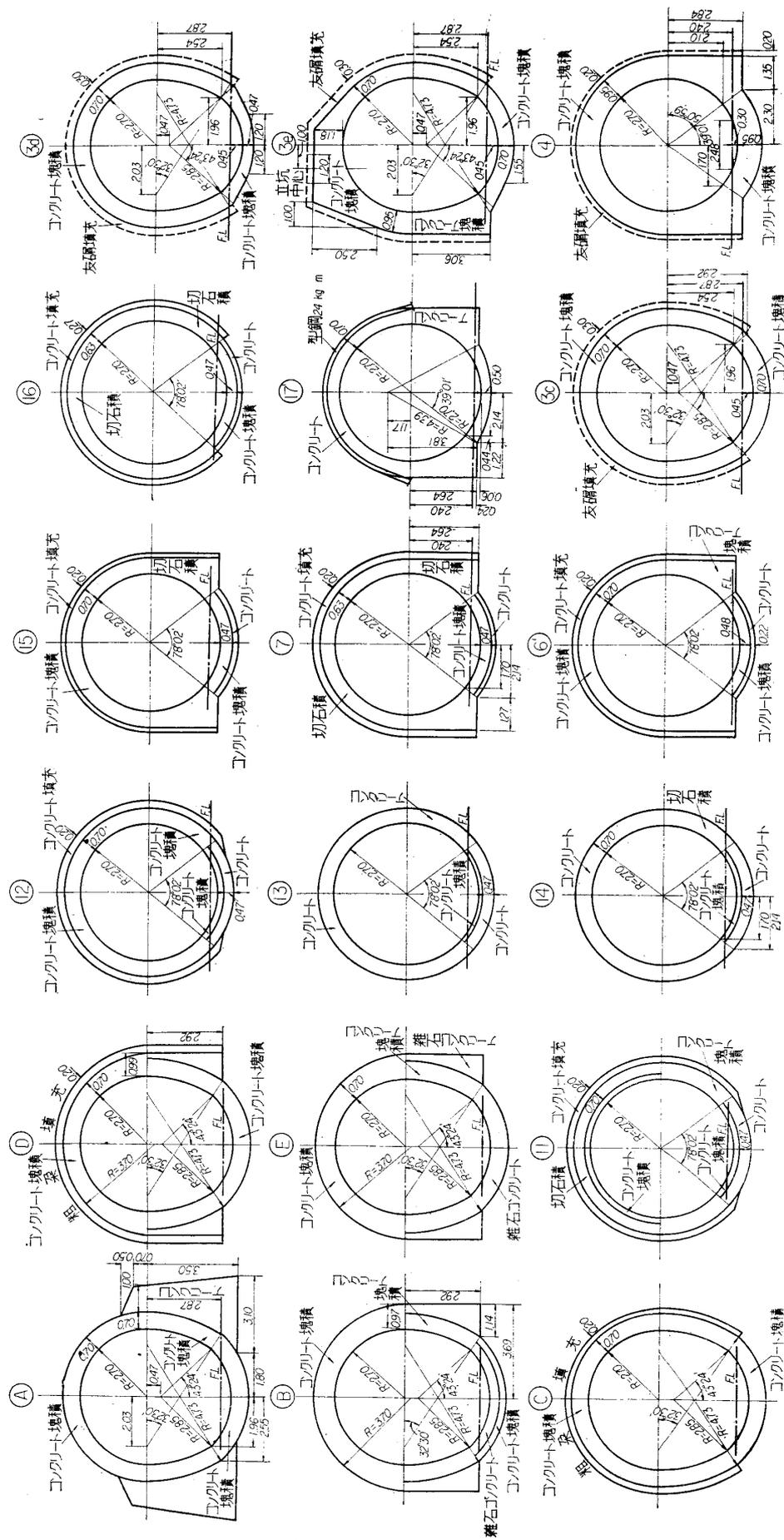
### 1. 地山の膨脹と支保工、覆工にかかる土圧

ここでは導坑の掘削から畳築完了までの間にどのような土圧が加わり、膨脹が起るか、実際の支保工、覆工について観察した結果をのべる。

土圧の発動、膨脹の状況は、地質やかぶりの状況によることは勿論であるが、掘削面の大きさや、掘削後の時間が重要な要素になる。また新しい地山の中を掘って行く場合には膨脹が激しいが、畳築終端の切羽近くで長期間放置されていた地山を掘る場合にはさほど大きな膨脹は起らない。

- 1) 底設導坑掘削に伴う膨脹土圧

導坑を掘削すると、掘削後数時間で膨脹が始るのが見



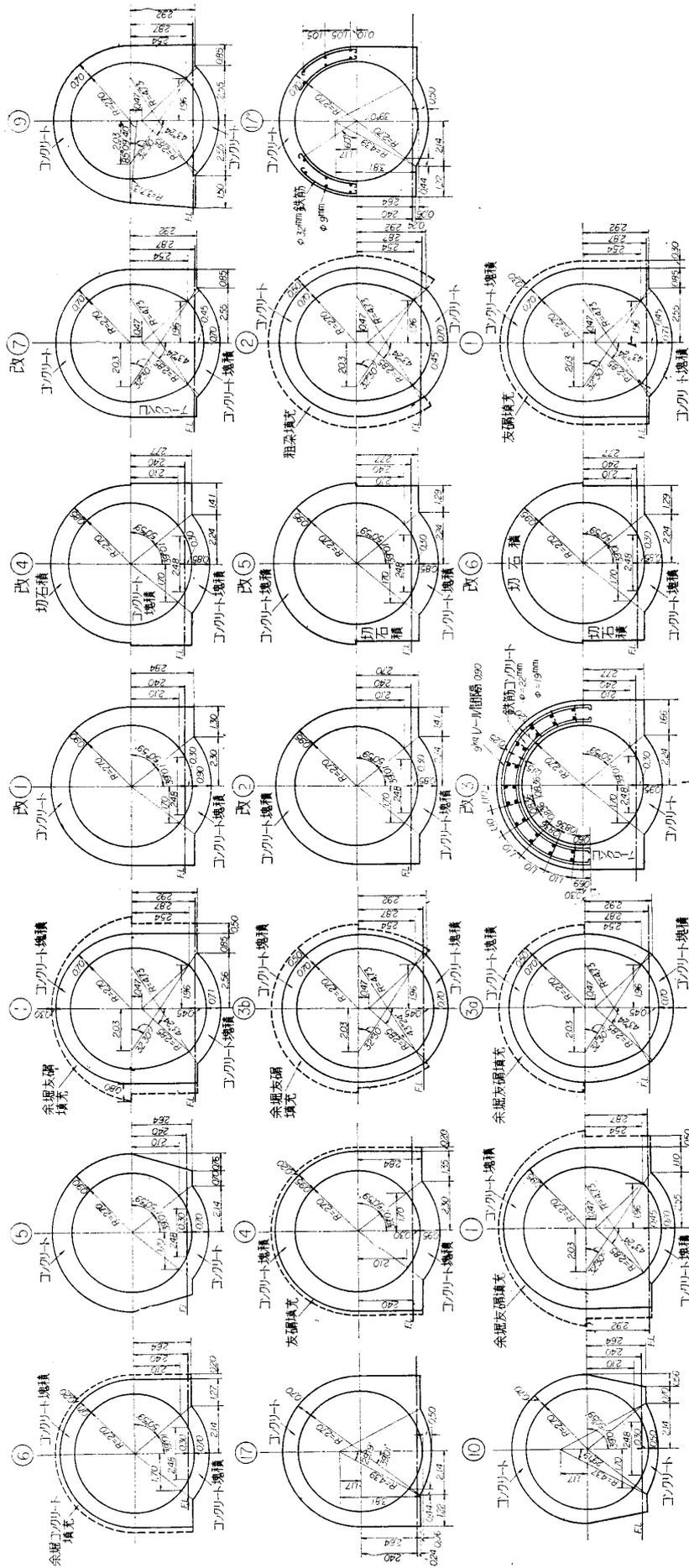


図4 (3)

られ、導坑の山留めに用いた矢木や矢板が先ず撓曲し、その間から岩塊がはみだし、崩落して導坑を埋める。

山留めを嚴重にする程、土圧の作用は強くなり、矢板や矢木を折損して膨脹し、さらに激しくなると導坑柱やにない柱を折り、鯖口が割れることもある。

膨脹れもいちじるしく、激しいときは、1昼夜に数センチに達することもあり、トロ線が持ち上げられてしばしば縫返えしの必要にせまられた。これらにかまわず掘進を続けると、次第に断面を縮小し、歩行も困難になり、ついには全く閉塞してしまうことすらある。



写真-1 全く閉塞した底設導坑

このため導坑を維持するには常時ふくれる頁岩をすき取り、支保工にかかる土圧を軽減させ、膨脹に抵抗しないことが必要であった。初めのうちは鳥居に組んだ松丸太支保工を用いたが、ほとんど再用法がきかなくなるので、30 kg/m の古レールを用いた鉄棒支保工を途中から採用したが、膨脹する頁岩は、その間から矢木を折って崩れ落ち、常時補修の要があった。

建込が正確に行なわれないと、よじれを受け、外すのに苦心したところもある。

割矢木の代わりに雑木の丸太矢木を用い、ずりの落ちないように粗だを上のにせたところは上方からの重圧をまともに受け、溶接継目やボルト孔などから折られてしまった。

## 2) 丸形の切り抜げに伴う膨脹土圧

後光梁支保工も、矢木折れ、鯖口の喰込から始り、内張りがアーチ作用を失い、桁やにないが押し潰され、第三柱は土圧の膨脹により、足を押されて折れ、周囲からかかる土圧のため、後光梁はずい道の出口の方へ向い、大引のところからくの字なりに挫屈する。

これをやらずに押えると、大引が折れ、80 cm の上げ越しをおいたにないがアーチコンクリート豊築時には40 cm から 50 cm の縫返しを必要とする程沈下した例もあり、新しく丸形を切り抜げると桁が数十 cm も押し出されているのが認められた。

膨脹は一様でなく、5日から10日目位が最も激しく、その後次第に緩慢になるが、抵抗するものがないと

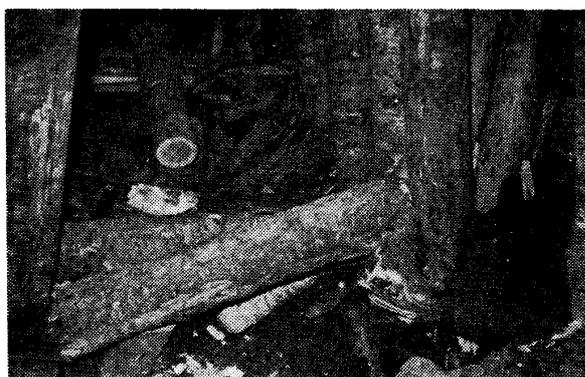


写真-2 側圧により土屈した大引

長期にわたって続くものと思われる。

地山の掘削面を支保工で支えているとき、それを緩めるとふたたび膨脹が起ってくる。

膨脹は土圧と支保工の支持力が平衡したときに止るのが観察された。

このように支保工が破壊されても、地山は相当な粘着力を有し、作用が緩慢で後退すれば、土圧が緩和されるため、急激に倒壊するようなことはなかった。

## 3) 豊築に伴う膨脹土圧

丸形を切り抜げから、2週間おいてアーチコンクリートの豊築にかかるが、これにかかる荷重は側圧が最も強く、3のケタより下はコンクリートと地山の間に20 cm の余掘りを設けているにもかかわらず、アーチコンクリート打設後、3日目に側壁の前足をつけるために土圧を掘削してみると、すでに地山はアーチに密着して土圧をおよぼしていることが知られる。側圧はセントルの台バりをわん曲させ、やらずをきかせた場合は台バりの鼻折れを生じた。

山側からの偏圧がきびしい区間では、全体が移動してならし桁の回転が起ったこともある。

このような土圧が覆工にかかるため、側壁取付が終わり、セントルをはずしてみるとキ裂や圧潰が多く発見され、代表的なものは、アーチコンクリートの肩、天端などをずい道方向に走る圧縮破壊の変状、45°なりに覆工を切るよじりの変状、横断方向に現われる引張りキ裂、施

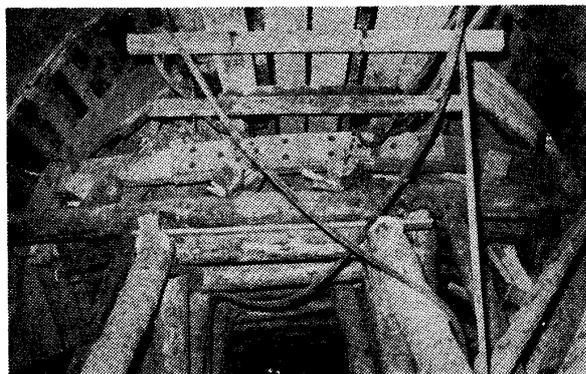


写真-3 断面縮小による台裂のわん曲と編圧によるならし桁の回転

報 文・論 文

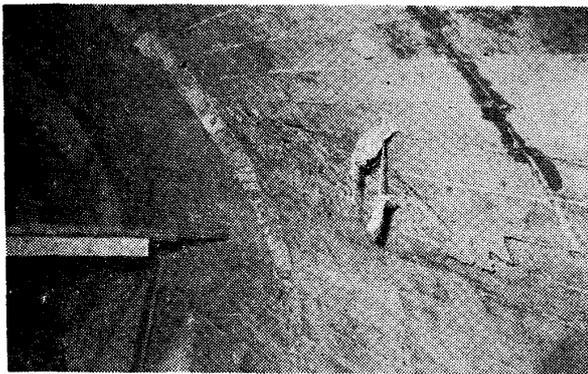


写真-4 アーチコンクリートに現われた変状

工継目の起拱点近くに現われる抉削などである。側壁が盤脹れのために押し出され、アーチとの施工継目が口を開けることもあり、アーチの半径は起拱線付近で 5 cm

から 10 cm も圧縮されて小さくなっている。

アーチの沈下は数 cm から十数 cm に達することがあり、左右の動きは、山側から川側へ押されることが多いのであらかじめ、アーチの端を上越したり、山側へ振り込んだりしたが予想通りにそれが戻らないことが多く施工継目が鋸歯状に食い違った。

インバートアーチを施工すると、セントル撤去後発見され、進行を続けている変状はほとんど停止するが、その後も進行を続けている。キ裂もある。これは主として圧潰されて浮いた部分であり、ごくゆるやかで表面的なものであり、やがて平衡状態になり、覆工は変状を持ったままでも相当な動きをしているように見える。

(つづく)

ニ ユ ス

先般東京および京都で開かれた第2回世界地震会議では、世界各国で土質工学に従事してられる方も多数来日されました。学会でもその方々との親睦をはかる意味で、7月14日夜大手町の『天風』にご招待しててんぶらパーティーを催おしました。種々のご都合もあって出席された方は、

アメリカ

C. Martin Duke, Harry B. Seed

イギリス

Nicholas Ambraseys

イラン

A.A. Marandi

インド

I.P. Kapila

の5名、学会側からは星埜・太田尾両副会長のほか関係者が多数参列しました。とくに改まった議題も用意しませんでしたので、はじめからなごやかに歓談しました。ちょうど大相撲が開かれていましたが、DukeさんとSeedさんとが仕切りなおしのまねを何回もくりかえされ、Dukeさんが“Four minute ceremony, and ten second fight!”といわれたのは、アイロニーもあって満場大笑いでした。

