

両総用水第 20 号隧道圧気工法について

正 員 加 納 俊 二*

ON THE METHOD APPLIED TO THE 20TH TUNNEL OF THE RYŌSŌ IRRIGATION PROJECT

(JSCE Feb. 1952)

Kenji Kanō, C. E. Member.

Synopsis The construction work of the 20th tunnel of the Ryōsō irrigation project is now under way by the compressed air method. The nature of soil on the site being of fine sands with heavy subterranean water, the excavation was first started by the ordinary method, but the earth pressure was so heavy that any further progress of the work seemed impossible. Consequently the compressed air method was thought of, and it was subsequently applied and the work showed a quite smooth progress.

The examples for successful application of this method were seen on only two occasions, the one on a part of the pilot tunnel of the Tanna tunnel and the other on the Moji site approach of the Kammon tunnel of the Government Railway. Both of the projects were undertaken by the Government under its direct management, but this is the first work performed by a contractor applying such method to the tunnel excavation in this country.

The author describes this work briefly.

1. 緒 言

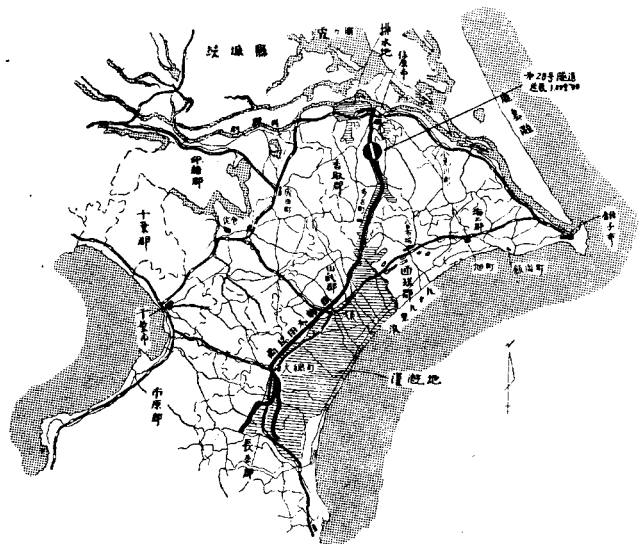
農林省両総用水農業水利事業は千葉県佐原市を中心とする利根沿岸湿地 1 800 余町歩の排水改良と、九十九里浜沿岸を主とする山武、長生、匝瑛、香取 4 郡 51 ヶ町村の耕地 21 000 余町歩の用水補給をなすものである。昭.18.2. 国営施行の件が議会を通過し、昭.18.7. 工事に着手された。排水路の一部掘さくを開始した時恰も戦時中で、労働力及び資材等の不足による施工困難を来し、続いて終戦後もインフレに伴う事業費の増額資金難その他各種悪条件のため一時事業の停頓を来した。然し昭.21.9. 公共事業として認証され 5 ヶ年計画として工事再開となつたのである。その事業費は昭.24.3. 物価基準で 2 370 000 000 円余で、完成の時は米麦合せて年平均 177 500 余石の増産と、年に 525 000 余石の生産確保が可能なのである。この工事の所管は東京農地事務局で、直接の担当は農林省両総用水農業水利事業所（所在地：佐原市）である。佐原市から茂原町に至る用水補給幹線水路は総延長 63 km

余で、この間に 41 ヶ所の隧道(総延長 11 k 650 m)がある。

第 20 号隧道は、佐原基点 6 k 512.8 m 地点より始まり延長 1 009 m、断面は半径 2.6 m の半円型である。この工事は株式会社熊谷組の請負施工である。

(図—1~3 参照)

図—1 両総用水幹線路平面図



* 株式会社熊谷組取締役

図-2 縦断面図

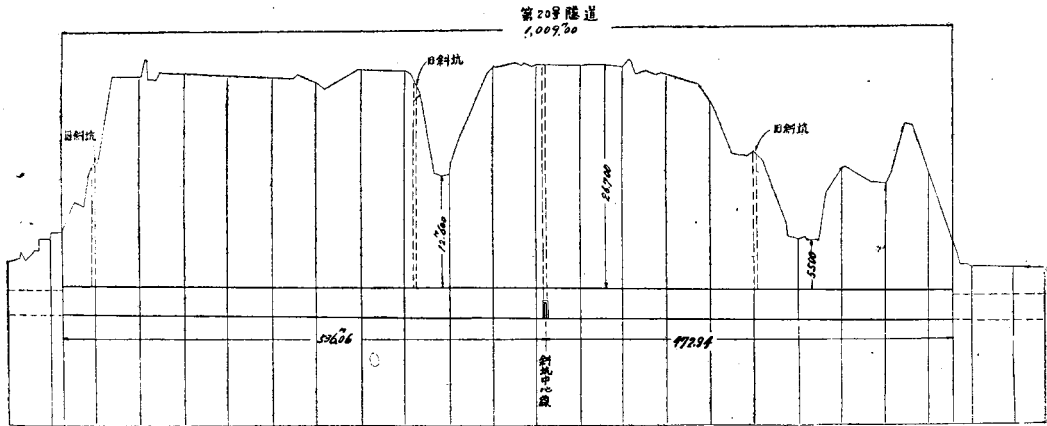


図-3 断面図

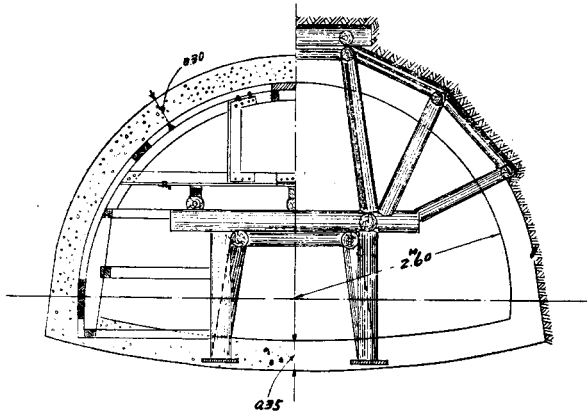
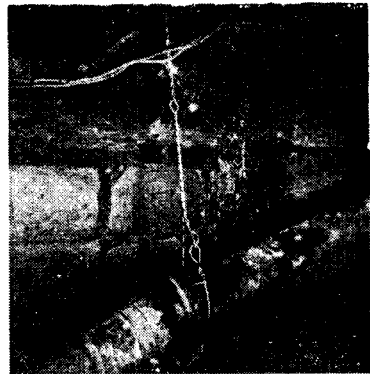


写真-1 覆工破壊



2. 圧気工法採用に至るまでの経緯

この隧道附近一帯は最高約 40 m (海拔) の丘陵地で、隧道インバート下端標高は平均 11.8 m である。地質は粘土分の極めて少ない細砂で、地下水の平均水位は標高 17.5 m である。

昭.25.8. 着手, 昭.26.3. 竣功の予定で、先づ3ヶ所の斜坑掘さくを開始したが、各斜坑共地下水位(標高 17.5 m) に到達すると相当の湧水に出会った。時日経過に伴ってこの湧水は減少するだろうと云う期待の下にコンクリート覆工を施しつつ掘進を強行したが、湧水は依然として変わらず覆工背面の砂が押し出されて覆工に亀裂を生じ遂には破壊するに到り(写真-1 参照), 斜坑下端迄到達することさえ困難な状態となった。然し従業員必死の努力により覆工の補修をなし尙も掘進を続けたが、坑道砕を入れるや流砂によつて坑道が埋戻され、その埋戻砂を除去する間に次の砂が又流れ出すと云つた様な状態で、このままでは作業不可能な事が明瞭となつた。そこでウェルポイント工法、路線変更、開渠及び圧気工法等の比較研究がなされ、

工事着手以来 4 ヶ月日の 昭.25.12. 工期及び工費を勘案し、遂に圧気工法にて施工する事に決定した。

3. 圧気工法

施工方式 圧気工法に於けるポイントは圧縮空気消費量の如何であるから、可及的少量の圧縮空気で施工し得る様にその方法を決定しなければならない。従つて掘さくと覆工を極度に接近して施工するのが定石で、施工速度には自ら限度がある。次に述べる様な斜坑掘進方式、気閘配置計画及び 昭.27.3.(苗代給水時期)迄に必ず竣功する事等を考慮し、1切端即ち片口日進平均 1.5 m 確保を基礎として諸設備及び掘さく方式を計画した。先に掘下つた3ヶ所の斜坑の内上口の1ヶ所は一応そのまま残して掘さく部分は覆工し、将来万一難関に遭遇し竣功期限迄に施工完了が覚束なくなつた場合、この斜坑を利用する事にした。他の2ヶ所の斜坑は入念に埋戻し、全隧道延長のほぼ中心地点に新しく斜坑を設けた(写真-2 参照)。この斜坑の地下水位迄は素掘工法で掘り下り、地下水附近に気閘を造り、ここ以下は送気して掘進した。斜坑完成後本隧

写真-2 斜坑

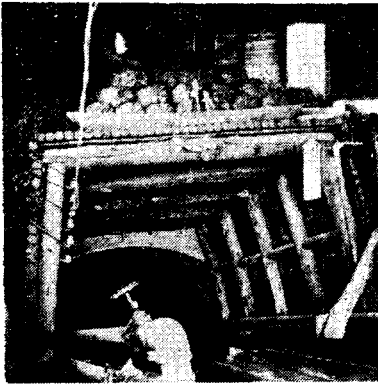


図-5 本隧道気閘

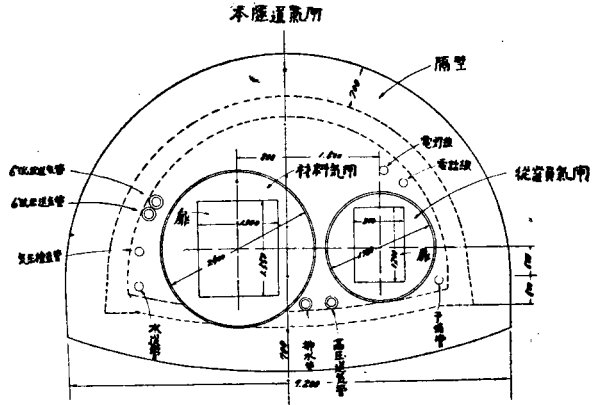
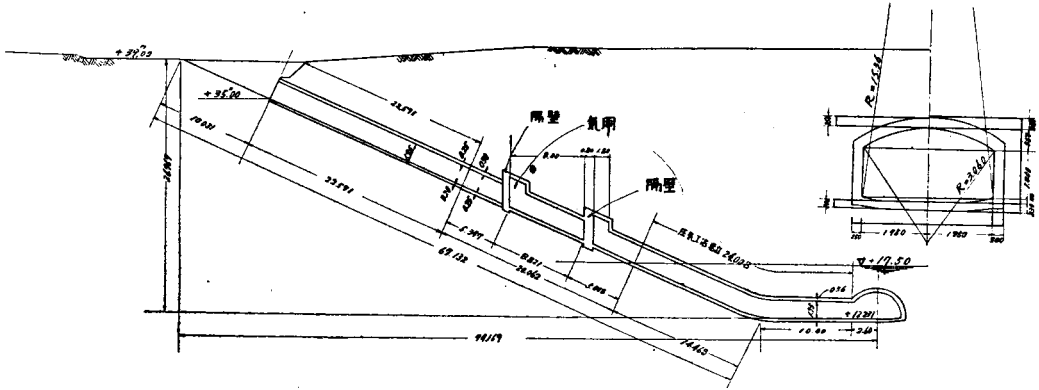


図-4 斜坑気閘



道を上下両口に向つて各々 25 m 進んでそこに更に気閘を設けた。本隧道上下両側気閘の使用開始後、斜坑の気閘は撤去し本格的掘進となつたのである。

(図-4, 5 参照)

機械設備 頭初圧縮空気消費量は従来の例より 1 切端 2 500 ft³/min (2 切端即ち両口 5 000 ft³/min) と想定し空気圧縮機は 表-1 の様なものを設備した。

表-1

製作所名	電動機 (HP)	空気量 (ピストンデスプレジメント) (ft ³ /min)	台数	備考
北條鉄工所	75	386	1	高压
帝国さく岩機	75	368	2	"
インガソール・ランド	100	528	1	"
北條鉄工所	100	500	1	"
三国鉄工所	100	495	1	"
インガソール・ランド	400	3,500	1	低压

容積効率を高压 75%, 低压 85% とすれば、

高压 2 645 ft³/min × 0.75 = 2 000 ft³/min

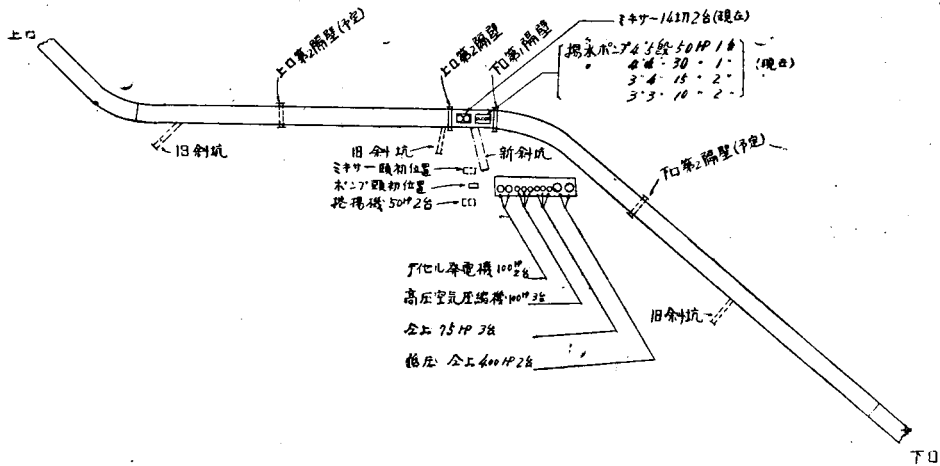
低压 3 500 " × 0.85 = 3 000 "

計 5 000 "

上記設備で掘さくを開始し最初は空気量に不足なかつたが、本隧道掘進が本格的となるにつれて空気消費量が増加し、インガソール・ランド 400 馬力低压空気圧縮機 1 台増設の必要に迫られ目下 (昭.26.9.15) 設備中である。

停電に備えてディーゼル発電機 2 台 (75 K.V.A. 発電機, 100 馬力ディーゼルエンジン運転) を設備したが、この容量では停電に際し坑内作業の継続は不可能で、坑内の空気圧力を極力保持する程度であるから停電防止のため電源を 2 ヶ所に求めることにした。斜坑捲揚用ウインチは 50 馬力 2 台、揚水ポンプは 50 馬力 (口径 4 吋 5 段) 1 台, 30 馬力 (口径 4 吋 4 段) 1 台, 15 馬力 (口径 3 吋 4 段) 2 台, 10 馬力 (口径 3 吋 3 段) 2 台を準備した。コンクリートミキサーは本隧道上下両側気閘完成後 図-6 の様な位置の地表に据付け、コンクリート輸送専用堅坑によつてコンクリートを隧道内部に直接送る様にした。潜函病患者用の治療気閘としては、潜函用気閘を代用し斜坑坑口附近に据付けてある (図-6 参照)。

図-6 機 械 配 置 図



施工状況 斜坑気間は上下両側をコンクリート隔壁で仕切りこの隔壁間を気間とし、その隔壁に直接扉を取付けた簡単なものとした。材料及び従業員出入は勿論兼用で、その長さは長物の持込みをも考慮に入れて8mとした。斜坑トローリー線は単線とし、トローリー揚げ卸し用ロープを気間内を通すために、気間扉下にロープの通るだけの孔をあけてそこを通し、潜函工事に於ける気間内のロープ操作と同様な方法を採用し何等差支えなかつた。本隧道気間は材料気間と従業員気間とを分離し、材料気間としては両隔壁に直接扉を取付けその隔壁間をそれに充当し従業員気間は直径・1.232m長さ6.124m鉄製(潜函工事用堅管を代用した)のものを使用した(写真-3参照)。この本隧道気間が完成すると斜坑気間は撤去した。坑内に於ける圧縮空気の所要理論圧力は、斜坑位置の本隧道インバート下端で

$$17.5\text{m} - 11.8\text{m} = 5.7\text{m}$$

$$14.5\text{#/}\square \times 5.7 = 7.3\text{#/}\square$$

であるが、粘土気の殆どない細砂のため施工に当つてこの理論圧力そのままが必要である。

写真-3 本隧道気間



この様に低い圧力であるから潜函病は殆んど発生せず、只不慣れのために耳の充血した者が多少あるのみで治療気間を必要とする程度の潜函病は一人も発生していない。本隧道が進むにつれて空気消費量が増加するので、コンクリート覆工背面には逐次モルタルを注入し、掘さく中の矢板裏には枯草を挿入し、切端の割れ目には丹念に粘土を塗り込んで、極力空気漏洩防止に努めている。

掘さく方式は地質不良のため逆巻工法を採用しているが、1日3交代作業で掘さく覆工1切端(両側壁及びインバートも含む)当り1ヶ月進行は約65mである(写真-4、5参照)。

斜一下口間に介在する土被り5.5m区間(延長約60m)の施工は空気漏洩状況と脱合せ薬液注入(沼田教授、丸安助教授研究のアルミン酸ソーダ及び珪酸ソーダの注入)を施行し、フランス式掘さくで突破する心算である。両坑口附近は地質も良くなく土被り薄く、尙隧道と明り部分との接合部の施工は厄介なので、上下両坑口に潜函1基宛の沈降が考慮されている。

写真-4 逆巻工法

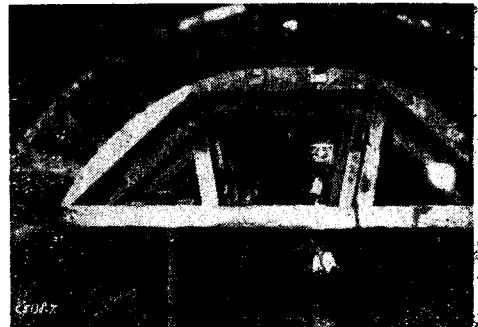


写真-5 完成 区 間



4. 結 言

圧気工法は我国では国有鉄道丹那隧道水抜坑の一部

と関門隧道門司側取付隧道の一部に採用され、何れも国有鉄道の直轄工事として施工し成功している。この隧道工事は農林省当局並びに諸先輩各位の御指導御援助の下に、株式会社熊谷組が請負い、最小限度の設備にて目下成功裡に掘進を続けている。従来圧気工法は我国では所謂喰わず嫌いの傾向があつたが、圧縮空気圧力 18 #/sq 迄は潜函病の発生も殆んどなく坑内勤務時間も 8 時間となつているから大いに諸隧道工事に採用すべきである。

特に著者は将来圧気工法が地下鉄、下水隧道、炭坑、鉱山その他隧道工事に大いに利用されん事を祈るものである。

(昭.26.10.12)

UDC 624.131.433
532.51

自由境界を有する非定常滲透流について

内 田 茂 男*

ON THE NON-STEADY PERCOLATION WITH A FREE BOUNDARY

(JSCE Feb. 1952)

Shigeo Uchida

Synopsis Non-steady motion of ground water through the dike of rectangular cross-section is investigated. The form of free boundary calculated by graphical method is represented as the following formulae,

$$y_f/H = 1 - (3\alpha/8)^{3/4} \{ (x_f/H) / (\kappa t/H^2) \}^{3/2},$$

which gives the velocity of free boundary of 4/3 times the case of one dimensional motion. Some experiments are made by new methods, which exclude the effects of capillarity by using the lead-shot and heigh viscous liquids, and the results show good agreements with calculations. The experiments on trapezoidal cross-section are also reported.

要 旨 自由表面が時間と共に進行する滲透流は、熱伝導等とは異なつた非定常運動に属し、自由表面の条件が複雑なために従来殆んど解析されなかつた問題である。所が流れが到る所水平に近い矩形断面の堤防では、ある仮定の許される範囲内で解を求めることができる。表面張力の影響を除いた新しい方法による実験と比較して、良好な結果を得たので報告したい。

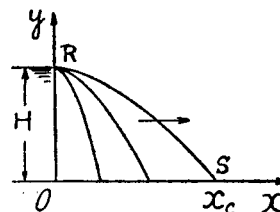
1. 非定常滲透流の基礎式

水圧 p と重力のみによる滲透を考え、表面張力の影響は除外する。構成粒子の基準直径を d とし、液体の密度 ρ は一定とする。又動粘性係数を ν 、滲透速度を V 、有効滲透係数を κ とする。

$R = dV/\nu$ が 1 程度以下の層流状態では運動方程式

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\text{grad} \left(\frac{p}{\rho} + gy \right) - \frac{g}{\kappa} V \dots\dots\dots(1)$$

図-1 座 標



が成立する¹⁾。後の実験によると右辺が 2 項共 10^3 cm/sec^2 程度であるのに対し、左辺は 10^{-3} cm/sec^2 程度で充分省略できる大きさとなる。従つて (1) は

$$V = -\kappa \text{ grad}(p/\rho g + y) \dots\dots\dots(2)$$

なる定常流の運動方程式に一致し、非定常性は境界条件の方に入る。(2) と連続方程式 $\text{div} V = 0$ から

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{但し、} \phi = \kappa(p/\rho g + y) \dots\dots\dots(3)^2$$

境界条件は座標 (図-1) について次の如くなる。

* 東京大学理工学研究所