

ト　ン　ネ　ル

正 員 工学博士 村 山 朔 郎*

1. 緒 言

山岳に富むわが国においてはトンネルの国土開発上に占める位置は重要なものがあり、例を国鉄にみれば線路総延長2万 km の中に占めるトンネル延長は約830 km に達しているごとくである。トンネルの発達のとをみれば、古来の技術の成果は箱根川の湖畔にある日本最古といわれる深良疎水トンネル¹⁾ (1660~1670, 巾6尺高さ9尺, 延長738間) などに残つてはいるが、近代技術の取入れられたのは鉄道開通後で、東海道廢線中にある逢坂山トンネル(1878~1880, 延長2184')はわが国の技術者によつて作られた最初のものといわれる。以来削岩機とダイナマイト、ずり出し用電気機関車を主力とする技術の進歩によつて中央線笹子 (1896~1902, 4 656 m), さらにわが国最長である上越線清水 (1922~1931, 9 702m) の両長大トンネルを完成することができた。しかしこれまでは比較的堅岩の良地質にめぐまれてきた技術も、1918 年着手した丹那トンネル (延長 7 804 m) において断層、軟弱地帯、大湧水に遭遇し、多くの困難に処し、ここに悪地質に対する貴重な試練と経験を受けて、いままでのトンネル技術にさらに新しい展開が行われた。丹那は 1934 年完成したが、この経験こそ多年懸案であつた関門鉄道トンネル (下り線 ; 1936~1942, 3 614 m, 上り線 ; 1940~1944, 3 605 m) に対する施工の自信と成功に大いなる素地を寄与したものとついでよいであろう。もちろんこの間にも多くの水路、道路、鉄道用のトンネルが作られ、それらの中には長大なもの、悪地質のものも少なくなかつた。例えば道路トンネルには関門国道トンネルの着手があり、その試掘トンネル (1 008 m) は 1937~1939 に貫通し、引続き本トンネル工事にも着手しており、国鉄では大野、折渡、宇佐美の諸トンネルで膨脹性地質の土圧とたたかつたごとくである。しかし一面建設速度からみると堅岩トンネルは機械掘削を行いながらもまだ外国ほどでなかつた。たとえば当時米国では New Cascade トンネル (1925~1928) では 15.85 m/日、352.7 m/月 の掘進記録があつたが、わが国の最高記録としては仙山トンネル (1935~1936, 5 361 m) の導坑 (2.8×5.3 m) の 9.6 m/日、209.5 m/月、真那板山トンネル (1936~1940, 3 125 m) の導坑 (2.8×3.8 m) の 10m/日、228.7 m/月のごとくで、他

* 京都大学教授、工学部土木工学教室

はさらに低い成績であつた。最近掘進速度の向上に力が向けられつつあるのは喜ばしいことである。

以上概述したように、わが国トンネル技術は堅岩トンネル、軟弱トンネル、水底トンネルと順調な発達をしてきたが、目下はさらに工法の合理化、機械化とあいまつて施工の質と速度の向上に努力しつつある現況といえるであろう。ここに最近のトンネル技術の動向を次の項目に分けて展望してみよう。

2. 長大トンネル

トンネルの中には延長だけからみれば非常に長いものも少なくないが、堅坑、斜坑、横坑などによつて小区間に細分し、作業面間距離を短縮して施工したものが多し。最小作業面間距離の非常に長いものを長大トンネルといつており、わが国では大体 2 km 以上をいつている。ゆえに長大トンネルは大山脈を横断する場合に多く作られ、線形、勾配に融通のききにくい鉄道あるいは道路のトンネルに多い。国鉄では大戦のため中止されていた新線建設も昭和 27 年度から再開され、また各地の改良工事の着手もともなつて国鉄のトンネル工事は活況を呈してきた。そのため従来の長大鉄道トンネルの序列は変更せねばならなくなる状況で、新たな序列をここに表示する。これらの中には工事中的のものもあるので、それらの概況をここにのべる。

表—1 長大鉄道トンネル一覧表

順位	トンネル名	延長(m)	所在線名	大原トンネル及び新たにベストテンに入る峯トンネルはいずれも佐久間ダム建設にともない水没する飯田線の付替区間中にあり施工中的のものである。前者については 4. に後述するが、峯トンネルはいわゆる中央構造線に沿つた石墨片岩をつらぬくトンネルで、地質のもめていたことが予想されていたが、はたして導坑は強圧を受けるため目下小断面の迂回導坑を掘進中である。日田線釈迦嶽トンネルは昭和 12 年に着手されたが、その後中止され昭和 27 年度末から再着手されたもので、貫通まであと 790 m(昭.29.9 現在)を残す程度になつた。地質は凝灰岩で、日田方に多量の湧水があり、往時
1	清 水	9 702	上 越	
2	*丹 那	7 804	東海道	
3	仙 山	5 361	仙 山	
4	深 坂	5 170	北 陸	
5	大 原	5 048	飯 田	
6	笹 子	4 656	中 央	
7	釈 迦 嶽	4 380	日 田	
8	石 北	4 329	石 北	
9	猪 鼻	3 845	土 讚	
10	峯	3 617	飯 田	

* 複線型トンネル

述するが、峯トンネルはいわゆる中央構造線に沿つた石墨片岩をつらぬくトンネルで、地質のもめていたことが予想されていたが、はたして導坑は強圧を受けるため目下小断面の迂回導坑を掘進中である。日田線釈迦嶽トンネルは昭和 12 年に着手されたが、その後中止され昭和 27 年度末から再着手されたもので、貫通まであと 790 m(昭.29.9 現在)を残す程度になつた。

地質は凝灰岩で、日田方に多量の湧水があり、往時

よりはよほど減少したがなおこれに悩まされている。このほか 1. に前述した真那板山トンネル及び北陸線の勾配改良工事として施工された深坂トンネル(1938~1952)はいずれもトンネルはすでに完成しているが未使用中のもので、残工事を済ませばいずれ開業されることになるであろう。

海外の道路トンネルには長大なものが少なくなく、最近 Mont Blanc 下には最高 300 台/hr の自動車交通量を予想して延長 11.9 km の仏伊両国を結ぶトンネルの計画²⁾がある。

わが国には高速自動車道路の少ないため、まだ長大道路トンネルはきわめて少ないが、次第にその整備にともなつて、道路トンネルにも長いものができるであろう。現に山梨県には 2978 m の笹子トンネル(有料国道)、新潟群馬の県境に三國トンネル(1218 m, 国道)³⁾の計画があり、岩手県仙人トンネル(2510 m, 地方道)、長野県鳥居トンネル⁴⁾(1111 m, 国道, 施工中)も長いものである。

また機械化による掘削の高速化にともない、水路トンネルにも長大なものができ、たとえば東上田発電所第4号トンネル⁵⁾は堅坑間の延長 3644 m に達する。

3. 水底トンネル

地下鉄の締切工法によつた河底トンネル、あるいは天井川の下をくぐるトンネルを除けば、わが国最初の水底トンネルとしては、大阪市安治川河底トンネル(1935~1944)があげられる。これは巾 14 m, 高さ 7 m, 長さ 49.2 m の電気溶接した防水鉄板巻きの鉄骨、鉄筋コンクリート管 1 本を沈埋工法によつて河底に作った溝に沈設したものであるが、管の両端は圧気潜水工法によつてあらかじめ両岸に設けられた堅坑の支台上に乗り、いわゆる Bridge tunnel の形をなすものである。Bridge tunnel はかつて Sanfrancisco の Golden gate 橋の比較設計⁶⁾として提案されたくらいしかなく類例の少ないものである。前述の関門鉄道トンネルはここに略し、関門国道トンネルは戦時中のおくれはあつたが、昭和 17 年度から 5 カ年継続事業として延長 3456 m (うち海底部 780 m) に及ぶ本工事を再開している。なおこのほかに津軽海峡下のいわゆる青函海底トンネルの計画がある。この計画は昭和 15 年頃より話があつたが、昭和 21 年より調査が行われ、海峡を横断する路線としては大間岬、汐首岬を結ぶ東線と、龍飛岬、白神岬を結ぶ西線がまず挙げられ、地質その他の調査による両線の優劣比較の結果、両線の中では西線が有利となり、西線は昭. 28. 2. 18 の鉄道建設審議会の答申により「三既 ~ 吉岡間鉄道は鉄道布設法第一条別表に追加するの可否について調査するの要あ

り」と認められ、検討の結果次いで同年の第 19 回国会において法律第 147 号「鉄道布設法の一部改正」により正式に青森県三厩付近より北海道福島に至る鉄道として布設予定線になつたものである⁷⁾。現在なお地質調査を続けており、調査の域を脱していないが、西線の路線の大体は水深約 160 m の海底下さらに 100 m の下を通るものとすれば、海底部の延長は約 21 km, トンネル全長は約 38 km に及ぶものとなり、世界最長の山岳トンネル Simplon トンネル(第一線は 1898~1905, 19731 m) に比しても海底部の延長はまだ長くなる。

4. 最近の施工法

まず岩石トンネルについては全断面掘削の実施がある。本法は比較的良地質の所に限られるが、作業箇所が切端に集中し、坑内整理上、能率上からも都合よく、進行も速いので今後機械化、アーチ支保工の利用とあいまつて用途が広まるであろう。2. に前述した国鉄飯田線の路線付替区間中にある大原トンネル建設工事は付替の工期を制するものであり、かつ幸い地質が花崗岩地帯であることから全断面掘削方式を採用しているのはこの一例である。現在まだ堅硬の盤に達していないので一部支保工を施しながらの掘削中であるが、すでに一日平均 5 m 内外の進行を示しており、堅硬になれば 1 日 10~15 m の進行が予定されている。新しい岩石穿孔方式に Engineering & Mining Journal 1947, 3 月号にて紹介された英人の発明になる Burn-Cut 爆破法がある。これは導坑軸に平行に 3~5 本のやや深い穿孔を行い、その中の何本かに装填した爆薬を齎発させて爆破を行うもので、日本鉱業会の試験によれば、削岩夫に対する高い熟練が不要なこと、中程度の硬さ以下の岩石では爆薬の節約となることなどの多くの利点が認められ、また国鉄星越トンネル⁸⁾(延長 400 m)に使われたこともあり、今後トンネル工事への利用が期待されている。落盤の防止には Roof-bolting 法⁹⁾が取入れられ、すでに須田貝地下発電所¹⁰⁾の掘削時に用いられた。これは直径 25 mm, 長さ 2~4 m 程度のボルトを 1 m 間隔くらいに天井、側壁など肌落ちのおそれある所に穿孔して入れ、背面の堅固な岩盤につづり合わせるように締めつけるものである。

次に軟弱地帯の施工法としてはまず普通工法中に用いられる鉄製支保工の利用がある。軟弱土の強土圧を防ぐため、かつては国鉄の宇佐美、夜屋トンネルなどで鉄製の強いアーチセメントを用い、木外し後の支保材の受台にして覆工施工をしたことはあるが、純然たる支保工として鉄材を用いた例は関門鉄道トンネル水

底部があり、近くは関門国道トンネルの破砕帯の切掘げに用いられている。現下の鉄材と木材とでは価格の面よりも鉄材の有利な場合があり、地質が軟弱でなくても鉄製アーチ支保工として鉄材が使われてきた。鉄製アーチ支保工は例えば大原トンネル、東上田発電所水路トンネルなどにもみられる。軟弱帯の普通工法では湧水防止、地盤の締固めの目的で**注入工法**の有効なことが多い。セメント注入は丹那トンネルで成功して以来、各所で用いられてきた。また珪酸ソーダを主注入剤とする薬液注入は従来よりあつたが、さらにその浸透性と固結効果を高めるため、アルミン酸ソーダあるいは珪弗化ソーダと重曹など新たな薬剤を配合して固結時間の制御を行う新考案ができ一部はトンネルにも使用されている。

含水地帯の軟弱土の掘削には土被りの浅いときは圧気潜函工法、地下水低下法が、土被りのかなりある場合には圧気工法、圧気シールド工法などがあることは従来より知られているが、わが国の事例はさほど多くはない。圧気潜函を下げてトンネルとする方法は以前大阪市地下鉄で施工され、その後関門鉄道トンネルの門司方取付部にも用いられた。地下水低下法は古くはドイツにこの例が多いが、最近両総用水第34号トンネルでウエルポイントを用いてよくその効果を発揮した。シールドは国鉄折渡、丹那の両トンネルで作られたことがあるが、試用程度に終つた。ゆえに本格的に用いられたのは関門鉄道トンネルの海底花崗岩風化帯が最初といえよう。これは純国産の全断面開放型であつて圧気を併用して用い、十分に所期の成果を得た。シールドを用いず圧気のみを坑内に封入して普通工法で掘削するいわゆる**圧気工法**は丹那の水抜坑、関門鉄道トンネルに使われ、戦後両総用水第20号、北海道電力然別第一発電所第1号の各トンネルにも用いられた。本工法は多量の湧水を圧気により抑えるため、掘削上多くの利点があるが、非常に高い圧気を用いると、洩気のためコンクリート覆工の防水性を害う点が気づかれ、今後なお研究の余地があるように思われる。関門鉄道トンネルの下関御取付トンネルは含水地帯ではないが、地質が軟弱の上、乱されていて、普通工法では何度かの鏝返しさえ必要と思われる程度であつた。そのため1953年わが国最初のルーフシールドの適用を試み、掘削上は他工法にみられない確実性をもつて施工することができた。なおこのシールド用覆工には現場打ちコンクリートを用いている。

覆工の施工法で従来不十分であつた点の一つは裏込めであろう。覆工背面の裏込めには間隙のない完全な施工は期待できないし、また時日の経過とともにゆる

みが生ずる。しかも裏込めに空所ができれば、覆工の変状、偏圧などの原因となる。これを防ぐため従来はシールド工法や圧力トンネルにのみ用いられていた**豆砂利注入**、**モルタル注入**による裏込め充填が一般のトンネルにも用いられるようになってきたのはその耐久性の向上の上に好ましい。

5. 最近の施工機械及び材料

トンネルの掘進速度の増加及び施工の質の向上は施工の機械化にまつところが多く、この目的のため今日機械化は日々に進みつつある。しかしそれは欧米で用いられている機械の移入であることが多くこの点残念なところである。機械化の主眼は堅岩トンネルの掘進速度の向上のための削岩、ずり積み関係の機械及びコンクリート覆工打設用機械が多い。しかし機械化は1個の高性能の機械の使用だけでは無益であり、それにとりなう一列の高性能施設の配置がぜひ必要である。また一方大陸の地質と異なり、わが国は地勢上その地質は変化に富み、1枚の堅岩の盤を同方式の機械掘削で終始するような場合は少なく、また軟弱地帯に出会うことも多いため、一般の機械化はおくれていた。しかしこのような悪地質に対するわが国の施工法は他に劣るものでなく、また国の経済、工事規模、労働各人の体力などの状態も異なるため、今後このような状況に適した機械化を進歩させることもまた必要なことであろう。

まず、削岩関係の機械を見ると、ここに**取換えのみ**(Detachable bit)がある。これは従来のノミが同一鋼棒から機能の異なるノミ先とシャックとを打出していた不合理を改めるため、ノミ先とロッドとをべつべつの材料で作り、つなぎ合わせるようにしたノミで、この考案は相当以前から紹介されていたが、現在十分国産化され、1953年頃よりその性能にもわかに向上してきた。

軽合金で作られ、シリンダー径75mm以上、送り120cm以上あり、しかも自動送りのできるような**重ドリフター**(Heavy drifter)も1952頃から国産化されるようになった。削岩ジャンボ(Drill jumbo)は削岩機掘付に要する時間の節約と、多数の削岩機の操作の便を目的として作られた削岩機用移動足場であるが、最近の米国などの設計は、非常に単純化されてきた。わが国では東電幸知発電所第8号トンネル¹⁴⁾に使われた(1953年)のを始め、最近では東上田発電所第4号トンネル、大原トンネルなど各所に使われ、またすぐれた国産品も製作されつつある。

ずり積機械は掘進速度向上の一環をなす機械で、海外の改良された各種の製品が紹介され、中には斜坑で

作働するものもある。本機種は重作業を狭い坑内で行う機械であるから、その耐久性の高い機械が国産されることを望まれている。もちろん前述したごとく、ずり積機の能力を十分に発揮するためには、ずり車の大型化、配車の迅速化に対する施設などもあわせて考えられねばならない。以上のようにして掘進速度が上昇すれば単に工期の短縮の利だけでなく、トンネルを細分する横坑などの数も減り、また横坑などのためトンネル線形を屈曲させていた水路トンネルなどは山の心部に入れることができ、末風化の良地質を通すことにもなり、またそれだけ工事量を減少するなど、その利点はきわめて大きい。

覆工用に新しく使われてきた機械はコンクリート打設に用いるコンクリートポンプ、コンクリートプレーサーがある。前者は国産品もあり、須田貝地下発電所、国鉄俱利伽羅トンネル（延長 2 459 m）などでも使用中であり、後者は Press Weld Co. の製品が関門国道トンネルで使われ、輸送距離平均水平 120 m、垂直 8 m を 1 ショット（1 サイクルは 1～2 分）で約 0.25 m³ の輸送成績を示している。しかしこれら輸送機の普及程度はきわめてわづかである。これは削岩機械類のごとく工期に大した影響を与えない上に、機械費に比してわが国労賃の非常に低いことが原因しているのではないと思われる。また覆工用移動型枠も試用の域をでていない。

施工材料のうち、特記すべきものにミリ秒間隔段発雷管がある。この雷管は段発間隔を数 10 ミリ秒間隔というミリ秒間隔（1/1 000 sec）級の短小間隔に作られた電気雷管で、最初米国で、爆発の振動を少なくする目的で製作されたが、岩石が細かく破碎され、浮石も少なく、薬量も少なく済むなどの多くの利点があることが明らかになった。1945 年には米国 Atlas 社が発売しており、その後 Hercules, Du Pont 社などよりもでていて、米国製品は 25～30×10⁻³sec の段発間隔のものである。わが国でもこれを研究し、1951 年よりわが国の各メーカーよりも発売され、その段発間隔は 30～40×10⁻³sec で市場品には 10 段の段別がある。

堅坑の掘削の機械化には、米国ではワゴンドリルに似た削岩ジャンボーを用いて穿孔し、爆破されたずりはクラムシェルバケツにより、ずり用バケツにつかみ入れられる様式が普通とられているという¹²⁾。

6. トンネルの改築

トンネルは悪地質、地じりなどの地変をうけて変状を生じたもの、あるいは覆工材料の長期使用の結果の風化による弱化などによつて改築を要するものが多数

見受けられる。例えば国鉄のトンネルを見ると建設後 50 年以上経過したものが 28% あり、そのほとんどすべてが煉瓦覆工であり、また昔の私鉄時代のもので断面も小さく、変状を来たしているものが多い。当局の 1948 年の建造物実体調査¹⁵⁾の結果によれば損傷トンネルの状態は甲線以上で約 120 カ所延長約 30 km、乙線で約 160 カ所延長約 40 km、丙線以下で約 350 カ所延長約 90 km となり、しかも緊急に手入れを要するトンネルは約 600 カ所になっているという。そのためこれらの変状トンネルや老化トンネルの改築工事が各所で多数施工されているが、鉄道トンネルでは列車を運行しながらの施工であるためその苦心もまた大きい。この施工法を大別すると、(a) 覆工内面を I ビームの鉄製アーチ型セトルで補強し、列車の合間を見ては少部分づつ在来の覆工を取りこわして更新する方法、(b) 山腹より在来のトンネルの拱頂の真上、あるいは側面に導坑を掘進し、その部分より在来の覆工の外側を列車の運転に関係なく掘削して、トンネルを更新させる方法（例えば環金トンネルの施工例¹⁴⁾）、(c) 土被りの少ない所では在来のトンネルの両外側に I ビームまたはシートパイルを打ち込んで、オープンカットで改築する方法、などをそのトンネルの覆工損傷状況、改築区間のトンネルに対する位置、地質、列車間合などの諸状況に照らし合わせて採用している。この種のトンネル改築は今後も相当行わなければならないが、列車を通しながらの施工でもあるため、その工費は必ずしも安いとはいえず、環金トンネルのごとく全断面の改築では新しくトンネルを掘削する場合の約 2 倍、山陰線今浦トンネルのごとく変状したアーチの部分（この変状の原因は裏込めの不十分という）のみの改築はその部の新築の費用の 0.9 倍となつたといわれている¹³⁾。

7. トンネルの換気

掘削中のトンネルの換気はまだ旧来のローカルファン程度の使用にすぎず、本格的な換気装置はあまり見られないようである。これは送風管の坑内敷設が現在の掘削方式においては困難な点もあるが、全断面掘削方式の場合には考慮されてもよいと思う。例えば大原トンネル¹⁵⁾では 160m³/min、風圧 1 600 mm-wc のターボファンを用いている。換気の効用は坑内従事員の環境衛生向上の点はもとよりであるが、煙り抜き時間（硝煙排除時間）を短縮することによる掘進速度の向上にも役立つ、また内燃機関を有するショベル、トラックなどの機械を坑内に使用できるようにもなるからである。

蒸気運転を行う鉄道トンネルの換気については、炭

質の復活, 重油混焼の実用化, 一部に用いられている煙突へのリフレクターの取付け, 列車速度の向上などにより, 戦争直後に見られるような機関車乗務員の煤煙障害はよほど減少したが, 一方列車回数増加により, 坑内残留煙が坑内作業員の衛生, 作業能率を害する度合が増してきた。排煙対策には縦流式送風法が用いられ, 多くは坑口にサッカルド風道を用いた形式によつてゐる。大戦末頃以降に排煙装置の新設されたトンネルは冷水, 欽明路, 新逢坂山, 新東山, 第二大橋, 礼文華の各トンネルで, このうち後記3者のファンにはプロペラファンを用いた。なお第二大橋トンネルでは排煙時の送風によつて坑口から排出する煙が付近の人家を汚染せぬよう, 坑口に接して高い煙突を作り, ここに煙流を誘導するよう試みて成功した。また礼文華トンネルでは坑口近くに列車行違い用の分岐トンネルがあり, 送風設備は分岐部以奥の坑内に設ける必要があつたので, 従来の様式と異なる形式の送風設備を考案しこの目的を達した。このように坑内に送風設備をおくことができれば, これをトンネル延長に沿い直列にならば延長の長いトンネルの換気をカーテンなどの補助設備なしにも行うことが可能になる。

自動車用道路トンネルの換気は自動車の通過台数の増すとともに, またトンネル延長の長くなるにつれてその必要性が増してくる。わが国にはこの例はまだ少なく, わづかに安治川水底トンネルに縦流式換気の場合を見るにすぎないが, 将来長大道路トンネルの建設とともにこの必要は欠くことのできないものとなるであろう。現に関門国道トンネルでは約 $780 \text{ m}^3/\text{sec}$ に及ぶような大規模な横流式送風の計画がある。しかし道路トンネルの換気のむつかしさは, 延長は長いが交通量のあまり多くない場合の送風方式の決定にあるのではないかと思われる。

8. 結 言

本文を記する当り, 加納儉二氏よりは主として施工法, 材料, 機械について, 住友彰氏よりは道路及び関

門国道トンネルについて, 高坂紫朗氏よりは国鉄のトンネルの現況についての貴重な資料をいただき, 本文にそれらの引用のお許しを得た。ここに3氏の御好意に厚く感謝する次第である。

本文は主としてわが国トンネル及びその技術の現況を展望するつもりで記したが, 灌漑用トンネル, 地下鉄なども詳細を欠き, そのほか紹介すべき重要な事項を洩らした点もあると思う。前述したごとく, トンネル技術は日々, 合理化, 機械化され, 施工の質と速度の向上に向つて進んでいるが, また作業の安全性向上に対する科学的研究も大切な事項であらうと思う。

参 考 文 献

- 1) 相沢時正：隧道新書, 1906, p. 65
- 2) J.F. Rouiller : Ce que représente défforts létablissement d'un tunnel routier sous le Mont Blanc, Strasse u Verkehr, No. 5 1954, p. 150
- 3) 浅井新一郎：三国国道改良工事, 道路, 1953—10, p. 402
- 4) 井家賢一：鳥居トンネル工事報告, 道路, 1953—12, p. 478
- 5) 土木 真：東上田発電所第4号隧道, 建設の機械化, 1954—10, p. 11
- 6) Bridge tunnel in Golden gate, Western Construction News, 1929—4—25
- 7) 北村市太郎：国鉄 技術資料, 第7号
- 8) 柏田軍一：バーンカット工法, 交通技術, 83号 1953—7, p. 14
- 9) 加納儉二：トンネル (コンクリートパンフレット No. 26) 1953—10, p. 16
- 10) 水越達雄：須田貝発電所建設工事, 土木学会第10回年次学術講演会講演概要, 1954—5, p. 8
- 11) 大塚本夫：さく岩 ジャンボ利用の全断面掘さく, 交通技術, 84号, 1953—8, p. 25
- 12) 前掲 9) p. 41
- 13) 原口正一：トンネルの保守, 交通技術, 58巻 1951—5, p. 162
- 14) 運輸省線路課：福米間電化に伴う 隧道改修工事, 土木学会誌, 33巻2号, 1948—5, p. 21
- 15) 足立貞彦：大原トンネル大嵐方の全断面掘さく建設の機械化, 1954—10, p. 6