

## アメリカのトンネル工事を視て

正 員 加 納 俊 二\*

## SOME TUNNELLING WORKS I SAW IN U.S.A.

(JSCE March 1953)

Kenji Kanō, C.E. Member

**Synopsis** The author left Tokyo International Air Port for Chicago, Ill. 5 May 1952.

He stayed at the office of Mr. Erik Floor & Associates, Inc. of the city for approximately one month, and studied up-to-date tunnelling methods and equipments. Subsequently he visited work sites of several important tunnelling projects in U.S.A., and returned Tokyo 29 July 1952 by air. He gives hereunder his account of some of the projects of which he took a view, and states his opinion as to how to minimize economically the time required for tunnel construction in future in our country.

**要旨** 著者は昭.27.5.5 羽田空港を出発し、まづシカゴに到着、コンサルティング・エンジニア、エルク・フロア氏の事務所で約1ヶ月間最近のトンネル施工方法及びトンネル施工用機械に関して研究した。その後有名トンネル工事を見学し、昭.27.7.29. 羽田空港に帰着した。これ等工事のうち代表的なもの2, 3について概略を記述し、今後我国トンネル工事において経済的に工期の短縮を計るにはいかにすべきやに関して著者の意見を率直に述べる。

### I. ノース・イースト・トンネル (Northeast Tunnel, City of Detroit, Department of Water Supply, Additional Water Supply)

これはデトロイト市水道局施工の水道用水路トンネル延伸工事である。デトロイト河に沿うウォータ・ワークス・パークから約50,000' 区間はすでに完了しているが、そこから8-mile Roadに至る区間の延長約4 $\frac{1}{4}$ mileの施工である(図-1, 2参照)。このトンネル

図-1

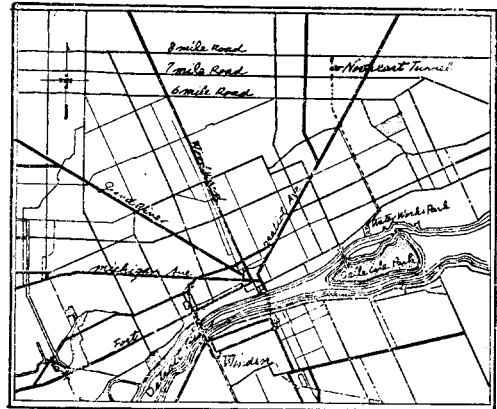


は地表下約80'のところを通過し、地質は細砂交り粘土でしかも湧水多量のため圧縮空気併用のシールド工法を採用している。巻き上り内径10'の円型断面で第

\* 株式会社熊谷組、取締役

1次覆工には O'Rourke 式コンクリート環片を使用し、1輪環8ケの環片から成り立っている (Practical Tunnel Driving p. 245 参照)。シールドは延長 17'

図-2



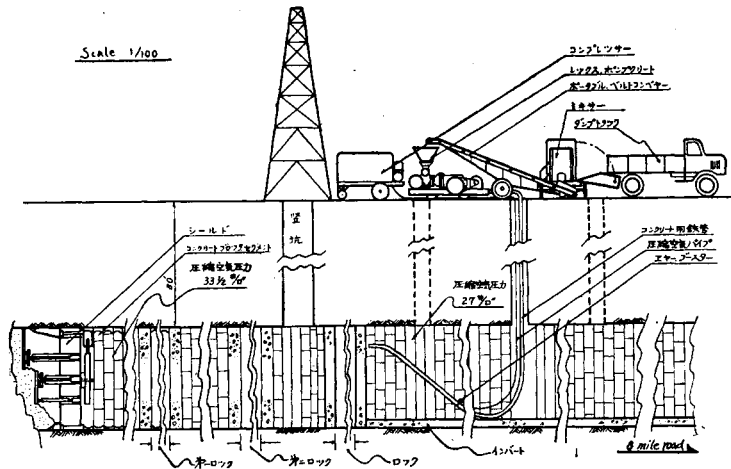
1", 外径 15'-7 $\frac{1}{4}$ " で、外皮は厚 5 $\frac{1}{8}$ " 鉄板3枚重ねである。環片の大きさは外周辺の長さ 6'-9 $\frac{9}{16}$ ", 内側周辺の長さ 5'-7 $\frac{13}{16}$ " 厚さ 15", 4- $\phi$ 3 $\frac{3}{8}$ " 鉄筋を挿入し鉄製型枠を使用して現場で製作している。“攻め”の環片は小型のもの2ケから成り、その円周に沿う接触面にあらかじめ8角溝を造りそこに同形コンクリート棒を挿入して止めとする。環片組立て中その落下を防ぐには、各環片を2ケずつのシールド・ジャッキで(攻めの環片に対しては各1ケのシールド・ジャッキで)、1輪環組完了まで押えて置く。従つてシールド・ジャッキは合計14ケである。環片組立機はシールドと別個のシールド尾部に附随するジャンボに取付けてある。シールド・ジャッキ脊は鑄鉄環片用のものを簡単に改造拡大している。

第2次覆工の厚さは16"で、圧縮空気内で現場打ちコンクリートを施工する。

6-mile Road に沿う町角に堅坑を設け、ここを基準として両側に各シールドを推進したのである。工事着手は1950年7月で、1953年1月竣功予定である。著者が見学した当時(昭.27.6.)は6-mile Road と8-mile Road 間はすでにシールド推進終了し、第2次覆工のコンクリート打込み最中であり、6-mile Road とGrotiot Ave. 間は地質悪く推進はかばかしからず未だシールド推進中であつた。前者区間は圧縮空気圧力27#/ロ"で気間は堅坑底附近に1ヶ所、後者区間の切端は33 $\frac{1}{2}$ #/ロ"で気間は堅坑底附近と切端寄りの2ヶ所に設置し、定石どおり第1気間と第2気間はその圧力をその $\frac{1}{2}$ の17#/ロ"としていた。切端ではこの圧力でも湧水を完全に防止し得ず、著者の経験から判断して非常に作業困難に見受けたが、このような悪条件でも1日進行10'である。好条件では1日進行50'だつたと現場主任(請負業者)は得意だつた。

シールド前面の掘さくはクレー・デグガーを使用し土砂の積み込みにはシールド附随ジャンボ(環片組立機もこれに取付けてある)に取付けたベルトコンベヤーを使用している。シールド推進直後豆砂利とモルタルの注入は定石どおり施行している。第1次覆工のコンクリート環片は相当の亀裂が入つており、非常に経済的に軽じてその役目を果しているように感じた。

図-3



第2次覆工は図-3のごとく、地表に可搬式レックス・ポンプクリート(ダブル200型、50~65c.y/h-打込能力)、可搬式コンクリート混和機、及び可搬式空気圧縮機を置き、堅坑附近のバッチャー・プラントで計量した骨材及びセメントをダンプトラックでここに運搬し、この混和機に投入し水を加えて混和したコンク

リートを間断無くポンプクリートに送り、坑内打込場所には8"鉄管で押送する。可搬式空気圧縮機の圧力はパイプレーターの運転と"Air booster"とに使用される。"Air booster"とは、アーチの攻め部分打込みに際し、打込場所附近でコンクリート押送8"鉄管に圧縮空気鉄管を連結し、熟練した操作夫が適時圧縮空気を吹き込みポンプクリートから押送されたコンクリートを目的箇所に吹き飛ばすことである(Concrete Manual, U.S. Burlau of Reclamation p. 263 参照)。

この吹込む圧縮空気圧力は110#/ロ"であつた。コンクリートの粗骨材最大寸法2", スランブ4"である。この第2次覆工は1日3交代作業で第1交代にてコンクリートを打込み、第2, 3交代にて清掃及び型枠撤去据付(ここでは組立式鉄製型枠使用)をなし、1日進行120'である。

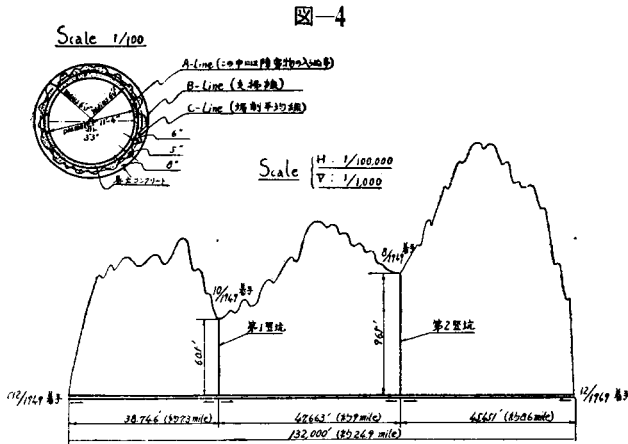
坑内労務者はほとんど黒人で我国に進駐していた者が多数おり、見学に際して非常に親切に数々の便宜を与えてくれたので著者がO'Rourke式環片使用に關する不審の点が解決でき感激の至りである。

## II. イースト・デラウェア・トンネル (East Delaware Tunnel, Board of Water Supply of the City of New York)

これはニューヨーク市水道工事の一部で、すでに完成したニューヨークより延長85 mile 区間の水道用水路

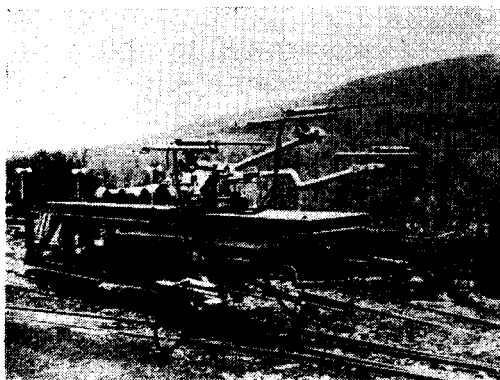
トンネルをさらに延長25 mile 延伸する工事である(図-1参照)。巻上り内径11'-4" 円型断面で巻厚は平均11"である。図-4に示すごとく2ヶ所に深さ605' (着手1949年10月)及び965' (着手1949年8月)の堅坑を開さくし、両坑口(各着手1949年12月)及びこの堅坑底より、合計6切端で掘進を開始した。各切端に対する割当の掘さく用主要機械器具は次のようである。

- 空気圧縮機 350 HP (同期電動機運転) 1台
- ブローア 250' HP (10 000 c.f./m) 1台 (換気管径26")
- ざり積機 コンウエー 100型 軌間36" 2台 (外仰掛ざり積用 コンウエー75型)
- さく岩ジャンボ 6~さく岩機付(ガードナー・デンプター) 1台 (ビット-テムケン)
- さく岩機 シリンダー径3 $\frac{1}{2}$ "、48"自動送り



電気機関車 8t, 架線式及び蓄電池式併用 3台  
 ずり運搬車 容量 6 $\frac{1}{2}$ c.y. 必要量  
 捲揚機(竖坑用) 深さ605'竖坑用 500HP 1台  
 " 965' " 600HP 1台  
 カーバッサー 1組 切端附近  
 軌条 25# 単線, 但し 1500' ごとに待避線設く  
 地質はおおむね良質の砂岩で, 全断面掘さく方式を  
 採用し, 支保工は必要ないが, 落盤防止にルーフボル  
 ティング(Roof Bolting, Bethlehem Steel Co. 製ボ  
 ルト長さ 6', Construction 1952 March 参照) 及  
 びガンナイトを丹念に行つている。1切端面に対する  
 穿孔数は 40~50 ケで, 深さ 9' 穿孔し約 8' を発破で  
 掘進するを原則としている。これに使用するさく岩ジ  
 ャンボーは 写真-1 のごとく heavy type のもので  
 ある。錐鋼は中空径 1 $\frac{1}{4}$ " で取換ビット(Timken or  
 Rockbit Carbide-insert)を使用し, 1番のみはピッ

写真-1



トゲージ 2' 錐鋼長さ 3', 2番のみビットゲージ 17 $\frac{1}{2}$ "  
 錐鋼長さ 6'; 3番のみビットゲージ 13 $\frac{1}{4}$ " 錐鋼長さ 9',  
 4番のみビットゲージ 15 $\frac{1}{8}$ " 錐鋼長さ 12' である。

ルーフボルティング用の穿孔は切端の穿孔中に同一  
 さく岩ジャンボーを使用して行く。

爆薬は Hercules Powder Co. の Gelamite 2X,

0~8 番ミリ秒段階発 電気雷管を使用  
 し, その使用量は 6~5 lbs/c. y. である。

ブローアは 10 000 c.f/m 容量のものを  
 各切端用とし, 切端までの距離が大なるた  
 め常時吸出式運転をしているが, 爆破直後  
 は切端で圧縮空気を吹きだし爆煙排除の迅  
 速化を計る。1日3交代作業で1交代2発  
 破を原則としその進行は1日 40' を下るこ  
 とはなく, おおむね 50' である。著者が見  
 学した場合(昭.27.6.)の作業時間(著者測  
 定)は次のようである。

昼食休み(爆破直後)	30分
ずり積(トロリー 12台に積込む, 1 台積込み 2分, 空車, 空車入換 3分, この作業中に浮落する)	1時 33分
線路延し(この間にさく岩ジャンボー切端に到 着)	27分
穿孔(さく岩機 6台にて 42ヶ穿孔, この間に ルーフボルティング行う)	50分
爆破(ダイナマイト挿込, さく岩ジャンボー後退)	35分
計	3時 55分

昭.27.6. 現在にて第1竖坑~北側坑口間は掘さく終  
 了し仰拱コンクリート施工中, 第2竖坑~南側坑口間  
 は昭.27.7.貫通予定, 第1竖坑~第2竖坑間は約1ヶ  
 年後貫通の見込みである。

覆工は両側 Curb, 仰拱, 残り全部の順序で施工す  
 る。コンクリート打込み作業開始に先だち貫通後仰拱  
 部の掘さくを行うが, その硝積はブルドーザーで硝を  
 掻集め, コンウエー 75 型で硝積する。コンクリート  
 型枠は Blow Knox Co. 製の鉄製伸縮型枠を使用す  
 る。コンクリートは竖坑上部のバッチャープラントで  
 混和し, 径 10" 鉄管によつて竖坑下に落下し, アダテ  
 ーターで打込み場所に運搬する。打込みには Press-  
 Weld Concrete Placer を使用している。この工事の  
 見学に際しては, 請負者 Walsh Construction Co.  
 (Davenport, Iowa) のジャック・マクドナルド氏  
 (Vice-President) の懇切な案内及び我が国に進駐して  
 いた坑内号令の詳細なる説明によつて充分了解し得  
 た。感謝している。

### III. ダッセン・トンネル(Duchesne Tunnel, U.S. Bureau of Reclamation)

このトンネルはユタ州ロッキー山脈の中腹にあり  
 (図-1 参照), 地質は良質の珪岩, 延長 6 mile 巻上  
 り内巾 9'-3" 馬蹄型断面で, 全断面掘さく方式を採  
 用し巻立て直前に I ビーム支保工(支保工の目的と云  
 うよりむしろ鉄骨コンクリートの目的と称するのが適  
 切である)を挿入する。アメリカでは I ビーム支保工

はずべて埋込みである。このように鉄材を楽な気分で使用し得る点からも全断面掘さくが可能と云い得るだろう。写真-2のごときさく岩ジャンボ-及びアイムコ 40H 型並びに 21 型を使用し, 1 日 3 交代作業で日

写真-2 (a)

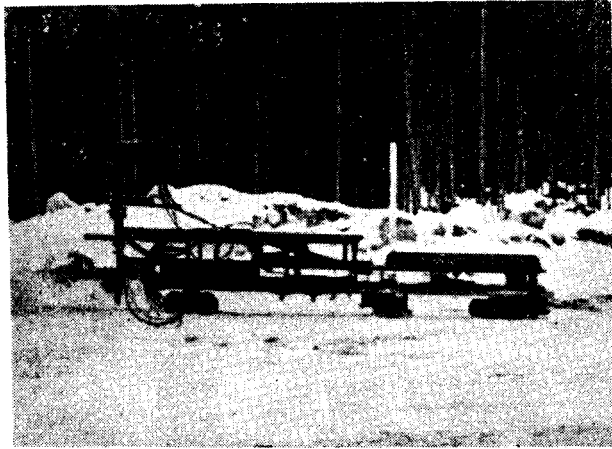
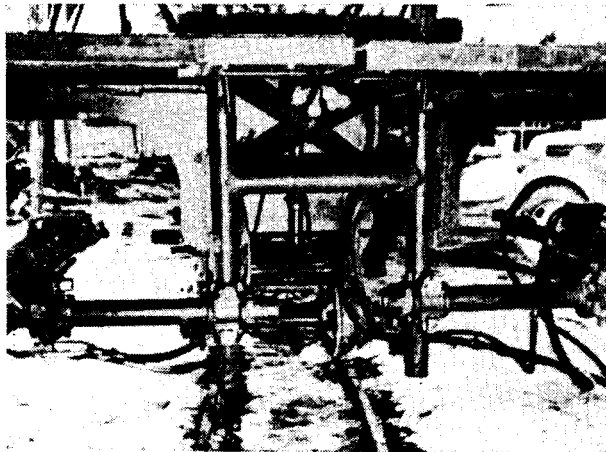
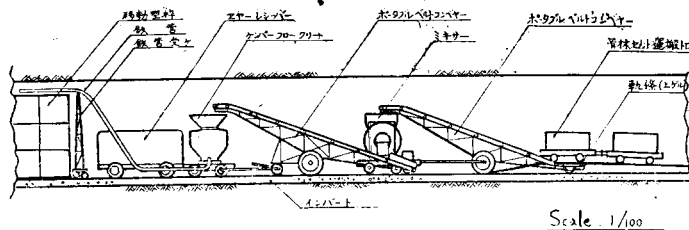


写真-2 (b)



進 45' である。著者が見学した時は掘さくはすでに完了し覆工作業開始直後であつた。コンクリート型枠は鉄製伸縮型枠(Chicago Bridge & Iron Co. 製)でコンクリート・プレーサー (Kemper Flo Crete) 及びコンクリート混和機を図-5 に示すごとく連結しコン

図-5



クリートを連続打込みつつ後退していくのである。かくして1日3交代作業で日進覆工平均 400' である。型枠はその準備量 312' (延屯 24' のもの 13 組) で打込み後 20 時間で撤去して繰返し使用する。

IV. 結 論

1. さく岩ジャンボ- 我国では良地質で支保工を全然必要としない場合のほかは現在の国力より判断して全断面掘さく方式は経済的面でその実施はほとんど不可能と思う。しかし小断面のトンネルでおおむね良地質の場合は全断面掘さく方式を採用し万一悪地質に部分的遭遇した場合は(長大トンネルでは必ず 2~3ヶ所は悪地質に遭遇する)その部分は従来の方法で掘さくしてただちに仮巻して通過し全断面掘さく方式を継続するの一法であるし, またはところどころ I ビ-ム支保工の使用も可能である。このような全断面掘さく方式でもまたは従来の我国一般的施工法すなわち新築式でも, その全断面または底設導坑断面に合致するようなさく岩ジャンボ-の使用を推奨する(さく岩ジャンボ-の設計に関しては発電水力, 昭. 27. 10 月号著者の論文を参照)。

2. 錐鋼 ビットの優劣は穿孔時間短縮の主要因子であるから, 地質に合致するよう経済的見地から Carbide-insert ビット(我国ではダイヤモンドまたはキゲタロイカービット等)またはしからざるビットのいずれを使用するか調査研究の上決定すべきである。

3. 爆破 アメリカではミリセコンド段発電気雷管の使用が常識となつているが, 我国でも相当使用されるようになってい。国鉄岐阜工事事務所所管新屋越トンネル工事(株

会社杜熊谷組施工)ではパーンカット法を採用しミリセコンド段発電気雷管を使用して成功している。排煙及び硝積の容易なる点からもこの雷管を使用しパーンカットの励行を希望する。

4. 硝積 硝積機としては コンウ-エ- が優秀である

が, 容量大に過ぎる感ありしかも電気運転であることも考慮し, 著者は長大トンネルで工期短縮にはアイムコ 40H 型が順合いと考えている。我国製品ではアイムコ 12B 型とほぼ同一型式の太空型がある(硝積機の詳細に関しては発電水力, 昭. 27. 10 月号著者論文参照)。

5. 硝運搬車 硝運搬車の容量は硝積機の容量を考慮し決定しなければならない。切端における盈車空車の入換時間節約には大きいほどよいがそれにもおのづから限度がある。いずれにしても従来我国の箱トローリよりかなり大型とすべきである。したがってその入換えには機関車が必要となる。

6. 坑内軌道 径 15' 程度のトンネルにおいて全断面掘さく方式切端または新奥式底設導坑の切端では単線でもよい。しかし新奥式にてしかも工期を急ぐ場合は切掘作業が底設導坑掘進作業に追従する必要がある。この場合切掘作業地点では複線とすべきである。むしろ坑口よりこの地点まで複線の連続とし、特に長大トンネルでは吊橋を廃し、このうち1線を覆工専用線とするのがよい。

7. 換気 長大トンネルでは必ず換気を励行し作業能率の昂上を計るべきである。しかし新奥式の切掘区間では、換気管が比較的肉薄管の場合爆破による破損が多いから、この区間に対する特別防護の工夫が必要である。

8. コンクリート型枠 全断面掘さく方式で掘進速度が相当昂上し掘さく終了後に全延長の覆工施工可能の場合は、アメリカのブロー・ノックス型の型枠も使用できることはもちろんである。新奥式では日本式支保工を行うことが想像できるから、上記の型枠は使用不可能である。したがって我国従来の型枠かまたはその改良された程度の型枠を使用せざるを得ないのである。

9. コンクリート打込み 掘進速度 1 ヶ月 150 m 程度（現在我国のトンネル掘進速度は平均 75 m くらいである）に追従する覆工速度では、アメリカのごと

くコンクリートポンプまたはコンクリートブレーサーの使用はそれほど必要としない。しかし坑内覆工作業を単純化する目的ならこれ等機械の使用もよいと思う。アメリカのこれ等機械の市場品は容量が比較的大であるから我国施工速度に合致するものを製作しなければならない。

10. 雑感 (a) 我国灌漑用水の大河川横断に際し、従来縮切工法によるサイフォンの施工を見受けるが、簡単なシールドを使用し O'Rourke 式ブロック巻立てかまたは圧気工法によるこの種ブロック巻立てにより河底トンネル施工法を研究すべきである。著者は工費において前者と後者は大差ないと思う。

(b) 地下鉄工事においてシールドまたはルーフシールドを使用し O'Rourke 式ブロックの idea を採り入れた巻き立て方法に関しても大いに研究の余地あるものと信ずる。

(c) 土木工事においてアメリカと比較しトンネル工事の施工法が最も遅れているように感ぜられる。現在我国のトンネル掘進速度は平均 70~80 m で、アメリカの月進 400 m に比較すると格段の差異がある。著者はかつてアメリカの地質はよい、労働者の体格が異なる、国力に格段の差がある等の自己安心を持っていたが、アメリカでもこれまでの進歩には相当年月を経ているのであつて決して急速に速度昂上をきたしたものでないから、特に急速電源開発の要求せらるこの時に当り重ねて反省し研究した結果以上述べたような諸点の考慮により、経済的にまず月進 150 m（すなわち現在速度の 2 倍）は可能なることを確信する。会員諸賢の御批判御指導御鞭撻のほど懇願してこの稿を終らせて戴く。 (昭. 27. 9. 30)

## 土木学会誌の別刷について

学会誌または論文集に論文を投稿され、それが審査を通過の上登載された時には、記念として別刷 50 部を無償で贈呈しておりますが、未だこのことは投稿者各位に充分徹底しておりませんので改めてお知らせいたします。

もし 50 部以上御必要な場合には贈呈分以外の実費を負担していただければ増刷が可能ですから、その場合はあらかじめ編集部あて御連絡下さいますようお願いいたします。また表紙を必要とされる方も御希望に副うようにいたしますが、小部数の場合非常に高価となりますから御了承下さい。

詳細に関しては編集部あて御問合せ願います。なお投稿用原稿用紙は 1 部 25 円（〒共）で頒布しております。上質紙 30 枚綴で投稿規定、用語規定がついておりますから規定をよく御覧の上御投稿下さい。なお原稿用紙の代金は郵便切手でも結構です。

(土木学会編集部)