

新関門トンネル工事の概要

島田 隆 夫*

1. まえがき

山陽新幹線新関門トンネルは、その名のとおり、関門海峡を横断する新幹線複線型海底トンネルで、その延長18.713 km は、スイス・イタリア間のシンプロントンネル（単線並列・19.823 km）に次ぐ世界第2位にランクされる長大トンネルである。

新関門トンネル工事は、① 曲線・勾配等厳しい新幹線規格をみたすルート選定に苦慮したこと、② 海底を通ること、その延長から山陽新幹線博多開業時期を左右すること、③ したがって、施工計画および海底部ならびに土かぶりの少ない市街地区間の施工等に特に配慮したことなどが特徴といえ、④ また、関門鉄道トンネル、関門国道トンネルの経験が大いに参考になったが、逆に技術の進歩した今日、“うまくできて当然、まごまごすると物笑いになる”といった、有形無形の圧迫感を受けたことも事実であった。

工事は昭和45年8月～9月九州方、本州方あいついで着工し、数々の困難を克服のうえ、49年6月末に本体を完成、軌道・電気工事を経て、去る49年10月25日無事試験営業電車の通過をみた。以下、工事の概要について述べる。

2. 計画の概要

(1) 路線選定

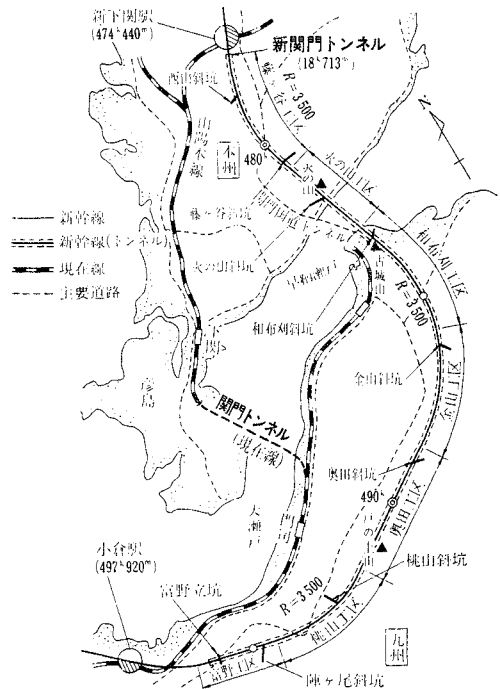
ルートの選定にあたっては、基本的に

- ① 海底部横断延長を可能な限り短くする。
- ② 既成市街地域を極力避ける。
- ③ 両端付近で、山陽・鹿児島両在来線に機能的に結合する新幹線駅を設置する。
- ④ 表一に示す建設基準を極力みす。

* 正会員 日本国有鉄道 下関工事局長

表一 新幹線建設基準

区 分	東海道新幹線	山陽新幹線
最高速度 (km/h)	210	210 (将来 250)
最小曲線半径 (m)	2 500	4 000 (やむを得ない場合 3 500)
最急勾配	20/1 000	15/1 000 (10 km の平均 12/1 000 以下)
縦曲線半径 (m)	10 000	15 000
軌道中心間隔 (m)	4.2	4.3
施工基面幅 (m)	10.7	11.6
レール重量 (kg/m)	53.3	60



図一 新関門トンネル平面図

- ⑤ 断層破砕帯、中でも海底部で断層破砕帯を極力避ける。
- ⑥ 海底部で、できるだけ十分な土かぶりをとる。
- ⑦ 中間作業坑の計画を容易にする。などの事項を考慮した。

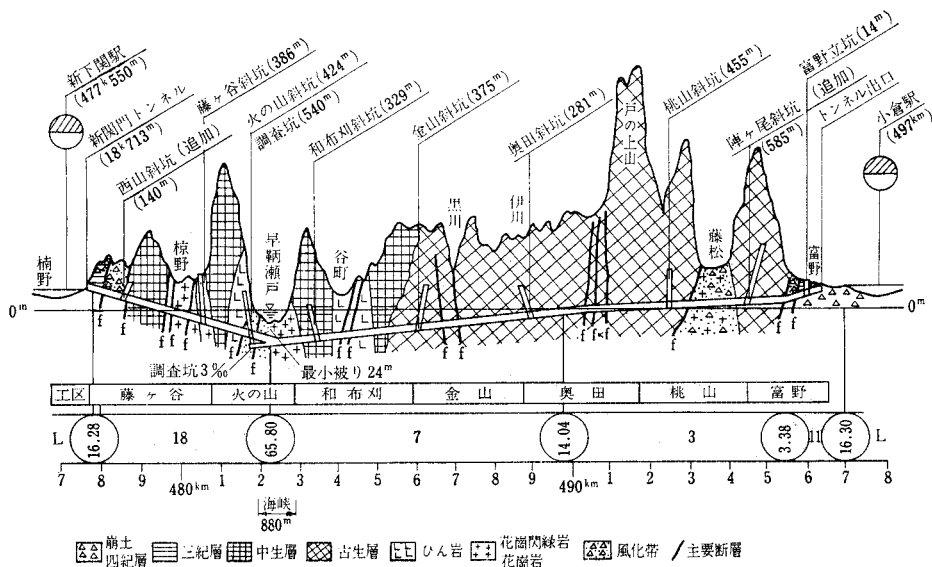


図-2 新開門トンネル地質縦断面図

海峡区間については、① から、大瀬戸ルート、早瀬戸ルートの 2 案が考えられたが、③、④ を前提として、②、⑤ の条件をみたくすべく既設の鉄道トンネル、道路トンネルの施工実績、地質調査結果等から慎重に検討した結果、早瀬戸ルートの方がはるかに有利であると判断し、早瀬戸横断を前提に種々のルートを検討の結果、図-1 に示すルートに決定した。

この際、特に問題となった点として、③、⑥ の条件から、下関方坑口から海底中央部にかけて、18/1 000 の勾配とせざるを得ず、運輸大臣特認の勾配となっている。また、九州方陸上部について、当初は小倉区富野で地上に出て、市街地を明りで通過する計画であったが、その後、北九州道路の計画と競合したため、日本道路公団と打合せの結果、この部分をトンネルとすることにし、このため門司-小倉間 2 か所の明り区間が同時にトンネルとなった。この結果、富野付近は、市街地下で土かぶりの薄い区間を 1 km 以上にわたって設定することになった。なお、関門鉄道、国道の両トンネルの計画時、橋梁案が論議され、国防上の理由等からトンネルとなった経緯がある。今回の新幹線計画にあたっては、関門橋の計画と時期が一致した関係で、経済上関門橋との併設が得策との意見もあった。しかし、併設の場合には、海峡区間通過のみを比較すれば経済的になるが、下関-小倉間全体で比較すると、主として、③、④ の条件から単独でトンネルを建設する方が明らかに有利であるとの結論を得た。

また、ルート選定のための地質調査にあたっては、新開門トンネルの場合、トンネルの位置によって本州側、九州側の駅の位置が推定できることから、駅誘致合戦の

最中に、ボーリング位置、海峡を横断する音波探査測線の設定等を実施することとなり、思いがけない苦勞を味わわれた。

(2) 地 質

下関方坑口からの 250 m は、洪積層のシルト、粘土で、これより海峡を越えて 8 km 付近までは、中生代関門層群に属する砂岩、礫岩、凝灰岩、頁岩等と、これを貫く珩岩、花崗閃緑岩等からなり、これより富野立坑までは古生代秩父系の砂岩、粘板岩、チャート等とこれを貫く珩岩、花崗岩等からなる。また、富野立坑から小倉方出口までは洪積砂礫層からなっている (図-2)。

このうち、地質不良区間は、下関方坑口から約 1 000 m 間の粘土層と風化軟岩帯、藤松地区 900 m の花崗岩の真砂化した湧水の多い地帯、富野立坑付近 1 000 m 間の粘板岩の粘土化した区間と洪積台地など、さらに椋野付近のくぼ地を通る数本の断層、火の山山麓から海底部に及ぶ 300 m の断層破碎帯、谷町、戸の上山麓、富野付近の断層等で、全延長の 23% を占めている。

中でも、海底部の断層破碎帯の突破は、この工事の成否を握る鍵となった。

(3) 設計の概要

a) トンネル断面

山陽新幹線のトンネル断面は図-3 に示すとおりで、覆工コンクリートの設計厚は 50 cm、70 cm の 2 種を基本としており、地質の特に悪い場合には、特殊断面を使用している。表-2 に岩種別に対応する標準覆工巻厚を示す。

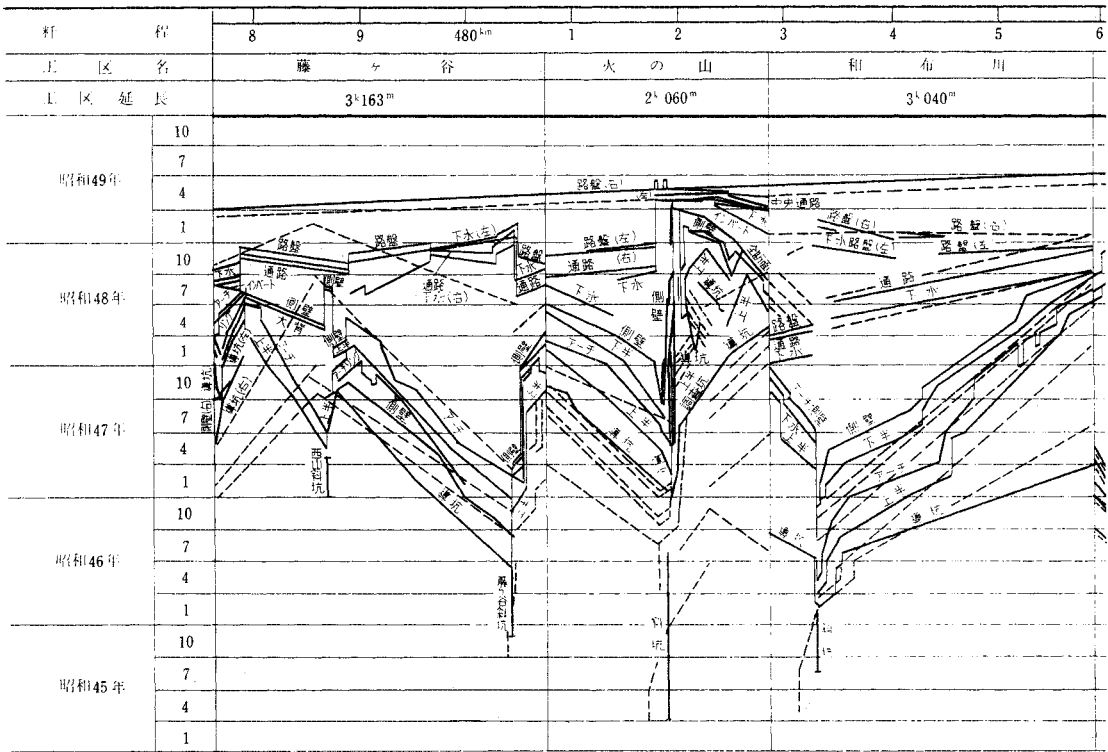


図-4 工 事

表-2 トンネル設計標準

岩種別	岩 I	岩 II	岩 III	岩 IV
弾性波速度 (km/sec)	硬岩 3.0 以下 軟岩 2.0 以下	3.0~3.8 2.0~3.0	3.8~4.5 3.0~3.8	4.5 以上 3.8 以上
巻厚 (cm)	70	70	50	50
上半支保工	200 H 鋼アーチ支保工 0.9 m 間隔	200 H 1.0 m 間隔	175 H 1.35 m 間隔	150 H 1.5 m 間隔 吹付けコンクリート吹付け厚 10 cm ロックボルト φ22 mm, l 2 m, 1.2~1.5 m 間隔

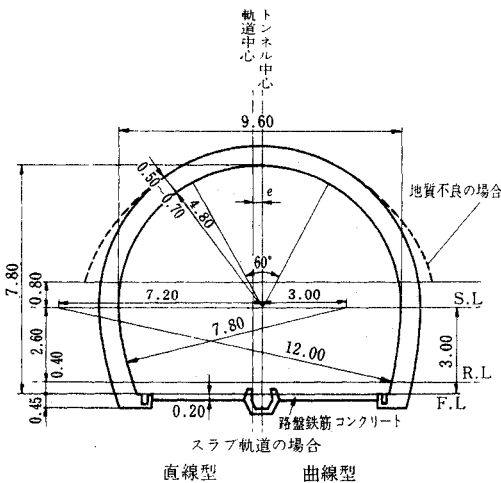


図-3 トンネル標準断面図

b) 支保形式

上半断面の支保工は 150 H~200 H の鋼アーチ支保工を基準とし、地質の良好な区間では、経済的で能率的な施工をはかるため平均厚 10 cm の吹付けコンクリート工、または径 22 mm、長さ 2 m のロックボルト工を採用した。その設計標準は表-2のとおりである。

(4) 施工計画

本トンネル 18.713 km の施工は、工期的に 4 年で完

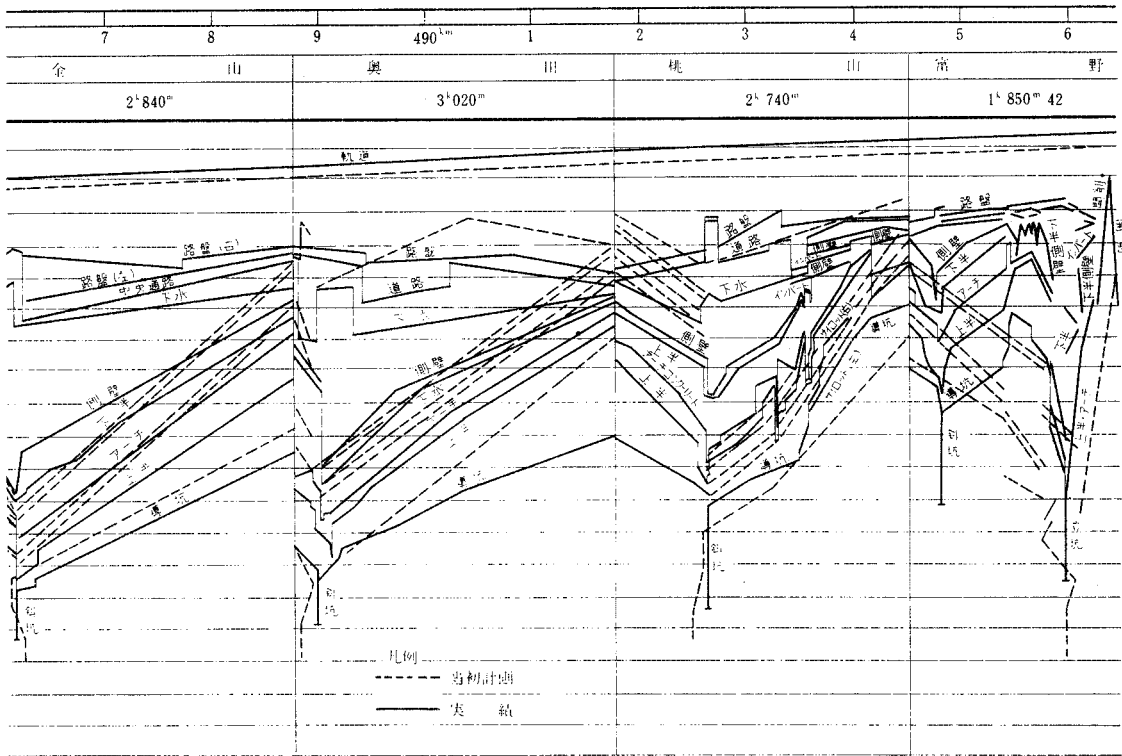
成させるため、1 工区延長を 3 km 程度におさえることとし、7 工区に分割した。よって、斜坑、立坑の設置可能な立地条件、地質等を検討のうえ、立坑 1 か所、斜坑 6 か所を設け進めることにした (図-2)。この工区延長 2~3 km は、経済的にも合理的なものと考えられる。

掘削工法は、工法変更が容易で、導坑によって地質、湧水の確認ができる底設導坑先進上半断面工法を標準とし、地質その他の条件に従って、他の工法を採用することとした。

計画工程は、図-4 の破線で示すとおりである。

3. 施工の概要

工事は、昭和 45 年 8~9 月に海峡をはさむ和布川、火の山両斜坑の掘削に着手し、以後下関方坑口、4 斜坑、1 立坑から施工を進めた。しかし、地元の反対による着



行程表

表-3 各工区の概要

施工業者	藤ヶ谷工区 (3163 ^m)		火の山工区 (2060 ^m)		和布刈工区 (3040 ^m)		金山工区 (2840 ^m)		奥山工区 (3020 ^m)		桃山工区 (2740 ^m)		富野工区 (1850 ^m)	
	1063 ^m	1750 ^m	980 ^m	1080 ^m	500 ^m	2540 ^m	240 ^m	2600 ^m	200 ^m	2820 ^m	800 ^m	1940 ^m	270 ^m	400 ^m
本坑施工法	側壁導坑先進上部半断面掘削工法 上部半断面先進工法(タイヤ方式)		底設導坑先進上部半断面掘削工法 パイプルーム工法(35 ^m) 4径鋼管埋設先進上部半断面コンクリート工法 音入工法 ロックホルト工法(606 ^m) 全断面掘削工法(500 ^m)		底設導坑先進上部半断面掘削工法 吹付コンクリート工法 ロックホルト工法(606 ^m) 全断面掘削工法(500 ^m)		底設導坑先進上部半断面掘削工法 吹付コンクリート工法(2060 ^m)		底設導坑先進上部半断面掘削工法 吹付コンクリート工法(2321 ^m)		底設導坑先進上部半断面掘削工法 側壁導坑先進上部半断面掘削工法		底設導坑先進上部半断面掘削工法 上部半断面先進掘削工法(リッセル工法採用) オープンカット工法	
問題点	風化帯(坑口より1000 ^m 間) 坑口付近地すべり既往地の掘削		海底下の掘削		48.5.11, 掘削機を通過して						風化花崗岩の真砂化した湧水の多い区間の市街地掘削		軟弱地質区間の市街地掘削 坑外設備・市街地内	
主断面上半部突破(本坑貫通) 49.3.15.10'00"														

工の遅れ、地質不良による工事の遅れに対処するため、西山、陣ヶ尾斜坑を追加した(図-2)。最終的には小倉方出口の開削区間を含めて、11か所で工事を進めた。

実績工程は図-4の実線に示すとおりで、計画工程か

ら3か月遅れて、海底部を担当した火の山工区を最後に本体工事を完成した。

各工区の施工概要、坑内外設備は表-3, 4に示すとおりである。

表-4 坑内外

工 区	藤 ヶ 谷			火 の 山	和 布 刈
作 業 箇 所	起点方坑口	西山斜坑 (追加)	藤 ヶ 谷 斜 坑	火 の 山 斜 坑	和 布 刈 斜 坑
坑外設備用地面積 (m ²)	2850 (仮設)	3820 (仮設)	10420	7400	13450
コンプレッサー設備	200 PS×1	200 PS×1	300 PS×1 200 PS×4	230 PS×1 330 PS×3	230 PS×2 200 PS×3
ザリ搬出方式	ト ロ 直 接	タイヤ方式	ザリトロ専用台車 800 PS 280 m/min 1台	ベ ル コ ン 442 m×0.9 m 1台	ベ ル コ ン 403 m×0.9 m 1台
ザリびん (坑内) (m ³)				500	250
ザリびん (坑外)	土 場 仮 置		480 m ³ RC×1	300 m ³ RC×1	800 m ³ RC×1
コンクリート搬入設備	直 接	直 接	コンクリートパイプ立坑 φ 200 mm H 55 m	コンクリートパイプ立坑 φ 200 mm H 70 m φ 150 mm H 62 m	コンクリートパイプ立坑 φ 200 mm H 60 m
排水ポンプ (t/min)	3	4	15	30	9
坑底部貯水槽 (m ³)		8	360	470	300
予備発電機 (ディーゼル)		100 kVA×1	30 kVA×1	625 kVA×1 500 kVA×1	500 kVA×1

表-5 騒音防止対策の効果

工区	発 生 源	対 策	離隔距離 (m)	措置前 (ホン)	措置後 (ホン)
藤ヶ谷	500 PS コンプレッサー	3mのコンクリートブロック塀	6	80	70
火の山	230 PS コンプレッサー	3mのコンクリートブロック塀 レンジャーの囲い	10	77	56
和布刈	220 PS コンプレッサー	消音器	30	70	50
枕山	200 PS コンプレッサー	上家 (内外壁間に砂づめ)	30	71	62
火の山	ザリの落下音	ダンプ出入口の扉	10	83	68
和布刈	ビックハンマー	坑口のビニールたれ幕	25	75	61
和布刈	発破	坑口のビニールたれ幕	160	88	74
火の山	発破	防音幕, 折戸 (木製)	360	100	92

騒音防止のためには、表-5 に示すような対策を行った。本トンネルの土木本体工事費は216億円、1m当り平均115万円であった。

4. 陸上部の施工

(1) 湧水を含む軟弱地質区間の施工

桃山工区藤松付近では花崗岩が強風化し真砂化しており、湧水も多く、土砂噴出の恐れがあったため、側壁導坑先進上半リングカット工法を採用して支保工の基礎支持力を確保し、また、地下水位の低下をはかった。

この区間では、市街地下で土かぶりが30~40mという条件を考慮し、L.W.による地盤注入を行い施工を進めたが、このような軟弱地質の湧水帯では、地盤注入のみに頼って施工を進めると、かえって止水により坑奥の水圧が上昇し、注入の不完全な弱点があると、さらに多

くの水量を伴った土砂の噴出を受ける。そのため、注入範囲外に必ず大孔径水抜ボーリングを実施し、坑奥の水圧、水量の低下をはかり、好結果を得た。これは、六甲トンネルの高圧湧水帯の施工を通じて得た貴重な経験から学んだものである。

また、注入に際しては、バルクヘッド背面や崩壊による空洞をまず低品質モルタルで空洞注入してから、高価な薬液による地盤注入を行うという基本事項を忘れてはならない。

一方、湧水のある区間では、周辺地域に漏水被害をもたらす。漏水については、緊急な処置を要するので、着工前の状態の把握と、対策を十分に考えておく必要がある。

調査は着工に相当先行し、観測点も広い範囲にとる必要がある。対策としては飲料水は上水道への切換え、農業用水などについては坑口よりの圧送、新規ボーリングにより水源を求め、還元することを基本方針とした。

(2) 土かぶりの薄い市街地下の施工

一般的に、土かぶりの薄い、市街地下における鉄道トンネルの施工は——特に新幹線の建設においては——用地確保の困難さ、開通後の騒音等の問題および線路規格の向上などから、トンネルに頼る必要性が高まってきており、今後需要度はますます高くなると考えられる(事実、地形上の制約もあるが、東海道新幹線でトンネル延長は13%、山陽新幹線新大阪—岡山間では35%、同じく岡山—博多間では55%というように飛躍的に増加している)。

この場合、トンネル掘削に伴う地盤沈下が避けられず設計、施工および補償等が問題になるが、これらの点に関する研究がまだ十分であるとはいえない。

設備一覽

金山	奥田	桃山	富野	
金山斜坑	奥田斜坑	桃山斜坑	陣ヶ尾斜坑(追加)	富野堅坑
8760	10310	10990	11870	6860
200 PS×4 100 PS×2	200 PS×3 200 PS×1	230 PS×1 200 PS×3	200 PS×3 170 PS×1	230 PS×2
ベルコン 430 m×0.9 m 1台	ベルコン 322 m×0.9 m 1台	ベルコン 358 m×0.9 m 1台	スキップ代用 6 m³ 2台 400 PS 200 m/min 1台	スキップ 6 m³ 1台 60 PS 20 m/min 1台
350	360	200	183	
275 m³ RC×2	180 m³ RC×3	600 m³ RC×1	土場仮置	430 m³ St.×1 (防音囲い付)
ウインチ使用	コンクリートパイプ立坑 φ 250 mm H 50 m	コンクリートパイプ立坑 φ 200 mm H 50 m	ウインチ使用	φ 300 mm H 22 m
6	6.6	6	10	12
210	160	170	110	100
175 kVA×1	250 kVA×1	175 kVA×1	163 kVA×1	100 kVA×1

国鉄では、第三次長期計画(昭和44年)から、技術課題として筆者らを中心に研究を進め、掘削工法と沈下の関係等については、すでに一部の成果を得ている。いずれ機会をみて、この問題に関する研究結果を公にしたいと考えているが、ここでは新関門トンネル小倉方の富野工区に限って論じることとした。

富野工区終点方の1 km間は土かぶり15 m以下で、地質も粘土、砂礫層といった不良地盤であるうえに、地表は密集市街地で、国道3号線と通信ケーブル、上水道主要幹線(900 mm, 700 mm)、北九州道路高架橋、河川などの構造物があり、さらに富野立坑から坑口までの間には土かぶり3~5 mの位置にRC5Fのアパートがあるという劣悪な施工条件下にあった。

掘削は地表沈下にほとんど影響しない、②風化粘板岩(N値30ぐらい)の沈下は開始から安定までの時間が長く、横断方向の沈下曲線は非常にゆるやかな形状をなすため肉眼では気づかないことがある、ということなどが判明した。

施工は地質・地形条件等を考慮のうえ、立坑より起点方(A区間)は底設導坑先進工法、終点方(B区間)は上半先進工法を基本にし、以下に述べるような補助手段により沈下防止に努めた。

A区間(土かぶり約12 m)は、①仮巻導坑より上半部に対して薬液注入、②上半掘削に先立ってアーチ両脚部を20 cm単位の小サイロット坑により根固め、③上半の支保工建込み後、ただちにキーストーンプレートを用いた上半仮巻工の先行、という方法で対処した。結果は、国道交差部で約12 cmと、慎重施工の割には大きな沈下量となった。測定では、①上半小サイロット坑の

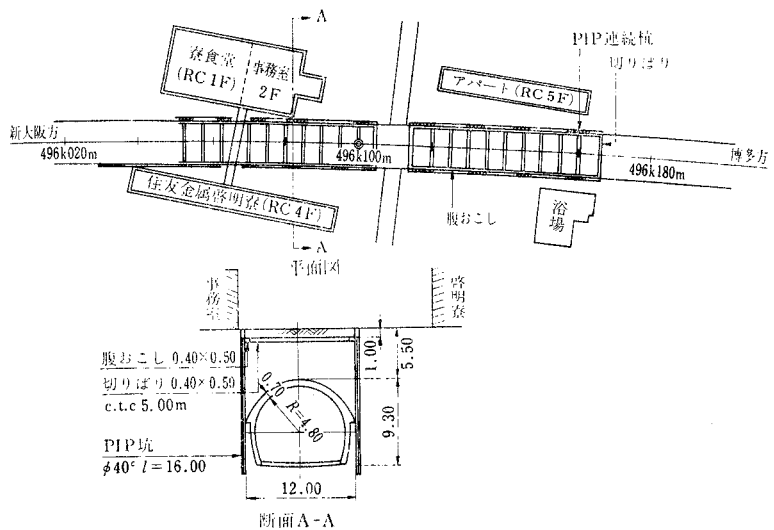


図-5 PIP 施工概略図

B区間(土かぶり約5 m)は、①RCアパートに対するPIP連続壁による防護(図-5)、②上半掘削にメッセル矢板の採用、③アーチ支保工の脚部沈下防止のためのシートパイル皿板の利用と、1基建込むごとの根固めコンクリートの施工、④キーストーンプレートを用いた仮巻きコンクリートの施工、により対処した。この結果、次のようなことが判明した。

① PIP坑の内側の地表沈下に比べ外側の沈下量は激減しており、沈下の縁切り効果があることがわかる。

表-6 トンネル掘削に伴う地表沈下の諸因

(宮下の分類を島田が一部加筆訂正した案)

大分類	小分類	要因
掘削による地中応力の解放	弾性沈下	体積変化
	弾塑性沈下	
	圧縮沈下	
土中含水量の変化、間隙水の変化	水位低下による沈下	体積変化
	圧密沈下	
	地盤改良用排水工(ディープウェル、ウエルポイント)	
施工上生じるもの	余掘り、縫地背面の空隙	空隙発生
	覆工コンクリート、裏込め注入等の不完全充填	地山のゆるみ
	支保工、覆工の沈下、変形	
	遅すぎる掘削とライニング	
	掘削工法、施工法ミス	

② しかし、なお 2cm 前後の沈下が横断方向に広範囲にみられる。これは、トンネル掘削に伴う地下水位低下に起因する圧密沈下と考えられる。

③ 根固めコンクリートの施工が不良で支保工の沈下を許し、しかも上半仮巻きを先行しなかった部分は 24cm にも及ぶ直上沈下を示したが、支保工沈下を抑え、上半仮巻きを先行した箇所では沈下が 4cm 程度にとどまり、顕著な効果が認められた。

④ 沈下は上半掘削時に発生しており、アーチコンクリート終了後の下半の掘削は、沈下にはほとんど影響していない。

すなわち、① 沈下は完全に防止できるものではないという立場から、土かぶりりが 10m に満たないトンネル直上部の家屋は、万一を考慮して工事完了まで一時転居さ

せる等の措置をとる(一部の区間で実施した)などの慎重さで臨むべきである。② 沈下の原因としては表-6 のようなものが考えられるが、地盤を乱さないような良好な施工をすることによって沈下をかなり防止できる。③ 良好な管理をしても、なお A, B 区間の沈下量に差がある。これにはいろいろな原因があるだろうが、上半工法が脚部沈下させない限り、地山を乱すことの少ない工法であることも、かなり寄与していると考えられる。④ トンネル湧水に起因した地下水位低下による沈下は少ないが、広範囲に及ぶ可能性がある。⑤ 工事補償の観点から、沈下公害の予想される範囲は、着工前から側壁下部からの範囲に限らず、できるだけ広い範囲で継続測定することが必要である、などの教訓を得た。

(3) 吹付けコンクリート工法

着工当初、地質の良好な藤ヶ谷、和布刈、金山などの 5 斜坑で吹付けコンクリートを試験的に採用し、支保工としての機能、施工性とも好結果を得た。そのため、11m のスパンを有する本坑上部半断面の支保工として、地質の良好な和布刈、金山、奥田の 3 工区で本格的に本工法を採用し、5400m の区間で施工を行った。

吹付けコンクリート工法は

① 掘削直後に、掘削表面を防護し、地山のゆるみを事前に防止する、

② 地山の凹部を充填して、なめらかなアーチ面を形成し、応力の集中を防止する、

③ 覆工後、地山との間に腐食性の木材等が残らず、覆工と地山の間に空けきもできにくい、などの利点を有している。吹付けコンクリートのゆるみ

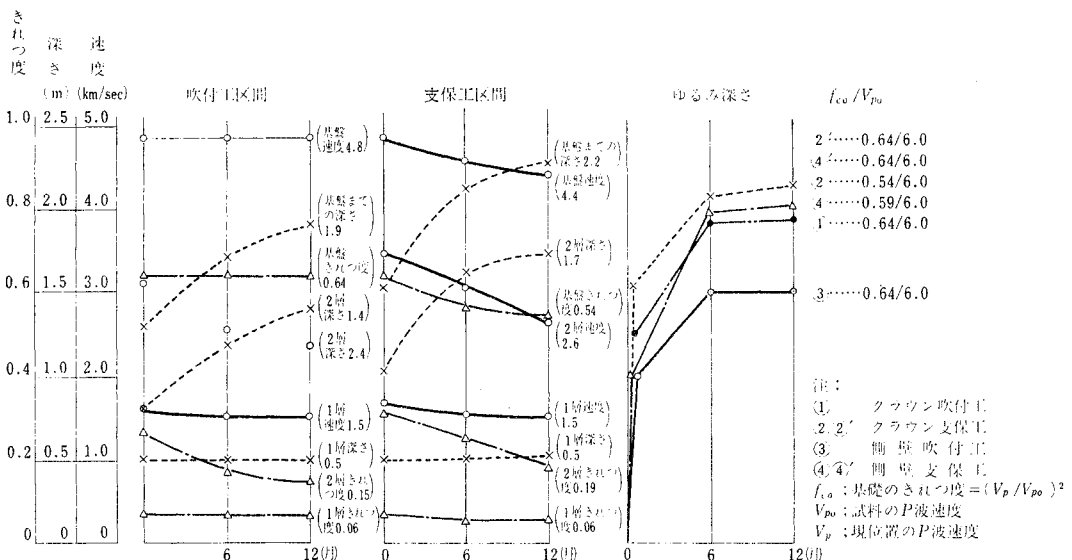
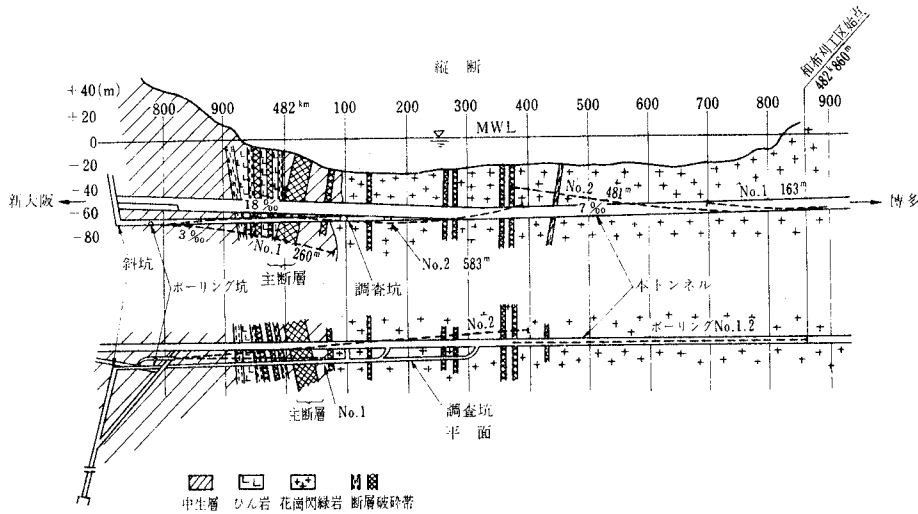


図-6 周壁ゆるみの経時変化



図一七 海底区間の略図

防止効果については、金山斜坑において、鋼アーチ支保工とのゆるみ深さの比較測定を行い、好結果を得ている(図一六)。吹付けコンクリートの適用範囲は、弾性波速度4.5 km/sec 以上、すなわち 150 H 鋼アーチ支保工を 1.5 m 間隔で建込む区間に相当する範囲とし、吹付厚は平均 10 cm、最少 3 cm とし、地質の不良区間、肌落ちの危険のある箇所では、吹付厚を大きくした。

施工には、乾式・湿式の両方式があるが、坑内への材料搬入の容易さ、吹付機と吹付地点との距離が大きくとれること、急結剤が使用でき、付着力が大きいことなどから、乾式の吹付機を使用した。工費は、鋼アーチ支保工と比較して、現時点ではわずかに経済的であるが、先にあげた吹付けコンクリートの優れた支保工効果から今後覆工厚の減少も考えられ、工費節減が期待できる。

また、今後の課題として、次の点があげられる。

- ① はね返り率を減少させ、作業能率を向上させる。
- ② 湧水のある地山に対する吹付能力を向上させる。
- ③ 材料の搬入量が大きく、他の作業との競合をさけるため、材料搬入立坑等搬入方法を考える。
- ④ 粉じんを減少させるため、湿式吹付機を採用する。
- ⑤ 余掘りを極力おさえるため、スムーズプラスチックを採用する。

5. 海底区間の施工

(1) 概要

海底区間の施工法として、圧気シールド、沈埋、凍結工法などが考えられたが、① 約 7 kg/cm² の水圧がある、② 破砕帯と岩盤とが併存している、③ 船の往来が

頻繁で潮流が速い、④ 氷点が低いことなどを検討した結果、注入工法により地盤の止水・強化を行い、山岳工法によることとした。

海底区間の地質は、斜坑底から本州方海岸線 20 m 付近までは、流紋岩質凝灰岩と流紋岩の互層で風化および熱変成を受けており、亀裂、湧水が多い。これより海岸線 80 m 付近までは、頁岩と流紋岩質凝灰岩および、ひん岩の岩脈よりなり湧水も多い。海岸線 80~115 m 間は海底部の最も大きい断層破砕帯で、調査坑および本坑で、特殊工法を採用した区間である(以下、主断層という)。この断層は、断層角礫を含む幅 20 m の粘土化した圧碎帯と、これを狭む 20~30 cm の粘土層ならびにその外側の数 m の擾乱帯からなっている。主断層九州方の 115~200 m 間は、熱変成を受けた砂岩が主体で小規模の断層を含み、特に 140~160 m 間は破砕されており湧水が多い。これより九州方はすべて花崗閃緑岩からなり、海峡中央部付近に数箇所の幅 5~10 m 程度の断層があって湧水も多いが、この他は堅硬であった。海底部の湧水は、主として本州方海岸線から 80 m の区間に集中しており、このほかは主断層九州方付近と、海峡中央部付近に多く、海底区間の湧水量は 8 t/min であった。

(2) 調査坑主断層付近の施工

この区間の施工は、海底下という特殊性を考慮し、パイプルーフ工を採用し、30 m の破砕帯をパイプ打込みより約 3 か月を費して突破したが、詳細は省略する。

(3) 本坑の施工

a) 断面

海底区間の断面は、堅岩区間は陸上部と同じ断面を採

用したが、全区間にインパートを打設した。主断層前後の特に軟弱な 160 m 間については、内空半径 5.03 m、巻厚 90 cm の円形断面とした。

b) 主断層本州方の施工

底設導坑は、本州方海岸線 40 m 付近から地質が軟弱となり湧水も多くなったので、15 m 間隔で先進ボーリングおよびセメントミルクまたは L.W. 注入を行い、5 m のカバーロックを残して 10 m の掘進を行う方法を繰り返し、48 年 1 月末にパイプルーフ工基地の手前に到達した。この間の平均進行は、注入を含めて 14.2 m/月であった。上部半断面は、掘進に先行して底設導坑から L.W. 注入を行いつつ掘進したが、相方の切羽が接近してからは作業が競合したので、上半の掘削を一時中止して、上半切羽より 15 m の注入を行い、10 m を掘進する方法を繰り返し、覆工を切羽に接近させて施工して、48 年 8 月末にパイプルーフ工基地の手前に到達した。この間の平均進行は、注入を含めて 8.9 m/月であった。

この区間の地盤注入は、まず削岩機で 5 m の削孔を行ってケーシングを挿入し、L.W. を注入してケーシングを保持した後、7.5 m および 15 m の削孔を行って、最終圧 30 kg/cm² の注入を行ったもので、コンクリートのバルクヘッドを設けなかったため、注入圧が切羽面に逃げる傾向が見受けられた。

c) 主断層九州方の施工

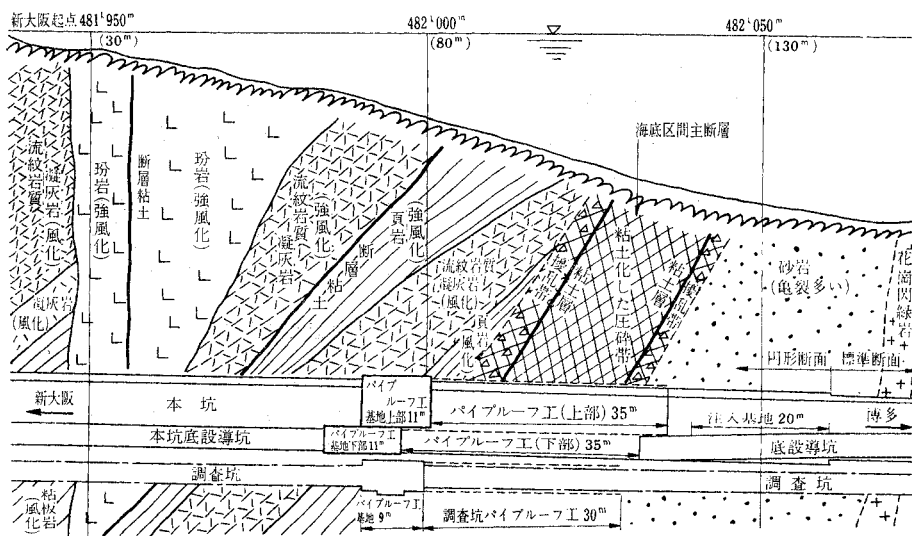
主断層九州方の大部分は、地質が良好であったので、地盤注入を施工した区間は、海峡中央部付近の 2 区間の計 40 m 間のみで、このうち 482 k 270 m 付近は、先進ボーリング孔から 600 l/min の湧水があった。また、482 k 060 m ~ 080 m 間は、導坑掘進中は亀裂が多少あ

て湧水も滴水程度だったので注入を施工しなかったが、上半掘削中、急に風化砂岩の粘土を含んだザラメ状の地質に変わり、湧水も多くなってきたので、急きょ仮巻コンクリートの施工、火薬使用の禁止などをして、この区間を 50 日を費して突破したが、土かぶりの少ない区間の地質の急変と先進削孔の必要性を示すものである。なお、特に地質が良好であった九州方海岸線から 200 m 間は、上方の地質を再確認後、長さ 2 m、径 22 mm のロックボルトをアーチ部に縦・横とも 1.2 m 間隔に打込み、上半掘削後、覆工に約 30 m 先行して下半を掘削しつつ全断面覆工を行い、能率の向上をはかった。

d) 主断層付近の施工

本州方海岸線から 100 m 付近にある主断層の施工については、側壁導坑先進上半リングカット工法、坑導式多段ブロック工法などを中心に、調査坑掘進時の結果を参考にして検討した結果、パイプルーフ工と地盤注入を併用した 4 段側壁導坑先進上部半断面リングカット工法（仮巻施工）を採用することに決定した。

この施工は、主断層区間に長さ 35 m、φ114 mm、t 5.25 mm のパイプを打込むため、主断層の本州方に 5 m のカバーロックを残して、延長 11 m のパイプルーフ工基地を設けた。この基地の断面は、主断層部の断面外周にパイプを打込む関係上、幅が約 15 m、F.L. 以上の高さが 11 m と非常に大きくなった。基地の施工は、地質が軟弱で断面が大きいことを考慮して、外周の上部 4 m、側部 3 m の範囲に L.W. を注入し、S.L. 以下を 2 段側壁導坑で掘削覆工した後、上半は頂設、1.2 の丸形を掘削、ついで 250 H 支保工を 60 cm 間隔に建込み、3~4 m ごとに区切って覆工しつつ掘進した。



注：()内は本州方海岸線からの距離。

図-8 主断層付近の略図

パイプの打込みは、下部基地施工完了後、上部基地施工前に、下部のパイプ40本の打込みと、パイプを通してのパイプ周辺の空洞と地山およびパイプ内にL.W.を注入した。この注入は、当初はパイプの坑奥側にY字管を取り付けたパッカーを挿入し、パイプ周辺にL.W.を注入した後パッカーを取り出し、パイプ内にはセメントミルクを注入する計画であったが、高圧注入に対してパッカーの機能に欠陥が生じたので計画を変更してL.W.を注入したものである。しかし、周辺地山に対して別途に注入を行う場合は、すべてセメントミルク注入のみで十分である。

上部のパイプ打込みは、地質不良のため上部基地の完成が遅れたので、下部基地および主断層九州方に設けた注入基地からの注入ならびに主断層の第1、2段サイロット掘削と併行して施工し、147本のパイプ打込みとパイプを通してセメントミルク注入を48年12月中旬に完了した。なお、上半リング部分に対しては、パイプを複数に打込んだ。

調査坑掘進時には、周辺地山に対して、本格的な地盤注入は実施しなかった。しかし、本坑は調査坑より断面が13倍大きく土かぶりも大幅に少ないので、パイプルーフ工とあわせて、掘削断面内およびS.L.より下部の掘削断面外約3mの範囲にはL.W.を、S.L.より上部の掘削断面外周8mの範囲には尿素系樹脂を注入した。この地盤注入は、注入区間の延長が約40mと長く一方からのみの注入は困難であること、他作業との併行作業による施工期間の短縮とを合わせて、主断層を突破して九州方に向けて掘削中の調査坑より主断層背面に短絡して設けた注入基地より、上部基地の施工中ならびにパイプ打込み中に、九州方の2/3の区間に対して、注入を実施した。残りの本州方の1/3の区間に対しては、下半部は上部基地施工中に、上半部は上部のパイプ打込み完了後の第1、2段サイロット掘削に併行して施工した。

下段の注入完了後、上部のパイプ打込みと併行して48年11月中旬より主断層の掘削を開始した。まず、左右の第1段サイロット②の約35m間を本州方より一気に全区間を掘削し、ただちにこの断面内に③の中埋コンクリートを填充した。ついで、順次第4段の⑧、⑨まで同様に施工した。なお、中埋コンクリート施工後、次のサイロット掘削前に補助的な地盤注入を行い、地山

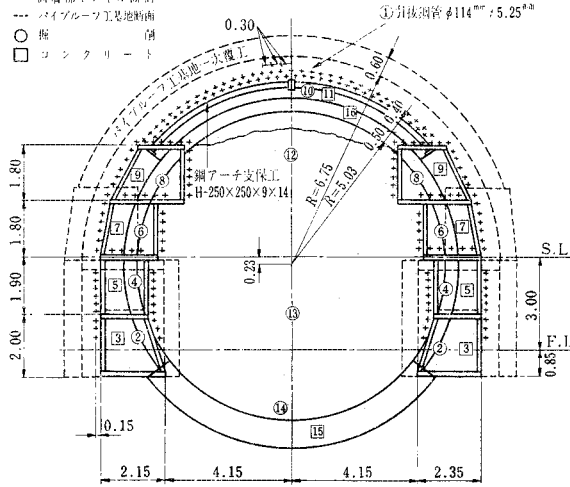


図-9 主断層区間の施工

①	パイプ打込み
②	第1段サイロット掘削
③	第1段サイロットコンクリート
④	第2段サイロット掘削
⑤	第2段サイロットコンクリート
⑥	第3段サイロット掘削
⑦	第3段サイロットコンクリート
⑧	第4段サイロット掘削
⑨	第4段サイロットコンクリート
⑩	上半断面リングカット
⑪	上半断面一次巻コンクリート
⑫	中背掘削
⑬	下半掘削
⑭	インバート掘削
⑮	インバートコンクリート
⑯	二次巻コンクリート

の再強化、止水をはかった。第4段サイロット施工完了後、上半部の再注入を行った。ついで上半部⑩をリングカット方式で掘削し、250H鋼アーチ支保工を60cm間隔で建込みつつ、切羽の1間を残して、ベルノルドシートを用いて支保工フランジ間に仮巻コンクリートを打設した。さらに、仮巻コンクリートに5~6m遅れて⑪の一次巻コンクリートを打設した。このようにして、リング部掘削、一次巻コンクリートを完了した後、S.L.より上部の中背⑫の掘削および第3、4段サイロットの内空側の支保工、パイプの撤去、ならびに二次巻コンクリートに支障する中埋コンクリートの余肉部を取こわした。つづいて、下半部⑬、インバート部⑭の掘削および第1、2段の支保工、パイプ、余肉部コンクリートの撤去、取こわしを3~5mに区切って施工し、インバート⑮を打設した。つづいて、二次巻コンクリート⑯を打設して、この区間の主体工事を49年5月31日に完了した。

岡山一博多間の最難関工事であった海底部主断層を無事突破することができたのは、

① 上半掘削に対し地盤注入を十分行ったので、湧水もほとんどなく、ピック掘削が困難なほど固結していたので、パイプルーフ工の効果を十分に発揮できたこと、

② 各切羽の露出時間を少なくする4段側壁導坑方式を採用し、工期と確実性との調和をはかったこと、

③ 国鉄、施工業者、作業員を含めた施工打合せにより、計画と施工との手違いがなかったこと、および「軟弱層掘進に際しては、切羽を休ませてはならない」という鉄則を守って、正月も休まず作業を続けた従事員の不撓不屈の精神に支えられたこと、などであると考えられる。

6. む す び

以上、新関門トンネル工事の概要について述べたが、単にトンネル工事のみならず、今後われわれに課せられる問題が施工技術上の問題もさることながら、計画段階からいかに周辺の環境保全に努め、沿線住民らとの調和を図るかを考慮し、具体的な実施にあたっては、同様の配慮を怠ることのないよう努める必要があることを痛感した。一例をあげれば、ずりおよび資材運搬についても歩車道の分離、信号機の設置等、周辺住民代表、道路管理者、地元警察等とも協議のうえ、協力の得られる安全対策を十分にとる必要がある。さらに、これらの問題点の解決を、施工技術上いかに反映していくかが重要な課題であるといえる。

参 考 文 献

- 1) 運輸省下関地方施設部：関門隧道，昭和24年3月。
- 2) 建設省・日本道路公団編：関門トンネル工事誌，土木学会，昭和35年12月。
- 3) 斉藤 徹：長大鉄道トンネルの施工計画に関する研究，昭和49年12月（未発表）。
- 4) 佐藤能章：新関門トンネルの計画と施工，鉄道土木，13巻，昭和46年10月。
- 6) 吉川恵也：新関門トンネルの計画と施工上の問題点，土木施工，12巻11号，昭和46年10月。
- 6) 島田隆夫ほか：トンネル掘さくに伴う地表沈下測定例について，第5回トンネル工学シンポジウム，土木学会，昭和44年11月。
- 7) 島田隆夫ほか：トンネル掘さくに伴う地層沈下と坑内土圧現象について，鉄研報告 No. 768，昭和46年5月。
- 8) 宮下和夫：大都市周辺のアーストンネル掘さくにおける諸問題に関する研究，鉄研報告 No. 768，昭和46年8月。
- 9) 宮下和夫：トンネル掘さくにおける地表沈下について，トンネルと地下，4巻7号，昭和48年7月。
- 10) 桜井三男：新関門トンネル海底部の施工，土木技術，28巻10号，昭和48年10月。
- 11) 佐藤能章：海底部の掘さく間ちか一新関門トンネルの現況一，トンネルと地下，3巻1号，昭和47年1月。
- 12) 桜井三男：山陽新幹線のトンネル，土木施工，14巻9号～15巻3号，昭和48年8月～昭和49年3月。
- 13) 桜井三男：新関門トンネル海底部の施工，土木技術，28巻10号，昭和48年10月。 (1974.9.2・受付)

日本土木史	大正元年～昭和15年	24 000 円
		会員特価 21 000 円 (〒800 円)
日本土木史	昭和16年～昭和40年	36 000 円
		会員特価 32 400 円 (〒900 円)

新版

特價締切迫る

49年12月末日限

特價 33,000 円

定価 36,000 円

土木学会編

土木工学ハンドブック

【新刊】 好評発売中！

建設機械用語

日本建設機械化協会編 B6・326頁/¥3,000

編者が建設機械の各分野の専門家を動員し、10数年にわたり、討議・審査を重ねて用語の統一を進めてきた。その成果を整理してまとめあげたわが国、唯一の本格的用語集。厳重な語義区分と用語の的確な定義づけに対応外来語(英)を付し、また随所に図表を配して、容易に脳裡にきざめるよう編纂されている。関係技術者・研究者・学生の机上必備の用語集……。

建設機械〈土木工学叢書〉

土木学会監修 加藤三重次著 B5・¥4,000

現場技術者のための

建設機械と施工法

日本建設機械化協会編 B5・¥1,600

建設機械化施工の安全指針

日本建設機械化協会編 A5・¥1,500



技報堂

東京・港・赤坂 1-3-8