

六甲トンネルの工事を終えて

—4年間の水との闘い—

金 原 弘*

1. ま え が き

山陽新幹線六甲トンネルは、西宮市上ヶ原から六甲山の南麓を貫き、神戸市布引へぬける全長 16 k 250 m の日本最長、世界第3位にランクされる長大トンネルである。

この工事の特色は、滞水した洪積層における人家密集地帯の掘削、多数の被圧水断層破碎帯が存在する六甲山系の山腹を通過するという地質条件から、きわめて特色あるトンネル工事である。工事は非常に難航したが、昭和46年7月無事完成することができたので、以下、工事の概要について述べる。

2. 計画の概要

(1) 選 定

トンネル路線の選定にあたっては、つぎの事項を考慮した。

① 尼崎・伊丹・西宮市域の既開発地域をできるだけ避けること。

② トンネル中間部の断層破碎帯を極力避けること。

③ 神戸市布引付近は、明り区間として新駅を設置する。

④ 中間作業坑の計画を容易にすること。

トンネル坑口は、①、③の理由からほぼ限定されるが、トンネル路線を南にもってくれば、作業坑の計画に有利となる反面、地質的には北上が望ましい点を勘案して、トンネルの平面形を図-1のように定めた。

トンネル中間部は直線とし、両端には 5 000 m の曲線を使用している。

勾配は排水を考慮して最小勾配 5 %、最急勾配 10 % とした。

(2) 地 質

六甲山系の主体部は花崗岩から成り、比較的新しい地質年代に造山活動によって隆起したものと考えられている。この造山活動の衝上のため逆断層が多数存在しており、花崗岩は著しい圧砕・風化を受けているが、とくに

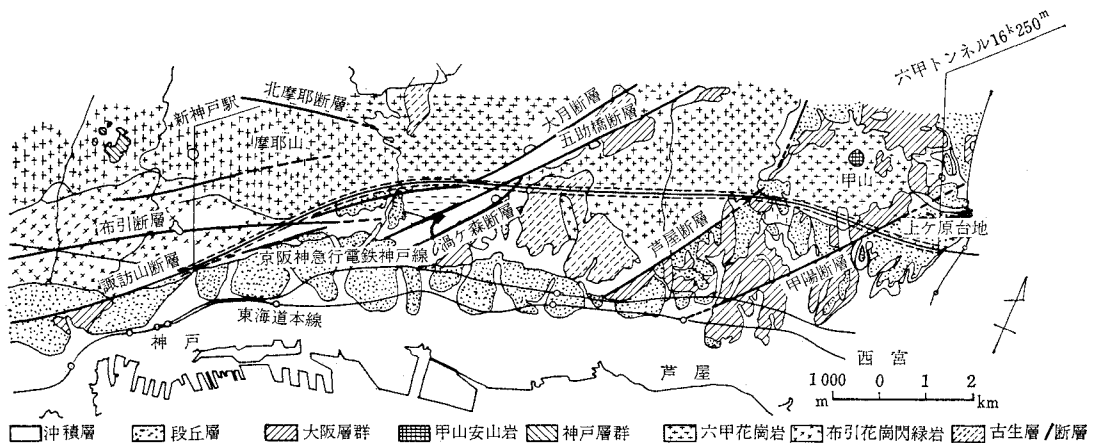


図-1 六甲トンネル地質平面図

* 正会員 日本国有鉄道新幹線建設局工事第1課 課長

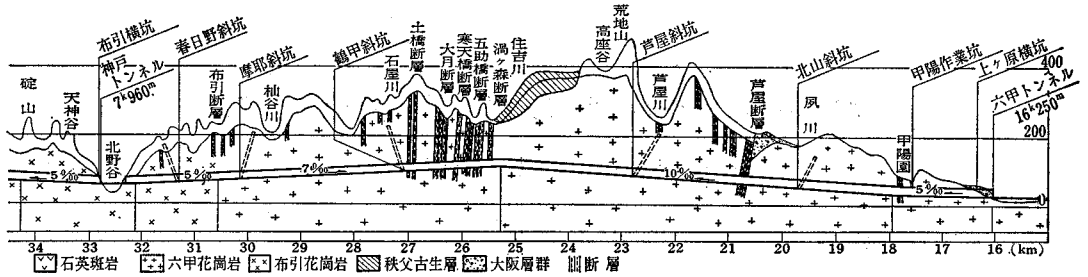


図-2 六甲トンネル地質縦断面図

断層上盤部の破碎がはなはだしく、破碎幅は 100 m 以上に及んでいる。図-2 にトンネル地質縦断面図を示す。

トンネルは、坑口付近に存在する洪積層を除いて、その大部分は花崗岩中を掘進することとなる。

トンネルが遭遇する主要断層は、甲陽・芦屋・渦ヶ森・五助橋・大月・布引断層などで、いずれも薄い角度でトンネルと斜交し、相当程度の被圧水の存在が予想された。

湧水調査は、主要水系の湧水時比流量より水文学的にトンネル湧水量を算定した結果、1.5 t/min 以上の湧水箇所が少なくとも 8 か所予想され、切羽における最大湧水量は 7~8 t/min と推定された。

地質調査は弾性波探査と岩盤ボーリングを主体とし、さらにボーリング孔を利用して電気検査・孔底水圧測定・深層弾性波試験を実施した。

(3) 設計

a) トンネル断面

山陽新幹線のトンネル断面は 図-3 に示すとおりである。

b) 覆工厚

覆工コンクリートの設計厚は 50 cm・70 cm の 2 種を基本としている (図-3)。覆工厚と弾性波速度とは正確に対比できないが、めやすとして弾性波速度 4.2 km/sec 以上は 50 cm とし、それ以下は 70 cm と考えた。

土かぶりの少ないトンネル坑口付近、地圧のとくに大きい破碎帯区間では、覆工厚 90 cm を設計するとともに、インバートコンクリートを設け、閉合断面としている。

c) 鋼アーチ支保工

鋼アーチ支保工は、150 H~200 H の H 型钢を使用した。その設計標準は 表-1 のとおりである。

(4) 施工計画

新大阪一岡山間の完成工期 (昭和 47 年 3 月) より逆算すると、六甲トンネル工事を昭和 45 年度中に完了する必要があったので、立坑 (開削) 1 か所、斜坑 5 か所

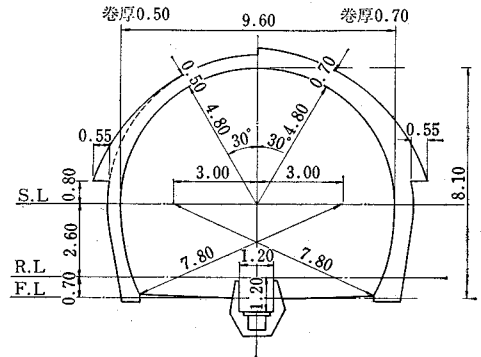


図-3 六甲トンネル断面図

表-1 新幹線トンネル鋼アーチ支保工設計標準

岩種 弾性波速度	岩種				
	岩 I	岩 II	岩 III	岩 IV	岩 V
種別	2.9 km/sec 以下	3.0~3.6 km/sec	3.7~4.2 km/sec	4.3~4.8 km/sec	4.9 km/sec 以上
H 型钢の種類	200H	200H	175H	150H	150H
標準建込み間隔 (m)	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
断面係数 (トンネル延長 m) 当り	524	472	275	146	146
鋼材重量 (トンネル延長 m) 当り	922	829	609	339	339

表-2 設計諸数値実績

区分	延長 (m)	巻厚 (%)			支保工 (%)			インバート区間 (%)
		50 cm	70 cm	90 cm	150H	175H	200H	
工区名								
上ヶ原	1230	—	96.2	3.8	—	—	100	
甲陽	2200	43.8	50.2	6.0	13.1	32.7	54.2	
北山	2750	2.6	87.8	9.6	—	19.3	80.7	
芦屋	2900	25.5	74.5	—	4.1	76.9	19.0	
鶴甲	2500	9.0	91.0	—	0.2	13.1	86.7	
摩耶	2900	34.5	63.8	1.7	9.8	65.4	24.8	
春日野	1770	23.7	74.6	1.7	17.2	51.4	31.4	
計	16250	21.1	75.7	3.2	5.4	37.6	57.0	

を中間に設け、7 工区に分割して工事を進めることにした。

計画工程は 図-4 の破線で示すとおりである。

3. 施工の実績

設計協議、用地買収および断層破碎帯区間の掘削が予

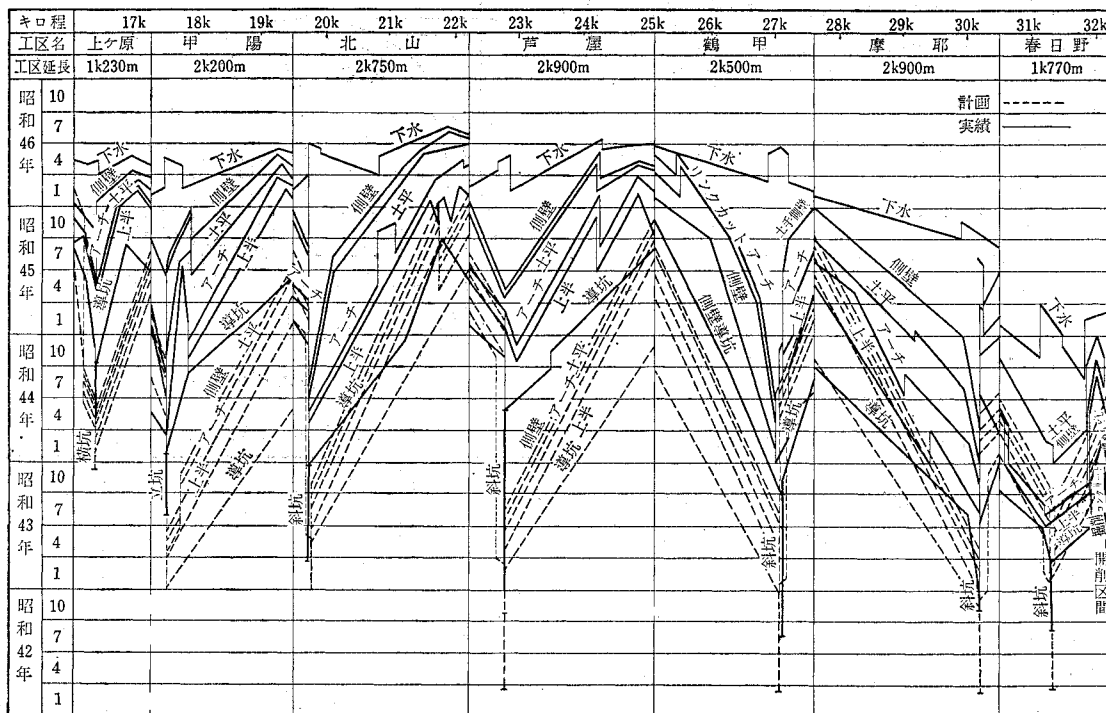


図-4 工事工程表

表-3 六甲トンネル坑外設備一覧

区 分	上ヶ原工区	甲陽工区	北山工区	芦屋工区	鶴甲工区	摩耶工区	春日野工区
坑外設備用地面積	6 100 m ²	9 900 m ²	4 500 m ²	3 400 m ²	4 400 m ²	4 500 m ²	5 600 m ²
作業坑種別および延長	横坑 146 m	立坑 16 m	斜坑 435 m	斜坑 634 m	斜坑 447 m	斜坑 431 m	斜坑 294 m
受電設備容量	900 kW	1 000 kW	1 100 kW	1 100 kW	1 100 kW	1 100 kVA	900 kVA
コンプレッサー設備	100 HP×2	150 kW×3	200 PS×3	225 kW×2 173 kW×1	220 kW×2 140 kW×2	165 kW×5	165 kW×3 100 kW×1
ザリ搬出方式	—	スキップ	トロ巻上げ 600PS ウインチ	ベルトコンベア (幅 900 mm)	トロ巻上げ 670PS ウインチ	ベルトコンベア (幅 910 mm)	ベルトコンベア (幅 1 050 mm)
ザリビン容量	420 m ³	500 m ³	400 m ³	450 m ³	300 m ³	750 m ³	500 m ³
パッチャープラント	全自動 0.8 m ³ ×2	全自動 28切×2	全自動 21切×2	レデーミクスト コンクリート	全自動 21切×2	レデーミクスト コンクリート	レデーミクスト コンクリート
コンクリート搬入方式	—	—	プレスクリート 巻下し	プレスクリート 巻下し	スキップカー巻 下し	コンクリート 立坑 85 m×1,160 m×1	プレスクリート 巻下し
揚水ポンプ容量	—	10 t/min	20 t/min	20 t/min	18 t/min	18 t/min	12 t/min
予備発電機 (ディーゼル)	—	400 kVA×1	625 kVA×1	500 kVA×3	500 kVA×2 200 kVA×1	625 kVA×1 300 kVA×1	200 kVA×1
材料線ウインチ	タワークレーン	クレーン 2t×12t×1	300 PS	400 PS	200 PS	200 PS	100 PS
坑底部貯水槽	—	—	260 m ³	200 m ³	230 m ³	220 m ³	280 m ³

表-4 各工区平均進行

工 区 名	延長 L (m)	着 年 月	竣 工 月	工 期		平 均 進 行 (m/月)						
				直接工期 Q (0)	全工期 P (斜坑準備を含む) (月)	導坑	上半	アーチコン クリート	土平・側壁 コンクリート	下水通路コ ンクリート	L/Q	L/P
上ヶ原	1 230	44. 5	46. 5	22	25	123	117	129	154 273	308	56	49
甲陽	2 200	43. 7	46. 5	28	35	133	126	142	209	629	79	63
北山	2 750	43. 4	46. 7	30	40	125	115	110	115	611	92	69
芦屋	2 900	42. 9	46. 7	25	47	193	161 93	181	215	580	117	62
鶴甲	2 500	42. 8	46. 7	34	48	96	96	93	100	635	74	52
摩耶	2 900	42.10	46. 3	33	42	193	135	138	141	580	87	69
春日野	1 770	42. 8	45. 3	27	32	105	81	90	108	253	66	55

注：直接工事とは導坑から通路完成までをいう。

想以上に難航したため、実績工程は 図-4 の実線で示すとおり計画工程より約6か月遅れて竣工した。工期は昭和42年3月に着手以来、46年7月に竣工するまでの4年4か月である。

各工区の設計諸数値実績、坑外設備の諸元、進行表を表-2~4に示す。

総工事費は186億6000万円で、m当り平均113万円、とくに難工事であった上ヶ原工区はm当り170万円、鶴甲工区は148万円を要した。

4. 斜坑工事

(1) 設計と施工

斜坑の標準断面は 図-5 のとおりであり、断面積・勾配・ずり搬出方式・揚水設備・進行実績などについては表-3~5に示した。

斜坑と本坑との取付部には、材料の搬出入を考慮して50~60m程度の水平部分を設けた。斜坑と本坑との交角は材料線等の取付けの関係で40~60°前後を目標とした。その一例を 図-6 に示す。

(2) 芦屋斜坑の断層突破

芦屋斜坑は延長634mで全線を通じて最長の斜坑である。地質は弾性波探査によると5km/sec程度の六甲

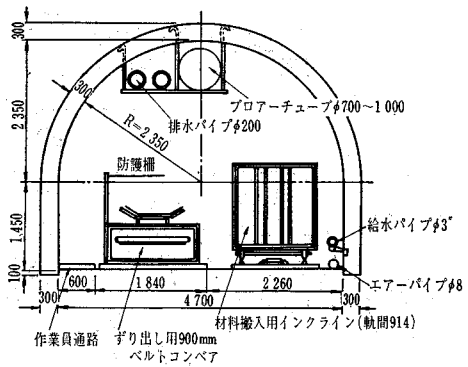


図-5 斜坑標準断面図

表-5 斜坑実績表

工区名	区分	断面積		勾配	掘進速度 (m/月) (実掘進期間)
		掘削 (m ²)	コンクリート (m ²)		
北	山	18.8	3.286	1/4.2	74
芦	屋	18.8	3.286	1/4.0	63
鶴	甲	18.8	3.286	1/3.9	53
摩	耶	19.4	3.322	1/3.9	110
春	日	18.8	3.286	1/4.1	74

花崗岩で、さしたる断層も見あたらず全般的には良好であると考えられていた。掘削開始後、若干の湧水を伴う破碎帯に遭遇したが大した困難もなく順調な掘進をみた。ちょうど斜坑のなかば330m付近を掘進中の昭和43年3月24日、土砂を含む約2m³/minの突発湧水に遭遇

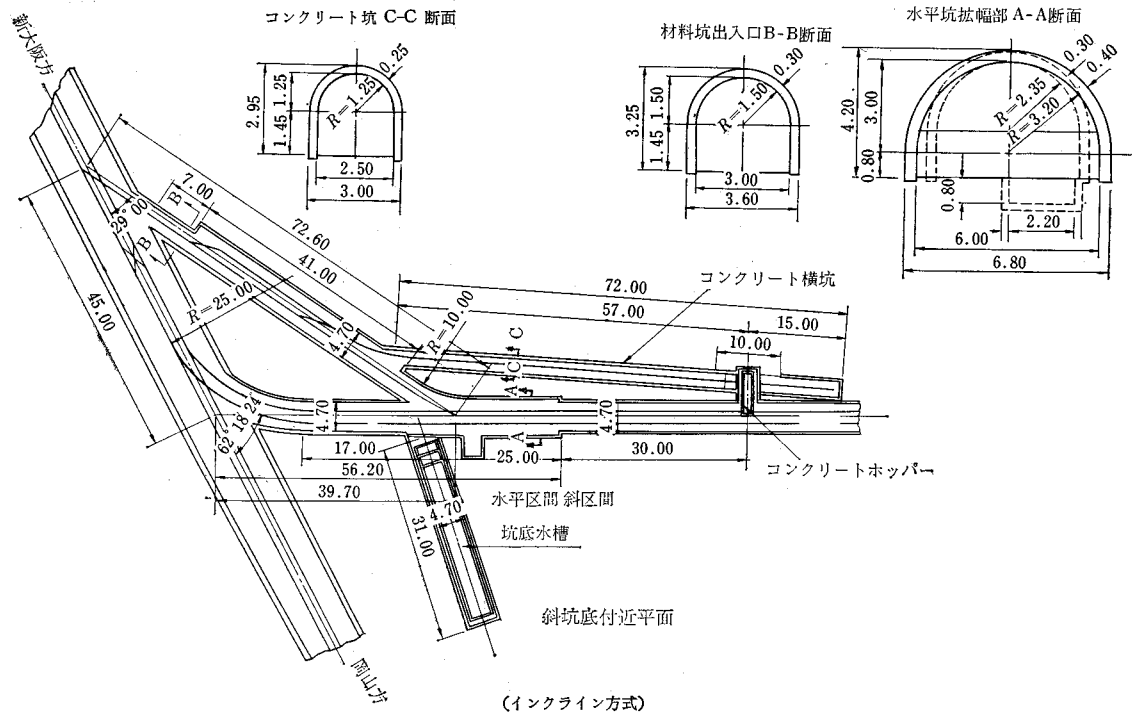


図-6 六甲トンネル鶴甲斜坑坑底部

し、 200 m^3 の土砂で19 m間が浸水埋没した。その後のボーリングの結果、破砕帯の幅は9~10 mであり、しかも 20 kg/cm^2 以上の被圧滞水層であることが判明した。

この破砕帯の突破工法としては、坑奥にある被圧水の圧力低下を第一主義として坑内からの水抜ボーリングと

ともに地質調査坑を掘進し、さらに薬液注入を併用することにした。

調査坑は 図-8 のごとく斜坑の左右に破砕帯に向ってのおおの6本掘進したが、掘進途中で異常出水に遭遇した。とくに右1号調査坑は、断層付近で 3 t/min の湧

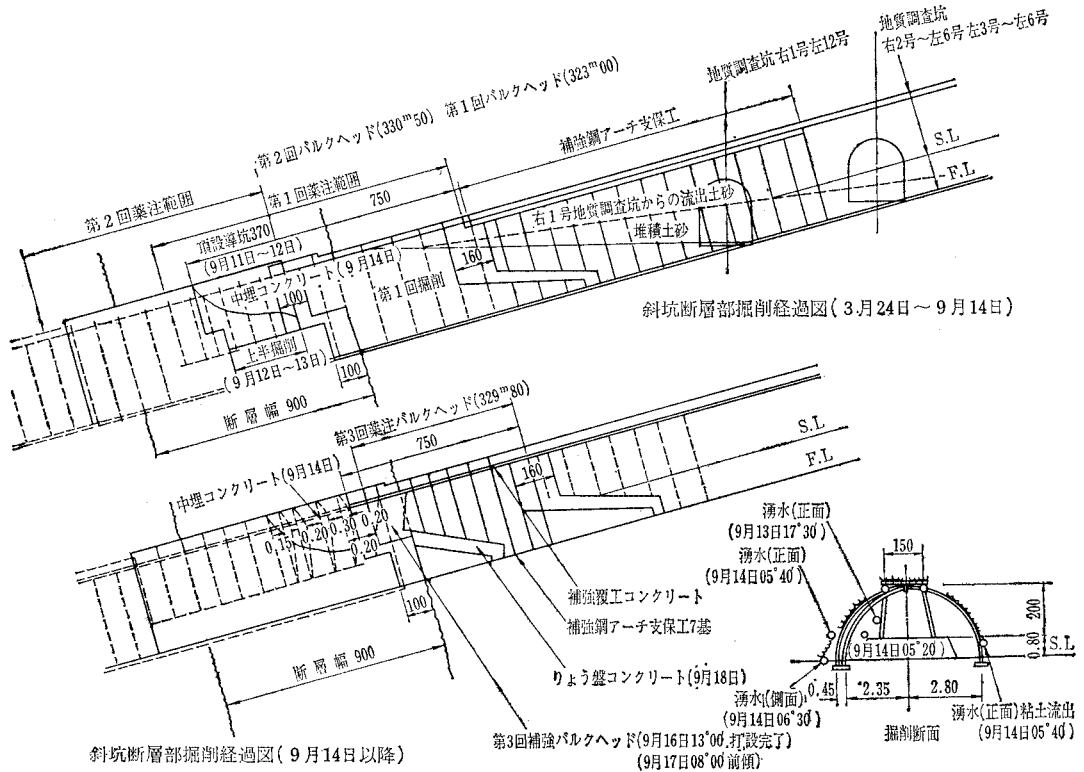


図-7 芦屋斜坑 330 m 付近断層破砕帯の施工

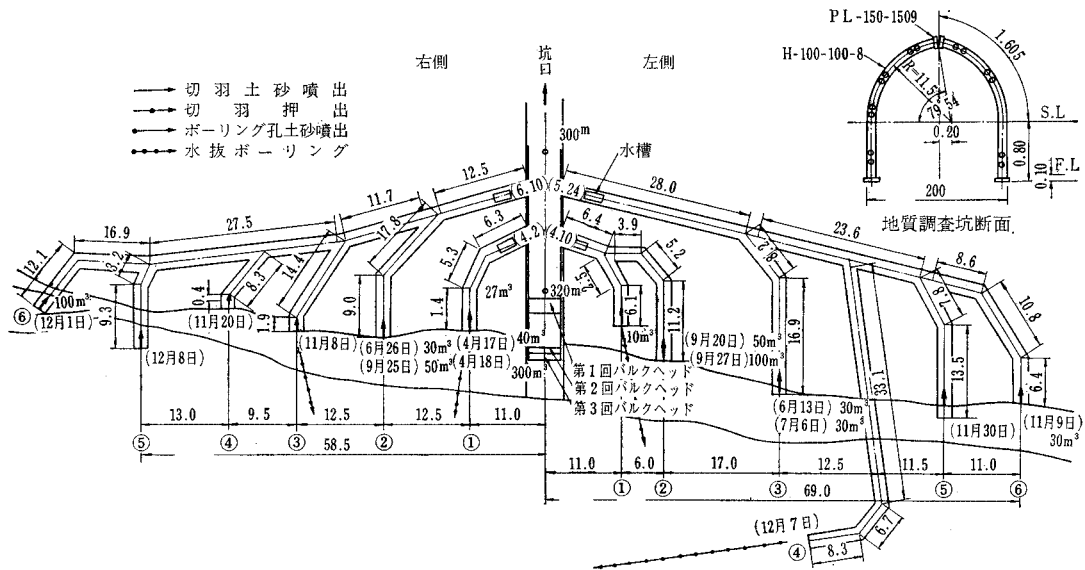


図-8 地質調査坑掘進状況

水とともに 300 m³ の土砂が噴出し、右1、左1号調査坑および斜坑を完全に埋没するなど難工事の連続であった。調査坑の断面は作業可能な範囲でできるだけ小断面のものとし、3.3 m² を採用した。これら 12 本の調査坑は、坑奥の水圧低下に大いに効果があり、最終水圧は、10 kg/cm² 程度にまで減少した。

斜坑は調査坑の掘進と併行して薬液注入を計画し、崩土埋設区間と破砕帯とを 3 分割して注入を行なった。薬液注入計画として水圧を 20 kg/cm² と推定し、注入の標準圧力は水圧の 2 倍の 40 kg/cm²、最終圧力を 45 kg/cm² とした。注入孔の間隔は、カバーロック末端で約 1.5 m、掘削予定終端付近で 1.0~0.9 m とし、一注入孔の標準ステップは 0.8 m とした (図-9)。

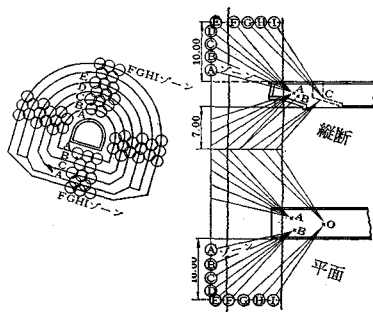


図-9 第3回薬液注入状況

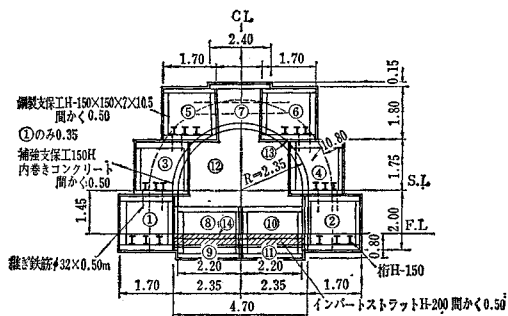


図-10 第3回掘削状況

斜坑掘削は第3次薬液注入完了後なるべく小断面で掘進することとし、図-10のように準ドイツ式工法による。かくして延べ 367 m の調査坑と、延べ 1050 m の水抜ボーリング、1060 m³ の薬液注入を行ない、この破砕帯をようやく突破したが、異常湧水後約 10 か月を要した。

図-11 は注入ボーリングおよび水抜ボーリングによって測定した水圧と湧水量および工事工程との関係を示したものである。

5. 洪積層の掘削 (上ヶ原工区)

六甲トンネルの入口である上ヶ原工区は、全長にわた

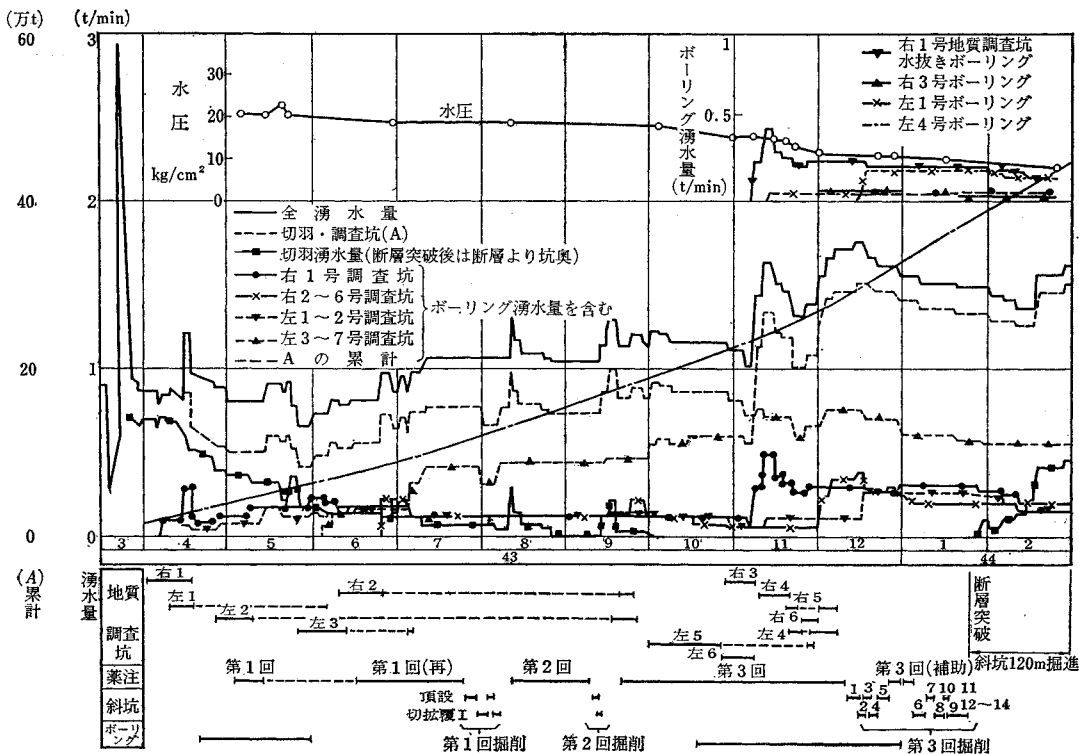


図-11 湧水量と水圧の関係 (芦屋斜坑断層破砕帯)

り大阪層群と呼ばれる第4紀の洪積層で形成され、六甲山系の東端に広がる段丘性の台地である。この地質は、粘土・シルト・砂礫の互層をなし、層相変化の激しい地層を形成している。砂礫および砂層は粘性土をはさみ、固結度はゆるく、地下水の貯留量が大きく不安定な地質である。

(1) 横坑と調査坑

坑口付近は民家が密集しているため、坑口から300m付近に横坑145mを設けることとし、掘進を開始したが、地下水と未固結砂、シルトの崩壊で難航した。ただちに水抜ボーリングを施工したが、かえって土砂の流出を誘う原因となったため、検討の結果、横坑の途中から調査坑を掘進することにした。しかしこれも同様に難航し、水抜ボーリング・薬液注入等を施工しながら、ようやく本坑交点に到達できた。

本坑の掘削は当初計画のごとく普通に側壁導坑を先進させることは不可能であることが判明したため、本坑のセンターから12m海側、本坑の頂設盤のレベルで上部調査坑を掘進することとした。上部調査坑は断面下半より湧水があり、ふまえから噴出する状態であったので、つぼ掘りにより調査した結果、本坑のスプリング付近に滞水層があることが明らかとなった。よって、横坑調査坑から、もう1本の下部調査坑を掘進するとともに、上部調査坑からウェルポイントを試行した結果、下部調査坑の掘進は切羽の水位低下により比較的順調に進みウェルポイントの効果が認められた。

かくして、下部調査坑より本坑の側壁導坑の掘進を開始したが、ウェルポイントによる揚水範囲が限定されて進捗も思わしくないため、中割を掘削してこれからもウェルポイントを打設した。なお上部調査坑から連絡坑を設け水位観測孔を設置し観測したが、掘削が進むにつれて水位は想定より低下せず、山側導坑および本坑の掘進等を考慮して、山側にも上部調査坑を掘進し、ウェルポイントを打設することとした(図-12)。

(2) ウェルポイント

ウェルポイントは、左右の上部調査坑と中割の3か所

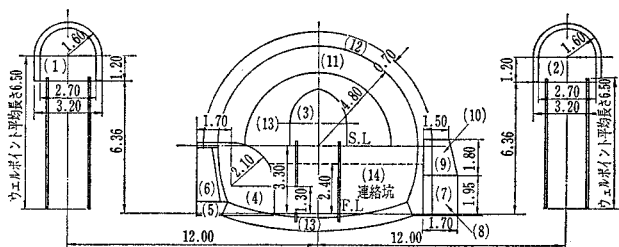


図-12 上ヶ原工区掘削順序図およびウェルポイント打設図

に打設して側壁導坑と大背の掘進に備えたが、地質は西から東に向ってゆるい傾斜をなし、地下水は被圧し、かつ、土の透水係数は $3 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ と小さいが、湧水量は割合に大きかった。また、土質試験結果では細粒分が多く、自然含水比と液性限界がきわめて近いいため容易に液状化する状態であった。

a) ウェルポイントの打設

ウェルポイントは各調査坑に2系列平行して打設間隔1mとし、打設深さは6.5mを標準とした。ポンプ1台あたりの接続本数は、地質および各種のロス、ポンプの性能等を考慮した結果、平均60~70本となった。

ウェルポイントの打込みは狭い調査坑内のためボーリング機を使用した。

b) ポンプ運転

ヘッダーパイプ伸長時には、ポンプを一時停止する必要があるため少なくとも1系列(約70m)以上切羽から先行した。

いったん停止するとスプリング付近まで水位の回復があるので、アーチコンクリート打設完了まで運転を継続した。

(3) 本坑掘削

本坑掘削は当初側壁導坑先進上部半断面工法であったが、前述のごとき状況にあったので左右の導坑の同時掘進を断念し海側導坑を先進させた。導坑断面はぎり出しおよび材料の搬入の可能な限り小さく 3.3m^2 とした。山側導坑は海側から30m間隔に連絡坑を掘進し、2段サイロット工法により掘削後ただちにコンクリートを打設して地山のゆるみをできるだけ阻止するようにした。海側の側壁は掘進後ただちに一次覆工を施工した。大背掘削はウェルポイントの効果により想定以上の進捗をみ全断面掘進後は多少のクイックサンド、ヒーピング現象が見られたが、たいしたこともなく側壁の二次覆工およびインパートコンクリートを打設することができた。

(4) 地表沈下対策

地表は学校・民家の密集地帯で文教地区に指定されており、また、道路には中・低圧のガス管および水道管(φ1500)が交差し、地下埋設物も多い地帯である。さらにトンネルの土かぶりが平均25mのため地表への影響が心配された。本工程掘進にあたっては側壁導坑を先進し、上半はリングカット後、切羽からの湧水が多い箇所では掘削を中止し、ただちに仮巻コンクリートを施工、一次注入を行ない地山を固めて切羽作業をした。なお覆工完了後全区間にわたり裏込注入を施工した。

一方、測定板を地中に埋込み、地表面におい

て縦横断の観測点を設定して、導坑・中割・上半掘削の進捗状況に対応して地表・地中における変位を観測した。地中沈下は、最大5 cm程度の値が測定されたが、地表の構造物に影響なく無事に工事が完了した。

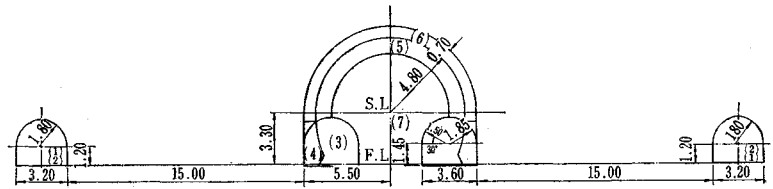


図-13 鶴甲工区掘削順序図および水抜迂回坑

5. 断層破砕帯の掘削（鶴甲工区）

鶴甲工区は、斜坑交点から東約1500 m間は大月・五助橋等の著名な断層群と斜交するため、弾性波速度も3 km/sec以下が40%以上を占め、地質は著しく軟弱化しているため、アーチ脚部の支持力および側壁掘削の施工等を考慮して掘削工法を側壁導坑先進方式とした。

(1) 側壁導坑

導坑掘進後、大月断層に突入したが、地質は一部は真砂化または粘土化した脆弱な風化花崗岩、およびほとんどが破砕され大部分が粘土化した暗緑色の珩岩を主体とし、一部に風化したアプライトをはさんだ地質であった。

湧水は掘進開始からしばらくの間は滴水程度であったが、進捗するにつれ破砕帯特有の様相を呈し、突如30~50 l/minの湧水ののちに次第に湧水が増大し土砂降りとなり矢板の折損が始まり導坑支保工の座屈・張り出しが続出した。また、切羽からは鏡止めを押し破り、間欠的に濁水とともに大量の土砂が流出することの連続であった。

このため、そのつど支保工の補強・仮巻コンクリート・根固めコンクリート・インパートコンクリートの打設等の手段を講じた。また、状況に応じ掘削を一時中止し、大孔径水抜ボーリングを施工し掘進を援護した。

(2) 地質調査坑

導坑が上述のような状況であったので、大月断層突入

後導坑から地質調査坑を掘進した。掘進は相次ぐ間欠的な湧水と土砂流出により、たびたび中止せざるを得なかった。その土圧の強大さは第7号地質調査坑で代表されるが、掘進中約15 kg/cm²の被圧水のため、厚い粘土層全面が支保工内にせん断されて、10 cm/minの速度で押し出され、胴ばり・堰を打ったが、ついに土圧に抗しきれず7.5 mの押し出しをみた。

この間、各切羽から先進水抜ボーリングを施工したがその結果、前面に15~20 kg/cm²の被圧滞水層があり、地山は完全に粘土化あるいは真砂化していることが判明したので、第8号地質調査坑以後の掘進を中止した。

(3) 大孔径水抜ボーリング

調査坑掘進状況から判断して、施工方針を次のように決めた。すなわち、まず大孔径ボーリングにより切羽湧水量の減少ならびに、水圧低下をはかって掘進を援護するとともに、さらに掘進が困難な場合には薬液注入により地山を強化する。また、本坑に並行して左右両側に水抜迂回坑を新設し、状況に応じて本坑と連絡することにした。

大孔径水抜ボーリングは、φ140, 114, 89および65の4段階とし、φ140, 114, 89はケーシング掘りとした。1本平均の掘進長は約60 mであり、排除した地下水は10~1500 l/minとまちまちであった。

(4) 水抜迂回坑

迂回坑は図-13のごとく本坑の左右におおの15 m離して先進したが、導坑と同様に非常に難航した。断面

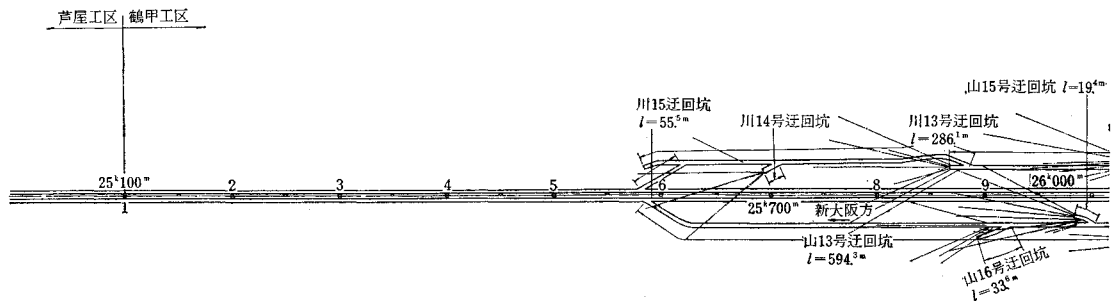


図-14 鶴甲工区迂回坑

は作業を考慮して8.5 m²を原則とし、全断面掘進不能な箇所は3.2 m²のパイロットを先進し、あとから切広げる工法をとった。また、切羽崩壊で掘進不能になった場合は全面鏡張りで切羽を押え、10 m程度後退した箇所から方向を変えてブランチを出し、ただちに掘進する方法をとった。掘進を中止した切羽には、ただちにボーリング座を設定し大孔径水抜ボーリングを施工、ブランチした迂回坑の掘進を援護した。また、迂回坑では薬液注入は行なわないこととした。

以上のようにして、大孔径水抜ボーリング延べ210本・約14000 mと迂回坑約3000 mを掘削することにより、大月・寒天橋・五助橋・渦ヶ森等の大断層地帯を突破することができた。図-14は、その施工状況を示したものである。

迂回坑掘進時における流出土砂量は約2900 m³で、内訳は30 m³以下51回、30~90 m³は26回、100 m³程度4回、150 m³程度4回となっている。最高土砂流出量は230 m³を記録しているが、3~5 t/min程度の異常突発湧水では130~150 m³の土砂流出があった。

土砂流出量が40 m³以上もある切羽では、強行突破することはほとんど不可能であり、以上のようないわゆる六甲方式を確立し成功したと考えている。

7. 安全対策と公害対策

(1) 労働安全対策

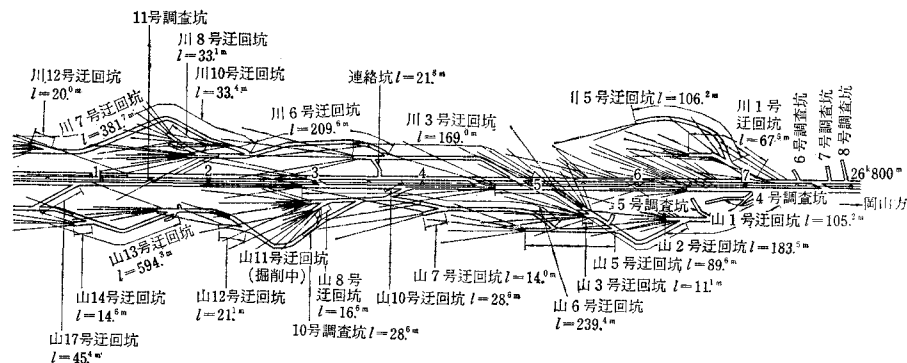
安全対策については、基準監督署・警察署の指導を受け、発注者・請負者とを一体とした安全協議会を設置、定期的にパトロール、監査を実施した。また、各請負者に事故防止専任者をおき、指導と対策にあたさせた。

六甲トンネルにおいて、事故により死亡した者は16名であり、表-6はその原因別を示したものである。これを旧丹那・新丹那トンネルの事故原因と比較すると、六甲トンネルでは地山の崩壊により多人数が埋没して死亡するという重大事故は皆無であった。これは、水平ボーリングなどによる地質・土圧・湧水の事前予知、鋼製アーチ支保工、鋼製型枠支保工の普及など技術の進歩によるところが大きく、また、施工中における作業者の安全を考慮した設計・工法も一因としてあげられよう。

その反面、掘削・ざり出しなどの機械化に伴い、建設機械・軌道運搬による災害が多発している。これに対処して、労働力の不足に伴い増加している未熟練労働者の安全教育・技能訓練が必要であることはいうまでもないが、坑内の視野を確保するため換気と照明などの環境改

表-6 六甲トンネル事故一覧表

工事区名	種別	原因別	トンネル工事現場																						
			坑内車両運転事故							浮石ざり落下事故		火薬類	重機	計											
			歩行中の触車	作業中の触車	乗車不良	車両と車両の接触	車両の間にはさまれる	車脱	両線	車追	両突				大背・土平掘削中の落石	切羽からの落石									
西宮御影御神	上北影戸	ケ山屋甲耶野	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	1	3	1	6	4	1	16		
合計			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16



水平ボーリング実績図

善が必要である。

(2) 公害対策

本トンネルのような大都市近傍のトンネル工事では、技術的な検討と並行して地域住民に対する公害対策の配慮を欠くことはできない。以下、公害対策について要約する。

① 契約書・土木工事標準示方書等に、騒音・振動に関する条項の追加。

② パンフレットの配布，PR掲示板の設置，工事現場の見学，映画・スライドの活用などによる工事のPR。

③ 安全対策協議会の設置：自治会および住民代表者・学校長・PTA会長・市職員等関係行政機関・国鉄関係者・工事施工業者等で構成され，協議会の了承を得て工事に着手することにした。

④ 工事騒音の防止対策。

a) コンプレッサー

コンプレッサーの騒音防止設備として，コンクリート・ブロック塀程度の施工を示方しているが，さらに住宅地・病院・学校等に近接している場合は，コンプレッサーを地下，または半地下に収容した。

b) ずりびん

ずりびんは鉄筋コンクリート製とし，病院・学校に接近した工区では，ダンプトラック全体を収容する防音室を設け，防音扉を密閉してずり積みを行なった。

c) 爆破音

人家に接近した作業坑では深夜の発破作業を中止するとともに，極力火薬量を減少し坑口に防音扉を設けた。

8. むすび

以上，六甲トンネルの設計・施工について概略を述べたが，六甲トンネルの工期は岡山までの開業を左右するもので，新大阪一岡山間開業への最大難関であった。

大阪新幹線工事局・施工業者その他関係各位の完成への情熱と不良地質を克服した技術力は高く評価されるものである。

しかしながら，最後の追い込みにかけて労務者の不足は深刻なものがあリ，今後，新関門トンネル・青函トンネルなど大プロジェクトをできるだけ短期間で完成して社会の要望にこたえるためには，いっそうの省力化・生産性向上が要求される。掘進速度の向上と作業の省力化はまたトンネルのコストダウンにつながるものである。

被圧水下の破砕帯では，水抜ボーリングがその高圧水と土砂のためジャーミングをおこし，またロッドが飛ばされて，せん孔不能になったり，ロッド折損などの事故が続出し，坑奥に達したのも土砂が閉そくして取水効果がしばしば減少するという経験をもった。このような地質条件においてもスムーズにせん孔できる大孔径水平ボーリング機の開発は当面の急務であらう。

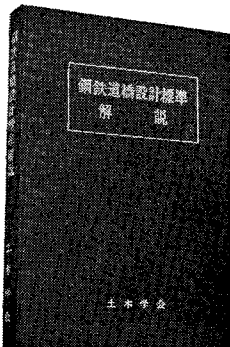
また，今後の掘削方式は地質の許す限り大断面方式とすべきであり，大断面の掘進に先だって地質の確認と排水ができ，あらかじめ地質の変化に対応する準備が可能なら超長尺ボーリングも合わせて技術開発されることを強く望みたい。

参考文献

- 1) 高山昭・峯本守：山陽新幹線新大阪一岡山間の建設工事の現況，土木学会誌，Vol. 55-10.
- 2) 高山昭：山陽新幹線におけるトンネル工事，コンクリートジャーナル，1970-10.
- 3) 高山昭：水とたたかう六甲トンネル，トンネルと地下，1970-10.
- 4) 高山昭・桜井三男：六甲トンネルの薬液注入，土木施工，Vol. 10-11.
- 5) 土木学会：第5回トンネル工学シンポジウム，土木学会トンネル工学シリーズ6
- 6) 藤井浩：山陽新幹線・六甲トンネル工事について／高山昭：六甲トンネル工事の湧水対策／高山昭：山陽新幹線六甲ずい道高圧湧水帯の突破について，トンネル工事講演集，第7集，1971-2

(1971.9.30・受付)

土木学会刊行物



鋼鉄道橋設計標準解説

A5・380ページ・上製 定価 2000円 会員 1800円(〒170円)

1. 国鉄の規程体系，2. 建造物設計基準規程，3. 建造物設計標準（鋼鉄道橋）解説および付属資料，4. 鋼鉄道橋関連規程，規格目録の4部に分けて収録したもので，日本国有鉄道の委託をうけて研究した成果を中心に詳細に解説を加えた最新のスタンダード。