

山陽新幹線六甲・神戸トンネルの地質

稲井 信雄 黒田 和 男*

まえがき

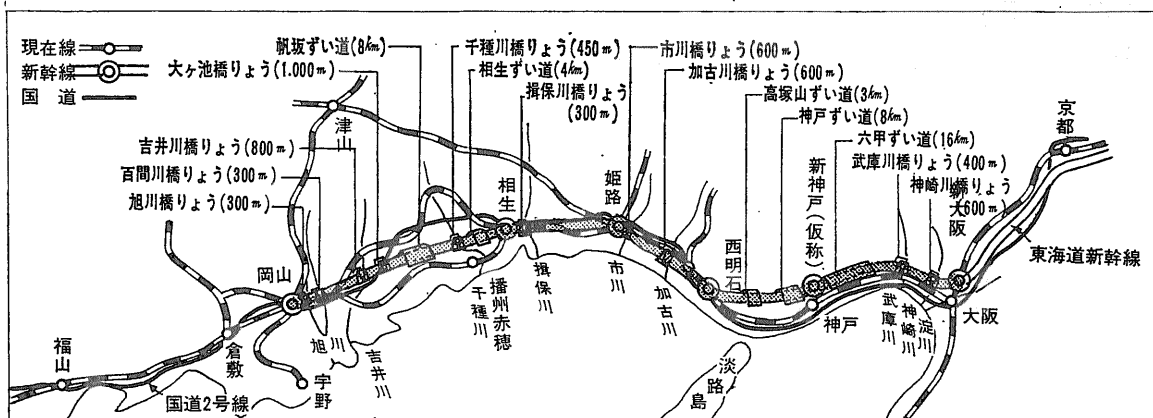
山陽本線沿線は 瀬戸内海をひかえ早くから文化の発達した地方であり とくに近年における産業経済の発展はめざましいものがある。この地域の産業が急速に発達していくとともに 山陽本線の輸送量も毎年大幅に増加しており 昨今ではもうすでにその限界に到達しているとさえいわれている。このような時点において 国鉄は山陽本線の行き詰まりを根本的に解消するため 東海道新幹線をさらに 山陽新幹線として西にのばし 高速運転によって瀬戸内海沿岸地域から北九州にかけての能率向上と経済成長に寄与するように計画し その第一着手として 新大阪・岡山間の建設を決定した。

国鉄のパンフレットによれば 路線は 新大阪駅から市街地を避けて西宮北方を過ぎ 六甲山地をトンネルで抜けて いったん神戸市布引付近に出てここに新神戸駅を設ける。次いでもう一度六甲山地をトンネルで抜け西明石に至り 海岸沿いにほぼ直線で姫路・相生を過ぎさらに山間部をいくつかのトンネルで抜けて岡山駅に到着するものである。路線は 高速度と安全運転を確保するため ほとんど直線コースをとり ために 全線約161.3kmの中の1/3に当る50kmがトンネルとなるのが特徴といえる。

第1図には 駅間距離とその間にはさまれるトンネルのおもなものを掲げてある。この中で六甲トンネルは日本で鉄道の最長トンネルであり 世界の鉄道トンネル中第3位にあたる。神戸トンネルもまた日本では上位にランクされるものであり さらにここを通過する六甲山地が 地質学的にもまた応用地質の問題のためにも多くの解決の鍵が与えられると予想される点で 興味をもって注目される場所である。

六甲山の地質について

山陽新幹線が直下を貫通することになっている六甲山地は 大阪湾の北縁に沿って西南西—東北東方向に長軸をもって発達しており 六甲山最高峯(932.1m)や摩耶山(698.1m) 石楠花山(652m)などの山々からなる延長約30kmの地塁山地である。北側は三田盆地をへだてて丹波山地へとつづき 西側は播磨・明石の丘陵地につづいて播磨平野へ 東側は直接武庫川沿いの平野に接している。地塁山地の延長は 明石海峡をへだてて淡路島へ移っている。六甲山地を作っている岩石は 大部分が花崗岩質の岩石であり 御影石と称して石材として広く積み出されていた。山地全体は 比較的新しい時期の地殻変動によってもり上ったものであるだけに 数



線路の概要

岡山	相生	姫路	西明石	(新神戸)	新大阪
55km	20km	31km	23km	33km	
← 162km →					
トンネル	延長約55km(34%)(東海道新幹線12%)				
橋りょう	約10(6%)(" 11%)				
高架橋その他	約95(60%)(" 77%)				

おもなトンネル

六甲トンネル	延長約16km
神戸トンネル	" 約8 "
帆坂トンネル	" 約8 "
相生トンネル	" 約4 "
高塚山トンネル	" 約3 "

おもな橋りょう

大ヶ池橋りょう	延長約1,000m
吉井川橋りょう	" 約800 "
加古川橋りょう	" 約600 "
市川橋りょう	" 約600 "

第1図 山陽新幹線の概要(新大阪から岡山まで)(山陽新幹線国鉄資料から)

多くの断層群や節理系が発達しており そのために断層破砕帯が諸所に見られ 表面が「マサ」状に風化していることと相まって 豪雨による山くずれ 土石流などによる土地災害の因となっている。六甲山の地質は 古くから 多くの人々によって 研究されてきた。近年(1965年) 地質見学案内書として六甲山地と周辺の地質の概要がまとめられているので 次に記してみることにする。

古生層：東お多福山・打越山などに分布しており 山地の地形は花崗岩からなる山地が鋭くみえるのに比較すると 一般になだらかである。砂岩を主とした粘板岩と砂岩との互層で全体に珪化しており 花崗岩との接触部ではホルンフェルス化している。六甲山地の複雑な造構運動に関連して 古生層そのものもかく乱を受けている。

布引花崗閃緑岩：布引・鳥原両貯水池付近に露出するものが典型的で 世継山(418.6m) 堂徳山(337.6m) 碓山(270.8m)などの山地を構成し おもな分布は六甲山地南縁である。岩石は 一般に中粒完晶質で

第1表 六甲・神戸トンネルのあらまし

山陽新幹線は 六甲山地を六甲・神戸トンネルで通過し 神戸市布引付近(六甲トンネル出口と神戸トンネル入口の区間)に新神戸駅(仮称)を建設いたします。六甲トンネルが完成いたしますと 世界第3位 日本第1位の鉄道トンネルとなります。(国鉄資料から)

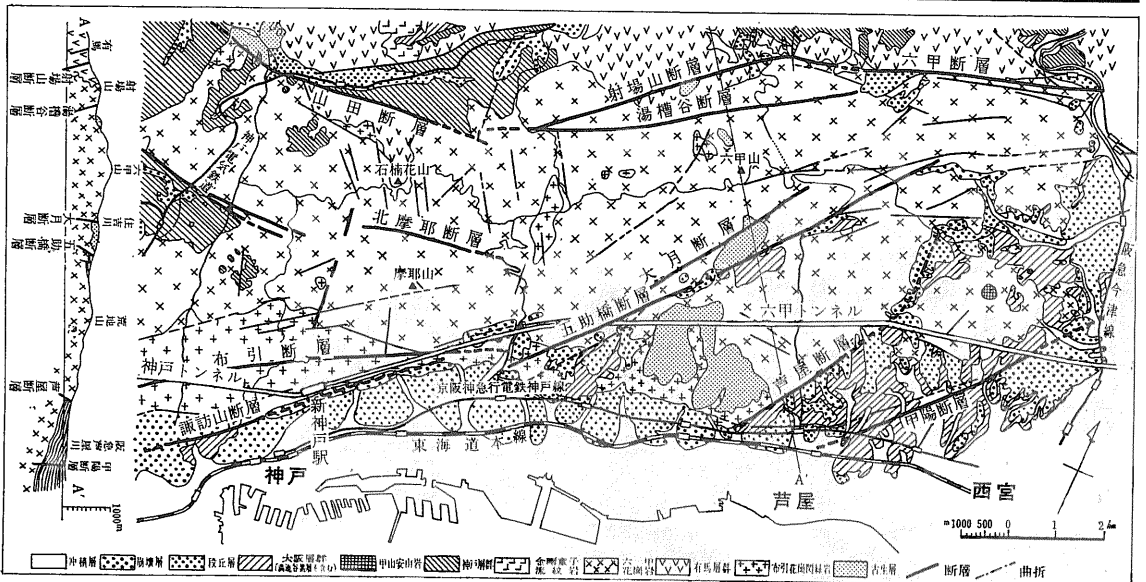
名称	六甲トンネル	神戸トンネル
延長	16,220m	7,960m
断面積	新幹線標準型 (内空断面66.3m ²)	新幹線標準型 (内空断面66.3m ²)
掘さく岩石量	150万m ³	70万m ³
巻コンクリート立盤	70万m ³	16万m ³

第2表 世界の鉄道トンネル ベストテン

順位	トンネル名	しゅん工年月	長さ(m)	国名
1	シンブロン	1922. 11	19,823	スイス・イタリア
2	アペニン	1934. 4	18,518	イタリア
3	六甲	1972 (予定)	16,220	日本
4	サン・ゴタルド	1882. 1	14,998	スイス
5	レッチベルグ	1913. 7	14,612	"
6	北陸	1962. 6	13,870	日本
7	モン・スニー	1871. 9	13,675	フランス・イタリア
8	新清水	1967. 10	13,490	日本
9	カスケード	1929. 1	12,543	アメリカ
10	頸城	1969 (予定)	11,355	日本

第3表 日本の鉄道トンネル ベストテン(国鉄資料から)

順位	トンネル名	しゅん工年月	長さ(m)
1	六甲	1972(予定)	16,220
2	北陸	1962. 6	13,870
3	新清水	1967. 10	13,490
4	頸城	1969(予定)	11,355
5	清水	1931. 9	9,702
6	神戸	1972(予定)	7,960
7	新丹那	1964. 3	7,959
8	帆坂	1972(予定)	7,950
9	丹那	1934. 3	7,804
10	仙山	1937. 5	5,361



第2図 六甲山地とその周縁地質図
(日本地質学会第72年次会 地質見学案内書 六甲山地および ISHII, M. OHSIMA, H. & NAGASHI, K (1967) より)

石英・長石などの優白色の珪長鉱物と 角閃石・黒雲母などの 有色鉱物が白黒かすり状をなし しばしば径数 cm ～ 数 10 cm の黒色球状の捕獲岩状のものが認められる。全体として少々黒みを帯びてみえるので「黒みかげ」と称せられている。この岩石は 岩石学上の特徴から 領家帯の花崗岩類に属し その進入時期は中生代前期とされている。

有馬層群：六甲山地の北側に広い範囲をしめて分布し 従来は石英斑岩ないし石英粗面岩とよばれていた流紋岩質凝灰岩および凝灰角礫岩からなる地層である。流紋岩質凝灰岩を顕微鏡でみると 石英・長石のほかには有色鉱物として角閃石がみられ ときには黒雲母をともしない 斑晶状結晶を 微細な結晶や岩片・ガラス質破片が充填している。

六甲花崗岩：六甲山地の本体の大部分を構成している岩石で「本みかげ」と称する優白色の石地に黒雲母が散在し 特徴ある淡紅色の長石がまじって 研磨効果がすこぶるよく 石材として著名な岩石は これにほかならない。顕微鏡でみると 石英・長石・黒雲母のほかに角閃石や白雲母をとまうことがあり 長石はカリ長石が多く斜長石が少ない。六甲花崗岩は 岩石学的特徴から「中国バソリス(底盤)」として知られる中生代末期進入の花崗岩類と同じグループに属するものとされている。古生層に対しては数10mの範囲でホルンフェルス化し 布引花崗閃緑岩とは断層接触の場合が多いが 布引花崗閃緑岩が六甲花崗岩に捕獲されたり 接触変成をうけ緑泥石化している露頭が認められている。有馬層群に対しては 石楠山付近などで比較的広い範囲にわたり進入している露頭があり その付近の有馬層群にホルンフェルス化をおよぼしている。

金剛童子流紋岩：六甲山地北側に分布する流紋岩質の熔岩ないし凝灰角礫岩で 有馬層群を貫きまたは不整合におおっている。六甲花崗岩との直接の関係は分布地域を異にしているために不明である。

神戸層群：六甲山地西縁部および三田盆地に広く発達している固結のあまりよくない 砂岩・泥岩・凝灰岩・礫岩からなる地層で 碎屑岩類部層と白色凝灰岩を多量に含む火山碎屑岩部層のくりかえしという堆積輪廻がみられる。

甲山安山岩：西宮市の北方に 特徴あるおわんを伏せたような形をみせている甲山(309.4m)は 四国の屋島や奈良県下の二上山と同じように 黒色緻密な斜方輝石安山岩からなっており そのみごとな円頂丘型の地形はおそらくごく古い火山の火道にあたる部分が突出して残された侵食地形と推定されている。

大阪層群：西宮甲陽園から芦屋にかけて六甲山地南縁の丘陵部に露出する鮮新-更新世の地層で 基盤岩類とは不整合または断層で接し 断層部では地層は急斜するが 一般には大阪湾を含む大阪盆地側にゆるく傾斜する。固結度の低い礫・砂・粘土・凝灰岩からなっており 著名な「アズキ凝灰岩層」によって 上部・下部に分けられている。

段丘堆積物：六甲山地東南部に顕著に発達し 高・中・低位の3段に区分されているが 同じ段位のものでも 地盤運動の影響などによって高度に差がある。主として花崗岩礫から構成されており 充填物もまた花崗岩質の砂である。



写真1
甲陽断層付近
(地層が乱れている)

崖錐堆積物：花崗岩の風化生成物は 重力または流水の作用などによって 谷の出口付近の河床勾配が急にゆるやかなる場所に堆積し ここに崖錐を形成している。 とくに諏訪山断層と芦屋断層沿いに顕著にみられる。

沖積層：六甲山地に源流をおく芦屋川・住吉川・生田川・湊川などの小河川では 下流部で扇状地が複合して細長い海岸平野をつくっている。 六甲山地周縁では沖積層の発達は概して悪く 厚さも多くは数m以内である。

これらの地質系統の分布は 基盤岩類にみられる断層系と密接に関連している。 これは第三紀後半以後 基盤岩類の急激な上昇運動の結果である。 次に顕著な断層を列記してみる。

甲陽断層：西宮市北方の丘陵地と台地とを境するもので 大阪層群はこの断層に近づくにつれて断層の方向と平行な走向となる。 またこの断層を境にして 基盤岩は南側が約400mほど落ちこんでいる。

芦屋断層：夫婦池 苦楽園造成地 芦屋霊園を結ぶ地域にあり 崖錐堆積物におおわれていることが多い。 40°~80°の高角度で六甲花崗岩が大阪層群に衝上している露頭があり 地形的にも断層線をたどることができる。

五助橋断層：芦屋ゴルフ場場内に六甲花崗岩が大阪層群下部とみられる礫層上に30°に近い角度で衝上する露頭があったとされている。 渦ヶ森断層や大月断層は同様に平行に走る同じ性質をもった断層で 五助橋断層の副断層ともみられ これにはさまれている地域の岩石は少なからず破碎質である。

諏訪山断層：神戸市街地ののっている平野部と六甲山地を境する断層で 多くは崖錐堆積物におおわれている。

六甲断層：六甲山地の北側で六甲花崗岩と有馬層群を境しており 露頭では六甲花崗岩が有馬層群のう上に衝上し 上盤側の花崗岩は強く圧砕されている。 有馬から西では この断層は射場山断層 湯槽谷断層などに複雑に分岐している。



第3図 六甲山トンネルの周辺（枠内は第5図の位置を示す）

山田断層：六甲山地の北限となっており 神戸層群と基盤岩類とを境し 射場山断層・六甲断層とは同じ性格をもつ衝上断層である。

上記の断層は いずれも山地の延長方向に平行する東北東—西南西方向をもち 転位量も数100mにおよぶものであるが 落差数10mの連続性をもったものには北摩耶断層 西万福寺断層 布引断層などがあり 胴切り断層としては 連続性も少なく著しいものはない。

小規模の断層あるいは圧砕部は無数にみられる。 これら大・中・小の断層系は 大阪層群堆積時末期以後 段丘形成前の断層運動の最盛期に破断したものであるとされている。

既存のトンネル工事で見出されたこと

今から約4年前 すでに六甲山地南縁 市街地との境界付近に設置されていた上水道用送水トンネルに平行して 神戸市水道局および阪神水道組合が 西宮市北方から六甲山地を抜けて住吉川付近に至り 山麓を縫って奥平野浄水池にいたる送水トンネルを掘った。 この際の記録は 残念ながら公表されていないが 掘さく資料によれば 西宮市から芦屋市にかけて地表に古生層が露出している個所の高度約100mの地盤内で 花崗岩中を掘進したという事実があり 古生層はルーフペンダントとして花崗岩中に浮いており しかも接触部はごく緩傾斜の接触面をもつルーフ接触であることが明らかになっ

た。なおこのトンネル掘進のときにも断層による障害に何回か遭遇している。

ちなみに 山陽新幹線六甲・神戸トンネルと この送水トンネルの路線はほぼ平行しており 今後の掘さくの参考となるものであろうが 第6図にある古生層の分布はこのトンネル掘進時の記録を参考にしたものであろう。

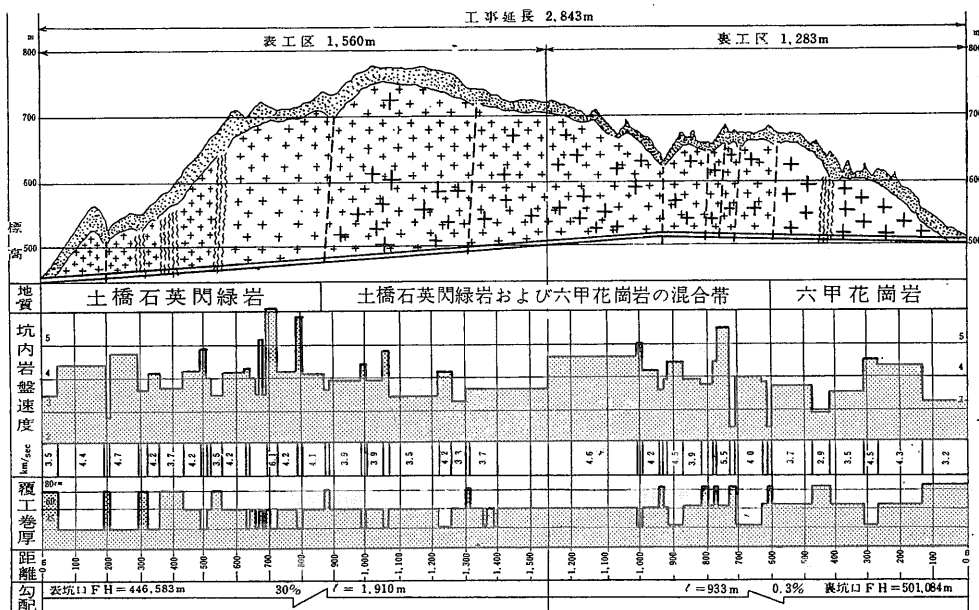
昭和40年3月 神戸市により着工された六甲有料道路六甲山トンネルは 六甲山地を横断する延長約3kmのトンネルという点で注目された。このトンネルは一部設備を除いて 昭和42年4月1日から一般の通行するところとなったが 掘進中に 地表ではわずかに露出するに過ぎなかった岩体で 布引花閃閃緑岩の中に入れられていたものが広範囲に見出され 笠間(1968)によって 土橋石英閃緑岩と命名 記載された。この岩石は灰黒色緻密な細粒完晶質岩石で針状の角閃石変晶を含む特徴があり トンネル内各所で六甲花崗岩の貫入をうけてしばしば混成岩をつくり また六甲花崗岩中の捕獲岩となっている。笠間(1968)は この岩体を今のところ六甲花崗岩体中の規模の大きな捕獲岩体と考えているが その原岩については述べていない。

六甲山トンネルでは さらにいくつかの問題点をひき出している。まず路線の選定に当っては 北坑口は湯槽谷断層を避けるようにした。とくに工事に難行した断層破碎帯は 南坑口から370m付近と519~543mの間

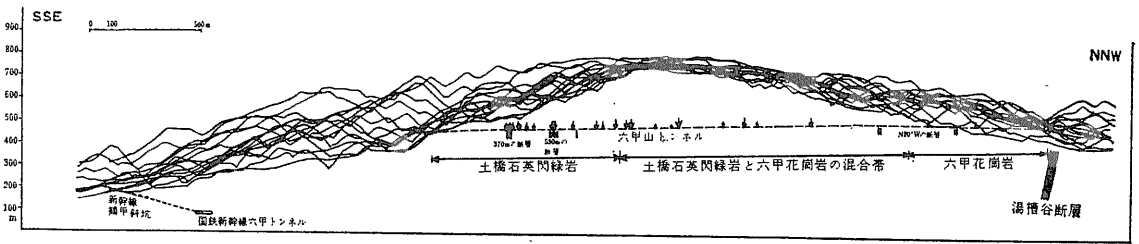
で 370m 付近のものは北摩耶断層の延長と判定され 530m付近の断層は 同じ中規模断層と考えられている。南側の工区では この断層に沿う湧水を含めて 10,000 ton/day の坑口総排水量が記録されたが 下部半断面掘さく完了時には 3,000ton/day となり 現在も中央地下排水溝を通じて同程度の湧水量が流出している。北坑口から250m~800mの間は 小規模ながらもほぼ路線に一致する断層に遭遇し 落盤事故その他で工事も難行した。

六甲山トンネル内でみられた断裂系や 地表地質踏査・弾性波探査等の事前の調査をこのような土木工事に適用する場合の限界については 笠間ら(1968)のくわしい記述があるので ここでは省略するが 1/10,000地形図を基図とする概査にもかかわらず 大綱においてはトンネル側壁の地質精査から得られた結果と一致し とくに北坑口から250~800mの間で 工事に難行となったN20°W 方向の小断層を発見し 施工要注意というレポートもあったことは 弾性波探査を実施し その結果を解釈する場合に地表踏査や 岩石片での測定結果を十分参考にしなければならないという点を さらに強調するものであった。

六甲山トンネル内では 雷管を使用して岩盤の弾性波速度の測定が行なわれた。その結果は土山ら(1968)によって報告されている。地形図をみるとわかるように 六甲山上には平坦地がひろがって 多くの宿泊施設や住居があり 溜池も諸所にみられるが このような



第4図 六甲山トンネル縦断面(土木技術より転載)



第5図 六甲山トンネル付近の投影断面図 湧水位置は黒田・岡 (MS) の測定による

地形の常として 花崗岩質の岩石が風化して「マサ」となっている。この「マサ」がどの程度まで地中におよんでいるか観察する機会があったが 北坑口付近 地表からあまり深くない粗粒の六甲花崗岩体が若干「マサ」化していた以外 「マサ」はみられなかった。弾性波速度が平均3km/secであるということは 岩盤は少々ゆるんでいても 実際には著しい風化を受けていないときの数値であり 他の地域で 森谷 (1968) が報告した 1.5km/sec (ただし地表からの弾性波探査結果とトンネル掘進の実績からみた数字) と比較しても「マサ」化していない例に当る。六甲山トンネルの場合は 地表から300mの深さにあつては 「マサ」化はおよんでおらず せいぜい100mまでであつた。なお 建設省六甲砂防工事事務所が 昭和42年7月豪雨で山くずれを起こした個所で ソノタイマーによって表土(「マサ」化の最もはなはだしい部分)の弾性波速度を測定した結果を0.3 km/sec 0.5km/sec 前後に集中するとしている (渡辺・瀬尾(1968)より)。

六甲山トンネルの掘進中に 遭遇した湧水は 南坑口 [表工区と称している] で最大 11,000ton/day 北坑口 [裏工区と称している] では600ton/dayで これは かぶりの厚さと 六甲山上の平たん面が ほとんど南坑口側にあつたということ それに工事の進行状況にもよると思われる。第5図には 側壁に湧水のあつた個所を記しておいたが 530m 付近の断層からの切羽時の湧水は 花崗岩中の割れ目の水の典型であり 一方では六甲山上の溜池に対してあまり影響があらわれなかったのも興味ある事実である。

六甲・神戸トンネルで予想されること

それでは 実際六甲・神戸トンネルが掘られる場合にどのような問題がもちあがるだろうか。それは結局断裂系と湧水との対策になるものと思われる。

六甲トンネルの場合には とくに湧水に注意しなければならない個所として 石井ほか (1968) が 次の場所を挙げている。

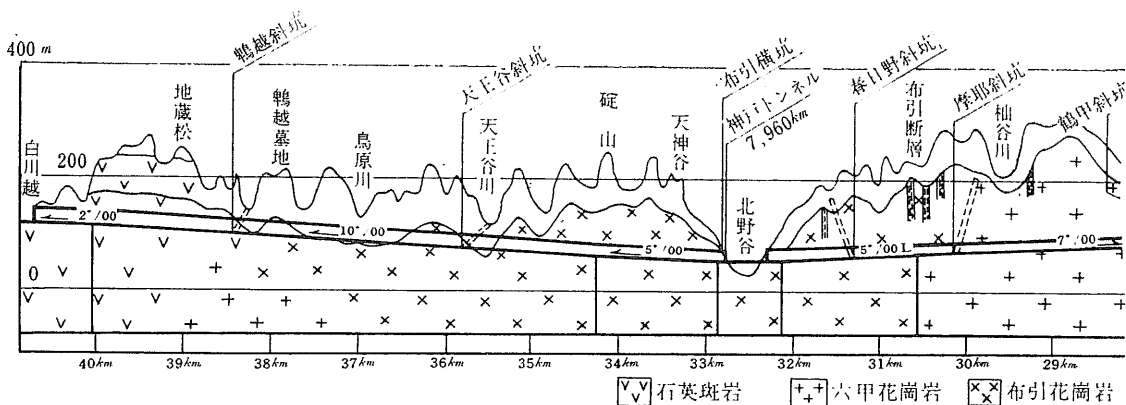
1. 芦屋断層を通過する芦屋川および高座川付近
2. 住吉川支流西谷川の荒神山堰堤付近 ここでは五助橋断層および大月断層 渦ヶ森断層の影響による
3. 石屋川上流一王谷の奥 これも五助橋断層・大月断層の影響をうける
4. 六甲川上流付近 これも五助橋断層・土橋断層の影響による
5. 杣谷川上流付近 これは土橋断層によるもの

これらの個所では 断層破砕帯に被圧された地下水が貯留されているものと思われ その中でも一王谷付近が最も著しい。

六甲トンネルの地質では 土橋石英閃緑岩が地下でどのようなひろがりをもっているか 古生層のルーフペンダントの直下の花崗岩体がまた興味ある資料を提供してくれるだろう。

神戸トンネルでは 坑内の東半部が布引花崗閃緑岩 西半部が出口付近で神戸層群 奥では六甲花崗岩の粗粒相の中を掘進することになるが 「マサ」化の性質の著しい六甲花崗岩の粗粒相が地下での深さまでおよんでいるか さらには「マサ」の中の地下水の賦存状態が考察できるものと思われる。ただ 神戸市資料による風化図 [六甲山系水害対策に関する答申書] では 神戸トンネルの予定線地表の風化度は 六甲山上ほどには表現されていない。森谷 (1968) の報告では「マサ」自体は不透水性であると測定されたが 実際にトンネルを掘ってみると いつの間にか非常に微細な割れ目から水がしみ出してくるため 工事に支障をきたしたということであり 神戸トンネル掘進中の湧水が どのような形でしみ出してくるか観察できるだろう。

神戸港埋立地造成用土砂採取現場でも 風化岩盤を實際にみることができる。その1つ 須磨に近い高倉山土砂採取場では 粗粒の六甲花崗岩体中で 風化深度 100m 以上という例がある。ここでは ひとつの山を平たん地にならしてしまおうという大工事を行なっているが 火薬を使用することもなく単にパワーショベルを動かすだけで 容易に花崗岩の「岩盤」を土砂として採取



第6図 山陽新幹線六甲神戸トンネル

してしまふ状態である。神戸トンネル岡山方出口付近で粗粒の六甲花崗岩体をくり抜く場所があるが地表から100m前後のトンネルでは風化の状態はどうなっているだろう(写真4)。

六甲トンネル鶴甲斜坑でもまた春日野斜坑でもすでに「マサ」になやまされているとのことでありさらに鶴甲斜坑では坑口から約270m掘り進んだところで断層破碎帯に遭遇し3ton/分の湧水に見舞われた。この断層破碎帯は大月断層にともなうものと考えられている。

最後にこれら新設トンネル工事中の湧水のために逆に地表にみられた自然の湧水の止まるものがありあるいは六甲山地から流れおる河川の水が山麓の扇状地に入ると伏せし民家などの井戸水の源となっているがその井戸で影響を受けるものがあるかも知れない。これは同時に風化花崗岩地帯の山地の水文地質学上の貴重な実験結果として記されるものと思う。

これも余談であるが北野ら(1967)は花崗岩の深部風化現象を炭酸ガスを含んだ水が地下から上昇して造岩鉱物(Ca長石)中のCa²⁺イオンに作用しこれを溶出しそのために岩石の組織がくずれるという考察を行っている。北野らは同時に水質に若干の異状が認められる谷をいくつか拾い出しているが新幹線トンネル中の湧水がまたこの問題を解く鍵になると予想したい。

付記

この稿は稲井が昭和43年の始めから主として山陽新幹線に関して収集した資料黒田・岡重文・桂島茂(本所技術部)が昭和42年度特別研究促進調整費等でまた黒田・宮村学(大阪出張所)が神戸市下の山くずれを対象として収集した資料さらに黒田・岡が昭和41年度に六甲山トンネルに関連して収集した資料のうち山陽新幹線六甲・神戸トンネルに係る部分をとりまとめたものである。

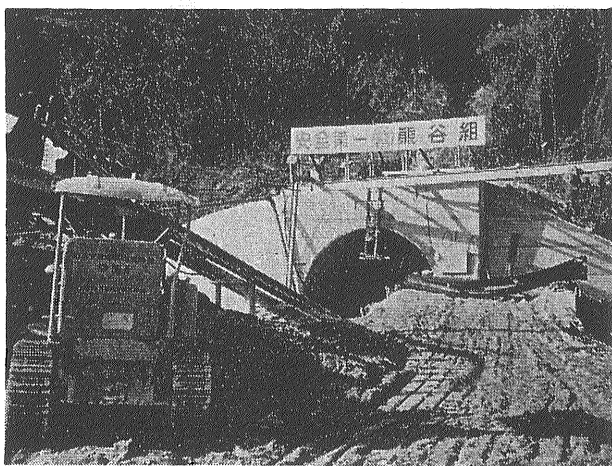


写真2 工事中の鶴甲斜坑(昭和43年3月)

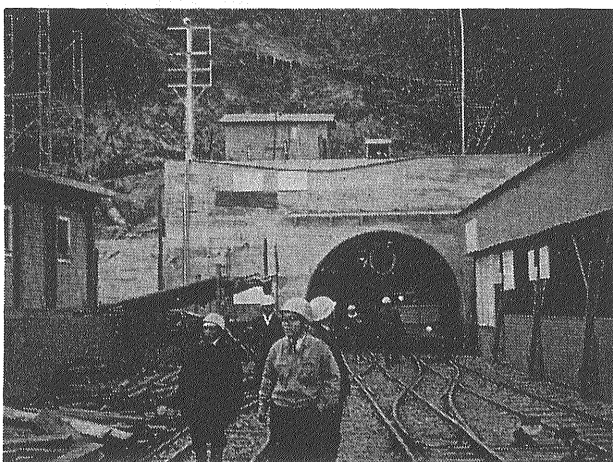
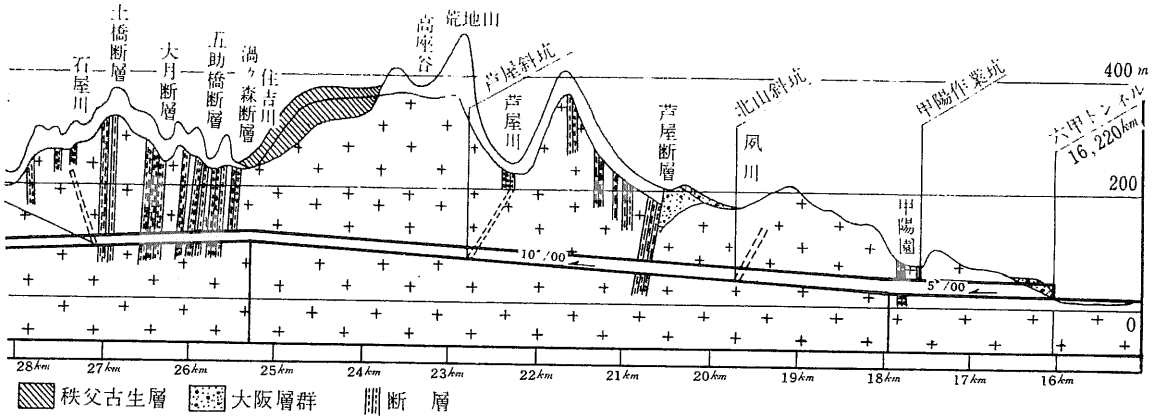


写真3 神戸トンネル布引横坑(昭和43年3月)



地質縦断面 (国鉄資料から)

この稿を草するに当り 国鉄山陽新幹線工事局・神戸市土木局道路部・同じく防災部・神戸市水道局・兵庫県土木部砂防課・建設省六甲砂防工事事務所から 上記各資料の提供をうけた。ことに六甲山トンネルに関して神戸市道路部の大野公男技師に 厚い感謝の意を表したい。

本文中で記述した地質・水文地質・表層地質等をもっと詳細に知りたい方は 次の文献を参照されるよう希望する。

(筆者らは大阪出張所長・*印は応用地質部)

参 考 文 献

神戸市調査室 (1964) : 神戸市及び隣接地域地質図 (縮尺 5 万分の 1)
 藤田和夫・笠間太郎 (1965) : 六甲山地とその周辺 日本地質学会第72年年会地質見学案内書
 西宮市 (1965) : 西宮市およびその周縁の地質——西宮市 2 万 5 千分の 1 地質図及説明書

石井政次・大島洋志・永橋健蔵 (1967) : 山陽新幹線六甲トンネル水文地質調査(第 1 報) 鉄研報告 no. 587 { 鉄研資料 vol. 24 no. 8 } Quaternary Report RTRI vol. 8, no. 4 (英文) にも要旨が掲載されている
 土山辰雄・原 宏道・大野公男 (1967) : 六甲山トンネルの工事 土木技術 vol. 22, no. 10
 森谷虎彦 (1967) : マサ土の中の水路トンネル 応用地質 vol. 8, no. 4
 北野 康ほか (1967) : 水質調査による六甲山系岩石の風化および崩壊に関する研究 六甲山系砂防調査報告書 (その 4)
 笠間太郎・秋元 宏・平野昌繁 (1968) : 六甲山トンネルの地質と断裂系 応用地質 vol. 9, no. 1
 笠間太郎 (1968) : 六甲山地の花崗岩類 地質学雑誌 vol. 74, no. 3
 渡辺正幸・瀬尾克美 (1968) : 豪雨による山崩れ——六甲山における昭和36年と42年の豪雨 新砂防 vol. 20 no. 4

六甲山系水害対策に関する答申書
 神戸市六甲山系水害対策審議会 (昭和42年 8 月)
 山陽新幹線六甲・神戸ずい道建設工事概要
 日本国有鉄道山陽新幹線工事局 (昭和42年10月)
 六甲有料道路の事業概要
 神戸市土木局道路部 (昭和42年 3 月)
 神戸市地質図 (1 : 60,000) (年月不明)

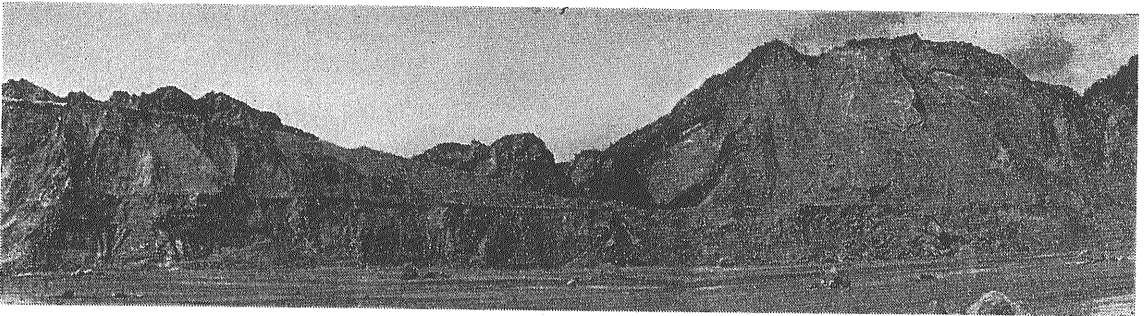


写真4 高倉山の埋立工事用の土砂採取場