

新青山トンネルに於ける岩盤の性状と施工実績について

齋藤 二郎 芳賀 孝成
内藤 和章 十河 茂幸

Properties of Rock and Capacity of Work Performed on Shin-Aoyama Tunnel

Jiro Saito Takashige Haga
Kazuaki Naito Shigeyuki Sogo

Abstract

The best way to judge excavating efficiency of base rock is to determine unconfined compressive strength and sonic wave velocity of the rock. However, tests of these properties are rarely carried out during execution of work since considerable time is required to obtain the results. Accordingly, the relationships between excavating efficiency and the results of such tests have seldom been studied. In order to find the appropriate method of test for estimating excavating efficiency and to obtain the relationship between test results and excavating efficiency, tests were carried out by various methods on the Shin-Aoyama Tunnel. As a result of the investigation, it was recognized that there is some relationship between test results on base rock and capacity of work performed. It is believed it will become possible for planning of work execution to be done more logically as a result of repeated studies of this type.

概 要

岩盤の掘削作業能率を判断するためには岩盤の弾性波速度や岩石コアの一軸圧縮強度を利用するのが良いといわれている。しかしこれらの試験は手間がかかるため実際の施工と併行して試験を行なう例はまれで、試験結果と掘削作業能率との相関性はあまり究明されていない。そこで岩盤の掘削作業能率を推定するための適切な試験法、調査法を見だし、この結果と作業能率との相関性を得ることを目的として施工中の新青山トンネルに於ける岩盤に対して各種の方法によって調査を行ない、この結果と施工実績との対比を行なった。調査の結果、岩盤や岩石に対する各調査結果と施工実績との間にはある程度の相関性が認められた。このような調査が数多く実施されれば掘削施工計画がより合理的に行なえるものと考えられる。

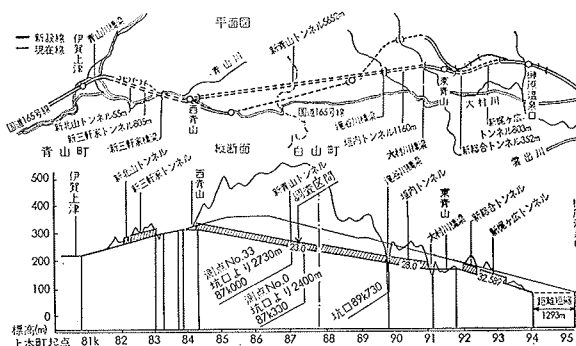
1. まえがき

掘削作業能率は地質調査・地山の弾性波探査・ボーリングコア採取率およびコアの力学的性質の測定等により地盤の掘削作業特性を推測し、これと施工方法等を考慮して決めるのが合理的である。しかし掘削作業能率と地盤の掘削作業特性との関係は十分に求められておらず経験的に決めていくことが多い。これらの関係を定量的に把握し、合理的な施工計画を立てるためには掘削作業特性を求めるための地盤調査方法を確立し数多くの掘削施工現場に於てそれを適用し調査結果の相関々係を検討しておく必要がある。そこで一つの試みとしてトンネル掘削現場に於て現地岩盤状態、構成岩石の力学的性質および岩盤の掘削作業能率の調査を行ない調査結果の相関性を検討した。

2. 調査適用現場

2.1. 工事概要

調査は近鉄大阪線複線化工事のうちの新青山トンネル



図一 青山トンネル平面図・縦断面

ル工事東工区に於て適用した。新青山トンネルは三重県伊賀地方と伊勢地方の境をなす布引山系青山高原付近に位置し全長5652mの私鉄最長の複線断面トンネルとなるものである。青山トンネル付近の線路平面および縦断を図一1に示す。

この工事では断層が予想されたので、これに対応して片側壁導坑を先進させ、水抜き、地層確認のうえ破碎帯などの岩盤の不良箇所では両側壁導坑とする片側壁導坑先進全断面掘削工法が採用されている。導坑は全断面より約600m先進させている。施工順序を図一2に示す。

2.2. 施工機械

導坑の穿孔、ズリ出しはレール方式によって行なった。穿孔には TY90, 4ブームジャンボ, ズリ積みは大空 950ARS, ズリ出しはシャトルカー(20m³×2)を使用した。

全断面の穿孔、ズリ出しはタイヤ方式によって行なった。穿孔にはD95, 6ブームトラックジャンボ, ズリ積みは 915LHD ロードホールダンプ(3.8m³), および CAT977L サイドダンプ(1.9m³), ズリ出しは ZG150D(15TON) ダンプトラックを使用し, 1日平均4サイクルとした。全断面の穿孔施工状況を写真一1に示す。

2.3. 地質状況

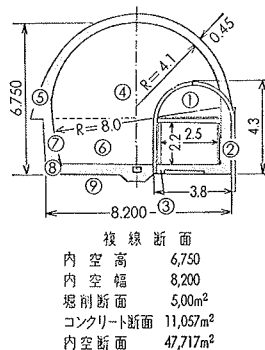
現地は中央構造線北側の領家変成帯中央部に位置する。領家変成帯は堆積岩起源の変成岩・塩基性岩・花崗岩類で構成されている。このうち青山トンネル付近を構成する岩石は一般的には比較的安定した縞状花崗片麻岩を主体とする硬い岩質であるが断層が数本走っており、破碎帯が数mも粘土化している部分がある。

片麻岩の葉片構造の走向は86.5K付近を除いては、ほぼ東西で北にゆるく傾斜している。地質平面・縦断を図一3に示す。

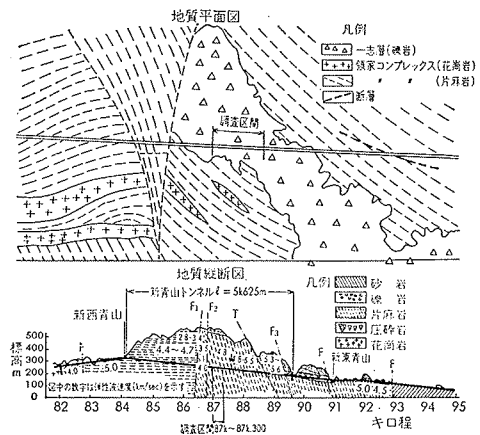
3. 調査方法



写真一1 全断面の施工



図一2 トンネル施工順序



図一3 調査区間附近地質平面図・縦断図

3.1. 調査位置および調査項目

青山トンネル工事は東西両工区に分かれているが調査位置は東工区において坑口より2400m~2730m(87K300~87K000)の330m区間で実施した。

調査項目を大別すれば1)現地岩盤調査, 2)室内岩石試験, 3)施工実績調査となる。調査項目の一覧を表一1に示す。

3.2. 現地岩盤調査

現地岩盤調査は調査区間における導坑内で実施したものである。弾性波速度は測定機器の関係で調査区間を3区間に分割して各区間で10m毎に12点感振器を設置して測定した。シュミットテストハンマー反発度の測定では10m毎に測点を設け各測点で水平方向に10回の測定を行ない測定値の平均をその測点の反発度とした。

岩盤の状態の観察項目は岩石名称, 色調, キレツの度合, キレツ間粘土厚, 湧水量, 矢板の使用度合, などである。

3.3. 室内岩石試験

一軸圧縮試験および弾性波速度試験は導坑より20m毎に採取した岩石について行なった。その他の試験は前記の試験を行なった岩石とは別個に導坑より10m毎に採取した岩石について行なった。

点載荷引張強度試験では1測点の岩石に対し10回の点載荷試験を行ない破碎荷重(P)と載荷点間距離の2

番号	調査区分	調査項目	調査区間	調査・試験方法	調査・試験機器
1	現地岩盤調査	岩盤の性状	10m	現地観察	---
		地山の弾性波速度	10m	坑内直接測定	弾性波速度測定装置
		シュミットハンマー反発度	10m	各点に於て10回ずつ測定	シュミットハンマー-N26型
		点載荷引張強度指数	10m	各点の岩石について10回測定	割拠合製点載荷引張強度試験機
		衝撃破砕係数	10m	15.9mm~9.52mmの計10個ずつ	プロトジャコフ試験機 衝撃重量2.5kg 落下高さ60cm
2	室内岩石試験	比重および空隙率	10m	φ40mm程度のもの1ヶずつ	ベックマン空気比較式比重計
		一軸圧縮強度	20m	φ20mmφ=40mmコア3ヶずつ	100TON電動圧縮試験機
		弾性波速度	20m	φ20mmφ=40mmコア3ヶずつ	片井製作所ポルトラソニックコーパ
		粘土鉱物の種類	経路中	粉末法X線回折分析	---
3	施工能率調査	導坑掘進速度	毎日	作業日報調査	---
		導坑ダイヤモンド使用量	毎日	作業日報調査	---
		全断面掘進速度	毎日	作業日報調査	---

表一1 調査項目一覧

乗 (D³) の比P/D² を求めてこれとDとの関係を両対数紙上にプロットして平均曲線を描き曲線上の D = 4 cmに対応するP/D² の値を求めてこれを点載荷引張強度指数 St とした。

衝撃破碎試験では各測点の岩石から所定の粒径の試料を50g 作成し試験機で粉碎して0.5mm 以下の破碎粉重量を測定し次式によって衝撃破碎係数 f を求めた。

$$f = 5N/l$$

ここにNは打撃回数, lは内径23mmのメスシリンダーに入れた0.5mm 以下の破碎粉の高さ (cm) である。

3.4. 施工能率調査

施工能率は導坑および全断面の掘進速度および導坑の単位掘削量当りのダイナマイト使用量で代表されるものと考えてこの3項目について調査を行なった。

毎日の掘進距離 (日進) およびダイナマイト使用量の実績は現場の工事事務所でとりまとめたものである。

4. 調査結果

4.1. 現地岩盤調査結果

表一2 および図一6・aは岩盤性状の観察結果である。測点0~2, 9, 13~30, 3は破碎帯もしくは中間帯であり, このうち測点14~18は正断層, 25~28は逆断層である。図一3では, この調査区間における断層は表示されておらず巾40m~50mの断層でも施工前に実施する地質調査では見過ごされ易いことがわかる。

施工前に実施した弾性波探査によるこの調査区間の地山の弾性波速度は4.8km/sec であり池田の提案した鉄道トンネル岩盤区分ではA2に属する岩盤すなわち施工性が良好な岩盤であると評価される。しかし実際には破碎帯が多く存在しており図一6・bの地山の弾性波速度 (V_{PF}) 調査結果では破碎帯のV_{PF}には3.8km/sec 以下の場合があり, これは池田による岩盤区分で

はA5, 不良岩盤に属する。図一6・cはシュミットテストハンマー反発度 (R) の変化を示したものであるが地質状態によく対応している。

4.2. 室内岩石試験結果

図一6・d~eは調査区間における岩盤を構成する岩石の衝撃破碎係数 (f), 点載荷引張強度指数 (St), 比重 (G) 空隙率 (n), 弾性波速度 (V_{PL}), 一軸圧縮強度 (q) の変化を示すものである。いずれも断層部分での値の変化が認められる。

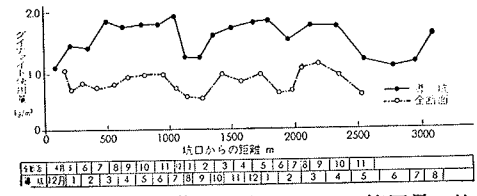
図一4は岩石の吸水率と乾燥比重の関係を Duncan のコンシステンシー区分図にプロットしたものであるがほぼA区分, すなわち鉱物の結合度が非常に高い区分に属することがわかる。

4.3. 施工能率調査

図一6・hは導坑および全断面の1日当りの掘進速度を示したものである。断層部分で日進量は小さくなっているのがよくわかる。

図一6・gは導坑のダイナマイト使用量を示したものであり地質状態によく対比している。なお図一5には坑口からの導坑および全断面のダイナマイト使用量を示したが, 全断面のダイナマイト使用量は導坑の場合の約1/2であり先進導坑のダイナマイト使用量から

図一4 岩石のコンシステンシー区分



図一5 全断面と導坑のダイナマイト使用量の比較

項目	測点	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
①	岩石名	Di	Gn Di	Gn Gd	Gd Di	Dd Pe	Gd Di	Di	Di	Gd Di	Gn Gd	Gd	Gd	Gd	Gn	Gd Di	Gn Gd	Gn	Gn Pe	Gn Pe	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Gn Di	Gn Di	Gn	Gn Di	Gn Di	Di	Di	Di	Di	Di	
②	色調	G	G + BG	WG + BG	WG	G	G	G	G	WG	G + BG	WG	G	WG	G + BG	G	WG + BG	G + BrG	G + BG	BG	BG	BG	BG	BG	BG	BG	BG	WG + BG	WG + BG	G + BrG	WG + BG	WG + BG	BG	BG	G	BG	
③	岩石の硬さ	△	○	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	○	◎	△	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	○	○	△	△	△	△	△	△	
④	キレツの度合	○	○	△	△	△	△	○	△	△	○	○	△	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	○	○
⑤	湧水量	△	○	○	◎	○	△	△	△	○	○	◎	△	△	○	△	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○	△	△	△	△	○	△	
⑥	キレツ間粘土厚	○	○	△	△	△	△	○	○	△	○	△	△	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△	△	△
⑦	矢板の使用	○	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△	△	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	△
⑧	破碎帯の判定	M					O				M	O			M	F (正断層)					M	F	M			F (逆断層)			M	O	M					M	

① 岩石名 Di: 閃緑岩 Gd: 花崗閃緑岩 Gn: 片麻岩 Pe: ベグマタイト ◎: 多い ○: 少ない △: 微少~無
 ② 色調 G: 灰色 BG: 黒~灰色 WG: 白~灰色 BrG: 茶~灰色 ◎: 悪い ○: 普通 △: 薄い~無
 ③ 岩石の硬さ ◎: 軟かい ○: 普通 △: 硬い ◎: 多い ○: 少ない △: 若干~無
 ④ キレツの度合 ◎: 極めて多い ○: 多い △: 普通~少ない ◎: 破砕帯 F: 破砕帯 M: 中間帯 O: 一般部

表一2 岩盤性状の観察結果

新青山トンネルに於ける岩盤の性状と施工実績・齋藤・内藤・芳賀・十河

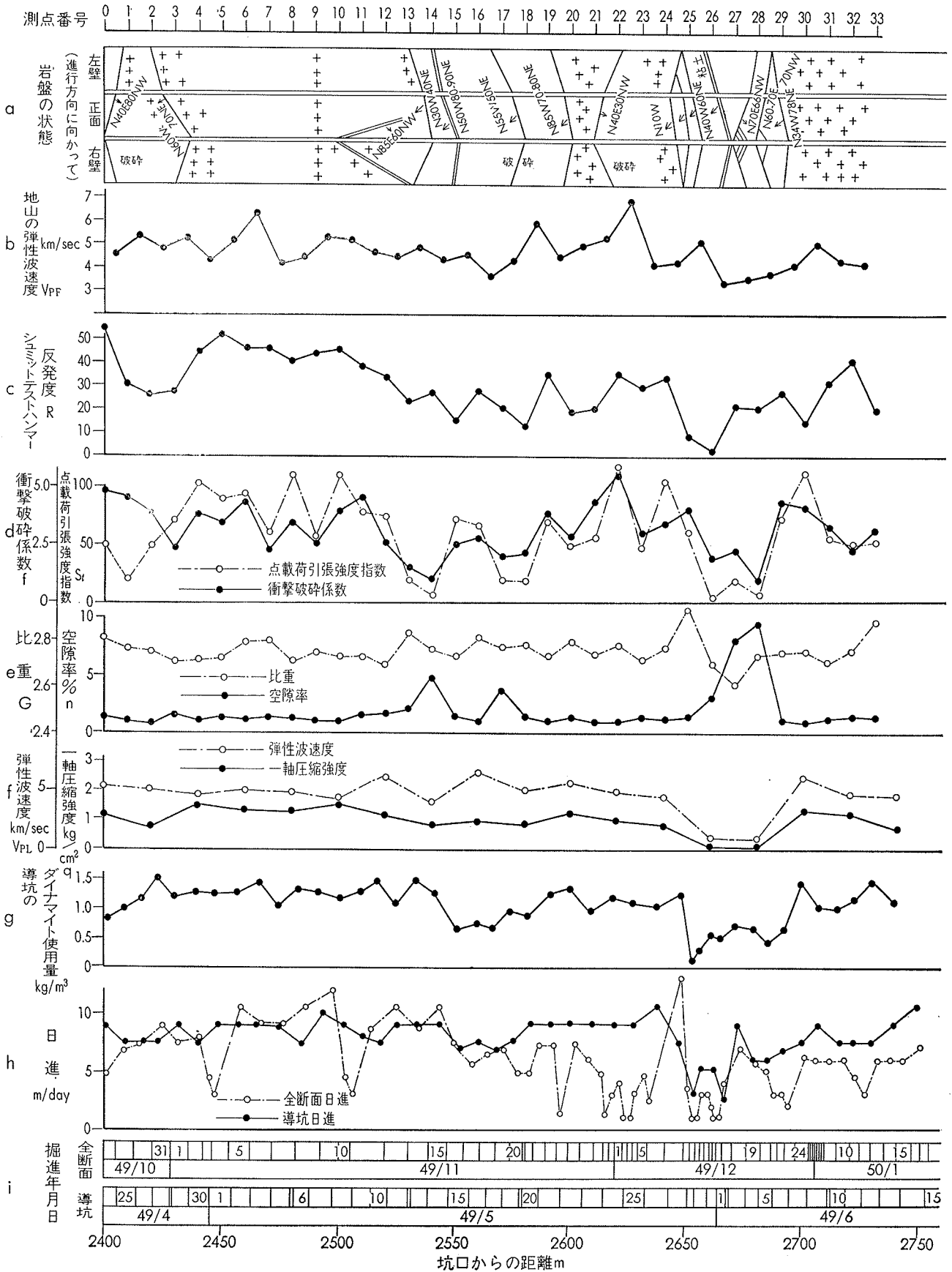
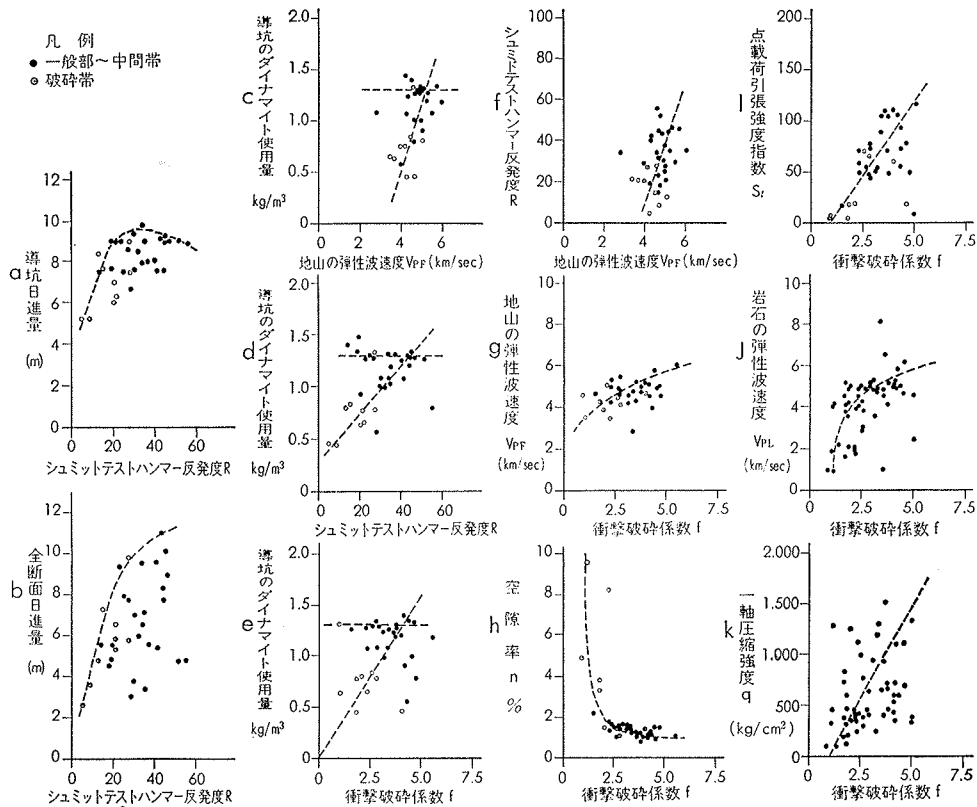


図-6・a~i 調査結果



図一7・a~k 調査結果の相互の比較

全断面のダイナマイト使用量を定めることができる。

5. 調査結査相互の比較

図一7・a~bはRと導坑および全断面の日進量との関係を示したものである。全断面の日進量の方が岩盤の強度に影響を受けることがわかる。また日進量最大値はR=30~50の岩盤のところであると推定される。

図一7・c~eは V_{PF} , R, fと導坑のダイナマイト使用量との関係を示したものである。一般に岩盤の強度の増大と共にダイナマイト使用量は増加する傾向があるが、一方岩石の強度に関係なくダイナマイト使用量が $1.3 kg/cm^3$ である傾向が重複して認められる。これは現場の発破担当者の火薬使用標準がこのあたりに設定されているものと考えられる。

図一7・fはRと V_{PF} との関係を示したものでRを測定すれば V_{PF} の値をほぼ推定することができる。また図一7・g~iはfと V_{PL} , n, S_t の関係を示すものであり、ある程度の相関性が認められる。工事着手に先だって実施するボーリングコアよりコア採取率(またはRQD)の測定と同時にfの値を求めれば岩盤の諸性質をある程度把握することが可能である。

図一7・j~kはfと V_{PL} , qとの関係を示したものである。点はかなりばらついているが、これは V_{PL} , qの測定が困難でこれらの測定誤差が影響しているも

のと考えられる。一般に V_P , qの試験は非常に手間がかかるのでfの測定を行なって V_{PL} , qをこのような図などから推定するのがよいと思われる。

6. あとがき

今回の調査区間では岩石の風化が局部的に発達していたがその相違を調査結果はかなり明確に示していた。

わが国のトンネルの施工例は数多く、施工に先だって地質調査は必ず実施されているが、実際に施工して知り得た地質状況、岩盤および構成岩石の性質などと施工実績や施工前の地質調査結果を対比して検討までしたものは少ない。

今回の調査によって求められた諸数値とそれらの相互関係は今後の施工に直接には役立たないかもしれないが、この種の資料が多く集められとりまとめられたならば岩盤掘削作業能率を知るための貴重な参考資料となるものと考えられる。

本調査は本社土木本部技術部、機械部および青山工事々務所と共同で実施したものである。

本調査研究に際して御世話・御指導をして戴いた技術部黒沢部長、現場施工実績等の資料のとりまとめをして戴いた青山工事々務所中垣職員、および関係諸氏に対し厚く御礼を申し上げます。