

ボーリング調査結果に基づく地質断面図の精度に関する考察

蓮井昭則*・結城則行**・北村晴夫***・
中川浩二****

同一のボーリングデータに基づいて3名の地質専門家が個別に作成した地質断面図と実際にはぎ取り観察した岩盤面とを対比した。その結果、地質専門家間で地質推定断面図に明確な差があること、同一の地質専門家においてもボーリング孔の配置や密度によって推定される断面図にかなりの相違があることを示した。さらに、信頼性の高い地質断面図の作成とその有効活用のために留意すべき幾つかの点を指摘した。

Key Words : geological section, core boring data, number of boreholes, geological law

1. ま え が き

ボーリング調査は岩盤を利用した土木構造物の建設計画に先だって実施され、概査、精査の両面において用いられる調査方法であり、得られる情報は構造物の計画、設計、施工方法の決定にとって重要である。しかし、ボーリング調査より得られる地質情報はボーリング孔に沿った線上のものであり、現地盤の広域的な岩盤状況を表現するためには2次元あるいは3次元的な地質情報への変換が必要で、岩盤の分野では経験を積んだ地質専門家の総合的な判断に多くを依存している。この2次元あるいは3次元に変換された地質情報（地質推定断面図）は地質専門家からみれば最終結果であるが、土木技術者にとっては設計や施工の参考とする基礎資料であり、これが出発点となる。すなわち、地質推定断面図は地質学と土木工学の境界領域に位置し、両者の橋渡しをする重要なデータと言える。しかし、地質専門家、土木技術者の両者における地質に関する経験、知識、理解には一般的に大きな差があると思われ、土木技術者に与えられた地質情報が常に有効に利用されているとは言えない。

多くの土木技術者の場合、提供された地質推定断面図の作成者を念頭におくことは希であり、地質専門家により地質推定断面図が異なる可能性があるという認識は少ない。また、地表踏査やボーリングによる情報と推定による情報の区別や内挿、外挿などの推定方法についての配慮も通常は考えない。そのため、筆者らは地質専門家の成果である地質情報を土木技術者が有効に生かすためには、この経験、知識、理解の差を補間すべき研究が必要であると考えている。

岩盤のボーリング情報を利用した研究は、主にコア形状やRQDを指標値とした透水性の評価^{1),2)}や地質区分や断層を推定するための調査³⁾などが一般的で、亀裂情報の確率密度関数による近似⁴⁾、ボーリング情報のような線形データを2次元、3次元に展開する手法⁵⁾や3本のデータを利用する方法³⁾なども研究されている。しかし、土質地盤では地質断面図のもつ意義について論議されたこと⁶⁾はあるが、岩盤では地質構造が複雑なために論議された例は少ない⁷⁾。

そこで、本研究では具体的な事例を通してボーリングデータと地表踏査の資料をもとに地質専門家によって推測・判断を加えて作成された地質推定断面図に対して土木技術者が理解を深め、調査資料の有効利用を実現するために、調査の量と地質専門家の力量により地質推定断面図がどう異なるかを地質推定断面図と実岩盤を対比することによって検討した。調査では原位置岩盤に幅10m、深さ15mの調査断面を設定し、地表踏査と①調査断面中央の1本のボーリングコアデータの場合、②中央と両サイドの3本の場合、③1m間隔に11本の場合の3ケースについて、3名の地質専門家による個別の地質推定断面図作成を行った。そして、調査断面の岩盤をはぎ取って実岩盤を観察して比較検討した。

2. 調査概要

(1) 調査場所

調査地点は山口県宇部市内の頁岩採石場で表土が取り除かれた状態にあり、表層部は風化が進んでいる。地質は中生代三畳系的美祢層群に分類される頁岩と砂岩の互層で、層理面は走向N80°E~E-W、傾斜45°~50°Nの単斜構造で、田中ら⁸⁾によるダム基礎岩盤の分類としてはC_L級~C_M級岩盤が主体である。写真-1に調査地点付近の地表状況を示すが、写真中の測量用ポールは調査断面のボーリング孔口の位置である。調査断面の背後

* 正会員 工修 (株) 間組 技術研究所 主任研究員
(〒305 茨城県つくば市荻間西向 515-1)

** 正会員 工修 山口大学工学部助手

*** 正会員 (株) 東建ジオテック 山口営業所長

**** 正会員 工博 山口大学工学部教授

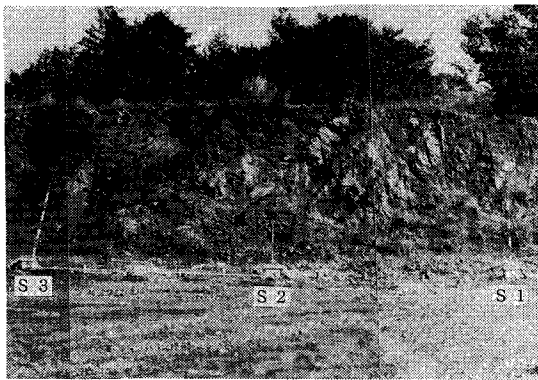


写真-1 調査地点付近の地表状況

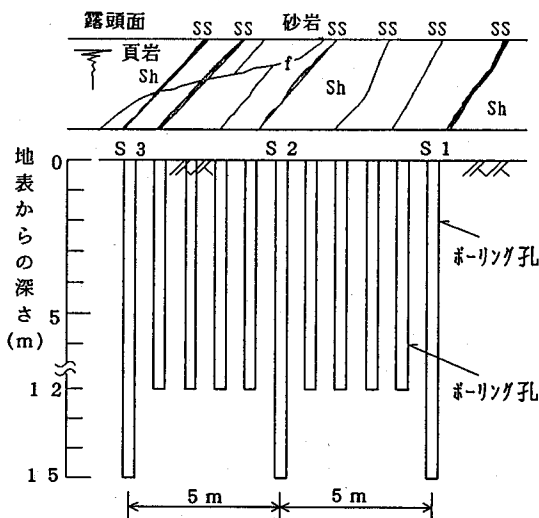


図-1 調査ボーリングの位置および背面露頭

には高さ約5mの斜面岩盤が露出しており、この斜面と地表面での露頭調査が可能であった。露頭岩盤で見られた主要亀裂は層理面に沿うもの、斜交、直交するものと多岐にわたり、一部に粘土を挟在している。露頭から判断される限りにおいては、調査地点の岩盤には断層などの存在や岩種の極端な変化がなく、比較的単調な地質構造と推定された。ボーリングコアのRQDは全般に低く(0~50%程度)、穿孔時には孔壁保護のためにセメンテーションが必要という状況で、穿孔精度(孔曲がり)は15cm/10m程度であった。また、地下水位は地表面から深さ1~2mの範囲にあり一定であった。

なお、本研究において調査を行った岩盤は、地質的变化が少なく、しかも露頭面が多いことから地表踏査による推定もかなり信頼性の高いものであり、地質区分等の地質情報を推定するためには良好な状況を有していると考えられた。また、主要亀裂の走向方向に対して垂直(E-W方向)に調査断面を設定し、特定方向の亀裂に対する誤差を最小になるように配慮した。

表-1 亀裂頻度の区分に用いた分類

亀裂頻度の分類	実岩盤 (50cm四方の亀裂本数)	コア形状 (亀裂間隔)
a	非常に少(1本以内)	短棒状(5cm以上)
b	やや少(2~3本)	岩片状(1~5cm)
c	やや多(4~5本)	細片状(1cm以下)
d	非常に多(6本以上)	コアなし

表-2 岩級区分に用いた指標と分類

<岩片の硬度>

評価	1	2	3
内容	岩片やや硬質 風化程度低い	岩片やや軟質 風化進行	粘土~土砂

<岩級区分の分類>

亀裂頻度	岩片の硬度	岩級区分	亀裂頻度	岩片の硬度	岩級区分
a	1	C _u 級	c	1	C _u 級
	2	C _w 級		2	C _w 級
b	1	C _w 級	d	1	C _w 級
	2	C _{w(i)} 級		2	D級
				3	D級

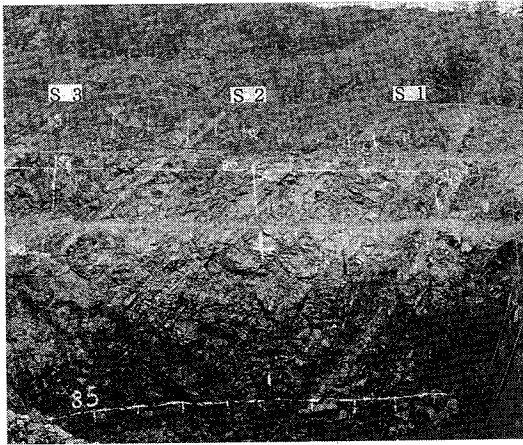
*亀裂頻度は表-1による

(2) 調査方法

調査断面でのボーリング位置および調査断面背面の露頭面のスケッチを図-1に示す。水平距離10m、深さ15mの調査断面に1m間隔で11本のオールコアボーリング(S1, S2, S3孔は孔長15m、他は12m)を行い、各々の地質柱状図を作成した。第1段階として地表踏査と中央のボーリング(S2孔)より採取されたコアから得られた地質柱状図を基に地質区分、岩級区分や亀裂頻度に関する推定作業を実施した。このとき地質専門家による相違を明らかにするために3名の地質専門家A, B, Cにより個別の地質推定断面図の作成を行った。なお、地質専門家Aは地表踏査やコアの観察の段階から作業を行ったが、地質専門家B, Cは地表踏査や地質柱状図の完成後にまとめられた地質情報をもとに推定作業に着手した。

つぎに第2段階として、調査断面両端部のボーリング結果を追加して3本のボーリングデータ(S1, S2, S3孔)で第1段階と同じ作業を行った。さらに、第3段階として1m間隔で得られた11本のボーリングデータで岩盤状況の推定を同様に行った。亀裂頻度および岩級区分の方法は田中の分類⁹⁾に準拠しつつ、岩盤評価に客観性を持たせるためにMuller等の主張する岩質(硬さ)と亀裂間隔に着目した評価方法¹⁰⁾を採用した。亀裂頻度の区分に用いた分類を表-1、岩級区分の分類に用いた指標を表-2に示す。

一方、調査断面をバックホーを用いて実際にはぎ取り、地表面から深さ2.5~9.5mの範囲を観察して、地質区



写真—2 岩盤のはぎ取り状況

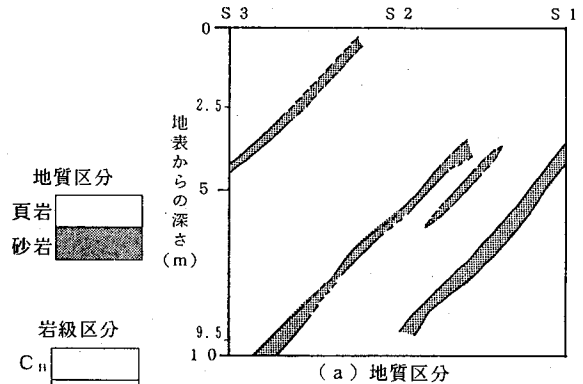
分,岩級区分と亀裂スケッチの実岩盤データを作成した. その結果とボーリングによる推定結果を比較することにより, 地質専門家の作成した地質推定図と実岩盤断面を定性的に対比させ, ボーリングの密度(本数)の相違による地質推定の傾向や地質専門家間の推定結果の相違を検討した. また, 同様の分析を定量的に検証する目的で調査断面を50cm格子の要素に分割し, 要素毎に推定断面と実岩盤を比較することによって, ボーリングの密度による地質の推定精度を数値的に分析することを試みた.

3. 調査結果

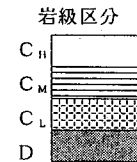
(1) 実岩盤の観察

はぎ取りによって露出した岩盤面(走向傾斜N5°W, 90°)を写真—2に, 写真と観察をもとに作成された地表から深さ2.5~9.5m間の地質区分, 岩級区分, 亀裂スケッチを図—2に示す. このうち, 亀裂の観察は深さ方向2m間に1mの割合で実施した. 地質の層理面の走向傾斜はN80°E, 45°N程度で, 頁岩を主体にし砂岩薄層が20~50cmの厚さで図中の右上から左下に向けて数状確認された. 岩盤はC_M級岩盤を主体にし, 一部に層理面と平行にC_L~D級岩盤が層状に分布していた. また, 亀裂は新鮮部で20~30cm間隔, それ以外は網目状に発達し一部粘土を薄く狭にし, 卓越する亀裂系は次の3つに大別された.

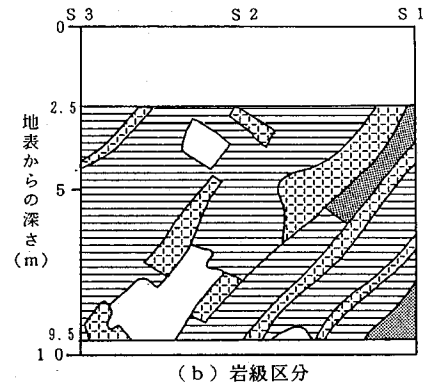
- ① 層理面に沿う亀裂で走向傾斜はN80°E, 45°Nを核とし, E-W~N70°E, 30°~54°Nの範囲にある.
- ② 上記の亀裂面を鈍角で切る鉛直性の亀裂で走向傾斜はN20°E, 85°SEを核とし, N15°E~N25°E, 80°SE~90°の範囲にある.
- ③ 層理面に沿う亀裂に共役で, 走向傾斜がN75°W, 75°Sの亀裂.



(a) 地質区分



(b) 岩級区分



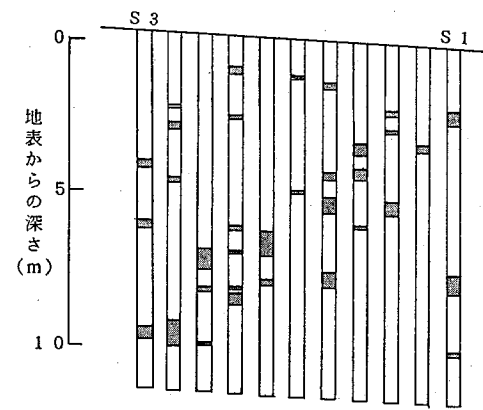
(c) 亀裂スケッチ

図—2 実岩盤の観察結果

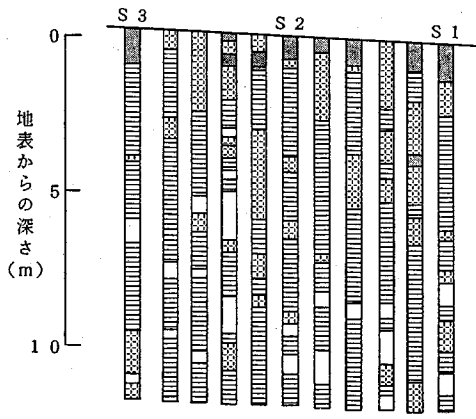
(2) ボーリングコア

調査断面で実施された11本のボーリングコアの地質区分, 岩級区分, コア形状(亀裂傾度)を図—3に示す. また, このボーリングコアとはぎ取りで観察された実岩盤(調査断面全体)について, 地質区分, 岩級区分, 亀裂傾度の各分類の比率を比較した. その結果を図—4に示す.

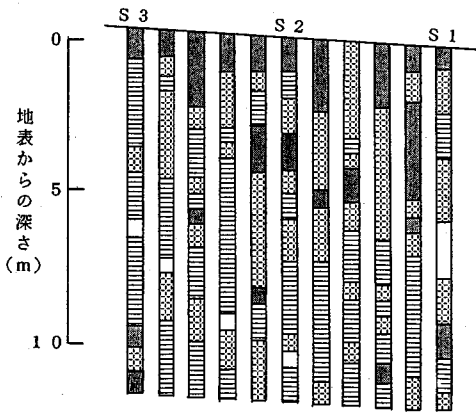
地質区分において頁岩と砂岩の比率はコアと実岩盤でほぼ同様であり, 本調査断面の地質条件ではボーリングコアで岩種の出現比率をおおよそ推定できることが示された. しかし, 岩級区分ではD級岩盤に, 亀裂傾度で



(a) 地質区分



(b) 岩級区分



(c) 亀裂頻度

図3 ボーリングコアによる地質情報

はdランクの比率にコアと実岩盤の差がみられ、比較的岩盤状況の不良な分類に差があることが分かる。この相違は、コア採取時に亀裂内の介在物などが流出したため、コアの評価では不良部分を実際より少な目にする傾向が現れていると考えられる。

(3) 調査結果に基づく推定断面の特性

a) 地質区分

ボーリングコアによる地質情報から推定された地質区

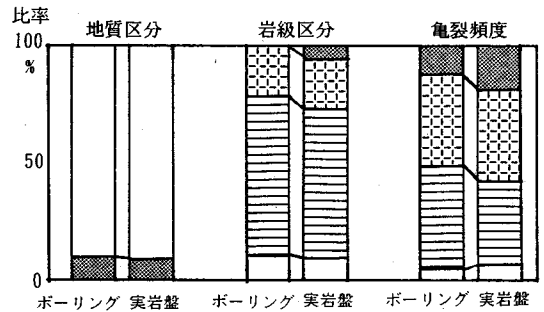
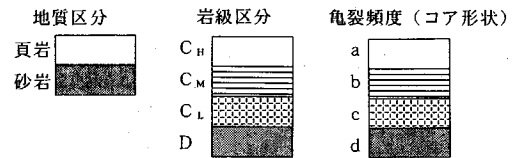


図4 各分類の出現比率

分(頁岩と砂岩の互層状況)を図-5に示す。ここに、(a)は地質専門家A、(b)は地質専門家B、(c)は地質専門家Cによる推定結果である。

ボーリング孔1本の場合では地質情報が調査断面の中央部に位置していることもあり、推定方法は外挿となっている。また、頁岩と砂岩との互層であることは確認できるが、その傾斜は地表踏査による層構造の延長を用い、砂岩の薄層を直線的に扱っている。ボーリング孔3本では推定方法は内挿となっており、薄層砂岩の層厚変化も考慮されている。さらに、ボーリング孔11本の場合では、地層の連続性や層厚変化がより細かくなっている。これらのことから、ボーリング孔1本では地層の存在、3本では地層の連続性やしゅう曲の可能性、11本では地層の連続性やしゅう曲の状況などがより詳しく判断できると考えられる。

はぎ取りによる観察では、実岩盤は頁岩と砂岩の互層構造になっており、層の傾斜も地表踏査やボーリングで推定された傾向とほぼ一致している。しかし、薄層砂岩の位置や厚みはボーリング11本から推定した地質区分よりシンプルで、ボーリングコアで砂岩と判定された薄層の一部は、頁岩中の粗粒な部分であった。この原因としては、実岩盤の観察では頁岩の粗粒な部分に連続性が認められず地層境界として考慮されなかったが、ボーリングコアでは細かい岩片を捉えて評価したため、砂岩と明確な区別が難しかったことが挙げられる。

一方、3人の地質専門家間では砂岩層の位置、走向傾斜の推定はほぼ同様であるが、地層の連続性に関して相違が見られる。

b) 岩級区分

ボーリングコアから推定された岩級区分の推定結果を図-6に示す。ボーリング孔1本の場合では、各区分の分布は層理面の傾斜に沿って連続的であり、比較的単純

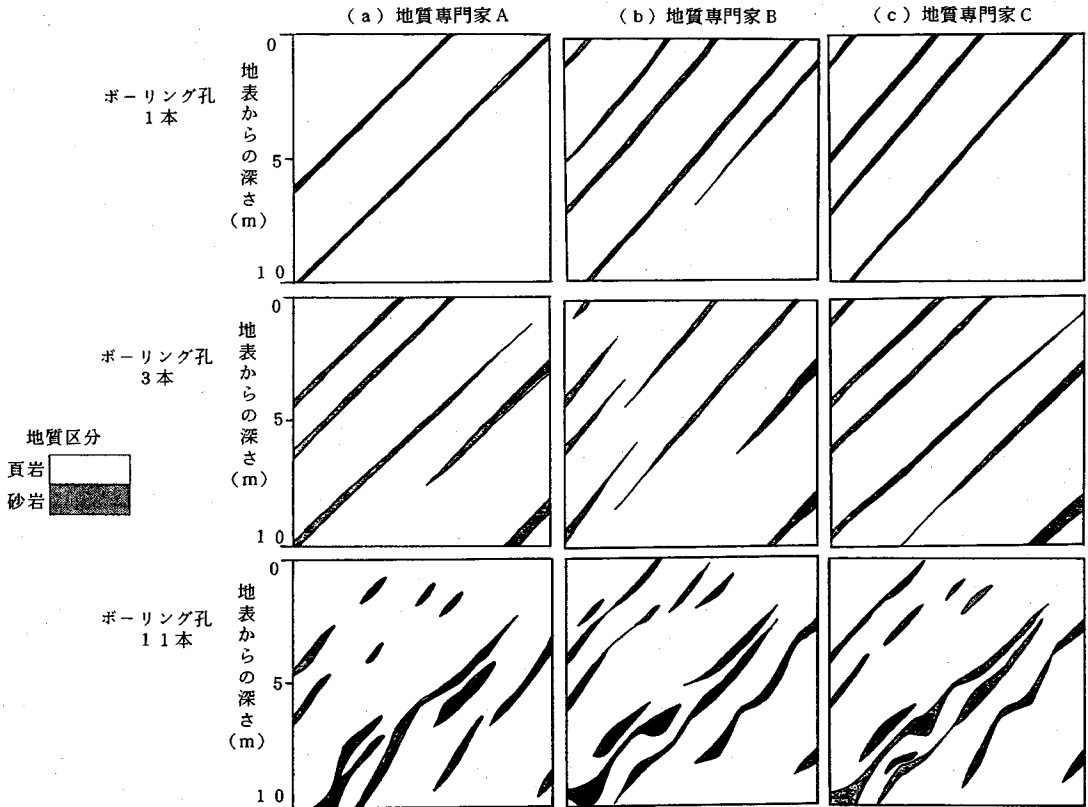


図-5 地質区分の推定結果

である。ボーリング孔3本では各区分の分布に連続性が失われはじめ、ボーリング孔11本の場合には局部的にブロック状の分布がみられる。

実岩盤では岩級区分の分布に不連続性は見られるものの、層理の傾斜に沿ったシンプルな形状である。これは実岩盤では全体を観察して面としての評価が可能であるのに対し、ボーリングコアでは線状データのため評価が局部的なものになり実岩盤との差が発生し、さらに、そのようなデータが集積され情報量が多くなりすぎ、複雑な推定モデルになったためと考えられる。

地質専門家間では、3人ともC_M級岩盤を主体にし、層理面の方向にC_L級岩盤が存在する分布形態になっている。しかし、C_L級岩盤の連続性や厚さに関して相違が見られ、層理面に沿う亀裂に共役な方向の分布を考慮した推定もみられる。

c) 亀裂頻度

ボーリングコアから推定された亀裂頻度に関する推定結果を図-7に示す。ボーリング孔1本の場合には地質区分と同様に地表踏査での情報を加味して、地層と同じ傾斜で連続的な分布になっている。ボーリング孔11本の場合では、ボーリング孔でのデータを忠実に取り入れると分布構造が複雑となり、岩級区分と同様に不自然な推

定断面となる。そのため、ボーリング孔のデータに忠実な推定が一部難しくなったり、亀裂頻度の分布がブロック状になっている。

一方、実岩盤での観察結果で亀裂の分布は全体的に一律で、ボーリングコアで推定されたような亀裂頻度の分布に極所性は見られない。はぎ取りではバックホーを用いた掘削を行っており掘削による亀裂の発生は少ないと考えられ、この相違は実岩盤の目視観察による情報がボーリングコアでみた亀裂頻度とはかならずしも対応していないことを示唆するものである。この原因として、ボーリングコアでは実岩盤の観察でとらえられない潜在的な亀裂や穿孔に伴って発生する二次的な亀裂も含んだ評価となっているためと考えられる。

以上の推定断面図作成にあたって個々の地質専門家が考慮あるいは重視した要点をとりまとめたものが表-3である。

4. 考 察

(1) 推定された地質情報のもつ傾向

a) ボーリング孔の位置による傾向

ボーリング孔が調査断面の中央部に1本存在し、このデータによって岩盤内部の状況を推定する場合には、推

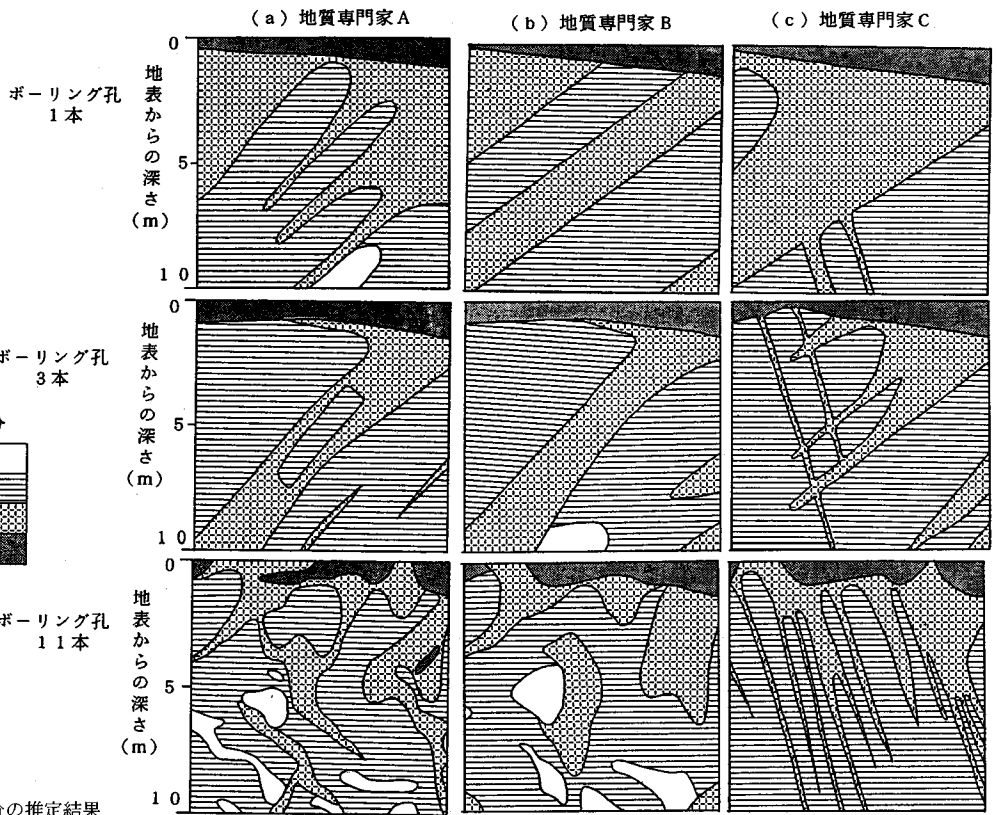


図-6 岩級区分の推定結果

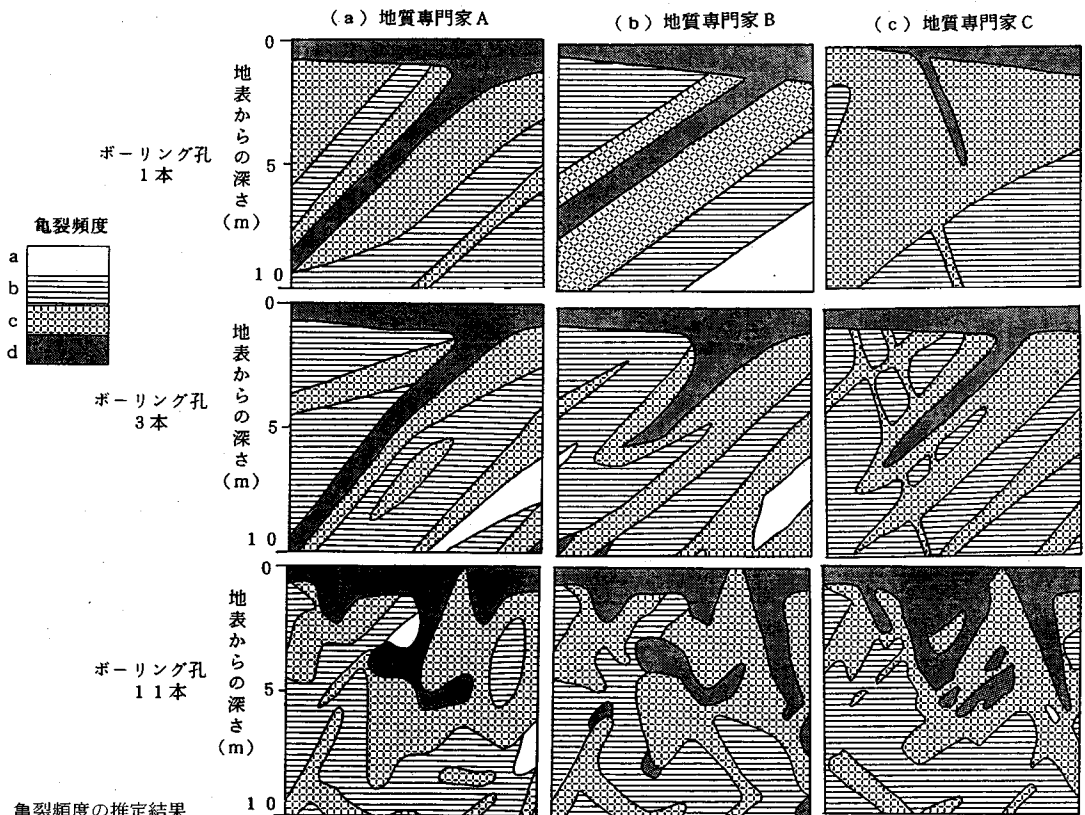


図-7 亀裂頻度の推定結果

表-3 地質推定断面図の作成時に重視した要点

項目	孔数	地質専門家 A	地質専門家 B	地質専門家 C
地質区分	1本	・背後断面の砂岩の走向傾斜で境界を設定した。	・地表の地質情報を加味し、層理面に沿って砂岩層が分布するものとした。また、層厚は一定とした。	・切取り面の砂岩の走向傾斜で結んだ。
	3本	・背後断面の走向傾斜で砂岩が分布するとして、地層境界を結んだ。	・砂岩層の層厚の変化を考慮した。	・切取り面の走向傾斜を基にボーリング結果から、砂岩層を結んだ。(やや緩傾斜となった)
	11本	・背後断面の走向傾斜を基準にしつつ、多少勾配が変化してもできるだけ砂岩が連続するように配慮した。	・砂岩層の層厚の変化、若干のうねりを考慮して、砂岩層がなるべく連続して分布するようにした。	・基本的な走向傾斜の考え方は変わらない。砂岩はレンズ状のものもあると考えられるが基本的には隣のボーリングに結んだ。
岩級区分	1本	・層理面に沿う亀裂の影響を受ける。悪い部分は地表に向かって風化の影響を大きく受けるので、地表に向かってラップ状に開く形をとった。 ・地表面に平行に下部に向かって層状に岩級が向上するとした。	・表層は風化を考慮しD級とした。 ・岩級区分も基本的には層理面の方向に準拠した分布と考えた。 ・ボーリングコアによる岩級区分は細かいので、そのまま利用せず大まかに区分した。	・基本的には地表部を除いてC級M級の岩盤が主体と考えた。 ・C級は亀裂の卓越した部分と考えた。 ・C級岩盤の分布は切取り面で観察された層理面と割れ目の方向に延びるものと考えた。
	3本	・層理面方向の亀裂を考慮にいたした。 ・悪い部分は、地表に向かってラップ状に分布すると考えた。	・層理面の方向を考慮した分布。 ・断面右側でやや風化が進行しているものとし、新鮮部は塊状に分布するものと仮定した。	・考え方は1本の場合と変わっていない。 ・層理面と割れ目の交点が弱線となるものと考えた。
	11本	・層理面方向の亀裂とそれに直交する共役な亀裂も考慮した。 ・岩盤風化は卓越する亀裂に沿って進行するのでD、Cを卓越する亀裂に沿って優先的に結んだ。	・層理面の方向とこれを直交する方向を考慮して推定した。 ・新鮮部は塊状に分布するものと仮定した。	・層理面に沿った弱線は連続性が乏しいことから、割れ目の方向を重視した。 ・図は、それをかなり強調して作っている。
亀裂頻度	1本	・表層のdランク以外は層理に平行に境界を設定した。	・表層は応力解放に伴い、破砕が進行しているものとし、層理面の方向に準拠した分布とした。	・上部からd→c→bの区分を考慮 ・c、dの境界は層理に平行に設定 ・割れ目に沿ってd、cランクを延ばした。
	3本	・c、dランクの悪いものは、層理に平行に境界を設定した。	・層理面の方向に沿う分布とし、断面右上方より破砕が進んでいるものとした。 ・一部、層理面と直交方向に破砕した部分があるものと仮定した。	・c、dランクのものは層理面と割れ目に沿って延ばした。 ・基本的な考え方は、岩級と同様。
	11本	・c、dランクの境界は層理面に平行するものと考えて結んだ。 ・それ以外は同じ分類を機械的に結んだ。	・層理面の方向に沿って分布するものとし、それに直交する方向に分布するものを考慮して設定した。	・結び方は層理と割れ目に沿った方向になっているが、機械的に結んだ部分も多い。

定方法は外挿となり、地質や亀裂、岩級区分などの分布形態は層理に平行で等厚の分布が基本となる。そのため、分布の終了・終端、層厚の変化などについては判定できない。しかし、今回の対象断面に関しては地質が堆積岩で、しかも地質構造が比較的単調であるため、1本のボーリングデータで2次元断面の地質情報（地質区分、岩級区分、亀裂頻度）を大まかな推定が可能であった。

ボーリング孔が調査断面の中央部、両端部の3本の場合、推定方法は内挿となり、推定された情報は当然のことながら、ボーリング孔1本の場合に比べて地質区分、岩級区分や亀裂頻度の分布の連続性や規模などの分布形態に関する情報がより細かく推定されている。

b) ボーリング密度による傾向

ボーリング孔を調査断面上で1m間隔に11本実施した場合は特殊な周辺状況を除いて、コストや実用面からボーリング調査での限界とみることができる。この場合、地質情報の連続性や分布形態などはボーリング孔3本の

場合より実状に近い精度で正確に捉えていると期待される。しかし、レンズ状の砂岩分布（図-5、コア11本の例参照）、さらには岩級区分や亀裂頻度の推定結果は、実岩盤に比べてかなり複雑で不自然な分布形態となっており、ボーリングの増加に伴って実岩盤が正確に反映されているとは言い難い。これは孔曲がり、コア延びやコア採取率あるいはコアの評価などの点で実岩盤と合致した正確な地質情報が得られず、情報量が多くなるに伴い推定モデルが複雑になったと考えられる。本研究の場合、ボーリング穿孔およびコア採取は十分注意して行ったつもりであったが、ボアホールテレビ撮影結果とコアを対比したところ、鉛直方向で最大30cm程度のずれがみられたところもあった。したがって、ボーリングデータを使用して地質推定断面図で実岩盤を忠実に表現するためには、高密度のボーリングデータが必要であることはもちろんであるが、実岩盤を正確に反映したデータも必要であると考えられる。

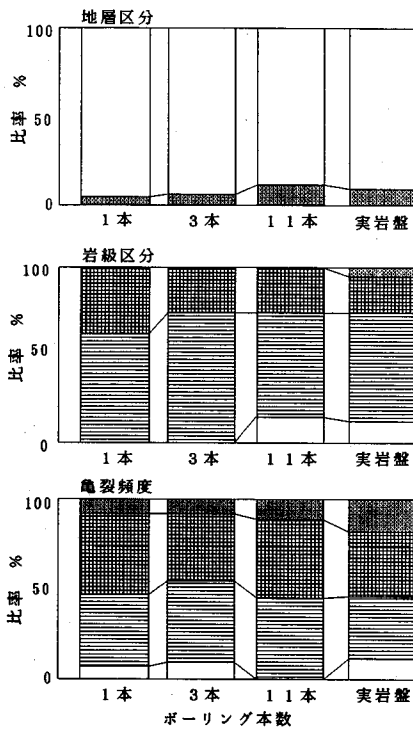


図-8 分類の出現比率の比較

c) 地質専門家による相違について

表-3に示したように、地質区分、岩級区分、亀裂頻度ともに推定の基本的な法則は同様であり、地質情報の定性的なとらえ方に関しては3人の地質専門家間に大きな相違はみられない。しかし、分布形態の連続性や層厚の変化、層理面に沿う亀裂と共役な方向に分布する地質構造の考え方などについて地質専門家の主観による相違がある。その結果として、土木技術者からみると、地質専門家3名の地質推定断面図は異なる岩盤状況を表現しているようにも見える。

(2) 推定結果と実岩盤の定量的比較

a) 分類の出現比率の比較

地質専門家がボーリングデータと地表踏査という資料をもとに推定断面を作成するということからすれば、その結果の解釈は定性的な面を重視すべきであることはいうまでもない。しかし、実設計や施工の立場からすれば、これを定量的に評価することも必要となる。そこで、地質区分、岩級区分、亀裂頻度の各分類の調査断面内に占める割合(出現比率)について、3名の地質専門家によって推定された結果の平均と、実岩盤を比較した。そして、ボーリング孔数による推定結果の変化を調査断面内の

表-4 定量的評価に用いた分類基準

ランク	地質区分	岩級区分	亀裂頻度
1	頁岩	D	d
2	頁岩優勢	C _L ~D	c~d
3	等量互層	C _L	c
4	砂岩優勢	C _M ~C _L	b~c
5	砂岩	C _M	b
6	--	C _H ~C _M	a~b
7	--	C _H	a

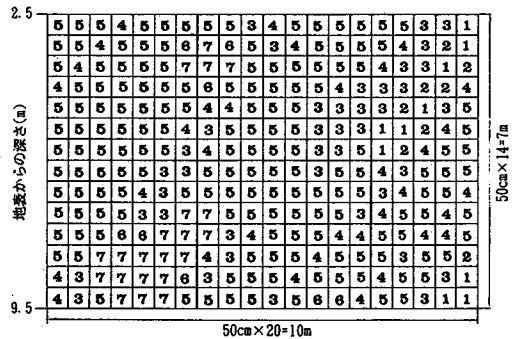


図-9 要素分割および実岩盤の岩級区分のランク値

出現比率という点から定量的に評価することを試みた。その結果を図-8に示す。

砂岩の出現比率はボーリング孔3本での推定でほぼ実岩盤と同じ比率になっている。また、岩級区分ではC_M級とC_L級岩盤の出現比率の境界位置は3本のボーリング孔ではほぼ推定可能であるが、C_H級岩盤に関しては、ボーリング孔S2とS3の中間部に局部的に良好な岩盤が分布していたために(図-2参照)、11本のボーリングの結果で始めて実岩盤に近い出現比率を示した。しかし、D級岩盤は11本のボーリングでも捉えられておらず、出現比率の相違の原因になっている。一方、亀裂頻度に関しては実岩盤と比較してaおよびdの両極端のランクをやや少なめに評価する傾向にあり、これは、aランクでは自然状態の亀裂とボーリングによって生じる人工的な亀裂を明確に区分できないために不良側に評価しがちで、逆にdランクではボーリングにより破碎部や粘土化部を流失するなど亀裂間の充填物を採取し難いことに起因するものと思われる。全体的に見るとボーリング孔が増加するに伴い、推定された地質区分、岩級区分、亀裂頻度の各分類の出現比率は、実岩盤の状況に近いものになっている。

b) 推定断面の精度

ボーリング位置や密度の違いによる推定断面の精度を定量的に検討するために、以下の方法で調査断面の地質区分、岩級区分、亀裂頻度について、はき取り観察とボーリングコアによる推定状況を数値化した。

① 比較対象とする断面(水平方向10m、深さ方向

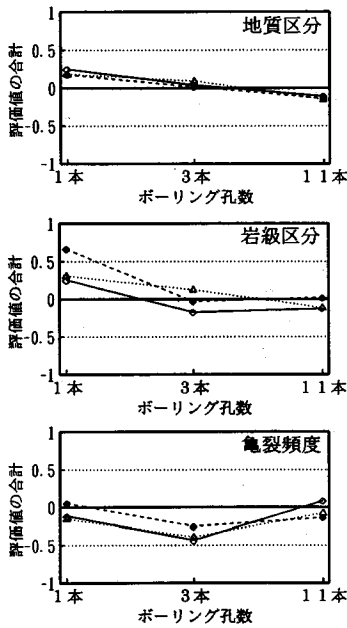


図-10 1要素当たりの評価値の推移

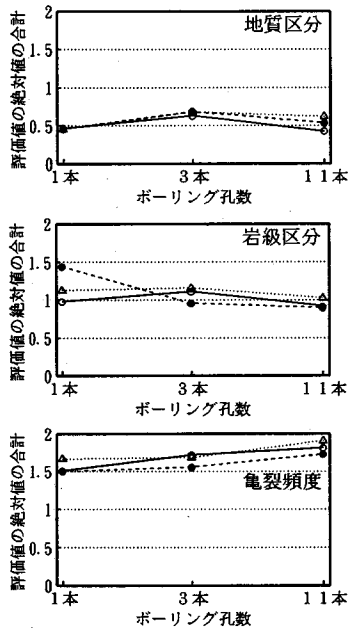


図-11 1要素当たりの絶対値の推移

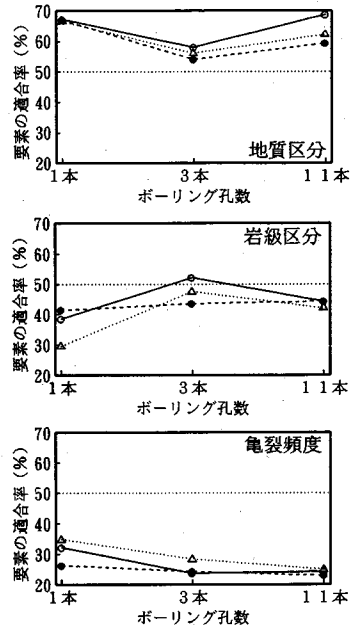


図-12 推定結果と実岩盤の適合比率の推移

2.5~9.5 m) の範囲を 50 cm×50 cm の要素に分割する。

② 分割した要素毎に地質区分, 岩級区分, 亀裂頻度で表-4 に示した分類に沿ってランク値をつける。図-9 に要素分割の方法と例示として実岩盤の岩級区分のランク値を示す。

③ 各要素毎の実岩盤のランク値 (R_i) と推定断面のランク値 (P_i) から評価値および評価値の絶対値を次式のように算定した。

$$\text{評価値} = \sum (R_i - P_i) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{評価値の絶対値} = \sum |R_i - P_i| \dots\dots\dots (2)$$

したがって, 評価値がゼロであれば調査断面全体としてとらえると, 推定岩盤と実岩盤が一致しているか, あるいはほぼ妥当な推定である。また, 評価値がプラス側に大きい場合には推定結果より実岩盤の方が, 地質では砂岩がちに, 岩級区分では良好に, 亀裂頻度では亀裂が少ないことを表している。地質専門家 A, B, C 各々が独自に作成した地質推定断面図の 1 要素当たりの評価値を図-10 に示す。また, 図-11 は 1 要素当たりの評価値の絶対値で整理したもので, 推定と実岩盤のランクの違いを表し, 評価値の絶対値が 1 であることは表-4 で示したランクが調査断面全体に平均して 1 ランク異なっていることを意味している。

本研究の分類の範囲では, 推定と実岩盤の差は地質区分がもっとも小さく, ボーリング孔数にかかわらず良い精度である。これは地質構造に変化が少なく比較的単純な構造であったこと, 地表踏査が 3 次元的に実施できたため, ボーリング孔 1 本でも良好な推定が可能であった

ことなどが要因として考えられる。また, 地質区分, 岩級区分はボーリング孔数が増加するとともにわずかではあるが, 差が小さくなる傾向がある。しかし, 亀裂頻度では推定と実岩盤の差が 2 ランク近くあり, ボーリングが増加しても推定精度の向上は見られない。すなわち, 亀裂頻度に関する地質推定は, ボーリングにより発生する二次的な亀裂などの誤差要因が含まれており, ボーリング情報では把握しにくい項目であると考えられる。

本研究のケースでは地質専門家 A, B, C による地質推定断面の精度上の相違は小さく, ボーリング孔数による精度変化の傾向も一致している。この原因として岩盤の構造が比較的単純であったことや, 推定に用いる地表踏査および地質柱状図などの情報が 3 人の地質専門家で共通であったことが挙げられる。すなわち, 実際の地質推定断面図の作成に当たっては地表踏査や地質柱状図の作成段階から地質専門家毎に行われるのが通常であり, 地表踏査や地質柱状図に関しても地質専門家間の相違が反映される。そのため, 通常地質専門家間の地質推定断面図の相違は, 今回の研究で明らかになった結果よりも大きいことが予想される。

一方, 要素毎に推定と実岩盤のランクが一致している場合を適合とし, 全要素に占める適合要素の比率 (適合率) とボーリング孔数の関係を図-12 に示す。適合率は地質区分が最も高く 60% 程度に達しているが, 亀裂頻度では 25% 程度と低くなっており, ボーリングコアによる亀裂頻度の判定が難しいことが再確認された。また, 岩級区分や亀裂頻度ではボーリングのデータが増加

するに伴って地質専門家間の相違が小さくなっているが、地質区分では逆に地質専門家間の違いが大きくなっている。

5. ま と め

本研究ではボーリングデータに基づく地質推定断面図がボーリングデータと地表踏査という事実情報をもとに地質専門家の解釈、判断を加えて作成される過程を示し、地質専門家間での地質推定断面図の相違について考察した。また、堆積岩地山を対象に、ボーリング孔数の相違に伴う地質断面の推定精度について定性的かつ定量的に検討した。以下のような結果が得られた。

① ボーリングの配置や密度（孔数）により得られる地質情報の傾向に違いが見られることが確認された。すなわち、ボーリングデータから得られる地質情報は孔数が多くなると当然情報量自体は多くなり、一般的に実岩盤との適合性も向上するが、必ずしも比例関係にあるのではなく限界があること、項目によっては適合率が低下する場合（亀裂頻度）もあることが判明した。

② 地質推定を正確に行うためには、地質の特異点を把握するために高密度のボーリング調査が必要とされるが、実岩盤を適切に反映した地質柱状図も必要と考えられる。

③ 3名の地質専門家による地質推定断面図を比較すると地質学的な認識（表—3）はほぼ同様であるにもかかわらず、定量的な描写には明らかに相違が認められた。しかし、今回のケースでは、同じ地表踏査結果と地質柱状図を用いた推定であるために、推定精度には大きな違いはみられず、地質区分と岩級区分ではデータ量の増加に伴い精度が向上する傾向、亀裂頻度では精度が低下する傾向が示された。

本研究はある一地点の岩盤に限った検討であり、地質状況が異なれば他の傾向が現れる可能性が十分考えられる。しかし、1枚の地質推定断面図を通して、地質専門家と土木技術者は情報の受渡しを行うわけであるから、土木技術者は地質推定断面図が露頭データやボーリングコアデータを基に地質学の法則を適用し、情報の欠如し

ている部分を推定しモデル化した1例であることを認識し、地質専門家が伝えようとする真意を十分にくみ取る姿勢が必要である。それに対して、地質専門家は事実としての情報と表—3に示されたような推定断面図作成上の基本的な考え方を明確に区別し、その双方を土木技術者に正確に伝えようとする努力が必要であると思われる。

本研究はハザマ、宇部興産（株）、川崎地質（株）、日本基礎技術（株）、ダイヤコンサルタント（株）および山口大学の共同研究として実施した実験結果の一部を用いたものである。最後に、研究にご協力を頂いた川崎地質（株）森口安宏氏、（株）東建ジオテック阪口和之氏ならびに元山口大学生山崎泰典氏（現（株）奥村組）に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 神尾重雄・玉田晟・浦山真次郎・解良一夫：亀裂性岩盤の透水性評価に関する一考察，土木学会論文集第424号，Ⅲ-14，pp.261～269，1990。
- 2) 神尾重雄・浦山真次郎・玉田晟・解良一夫：ボーリング・コアからみた基礎の透水特性，第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.141～145，1990。
- 3) 蝦名克彦・矢部哲雄・服部修一：青函海底トンネル建設工事における先進ボーリングによる地質の先方予知と実績，応用地質23巻2号，pp.19～29，1982。
- 4) 大西有三・鍵本広之：岩盤割れ目性状の評価方法に関する一考察，土木学会論文集第400号，Ⅲ-10，pp.29～38，1988。
- 5) 草深守人・浜島良吉・川井忠彦：岩盤中に分布する中小規模の亀裂面の定量的評価方法，土質工学会論文報告集，Vol.27，No.4，pp.176～188，1987。
- 6) たとえば，吉川恵也：柱状図は訴える3，土と基礎，Vol.28，No.5，pp.85～90，1980。
- 7) 永田秀尚：予測性の観点からの地質体の分類と記述，応用地質31巻1号，pp.29～36，1990。
- 8) 日本応用地質学会編：岩盤分類応用地質特別号日本応用地質学会，pp.106～107，1984。
- 9) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門，山海堂，pp.28～36，1964。
- 10) Muller, L. : Der Felsbau, Erster Band, pp.246～252, 1963. (1993.4.27 受付)

ESTIMATION OF GEOLOGICAL SECTION OF ROCK MASS BY USING RESULTS OF BORING TEST

Akinori HASUI, Noriyuki YUKI, Haruo KITAMURA and Koji NAKAGAWA

In this paper, it is compared the real geological section observed after excavation with geological section which three geologists prepared each other by using the same results of boring test. As a result, it is recognized that geological section is obviously different among the geologists, and is depended on the arrangement and number of boreholes. Further, a few points of view are suggested to provide geological section of high quality and to use geological section efficiently to design or construction.