

(45) トンネル施工上問題となる地山条件に関する実績分析

国鉄 鉄道技術研究所 正会員 吉川恵也
" " 桜井 孝
" " ○朝倉俊弘

1. まえがき

国鉄では、安全で経済的なトンネル建設を目指し、NATMの施工実績の分析に基づいて「NATM設計施工指針（案）¹⁾」を作成した。この指針（案）には、NATMのための標準支保パターンとそれに対応する地山分類基準が示されている。標準支保パターンと地山分類基準は、一般的な地山条件を前提として実績に基づき作成されたために、特殊な条件に対しては適用することができない。ここでいう特殊な条件とは、土被りが特に大きい、あるいは小さい場合等の地形的条件の他に、地質条件の特に悪いものを指している。一般的な地質条件に対しては硬岩種では地山弾性波速度を、軟岩種では地山強度比を主たる指標として分類されるが²⁾特殊な地山条件に対してはNATMによる施工実績が少なく、また地質によりその特異性が異なるとの理由で、区分のための明確な指標は示されていない。

指針（案）に示し得なかった特殊な地山条件を区分するため、種々の分析を行っているが、その分析過程で得られたいくつかの知見を以下に報告する。

なお、分析に用いたデータは、NATMにより施工された50トンネル、在来工法により施工された22トンネルの計72トンネルの施工実績資料である。

2. 分析資料

施工実績は、表-1に示す項目について整理し、ファイルした。なおデータは、計測データのあるものについては計測点毎に、その他のものは地山物性を調べるために試料採取した地点毎に整理した。

収集した資料の総数は、1685にのぼるが、地山物性に関するデータの無いものは分析の対象とならないために、これを除くと、結局923データとなった（NATM 277、在来工法 646）。

3. 分析結果

3-1 C地山、φ地山の区分

トンネルの施工に困難をもたらす現象には、地山の膨出と湧水に伴う地山の流出がある。地山の膨出は、一般に粘土質の粒子から構成される地山に発生し、地山の流出は、砂質の粒子から構成される地山に生ずる。そこで、本研究においては、前者をC地山、後者をφ地山と呼んで区分し、それぞれ別々に分析を行った。

日本統一土質分類では、細粒土と粗粒土の分類基準を細粒分（粒径74μ以下）が50%を上回るか否かで区分しているの、本研究においてもこれを採用し、それぞれC地山、φ地山と呼び区分した。

図-1は、粒度分析を行っている試料についての岩石、土質ごとの細粒分含有量を示したものであるが、これによると上記の50%という基準は妥当なものであると考えられる。

表-1 ファイリング項目

	Card番号	項 目
計測データのある地点	1	トンネル概要
	2	工法概要
	3	調査試験項目
	4	計画項目
	5	地質に関するアンケート結果
	6	地山物性値 (1)
	7	地山物性値 (2)
	8	地山物性値 (3)
	9	弾性係数 (1)
	10	弾性係数 (2)
	11	掘削内容 (1)
	12	掘削内容 (2)
	13	ロックボルト (1)
	14	ロックボルト (2)
	15	ロックボルト耐力 (1) 最大値
	16	ロックボルト耐力 (2) 最大変位時
	17	計測 (1) 内空変位
	18	計測 (2) 天端沈下
	19	計測 (3) 内空変位
	20	計測 (4) 天端沈下
計測データのない地点	21	トンネル概要
	22	工法概要
	23	岩体概要
	24	地下水概要
	25	物理試験 (1)
	26	物理試験 (2)
	27	力学試験
	28	弾性波速度
	29	断面量試験
	30	地山挙動 (本試)
地山挙動に関する項目	30-1	ロックボルト (1) (本試)
	30-2	ロックボルト (2) (本試)
	31	地山挙動 (本試)
	31-1	ロックボルト (1) (本試)
	31-2	ロックボルト (2) (本試)
	32	地山挙動 (右導坑又は左導坑)
	32-1	ロックボルト (1) (右導坑又は左導坑)
	32-2	ロックボルト (2) (右導坑又は左導坑)
	33	地山挙動 (左導坑)
	33-1	ロックボルト (1) (左導坑)
	33-2	ロックボルト (2) (左導坑)
	34	地山挙動 (左導坑)
	34-1	ロックボルト (1) (左導坑)
	34-2	ロックボルト (2) (左導坑)

3-2 C地山の分析

(1) 内空変位量と地山挙動及び物性値の関係

C地山について地山の挙動を示す指標として、データファイルの中から表-2に示す7項目を採り上げ、それぞれの項目について内空変位量の頻度分布図を作成した。図-2はその一例である。この例では、内空変位量 150mm~200mm 以上について増し支保による変状対策が余儀なくされたことがわかり、この項目は地山の挙動の指標とすることができる。それぞれの項目についての内空変位量に関する頻度分布図から、表-2の右欄に示した○の項目がこの指標となり得ることが明らかとなった。

これらの項目について、地山物性値データの頻度分析を行った。この結果、従来から指摘されていることではあるが、これらの項目に相関を示す物性として、モンモリロナイト含有量、液性限界、塑性指数、及び静弾性係数が抽出されたが、物性の具体的な境界値を示すには至らなかった。

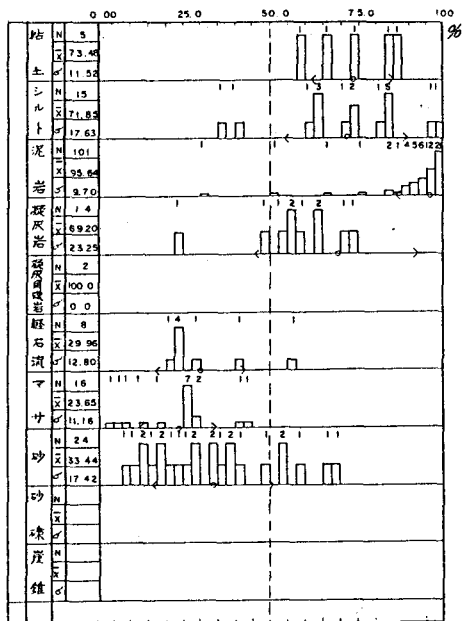


図-1 岩種、土質毎の細粒分含有量(%)

表-2 地山区分の指標となる地山挙動 (C地山)

指標となる項目	区 分	域 と 評 価	内空変位量の 頻度分析結果
支保工の変状	区 分	なし	あり
評価	I _N	I _S 以悪	○
増吹付けの有無	区 分	なし	あり、鏡 インバート
評価	I _N	I _S 特S	○
インバート早期閉合	区 分	なし	あり
評価	I _N	I _S 以悪	○
増ボルトの有無	区 分	なし	あり 変状あり
評価	I _N	I _S 特S	○
鏡 ボ ル ト	区 分	なし	あり
評価	I _N	I _S 以悪	△
大 変 形	区 分	なし	あり
評価	I _N	I _S 以悪	△
切羽崩壊の有無	区 分	なし	あり
評価	I _N	I _S 以悪	○

○: 評価の指標となる, △: 評価の指標となりにくい

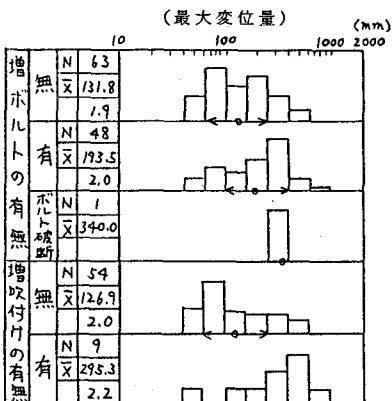


図-2 最大変位量と補強工の有無 (C地山)

(2) 内空変位量と地山強度比

C地山について地山強度比 G_N と内空変位量 $\delta_{\max}$ (mm) の関係を両対数紙上に表すと、図-4のようになる。

最小二乗法による回帰式として、ばらつきは大きい、

$$G_N = 7.9 \cdot \delta_{\max}^{-0.80}$$

が得られた。なお、 E/P (E : 地山の变形係数、 P : 土被り圧) と内空変位量 $\delta_{\max}$ (mm) の関係は、

$$E/P = 3 \times 10^4 \cdot 1 / \delta_{\max}$$

となった。

C地山における地山強度比 ($G_N \leq 4$ のデータ) の分布は図-3のようになり、これにより地山区分、 I_N 、 I_S 、特S、の境界はそれぞれ、2.0、1.5 となっている。

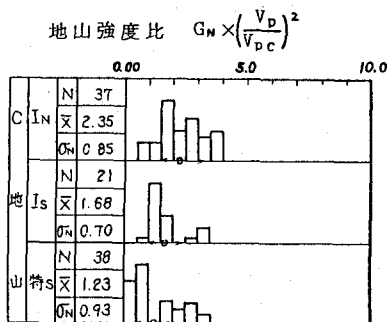


図-3 地山区分毎の軟岩、土砂、マシインバートを含む $G_N \leq 4$

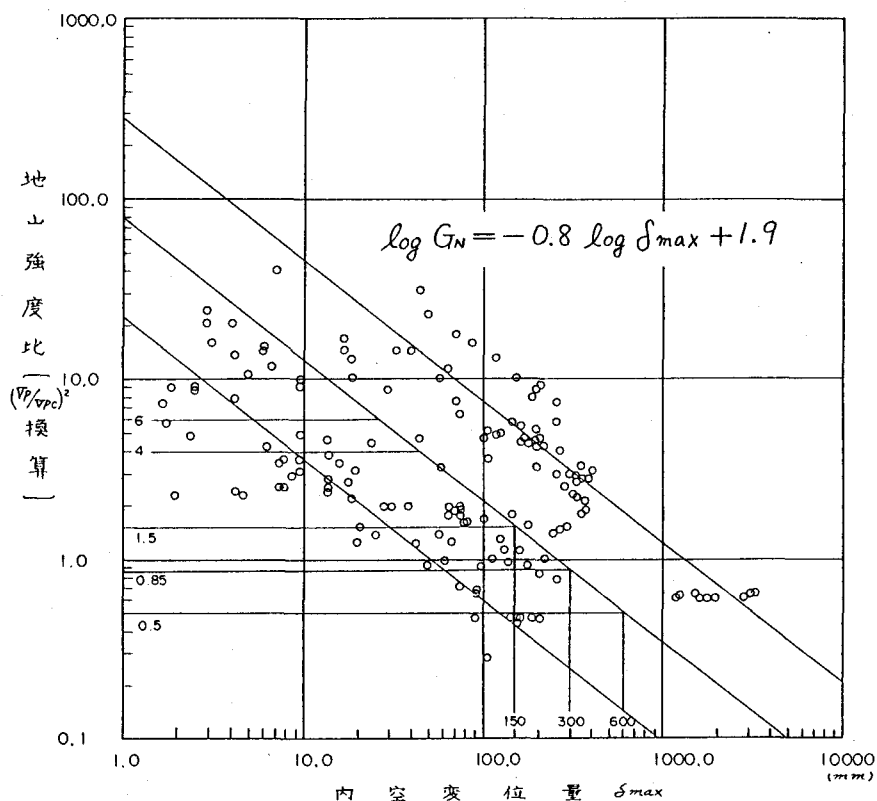


図-4 地山強度比と内空変位量の関係

C地山
軟岩, 土砂, マサ

表-3 地山区分の指標となる地山挙動 (φ地山)

指標となる項目	区 分 域 と 評 価		内空変位量の 頻度分析結果
縫地の有無	区分	なし	△
	評価	I_N	
切羽崩壊の有無	区分	なし	○
	評価	I_N	
斜ボルトの有無	区分	なし	△
	評価	I_N	

○: 評価の指標となる, △: 評価の指標となりにくい

3-3 φ地山の分析

(1) 天端沈下量と地山挙動

φ地山についてもC地山の場合と同様に地山の挙動を評価するため、表-3に示した3項目を採り上げ、それぞれの天端沈下量の頻度分布図を作成した。図-5はその一例で、「切羽崩壊の有無」は天端沈下量とよく対応しているといえる。

そのため、「切羽崩壊の有無」と地山物性に関する頻度分析を行ったが、今回の分析では地山物性の差により、「切羽崩壊の有無」を明瞭に判別できる項目は抽出されず、有効間隙率、乾燥密度の2項目に傾向がうかがわれる程度であった。

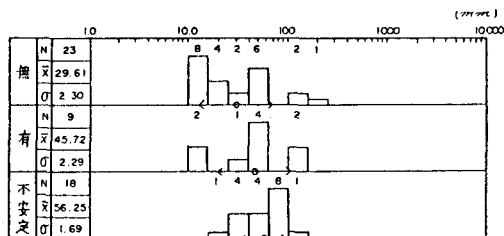


図-5 切羽崩壊の有無と
天端沈下量 (φ地山)

(2) 土被りと地山挙動

φ地山における切羽の安定性は、水圧、土の固結度に大きく影響されるが、ここでは土被りとその箇所で作成した対策工法、及び地山挙動について分析を行った。本来、地下水位を分析の対象とすべきであるが、十分なデータがないため、土被り厚を水圧とみなして分析している。

図-6は地下水対策と土被りの関係を示したもので、土被り40m以下の比較的水圧の小さいと考えられるケースでは水抜きボーリングが、土被り40～50m以上ではディープウェル、ウェルポイントが採用されている。

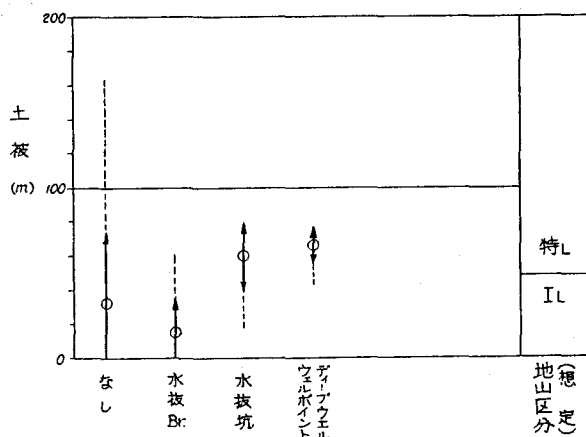


図-6 土被りと対策工の関係 (φ地山)

図-7は、地山挙動、対策工と土被りの関係を示したもので、この図からも比較的軽易な対策工で施工できる土被りは40m程度で、それ以上となると切羽におけるトラブルも著しいものとなり、重度の対策工を要するようになる。

ただし、土被り40m以下でも流動化しやすい地山物性である場合や、地形、地質構造によっては土被り以上の水圧が作用する場合があると考えられるが、今回の分析からは明らかにできなかった。

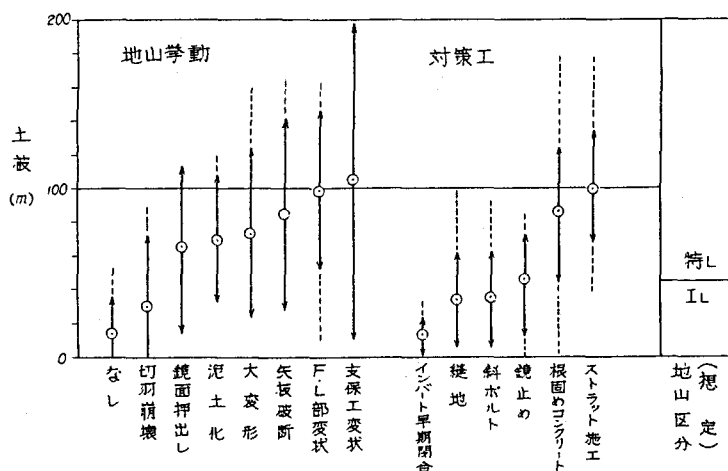


図-7 地山挙動・対策工と土被りの関係 (φ地山)

○：土被りの平均 (m)
↔：標準偏差の幅

4. まとめ

特殊地山の地山分類の指標を検討するための分析により、以下のような成果を得た。

トンネル施工実績資料を地山材料の細粒分含有率50%によってC地山、φ地山に分類し、分析した。その結果、C地山の地山区分の指標として、地山強度比に代表される力学的性質及びモンモリロナイト含有量、塑性指数に代表される物理・化学的性質が重要であることが示された。また、φ地山については今回の分析では、地形、地質構造、地山物性の条件について十分分析されていないが、土被り (すなわち仮想静水頭) 40m程度を超えると切羽の安定が悪くなり、特別な対策が必要となる事例が多いことが示された。

これらの結果は、データ数が十分でないこと、特に地山物性に関するデータが量的にも乏しく、また試験方法等が統一されていないため、さらに検討を要するが、トンネル計画において参考となれば幸いである。最後に、分析に御協力いただいた鉄道公団富山新幹線建設準備事務所、㈱ダイヤコンサルタントの関係者各位、鉄道技研の小野田技術員に謝意を表して結びとする。

(参考文献) 1) 国鉄：NATM設計施工

指針(案), 1983 2) 吉川, 朝倉：NATMのための設計のパターン化の研究, 鉄道技研報告No. 1235, 1983

(45) ANALYSIS OF THE EXECUTION DATA ON THE DIFFICULT GROUND
CONDITION IN TUNNELLING

Railway Technical Research Institute, JNR

Keiya YOSHIKAWA

Takashi SAKURAI

Toshihiro ASAKURA

There are two typical phenomena that bring the most difficult conditions in tunnelling. They are squeezing of ground mass around opening and running of ground with water inflow. Generally, the former occurs in the ground consisting of argillaceous soils, which we call "C ground". The latter occurs in the ground consisting of sandy soils, namely " ϕ ground".

This report analyses the ground conditions statistically, and mainly discusses the correlations between convergence value and competence factor in C ground, and covering height in ϕ ground referring the data of execution records. The data were classified by 50% fine grain contents into C ground and ϕ ground.

The results of analysis are as follows.

As the classification index of C ground, mechanical properties represented by competence factor and physico-chemical properties represented by montmorillonite contents and plasticity index are important.

In the case of ϕ ground, the covering height over about 40 m makes the tunnel face unstable and causes to be obliged to take extraordinary countermeasures.