

4 蛇紋岩・片岩分布地域における切土法面の調査と安定解析事例

株式会社東建ジオテック ○西川直志・北村晴夫・堀田政則
山口県宇部土木建築事務所 池内紀夫

1. はじめに

調査地は山口県宇部市の北部に位置し、南北方向に延びる一般国道490号の道路改良計画地である。付近は標高100m前後の丘陵地帯で、北方の大規模な花崗岩体と南方の三郡変成岩類との間に挟まれた、蛇紋岩と黒色片岩の分布地域である。蛇紋岩は花崗岩との境界付近に集中しており、南方に向かって次第に消滅して片岩優勢となる。蛇紋岩と片岩は、互いにひとつの帯状あるいはレンズ状の岩体として数m～数10mのサイクルでほぼ東西方向に伸長している。両者の境界は高角度で北傾斜する箇所が多く、一部で南傾斜の箇所も認められる。

露頭で確認される蛇紋岩の多くは硬質塊状で、明瞭な葉片状組織が認められるのは片岩との境界付近に限られており、その幅は数10cm～1m程度にすぎない。硬質部には岩体の伸長方向に一致する東西走向とこれと直交する南北走向の高角度節理が発達している。

片岩は露頭ではほとんど硬質部が認められず、大部分は土砂状風化している。片理面は東西走向で、70°前後の高角度で北傾斜している。

計画では現道より東側に道路を付け替え、新たに山体を両切り施工する予定である。これにより最大4段の法面が出現することになり、切土後の斜面の安定性が問題とされた。

対象区間には露頭が少なく、当初は全体に土砂状風化が進行していると考えられていたが、地表踏査等による以下の事実に基づき、硬質蛇紋岩が局所的に分布すると推察した。

- ①周辺の切土現場では、片岩が全体に土砂状風化しているのに対して、蛇紋岩はおおむね硬質で、しかも両者が帯状あるいはレンズ状に交互に分布する構造をしている。
- ②調査地の一画でも硬質な蛇紋岩露頭が確認されることと、やせ尾根部には蛇紋岩の転石が多く確認される。
- ③既存のボーリング調査（3箇所）ではおおむね土砂状風化部が多いが、地表近くから硬質蛇紋岩が出現している箇所がある。

2. 調査・設計上の問題点

対象区間は延長340mで南北方向の路線であり、岩体の伸長方向とほぼ直交するために、法面には蛇紋岩と片岩が交互に出現することが予想された。この点から調査・解析を実施するにあたって問題と考えられたのは以下のとおりである。

- ①蛇紋岩・片岩の風化状況の違いを踏まえ、解析モデルの基礎となる岩級区分をどう扱うか？
- ②切土後の安定解析は地すべり等で採用されている逆算法が適用できないため、地山の強度を把握する必要がある。しかし、土砂状化した蛇紋岩・片岩は岩片等を混入しているため不攪乱試料の採取が困難である。したがって、安定解析に用いる強度を室内土質試験ではなく、原位置で求める必要があるがどのような方法を用いるか？また、

土砂状化した蛇紋岩と片岩の強度には違いがあるのか？
 以上の点を踏まえて、本報告を行う。

3. 調査手法

既存ボーリングでは蛇紋岩も土砂状風化している部分が多く、周辺と違って蛇紋岩＝硬質の関係ではない。したがって、地質状況はより複雑となり、ボーリングデータだけで全体の地質状況を把握するのは困難と考えられた。そこで、本調査ではボーリングを通常よりも密に行うと同時に、ボーリングデータを補足するために各種物理探査・検層も併せて実施した。

本調査では、新たに13箇所（6箇所は別業務）で調査ボーリングを実施すると共に、以下の物理探査・検層を実施している（図-1）。なお、掘削孔が自立しないため、孔内速度検層は保孔管（孔壁間は砂を充填）を挿入して実施した。

- ・弾性波探査 延長 850m（縦横断方向）
- ・電気探査（比抵抗映像法） 延長 850m（縦横断方向）
- ・孔内速度検層 4孔

土砂状風化部の強度を把握する目的では、一面せん断試験（従来法）と原位置で実施する孔内リングせん断試験を採用した。孔内リングせん断試験はボーリング孔底で直接にc、 ϕ を求める原位置試験で、N値50程度までの粘性土・砂質土・砂礫および風化軟岩等に対応できるとされている^{1) 2)}。(図-2)。

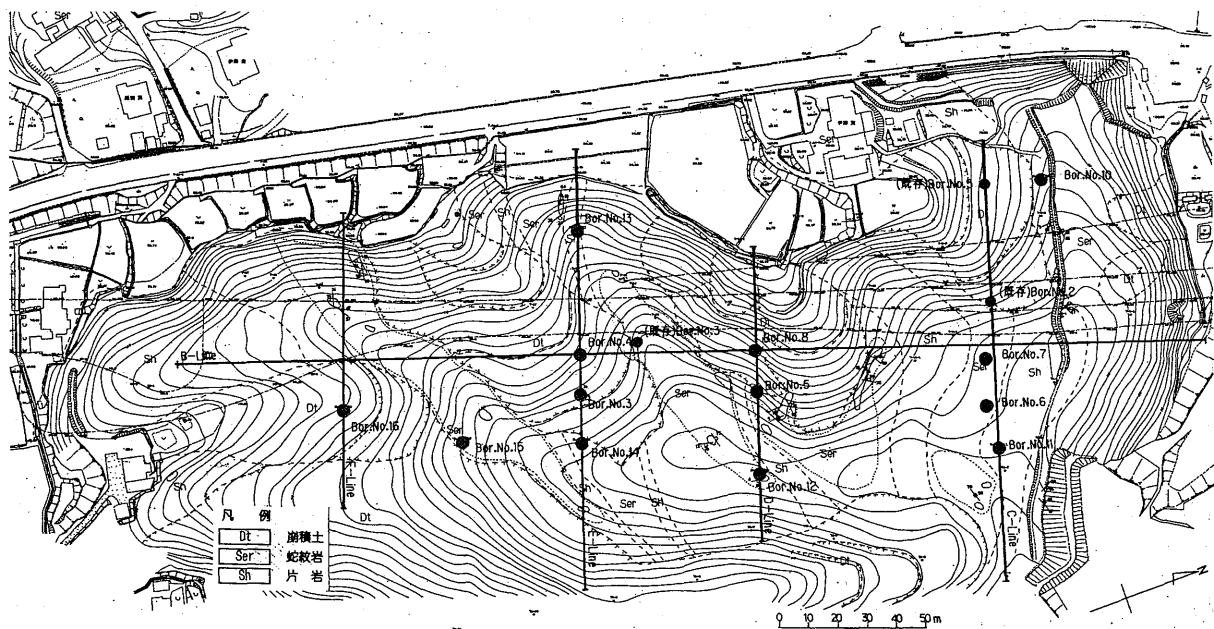


図-1 調査地点位置図

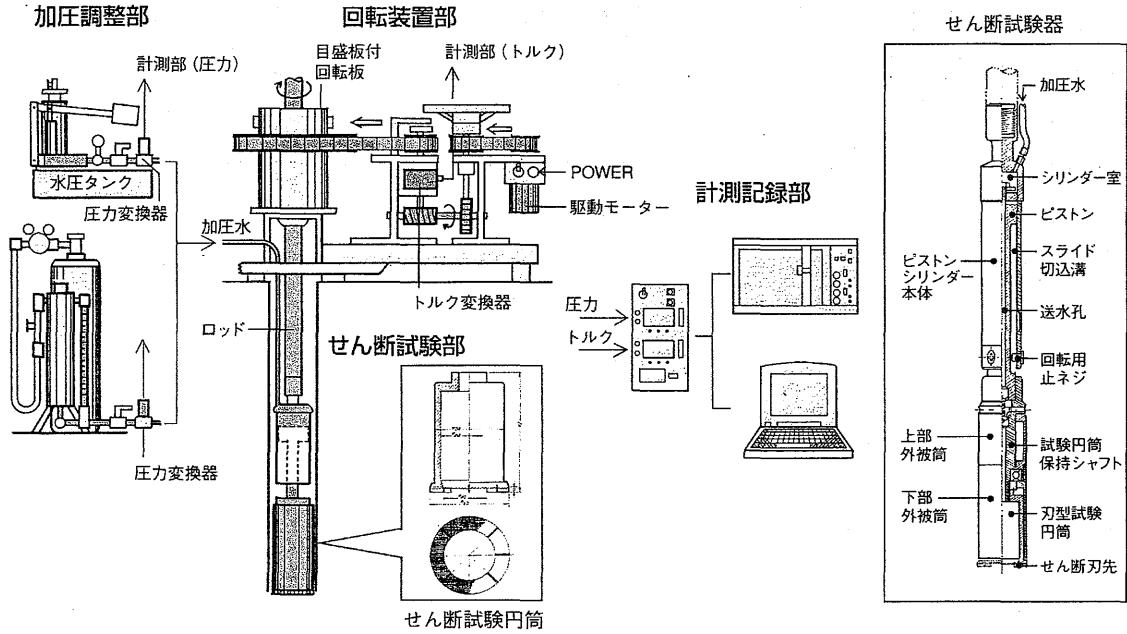


図-2 孔内リングせん断試験機説明図

4. 岩級区分の検討

試験結果を解析するために土砂状風化部はN値によって表-1のように2区分した。

表-1 土砂状風化部・軟岩の岩級区分と平均N値

岩級	N値	平均N値		平均単位体積重量 (kN/m^3)
		蛇紋岩	片岩	
DL	50以下	18	20	18.0
DH	50以上	126	100	21.4
CL	-	207	241	23.2

ここでは、コア観察による岩級区分と各種調査結果の相関を検討して、最終的な岩級区分方法を決定するために、ボーリング1m区間毎に各物理探査・検層結果を整理して、比較検討した。

弾性波探査と孔内速度検層によるP波速度を図-3~5にまとめる(以下、弾性波探査P波速度を地山P波、孔内速度検層P波速度を孔内P波と呼ぶ)。

図-3に示したように、地山P波と孔内P波の相関はあまり良くなくバラツキが目立つ。岩級別の平均値

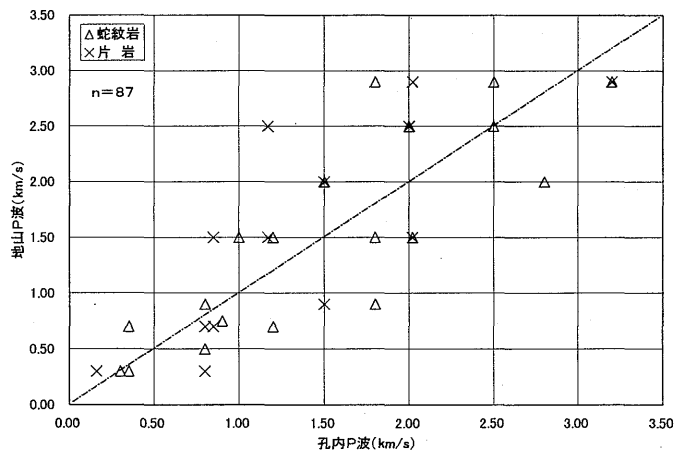


図-3 地山P波と孔内P波の比較

でみると、図-4に示したとおり、地山P波は岩級との相関性が良く、地質による差も少ないのに対して、孔内P波では図-5に示したようにCL級の値が低く、DH級とCL級との区別がつかない結果となった。この原因は不明だが、孔内速度検層を保孔管中で行っているため、周辺を充填している緩い砂の影響を受けている可能性もある。

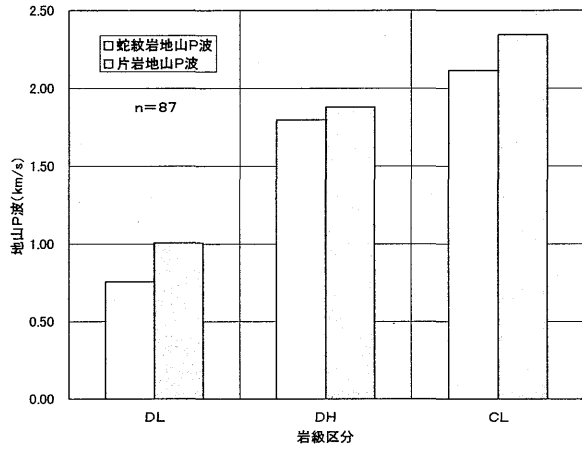


図-4 地質・岩級別平均地山P波

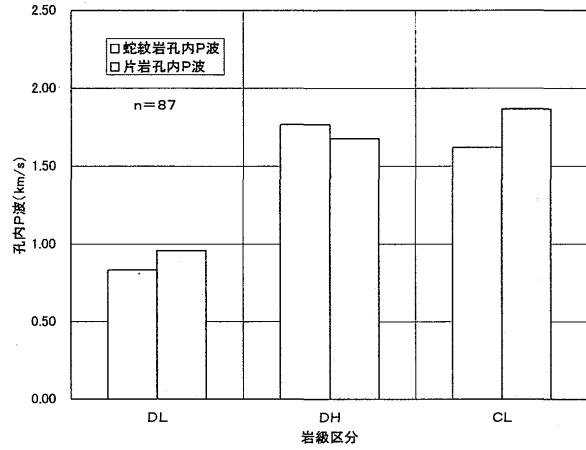


図-5 地質・岩級別平均孔内P波

図-6に電気探査（比抵抗映像法）による比抵抗の結果を示した。全体に値が低いために差が出にくい、蛇紋岩に比べて片岩の方が岩級による区別がつきにくい結果となった。

以上の結果から、ボーリングデータの無い区間の地質・岩級区分を行う指標としては、次のように整理した。

- ①地山P波で 1.0~1.5km/s がDL級とDH級、2.0km/s がDH級とCL級を区分する目安となる。孔内P波でも同じく 1.0~1.5km/s がDL級とDH級を区分する目安となるが、DH級とCL級との有意な差は認められない。
- ②蛇紋岩と片岩の地山P波の差はほとんどない。
- ③比抵抗は岩級に対応して高くなる傾向はあるが、全体に値が低く、岩級区分の指標となる有意な差は認められない。

以上の結果に基づいて、図-7のように地質分布を推定した。

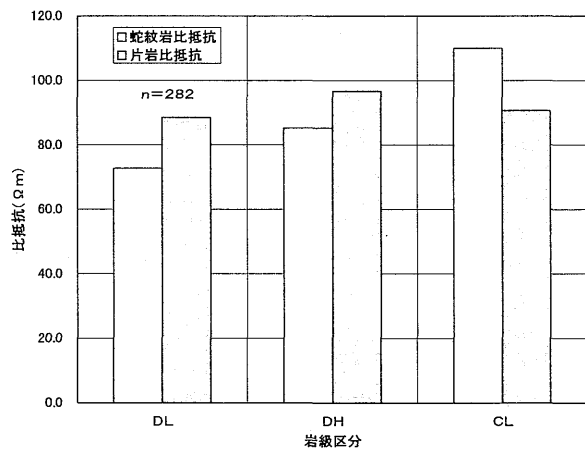


図-6 地質・岩級別平均比抵抗

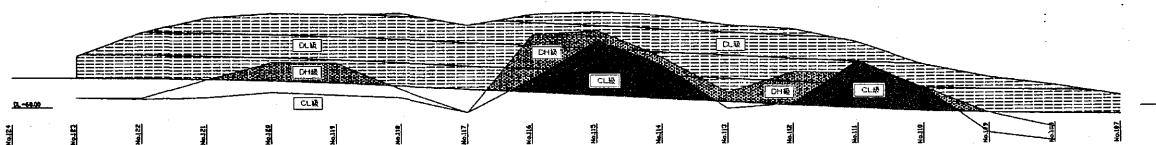


図-7 R側計画切土法面の推定地質区分（正面図）

5. 地山強度の決定

孔内リングせん断試験結果を表-2に、一面せん断試験（従来型）結果を表-3に示す。なお、一面せん断試験は地表部のDH級に相当する露頭でブロックサンプリングした試料を用いて実施した。

表-2 孔内リングせん断試験結果

孔番	試験深度 (GL-m)	地質名	岩級	N値	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)
Bor. No. 9	3.0	蛇紋岩	DL	14	22.5	3.0
	3.2	蛇紋岩	DL	14	24.2	3.0
	6.0	蛇紋岩	DL	36	24.7	6.0
Bor. No. 11	5.0	片岩	DL	6	25.0	2.0
	10.0	片岩	DL	34	30.2	1.0
Bor. No. 14	5.0	蛇紋岩	DL	10	25.8	6.0
	14.1	片岩	DL	35	17.0	13.0
	18.0	片岩	DL	50	26.5	25.0
Bor. No. 15	3.0	蛇紋岩	DL	13	25.7	11.0
平均		蛇紋岩		17	24.6	6.0
		片岩		30	27.2	9.0

※Bor. No. 14 孔のGL-14.1mの試験値は値が低すぎるため、異常値と考えられる

表-3 一面せん断試験（従来型）結果

試料番号	地質名	乱さない試料	
		Φd (°)	cd (kN/m ²)
①	蛇紋岩	28.2	7.0
②	片岩	29.8	7.0

※試験はすべて水浸状態で行った

孔内リングせん断試験は、N値50以下の地層が対象なので、ここではDL級を対象にして実施している。平均の粘着力は蛇紋岩で24.6°、片岩で27.2°となり、片岩の方が高い値を示したが、試験箇所でのN値の違いを反映している可能性がある。全体の平均N値は蛇紋岩の試験箇所での値に近い。

一面せん断試験では蛇紋岩・片岩共にほぼ同じ値を示した。また、粘着力は深度との相関をみると、図-8のように粘着力(kN/m²)=深度(m)の相関が認められた。

以上の結果から、蛇紋岩と片岩は強度的には同一扱いとし、安定解析用の設計強度を表-

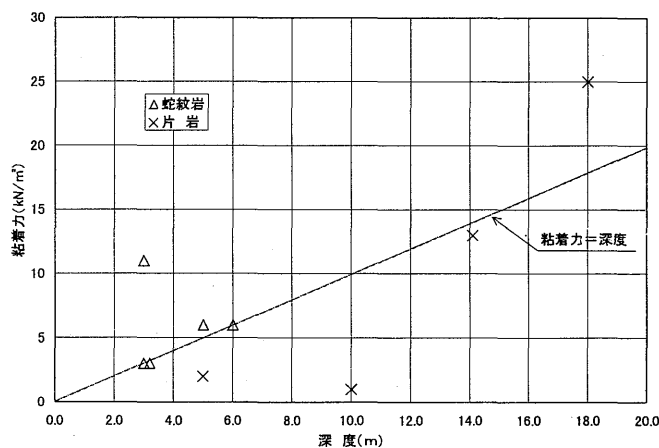


図-8 孔内リング深度-粘着力の相関

4のように決定した。なお、DL級の内部摩擦角は安全側に蛇紋岩の結果に近い値を採用した。なお、切土後の安定計算結果は、土砂状風化部が厚い箇所では $F_s=0.85$ 程度となった。

表-4 安定計算用設計強度

岩 級	γ (kN/m^3)	ϕ ($^\circ$)	C (kN/m^2)
DL	18.0	25.0	現地表面よりの深度に応じて 増加させる (粘着力=深度)
DH	19.0	29.5	

6. おわりに

本地区は地質構造が複雑であるために、安定解析はほぼ全測線で行わざるを得なかった。このためにボーリング断面以外の測線でも岩級区分の推定が必要であり、物理探査結果等の結果を利用した地質構造の推定を行った。また、切土前の調査であるため、安定解析上地山の強度を把握しておく必要があった。なお、本件はまだ対策工の設計段階であり、最終的な工法は決定していない。

本調査の土質試験の実施に関しては、山口大学工学部社会建設工学科山本哲朗教授に御指導・御協力を頂いた。あらためて厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 勇野喜・鷹野・連保 (1995) : 直接リングせん断試験機による残留強度試験に関する研究、第30回土質工学研究発表会、p. 713~716.
- 2) 勇野喜・鷹野・連保・八木沢 (1995) : 直接リングせん断試験法の破壊面近傍における間隙水圧挙動の検証結果について、直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム、P. 283~290.
- 3) (財) 高速道路調査会 (1985) : 地すべり地形の安定性評価に関する研究報告書、p. 162~164.