

路 網 設 計 の た め の  
簡 易 表 層 診 断 法

## 1. 林道の設計，施工にともなう岩質の程度

### I 試験担当者

機械化部機械科林道研究室長 福田 光 正

室員 小林 洋 司

### II 試験目的

道路の作設が機械施工中心に変わってきた現在，工事現場における岩質の程度は施工機械や施工技術の選択，適用については工期，工事費を決める大きな因子ともなっている。

特に，経済的な制約を強く受け，防災的な配慮を要する林道の作設施工は，その規模にともなう規格，構造の大小を問わず，予定路線道路敷の内外およびその周辺林地の表層地質条件に大きく左右される。従って，この条件のうち岩質に関して，林道の設計，施工と直接関係のある問題点を取りあげ，弾性波探査法（物理探査手法の一つで地震探査法ともいう）を主に，表面硬度法，簡易試験法等を加え，段階を追って土質工学的な究明を行なう。このように，簡易で効果的な表層診断法の開発を行なうが，具体的には岩質の程度を数値化し，導入機械の施工難易，土木材料としての適用の可否，施工法の選定等との関連づけから限界となる基準を検討し，そのチェックマニュアル化をはかる。さらに，あわせて，安定して必要精度がえられ小型軽量で堅牢な簡易計器本体，付属部品の改良や，電圧の安定を含めた電源確保その他測定にともなう諸問題の解決にあたる。

### III 試験の経過と得られた成果

#### 1. 試験の経過

（昭和44年度）

初年度は，サイズモカウンタ（測機舎製携帯用弾性波速度時間計）にシンクロスコープSS-4200（岩崎通信機製ポータブルタイプ，インバーター付）による2現象の同時波形観測を加えて野外測定を行ない，カウンタによるデジタルランプ表示値の裏付けとなるアナログ形式の波形からの時間をチェックして速度要素の精度を高めた。シンクロスコープの場合は，トリガーをかける以前に外部同期をかけてブラウン管オシロスコープにうつる波の立上り位置を接写写真によりつかむこととなる。沈礫，堆積岩を対象にその地帯を選び，林道の切取り面と切取り肩上付近の現地試験を進めた。試験地はいずれも名古屋営林局



管内の岐阜県下国有林林道（9月中旬 兵衛谷，唐谷 11月下旬 佐口谷）である。その間，同一試験地，同一箇所での追跡調査も二，三行なっている。

そのほか，当場浅川実験林内サクラ展示林道昭和42年度施工区間の峠地点測点820～847，IP34～35の間に試験地を設定し，6月下旬より7月上旬までの間に現地設定打合せ，試験地の刈払いおよび測量を済ませ，峠のはり出た法面をさらに切取り，路面を拡幅する予定箇所となっているその試験地に縦横の測定基線を設けて7月中旬，8月上旬，9月上旬と3回にわたり試験を行なった。

測定に使用した機械器具は，携帯用のサイズモカウター本体やポータブルなシンクロスコープ本体のほかに，キヤノンFTカメラ，角型接写装置UP-8，ピックアップAP-500（仁丹テルモ製チタン酸バリウム圧電型），ピックアップ固定棒（土用の長さ90cm，60cm，40cm，15cmと岩用のハーケン式長さ8cmの各種数組），起震用手打ち鉄ハンマーと建設紙打銃ドライブユニット440利用による起震装置，カウンター用としてシルコバットBST4-12（古河電池製オートバイ用バッテリーDC12V）とシンクロスコープ用としてモノバタ1-C型N50（古河電池製自動車用バッテリーDC12V），その他コード，工具類，叩鉄板等である。

さらに，室兼林道佐口谷支線では，林道の切取りのり面とのり肩上の追跡調査事例をえるため，昭和42年度と同一試験箇所を満2年経過した時点における昭和44年度に再度測定している。

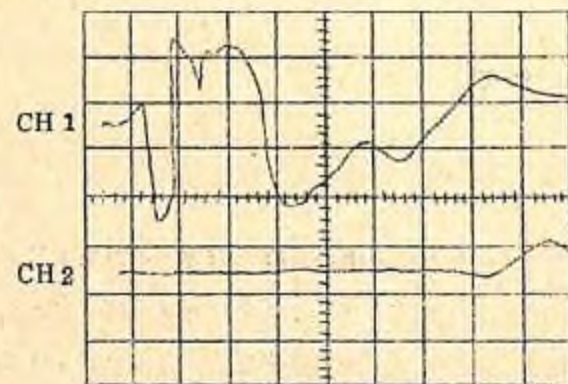


図-1 桜展示林道での一例  
CH1 200mv/div  
CH2 20mv/div  
SWEEP TIME 2msec/div

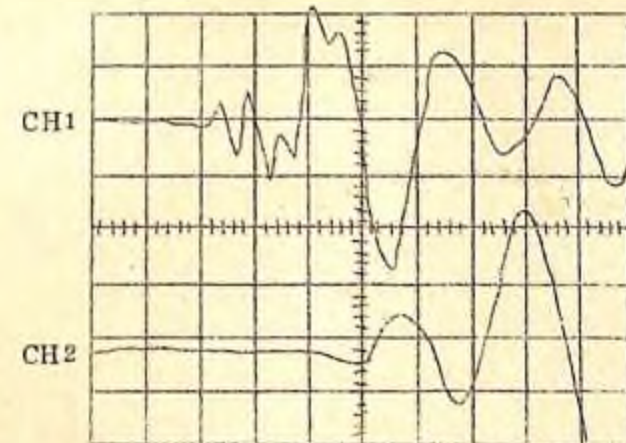


図-2 佐口谷林道での一例  
CH1 100mv/div  
CH2 50mv/div  
SWEEP TIME 1msec/div

野外で行なう2現象観測のさい，シンクロスコープSS-4200のブラウン管上にうつる波形は図-1，図-2のようになる。CH1（チャンネル1）は震源に近い側のピックアップが捕えた波形，CH2（チャンネル2）は震源より遠い側のピックアップが捕えた波形である。ここで注目すべきことは，CH1の一格子当り電圧変化がCH2のそれよりも大きいことである。震源に近い側は，遠い側より直接大きな伝播エネルギーがぶつかるので比較的大きな電圧も単位格子のなかに入ってしまうように予めコントロールしておく必要がある。

画面上下各波の立上り点における水平成分差を，一格子当りのSWEEP TIME（掃引時間）を基準として割り出せば，両ピックアップ間を伝播する弾性波の時間をカウンターの計数値とは別に知り，これをチェックすることが出来るのである。

（昭和45年度）

第2年度は，浅川実験林の試験地に野外調査をしぼり，6月上旬に掘削施工後の新切取り法面，法肩上等周辺の計器および肉眼による観察を行ない，初年度に実施した施工前の探査結果と対比させた。一方，現地より持帰った原石から岩石試料を作り，パルス発生機SPG-5A，振動子UPD-30，試料支持台（以上，開発電子測器製，図-3，図-4参照），メモリスコープMS-5103（岩崎通信機製，蓄積管を備えた特殊シンクロスコープ）等，一連の超音波試験装置（図-5参照）による精密波形観測を行ない，岩石の種類や状態の変



化による弾性歪伝播波形の差異，野外観測波形との対比，起震時の波に対する受信波の減衰など考慮して若干考察を加えたが，これらの室内実験を軌道にのせるまでには至らなかった。

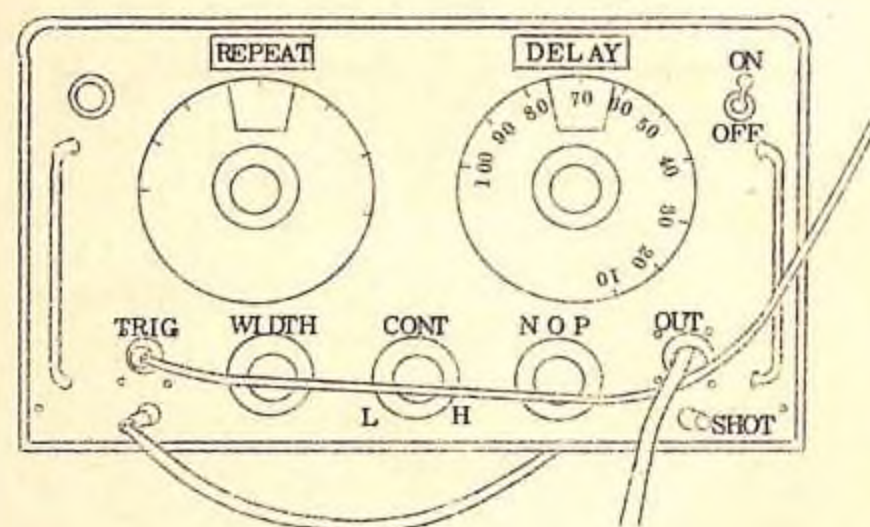


図-3 パルス発生機SPG-5A

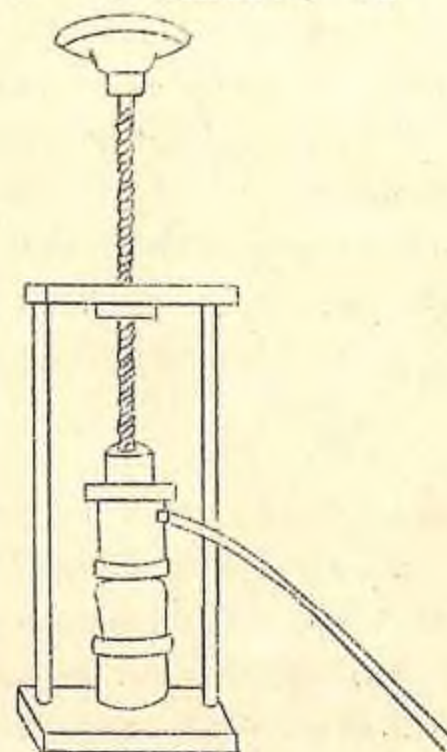


図-4 振動子UPD-30および試料支持台

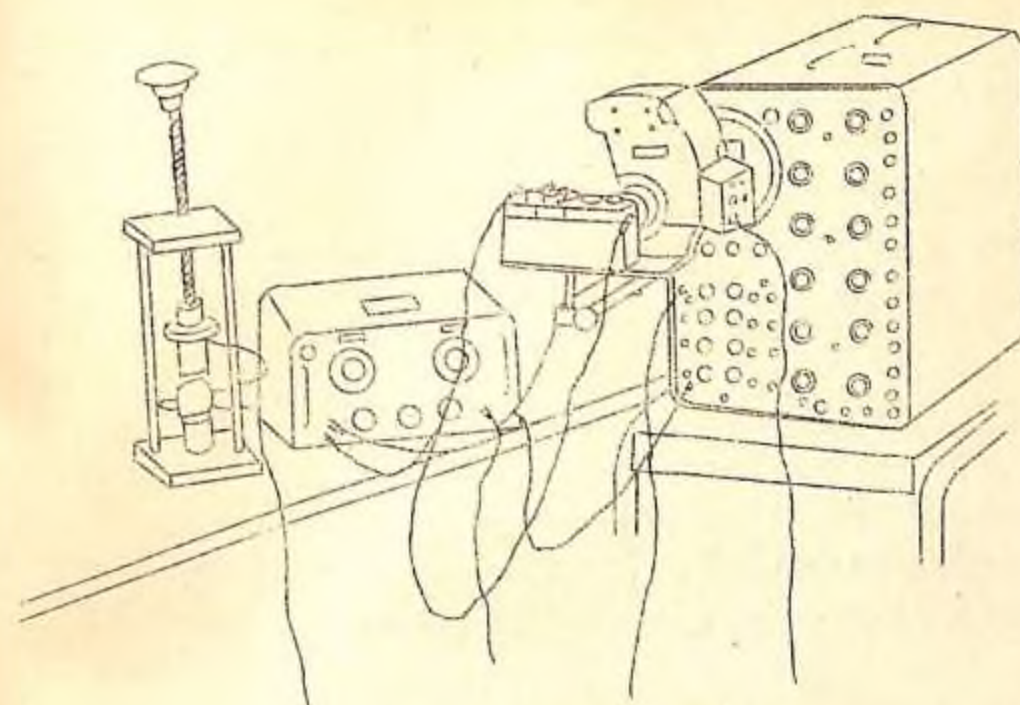


図-5 超音波試験装置

パルス発生機SPG-5Aは，電圧振動子を周期的に励振して超音波パルスを発生させるパルスジェネレーターである。周波数200KHz。メモリスコープは，プラグインユニット方式で低周波信号から瞬時現象まで広帯域観測が可能である。なお，メモリスコープには，丸型接写装置UP-7をつけて波形写真を撮影した。

（昭和46年度）

第3年度は，2カ年間使用してきた携帯用測定機器類に対する反省として，野外における2現象観測自体の非効率さと不合理さ，また，ボラロイドカメラでない限り，ブラウン管にうつる波形の写真記録，しかも多くの枚数を撮らねばならぬので経済的にも困難なこと，さらに，本体，ピックアップ，コード，起震装置，蓄電池その他の運搬，管理，測定時の操作等その煩雑さを考えるとき，今までの形式で限界ならば他の形式でもよい，精度を落さず極度に小型軽量化して一切をトランクケースに収めた地震探査装置がないか探したところ，ハンディーサイズモグラフPS-5（応用地質調査事務所製小型地震探査装置）が諸条件を満たしているようなので，これによる現地測定にきりかえ使用した。この簡易なオツシログラフ型探査装置は，測定距離を今までの10m内外にくらべて更に拡大出来，同一起震による



弾性波を同時に6成分観測が可能で、浅い表層構造の屈折法による診断には簡易性と機動性を発揮するものと思われる。

試験は、昨年度と同じ浅川実験林の試験地を選び、11月下旬、PS-5によるA'観線観測を行ない、従来の方法による測定値と対比し考察した。

年度末には、球体落下簡易CBR試験機（谷藤機械工業製土質試験機）によるA'観線の支持力調査も行なっている。

（昭和47年度）

最終年度は、昨年度にとりあげたPS-5（6成分多芯テークアウトケーブル）の林地現場における適応性を知るため、既設林道のり面およびのり肩上で予備調査をはじめ、林地施工前予定路線の縦断観測すなわち、これら地震探査器本来の働きである基岩にかぶった土上よりする内部探査を7月中旬に行なった。試験地は前橋営林局管内の群馬県下国林林道である。

いずれにせよ次の段階として早急に、林道の機械施工における難易度と工法選択の判定を弾性波速度およびリップビリティとの相関において適確につかみたいと思っている。

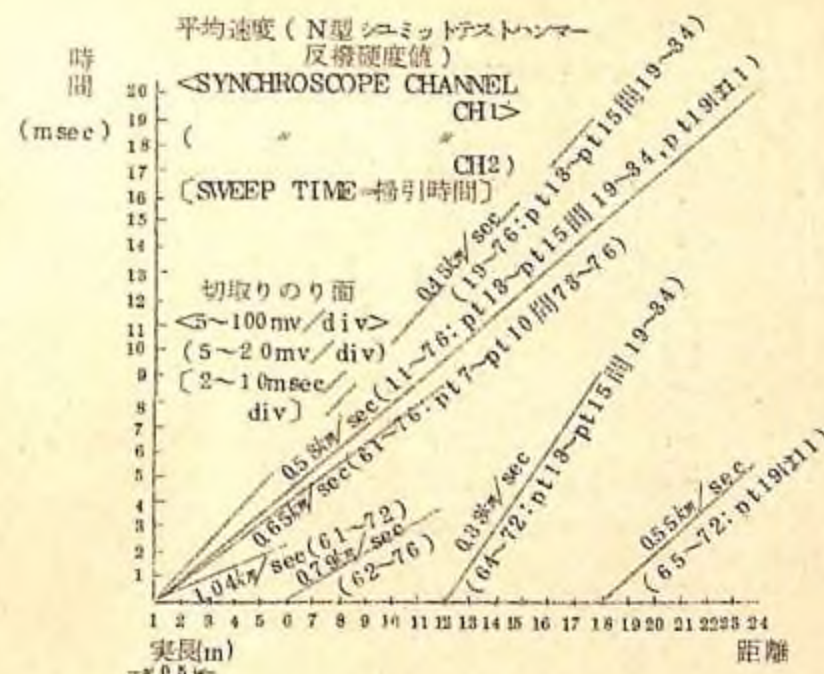
## 2 試験の成果

（昭和44年度）

### ○ 兵衛谷（岐阜県益田郡兵衛谷、小坂営林署管内） 輝緑凝灰岩

節理に沿って岩塊状に風化している輝緑凝灰岩の切取りのり面と切取りのり肩上に、おのの水平距離12mの測線を設け、図-6のような走時グラフを得た。測点間隔0.5m。

岩のN型シュミットテストハンマー反発硬度値が61~76と硬岩相当の値を示しているにも拘らず、平均弾性波速度値が0.65~0.79 km/secと遅く、固結状態の材料値を表わしていないのは、節理による縦におった亀裂の影響と思われる。測点18~15の間と測点19にN型シュミット値でそれぞれ19~34, 11と、他に比し岩質の軟らかい傾向がみられるが、その傾向は弾性波速度値にも測点12~18の間で0.38 km/sec 測点18~24の間で0.55 km/sec と出ている。





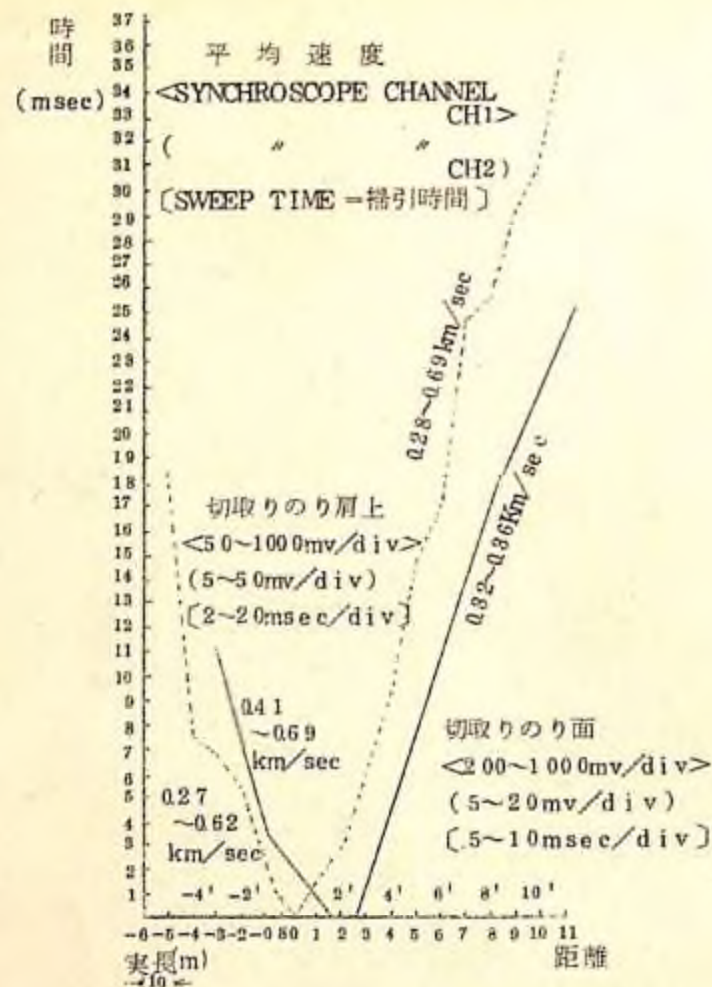


図-7 唐谷林道(石灰岩)  
古川営林署管内(岐阜県吉城郡)

○ 佐口谷<sub>底</sub>1(岐阜県加茂郡七宗, 下呂営林署管内) チャート (西向斜面)

褐色の岩質そのものは、チャートにふさわしく緻密でかたいが脆く、ピックアップの固定がむずかしかった。なかには、割れ目が著しく発達し、風化による岩塊間で岩のゆるんでいる部分もあった。同じ試験箇所(測点12~18)での、切取りのり面2年後観測結果は図-8のように測定値が昭和42年度の0.59~1.03 km/sec に対し昭和44年度は0.38~0.64 km/sec と遅くなり、風化の差が平均弾性波速度値に出ていると思われる。

測点16を中心とした切取りのり面速度分布をみると、路側のり尻に近い測点15-1, 17-1付近が1.00 km/sec 以上で、基岩に近いほど風化のすすんでいることが推察された。一般に、この法面およびその周辺は層理、走向にあまり関係なく0.55 km/sec 前後の値を示しているようである。水平距離20mの測線。測点間隔1m。

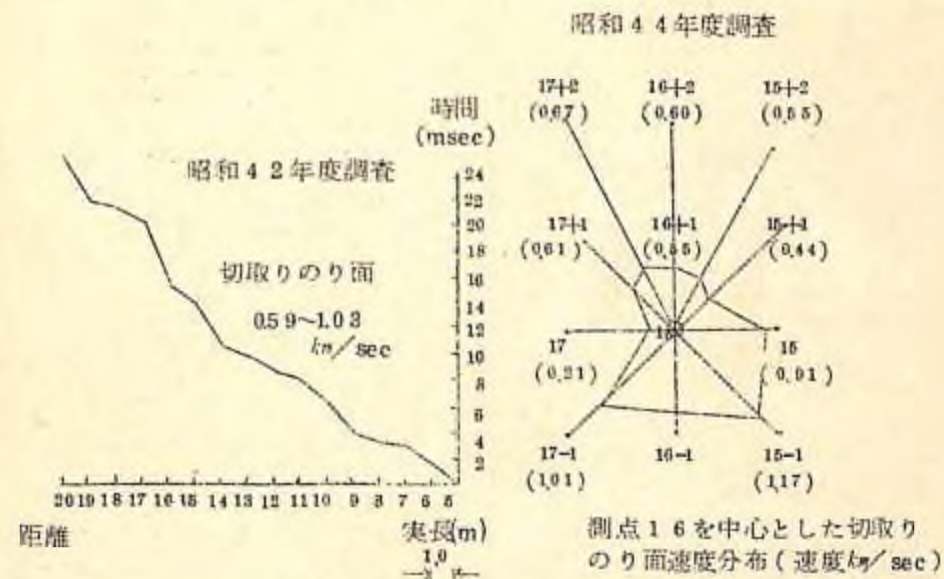
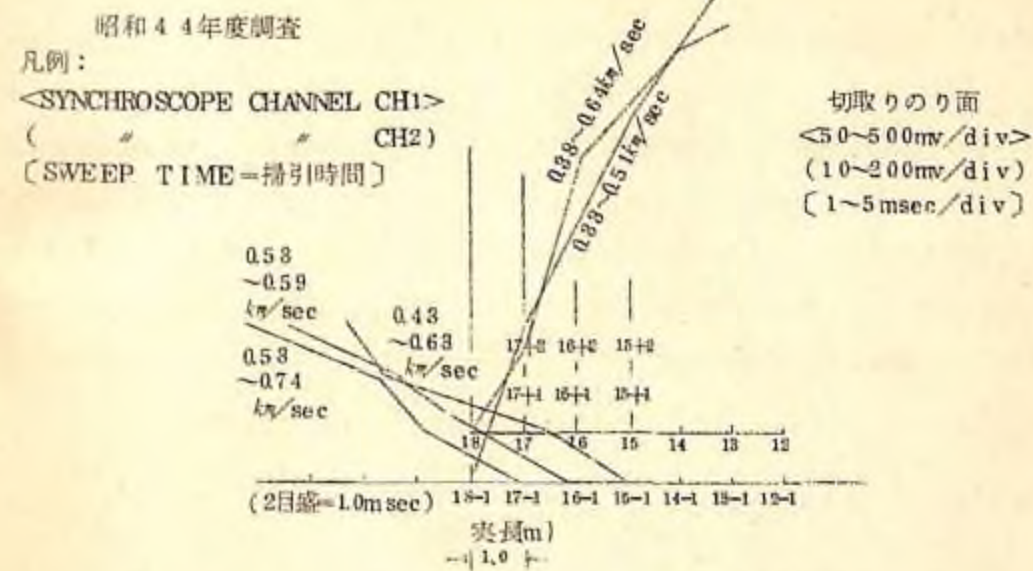


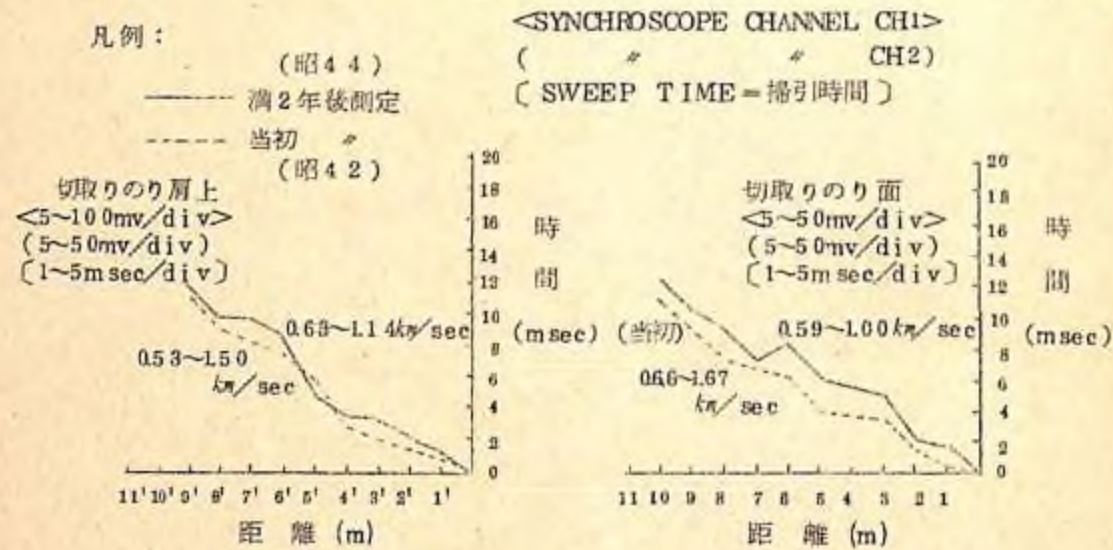
図-8 佐口谷林道<sub>底</sub>1(チャート)  
下呂営林署管内(岐阜県加茂郡)

○ 佐口谷<sub>底</sub>2(岐阜県加茂郡七宗, 下呂営林署管内) チャート (南向斜面)

褐色のチャートで、褶曲作用等により細かい多数の亀裂、岩の目はみられるが、試験地全体としては佐口谷<sub>底</sub>1より岩のゆるみが少ない。切取りのり面とのり肩上に、おのおの水平距離11mの測線を設け、図-9のような走時グラフをえた。測点間隔1m。切取りのり肩



上の表土はきわめて薄く、のり面同様の風化露岩にピックアップを固定し、表土上からする測定としては比較的高精度で計測作業を実施することが出来た。平均弾性波速度値も0.59~1.00 km/sec, 0.63~1.14 km/sec とのり面、のり面上での数値に大差がみられなかった。また、切取りのり面およびのり面上において、昭和42年度の測定値がそれぞれ0.66~1.67 km/sec, 0.53~1.50 km/sec であったのに対して、昭和44年度は0.59~1.00 km/sec, 0.63~1.14 km/sec と遅く、2年の風化によると思われる差が速度値にあらわれている。測点5を中心とした切取りのり面の速度分布は、層理、走向にあまり関係なく0.46 km/sec 前後の値を示しているようである。



測点5を中心とした切取りのり面 (昭44)  
 速度分布 (速度 km/sec)

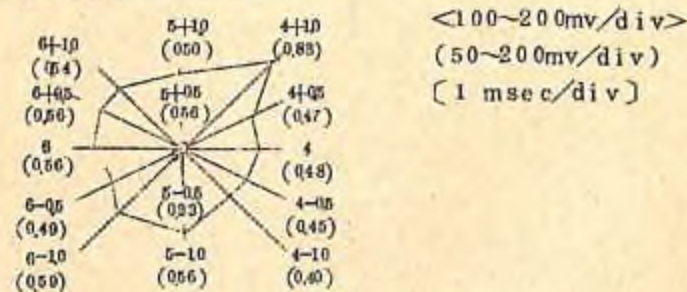


図-9 佐口谷林道 Ⅱ2 (チャート)  
 下呂営林署管内 (岐阜県加茂郡)

○ 桜展示 (東京都八王子市長房町, 林業試験場浅川実験林内) 凝灰質砂岩

当初、曲線半径10mを2つつないだ線形で設計、施工されていた時の両切部分を、内側の法面を、大幅に切取り掘削して路面を拡幅し、少しでも見通しの良い線形にするための改修を機に試験地とした。図-10はその全景。

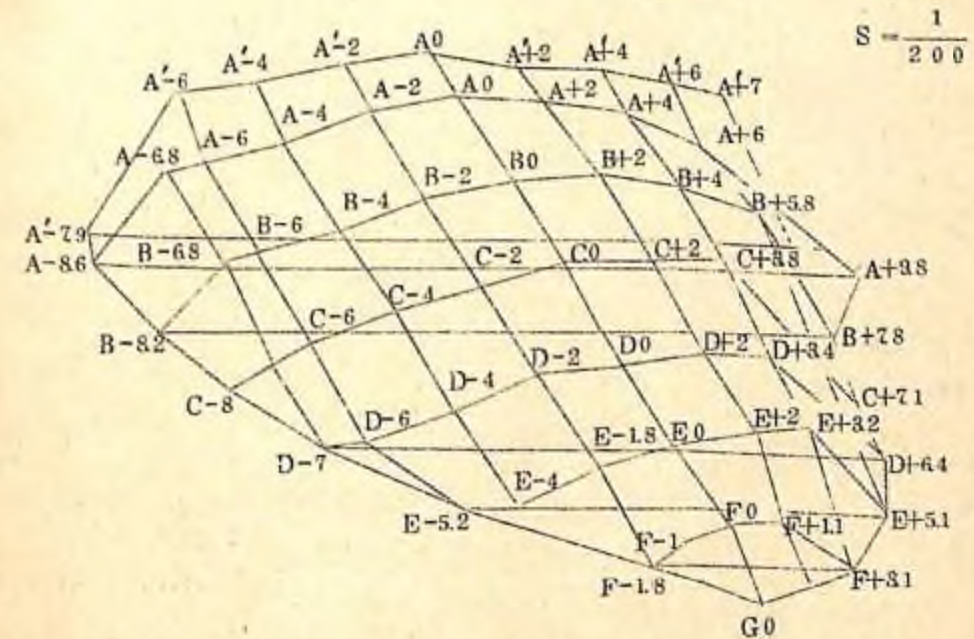


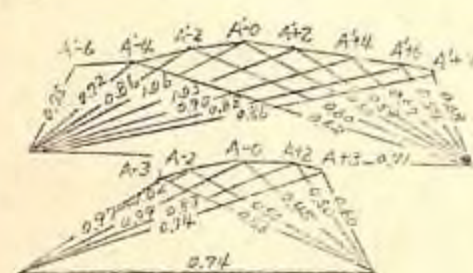
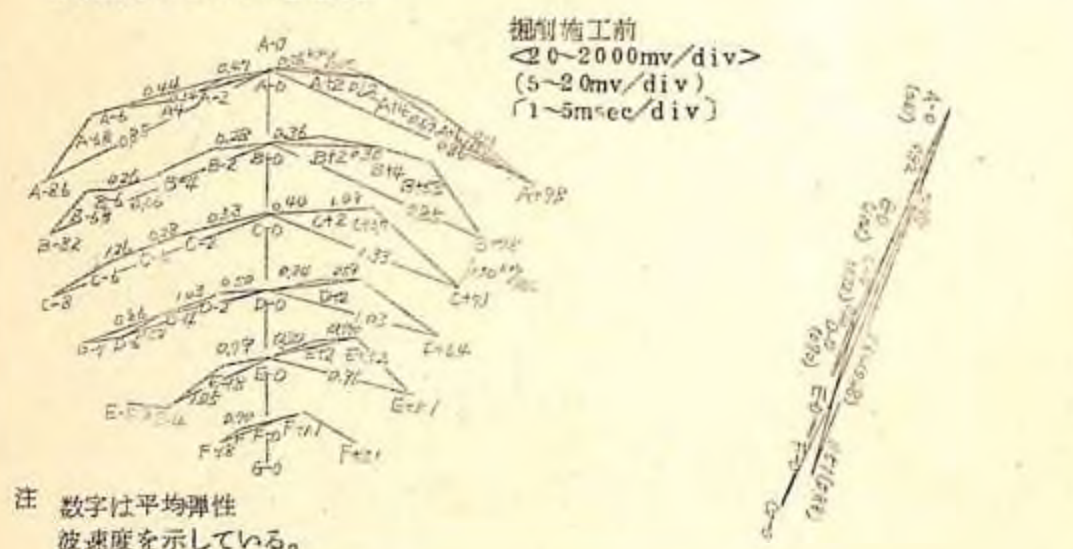
図-10 桜展示林道試験地全景  
 林業試験場浅川実験林

細かい目のはいった凝灰質の風化砂岩で、平均弾性波速度値は、図-11の掘削施工前図 (向かって左)でもわかるように、A測線における法面上付近で0.34~0.62 km/sec, 略側法尻付近の基岩に近いところで1.03~1.52 km/sec あった。また、のり面に沿い水平方向に2m間隔、垂直方向に林道路面から高さ0.5mと1.5mのところに、水準と垂直の打撃可能な測定箇所をおのおの設けてシュミットテストハンマーN型による表面硬度試験を行なった結果、水平面打撃の平均値が10、垂直面打撃の平均値が18で、いずれもN型シュミット値は80以下の値を示した。昭和45年2月下旬より3月上旬にかけてシヨベルドーザCAT951 (キヤタビラ三菱製履帯式トラクタシヨベル, 総重量11ton, バケット容量2m³) のみによるこの掘削改修工事を行ったが、本建設車輛にとって、この程度の



岩掘削は格好のものであったと思われる。

掘削工事の対象となった地山土量は274.7 $m^3$ である。従って、ほぐした運搬土量は2〜3割増の342.4 $m^3$ となる。



凡例: <SYNCHROSCOPE CHANNEL CH1>  
( " " " CH2)  
[SWEEP TIME = 掃引時間]

図-11 桜展示林道(浅川)(凝灰質砂岩)  
林業試験場浅川実験林(八王子市)

(昭和45年度)

○ 桜展示(東京都八王子市長房町, 林業試験場浅川実験林内) 凝灰質砂岩

掘削施工後の新切り法面, 法肩上等周辺を対象に, サイズモカウンターとシンクロスコープSS-4200の両計器を昨年度と同様の手法で同時に使用し, A測線, A'測線の2

現象観測を行なった。その結果は図-11の掘削施工後図に示している。これにより, 林道の路側法尻から切り法肩上付近に至る平均弾性波速度値を施工前と比較すると, A<sub>0</sub>より左, A-2, A-4……とマイナス側では, 施工後0.72~1.06 $km/sec$ , 施工前0.85 $km/sec$ と殆んど差はみられない。しかし, A<sub>0</sub>より右, A+2, A+4……とプラス側では, 施工後0.45~0.68 $km/sec$ , 施工前0.67~1.13 $km/sec$ と差が出ており, 施工後における速度低下の傾向がはっきりあらわれている。これは, 施工により内部割れを付けていた岩が取除かれたこと, また, 施工中, 掘削振動が直接伝わったこと等, 残った岩にゆるみを生じたためと思われる。新のり面の肉眼による観察では, のり肩付近の表土層は深さ1m程度であった。

○ 林業試験場櫛内林道実験室における室内試験

岩石試料の動的物性を実証的に調べるため, 超音波発振により急激な応力変化を岩石に与え, 極めて短時間に起る内部変化を追求する超音波試験もわずかではあるが試みた。

岩石試料は, 原石の岩塊をダイヤモンドカッターにより直方体に切断, 整形したもので自然乾燥状態にある。その供試体の六面に各々a, b, c, d, e, fと記し, 相対する三方向a-c, b-d, e-fと, その逆のc-a, d-b, f-eの計六方向について実験を行った。発信用振動子と受信用振動子により挟まれる岩面には予めワセリンを塗った。これは, 試料が厳密には直方体でないこと, 表面が必ずしも平滑な面とはいえないこと等接触面の空隙による影響を出来るだけ少なくする意味である。さらに測定条件として当然のことであるが, 岩石試料は使用波長より大きくなくてはならない。岐阜県七宗産試料による試験結果の一例を示すと, 岩石種類チャート(密度2.89, 寸法5.08×4.74×4.23 $cm$ )の測定面a-c, c-a, b-d, d-bにおける伝播速度値( $km/sec$ )は, おおの5.64, 5.64, 3.95, 3.95で, 発信側と受信側とを逆にしたときの伝播速度は変らなかった。しかし, 試料は層状の亀裂が肉眼でも認められるくらいで, 岩石の異方性によるものと思われるが, 他の対になっている面とでは速度を異にしている。

岩石は安全な弾性体(弾性係数で表示)でなく, 歪波の伝播にあたり, そのエネルギーのいくらかは岩石の内部摩擦(粘性係数で表示)により消失し, 波形の減衰となって現われる。この減衰形態は, 振幅と時間の指数関数関係にありそうだが, このたびは判然としなかった。

野外観測波形との対比では, 超音波のような周波数の高い波での室内実験結果をそのまま野外の, たとえば100Hz前後の低い周波数の波による測定結果にむすびつけることに対



(昭和46年度)

PS-5によるA'測線の観測結果は図-12のとおりで、その測定記録はそれぞれ図-3, 図-14, 図-15, 図-16に示す。

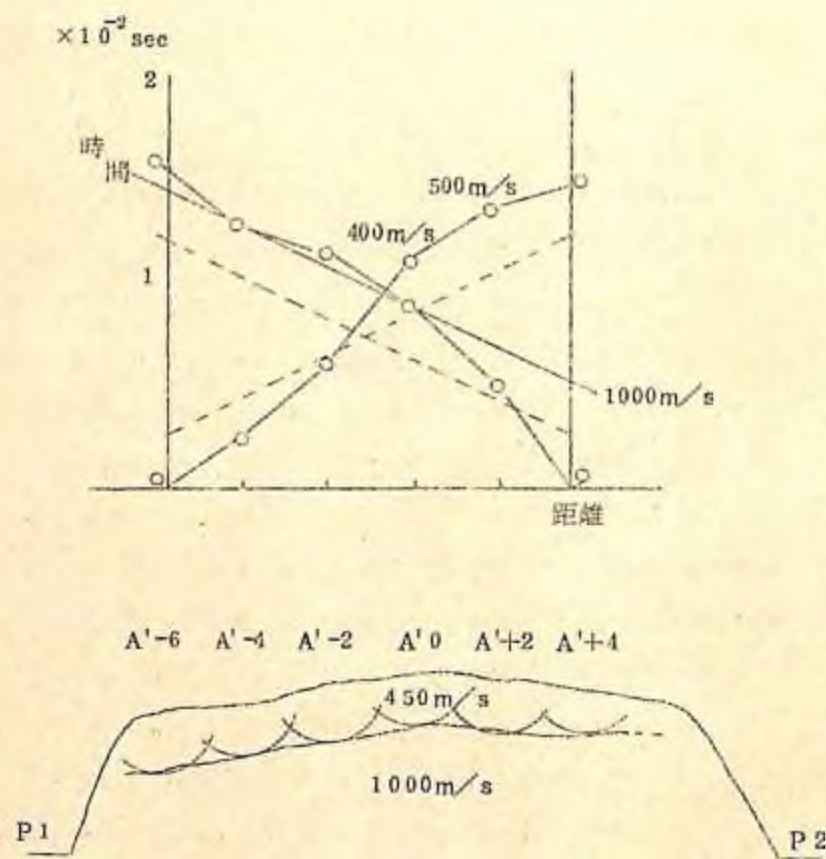


図-12 PS-5によるA'測線観測結果  
浅川実験林様展示林道試験地（掘削施工後）

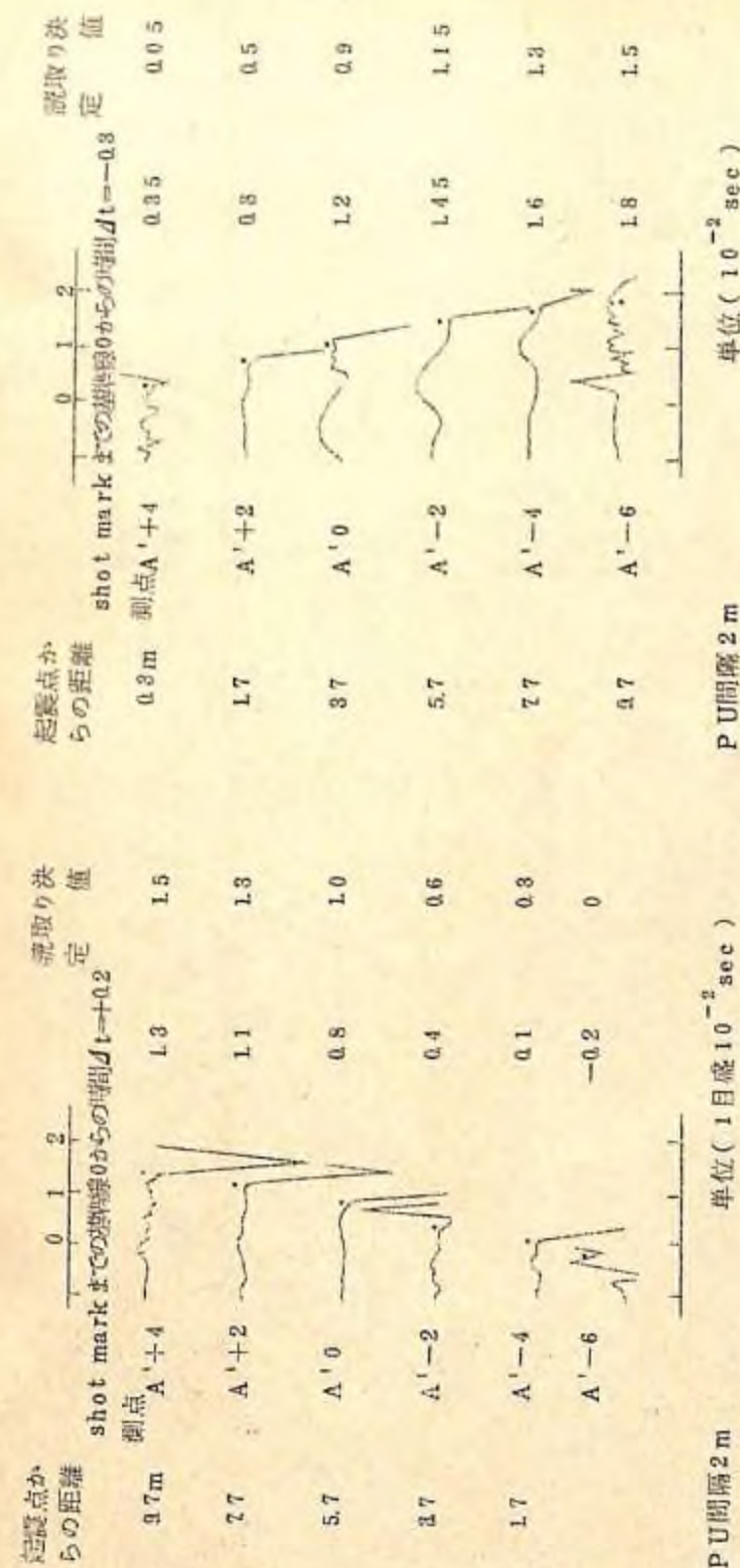


図-1-3 A'測線のり面上測定記録(往)

桜展示林道試験地

(起震点位置はA'測線上  
測点A'-6よりA'-4へ0.3mの点)

図-1-4 A'測線のり面上測定記録(復)

桜展示林道試験地

(起震点位置はA'測線上  
測点A'+4よりA'+2へ0.3mの点)



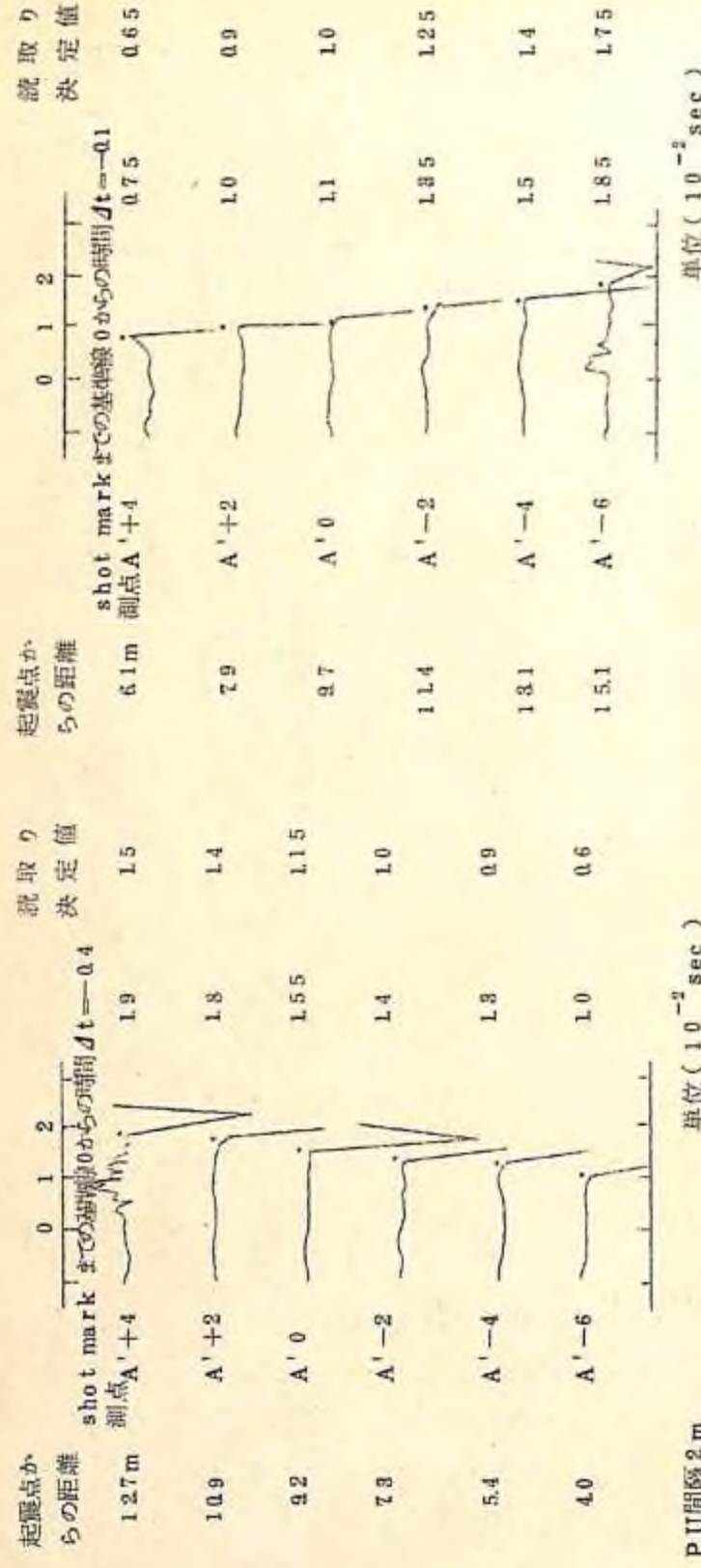


図-15 A'測線における法尻路面よりの扇形測定記録(左)

桜展示林道試験地

(起震点位置はA'測線上)

(測点A'-79付近の林道路側法尻)

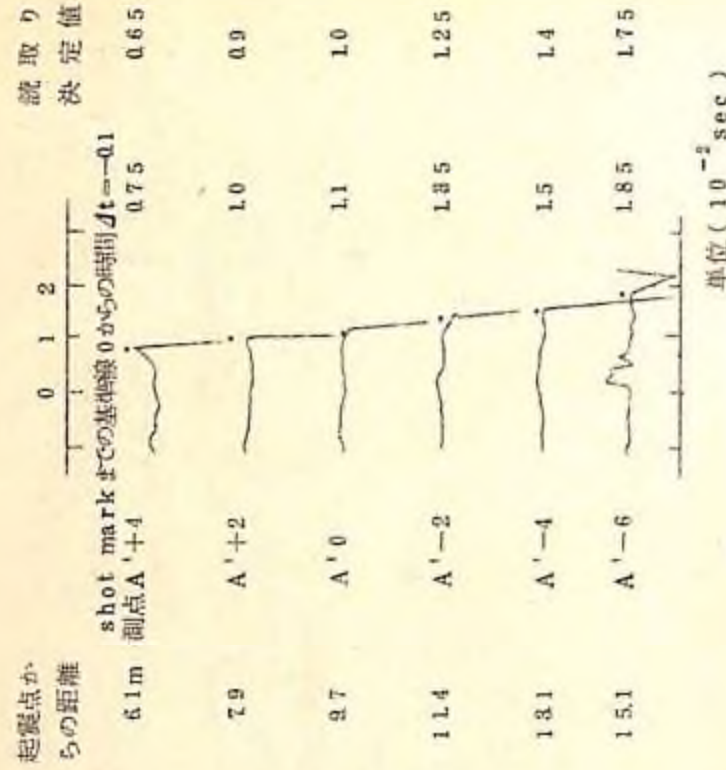


図-16 A'測線における法尻路面よりの扇形測定記録(右)

桜展示林道試験地

(起震点位置はA'測線上)

(測点A'+7側の直下、林道路側法尻)

のり肩付近の表土層は、深さ1.1~1.6m。層の構成は二層で、表土層の平均弾性波速度は、0.84~0.49 km/secと0.50~0.57 km/sec大きくても0.65 km/secまでである。A'測線における法尻路面よりの扇形測定記録(図-15, 図-16参照)から、表層と基層の二つの層を通過して、のり肩上の各測点に達した平均弾性波速度は、0.60~0.85 km/secと0.86~0.97 km/secであった。それらを加味して基層の速度は露頭測定から推定した。

球体落下簡易CBR試験機によるA'測線の支持力調査結果は概ね次表のとおりである。

測 点	D 値 (平均)	C B R 値	支 持 力 係 数	
			K <sub>30</sub>	K <sub>75</sub>
(林道路面)	(378~435)	(37~77)	(234~414)	(107~188)
A'+4	653	43	75	36
A'+2	538	128	130	59
A'0	646	46	79	38
A'-2	653	44	78	37
A'-4	548	114	125	57
A'-6	772	18	38	18

(昭和47年度)

○ 上沢渡(群馬県吾妻郡中之条町反下, 中之条営林署管内) 風化凝灰岩

[第1試験地]

火山性の砕屑岩を含む厚い転石交りの表土層と結合凝灰岩層からなる法高10m余の施工直後切取面で、向かって右下りに傾斜30°ぐらいで走る表土と基岩の境界は判然としている。

基岩の平均弾性波速度を知るため、のり面測定として、その境目にそって測線を設定した。また、表土の速度を知るため、のり肩上で測定も行なった。それら測定の記録は、図-17, 図-18, 図-19, 図-20のとおりである。

試験の結果、基岩の速度は0.64~0.80 km/secで0.75 km/secぐらい、表土は0.27~0.85 km/secで0.80 km/secであった。



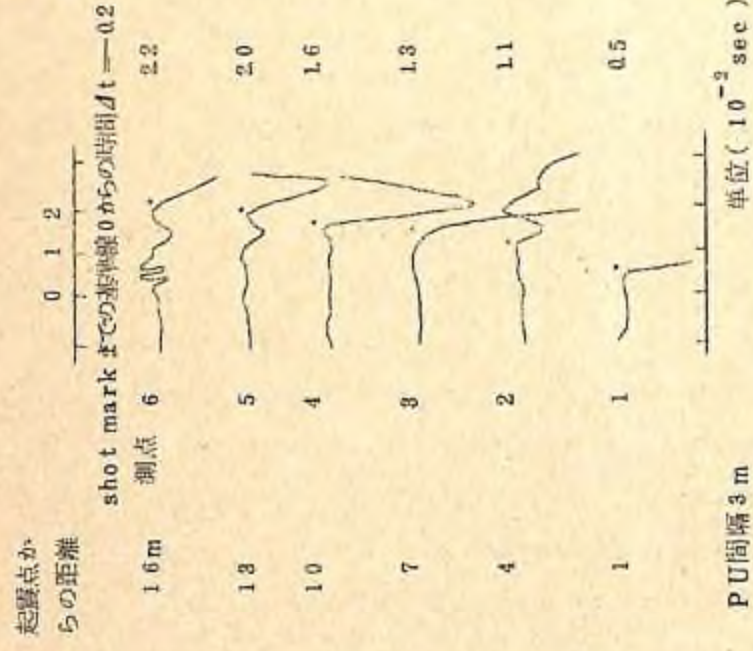


図-17 のり面測定記録(往)  
上沢渡林道(既設)第1試験地  
(起震点位置は測線上  
測点1より測点2と反対方向へ  
1mの点)

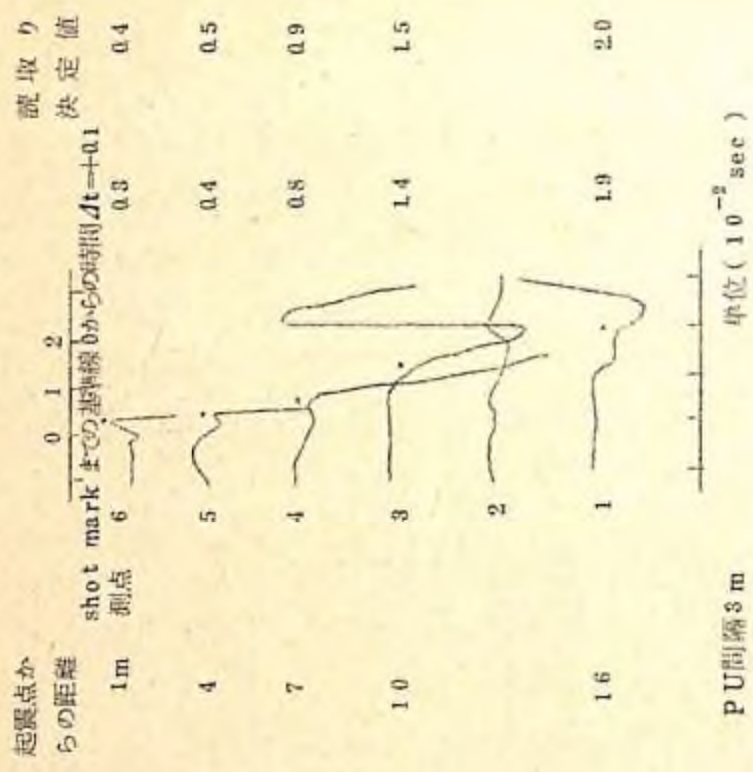


図-18 のり面測定記録(復)  
上沢渡林道(既設)第1試験地  
(起震点位置は測線上  
測点6より測点5と反対方向へ  
1mの点)

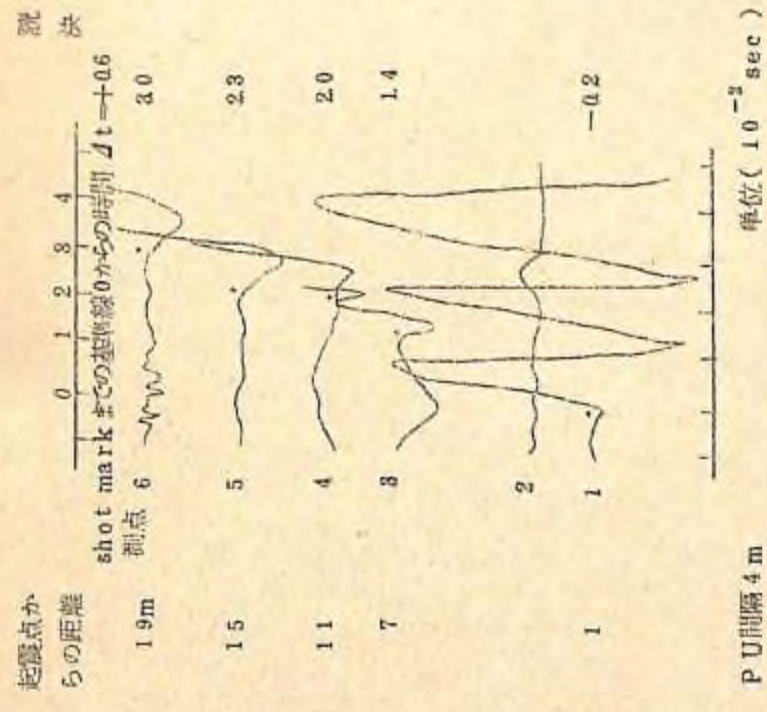


図-19 のり面測定記録(往)  
上沢渡林道(既設)第1試験地  
(起震点位置は測線上  
測点1より測点2の方向へ1mの点)

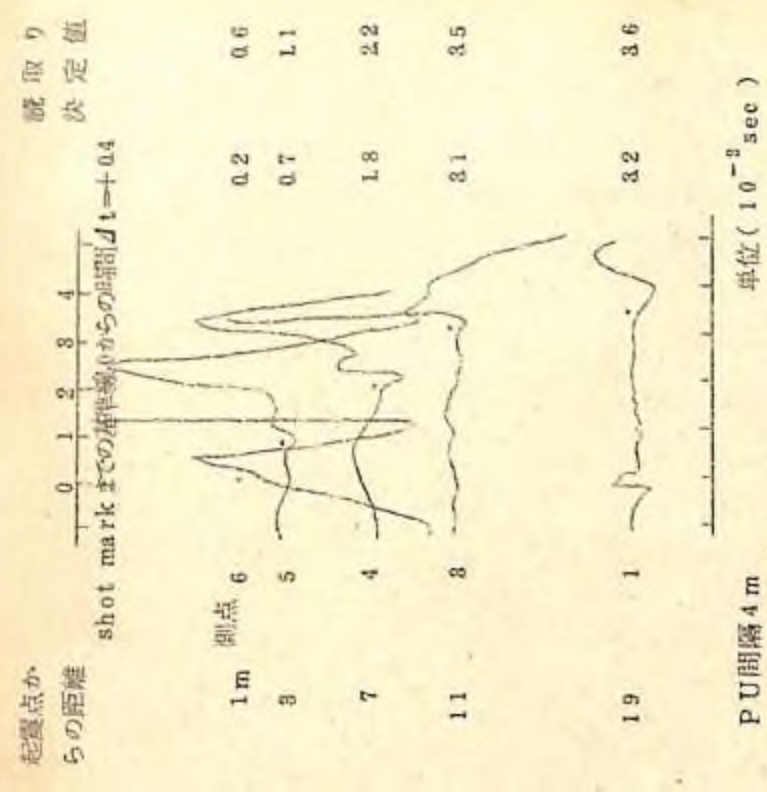


図-20 のり面測定記録(復)  
上沢渡林道(既設)第1試験地  
(起震点位置は測線上  
測点6より測点5の方向へ1mの点)



〔第2試験地〕

ガードレール状の手すりのある橋のきわで、のり面には吹付緑化工がほどこされている。

基岩は  $1.70 \text{ km/sec}$ 、表層は  $0.28 \sim 0.49 \text{ km/sec}$  で  $0.35 \text{ km/sec}$  程度、なお、ごく表面の薄い層は黒土で  $0.10 \sim 0.20 \text{ km/sec}$  である。

それらの測定記録は、図-21、図-22、図-23のとおりである。

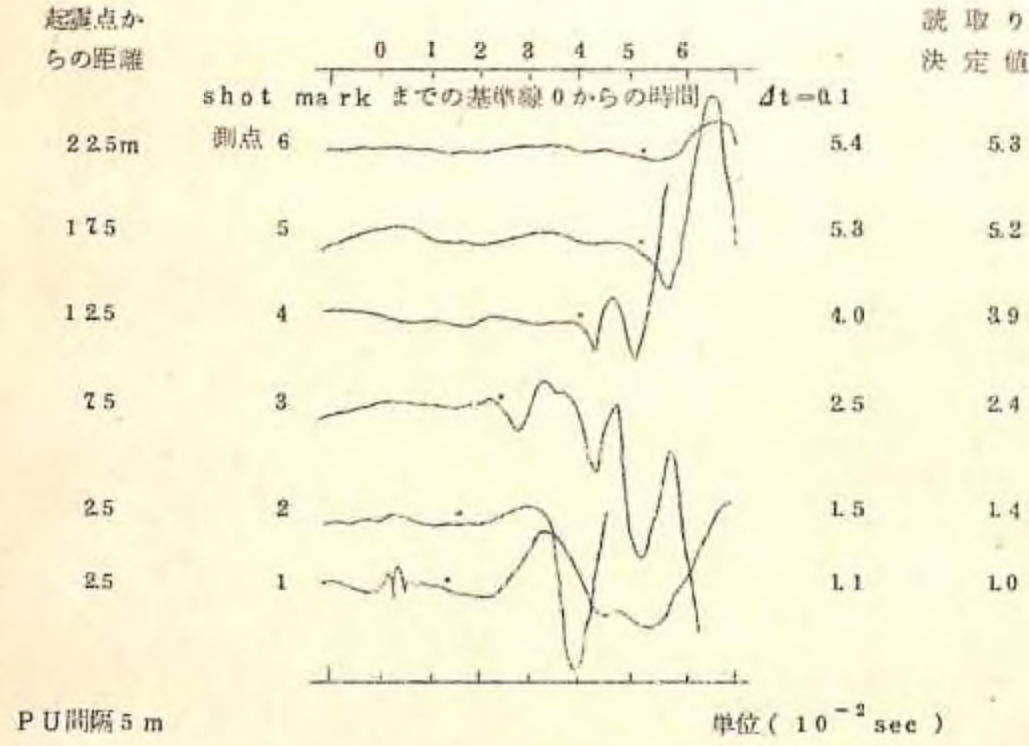


図-21 のり面上測定記録(往)  
上沢渡林道(既設)第2試験地  
(起震点位置は測線上  
測点1より測点2の方向へ2.5mの点)

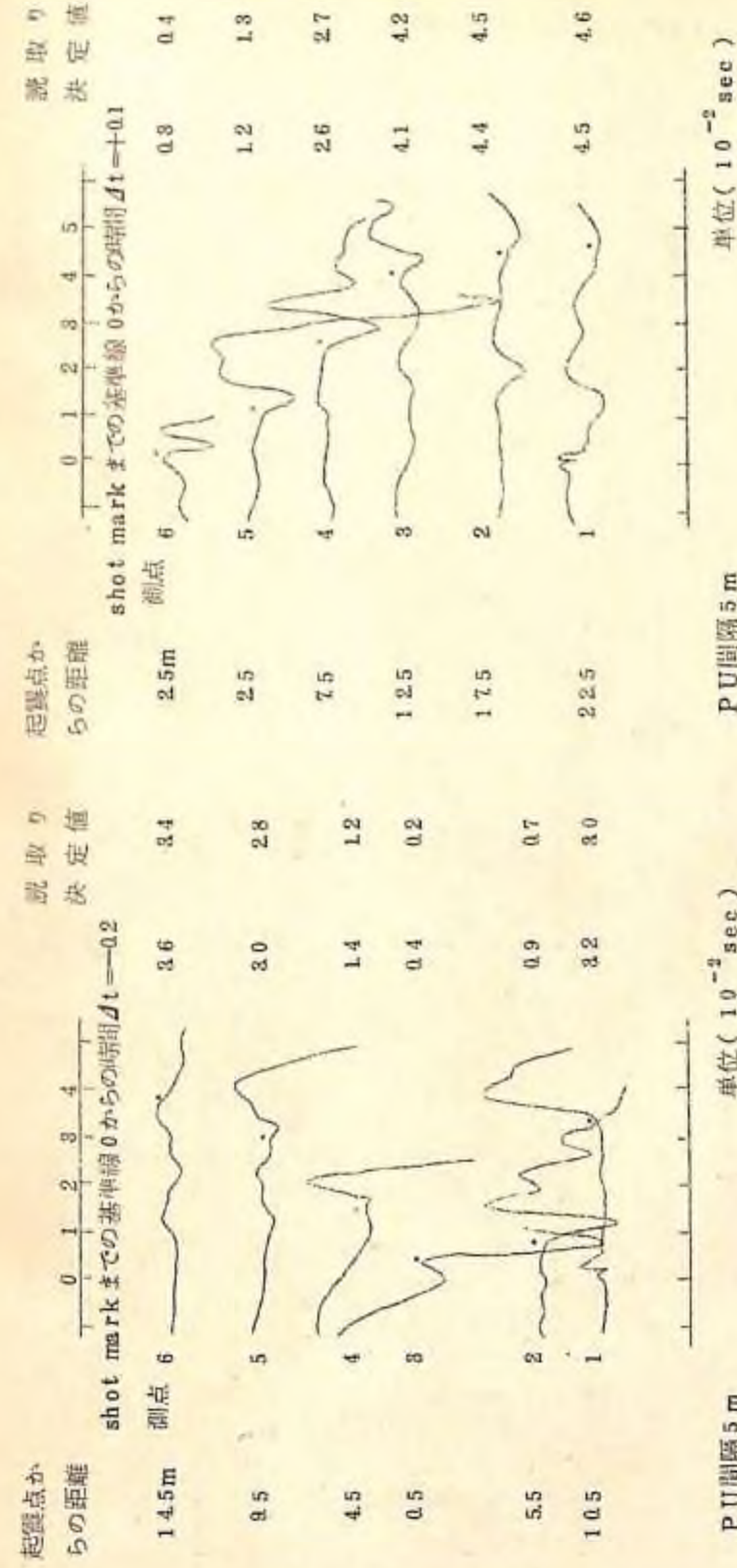


図-22 のり面上測定記録(中間)  
上沢渡林道(既設)第2試験地  
(起震点位置は測線上  
測点3より測点4の方向へ0.5mの点)

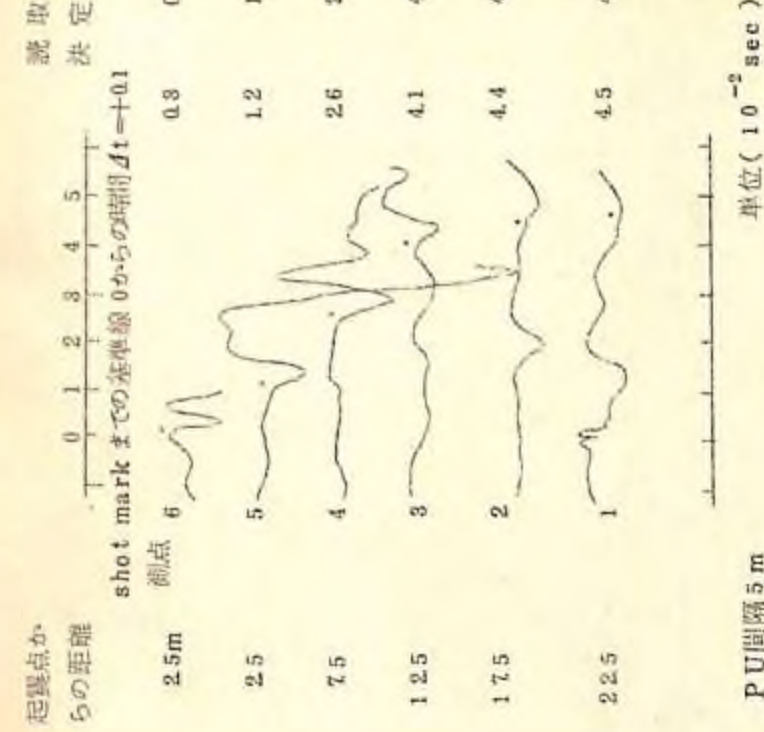


図-23 のり面上測定記録(復)  
上沢渡林道(既設)第2試験地  
(起震点位置は測線上  
測点6より測点5の方向へ2.5mの点)



○ 新潟(群馬県吾妻郡中之条町四万, 中之条営林署管内) 安山岩

[測点320]

近くに滝音のとどろく試験地で, さらに, 雨天等悪条件が重なったためか案の定, 記録が悪く, 走時解析法の原則となっている仮原走時のみでは解明出来ず, 零走時, 折点走時その他の手法もとり入れて解析した。

縦断と横断の観測結果, 測定記録は図-24, 図-25, 図-26, 図-27, 図-28のとおりである。

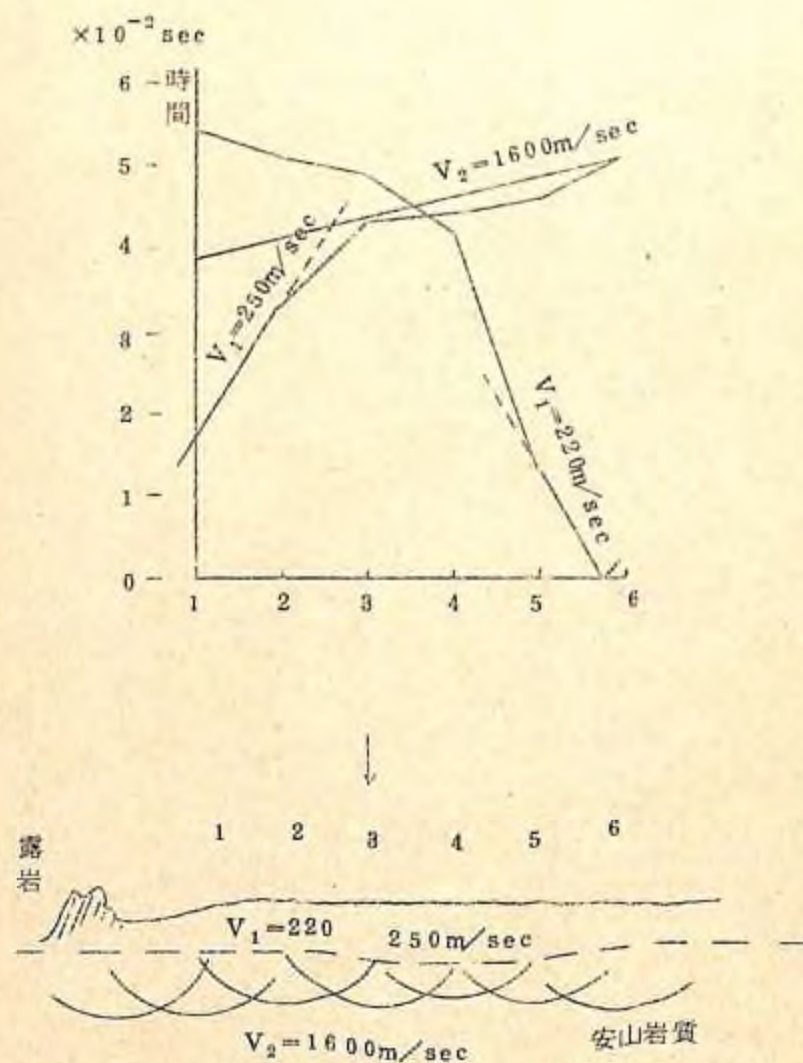


図-24 測点320の縦断観測結果  
新潟林道(施工前)



図-25 測点320の横断観測結果  
新潟林道(施工前)



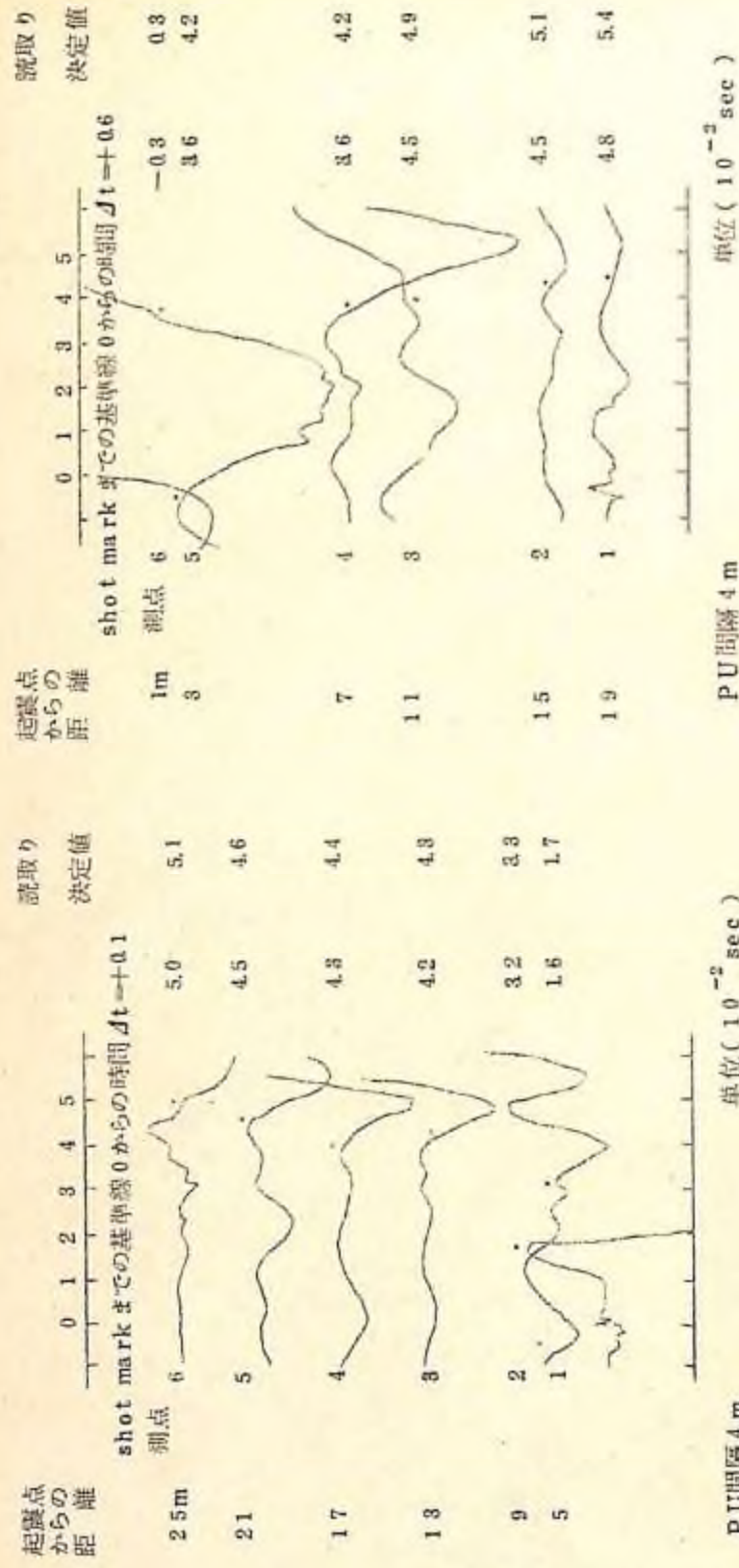


図-26 縦断測定記録(注)

新潟林道 測点 320

(起震点位置は測線上)

(測点 1 より測点 2 と反対方向へ 5 m の点)

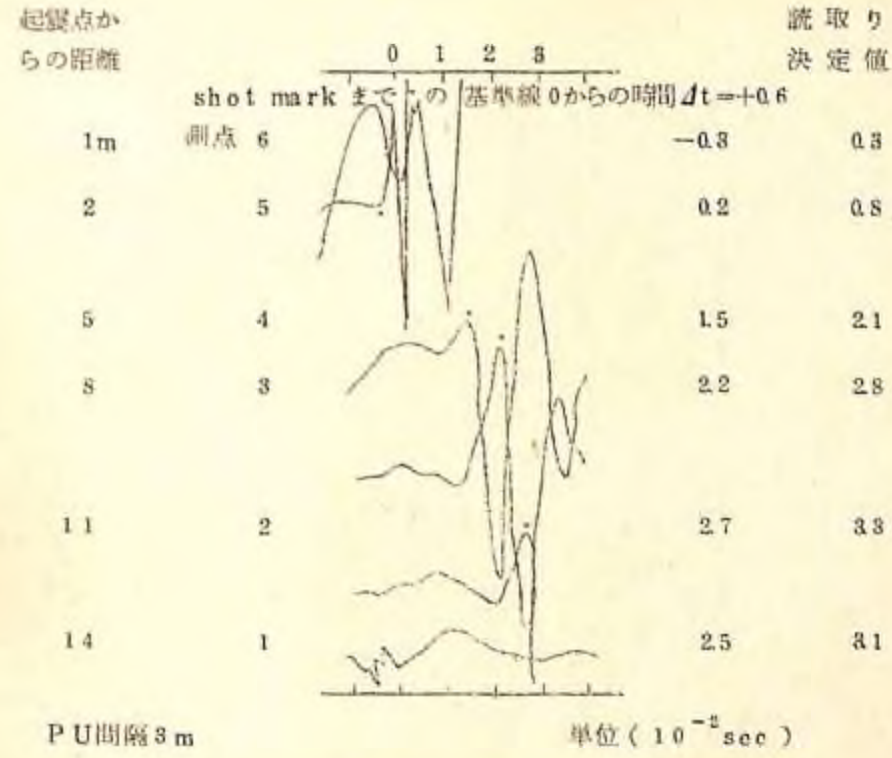


図-28 横断測定記録(復)

新潟林道 測点 320

(起震点位置は測線上)

(測点 6 より測点 5 の方向へ 1 m の点)

(測点 360-4 m)

測点 320 同様の悪条件で、特に、縦断の測定記録が悪かった。表層の速度は  $0.26 \sim 0.43 \text{ km/sec}$  で  $0.30 \text{ km/sec}$  ぐらいである。横断の表層速度は  $0.27 \sim 0.28 \text{ km/sec}$  で  $0.32 \text{ km/sec}$  であった。

縦断と横断の観測結果、測定記録は図-29、図-30、図-31、図-32、図-33、図-34、図-35 のとおりである。



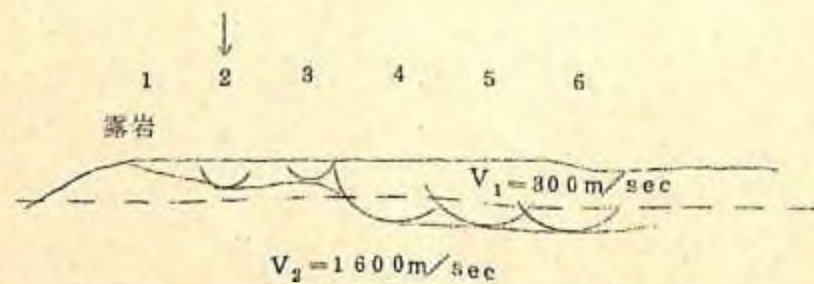
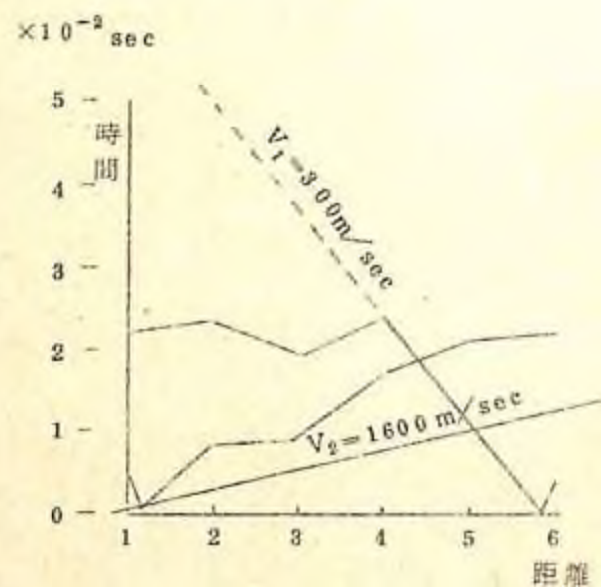


図-29 測点360-4mの縦断観測結果  
新湯林道(施工前)

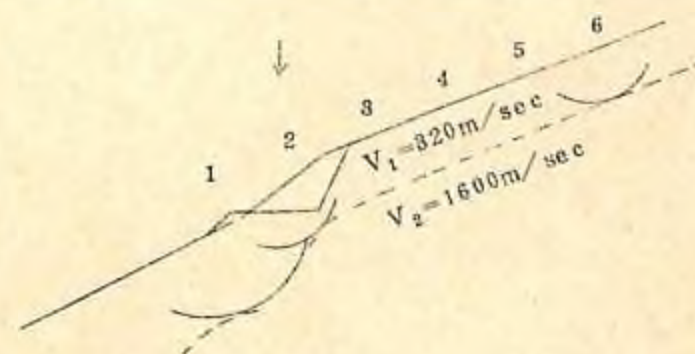
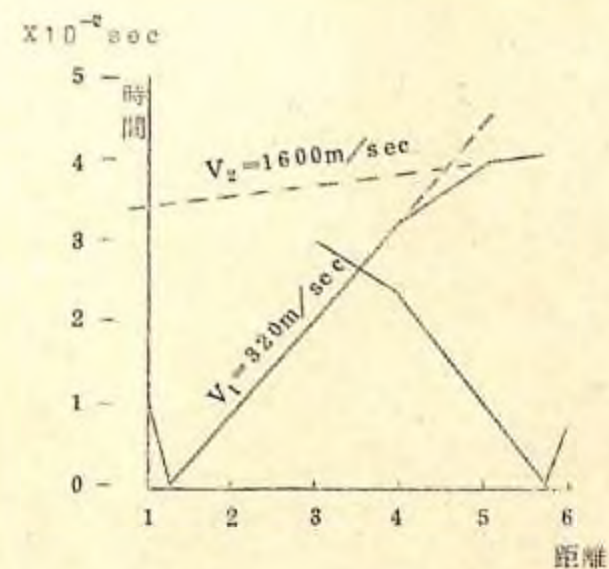


図-30 測点360-4mの横断観測結果  
新湯林道(施工前)



起震点か  
らの距離

読取り  
決定値

起震点か  
らの距離

読取り  
決定値

shot mark までの基準線0からの時間  $\Delta t = +0.5$

shot mark までの基準線0からの時間  $\Delta t = +0.1$

測点 6

測点 6

19.5m

0.5m

15.5

3.5

11.5

7.5

7.5

11.5

3.5

15.5

0.5

19.5

PU間隔 4 m

単位 (  $10^{-2}$  sec )

PU間隔 4 m

単位 (  $10^{-2}$  sec )

図-31

縦断測定記録 ( 往 )

新湯林道 測点 360-4 m

( 起震点位置は測線上 )

( 測点 1 より測点 2 の方向へ 0.5 m の点 )

図-32

縦断測定記録 ( 復 )

新湯林道 測点 860-4 m

( 起震点位置は測線上 )

( 測点 6 より測点 5 の方向へ 0.5 m の点 )

起震点か  
らの距離

読取り  
決定値

起震点か  
らの距離

読取り  
決定値

shot mark までの基準線0からの時間  $\Delta t = +0.6$

shot mark までの基準線0からの時間  $\Delta t = +0.4$

測点 6

測点 6

1.9m

0.5m

1.5

15m

1.1

1.1

7

7

3

3

1

1

PU間隔 4 m

単位 (  $10^{-2}$  sec )

PU間隔 4 m

単位 (  $10^{-2}$  sec )

図-33

縦断測定記録 ( 往 )

新湯林道 測点 360-4 m

( 起震点位置は測線上 )

( 測点 1 より測点 2 の方向へ 1 m の点 )

図-34

縦断測定記録 ( 往の再測 )

新湯林道 測点 360-4 m

( 起震点位置は測線上 )

( 測点 1 より測点 2 の方向へ 1 m の点 )



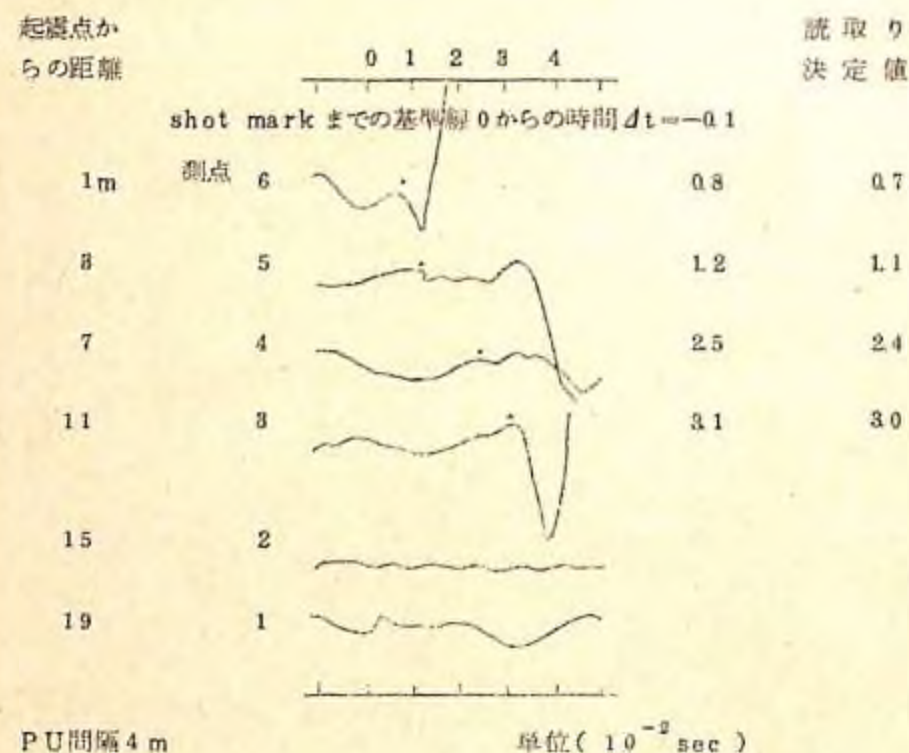


図-35 横断測定記録(復)

新湯林道 測点 3 6 0 - 4 m

(起震点位置は測線上  
測点 6 より測点 5 の方向へ 1 m の点)

## 2. 林道開設のための表層構造

### I 試験担当者

土じょう部土じょう調査科地質研究室長

木立正嗣

### II 試験目的

近年とくに自然保護や山地保全の必要性が高まってきた。また森林の公益的機能の再評価にともなう森林保護、治山治水事業遂行の必要から林道開設が緊急の度を増してきた。しかし林道開設には幾多の困難な問題がある。山地斜面の地質・地形との関連における特性を解明し、合理的、経済的な林道開設の基礎資料を得ることがこの研究の目的である。

### III 試験の経過と得られた成果

#### 1. 試験の方法

山地斜面の表層構造を解明するのに本研究では、表層地質と微地形の調査をおこない、また電気探査法によって、表層・風化帯・基岩の厚さおよび岩層中の含水層の測定をおこなった。電気探査機は横河電機社製 3244 型大地比抵抗測定機で探査法は主として 4 極中心法である。

#### 2. 試験の成果

##### 2-1 (昭和44年度)

##### 2-1-1 流紋岩体での試験

場所 名古屋営林局 付知営林署 加子母裏木曾国有林 49 林班 い小班

地質 斜長流紋岩熔岩

地形 熔岩流紋斜面(微地形細長い凹部)

植生 広葉樹を主とする二次林(15年生)

電探測定による表層構造の解析図は図1の通りである。このほか斜長流紋岩のところでは 34 林班と 35 林班の林班界凸型緩斜面、77 林班凹型斜面での測定結果から、つぎの事項がわかった。

1) 流紋岩熔岩の地下含水層は浅く地表から 1.5 ~ 3 m のところに第1地下水層を形成していた。

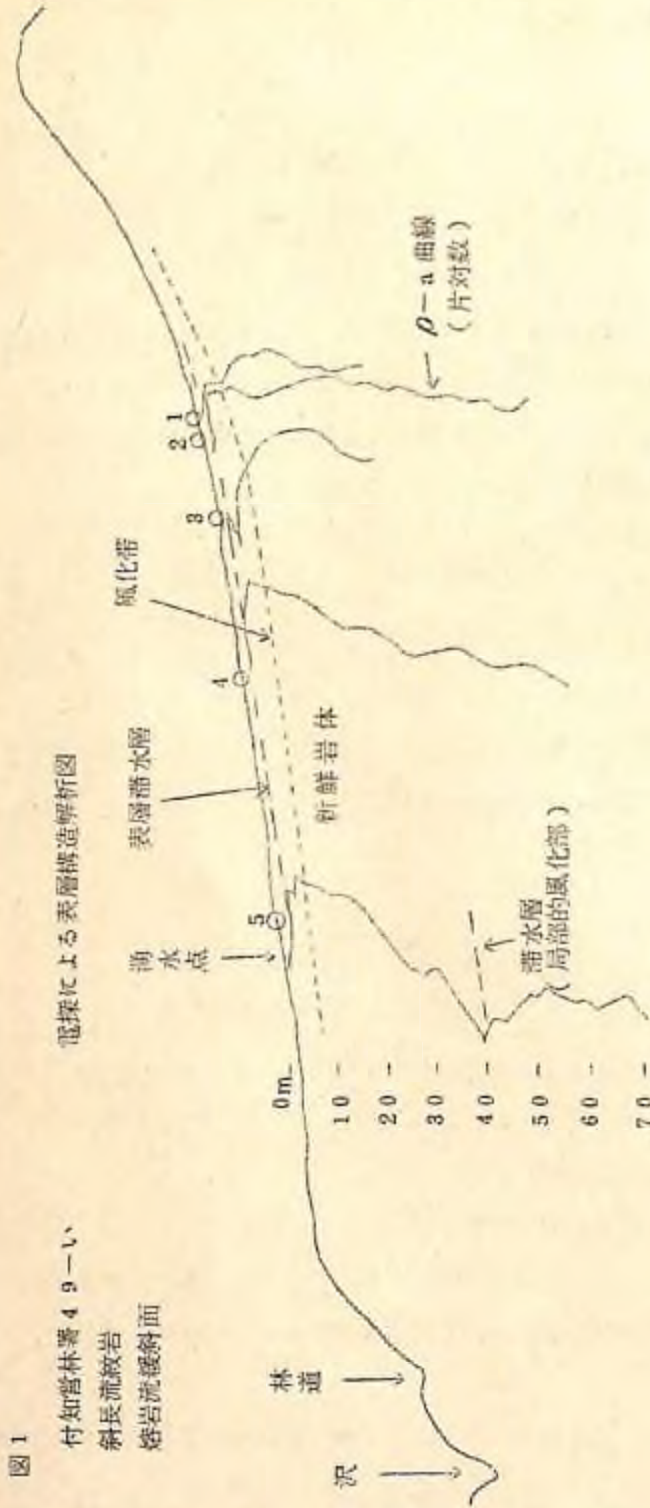
2) 風化帯の厚さは 4 ~ 6 m である。



図1

付知営林署49-い  
斜長流紋岩  
熔岩流緩斜面

電探による表層構造解析図



測点番号	表層滞水層	風化帯	岩体中の滞水層
1	1.5 m	0.4 ~ 4.5 m	30 m までの測定で見えきず
2	1.5	0.5 ~ 4.5	60 m
3	2.0	0.5 ~ 5.0	30 m
4	3.0	0.5 ~ 5.0	60 m
5	3.0	0.5 ~ 5.5	38 ~ 39.5 m に存在する (局部的)

注 地表からの深さで示したものである。

- 3) 流紋岩体は局部的に風化している部分があって、その深さはこの地域では地表下 30 ~ 40 m のところである。
- 4) 一般に地表傾斜 (斜面傾斜) が 25 度以上になると岩片混りの表土は爬行現象をおこし、30 ~ 40 度で表層剥離を誘発する。
- 5) 山地における地表傾斜 25 度以上の凹部または谷の斜面では、崩壊・表層滑落は斜面中部または上部と地表傾斜の変換点下部に発生しやすい。
- 6) 山腹斜面の切取り 1.5 ~ 3 m 以上のときは表層滞水層からの急激な排水 (鉄砲水) および滑落をおこしやすいので十分配慮し、排水溝・擁壁・早期緑化などを入れることをおこなってはならない。

## 2-1-2 安山岩・流紋岩体での試験

場所 前橋営林局 沼田営林署 新地林道  
地質 安山岩熔岩  
地形 熔岩流緩斜面 (微地形凹型斜面)  
植生 スギ植栽地 (5 年生)

場所 沼田営林署 コモギ林道  
地質 流紋岩熔岩  
地形 凹型斜面  
植生 スギ植栽地 (3 ~ 7 年生)

電探による表層構造の解析は図2の通りである。この結果からつぎの事項がわかった。

- 1) 安山岩体では厚さ 20 m を越す風化帯があり、岩体中の滞水層は地表下 10 ~ 12 m と 20 ~ 30 m の 2 層がある。そして上位の地下水層 (第 1 層) の方が貯水量が多い。
- 2) 流紋岩体では厚さ 5 ~ 10 の風化帯があり、地下滞水層は 2 ~ 3 m に形成される。また岩体中には局部的に風化した部分があり、その深さは地表下 30 ~ 40 m で貯溜水をもつことがある。この結果は上記付知営林署の斜長流紋岩体のそれとはほぼ同一である。
- 3) 安山岩熔岩流地域においてはその表層の火山堆出物の堆積が一般的である。安山岩熔岩地域の林道開設は表層構造 (風化帯・滞水層の形態・基岩の節理など) の点からは、かなり容易で、崩壊の危険性は少い。しかし火山堆出物の被覆、温泉余土、変質



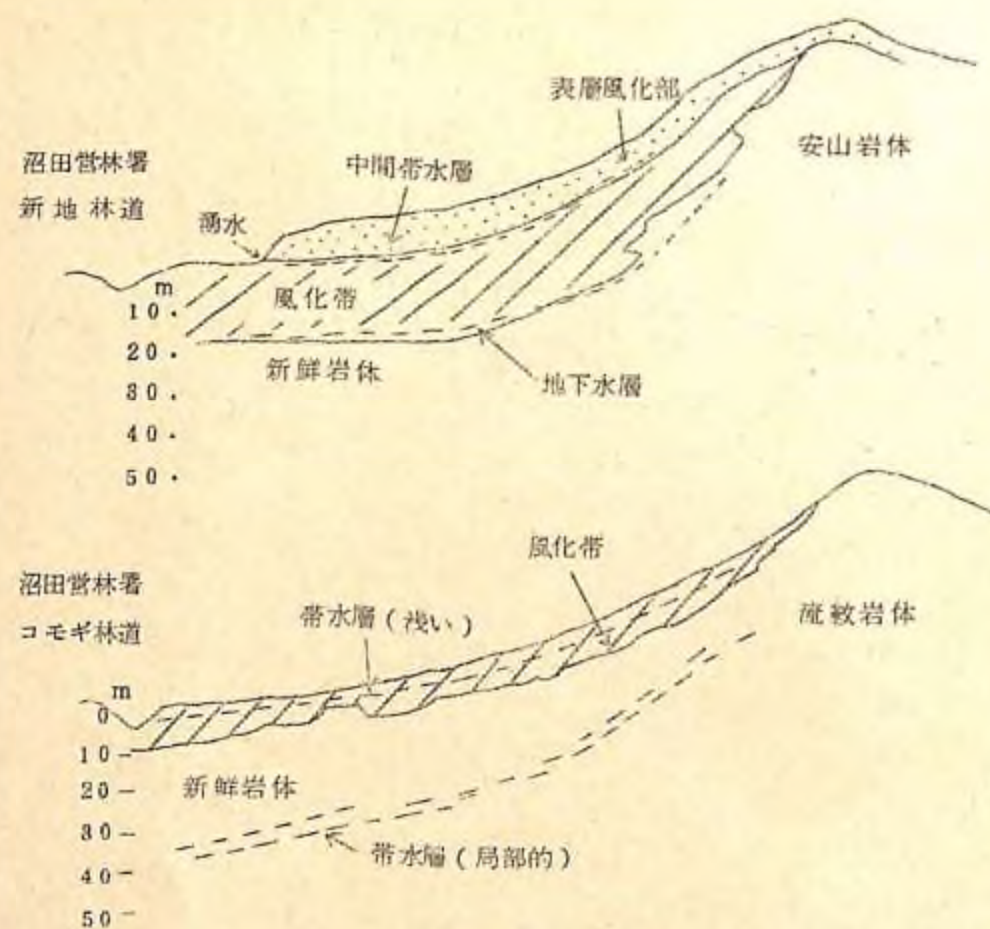


図2 電探による表層構造の解析図

帯の存在などがある場合、つまり地質的崩壊素因をもつところがあることに十分注意し、林道設計には表層地質調査の結果を取入れることが必要である。

4) 流紋岩地域については付知営林署内の試験による注意事項が沼田営林署の管内地域においても同様である。このことは流紋岩体の表層構造の一つの特徴であると推定される。

2-2 (昭和45年度)

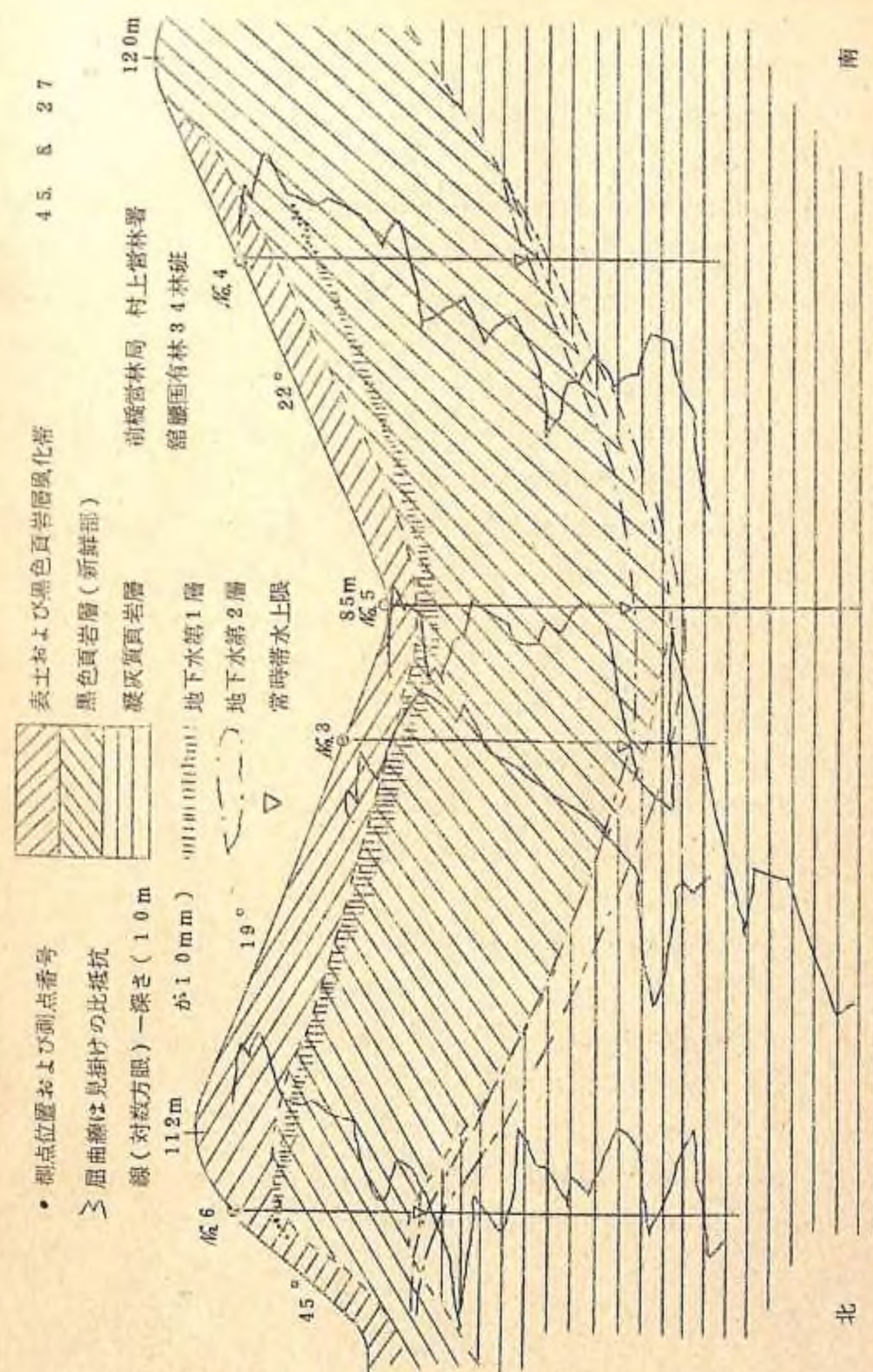
## 2-2-1 黑色頁岩層での試験

場所 前橋營林局 村上營林署 3 4 林班

地質 第三系 黑色頁岩層

地形 凹型緩斜面

図 3 電線による表層構造解析図



● 標点位置および副点番号

3 屈曲繚は見掛けの比抵抗

線(対数方眼)一様さ(10 m)

112m  
10mm)



植生 スギ幼令林(10~12年生林)

電探による表層構造の解析は図3の通りである。図に示してない測点No1, 2はこの沢の横断面からは20m上下に遠ざかっている。これらの結果をまとめるとつぎの事項がわかった。

1) 黑色頁岩の風化帯の厚さは微地形や地形侵蝕の前輪廻の姿によってかなり変化している。現在の尾根部でも谷部より風化帯が厚い場所も存在する。風化帯は流水の侵蝕に弱い。このことは地表傾斜20度以上の斜面や凹型斜面底部、谷頭、沢筋では風化帯が比較的薄かったことでも説明できる。風化帯の厚さは地表傾斜20度以下の緩斜面で10~12mであった。

2) 岩層中の滞水層は地表からの深さで3~10mに形成される。本試験地では黑色頁岩層の下位に凝灰質頁岩層があって第2地下水層が深さ35~40mのところに形成されているが、これは両層の接触部に形成された滞水層で、黑色頁岩層のみの厚い層中では上記第1地下水層を形成するものである。この含水量は比較的多く、また貯留水は黑色頁岩の風化を早めて粘土化し、その粘土は膨潤性の粘土鉱物をつくることが知られている。このことはまた地上りの崩壊を誘発する原因となることが多いので注意を要する。

3) 山地斜面の切取り、林道開設によって、二次的な地上り性崩壊がおこる危険性がある。また地表傾斜20度の斜面を横切る林道および切取り法面下部では特に排水工・斜面緑化を十分施工することが必要である。

#### 2-2-2 花崗岩体での試験

場所 名古屋営林局 中津川営林署 恵那山林道 7・8・12・13・23・31  
林班

地質 花崗岩(深層風化)

地形 中津川本流 (表1参照)

植生 表1参照

測点の位置および地質構造の略図は図4の通りである。また各測点の地形・植生については、表1に示した。電探による表層構造の解析結果は表2の通りである。



図4 恵那山林道電探測点位置と地質構造略図

表1 測点位置と地形・植生

番号	標高(m)	地形	植生
1	1.000	中津川河床部	—
2	1.060	谷斜面等齊斜面	ヒノキ新植地
3	1.200	恵那山林道上	—
4	1.220	中津川洪源堆積層	—
5	1.240	中津川河床部(最上流)	—
6	1.300	山腹凸型斜面	ヒノキ林地
7	1.400	山腹凹型斜面	※
8	1.140	支流溪床部	—
9	1.380	山腹凸型斜面	ヒノキ林地
10	1.510	山腹凹型斜面	※



表2 電探による表層構造解析表

測点	滞水層 1	滞水層 2	滞水層 3	風化帯	新鮮岩
1	—	1.5~1.9	2.7~3.0	なし	1 以深
2	—	—	3.0~3.5	0~5.5	5.5 *
3	8~1.0	1.7~2.0	2.7~2.9	0~3.8	4.0 *
4	1.2~1.5	—	—	1.5~9.0 以深	—
5	1.0~1.2	—	4.2~4.4	1~9.0 *	—
6	5~1.0	—	3.8~4.0	1~7.0 *	—
7	5~7	—	3.0~3.2	1~7.0 *	—
8	—	1.8~2.0	2.7~3.2	1~3.0	—
9	7~1.0	—	2.7~3.0	1~3.0	3.0 以深
10	1.0~1.2	1.8~2.0	2.3~3.2	1~3.2	3.2 *

注 数字は地表からの深さ(m)である。

また電探測定深度は70mと90mまでのものとがある。したがって新鮮岩の深さがそれ以上のときは深層風化帯の厚さを算出することができない。

以上の結果からつぎの事項がわかった。

- 1) 本地域の花崗岩は深層風化していて、その厚さは場所によって異なるが、3.0~15.0mに達するものと算定される。
- 2) 深層風化した花崗岩体には一般に3層の滞水層があり、地表に近い第1地下水層は水の貯留量が最も多い。第1地下水層の位置は地表から8~1.5mのところの形成され、第2地下水層または中間滞水層は1.5~2.0mに第3地下水層は場所によって異なり2.7~3.2のものと、3.8~4.4のものがある。
- 3) 山腹および谷斜面の崩壊の面積1haを越すものは2箇所のみで、その他は0.1~0.3ha程度のものではあった。本流域の国有林はかなりの森林面積をもちまた積極的に造林をおこなっているため森林の伐採が主たる原因で崩壊したとみられるところはきわめて少い。むしろ深層風化した花崗岩の脆弱地質と岩体中の地下水第1層の排水・湧水などによるとみられる崩壊が多かった。
- 4) 深層風化した花崗岩体の滞水層は幾層も形成されることが特徴であるが、本試験で

も同様であった。林道開設には切取りの高さを5m程度までとし、また十分な側溝・排水工を取入れる必要がある。

## 2-3 (昭和46年度)

### 2-3-1 シラス地帯での試験

場所 熊本営林局 高岡営林署管内 宮崎農林高校演習林

地質 シラス(火山砕屑流堆積物)

地形 シラス台地およびその斜面

植生 草生地およびスギ植栽地

電探による表層構造の解析図は図5の通りである。この結果からつぎの事項がわかった。

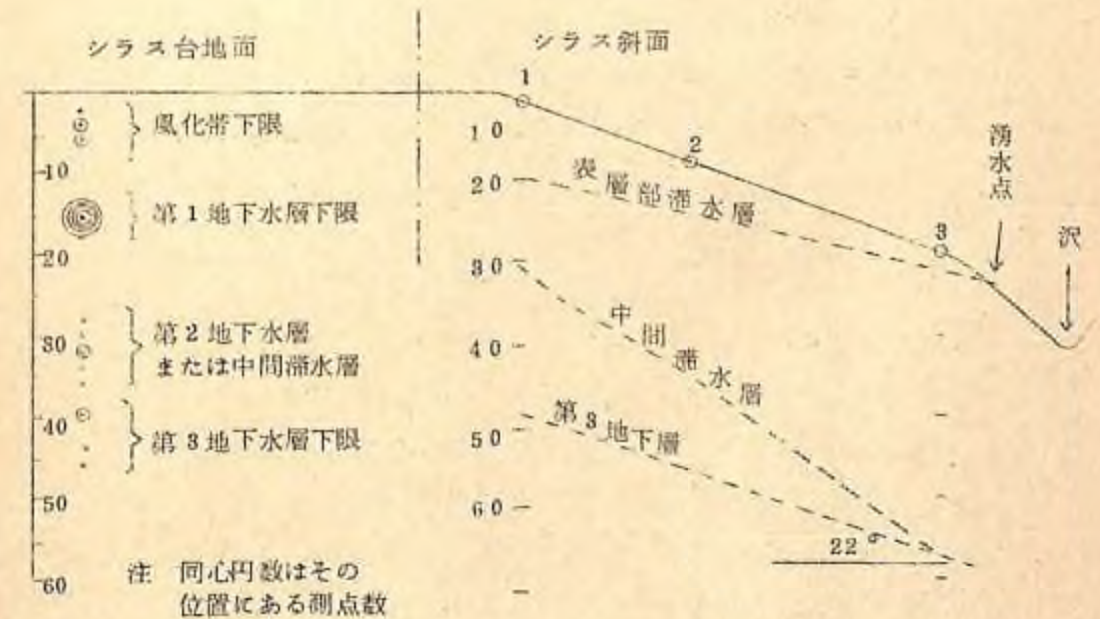


図5 風化帯・滞水層の位置図

- 1) シラス(火山砕屑流堆積物)の台地面下と斜面では、風化帯および滞水層の形態が異なり、とくに斜面では第1地下水層傾斜は10度前後であるが、第3地下水層の傾斜は22度である。台地面下の風化帯の厚さは4~8mで、第1地下水層は1.2~1.8mで含水量が最も多い。第2層は2.7~3.2mに、第3層は3.9~4.6mに局部



的に形成される。斜面では風化帯の厚さは緩斜なほど厚く急斜なほど薄く、0.5～1.2mである。表層滞水層は地表下10m付近に形成され、第2層は局部的で第3層は35～38mに形成される。

2) シラス台地の周縁の斜面および台地を開析して発達した谷斜面の傾斜度と地下水排水・湧水の影響によっておこる崩壊との関連をこの試験結果からみると、斜面傾斜度30度前後で斜面長が30mを越す斜面は崩壊する危険性が大きいものと推定される。この崩壊はおもに第1地下水層の排水によるものである。

3) シラス地帯の表層構造の測定を補充する必要がある。

## 2-4 (昭和47年度)

### 2-4-1 粘板岩・砂岩層での試験

場所 東京営林局 千頭営林署管内 大札山・モミノ木平地区(民有林)

地質 古生界粘板岩および砂岩層

地形 山頂平坦面および山腹部等急斜面

植生 ヒノキ造林地および広葉樹を主とした二次林地

電探による表層構造の解析図は図6の通りである。この結果からつぎの事項がわかった。

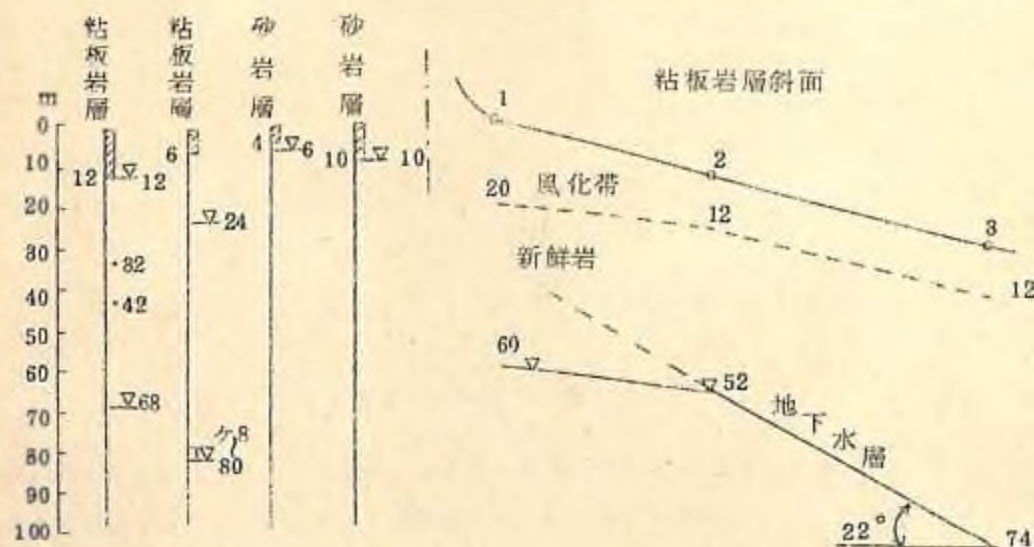


図6 電探による風化帯・滞水層の位置解析図

1) 粘板岩を主とする岩層の風化帯の厚さは地表傾斜度によって異なり、6～20mである。そして緩斜なほど厚く、急斜なほど薄い。また岩層中の滞水層は不規則であるが、その存在がかなりはっきりと認められるものは地表下52～80mのところにある地下水層である。つまり古生界粘板岩層ではほかの地質に比しかなり深いところに地下水層があり、その傾斜は本試験地の場合22度である。

2) 古生界砂岩を主とする岩層の風化帯は4～10mの厚さをもち地下水層は6～10mのところにあった。

3) 山地防災的観点よりみれると粘板岩層地域では地下水の排出の影響によるとみられるものはきわめて少く、地表流下水の営力によるものが多い。したがって斜面が急斜であるとか、地表傾斜の変換点の下部が崩壊することが多いので林地の取扱いに注意を要する。また崩壊は地層の傾斜と地表の傾斜方向とが同一方向にある場合(流盤構造)とか、岩層の著しい割れ(断層線・破砕帯)のところを切取るときは、二次崩壊の発生をみることが多いので林道開設にはむしろこのことを十分考慮する必要がある。

4) 砂岩層の地域では比較的安定していて林道開設にはあまり問題となる事項はない。

## 3 考察

林業の立地は主として山地であり、巨視的な山地斜面および微地形における岩石の風化や滞水層の解明はきわめて基礎的重要事項である。本研究の試験をおこなうかわり、表層地質調査をおこない試験結果と併せて、つぎの事項をまとめた。

### 3-1 岩片・岩体のかたさ

岩片・岩体のかたさは岩石の風化速度や河川の侵蝕の形態(微地形の形成)および水の滲透の難易に深い関係をもっている。また風化帯や滞水量の形態もそれによってかなり異なるものである。岩片・岩体のかたさの調査データと経済企画庁の国土調査「表層地質図」をもとにこれらをまとめたのが図7である。図中の岩片のかたさ(縦軸)の区分はつぎの通りである。a: はなはだやわらかい(固結とも未固結ともいえない程度の岩石), b: やわらかい(耐圧100kg/cm<sup>2</sup>以下の岩石), c: やややわらかい(400kg/cm<sup>2</sup>以下), d: ややかたい(1000kg/cm<sup>2</sup>以下), e: かたい(2000kg/cm<sup>2</sup>以下), f: はなはだかたい(2000kg/cm<sup>2</sup>以上)。また岩体のかたさは(横軸)つぎの通り。

1: はなはだやわらかい(弾性速度1.5km/sec以下のもの), 2: やわらかい(1.5～2.2km/sec程度のもの), 3: やややわらかい(2.3～3.0同上), 4: ややかたい(3.0～4.0同上), 5: かたい(4.0～5.5同上), 6: はなはだかたい(5.5km/sec以上のもの)



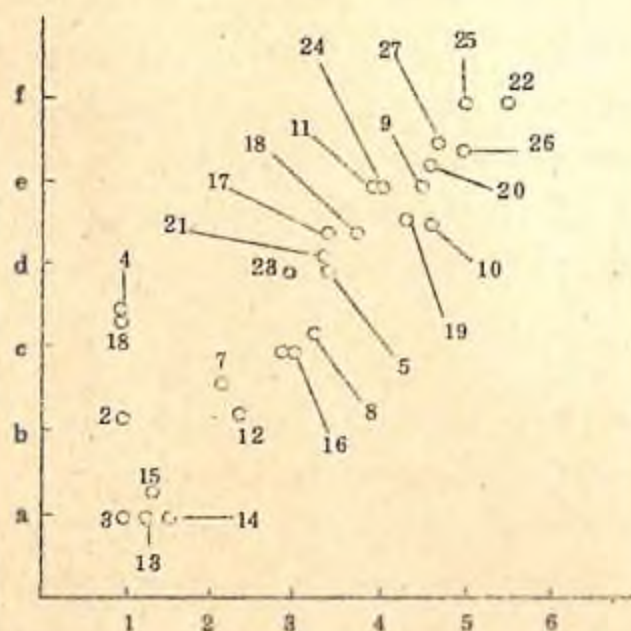


図7 岩片・岩体のかたさ(平均値)

／sec 以上のもの)。図7のなかの番号はつぎの岩石を示す。1：礫を主とする未固結堆積物，2：砂を主とするもの，3：泥を主とするもの，4：砕屑物（崖錐・土石流），5：礫岩層，6：砂岩層，7：泥岩層，8：砂岩と泥岩の互層，9：珪質岩石，10：輝緑凝灰岩層，11：石灰岩，12：火山灰，13：火山砕屑物，14：シラス，15：ローム層，16：凝灰岩質岩石，17：集塊岩，18：流紋岩質岩石，19：安山岩質岩，20：斑岩，21：花崗岩質岩石，22：斑岩質岩石，23：蛇紋岩質岩石，24：千枚岩，25：ホルンフェルス（原岩砂岩のもの），26：緑色岩（片岩），27：黒色岩（片岩を主とする）。

岩体の軟いものから硬いものまでを分類するとつぎのようになる。

- a. 軟い岩石： 礫・砂・泥よりなる未固結堆積物，シラス，ローム層，泥岩層，凝灰岩層，火山灰砂，火山砕屑物，蛇紋岩など。これは耐圧強度  $1.000 \text{ Kg/cm}^2$  以下のものである。
- b. 硬い岩石： 黒色岩，緑色岩，珪岩，斑岩。これは耐圧強度  $1.800 \text{ Kg/cm}^2$  以上のものである。
- c. 中程度の岩石： これは耐圧強度  $1.000 \sim 1.800 \text{ Kg/cm}^2$  であるが，かたさに巾がある。

って，同じ岩質のものでも一部軟い岩石の範囲に入るものがある。礫岩層，砂岩層，砂岩泥岩互層，輝緑凝灰岩，集塊岩，流紋岩，安山岩，花崗岩（深層風化したものを除く），千枚岩。

### 3-2 岩体内の滞水層

滞水層には中間滞水層と地下水層がある。しかし中間滞水層はすべての岩体内に存在するとは限らない。また地下水層は第1層（地表下の最初の地下水層）のみでなく，第2層，第3層をもつものがある。一般に地下水層の貯留量は第1層が最も多い。

- a： 礫・砂・泥よりなる未固結堆積物は主として完新流や更新統の堆積物で，氾濫原（扇状地・洪氾地などの運積物），砂丘，土石流堆積物である。これらの堆積物の地下水層（第1層をさし以下記述でも同じ）は地表下  $1.0 \sim 1.2 \text{ m}$  に形成されることが多い。中間滞水層は  $2 \sim 5 \text{ m}$  に形成されることが多い。
- b： 軽石層，シラス，凝灰岩層，火山灰砂，火山砕屑物では表層滞水層は  $7 \sim 1.0 \text{ m}$  のものが多く，地下水層は  $2.5 \sim 4.0 \text{ m}$  に形成されることが多い。
- c： 泥岩層・流紋岩（石英粗面岩），シルト岩（頁岩を含む）の地下水層は  $2 \sim 7 \text{ m}$  のものが多く。
- d： 礫岩・砂岩層，砂岩と頁岩の互層では中間滞水層は存在しないものが多く，地下水層は  $5 \sim 1.0 \text{ m}$  に形成されるものが多い。
- e： 輝緑凝灰岩，集塊岩，安山岩体では中間滞水層は  $7 \sim 1.0 \text{ m}$  に，地下水層は  $2.0 \sim 8.0 \text{ m}$  に形成されるものが多い。
- f： 花崗岩類は一般に深層風化していて，滞水層  $7 \sim 1.2 \text{ m}$ ， $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ ， $2.7 \sim 3.2 \text{ m}$  と幾層にも形成されるという特徴をもっている。
- g： 千枚岩，粘板岩，片岩類の地下水層はかなり深く  $4.0 \sim 7.0 \text{ m}$  である。
- h： 地下水層には一般に傾斜があって，地下水層中に含有する水は年間を通して増減する。豊水期（降水量の変化に伴って  $1.5 \sim 4.5$  日ずれる）になると貯留水は下方に移動する。地下水層の傾斜は地質によって異なる。いままでの研究では  $1.0 \sim 2.7$  度である。したがって山地斜面傾斜が地下水層の傾斜より急峻であれば，斜面に地下水の排水・湧水がある。そして地下水の移動（主に豊水期や飽水時）することによって崩壊・滑落をおこす引きがねになることが多い。このことはきわめて重要な現象であって，今後さらに研究を急める必要がある。



### 3-3 風化帯の厚さ

この厚さは現在の地形面にそって分布するものと、侵蝕の前輪廻面つまり原地形面下に形成された風化帯の残存したものがある。深層風化の場合は恵那山林道地域で150m、東京都水源林地域(山梨県塩山市落合)で200mという測定値がある。現在環境での風化の場合その厚さは地質・気温・降水量によって異なる。一般に平坦面・緩斜面ではその土地のもつ立地条件を反映するものであるので、これを基本とし、山地斜面下の風化帯の厚さを測定すれば、侵蝕の程度を推定することもできる。また一般に帯水層の位置は風化帯下部、風化帯と新鮮岩との接触部、あまり風化しない岩層中および岩層の極端・異常風化部分に形成されるといえる。

### 3-4 崩壊と表層構造

林木の根系のもつ緊縛作用は山崩れを防止する機能があると考えられるが、多くの林木の根系はそこよんでいる深さは2mまでである。したがってこれより深いところから崩壊が発生したものは、岩体の風化帯、地下水の移動、基岩のかたさ、地質構造、変質帯・温泉余土の存在などとの関係が大きい。

以上のことから山地斜面の表層構造の研究は林道開設に基礎的資料を提出し、多くのきわめて重要な事項を指差したものと考えられる。また治山や山地防災に関してもかなり具体的なデータを示しているものと考えられる。したがってこのような研究はさらに継続する必要がある。林道開設後の崩壊や災害現場において、その復旧は緊急を要するものではあるが、崩壊・災害の原因解析に表層構造の測定をおこなうことはきわめて重要なことであると考えられる。