

農地保全の研究 第 17 号

農地保全研究部会

第17回 研究集会プログラム

期日 平成8年11月14日（木）～11月15日（金）

会場 柳井クルーズホテル

〒742 山口県柳井市南町4-1-1

TEL 0820-23-6000

テーマ：農地及び農道法面の保全

1 研究発表会 平成8年11月14日（木）

8:30～9:00 受付

9:00～9:30 開会式

部会長挨拶 山口大学農学部 日下 達朗

来賓挨拶 中国四国農政局防災課長 播磨 宗治

開催県挨拶 山口県農林部長 藤井 寛

開催地代表挨拶 柳井市長 河内山 哲朗

9:30～10:15 長溝と岩政次郎右衛門

新庄長溝水利組合 前田 芳彦

10:15～11:00 寒冷少雪地域における造成農地法面の侵食崩壊

帯広畜産大学 辻 修

11:00～11:45 急傾斜法面の植生保護

株式会社 熊谷組 橫塚 享

11:45～12:45 昼 食

12:45～13:30 傾斜地における直接基礎の支持力安定と原位置簡易試験
について

山口県大島農地建設事務所 今野 良治

13:30～14:15 広域農道大島第2地区における特異な地質の切土法面安定対策事例
応用地質株式会社 前田 伊典

14:15～15:00 農地における土壤流失量の推算及び土壤侵食機構に関する研究

鳥取大学連合大学院農学研究科 キンシュック・ロイ
Kingshuk・ROY

15:10～17:00 総合討論

II 懇親会 平成8年11月14日(木)

18:00~20:00 柳井クルーズホテル (TEL0820-23-6000)

III 現地見学会 平成8年11月15日(金)

「広域農道大島第2地区」

会場(9:00) - 柳井駅(9:05) - 大畠駅・大観荘経由 - 広域農道大島第2地区

(10:00) - 陸奥記念館(11:10) - 東和荘(昼食)(12:00) - 観光みかん園(13:30)

- 柳井駅(15:30) - 徳山駅(16:30)

目 次

あいさつ

農地保全研究部会長　日下　達朗 … 1

1. 長溝と岩政次郎右衛門

新庄長溝水利組合　前田　芳彦 … 3

2. 寒冷少雪地域における造成農地法面の侵食崩壊

帯広畜産大学　辻　修 … 12

3. 急傾斜法面の植生保護

株式会社熊谷組　横塚　享 … 33

4. 傾斜地における直接基礎の支持力安定と原位置簡易試験について

山口県大島農地建設事務所　今野　良治 … 53

5. 広域農道大島第2地区における特異な地質の切土法面安定対策事例

応用地質株式会社　前田　伊典 … 75

6. 農地における土壤流亡量の推算及び土壤侵食機構に関する研究

鳥取大学連合大学院農学研究科　キンシュック・ロイ
Kingshuk・ROY … 99

あいさつ

農業土木学会 農地保全研究部会

部会長 日下達朗

農業土木学会の研究部会として“農地保全研究部会”が発足してから、今年で17年目となりました。この長い歳月の間に16回の研究集会が開催されました。各研究集会には多数の参加者による多くの研究の発表と活発な討論が行われており、この部会の著しい発展の支えとなっております。さらには、初代の部会長による基礎固めの段階から、2代目以降の各部会長の御尽力により、今日の盛況があります。これから30年、50年……とこの部会がさらに大きく飛躍することを願うとともに、この期に部会をお世話することになった責任の重大さを痛感しております。もとより部会の発展は、部会員はじめ農地保全に関心を持たれる方々の熱意によって成し遂げられるものであり、皆様の絶大なる御協力をお願い申し上げる次第であります。

農村地域は食糧の生産の場だけでなく、すばらしい環境の提供の場として位置づけられており、農地や農村地域の保全は現在重要な社会的な課題となっております。生産農地を保全すること、また農村地域や都市を結ぶ生命線と云える農道の建設に伴う農道法面の保全は、道路建設の技術の進展に併せて取り組むべき問題であります。農地および農道等の保全は極めて地域性の濃い内容を持ち、一律的な手法では対処することができない面を多く含んでいます。本年度の研究集会の課題である“農地および農道法面の保全”は、このような全国共通の問題の中での地域的な農地・農道の保全対策を目指すものですが、これに加えて農村地域の環境をも含めた農地保全のあり方を考えてみようと企画致しました。

今回の研究集会は、農地や広域農道の法面保全に日夜努力を重ねておられるここ山口県柳井市および大島の地で開催させていただきましたが、農地や農道法面の保全を考える場として最適なところと思っております。また地元の郷土史家である前田芳彦氏には「長溝と岩政次郎右衛門」について御講演をいただき、柳井市近辺の農業、農村整備に密接な関連のある歴史・文化に触れる機会を施することにしました。また現地見学では、大島農地建設事務所の職員による豊富な御経験と、多岐にわたる保全手法を見聞する機会が得られると存じます。研究発表のプログラムに記載のように、各先生方の研究内容、および現地見学において、大いに論議をたたかわせていただき、農地および農道法面の保全対策に貴重な業績となることを願っております。

なお、この研究部会および現地見学会の開催に際し、山口県耕地課、同柳井土地改良事務所、同大島農地建設事務所、柳井市、大島郡の皆様、ならびに関係各位に強力な御支援を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。

講　　話　　長溝と岩政次郎右衛門

山口県柳井市新庄中村

前　田　芳　彦

1. ビ　デ　オ

2. 周防の長溝岩政次郎右衛門の事績

3. 長溝の維持管理

4. 長溝の維持改善

5. 長溝のよもやまばなし

周防の 岩政次郎右衛門 筑前琵琶 平井鳶園 作歌
長 溝 二世橋旭翁作曲

やまむらさき ばんけい たづら
山紫に見はるかす 新庄平野秋晴れて 清風渡る萬頃の 田面に黄金の波打た
せ 穂に穂の咲ける実りかな さても天和の頃とかや岩国藩は新庄の里の稻田を
吹く風や 引く水とても更に無く 天水頼む田作りに 来る年々も恵みなく 旱
でり とりいれ てんすい ひとひらびと くらし きわ
魃続けて収穫の なかりし年も重ねけり されば其の頃村人の 日々の生活は谷
こも つ としょうじ か あめつゆ ほって はふ
まりて 茚を吊るして戸障子に 代えて雨露しのぎつつ 掘立小屋の破風に立つ
かまだ た だ わだち あえ ふな きゅうじょうひさん きわ
竈の煙も絶え絶えに 輻に喘ぐ鮒のごと 窮状悲惨を極めけり
げ し こそ
實にや一村滅亡の 重大時期に際会し 済世救民の士はなきかと 一村挙って
いの 人々が 祷らぬ神もなかりけり

きよのぶ さんじょう
時の十四代庄屋なる 岩政次郎右衛門清信は この惨状の中にいて いとど心を
たみ みち かいさく ただひとすじ ひたすらそ
痛めつつ 民の困苦を救うべき 途は長溝開鑿の 唯一途にあるのみと 只管疏
すい と い おが
水の考案に 身命堵して専念す 未明に起き出で身を清め 天地の神々伏し拝み
しゅんぱる だけ いただき おろ
炎熱燃ゆる夏の日も 俊阪登りて三ヶ嶽 琴石山の頂上に 立ちて見下す谷や川
さ おおひら さか みねみね がんべき
寒風骨刺す冬空も 大平おろしに逆らひて 北の峯々打ち渡り 巖壁をよじ或は
お おね
又 谷へ降りては道も無き いばらの中に分け入りて あの尾根からはこの谷へ
かたな かなんんしんく ふ
この谷からは彼方へと 機械にあらぬ測量の 艱難辛苦に身をやつし 一年経れ
わざ た いかん
ど業ならず 二年経てども如何せん
う
ちじん きょうしゃ
未だ長溝開鑿の 成案得るに至らぬに さがなき婦女子の口にまで 痴人よ狂者
ゆる ふとう ふ
とそしられつ されど世のののしりやあざけりも 彼が大志は動きなく 不撓不
くつ こころ がしんしょうたん かい そすい
屈の精神もて 臥薪嘗胆三力年 一意苦心の甲斐ありて 長溝疎水の考案は 遂
きよのぶ たと こおどり ゆうよ
に成りたり清信の 喜び例えんものもなく 雀踊してぞ勇みける 今は猶余のあ
きっかわこう かんそん
るべきやと 清信直ちに岩国の 吉川公の藩庁へ 連年旱損打ち続く
ひへい きゅうじょう つぶ そすい
せき
村の疲弊と窮状を 詳さに訴え救済の 疏水工事の許さるよう 切々燃ゆる 赤
せい へんげんせっく は
誠の 片言隻句も血を吐きて 書き連ねてぞ願い出ぬ されどもとより難工の
いんすいかの
大事業なるのみならず 果して引水叶うやと 疑われしか日を経るも 容易に許
可の沙汰もなし

清信大いに氣を焦ち 事は一村興廢の 危急焦眉の秋なれば 速やかに許可給え
よと 訴願に及ぶ両三度 若し失敗のその時は 唯切腹あるのみと 一死を以て
嘆願す 热誠遂に通じてか 貞享三年許可あれば 清信はじめ村人は さらばと
計り競い立ち 生命の水を引く溝へ 一鋤にてもと一心不乱 工事にこそはかかる
りけり 同心協力怠らず 励みに励む働きに さすが難工長溝の 三里に余る大
業も 元禄二年春の頃 みごとに成就したりけり
されば年々悩みし旱魃の 豪はここに払われつ 流れて止まぬ用水の 周防の長
溝淀みなく 尽きせぬ恵み永久に 秋の稔りとなりにけり 星霜二百五十余年
岩政次郎右衛門清信の 千載不滅の功績は 光輝いよよ増鏡 移れば去ぬる昭和
三年 畏くも従五位を賜わりて 水の神ぞと弥高く 崇めらるるぞ有難き 崇め
らるるぞ有難き

長 溝 の 話 (水 の 神)

延宝2年（1674）新庄村は旱魃（かんばつ）つづきで、村民の生活は窮乏のどん底にあったという。土穂石川、尺田川、法師田川等があるが、水源が乏しく、かんがい用水とはならない。このころ、庄屋職の岩政与左衛門貞正はかねてから旱害対策として水田への用水路工事を起こす以外ないと考えていたが、老齢のため着手できなかった。そのため、次男の次郎右衛門に長溝を掘るよう測量を依頼した。

次郎右衛門はどこから水をひき、その水路をいかにつけるか、こう配ののびはどうか、毎日算盤（そろばん）鉄砲、矢立をもって測量にあたった。村内の大平山（314メートル）は浅く水源を求めることが出来ず、見込みあるのは柳井川の上流だけであった。しかし、かんがい用となれば一定の水量がなければならず、この調査だけでも、当時の土木技術では大変なことであった。この柳井川からどのような水路をつけるか、また、出来るだけ高い所に水をひかねばならないが、それかといって、相当の勾配がなくては十分な水が流れてこず、琴石山（545メートル）、三ヶ獄（504メートル）の頂上に立って考え、黒杭の下から馬皿にかけて田のあぜや道に伏せて鉄砲で勾配をにらむ姿は、村人には気が狂ったのではないかと言われた。当時わが国には角度の観念がなかったといわれ、したがって、傾斜は水平に「一尺」進む間にどれだけ高くなるかで表した。これが勾配である。長溝の約千分の五の勾配をもつ水路の設定は中々のことと、現在残っている伝承として、彼の算盤と鉄砲の検杖（けんぎょう）の勾配測量は特筆すべき事柄である。

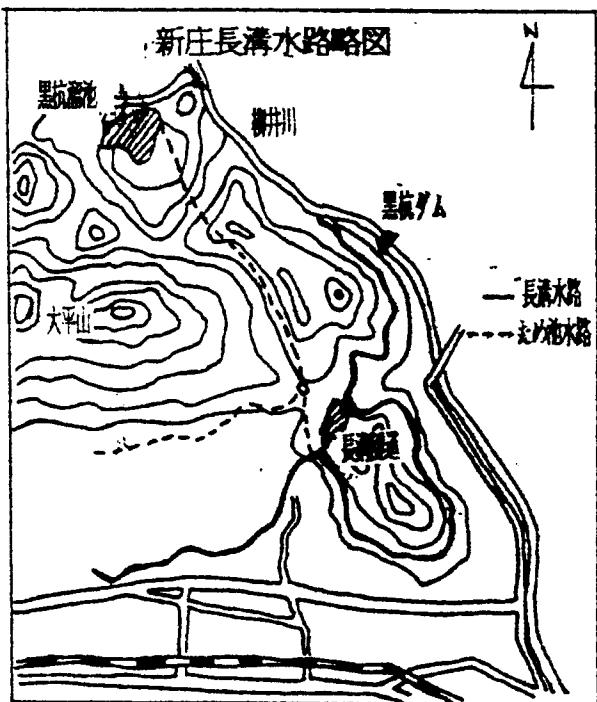
延宝8年（1680）14代庄屋職をつぐことになった次郎右衛門は、こうして、3ヶ年にわたり測量を完了し、岩国藩庁に工事申請書を提出したが、難工事と見てか許可されなかった。そのため再三陣情してようやく係員の出張を見た。次郎右衛門は、もし水がこなかったら、切腹して責任をとるといい、係員もその情熱に動かされて、完成したならば、恩賞は望むままにとらすが、もし失敗したとき首をはねて「端口の峠」にさらすがよいか、と申し渡した。貞享3年（1686）岩国藩庁から許可され、賦役13名派遣され、地元役として庄屋次郎右衛

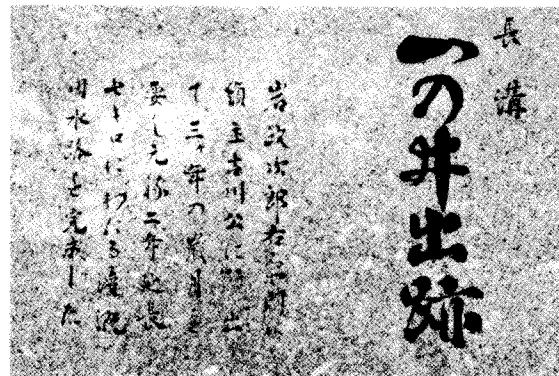
門外4名任命された。同年3月27日クワ入れが行われ、村民も喜んで工事に従った。かくして、柳井川黒杭上流から忠信地区背後の丘を回って新庄に通ずる「長溝」を完成した。時に元禄2年（1689）であった。工事期間は3年間、所要人員9千余人、長溝の長さ7キロ、用水面積77ヘクタールの大工事であった。なお、長溝の水路を短縮するための「端口のトンネル」工事は3ヶ年継続事業として昭和25年に完成した。また、昭和51年10月、長溝水利組合の手によって「一の井手跡記念碑」が完成した。この碑は岩政次郎右衛門によって作られた長溝完成後3百年を経て組合の人が感謝の意をこめて建てたもので、余田新庄地区の人々は今もなお「水の神様」として尊び感謝し、毎年8月19日、新庄佐保の陵で「長溝祭」が催されている。

岩政次郎右衛門肖像



岩政次郎右衛門肖像

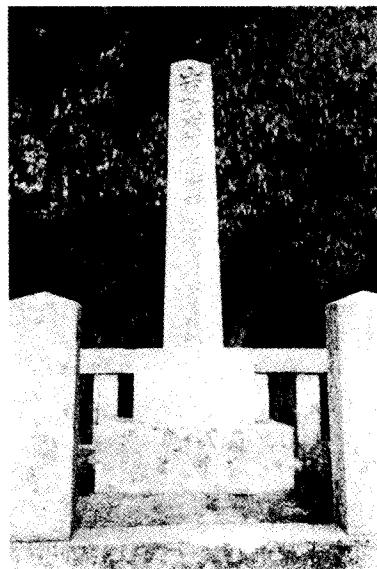




「一の井出跡」
記念碑



碑前祭（昭和63年8月19日）



岩政次郎右衛門翁の奥都城



碑前の奉納盆踊り
(昭和63年8月19日)



堰板の取りつけ
(水ひき作業)



長溝の草刈り作業
(平成元年5月4日)



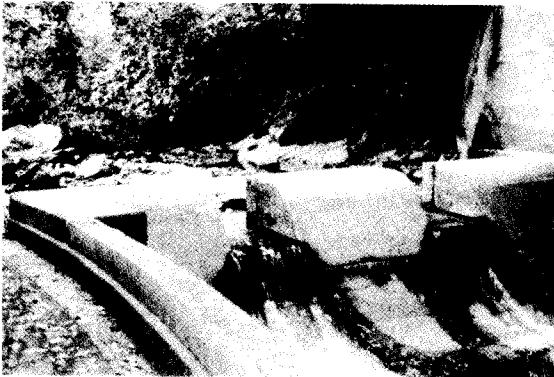
長溝の溝さらえ
(平成元年5月5日)



長溝の水分け



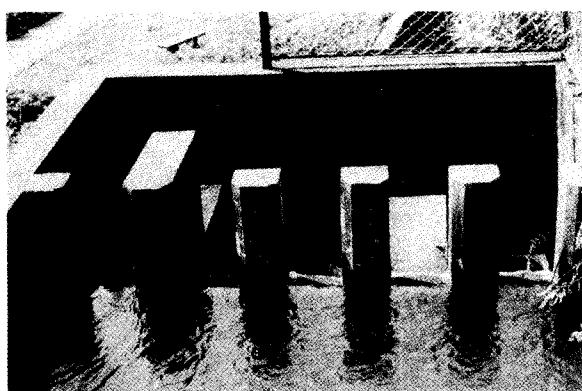
三百年記念ハイキング
(平成元年2月11日)



一の井出取り入れ口

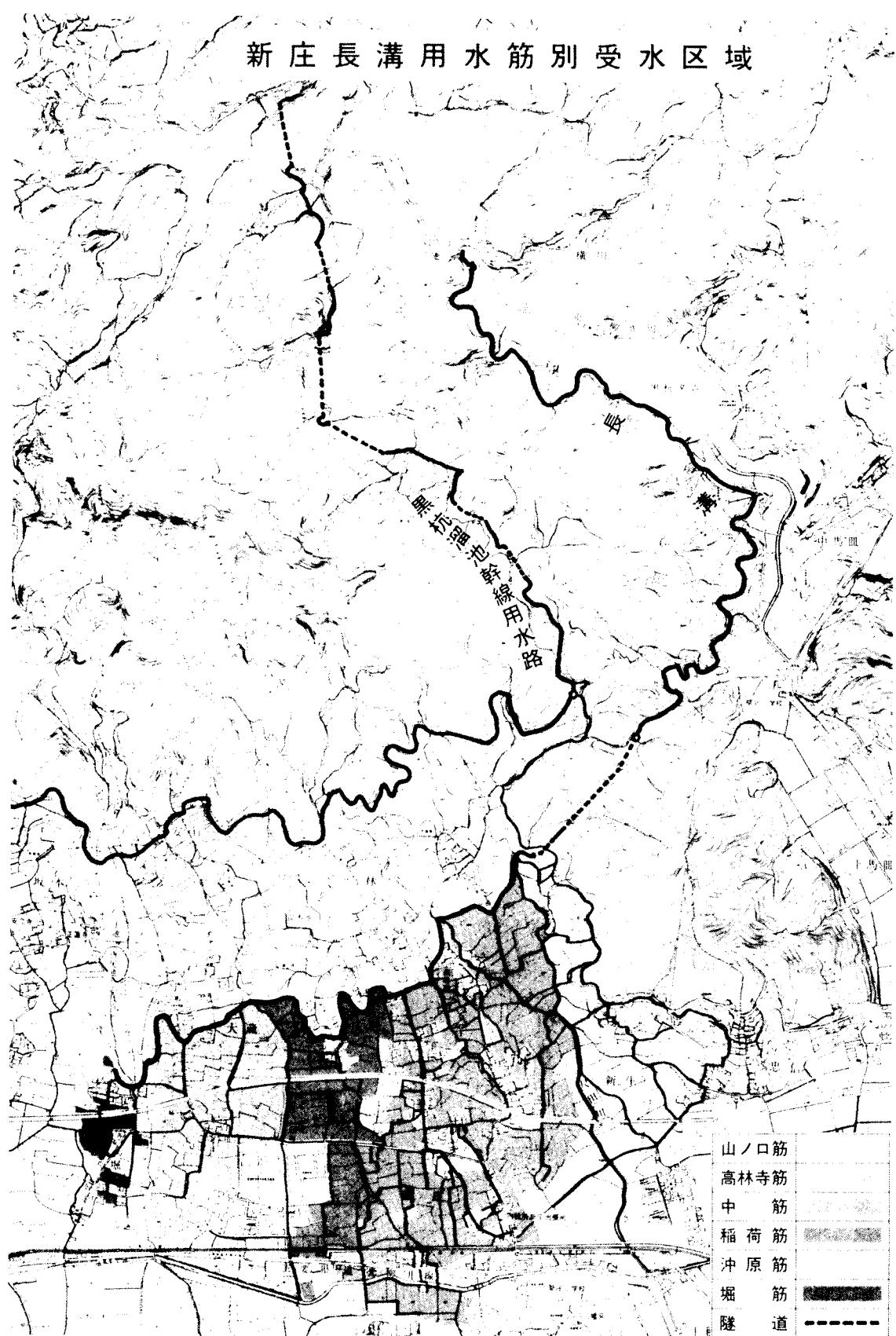


一の井出取り入れ口



一の井出分水溝

新庄長溝用水筋別受水区域



寒冷少雪地域における造成農地法面の侵食崩壊

帯広畜産大学 辻 修

I. はじめに

十勝地域における農地開発は、開拓当初の平坦部から現在では山間部へと移行している。当然その工法も、大面積経営の十勝農業の特色を反映し、大型作業機械の作業効率の高い緩傾斜で大面積圃場の施工が可能である改良山成畑工が中心となっている。この改良山成畑は「人工畑」¹⁾とでも称するものであるから、他の造成工畑と比較して、現地形を大きく改変しているため、地形的にも水文的にも原地形との整合性を欠きやすく、また大きく切盛すため切土・盛土部のそれぞれが広範大規模となり、両者間の異質性がきわだち易いなどの短所を反映させた災害が発生しやすい。特に地表面が裸地状態となると盛土部では土壤の不安定さのため水食に対する抵抗力が低下する。このため降雨や融雪などにより流去水があると土壤侵食が著しく多くなる。これは圃場のみならず切盛土の法面、さらには取付道路、排水路にも影響を及ぼす。

このような土壤侵食の危険から造成圃場を保護するため土木的農地保全工法はこれまでにも数多くの研究^{2), 3), 4), 5)}がなされ、コスト面さえ考慮しなければ造成圃場の土壤侵食を防ぐことはたやすいことである。しかし、都市土木のような公共事業とは異なり、受益者負担がともなう農地造成工事においては、安全性を高めるため造成コストをむやみに高めることは出来ない。

そこで、寒冷・少雪地帯における造成地法面の土壤侵食特性を明

らかにし、その保全対策樹立のための基礎資料を得ることを目的とし、実際農地造成の行われている十勝地方稻穂地区の農地造成地を対象とした土壤侵食調査を行った。

II. 調査方法

国営農地開発事業による改良山成畠工が行われている稻穂地区は、北海道十勝地域西部の浦幌町に位置する。調査はその中から、1988年度に造成された圃場（以後1988圃場）と1989年度に造成された圃場（以後1989圃場）を対象に行った。その調査圃場を図-1に示す。なお図中に示す番号は便宜上付けたものである。

調査は春先の融雪水による法面の土壤侵食全体状況を把握するため1989年4月に1988年圃場を対象としてビデオカメラを使用し、各圃場法面の被害状況を撮影した。その後、ビデオデッキで再生し、法面侵食発生箇所を縮尺1/1000の図面に示した。これをもとに侵食の規模、侵食形態の侵食被害図を作成した。

次に、土壤凍結と法面侵食に関する調査は、圃場における土壤凍結状況を知るため1988圃場の圃場面と帯広畜産大学実験圃場（以後畜大圃場）の圃場面、南向き、北向き法面で土壤凍結の観測を行った。1988圃場の土壤凍結深さの測定は、1988年12月5日～1989年4月10日まで1週間ごとに行い、畜大圃場の土壤凍結深さの測定は、1988年11月21日～1989年4月22日まで毎日行った。それぞれメチレンブルー凍結深度計⁶⁾を使用し、目視により土壤凍結深さを記録した。

また、土壤凍結が法面地盤強度に与える影響を知るため、1989年4月に土壤凍結を経験した1988圃場の盛土北向きおよび盛土南向き法面、1989年10月に土壤凍結を経験していない1989圃場の盛土北向

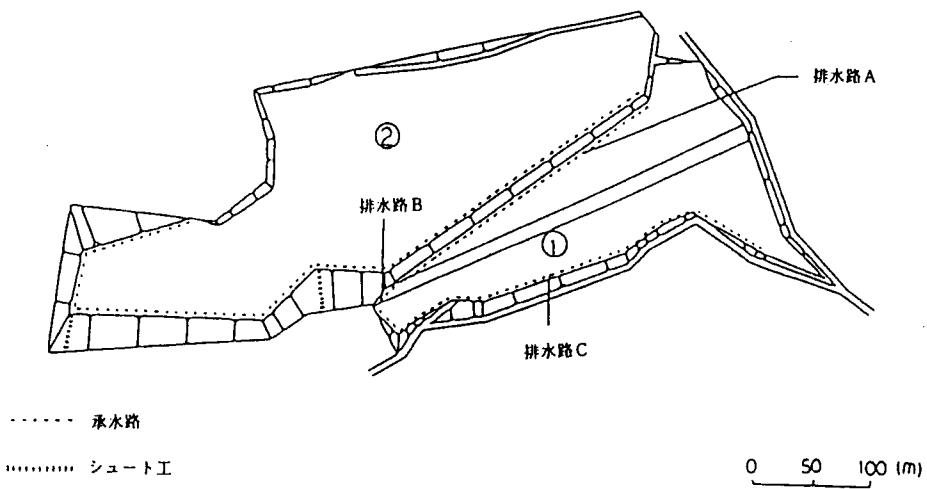
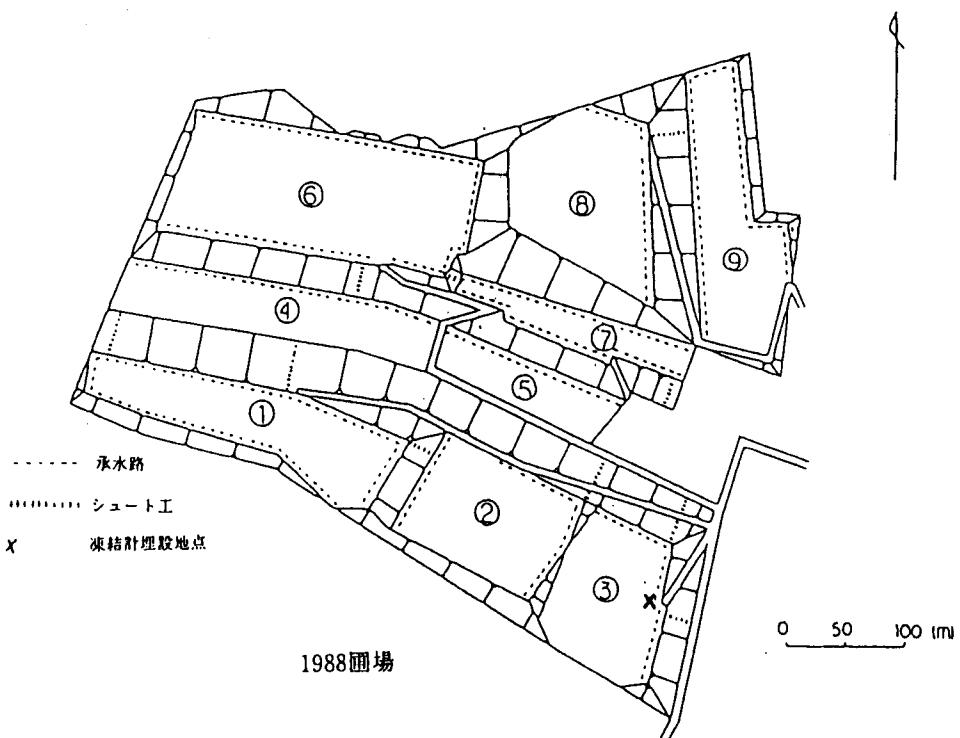


図-1 試験圃場の概要図

きおよび盛土南向き法面において簡易貫入試験を行った。測定は図-2に示す地点で法肩から法先まで4m間隔で行い、深さはそれぞれ150cmとした。

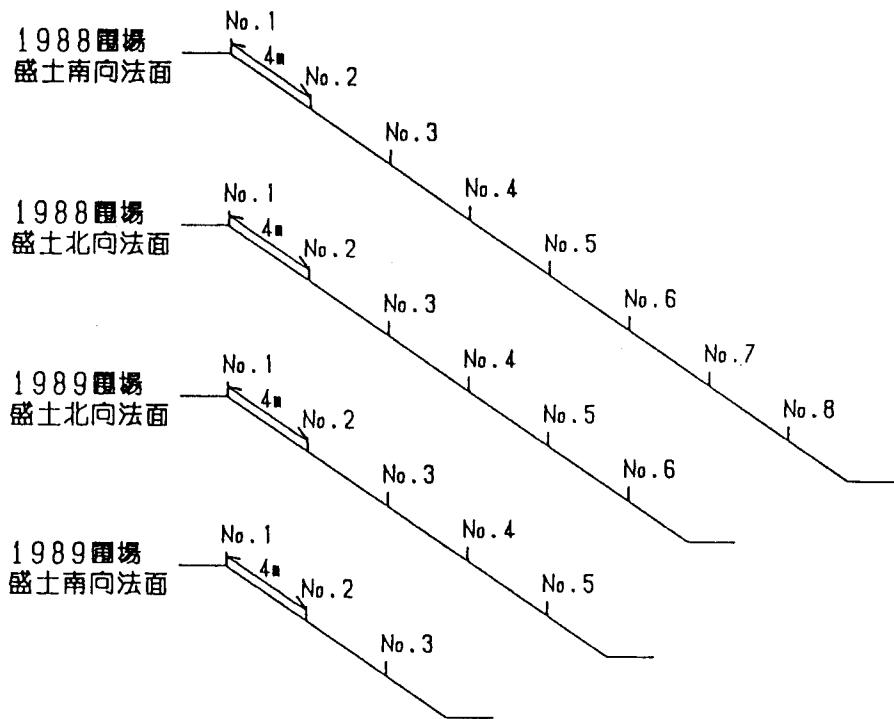


図-2 簡易貫入試験実施点

最後に、法面降雨と計画排水量に関する解析については、図-1に示した、1989圃場の圃場①を対象に行った。法面の浸入度を測定することによって流出係数を算出し、法面を考慮した計画排水量と現在使用されている計画排水量の比較を行った。この法面のピーク流出係数を算出するためには斜面浸入計を用いた。

次に計画排水量の算出であるが、排水路断面の基礎となる計画排水量の規模は、土地改良設計基準に示されている承水路についての5年に1回起こると考えられるピーク時の流出水量を基準とした。

なお現在の土地改良設計基準の計画排水量の算出には、法面積には言及されておらず法面積をこの集水面積に含むか省かは現場の判

断にまかされている。これは全国的に見た場合、造成面積が小さく通常では法面積を考慮する必要がないためと考えられる。しかし十勝地域の造成農地の場合、その一区画が非常に大きくそのためそれに付随する法面積も大きなものとなっている。⁷⁾

そこで集水面積に法面積を考慮した場合と考慮しない場合の計画排水量を算出し現在の排水路断面の許容排水量との比較も行った。

III. 調査結果および考察

1. 法面の侵食・崩壊実態

調査圃場法面を盛土・切土別に分けたものと調査圃場法面の土壤侵食被害状況を図-3に示す。

圃場①の土壤侵食は、圃場の北側に位置する盛土法面と東側に位置する切土法面で発生していた。圃場の北側に位置する盛土法面の土壤侵食は、法面の上部の承水路に積雪が残存し、融雪水が承水路を越流して法面へ流出したために発生したと考えられる。また、シート工の破壊も発生していた。これは圃場で浸透した水が法面の軟弱な地盤箇所から吐出したために発生したと考えられる。東側に位置する切土法面は、多少傾斜している①圃場の低位部につながっており、盛土法面と同様に圃場の融雪水が承水路を越流し法面に流出したためと考えられる。

一方、圃場南側に位置する法面では侵食が発生していなかった。これはこの切土法面上部が農地造成前の林であるため、上部の融雪水は林地内で地下へ浸透し法面への地表面流出がほとんどなかったためと考えられる。

圃場②について、土壤侵食は北側と東側に位置する盛土法面で発生していた。北側の盛土法面の土壤侵食は、上部から流れてきた融

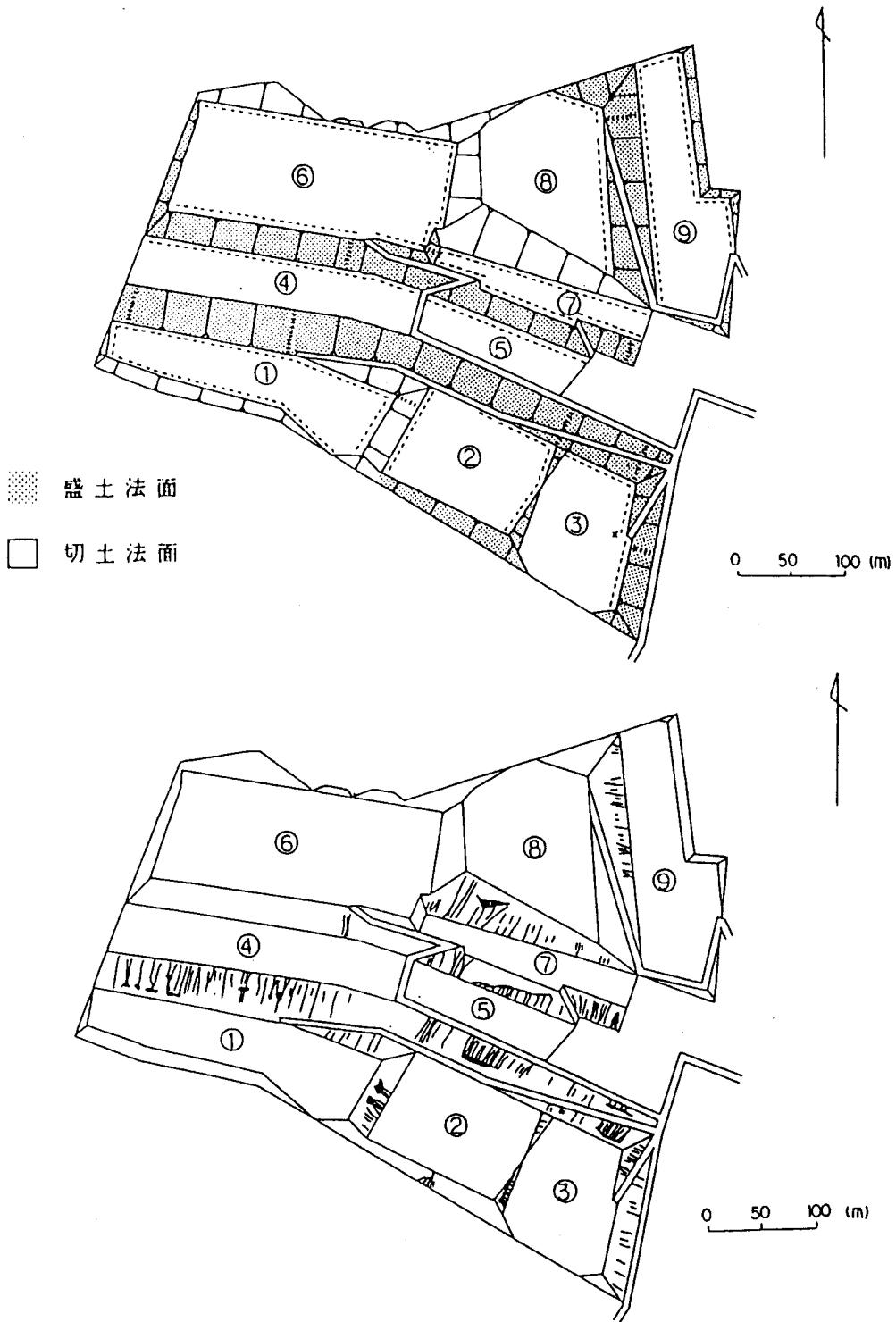


図-3 切土・盛土の配置と法面の侵食状況

雪水が取付道路を流下し、法肩へ流出したために発生したものと考えられる。また東側の盛土法面の土壤侵食は、この圃場と上部の圃場からの融雪水がこの法面を流下したためと考えられる。

圃場③については、北側の盛土法面で表層土のすべり破壊が発生していた。この法面は、土壤凍結の融解期に土中に凍結層が残存し、その不透水層を融雪水が流下したため表層土にすべり破壊が発生したものと考えられる。

圃場⑥については、土壤侵食がほとんどみられなかった。これは北側の切土法面においては①圃場南側法面と同様に上部が林地に接しているため融雪水の流入が少なかったものと考えられる。また南側の盛土法面は、上部圃場の日当たりがよいことが融雪を早め、承水路の残雪もそれにより早く融解したため十分な排水断面が確保され、法面への流出がなかったものと考えられる。

圃場⑦については、土壤侵食と法面崩壊が南側に位置する盛土法面で発生していた。また、大規模なシート工の破壊が発生していた。これは、融雪水が圃場から浸透し、法面地盤の軟弱な部分から吐出し法面崩壊を発生させたものや、承水路断面に残雪が残存し承水路の有効断面が減少していたため融雪期における降雨や融雪水が承水路を越流して法面に流出し土壤侵食を引き起こしたものと考えられる。

圃場⑧については、土壤侵食が東側の盛土法面と南側の切土法面で発生していた。東側の盛土法面は、取付道路があり、その下部で発生していたことから、道路表面を融雪水が流下したものと考えられる。また、南側の切土法面では、圃場の法肩に承水路がなく、そのため圃場からの融雪水が直接法面に流出したためと考えられる。

以上の結果より、造成農地法面の融雪期間における土壤侵食形態は次の3形態に分けられる。

- i). 冬期間の積雪が承水路断面を覆うことにより融雪期の排水を十分に流下させる断面確保ができず、承水路を越流した排水が法面にリル侵食を発生させている。これは特に北向き斜面の融雪の遅い区域に多くみられる。
- ii). 法面土壌が冬期間凍結し、これが融凍期になると土壌凍結層が法面中に残存する期間、浸透水がこの凍結土層を疑似河床として流下するため、表層すべり破壊や法面中腹において浸透破壊を発生させている。これは特に承水路がシート工等の排水路へ連結する排水の集中する部位に多くみられる。
- iii). 造成農地地区内の取付道路の排水処理工、承水路の不足など土壌侵食防止工法の不備によって、本来は排水路系を通り地区外に排出される表面流出水が法面に流出することによってリル侵食を発生させている。これは残雪が堰となって夏期間とは異なる圃場排水形態を示す例もあり、これは日陰になる北向き圃場の下部法面や長い取付道路の下部法面にみられる。

2. 法面の土壤凍結が侵食に与える影響

(1). 法面における土壤凍結

寒冷・少雪地域である十勝地域において、冬期間の気象特徴である土壤凍結は土壤侵食にも大きな影響を与えるため、侵食被害を被っている造成農地法面での土壤凍結観測を行うことは融雪期の土壤侵食発生メカニズムを解明する上で非常に重要な調査のひとつであるといえる。しかし、十勝地域の傾斜地における造成農地は圃地面積が大きいためそれに付随する法面も長大となり、冬期間は積雪のためその地点における土壤凍結の観測を行うには困難と危険をとも

なう。そこで現地においては、観測が困難ではあるが安全である造成農地の圃場面の土壤凍結を測定した。これと同時に、大学実験圃場の圃場面、法面との相関を明らかにし、大学実験圃場に設けた法面のデータから現地法面の土壤凍結推移の推定をおこなった。

稲穂圃場と畜大圃場における土壤凍結推移の結果を図-4に示す。

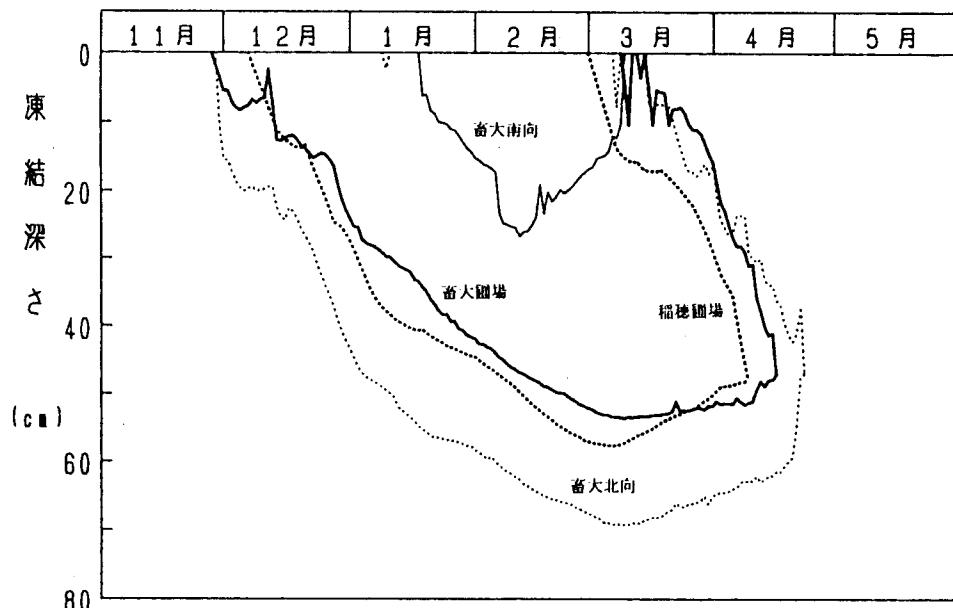


図-4 稲穂・畜大の土壤凍結推移(1988.11-1989.5)

稻穂圃場の土壤凍結推移は、12月上旬に凍結が始まり、2月下旬から3月上旬にかけて最大凍結深さを記録し、その深さは57.6cmであった。そして、2月下旬に融解が始まり、4月上旬で土壤凍結は消失した。

また、畜大圃場の土壤凍結推移は圃場面、北向き法面で11月下旬に凍結が始まり、最大凍結深さは3月上旬に圃場面で53.5cm、北向き法面で69.2cmを記録した。それに対して、南向き法面の土壤凍結推移は、1月上旬と約1ヶ月遅れて凍結が始まり、最大凍結深さは、約1/3の26.7cmであった。融解に関しては、逆に南向き法面が約1ヶ月早い3月上旬で土壤凍結は消失し、他方圃場面、北向き法面で4

月中旬以降に土壤凍結は消失した。

これより、土壤凍結深さは北向き法面、圃場面、南向き法面の順に深く、法面の向きにより土壤凍結深さが変わることがわかった。

これらの結果を基として、稲穂圃場の法面の土壤凍結深さを推定した。畜大圃場面と稲穂圃場面、畜大圃場面と畜大南向き法面、畜大圃場面と畜大北向き法面の相関関係を図-5に示し、得られた式を下記に示す。

$$Y = 1.07X + 1.57$$

--- (1)

Y : 稲穂圃場面の凍結深さ(cm)

X : 畜大圃場面の凍結深さ(cm)

$$Y_s = 1.73X - 56.08$$

--- (2)

Y_s : 畜大南向き法面の凍結深さ(cm)

$$Y_n = 1.02X + 16.68$$

-- (3)

Y_n : 畜大北向き法面の凍結深さ(cm)

これらの結果より、稲穂圃場面と畜大圃場面の土壤凍結深さは相関が高く、かつ畜大における法面別土壤凍結の相関も高いことより、稲穂圃場の圃場面土壤凍結深さから稲穂圃場における南向き法面、北向き法面の土壤凍結深さを推定することが可能であると考えられ

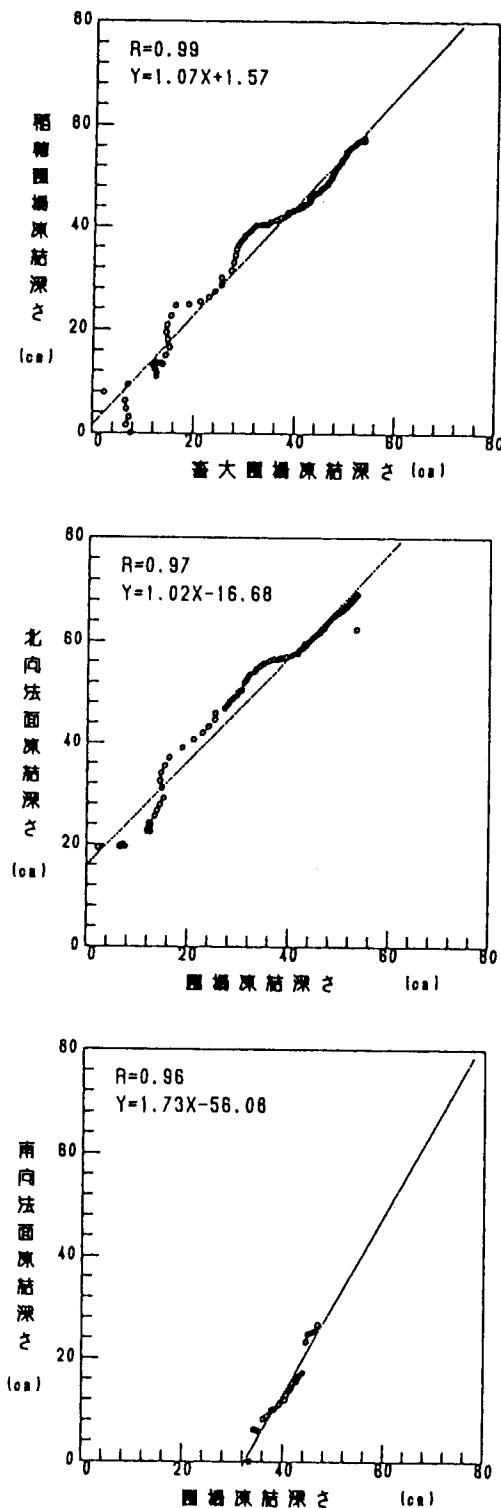


図-5 畜大・稲穂の各法面の土壌凍結深の関係

る。

これらの関係より、(2)式と(3)式の説明変数Xに稻穂圃場面の最大凍結深さ57.6cmを代入し、稻穂圃場南向き法面および北向き法面の最大凍結深さはそれぞれ44cm、75cmと推定した。

法面土壤が凍結を経験することは、凍結部分の表層土層の地盤強度の低下と間隙の増大を示し、圃場面においては浸透能力の向上につながり侵食防止となりうる可能性があるとしても、農地造成法面のような急勾配な場所においては明らかに侵食・崩壊の危険性を高める要因となる。

また法面方向による土壤凍結深さの差は、北向き法面が南向き法面と比較して融解時期、法面土層中に凍結層の残存する期間が長くかつ積雪も日陰のため多く残存し、土壤侵食の危険性が高いことを示している。このことは、前述した法面の土壤侵食実態調査結果とも一致し、土壤凍結地域での土壤侵食防止には、法面の方向も保全工の設計に考慮していく必要があると考える。

(2). 法面における土壤凍結経歴が法面侵食に与える影響

南向き法面、北向き法面について土壤凍結の経歴を持つ1988圃場と土壤凍結を経験していない1989圃場の法肩、法中央、法先における貫入抵抗値を比較した結果を南向き法面は図-6に、北向き法面は図-7に示す。

南向き法面における貫入抵抗値の垂直分布は、凍結経歴のない1989圃場の法肩で約10cm以下の深さになるとNc値が10を示し、それ以下の深さでもばらつきはあるものの高い値を示しているのに対して、凍結経歴のある1988圃場は約40cmまではNc値が2以下と非常に小さな値を示し、それ以下の土層になると増加し、約60cmで6になり、

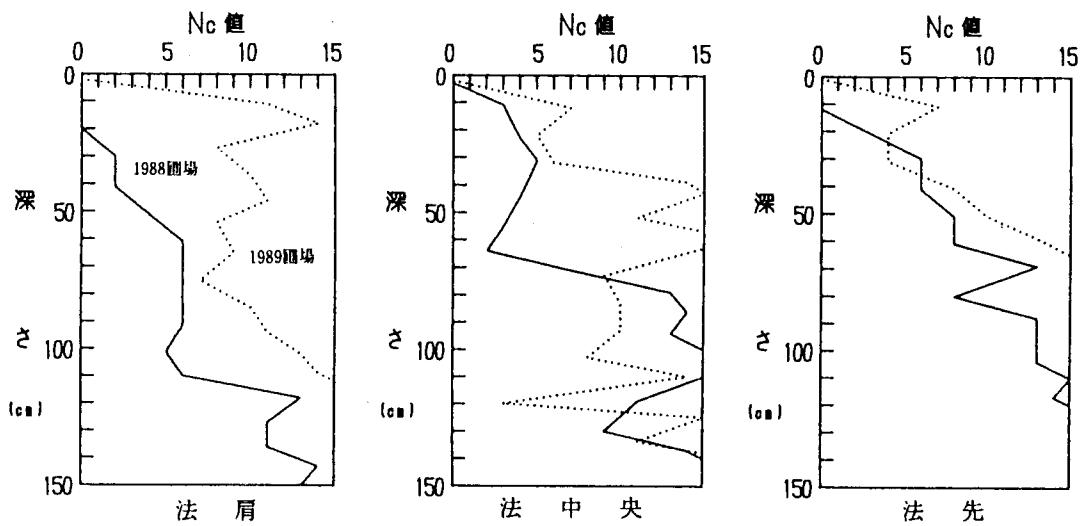


図-6 南向法面における地盤強度の垂直分布

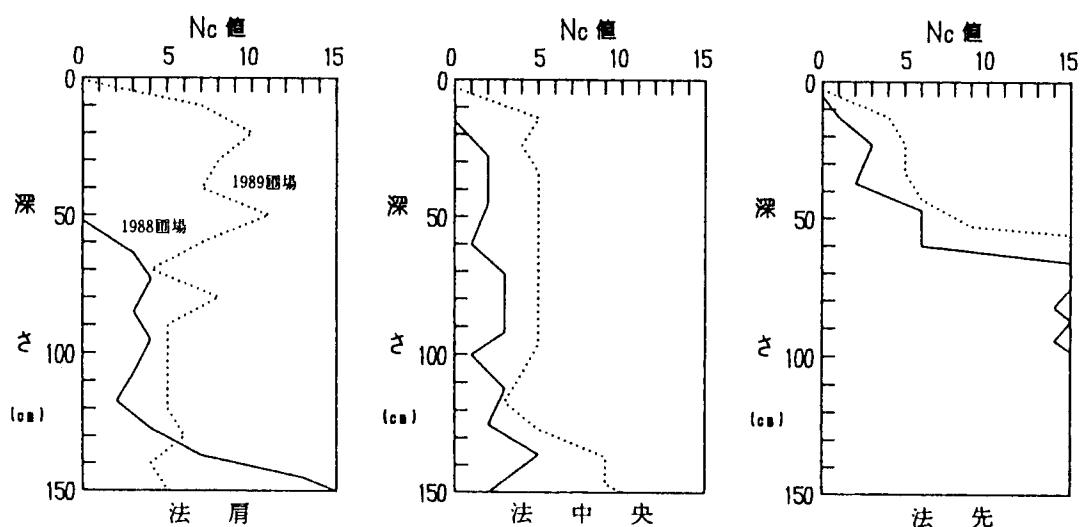


図-7 北向法面における地盤強度の垂直分布

100cmでやや低下するが、それ以下の深さは6以上の値を示している。法中央では、1988圃場が地表から約70cmまでのNc値が5以下の値を示し、それ以下になると10以上の高い値を示した。1989圃場においては地表より10cm程度の深さにおいてNc値が高まるが20cm~30cmにかけて一度低くなり、それ以下は高い値を示した。法先における1988圃場は法肩、法中央のNc値の垂直分布とは異なり地表より10cm程度までは低いNcを示しているが、それ以下になると高い値を示している。一方、1989圃場の法先におけるNc値の垂直分布であるが、こちらは法肩、法中央と同様なNc値の垂直分布を示している。また、1988圃場のNc値の垂直分布とも似通っている。

この結果、凍結経験のある1988圃場の南向き法面法肩、法中央のNc値垂直分布は、地表から50cm付近を境として上部は地盤強度が弱く下部は地盤強度が強いことを示している。また、凍結経験のある1988圃場の法先と凍結経験のない1989圃場の法肩、法中央、法先においては地表から10cm程度は地盤強度が弱く、それ以下は地盤強度が強いことを示している。そして1988圃場の法肩、法中央のNc値の垂直分布の変移点は、前段で推定した南向き法面の最大凍結深さとほぼ一致することがわかった。これは法面土壤が冬期間、凍結を経験することにより法面地盤下部から給水され凍結した土中水が凍結膨張し土層中の間隙を拡張することにより融解後、凍結土層部分の地盤強度の低下を招いたものと考えられる。

一方、1989圃場のNc値垂直分布はこの法面が土壤凍結を経験していないため、表面土層の地盤強度が弱くそれ以下は地盤強度が強いという特徴を示しているものと考えられる。また、1988圃場の法先におけるNc値垂直分布については、法肩、法中央同様に冬期間を経験したにも関わらず、凍結を経験しない1989圃場のNc値垂直分布と

同様な傾向を示した。これは積雪地域の特徴である雪の吹き溜まり現象に起因するものと考えられる。つまり、勾配のある法面において一様に降った雪は、風、日照、法勾配などの影響を受け日陰で風の影響の少ない部分に集積する傾向にある。法先は冬期間この条件に適合する場所であり積雪が保温材となりこの部位の土壤凍結を抑制したものと考えられる。

次に北向き法面のNc値垂直分布については、法肩で1989圃場は10~60cmでNc値が6~10を示すのに対して、1988圃場は0~4を示している。それ以下は両者とも、それほど変わらない値を示している。しかし、法中央では、10~80cmまで1989圃場より1988圃場が低くNc値の差が2と若干の違いしかみられなかった。さらに法先では、両者にはほとんど違いがみられなかった。

この結果は、法中央のNc値垂直分布においてその傾向が若干異なるが、法肩、法先については、地盤強度の変移点が異なるものの南向き法面と同様な傾向を示していることがわかった。またその変移点についても、前段で推定した北向き法面の最大凍結深度とほぼ一致し、ここでも土壤凍結が法面土壤の地盤強度に強い影響を与えることがわかった。

このように土壤凍結を経験した法面は、土壤凍結を経験していない法面と比較すると、表層付近でNc値がかなり低下し、これが、浸透破壊や法面崩壊の誘引となることが明らかとなった。これに加え法面土壤に凍結土層が残存する期間は、さらに土壤侵食の危険性が高まり、土壤凍結地域の法面の設計にはこの問題も考慮する必要があると考えられる。

(3). 法面方向が土壤侵食に与える影響

土壤凍結を経験した1988圃場において、南向き法面と北向き法面の法肩、法中央、法先の比較した結果を図-8に示す。

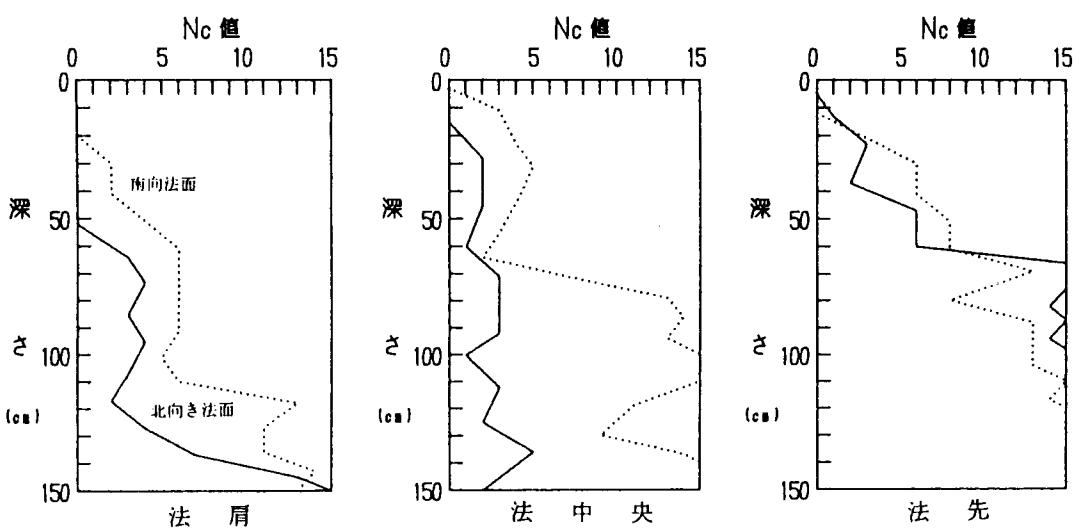


図-6 北向・南向法面における地盤強度の垂直分布

法肩で南向き法面は、地表から約20cmまでNc値が0を示していて、それより深くなると徐々に大きくなり約120cmでNc値が10以上を示している。それに対して、北向き法面は、地表から約50cmまでNc値が0を示していて、それより深くなると南向き法面同様徐々に大きくなっている。

また法中央で南向き法面は地表から約60cmまでNc値が0~5の間にあり、それより深くなるとNc値が10以上を示している。それに対して、北向き法面は地表から約150cmまでNc値が0~4を示している。

法先で南向き法面、北向き法面は同じ様な値を示し、両者にはほとんど差がなかった。地表から約30cmのところでNc値が6を示し、約60cmのところでNc値が10以上を示している。

これより法肩については南向き法面で約40cm、北向き法面で約70cmとそれぞれの土壤凍結深さと考えられるところまでのNc値が非常に低くなっている。これは日射量や風などが法面の向きによって異

なるため、土壤凍結深さが異なりこれがその法面の地盤強度低下の違いをもたらすものと考えられる。そしてこのことが、融雪期の表流水や浸透水による土壤侵食や崩壊を助長させる一因と考えられる。

一方、法中央、法先についてはその量に差はあるものの南向き法面・北向き法面ともに冬期間積雪に覆われ土壤凍結に顕著な差が発生せずNc値にも差が現れなかったものと考えられる。

この結果より、土壤凍結が発生するような寒冷な地域においては、法面の土壤凍結に起因する土壤侵食対策を講じる必要がある。特に法肩部位においては法面方向を考慮した対策を講じなければ、その部位の土壤凍結により発生する土壤の易侵食性が助長され法肩に多く配置される承水路、排水路等の崩壊、法肩の浸透破壊等の誘因となり、その設計に当たってはこの点についても考慮する必要があると考える。

3. 法面降雨と計画排水量

この解析は図-1に示した1989圃場の①圃場を対象に行った。

到達時間内の降雨強度は、設計時に稻穂地区で使用された46.6 mm/hrとして、実測した浸入度から算出された各法面の流出係数を表-1に示す。

表-1 法面の流出係数

法面種類	流出係数
盛土南向き	0.57
盛土北向き	0.21
切土南向き	0.43
切土北向き	0.96

なお、現在設計に採用している計算では圃場の流出係数は農地に使用される0.7としている。⁸⁾

また、この圃場における3つの承水路A, B, Cに関連する圃場、法面別の集水面積、またそれに基づいた圃場・法面について合理式より算出した排水量と、この圃場での3つの承水路A, B, Cの許容排水量を表-2に示す。

表-2 承水路の集水面積、排水量および許容排水量

水路種類	集水面積 (ha)			排水量 (m ³ /s)			許容排水量 (m ³ /s)
	圃場	法面	合計	圃場	法面	合計	
承水路A	1.93	0.29	2.31	0.18	0.03	0.21	0.20
承水路B	0.54	0.06	0.60	0.05	0.00	0.05	0.19
承水路C	1.81	0.03	1.99	0.16	0.02	0.19	0.18

これより、圃場の面積のみで計算されている計画排水量は、すべての承水路の許容排水量の範囲内にあるが、法面を集水面積に加えて計算すると承水路A, Cで許容排水量の範囲を越えた。

一方承水路Bは、集水面積が0.60haと他の集水面積に比べ 1/3~1/4と小さいため、流下能力の範囲内にあったと考えられる。

このように十勝地域のような傾斜地における農地造成工事を行う場合は、水田のそれとは異なり、圃場面に付随する法面積も非常に大きなものとなり計画排水量の計算に対しても多大な影響を与えることがわかった。実際の排水路断面は安全性を考慮し7割水深で設計されており排水路からの越流まで引き起こし排水路の破壊を招くことはないが、流量・流速の増大による洗掘等、これを放置しておくと土壌侵食を引き起こす危険性が非常に高くなる現象が発生しており、今後の計画排水量の決定にあたっては法面積を集水面積に加えることが必要であると考えられる。

IV. まとめ

寒冷・少雪な十勝地域稻穂地区の大規模な農地造成地において、

この地域の特徴である土壤凍結が侵食に及ぼす影響について、特にその法面に着目し調査した。この結果、以下の知見を得ることができた。

寒冷地域における農地造成地内の承水路は、冬期間の積雪によってその断面が覆われ、融雪期の排水を十分に流下させる断面確保ができず、承水路を越流した排水が法面にリル侵食を発生させていることが明らかとなった。

この対策としては、融雪期、日陰となるような融雪を抑制する位置の承水路においては、排水が十分流下できる断面を確保すべきであろう。また、このような箇所には、秋口に簡易な圃場内沈砂地などを設置し、冬期間の圃場面の排水および流亡土壤を捕獲すればその効果はより高まるものと思われる。

造成農地法面土壤は冬期間凍結し、これが融凍期になると土壤凍結層が法面中に残存する期間、浸透水がこの凍結土層を疑似河床として流下するため、表層すべり破壊や法面中腹において浸透破壊を発生させることが明らかとなった。これを防止するためには、浸透水の流下を防ぐ必要があり、沢田等⁹⁾の提案した、心土破碎による融雪浸透水の圃場下方への排出や、法肩部位に土壤凍結深さ以上の防水シートを埋設し、法面に浸透水を直接流出させない工夫が必要であろう。

造成農地地区内の取付道路の排水処理工、承水路の不足など土壤侵食防止工法の不備によって、本来は排水路系を通り地区外に排出される表面流出水が法面に流出することによってリル侵食を発生させていることが明らかとなった。この防止策としては、大規模な造成農地内の取付道路、法面においてはこれを集水面積に計上し、取付道路下部には捕水路、長大法面下部には法面積を考慮した承水路の断面設計等が必要であろう。

造成農地法面に付隨する法面方向による土壤侵食の危険性は、北向き法面が南向き法面と比較して融解時期、法面土層中に凍結層の残存する期間が長く、かつ積雪も日陰のため多く残存し、その危険性の高いことが明らかとなった。この防止策としては、施工地区の完成時における法面方向と冬期間における太陽高度に着目し、事前に融雪期における日陰部位を推測し、上記に述べた寒冷地における農地保全防止策をうまく取り入れていく必要があろう。

引用文献

- 1) 松田豊：改良山成工における農地保全問題，農地開発増刊号北海道土木工業新聞社, pp. 100~103(1984)
- 2) 堤聰・小林裕志・鈴木創三・杉浦俊弘・高木東・佐藤幸一・江崎要：土砂流亡防止を考慮した採草地の設計施工例－改良山成畠工に関する研究(Ⅲ)－，農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp. 332-333(1984)
- 3) 佐藤芳久・和高喜一・穴沢健夫・持館孝悦・坂下幸男：排水路、防災施設工、法面保護工等の施工と問題点－福島県三春南部地区的農地開発事業(Ⅲ)－，農業土木学会誌 54(5), pp. 407-412 (1986)
- 4) 鳴栄吉・山路永司・小出進：農地保全から見た畠・承水路の配置農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp. 498-499(1986)
- 5) 秀島好昭・沢田則彦・小野寺康浩：北海道における改良山成畠工の防災に関する研究，農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp. 450-451(1987)
- 6) 土谷富士夫：十勝地方における火山灰土壤の凍結、凍上が農地に及ぼす影響に関する研究，須田製版, pp. 100-102(1986)

- 7) 辻修・松田豊・土谷富士夫:農地造成における土壤侵食に関する研究(I)-造成圃場法面が流出水量に与える影響-農業土木学会,北海道支部講演要旨集,pp.76-77(1991)
- 8) 農林水産省構造改善局:土地改良事業計画設計基準(計画・農地保全),農業土木学会,p.14(1979)
- 9) 沢田則彦・小野寺康浩・廣田達夫:改良山成畑における融雪と心土破碎の排水効果,農業土木学会大会講演会講演要旨集,pp.374-375(1988)

急傾斜法面の植生保護

株式会社 熊谷組 横塚 享

1. はじめに

自然の保護・復元が大きな環境問題として取り上げられている現在、それらを解決する一つの方法として、緑化技術が注目をあびている。

これまでに緑化技術は、農地や農道の開発・整備に伴い出現する広大な法面などの荒廃裸地において、その保護や緑地の造成に多くの成果をあげてきている。しかしながら同時に、緑化技術には、植生による法面保護や単なる緑地の造成だけでなく、周辺景観や自然との調和あるいは生態系の回復などを目的とした緑化の質的な向上、さらに、ゆとりや潤いのある生活空間の創出など、幅広い課題に対する貢献が期待されている。

こういった状況の中で、主として、急傾斜法面の植生保護においては、導入植物の選定やそれに伴う造成生育基盤の開発・改良など、緑化の質的な向上を主眼とした研究開発が必要とされる。生育基盤の造成は、緑化の基本手段であり、その基盤の持つ特性が、現在、緑化技術に求められている多くの課題に対しての有効な解決手段になり得ると考える。

また、これらを踏まえて、農道や農地の開発・整備工事などにおいても、自然環境に配慮した総合的な緑化の計画が、重要視されるようになってきている。

2. 急傾斜法面の植生保護

従来行われてきた草本を主体とする緑化は、緑化困難地においては、その永続性や植生の自然遷移などを期待することは難しいとされる。また、急傾斜法面では、根系が十分に発達せず、生育基盤の崩落などの危険性が指摘されている。さらに、緑化の質的な向上という観点から、外来草本種などは、周辺の自然環境や生態系と調和しにくい、あるいは、法表面を不自然に被覆するため自然景観との間に違和感がある、などの問題が提起されているところである。

これらのことから、急傾斜法面の植生保護においても、単に緑の量を増やし法面の侵食を防止するだけでなく、自然環境や景観に配慮するなど緑の持つ機能を多角的に生かす時期にきている。その一つの方法が、従来の草本主体の緑化から、木本、草花あるいは地域に自生する郷土種などを導入した多様性のある緑化への転換であるとされる。特に、播種により法面に導入された木本は、草本に比較して、①根系が法面崩落防止などの法面保護に適した形態を有していること、②山岳森林地帯では早期に周辺植生と調和が図れること、③景観的にも早い時点で違和感が薄れること、などが期待される。また、④肥料木などの導入によりやせ地などにも生育が容易であるとされる。これらの要因により、播種による木本の導入は、自然の保護・復元、景観の維持などに、大きな効果が期待できる手法として、広く利用されるようになってきている。

また、一方では、これらの緑化の質的な向上を実現させるための生育基盤やその造成法の開発・改良が急務である。

3. 緑化工の概略

3-1 緑化工の適用範囲

緑化の目的は、植物の生育に伴う法面侵食の防止効果と、周辺環境との調和や自然の保護・復元に役立つ植物群落を形成することであり、法面崩壊などの構造的な破壊防止効果を期待することはできない。したがって、緑化工のみを施工する場合には、法面は、長期的に安定であることが基本的条件となる。法面が不安定とみなされる場合には、別途、安定工法の施工が必要となる。

3-2 緑化工の種類と分類

緑化工は、機械施工（種子吹付工）による緑化工と、人力施工による緑化工に大別される。木本を法面に導入する場合には、機械により種子を吹付ける方法と、人力を主体として苗木を植栽する方法の2つの手法が一般的に行われる。これらは木本の導入目的、地山の状況や法面勾配、施工時期あるいは導入樹種などにより決定されるものである。今回は、対象が急傾斜法面であることから、播種による木本の導入を主体として取り上げることにした。

機械施工による緑化工は、さらに、種子散布工、客土（種子）吹付工、厚層基材吹付工に分類される。急傾斜法面を対象とした緑化工は、通常、施工性や地山の土質状況から、機械施工による種子吹付工の内、厚層基材吹付工を用いて生育基盤を造成し、植生の導入を図る手法が一般的である。

表3-1に緑化工の簡単な分類を示した。

表3-1 緑化工の分類

施 工 方 法	工 法	名
機械施工（種子吹付工）	種子散布工、客土吹付工、厚層基材吹付工	等
人工施工	植生シート工、張り芝、植栽工	等

（1）種子散布工

種子、ファイバー類（木質材料）、侵食防止剤、肥料などと水を混合し吹き付ける種子吹付工。この工法は、高能率で大面積の急速施工に適しているが、生育基盤の造成を伴わないため、通常は、土砂の盛土法面など施工対象地が生育基盤としての機能を備えている法面などに適用される。硬質土や岩盤・無土壤地などの緑化困難地に対しての施工には不適である。

（2）客土（種子）吹付工

種子、肥料、土壤、侵食防止剤に水を加えて泥状に混合したものをエア方式あるいはハイドロ方式の客土吹付機により、厚さ1～3cm程度に生育基盤を造成する工法。種子散布工に比較して、ある程度の厚さの生育基盤の造成ができるため、やせ地などにも施工され、適用範囲が広がっている。

（3）厚層基材吹付工

岩盤、無土壤地などの緑化が極めて困難な箇所を対象として開発された種子吹付工。通常では、造成される生育基盤の厚さが5cm以上になるよう吹き付ける工法をいう。この工法は、植生基材として、有機系（ピートモス、バーグ堆肥など）を主体に用いる有機質基材吹付工と、土砂を主体として用いる無機質基材吹付工に大別される。その他、土壤を団粒させて厚層に吹き付ける工法などがある。

4. 急傾斜法面への緑化工の適用

急傾斜として扱う法面は、その安定性の観点も含めて、地山が岩盤などで構成された切土法面を対象とし、勾配が $1:1.2 \sim 1:1$ より急な法面とすることが一般的であろうと考える。こういった法面は、多くの場合、無土壌地として緑化が困難な所とされ、植生の導入には、生育基盤の造成が必要であり、また、緑化の質的な向上や多様化には、優れた生育基盤の存在が不可欠と考えられる。

わが国においては、急傾斜法面などの緑化困難地を対象として、多くの厚層基材吹付工が開発・実用化されている。しかしながら、これらの手法の多くは、従来までの草本による緑地を早期に造成することを目的として利用されている。

一般に、草本による緑化は、早期に法面（生育基盤）を被覆させ、緑の量を確保するとともに、降雨などに対して耐食性を向上させることを目的としている。このため、初期生育が旺盛でしかも性質が強健な植物、主として、品質が安定し価格が比較的安価である外来草本が多く使用されてきた。このため、木本を主体とした多様性のある緑化を計画した場合、これらの草本と木本を混播させると、発芽・生育の遅い木本は、草本に被圧され成立が困難となることが多い。また、木本の単播は、発芽・生育が遅いことによる法面の無植生期間が長いこと、これによる法面侵食と生育基盤土壌や種子の流亡が懸念されるところである。これに対し、造成時に生育基盤安定のために混入する接着剤などの增量は、基盤の硬化や発芽・生育障害を引き起こす場合があり、導入された木本の発芽および成立の確率が低くなることが指摘されている。

一方、厚層基材吹付工による生育基盤の造成厚さは、施工性や経済性の観点から、通常5cm程度に抑えられることが多く、導入された植物は、この限られた環境内で生活を維持しなければならない。さらに、木本の発芽・生育は、草本に比較して、造成される生育基盤の影響を受けやすいとされる。このため、生育基盤は、その耐食性にかかる土壌硬度をはじめとして、三相分布・水分の保持力などに優れた土壌構造を有する必要がある。

これらのことから、木本を播種により導入するためには、造成される生育基盤自体が降雨などに対する耐食性を有していること、また、生育基盤の基

本的な土壤特性が、植物の発芽・生育に適している必要がある。特に、法面勾配が急になるに従い、植生環境は劣悪になっていくものと考えられ、生育基盤は、これらの条件を満たしていることが重要となる。

本報では、急傾斜法面における植生保護を主題とするため、生育基盤の造成を伴う厚層基材吹付工による緑化について、木本など多様な植物種の導入を図る緑化工法の内、特に土砂系の材料を主体とした手法に関して、若干の基礎的な調査・試験を実施したので報告する。

4-1 厚層基材吹付工により造成された生育基盤の基本的特性

試験の対象とした生育基盤は、試験フィールドとして、法勾配1:0.7の急傾斜切土法面に造成した。ここに造成された生育基盤の基本的な土壤特性について、自然の森林土壤との比較を行い、急傾斜法面への適用の可能性について評価してみた。

(1) 三相分布および団粒化度

急傾斜法面に造成された生育基盤から、造成直後および造成後4年を経過した時点での試料を採取し三相分布を測定した。図4-1に三相分布の測定結果を示す。

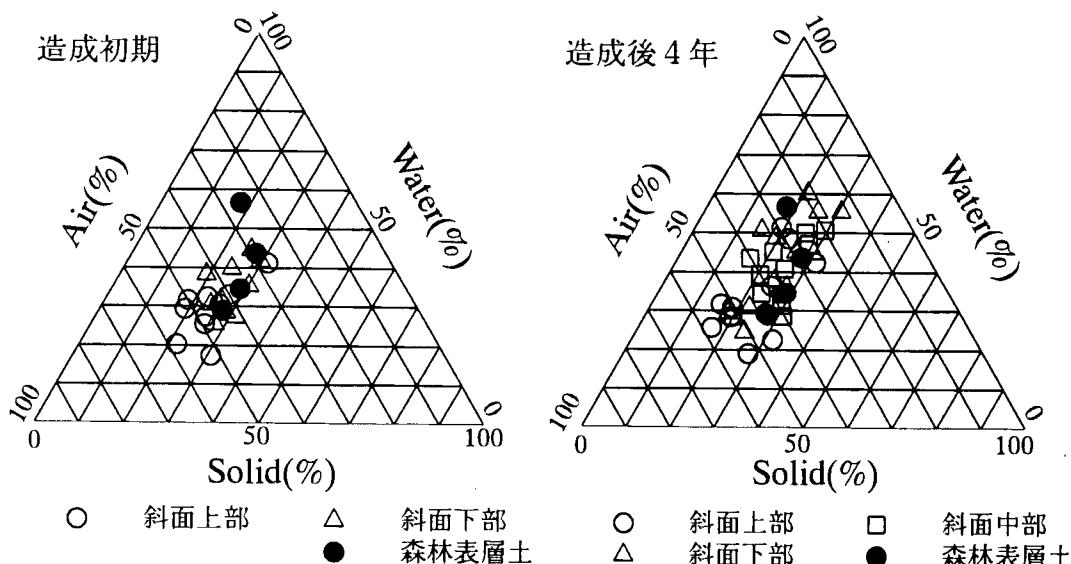


図4-1 生育基盤の三相分布測定結果

気相率および液相率に関しては、水分の蒸発散・移動などにより、測定時期によって変化しているが、固相率に関しては、概ね15%～30%の範囲内にあることがわかる。また、対照とした森林土壤の測定結果は、固相率が28.5%、27.4%、27.2%および17.7%であった。

日本における一般的な森林土壤での固相率は、20%～30%を示し40%を越えることは少ないとされる。また、北海道東南部・東北・関東・九州の台地上によくみられる火山灰起源の黒ボク土では、固相率が15%以下になる場合もあることが報告されている。

一方、生育基盤の土壤團粒について、團粒化度（0.1mm以下の粒子に対する團粒化度）を求めるこことにより評価した。図4-2は、造成後4年を経過した生育基盤（斜面上部および下部）の團粒化度について、自然に採取できる土性の類似した森林土壤の團粒化度と比較したものである。測定値は、いずれの場合も60%前後の値を示した。

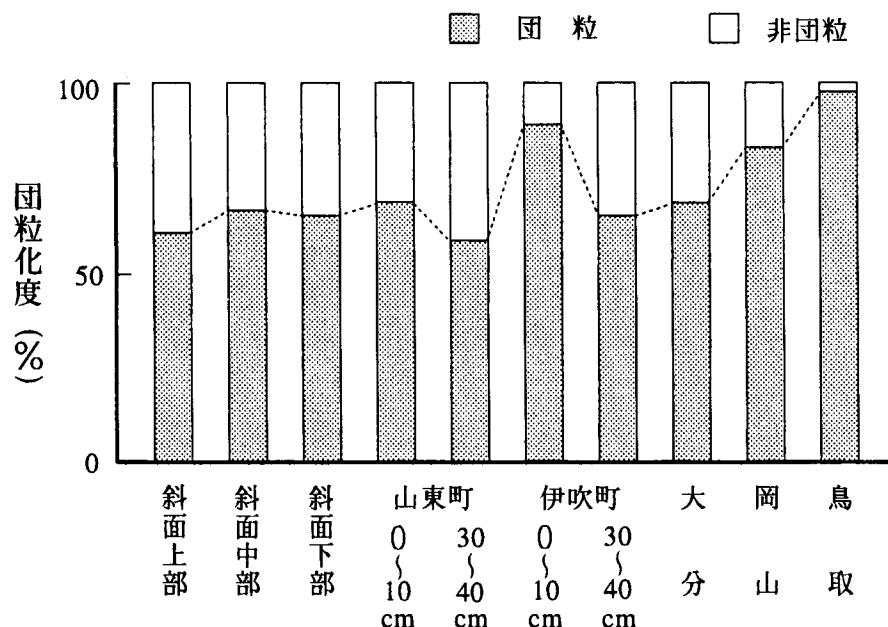


図4-2 生育基盤の團粒化度

これらの結果から、造成された生育基盤の三相分布において、その固相率は、今回対照とした自然の森林土壤と、ほぼ同程度の値を有しており、また、経時変化においても、大きな変化はみられず安定している。一方、團粒化度に

についても同様に、自然において採取される森林土壤と同程度の値を示し、植生に適した範囲内にあることが推測される。

(2) 土壤水分特性

試験フィールドに造成された生育基盤の保水性の評価として、有効水分量（圃場容水量：pF 2.0と毛管連絡切断点：pF 3.0の差）を測定した。測定対象試料は、造成後1週間以上経過した生育基盤から採取した。有効水分量の調査結果を表4-1に示す。

表4-1 生育基盤における有効水分量

測 点	圃場容水量水分	毛管連絡切断点水分	有効水分量
上 部	69.28	39.85	29.43
中 部	66.68	38.73	27.94
下 部	68.12	44.48	23.64
平 均			27.00

有効水分量は、全体の平均で27.00%を示しており、大山（鳥取県）の火山灰土壤（腐植質：19%、鉱質：13%）により大きい値である。また、山梨県および福島県の褐色森林土壤の有効水分量は、約5%～8%と報告されている。これらの数値と厚層基材吹付工により造成された生育基盤の有効水分量を比較すると、約1.5～6倍となることがわかる。したがって、有効水分量に関して言えば、この生育基盤の厚さ10cmは、火山灰土壤では15cm、褐色森林土壤では30～60cmの厚さに相当することになり、緑化困難地への造成効果が期待できる。

また、急傾斜切土法面に実際に造成された生基盤において、灌漑後のpF値の経日変化を、植物の萌芽期である5月と消費水量がピークになる7月に測定した。結果を図4-3にまとめた。

生育基盤内の水分量は、時間の経過と減少し乾燥状態になっていくことがわかる。しかしながら、その減少過程は、上部に比較して下部の減少量が少なく、下方部の水分量が安定している傾向がみられる。また、植物の萌芽期である5月に比べて、消費水量がピークになる7月において最も水分の減少

が大きくなる。これらの結果から、緑化困難値である急傾斜切土法面へ、保水性の高い生育基盤の造成が有効であることが推測される。また、夏期は植生に対する水分環境が厳しい時期であり、この地域における連続干天日は、10年確率では13日、20年確率では16日を越える。このため、これらに対応可能な土壤構造や保水性に優れた生育基盤の造成が期待されるところである。

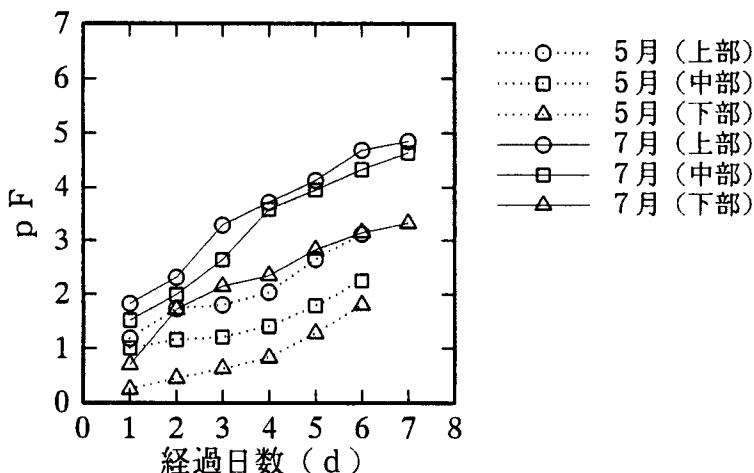


図4-3 p F値の経日変化

(3) 耐食性と土壤硬度

造成される生育基盤においては、耐食性と土壤硬度には密接な関連が認められる。生育基盤の耐食性は、造成時に混入する接着剤などの量を調整することにより容易に向上させることができる。一般に、植物の根系の土壤中への侵入が妨げられる土壤硬度の限界値は、粘性土の場合は23mm、砂質土の場合は25mmとされる。このため、接着剤などの多量の混入は、前述のように土壤の硬化をまねき、発芽や生育の障害となる場合がある。

図4-4は、3種類の生育基盤造成の手法について、耐食性および土壤硬度を調査した結果である。耐食性試験は、各手法別に造成後の経過時間ごとに供試体を作成し、降雨試験により流失土量を測定して評価した。土壤硬度についても、同一供試体において、山中式土壤硬度計により各試料別に測定した。なお、すべての供試体に植物は導入していない。

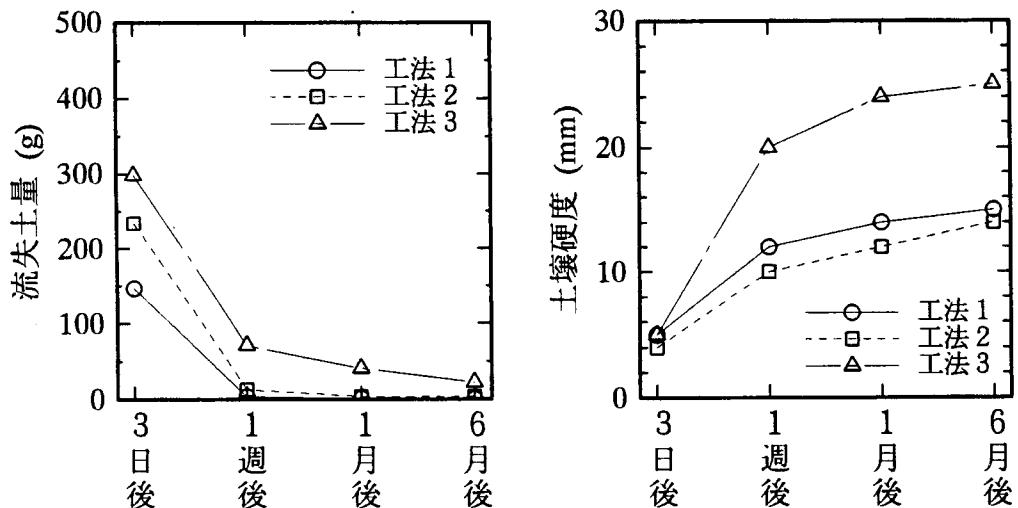


図4-4 耐食性と土壤硬度の経時変化

いずれの手法も造成直後の供試体試験においては、ある程度の土壤の流失がみられる。しかしながら、造成後1週間を経過した供試体では、流失土量は大きく減少しており、植生に対する影響も軽微になることが予想される。この時点で、土壤硬度は10cm～20cm程度の測定値を示しており、土壤硬度の増加とともに耐食性も向上していることがわかる。また、造成手法によっては、時間の経過とともに生育基盤の土壤硬度が増加し、植生の適正範囲外になることが認められる。

以上、厚層基材吹付工により造成された生育基盤の、基本的な土壤特性を調査した結果について報告した。後述するように、この手法により急傾斜法面に導入された木本は、5年間の追跡調査の結果から、良好な生育状況を示しており、生育基盤として適用の可能性を示唆するものと思われる。

4-2 導入植物の生育特性

土壤の基本的特性を調査した急傾斜法面において、導入植物に関して追跡調査を約5年にわたり実施した。植生の追跡調査は、播種後1か月、2か月、3か月、2年、3年（5月、7月）および5年目の9月に行い、生育状況の経時的な推移について調査を行った。

表4-2は、導入植物の種子配合を示したものである。木本はヤマハギ・イタチハギ（いずれも低木）を主構成種とし、草本はウィーピングラブグラス（WLG）を混播した。

表4-2 種子配合

	発生期待本数 本/m ²	平均粒数 粒/g	発芽率 %	純度 %	播種量 g/m ²
ヤマハギ	1,000	150	60	50	28.89
イタチハギ	1,000	100	65	70	28.89
W L G	200	3,000	85	98	0.10

(1) 木本の生育特性

表4-3に播種以後の成立本数と生育高の推移をまとめた。木本の個体数は播種後2か月でピークとなり、以後は減少傾向となり、特に播種後2年までに、成立本数は最大期の1/100以下まで減少している。播種後3年を経過した時点で、導入木本の一つであるイタチハギは消滅し、ヤマハギの綠地となっており、その生育本数は5本/m²であった。また、生育高は50~200cm程度まで順調に生長しており、斜面下部において上部より生育高が大きくなることが確認された。イタチハギの消滅の原因の一つは、これら優勢なヤマハギの被圧によるものと考えられる。

表4-3 成立本数と生育高の推移

植物名	項目	単位：成立本数（本/m ² ）、生育高（cm）								
		1か月	2か月	3か月	2年	3年	4年	5年	6年	7年
ヤマハギ	成立本数	32	244	218	12	5	4	2		
	生育高	0~5	0~10	20~30	30~100	50~200	50~200	150~300		
イタチハギ	成立本数	40	386	330	0	0	0	0		
	生育高	0~5	0~10	0~10	-	-	-	-		
WLG	成立本数	56	106	120	37	10	5	0		
	生育高	5	10	20	30	30	30	-		

播種後4年における調査結果では、ヤマハギの生育本数は、平均4本／m²まで減少し、さらに淘汰が進行していることがうかがわれる。生育本数の変化は、主に劣勢な個体の減少によるものと考えられ、したがってヤマハギによる被覆率は概ね100%を示しており、順調な生育過程を示しているものと思われる。

導入草本であるウィーピングラブグラスも、同様に、時間の経過とともに確実に減少傾向をたどっており、播種後3年では10本／m²の生育が確認されたが、4年後では5本／m²まで減少し衰退傾向がみられる。

4年を経過した7月における、植生分布および生育状況を図4-5に示した。木本はヤマハギを主体とし侵入種のヌルデが生育しているが、ヤマハギとヌルデは明確な住み分けがなされていることが特徴的である。

ヤマハギは、生育高・幹まわりとも斜面下部が上部に比較して良好であるが、反面、斜面上方は生育本数が多いという傾向がみられる。また、葉面積の合計は、同様に下部が最も多く、中部、上部の順に減少する傾向がみられる。これらの傾向には、生育基盤の水分動態が大きな影響を与えているものと考えられる。一方、ヌルデは、比較的ヤマハギの生育が順調であり、侵入植物の生活空間が増加している斜面下部に多く見られる。

1994年7月は、最大連続干天日数が21日を記録した。また、8月においても最大10日を示し、14mm／日程度の降雨を除けば、20日以上ほとんど降雨が観測されていないなど、例年に比較して非常に厳しい植生環境であったといえる。5年目の植生調査として、この連続した無降雨の状態が急傾斜法面の植生に及ぼす影響について調査を行った。図4-5に示したように、1993年7月と1994年9月の植生調査を比較すると、調査法面全体のヤマハギの生育本数が、約1／3程度まで減少していることが確認された。特に斜面上部における減少傾向が顕著である。一方、斜面下部に生育しているヤマハギの成立本数は、前回調査時との差はほとんどない。しかしながら、葉の周辺が変色し始めるなど、水不足の影響を受けていることが観察された。なお、導入草本であるウィーピングラブグラスは、調査法面全体にわたり枯死したものと考えられ、生育が確認されなかった。

(2) 根系特性

図4-6は、導入木本(ヤマハギ)について、播種後2か月と4か月の初

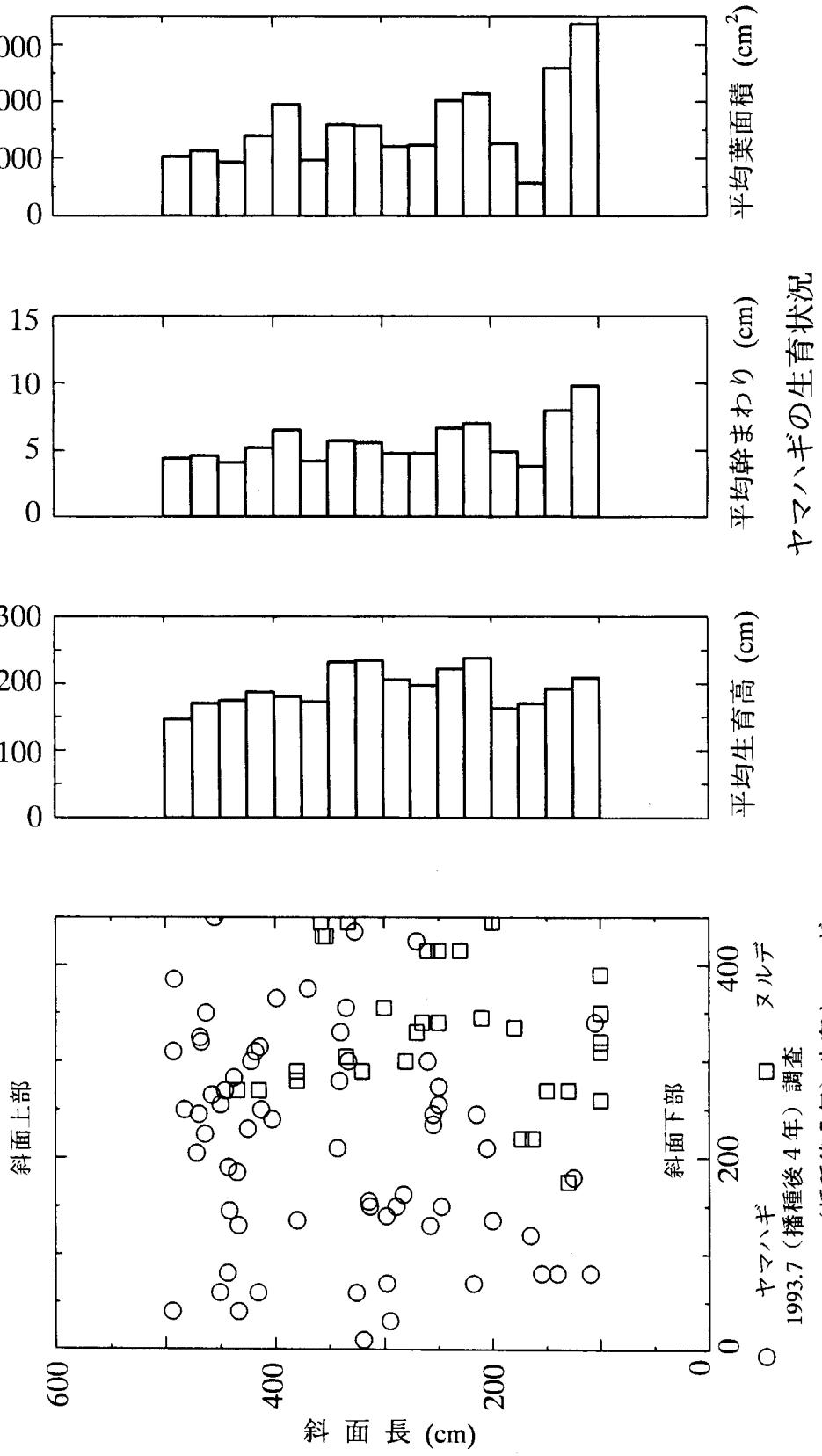


図4-5 植生分布とヤマハギの生育状況

期生育における生育高と根系の伸長状況を調査したものである。

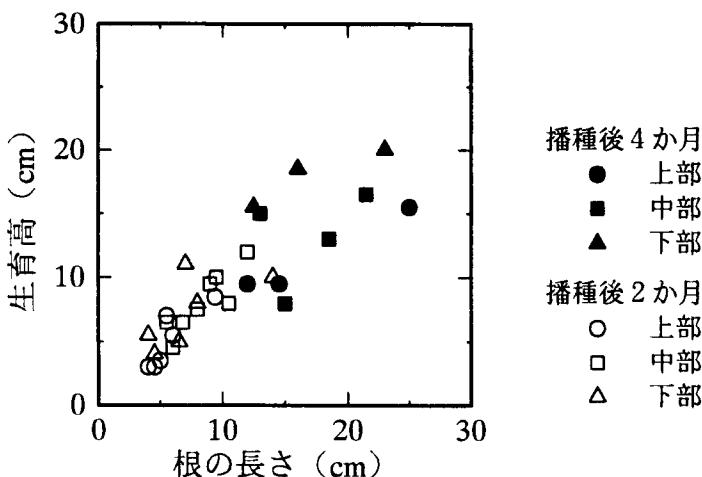


図4-6 ヤマハギの生育高と根の長さ

播種後2か月の時点で、ヤマハギの生育高は5～10cm程度であり、根系もほぼ同程度の値であることが観察された。生育基盤の造成厚さが5cmであることから、根系は地山に十分伸長しておらず、生育基盤内にのみに分布していることが推測される。したがって、播種後発芽してから初期の生育期間におけるヤマハギは、水分などの供給に関して、造成された生育基盤のみに依存しているものと考えられる。播種後4か月の時点で、ヤマハギの生育高は10cm～20cm程度まで達しており、根系もこれに伴い地山の風化層および岩盤内にも伸長しつつあることが観察された。

播種により導入された木本の根系は、造成された生育基盤内だけでなく、岩盤などの亀裂や風化層にも伸長が可能であり、法面の保護など貢献することができる。また、根の伸長方向も斜面の下方だけでなく、斜面の上方や斜面に対して垂直方向にも伸長するとされる。これらの傾向は、播種後3年～4年経過し、ヤマハギがある程度まで生長した時点での根系調査において観察される。

5. 緑化の事例

以下に、厚層基材吹付工により施工された緑化の事例について、代表的な

事例を紹介する。

5-1 木本を導入した法面緑化

農地や農道の開発・整備などに伴い出現する切土法面を対象とし、自然の保護・復元を目的として、木本を播種により導入する緑化の事例が増加してきている。導入した木本を確実に成立させるためには、発芽・生育が速く木本を被圧する可能性のある草本（特に外来草本）の播種量を、従来に比較して大幅に低減することが必要である。このため、初期の法面の被覆率は低くなる。また、生育基盤は、木本の発芽や生育に適した構造を有していることはもちろん、降雨などに対する耐食性に優れていることが要求される。

（1）道路法面の緑化

自然の保護・復元を目的として木本の導入を計画し、2月に施工された法面緑化の事例である。施工後3か月（5月）における初期の植生状況は、草本の播種量を低減したことにより被覆率は低くなる。写真5-1は、施工後6か月（8月）の写真であるが、この時点で対象法面は、導入された木本の生育により全面的に緑化される。

- ①法面状況：軟岩切土 ②法面勾配：1：1.0
- ③種子配合：草本（ケンタッキー31フェスク、オーチャードグラス他）
木本（低木：ヤマハギ、イタチハギ）



写真5-1 木本を導入した法面緑化（施工後6か月）

(2) 自然と調和する法面緑化

法面保護工としてコンクリート法枠、コンクリートブロック積工などの構造物が施工される。これらは法面の安定などに不可欠であるが、周辺環境との調和・景観の維持などの観点から、緑化により改善することが必要とされる場合がある。

写真5-2は、法枠内に草本主体の緑化を施工したもの（写真右）と、厚層基材吹付工により木本を導入して緑化した法面（写真左）を比較したものである。どちらも施工後2年を経過した植生状況である。従来のように草本を主体として、コンクリート法枠内を緑化した場合は、コンクリートなどの構造物は半永久的に露出したままの状態である。木本を導入した場合には、その生長とともに、これらの構造物を視覚的に遮蔽することが期待できる。

①法面状況：軟岩切土（風化が早い法面） ②法面勾配：1：1.5

③種子配合：草本（ケンタッキーフィエスク、オーチャードグラス 他）

木本（低木：ヤマハギ、イタチハギ）



写真5-2 自然と調和する法面緑化

(3) ダム建設に伴う大規模法面の緑化

ダムなどの大規模土木工事においては、広大な裸地切土法面が出現する。特に、山岳森林地帯におけるこういった大規模法面は、周辺環境や景観に与える影響が大きい。このため、早期に緑化を図り周辺環境と調和させてやる

ことが必要である。種子配合は、導入木本の成立を確実にするため、外来草本を混入しない計画としている。

- ①法面状況：硬岩切土
- ②法面勾配：1 : 0.5
- ③種子配合：木本（高木・小高木：ヤマハンノキ、ヤシャブシ）
(低木：ヤマハギ、イタチハギ)

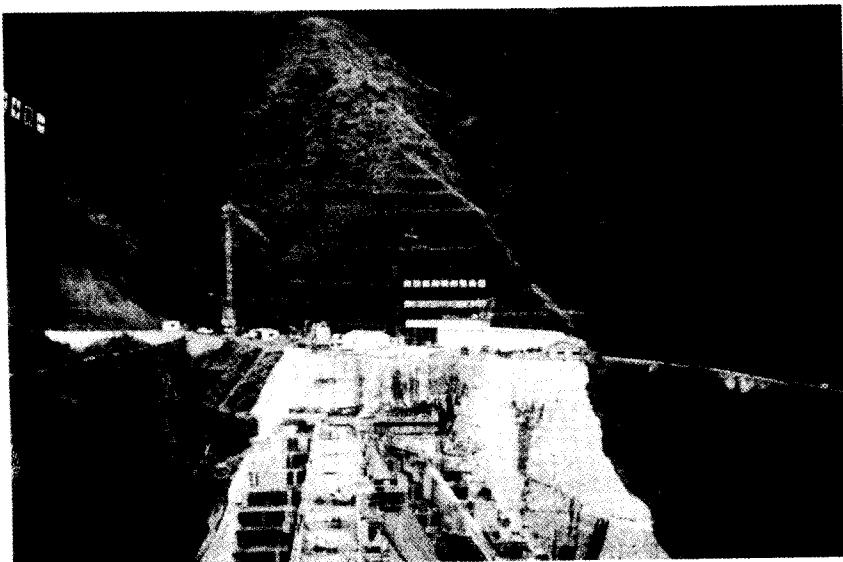


写真5-3 大規模法面の緑化

(4) 木本を導入した急傾斜法面緑化

一般的に、1 : 0.5 の法面勾配が植生の限界であるとされ、これ以上急な斜面においては全面的な緑化が困難とされる。

写真5-4は、勾配が1 : 0.3 の急傾斜法面において、試験的に木本を導入して緑化を行った施工事例である。適切な計画や管理を実施することにより、急傾斜の切土法面でも木本による緑化が可能な場合があることを示す施工事例である。

- ①法面状況：切土（ケイソウ土）
- ②法面勾配：1 : 0.3
- ③種子配合：木本（小高木：ヤシャブシ）
(低木：ヤマハギ、イタチハギ)

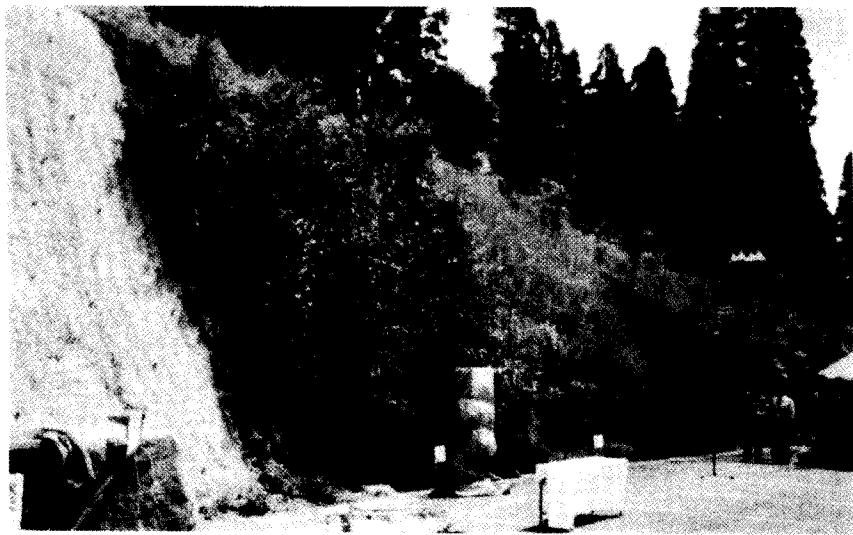


写真5－4 木本を導入した急傾斜法面緑化

4－2 草花を導入した法面緑化

法面緑化への草花の導入は、四季折々の美しさが楽しめる手法として、最近の施工例が増加している。しかしながら、これらの草花による景観を長期間維持するためには、追肥・追播などの管理が必要となる。

(1) 草花を導入した都市近郊公園法面緑化



写真5－5 草花を導入した都市近郊公園法面緑化

写真5-5は、都市近郊公園内の法面を草花を導入して緑化した事例である。公園内であることから、ある程度の維持管理を実施することを、前提として施工された。

①法面状況：土砂盛土 ②法面勾配：1：2

③種子配合：草花（オキシキイク、シャスター・ジーヴ、カスミソウ、ホピー他）

（2）草花と木本類を混播させた法面緑化

草花を導入した場合は、維持管理を行わない場合は、その景観を長期にわたり確保することは困難である。このため、維持管理の低減を目的として、草花と木本を混播させる手法がとられる。写真5-6は、施工初期の時点では草花により景観を維持し、その衰退後は、生長してきた木本により景観を維持することを計画した法面緑化の事例である。

①法面状況：軟岩切土 ②法面勾配：1：1.2

③種子配合：草花（オキシキイク、シャスター・ジーヴ、ルピナス他）

木本（低木：ヤマハギ、イタチハギ）



写真5-6 草花と木本を混播させた法面緑化（施工後6か月）

4-3 特殊地の緑化（高所・積雪地帯の法面緑化）

高所あるいは積雪地帯においては、標高が高く年間平均気温が低いこと、冬期の積雪期間が長いなど気象条件が厳しい環境にある。

施工地は、日本における有数の積雪地帯に位置すること、さらに、法面の状況は、火山岩を主体とした地山であり、それが風化・崩壊を地域である。これらの崩積地は、降雨などによる侵食が激しく、反面、水分などの保持力が極めて低いなど植生環境は劣悪である。写真5-7は、施工後2年を経過した植生状況であり、冬期の積雪を2回経験している。

①法面状況：崩積地 ②法面勾配：1:1.0~2.5

③種子配合：木本（低木：ヤマハギ）

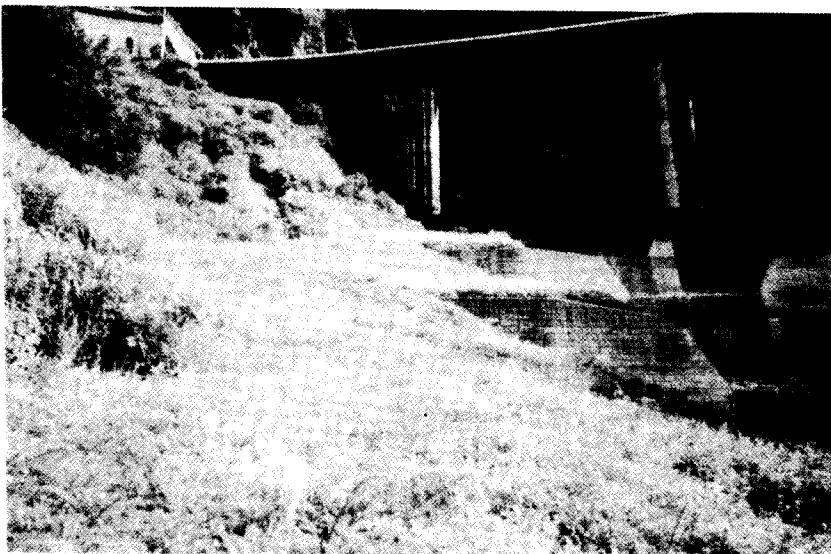


写真5-7 高所・積雪地帯の法面緑化（施工後2年）

6. おわりに

環境問題が大きくクローズアップされるようになって久しいが、最近の環境問題に対する関心の高まりに伴い、その対象範囲は、地球的な規模のものから人々の生活レベルにいたるまで多種多様な広がりをみせている。一方、環境問題に対する取り組み方も、公害などに対する環境汚染防止技術から、快適環境の創出のための技術開発などへと質的な変化をみせている。これら環境に対する関心の高まりを背景に、緑化においても、環境問題の解決や快適生活空間の創出などに対する貢献が求められており、今後の研究や技術開発に大きな期待が寄せられているところである。

こういった緑化の分野の中から、今回は、急傾斜法面の植生保護について

取り上げ、造成される生育基盤の基本的土壌特性と植生の推移について基礎的な検討を加えた。今回報告した生育基盤に関する試験・調査は、初步的な段階のものであるが、今後の緑化の発展に多少なりとも寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 環境庁自然保護局監修：自然公園における法面緑化基準の解説 道路緑化保全協会 1982
- 2) 山寺喜成：播種工による早期樹林化方式の緑化 緑化工技術 (12) 2 1986
- 3) (財) 土木研究センター：連続繊維緑化基盤設計施工マニュアル 1994
- 4) 日本緑化工学会：緑化用語辞典 1992
- 5) 横塚 享、山本太平他：山腹切土法面における緑地の造成 農業土木学会誌 61(3) 1993
- 6) (社) 農業土木学会：土の理工学性実験ガイド 1983
- 7) 横塚 享、山本太平他：造成植生基盤における木本類の生育特性 農土論集 179 1995
- 8) 日本気象協会：気象台データ (SDP63761～SDP93761) 1963～1993

傾斜地における直接基礎の支持力安定と原位置簡易試験について

山口県 大島農地建設事務所

今野 良治

1. はじめに

(1) 業務の目的と技術的課題

広域営農団地農道整備事業・大島第2地区は、標高約150mのコンターに沿って建設する山岳道路で、標準断面としては片切り・片盛りの土工であるが、盛土側に大型擁壁、沢部に橋梁等の大型構造物を連続的に施工を必要とする路線である。

特にこれから着手する区間においては、主傾斜が40°以上の急峻な地形が連続しており、その構造物の設計・施工に対する技術的課題が多い。中でも急斜面上に土留構造物を設置する場合、地盤前面が大きく傾斜しているため水平地盤に比べて、支持力は大きく低下する。そのメカニズム及び計算手法については、「日本道路公団設計要領」に示されているところであるが、計算式への入力データが重要な意味を持つことは言うに及ばない。特に、基礎地盤の有する強度定数(C , ϕ , γ)は重要なパラメータとなる。

通常、調査設計段階において、その強度定数は点調査であるボーリングコアや標準貫入試験(以下SPT)等から推定される。しかしながら、施工段階において実際に床掘られた地盤強度の定量的評価は、目前に基礎となる地盤が面的に展開しているにもかかわらず、よほど重要な構造物でない限り、経費や時間の関係上、客観的かつ定量的に示されることなく、従来からの経験的な評価に依存しているのが通例である。

すなわち、現場管理者の立場からすれば、施工現場において観察される基礎地盤の支持力確認手法のマニュアル化と、その前提となる強度定数を簡易な調査・試験を行うことによ

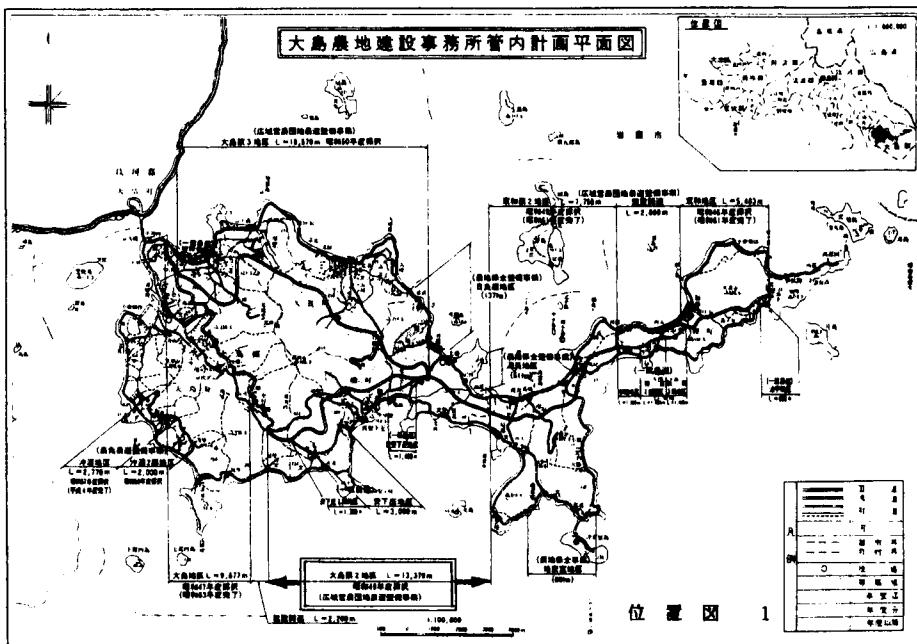


図-1 大島全域図

よって客観的に評価判定できる手法の確立が、重要な課題と考えた。特に、強度定数の評価については、原位置簡易試験による代用特性値⇒各種物性値⇒強度定数と導いて推定できるフローの作成を試みた。現段階では、そのフローに適用している各種物性値間の相関式は、主として既往文献より検証・抽出したものであるが、さらに、その各種相関式を本地区固有のものに補正することを目的として、モデル検証試験を実施中である。

(2) 事業の概要

- ア. 事業工期：昭和49年度～平成16年度
- イ. 総延長：13.37km
- ウ. 道路区分：道路構造令 第3種第4級（山地部）
- エ. 設計速度：40km
- オ. 幅員構成：全幅7.0m, 車道2.75*2, 路肩0.75*2

(3) 地質の概要

周防大島は、瀬戸内海で第3番目の面積を有し、その地質は、主として領家帯に属する中生代白亜紀の新期及び古期の花崗閃緑岩から構成され、島の中央山頂付近には、一部第三紀の火山活動に伴って形成された瀬戸内層群の輝石安山岩類がドーム状に分布している。大島第2地区の道路は丘陵地から山地への地形遷移線付近に建設され、大半が古期の花崗岩分布領域にあたる。

この花崗岩類は、一般に尾根部や瀬戸内層群との不整合境界部ではマサ状の深層風化が著しい傾向を示すが、山地部の急斜面部においては比較的マサ状の風化帶は薄く、表層から数m程度からは風化軟岩が分布することが多い。

2. 現状における地盤の支持力推定法と問題点

(1) 構造物の内的安定について

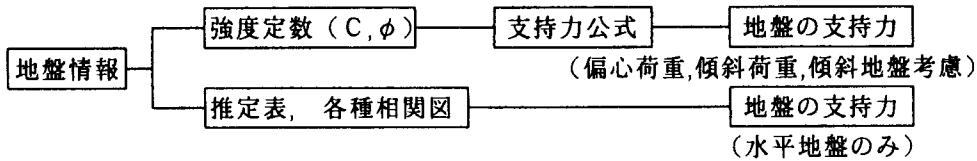
安定計算とは、設定された供与期間中に、擁壁に作用することが予想される種々の荷重に対して、地盤が過大な変位や破壊を生じることがないかを照査するものであり、以下の3種類の検討が行われる。

- a : 地盤支持力（鉛直荷重）………基礎地盤に依存
- b : 滑動（水平荷重）………基礎底面突起で対応可
- c : 転倒（モーメント）………基礎形状で対応可

中でも支持力に関する事項は、基礎形状の決定（または仮定）において発生する地盤反力に対して、地盤の支持力強度が相対的にどの程度あるかを照査するものであり、施工段階における現場での判断、対応が求められる問題である。

(2) 支持力推定方法

現在一般化している地盤支持力の推定方法は、次のフローにも示すように、塑性理論に基づいた支持力公式から推定する方法と、半経験的に定められた図表によって推定する方法のおおむね2パターンに分類される。



すなわち、地盤支持力度は一般的施工条件下の水平地盤では、主として土質区分による推定表（参考資料2）から決定されるが、傾斜地盤等の特殊な条件下では、地盤強度定数C, ϕ を用いて「日本道路公団 設計要領」の基準に準じて求められる必要がある。

(3) 支持力の低減

地盤の極限支持力は、構造物の寸法のほか下記の3つの要因によって決まる値である。（参考資料6参照）

これら3つの要因を考慮しないならば、地盤の極限支持力を過大に見積もり、危険側の結果を得ることになる。したがって、構造物の規模・施工条件・重要度に応じて、支持力の低減を考慮する必要がある。

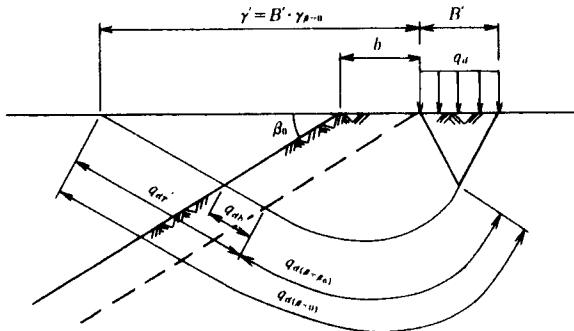


図-2 支持力の低減

- 偏心荷重：(B') 有効支持面積の低減
- 傾斜荷重：(θ) すべり線が浅くなることによる支持力低減
- 傾斜地盤：(i) 基礎前面のすべり抵抗力がないことによる支持力低減

参考として、主な設計基準の支持力に関する適用低減要因を次表に示す。

基準書	偏心荷重	傾斜荷重	傾斜地盤	備考
日本道路公団 設計要領 第2集	○	○	○	駒田
(社) 日本道路協会 道路橋示方書	○	○	—	駒田
土地改良標準設計 「擁壁」	—	—	—	Terzaghi

(4) 支持力算定ワークシートについて

日本道路公団設計要領に基づき作成したワークシートの例を、参考資料5に示す。

このワークシート中に示す網掛けの数値が入力値であり、すなわち、支持力に影響を与えるパラメータである。パラメータの分類で示す“土質定数”は土質調査から決定される数値であり、“諸形状値”及び“安定計算”は設計段階で決定される数値である。また、 $N_c \beta$, $N_r \beta$ は内部摩擦角 ϕ と荷重の傾斜度 θ から図表により読みとられる数値であり、 $\gamma_{\beta=0}$ も内部摩擦角 ϕ から図表により読みとられる数値である。（参考資料6）

出力値は、斜面傾斜角に呼応した許容支持力 q_a 並びに安全率 F_s で、図は水平地盤の支持力を 100%とした比率をグラフ化したものである。

(5) 支持力に影響を与えるパラメータについて

支持力低減の 3 つの要因 (B' , θ , i) 以外で、支持力に影響を与える主なパラメータを整理すると以下のとおりである。

① 土質定数 (c , ϕ , γt)

② 天端余裕幅 (b : 前面ショルダー)

定性的には、支持力を ϕ に依存する土質ほど傾斜による低減率が大きく、支持力を期待するためには、天端余裕幅を大きくとる必要がある。分析の結果、支持力の低減に影響を与えるなくなる天端余裕幅は、砂質土で 10 m 前後、軟岩で 2 m 前後であった。

3. 支持力算定に必要な強度定数の推定

(1) 対象地盤

本地区においては、急峻地形のため直高の高い橋台や擁壁を設計に盛り込まざるを得ない現状にある。このため、基礎地盤には大きな地盤反力が要求されることとなり、支持層として少なくとも軟岩クラス (D H 前後) が対象となるケースが多い。

一般に、基礎の対象地盤としては、よく締まった洪積世砂礫層地盤や砂質地盤などが選定されており、岩盤であれば特に設計上問題ないとされてきた。しかし、岩盤の工学的性質は一般的に硬軟と割れ目の特性によって支配されており、これらを含めた強度評価法は確立されていないのが現状といえる。

前項において、地盤の強度定数が支持力に大きな影響を与えることを述べたが、主に以下の地盤を対象に、強度定数の検討を行った。

① 地質 : マサ状花崗岩 (硬土) ~ 弱風化花崗岩 (軟岩)

② 岩級区分 : D M ~ C L

(2) 地盤定数推定方法

施工段階における、床堀り面の地盤定数の推定法としては、

a. 原位置での力学試験による方法 : (例) ブロックせん断、平板載荷試験等

b. 室内試験を中心とする方法 : (例) 三軸圧縮試験等

c. 目視観察及び簡易試験による方法 : 既存の各種物性値との相関

があるが、a のブロックせん断試験等は時間と経費の面から一般に困難であり、b の三軸圧縮試験等においてもサンプリングに難があるため、c の方法によって推定するのが実状である。しかし、道路橋示方書に示されているように、その推定値は土砂地盤についてはピンポイント的な N 値への依存度が高く、岩盤については圧縮強度、変形係数を目安とした経験値によるものとなっている。また、直接基礎については、荷重の傾斜が小さく、重要度が高くない場合に適用してもよいとして、岩級区分に対して概略の目安値が与えられているにすぎない。

そこで、基礎地盤をできる限り多面的にかつマクロ的に評価しうる簡易な原位置試験を模索し、その各種試験により得られた代用特性値を介して C 、 ϕ を推定する方法を検討し、

現場でその結果を検証・補正する作業を試みた。

(3) 強度定数検討のフローと原位置測定試験

同様の趣旨の研究は、平成元年～平成3年の日本道路公団における「構造物基礎における地盤定数の評価に関する研究報告書」や、東京電力における「UHV送電線の基礎における地質調査」の中で詳細に述べられている。同資料及びその他文献資料を参考に、本地區で適用可能な原位置簡易試験を選択し、その試験より得られた各種物性値を強度定数C、 ϕ に結びつける方法を整理した。（参考資料7）

全体の流れとしては、簡易貫入試験の代用特性値（N_d値）から得られたN値を軸（指標値）として強度定数を推定し、別ルートで簡易弾性波試験とシュミットハンマー試験の組み合わせでE・HOEKの方法から強度定数を求め、双方の値を比較検証し決定するというものである。さらに、逆算C- ϕ 法及び土壤硬度計による妥当性の検証も付け加えた。

個々の試験の概要については次のとおりである。

なお、各種物性値間の相関については、現段階では既往文献による相関式を引用しており、今後本地區において検証試験を実施し、その結果を基に本地區固有の式となるよう補正を加えていく予定である。

①簡易貫入試験（土研式）

この試験は、1952年頃に建設省土木研究所で開発されたもので、貫入先端形状は、直徑30mm、先端角60°のコーン型で、貫入長1mを標準としている。試験の結果は、5kgfの重錐を50cmの高さから自由落下させてコーンを深度10cm貫入するのに要する打撃回数をN_dで表す。

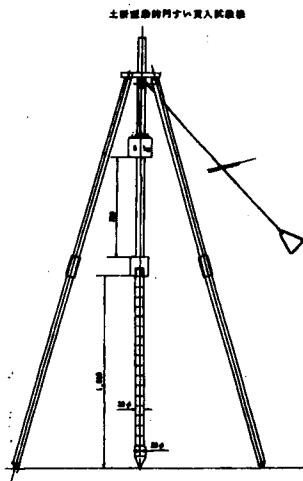
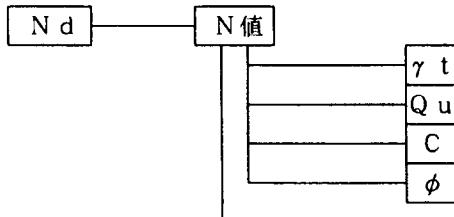


図-3 簡易貫入試験

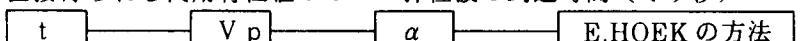
直接得られる代用特性値：N_d ⇒ 10cm貫入するのに要した打撃回数



$$\begin{aligned} & \text{: N 値} = 0.1 * N_d + 1.11 * \log N_d \\ & \text{: } \gamma t = 1.173 + 0.4 * \log N \\ & \text{: } Q u = 0.609 * N - 6.804 \\ & \text{: } C = 0.084 * N^{0.344} \\ & \text{: } \phi = 23.2 + 6.7701 * \log N \\ & \text{: 逆算 C- } \phi \text{ 法で } C, \phi \text{ を求め、} \\ & \text{妥当性をチェック} \end{aligned}$$

②簡易弾性波試験（P S - 1）

直接得られる代用特性値：t ⇒ 弾性波の到達時間（ミリ秒）



ミリ秒 弾性波速度 龜裂指数(=Vp/Vpo) Q_uと組み合わせ C、 ϕ 算出
(Q_uは、①によるN値、または直接③の試験により算出)

この測定装置は、従来の弾性波測定装置がハンディサイズに小型化されたもので、測定は、地盤に受振器を差し込み、測定点をハンマーで打撃し、打撃点より受振器までの弾性波の到達時間（走時）を測定することにより、弾性波速度（ V_p ）を算出するものである。現在、当事務所においてはこの V_p 値を、このたびの地盤の強度定数推定のほか、積算上の岩盤判定にも利用している。（参考資料9）

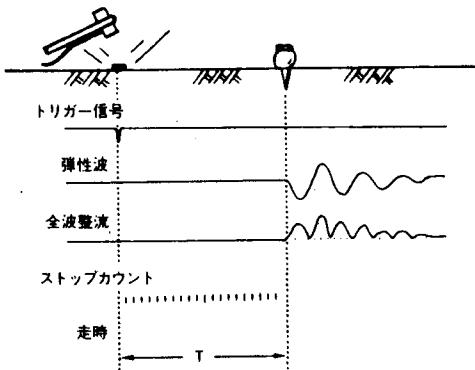
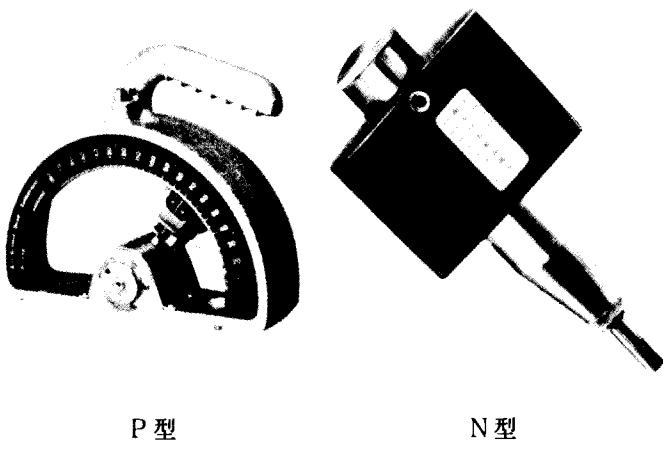


図-4 簡易弾性波試験

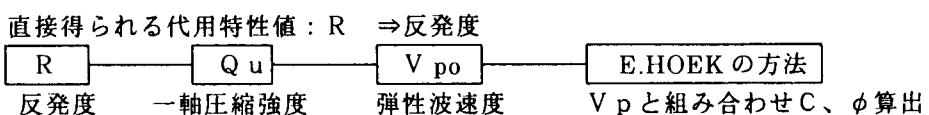
③ シュミットハンマー試験（P型…土砂：N型…岩）

この試験は、本来非破壊でコンクリートの一軸圧縮強度を推定するための試験法として開発されたものである。この方法を岩石試料に対しても適用する研究が井上・大見らによってなされ、その有用性が明らかにされた。その後、岩盤にも適用範囲が広がり、現在では簡便な原位置岩盤試験として利用されることが多いとなっている。



P型 N型

図-5 シュミットハンマー試験



④ 土壌硬度計（山中式）

本来植生の調査に用いられる器械で、頂角 $25^{\circ} 22'$ の円錐を試験面に静的に挿入することにより、ばね仕掛けの円錐が筒内に沈み、そのばねの縮み長さが硬度指数に換算され土壌の硬度を知ることができる。

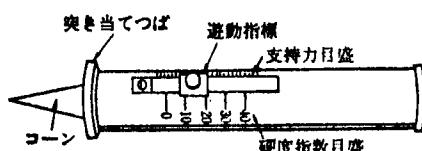
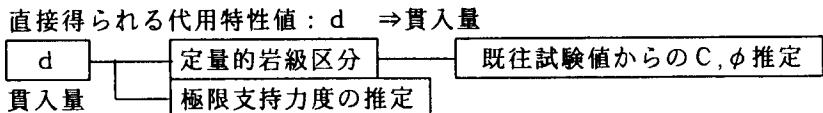


図-6 土壌硬度計



4. 考察および今後の課題

(1) 支持力算定ワークシートについて

現在作成しているワークシートは、地盤傾斜角 $i = 0^\circ$ の場合「道路橋示方書」を適用し、 $i = 10^\circ \sim 60^\circ$ の場合「公団 設計要領」の支持力公式を適用している。支持力低減グラフからもわかるように、両公式の組み合わせによる不連続性は確認されなかったが、支持力係数 $N_c \beta$, $N_r \beta$ と $\gamma \beta = 0$ は図表からの読みとりとしており、関数化してシート中に組み込むことができれば、読みとりによる誤差の排除及び省力化が期待できる。

(2) 原位置簡易試験の適用性とその検証について

① 原位置簡易試験と N 値への依存性

諸外国に比べ、国内において N 値への依存が高すぎるという議論もある。しかし、均質なモデル地盤における SPT による換算 N 値が、他の物性値と相当程度高い相関にあることから、 N 値が物性値の推定に関して基本的な適用性を有することが報告されている。このことから、地盤の強度定数推定のための原位置簡易試験においても、簡易貫入試験により得られる N 値を軸とせざるを得なかつたが、地盤のマクロ的な評価を盛り込むために簡易弾性波試験等を妥当性の検証として取り入れ、併用することとした。

② 東京電力の調査事例（UHV送電線の基礎における地質調査）

東京電力では、同様の趣旨を目的に「集中調査」として「指標値」（ N 値、コア評価など）と地盤物性値（強度・変形特性及び密度）との相関を求める調査を、統計学上必要な最小限度の箇所で実施し、その「指標値」を得たうえで地盤物性値を推定するために「個別調査」としてボーリング試験等を実施している。

さらに、掘削施工時の確認試験として、原位置簡易試験を実施し、その「代用特性値」（ N_d 値等）から「指標値」である N 値を求め、地盤物性値を推定し原設計にフィードバックするシステムをとっている。

この事例は、体系的にもデータの統計学的整理手法においても大変参考となるものであり、今後活用していくべきと考えている。

③ 最大 N 値の設定

日本道路公団の研究資料によれば、 N 値については N 値～物性値間の相当量のデータの蓄積があり、これらの半分は換算 N 値として 300 程度であり、この範囲における相関性が良好であることから、最大 N 値を 300 に設定している。

N 値が 300 を超える領域は、通常応力レベル的に問題になることはないが、あえて許容支持力を推定する場合は、亀裂性状に注意して道示による目安で十分と思われる。

④ 簡易貫入試験における N 値の検証

動的貫入試験は、これまでに数多くのものが考案されており、コーン型の簡易

的なタイプにおいても鉄研型・土研型等数種類のものがあり、混同しないよう注意を要する。

今回、原位置簡易貫入試験として位置づけたのは、当事務所で從来より使用している土研式円錐貫入試験であった。しかしながら、その代用特性値（ N_d 値）と N 値との相関式については、器具のマニュアルに示された一行の相関式のみであり、その適用性に関する文献は見つけだされない状態にあった。

一方、同じ土研式であるがさらに簡易な斜面用簡易貫入試験については、その代用特性値（ N_c 値）と N 値との相関式について、いくつかの文献並びにデータの記述があった。

そこで、 $N_d \sim N_c$ 、 $N_c \sim N$ 値の相関を現地で検証し、一応中間報告ではあるが $N_d \sim N$ 値の本地区固有の相関式を得た。

しかしながら、從来より使用している相関式と、今回得られた相関式で算出される N 値には 2.5 倍程度のかなり大きなひらきがあり、從来のものの方が低いものとなつた。

この原因として、対象となる土質及び応力レベル領域の相違等が考えられるが、現時点においてデータはまだまだ不十分であり、今後も引き続きデータの蓄積を行ひこの点を検証・是正していく余地が残っている。

⑤ N 値以外の物性値の相関について

N 値と同様、データを蓄積中であり、現時点においては文献より引用した相関式を仮置きしている。今後この検証が急がれる。

なお、強度定数との相関を得るための検証試験として、多段階三軸圧縮試験を予定している。この試験の風化軟岩に対する有効性については、東京電力の調査事例において検討が加えられており、標準三軸圧縮試験と差異が認められないことから試験方法として有効であるとされている。

⑥ 設計用地盤強度定数の設定（最終評価）

原位置簡易試験の結果を基に、最終的に設計用の地盤強度定数を設定する場合、常に一定の信頼度を有する必要性から、下記式に示すように、各物性値間の相関関係において生ずるばらつきの大きさを考慮に入れる必要がある。

$$\text{設計定数} = \text{試験値の平均値} - \beta \cdot \sigma$$

ここに、 β : 試験値に対して安全側に設計定数を補正するための係数

σ : 標準偏差

しかしながら、補正係数 β については、構造物の重要度に応じた信頼度の確保に基づいて適切に設定される係数であり、設計における安全率の範疇と相まって、その決定においてはさらに突っ込んだ議論を必要とするところである。

したがって、現時点においてはこの考え方を論じた資料も見つけだせていないことから、 $\beta = 0$ として試験値の平均値を採用値とする予定である。

（3）本手法の他地区への適用について

ボーリング調査及び SPT 等のデータと、本手法によって得られる各種物性値の相関を統計学的手法によって検証できれば、本手法は大変有効であると考える。そのため、各地

区の現場においても、SPTと各種物性値の相関を念頭に置いて、日頃よりこれらのデータの蓄積を行いデータベース化することが不可欠であり、適時に「集中調査」を先行投資的に実施することも必要である。このことが、先での安全設計、調査に要するコストのダウン並びに省力化につながると考える。

(4) 支持力公式の適用基準

急傾斜地における支持力公式の適用について、橋台等の重要構造物においては、地盤の傾斜等を考慮に入れた設計としているが、一般的な擁壁については通常その重要度から適用していないのが実態である。今後はこの適用基準について、過去の設計手法を否定することなく、官側の基準を整理すりあわせしていくことが必要である。

5. あとがき

「近年、傾斜地盤に構造物を建設する機会が増加しているのにもかかわらず、傾斜地盤そのものの安定性を扱った文献は多數あるものの、基礎の安定と斜面の係わりを述べたものはほとんどない。」（傾斜地と構造物：土質工学会）

上記背景と本地区における必要性から、このたび、傾斜地における直接基礎の支持力算定と、その入力パラメーターである地盤強度定数の推定に係る流れの体系的な整理を試みた。しかし、本論の核心ともいえる本地区固有の各種物性値間の相関式を決定するまでには至っていない。この点については、今後の検証試験で少しでも信頼度の高いものが得られるよう努力していきたいと考えている。

最後に、支持力の評価は、設計⇒現場地盤条件⇒設計へフィードバック を繰り返して、安定性の照査ならびに経済性の追求を行う一貫した問題である。工学的に優れた構造物を建設するためには、豊富な経験と地盤工学・地質学・地形学等の多くの知見が必要であり、各分野での評点が及第点とならなければ、総合点として及第点とならない。現場管理者はこのことを常に念頭に置き、設計の理論はもとより現場の地盤の問題点、適切な調査・試験等、全体を一貫した考え方で理解できることが大切であると思われる。

6. 参考文献

①日本道路公団

- ◆ 設計要領 第2集 H 2. 7
- ◆ 構造物基礎における地盤定数の評価に関する研究報告書 H元～H3

②(社)日本道路協会

- ◆ 道路橋示方書・同解説 H 6. 2

③農林水産省 構造改善局

- ◆ 土地改良事業標準設計 第9編 擁壁 H 5. 5

④土質工学会

- ◆ ライブライリー16 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用 H 5. 4
- ◆ 傾斜地と構造物；その調査・設計および維持管理

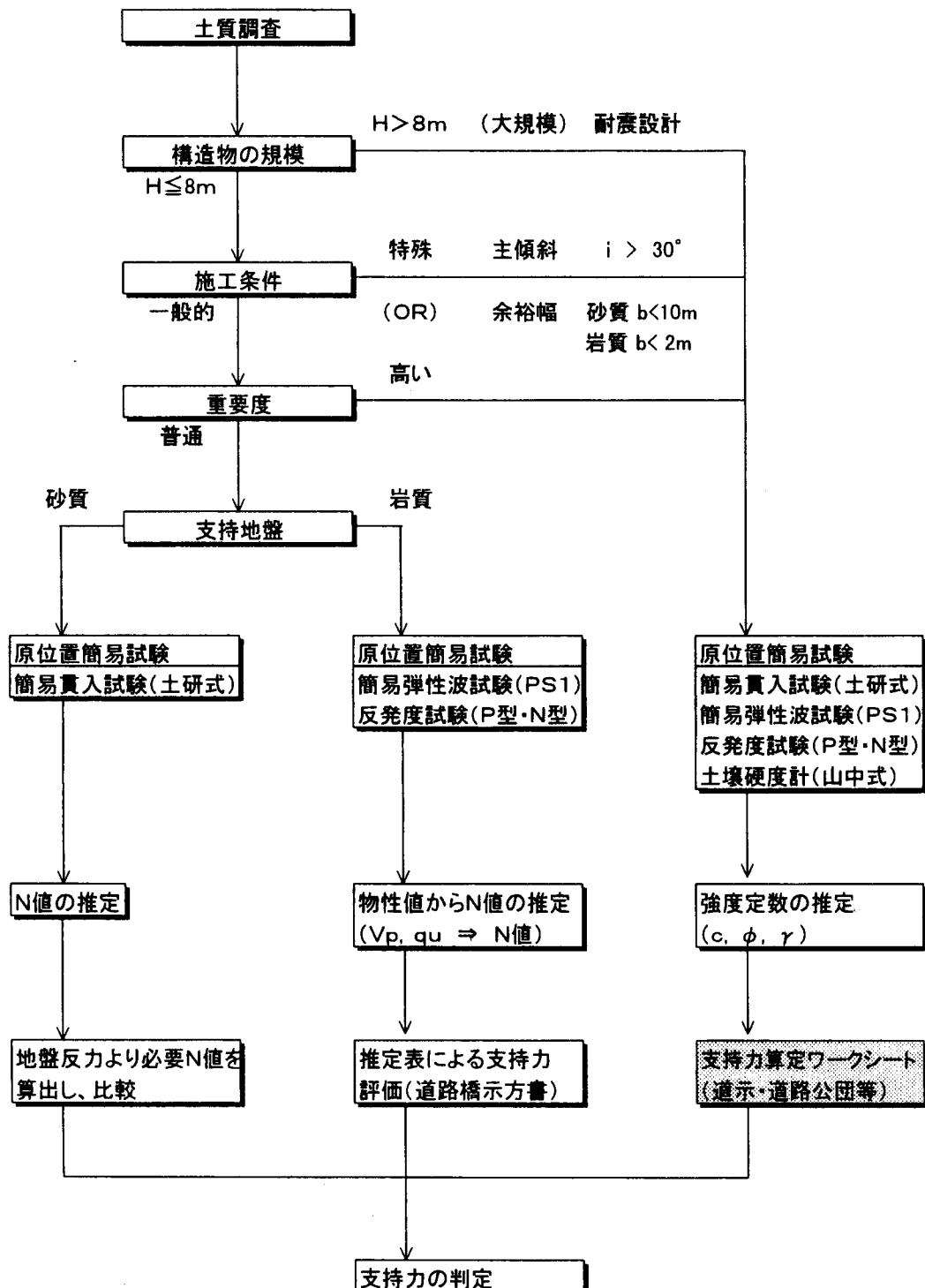
⑤一般図書

- ◆ 新道路工指針による 擁壁の設計法と計算例 (理工図書) H 5. 12

7. 参考資料

- (1) 現場支持力確認検査フロー図（案）
- (2) 道路橋示方書における支持力推定表
- (3) 支持力検討フロー図
- (4) 基礎地盤せん断破壊イメージ図
- (5) 支持力算定ワークシート〔例〕（偏心・傾斜荷重および傾斜地盤考慮）
- (6) 支持力算定ワークシート補足図
- (7) 支持力検討に必要な強度定数推定の現場データシート
- (8) 支持力確認簡易試験データシート〔例〕
- (9) 簡易弾性波試験データシート〔例〕
- (10) E, H O E K の提案式による地盤強度算定シート（その1）
- (11) E, H O E K の提案式による地盤強度算定シート（その2）
- (12) 既往文献による花崗岩の各級における物性値、計測値の総括図

現場支持力確認検査フロー図(案)



道路橋示方書における支持力推定表

(S 55. 5月 道示) 推定による場合の許容支持力度

基礎地盤の種類		常時 (t/m ²)	地震時 (t/m ²)	目安とする値		備 考
				N 値	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	100	150	—	100以上	
	亀裂の多い硬岩	60	90	—	100以上	
	軟岩，土丹	30	45	—	10以上	
れき層	密実なもの	60	90	—	—	
	密実でないもの	30	45	—	—	
砂質盤	密なものの	30	45	30~50	—	標準貫入試験のN値が15以下の場合は、基礎地盤として不適
	中位なものの	20	30	15~30	—	
粘土地盤	非常に硬いもの	20	30	15~30	2.0~4.0	
	硬いものの	10	15	8~15	1.0~2.0	
	中位のものの	5	7.5	4~8	0.5~1.0	

(H 6. 2月 道示) 新道示案における最大地盤反力度の制限

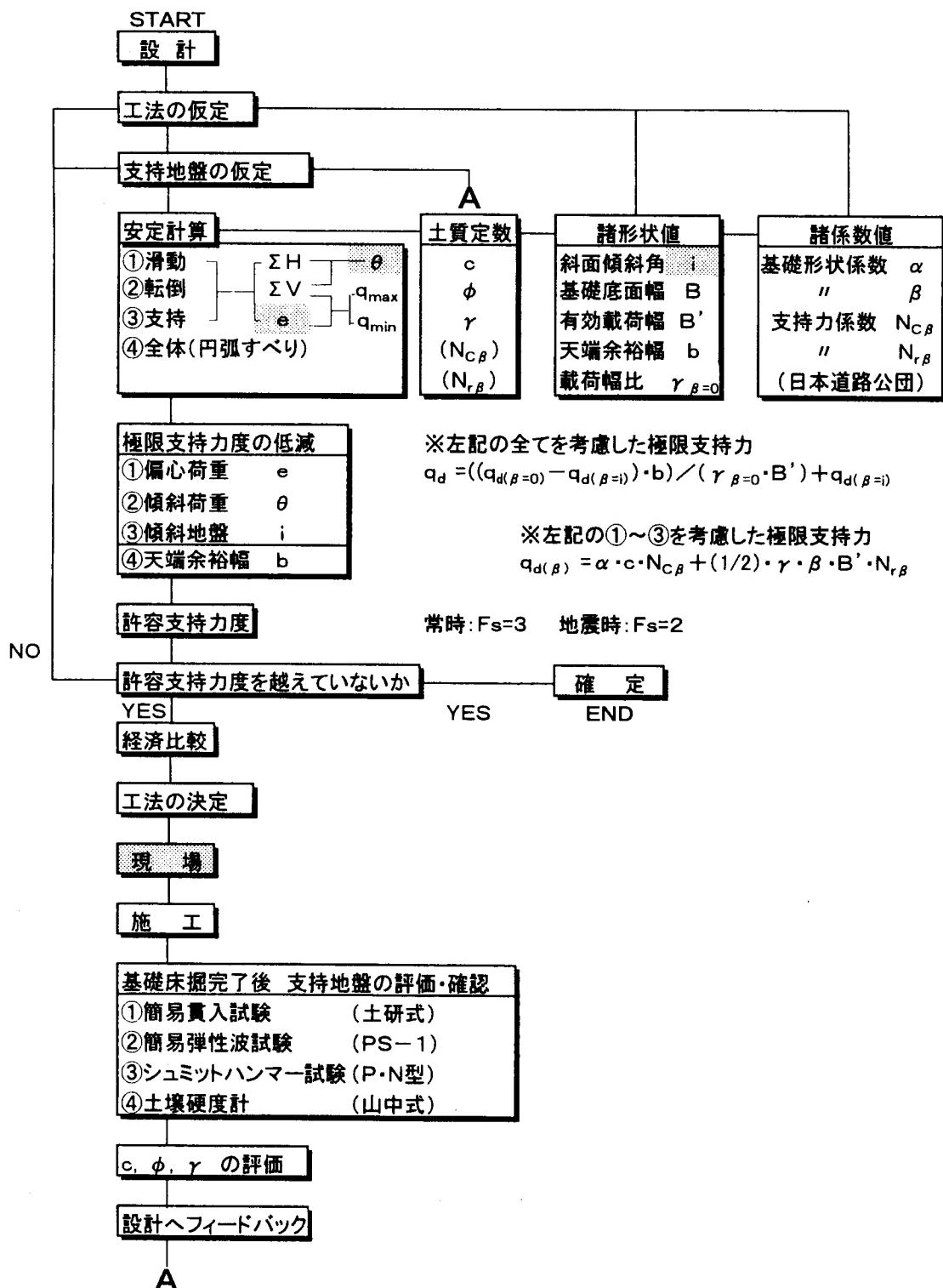
(a) 最大地盤反力度の目安(土砂地盤)

地盤の種類	常時 (tf/m ²)
砂礫地盤	70
砂質地盤	40
粘土地盤	20

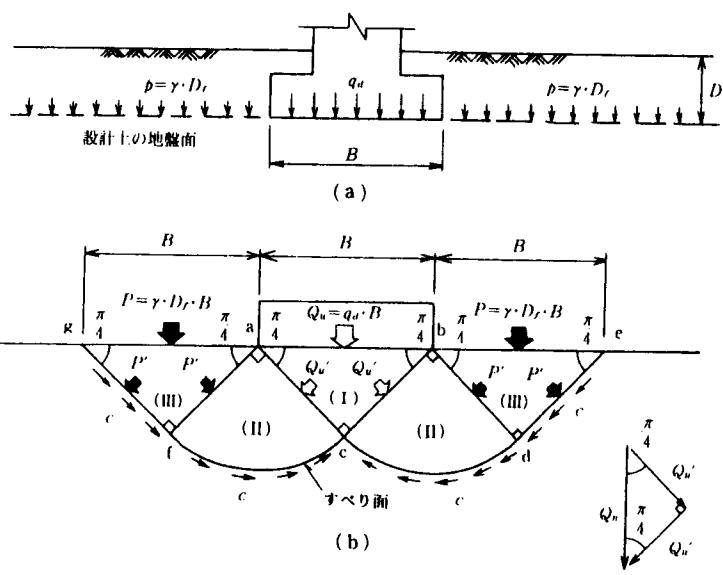
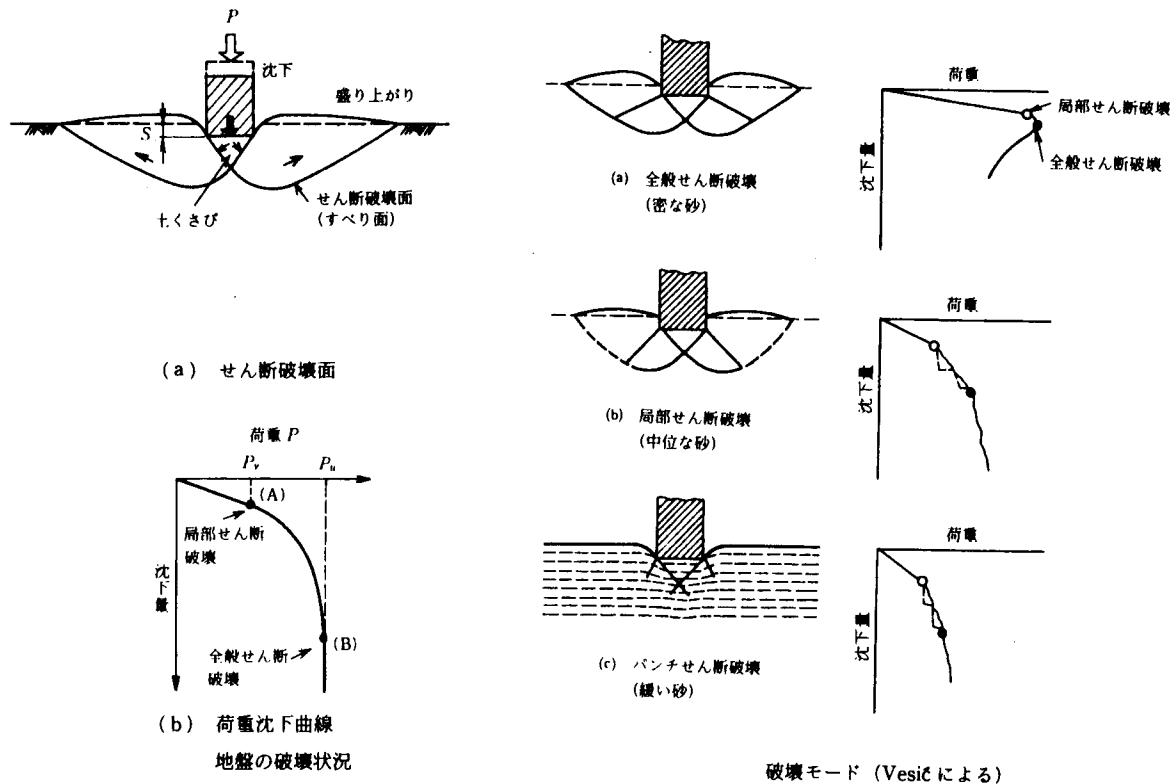
(b) 岩盤の最大地盤反力度の目安

岩盤の種類		常時 (tf/m ²)	地震時 (tf/m ²)	目安とする値	
				一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	孔内水平載荷試験による変形係数 (kgf/cm ²)
硬岩	亀裂の少ない	250	375	100以上	5000以上
	亀裂の多い	100	150		5000未満
軟岩・土丹		60	90	10以上	

支持力検討フロー図



基礎地盤せん断破壊イメージ図



粘性土地盤の塑性域
— 66 —

支持力算定ワークシート (偏心・傾斜荷重および傾斜地盤考慮)

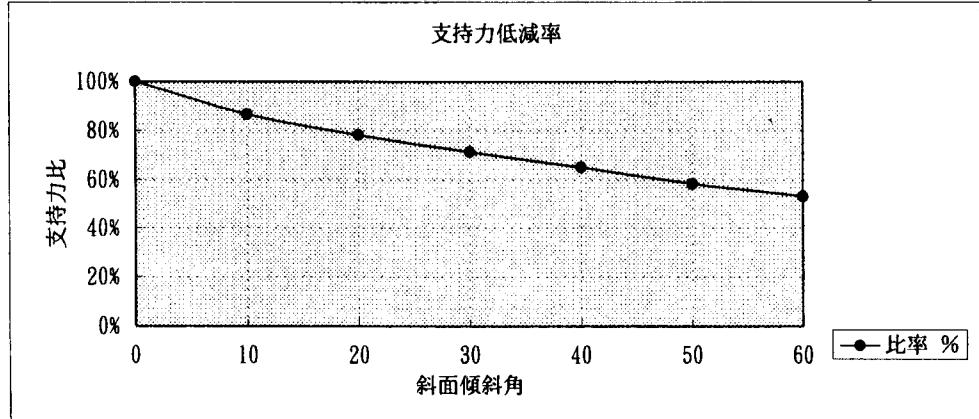
条件コード : 砂質 T-20 H-4 H-3.0

基礎土質 自動車荷 盛土高 摻壁高

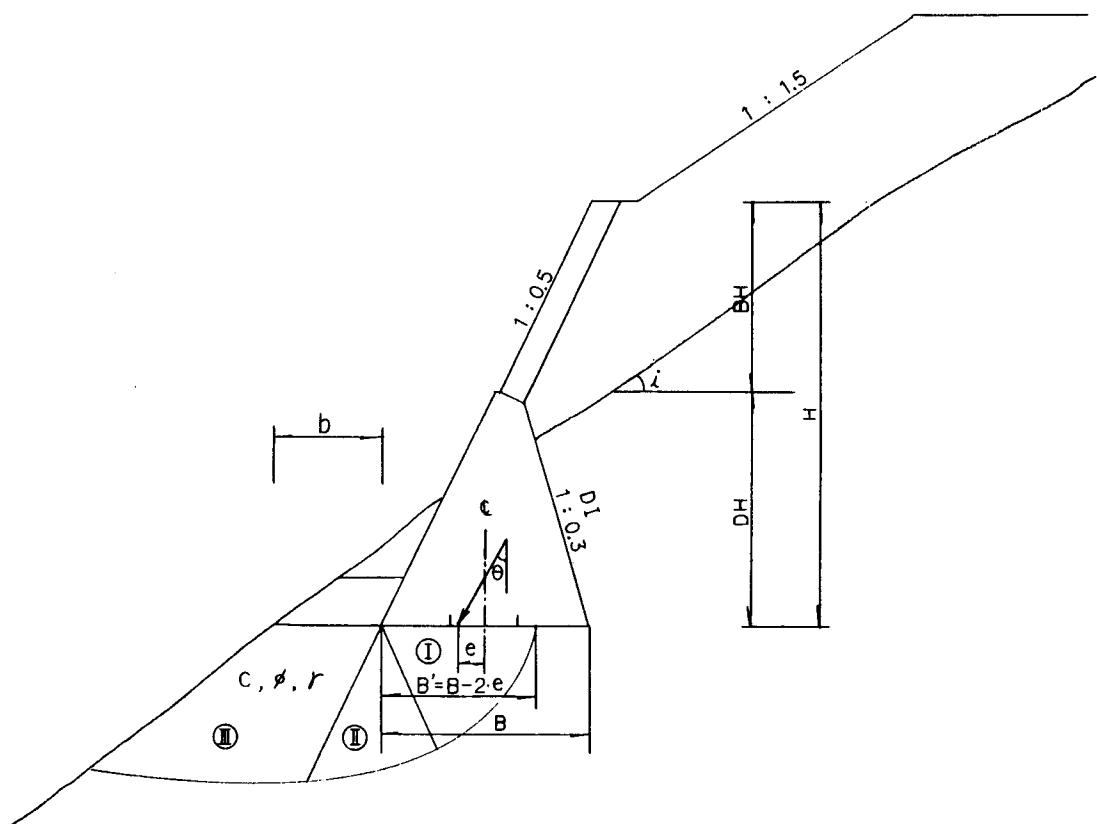
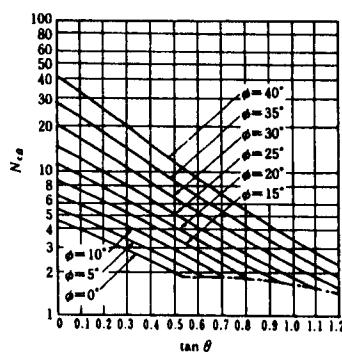
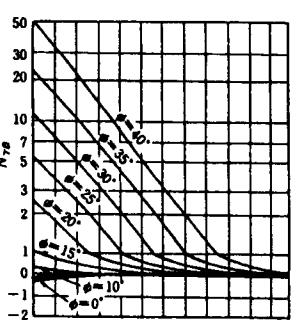
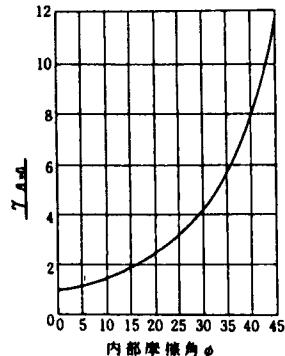
分類	変数表示	変数	入力値	単位	
支持力度	q_d	Qd	*	tf/m^2	荷重の偏心・傾斜および天端余裕幅を考慮した極限支持力度
	$q_{d(\beta)}$	*	*	tf/m^2	荷重の偏心・傾斜を考慮し、天端余裕幅を考慮しない極限支持力度
	$q_{d(\beta=0)}$	Qdo	*	tf/m^2	上記の極限支持力度で傾斜度 $\beta = 0$ の場合
	$q_{d(\beta=i)}$	Qdi	*	tf/m^2	上記の極限支持力度で傾斜度 $\beta = i$ の場合
土質定数	c	CC	10.00	tf/m^2	地盤の粘着力
	Φ	N	30	度	地盤の内部摩擦角
	γ	rr	1.90	tf/m^3	地盤の単位体積重量
諸係数値	α	Ka	1.00	*	基礎形状係数
	β	Kb	1.00	*	"
	$N_{C\beta}$	Nci	*	*	支持力係数 (道路公団・表)
	$N_{r\beta}$	Nri	*	*	" "
諸形状値	i	i	*	度	斜面傾斜角
	B H	BH	4.0	m	ブロック積み擁壁直高
	D H	DH	4.0	m	重力式擁壁直高
	D I	DI	0.30	m	重力式擁壁裏勾配
	B	Bb	3.725	m	基礎底面幅 ($B = DH * 0.5 + (DH - 0.25) * DI$)
	B'	Bu	2.587	m	有効載荷幅 ($B' = B - 2 * e$)
	b	Bt	3.000	m	天端余裕幅
	$\gamma_{\beta=0}$	Z	4.200	*	水平地盤の場合の、荷重端とすべり面縁端との距離と、載荷幅との比
安定計算	常時	J	1	*	常時 = 1, 地震時 = 2
	ΣV	V	38.797	tf/m	鉛直載荷力
	ΣH	H	22.401	tf/m	水平載荷力
	e	e	0.569	m	荷重の偏心距離
	Q_{MAX}	Qx	19.961	tf/m^2	最大地盤反力度
	Q_{MIN}	Qn	0.870	tf/m^2	最小地盤反力度
	θ	A	30.0	度	荷重の傾斜度 ($\theta = \tan^{-1} (\Sigma H / \Sigma V)$)

i 度	$N_{C\beta}$	$N_{r\beta}$	$q_{d(\beta+i)}$ tf/m^2	q_d tf/m^2	q_a 常時	比率 %	判定	F_s	備考
$\tan \theta = 0.58$								*	
0	$Nc = 1.00$	$Nr = 0.00$	79.00	79.00	26.33	100%	○	3.96	道示P215
10	6.10	1.40	64.44	68.46	22.82	87%	○	3.43	公団P6-69
20	5.30	0.90	55.21	61.78	20.59	78%	○	3.10	"
30	4.60	0.60	47.47	56.18	18.73	71%	—	2.81	"
40	4.00	0.30	40.74	51.30	17.10	65%	—	2.57	"
50	3.30	0.20	33.49	46.06	15.35	58%	—	2.31	"
60	2.80	0.00	28.00	42.08	14.03	53%	—	2.11	"

(i = 0 の道示式におけるサーチャージ項は、公団式に合わせるため、無視する。N q = 0)



支持力算定ワークシート補足図

 $N_{C\beta}$ ex) $i = 20^\circ$ $N_{\gamma\beta}$ ex) $i = 20^\circ$ $\gamma_{\beta=0}$ 内部摩擦角 ϕ

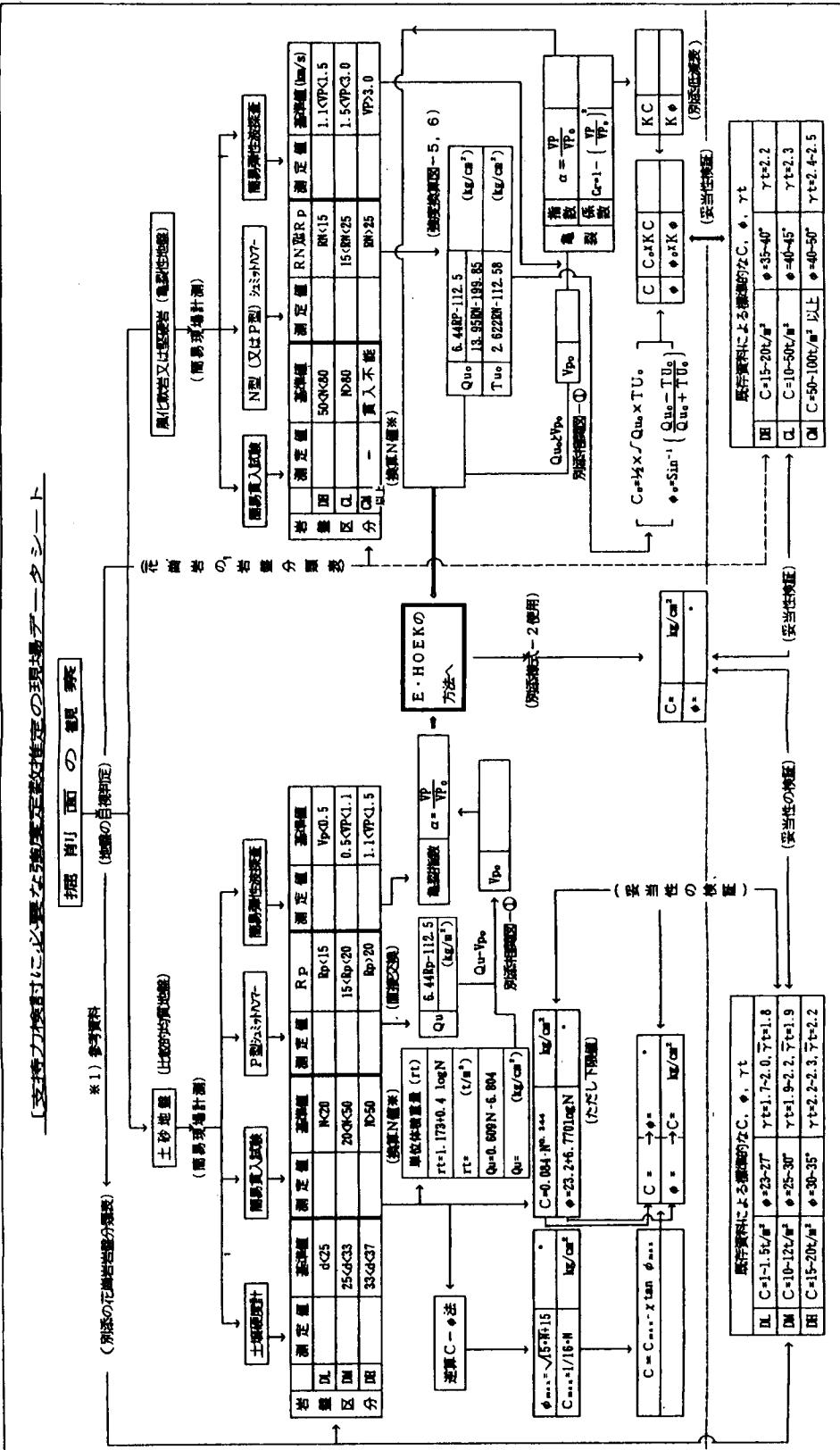
$i = 0^\circ$ — 道路橋示方書 — $i = 0^\circ$
 $i = 10^\circ$ — 日本道路公団 設計要領 — $i = 10^\circ$
 $i = 60^\circ$ — $i = 60^\circ$

— 68 —

形状係数

基面底面の形状	帶状	正方形・円形	長方形・だ円形・小判形
a'	1.0	1.3	$1+0.3 \frac{B'}{L'}$
b'	1.0	0.6	$1-0.4 \frac{B'}{L'}$

 B', L' は有効載荷幅。ただし、 $\frac{B'}{L'} > 1$ の場合 $\frac{B'}{L'} = 1$ とする。



支持力確認簡易試験データシート [例]

測定日 : _____
 工事名 : _____
 測定個所: _____

A測線 (海側)	累加距離	土壤硬度 (山中式)	簡易貫入 (土研式)			反発度(シュミット) (P型)		簡易弾性波 (S P - 1)
測点		d	Nd	N値	Q u	R p	Q u	V p
No	(m)	(mm)	(回)	(回)	kgf/cm ²	-	kgf/cm ²	(m s)
0	0	33	244	72.3	37.2	23	35.6	別途
1	1	31	貫入不能	∞	∞	36	-	データ
2	2	33	240	71.1	36.5	23	35.6	シート
3	3	33	266	78.6	41.1	28	54.9	参照
4				*	*		*	
5				*	*		*	
6				*	*		*	
7				*	*		*	
8				*	*		*	
9				*	*		*	
10				*	*		*	
平均		33	250	74.0	38.3	27	42.1	

B測線 (山側)	累加距離	土壤硬度 (山中式)	簡易貫入 (土研式)			反発度(シュミット) (P型)		簡易弾性波 (S P - 1)
測点		d	Nd	N値	Q u	R p	Q u	V p
No	(m)	(mm)	(回)	(回)	kgf/cm ²	-	kgf/cm ²	(m s)
0	0	35	318	93.6	50.2	22	29.2	別途
1	1	34	332	97.6	52.7	26	54.9	データ
2	2	34	貫入不能	∞	∞	45	-	シート
3	3	34	560	163.1	92.5	35	112.9	参照
4				*	*		*	
5				*	*		*	
6				*	*		*	
7				*	*		*	
8				*	*		*	
9				*	*		*	
10				*	*		*	
平均		34	403	118.1	65.1	32	65.7	

全平均		33	327	96.1	51.7	30	53.9	
-----	--	----	-----	------	------	----	------	--

★相関式：検証作業中

簡易貫入 N値 = 0.286 * Nd + 1.26 * LOG Nd - 0.501

Q u = 0.609 * N - 6.804

反発度 Q u = 6.44 * R p - 112.5

簡易弾性波試験データシート [例]

測定日 年 月 日

工事名

測定箇所

測定者氏名

判 定 $0.78 \times 1.2 = 0.94 \text{ km/sec}$ 軟岩 I

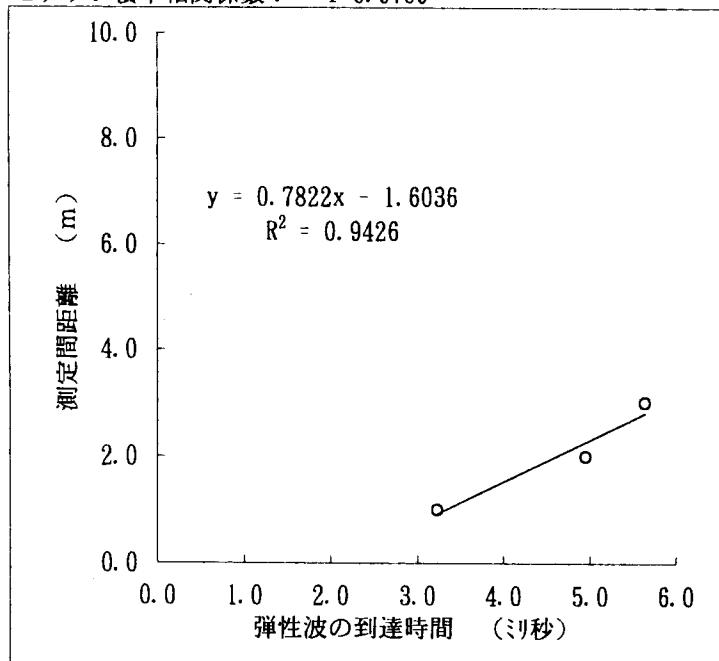
補正係数
土砂 1.4
風化岩 1.2
新鮮岩 1.0

(A群)

弾性波の到達時間測定表

(単位:ミリ秒)

	測点間距離 (m)										
	1.0	2.0	3.0								
1	3.6	4.5	5.3								
2	3.2	5.3	6.2								
3	3.3	5.3	6.2								
4	3.2	5.3	6.4								
5	2.8	4.6	5.2								
6	3.5	4.5	5.2								
7	3.3	4.7	5.2								
8	3.8	4.6	5.2								
9	2.3	5.4	5.2								
10	3.3	5.3	6.3								
平均	3.2	5.0	5.6								

ピアソン積率相関係数: $r=0.9709$ 

(花崗岩・安山岩)

岩質区分	属性	速度
		km/s
岩塊玉石		-
軟岩 I	A群	0.7~1.2
軟岩 II	A群	1.2~1.9
中硬岩	A群	1.9~2.9
硬岩 I	A群	2.9~4.2
硬岩 II	A群	4.2 以上

(片岩・頁岩・泥岩)

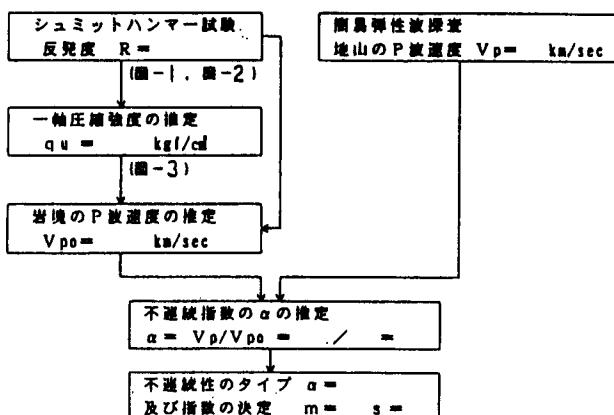
岩質区分	属性	速度
		km/s
岩塊玉石		-
軟岩 I	B群	1.0~1.8
軟岩 II	B群	1.8~2.8
中硬岩	B群	2.8~4.1
硬岩 I	B群	4.1 以上

E, HOEKの提案式による地盤強度算定シート（その1）

① 床面の目視観察・地盤分類

不連続性による地盤分類

不連続性 タイプ	岩盤状況	基準の 模式圖	特徴・評価	不連続 指数 α	m	s
A	地質構造岩盤		岩盤強度と岩盤物性	1.0~0.9	25	1.0
B	1方向の割れ目系に支配 された岩盤	X	1方向割れ目系によ る岩盤強度の低下	0.9~0.6	12.5	0.1
C	2~3方向の規則的割れ目 系に支配された岩盤	X	岩盤強度と岩盤物性 の差異が大きな不連 続性	0.6~0.2	2.5	0.004
D	不規則な割れ目が密に 発達した岩盤	X	破壊荷による不規則 割れ目発達	0.2~0.07	0.5	0.0001
E	不規則無規則割れ目 で充填された状態 (泥~固いサト)	X	岩盤の取扱問題 均一性のある不連続 岩盤	0.03~0.01	0.13	0.00001
F	割れ目消失、粘土質合体 でルーズ (泥~ぬいマサト)	X	均質な風化土砂 (岩盤としての取り 扱い不可)	0.01~0	0.025	0

注) 不連続指数 α が計測データから求めた場合はこれに単じてタイプ分を行う② 現位置試験による不連続指数 α の推定

③ E・HOEKによる破壊規準式

$$\sigma_s = \sigma_3 + \sqrt{(m \cdot q_u \cdot \sigma_3 + s \cdot q_u^2)}$$

ここで、 m, s は不連続性のタイプ分けにより定められた係数で σ_s をいくつか仮定して σ_s を求め、モールの応力円から破壊基準式 $\tau = (\sigma_s - \sigma_3) \tan \phi + c$ から強度を推定することができる。

以下に検討の様式を示す。

計算書 (q_u = kgf/cm², タイプ: m = s =)	$\sigma_s = \sigma_3 + \sqrt{(m \cdot q_u \cdot \sigma_3 + s \cdot q_u^2)}$
0	$0 + \sqrt{(\quad \times \quad \times 0.0 + \quad \times \quad)} =$
2.5	$2.5 + \sqrt{(\quad \times \quad \times 2.5 + \quad \times \quad)} =$
5.0	$5.0 + \sqrt{(\quad \times \quad \times 5.0 + \quad \times \quad)} =$
10.0	$10.0 + \sqrt{(\quad \times \quad \times 10.0 + \quad \times \quad)} =$
15.0	$15.0 + \sqrt{(\quad \times \quad \times 15.0 + \quad \times \quad)} =$

E, HOEKの提案式による地盤強度算定シート（その2）

図-1
強度換算図 (N型・NR型)

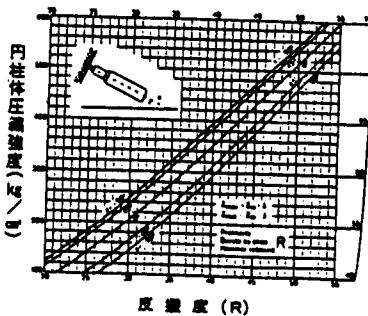


図-2
強度換算図 (P型)

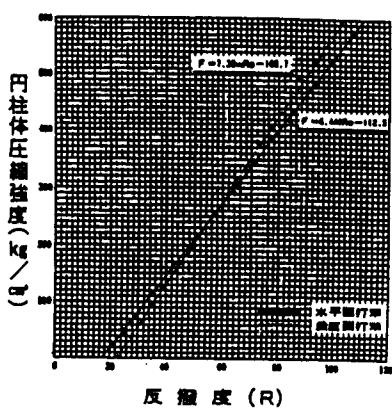
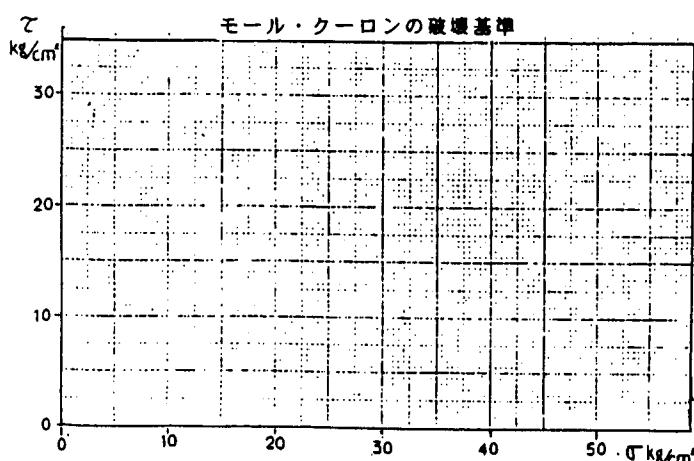
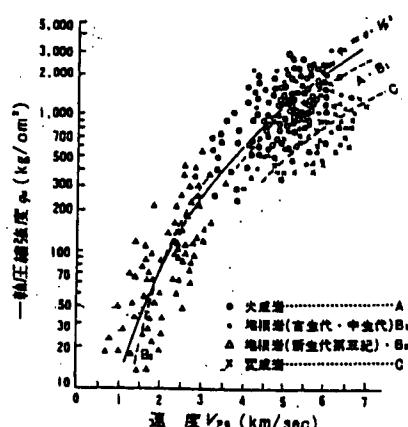
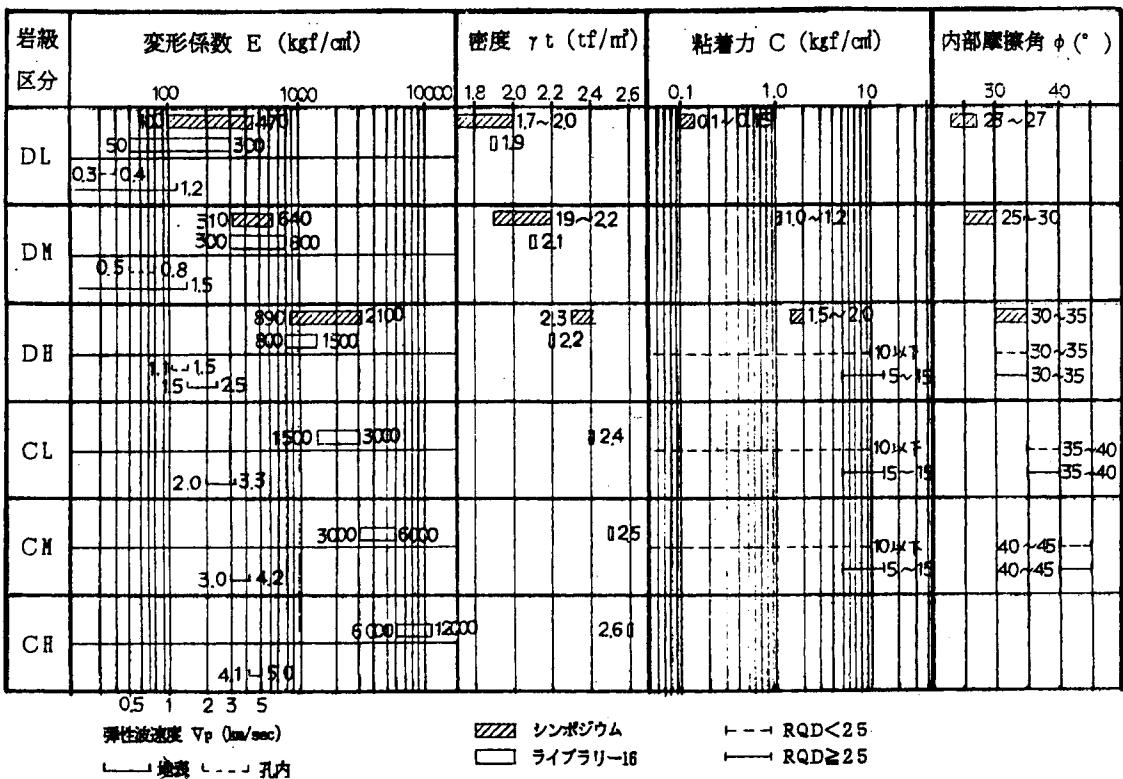


図-3
速度 V_{sp} と一軸圧縮強度 σ_c との関係
(大久保・寺崎1971)



花崗岩の各級における物性値、計測値の総括図



岩級区分	山中式土壤硬度 Y_h (mm)		簡易貫入試験 (B) 换算N値			シュミットハンマー St			ショア硬度 Sh					コンクリートびょう貫入量 D_h (mm)				
	20	30	20	40	60	10	20	30	10	20	30	40	50	20	40	60	80	100
DL	16~20 27		10~30						4								100	
DM	27~30 28~32		20~80	20~80					5 12					70	70	99		
DH	33~36		60以上			10			13 25					30	30	69		
CL		37				11 20			26 39					29				
CM							21 30			40 49								
CH								31			50~60							

大島広域農道第2地区における 特異な地質の切土法面安定対策事例

応用地質株式会社

山口支店 前田 伊典

1、まえがき

山口県は中国地方では島根県に次いで、地すべり性の斜面災害が多い地域にあたり、例年、梅雨前線や台風襲来による集中豪雨を誘因として、斜面崩壊を生じている。周知のように、地すべりは特定の地形、地質の地域に偏在する傾向があり、本県も例外ではない。

本講演では、山口県下の地すべり性斜面崩壊の地質的特徴並びに切土法面における地山状況と崩壊形態の概要を述べ、これらの範ちゅうに該当しない特異な事例として、広域農道大島第2地区の切土法面について、安定上問題となった地質とその対策工法について述べるものである。

本事例で得た知見が、今後の法面調査や設計作業を進める上で、参考例として役立てば幸いである。

2、山口県下の地すべり性斜面災害の概況

私の約10年間に亘る、山口県下での斜面災害調査の経験によれば、本県における地すべり性斜面災害の発生箇所は、ほぼ地すべり指定地内、又はその近接地域で発生している。従って、山口県下の地すべり性斜面災害の概況は、既存の地すべり指定地の分布状況を見ることにより、その特徴を明らかにすることが可能と考えられる。

図2-1は、本県の地すべり指定地の分布と主要な断層系を示したものであり、①日本海側へ突出した油谷半島地域、②下関市近辺、③長門内陸部、④徳山、下松市近辺とこれより北東の内陸部、⑤柳井、大島を中心とする周東地域に偏在していることが分かる。これらの地すべり指定地や過去の代表的な斜面崩壊の発生箇所について、その地質を見ると、①地域は第三紀層、②、③地域は中生層、④地域は三群変成岩類、⑤地域は領家変成岩類の分布域に該当し、大きく4種の地質に限定される。

地すべり指定地箇所数並びに指定区域の面積を地質別にまとめると、図2-2の通りである。

箇所数並びに面積とも第三紀層が過半数を占め、箇所数では領家および三郡變成岩類、中生層の順となっている。面積では、領家および三郡變成岩類がほぼ同率であって、中生層の割合が小さい。このような点から、領家變成岩類と中生層地すべりは、個々の地すべり規模が一般的には小さいものと思われる。

一方、地すべりの分布を巨視的な地質構造の観点からみれば、

- ①地域；第三紀層中に形成された北東－南西系断層の卓越地域、
- ②、③地域；長門構造線およびこれに直交な北西－南東系断層との交差地域、

- ④地域；未武川構造線に沿った地域

に該当し、地質構造と地すべりとの密接な関係を示している。ただし、

⑤地域については巨視的な地質構造との関連性は今の所、明確でない。

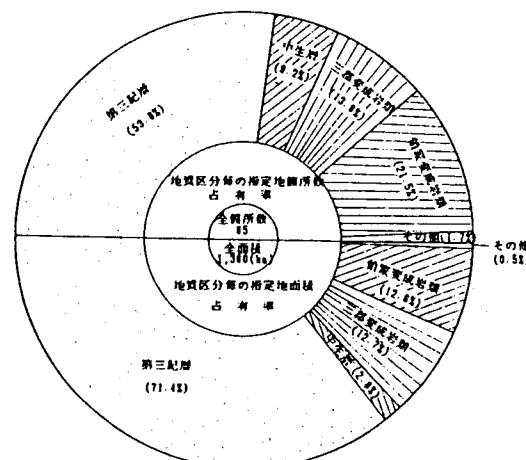
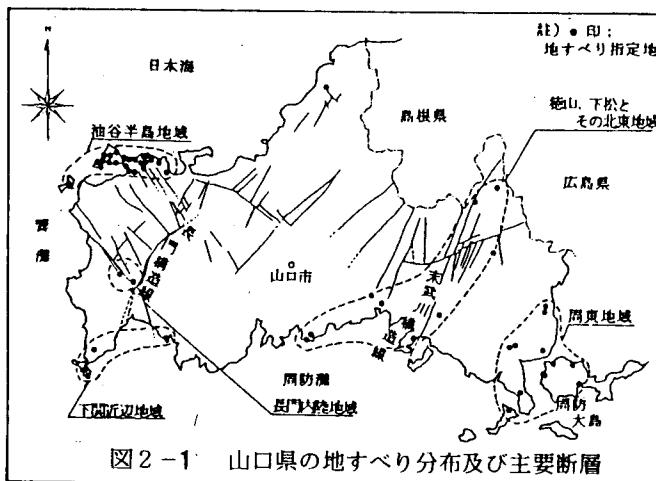


図2-2 地質別地すべり指定地の箇所数及び面積占有率

3、切土法面の地山状況と崩壊形態

斜面が崩壊を起こす基本的な要因は、

- ①斜面を構成する岩石や土の特性、層序及び地質構造に関するもの
- ②地形、気候、植生に関するもの
- ③地表水及び地下水に関するもの

が挙げられる。

斜面の崩壊には、このような多くの要因が含まれるため、その分類にはいろいろな方法が試みられている。その中で、崩壊の運動形式に着目した分類と崩壊物質の内容を区分し、これらの2つの組合せによって、表3-1のような分類が行われている。

表3-1 地すべりの分類表

運動の型	構成物質の型			
	基盤岩 bedrocks		土 soils	
落 下 (falls)	岩石の落下(落石) rock fall		土の落下 soilfall	
滑り (slides)	少 ↓ 単位 → 多	(回転的) スランプ slump	(平面的) 岩塊の滑り block glide	(平面的) 岩塊の滑り block glide (回転的) 岩塊のスランプ block slump
			岩石の滑り rockslide	岩屑滑り debris slide 側方伸長による 沈下
	少 ↑	未凝固		
	↑ 多 ↓ 含水量	岩屑 rock fragment	淘汰良好な砂・シルト sand run	混合物 loess flow rapid earthflow 砂流あるいはシルト流 sand or silt flow
流れ (flows)		砂走り sand run	黄土流 loess flow	急速土流 debris avalanche 岩屑なだれ slow earthflow
				泥流 mud flow
複合型	上述の二つ以上の組み合わせ			

一方、切土法面における過去の崩壊事例に基づいて、法面の地山状況と崩壊形態の関係を整理すると、図3-1に示す通りである。本分類では、法面の構成地盤を土砂と岩盤に大別し、土砂ではその土質性状（粘性土、砂質土、崩積土）、岩盤では岩の固結度と亀裂状態で細分している。個々の切土法面に対して、地山状況を細区分し、さらに法面勾配や地下水状況、地質構造等の不安定要因を明らかにすることによって、法面の崩壊形態やその規模をある程度予知することが可能となる。

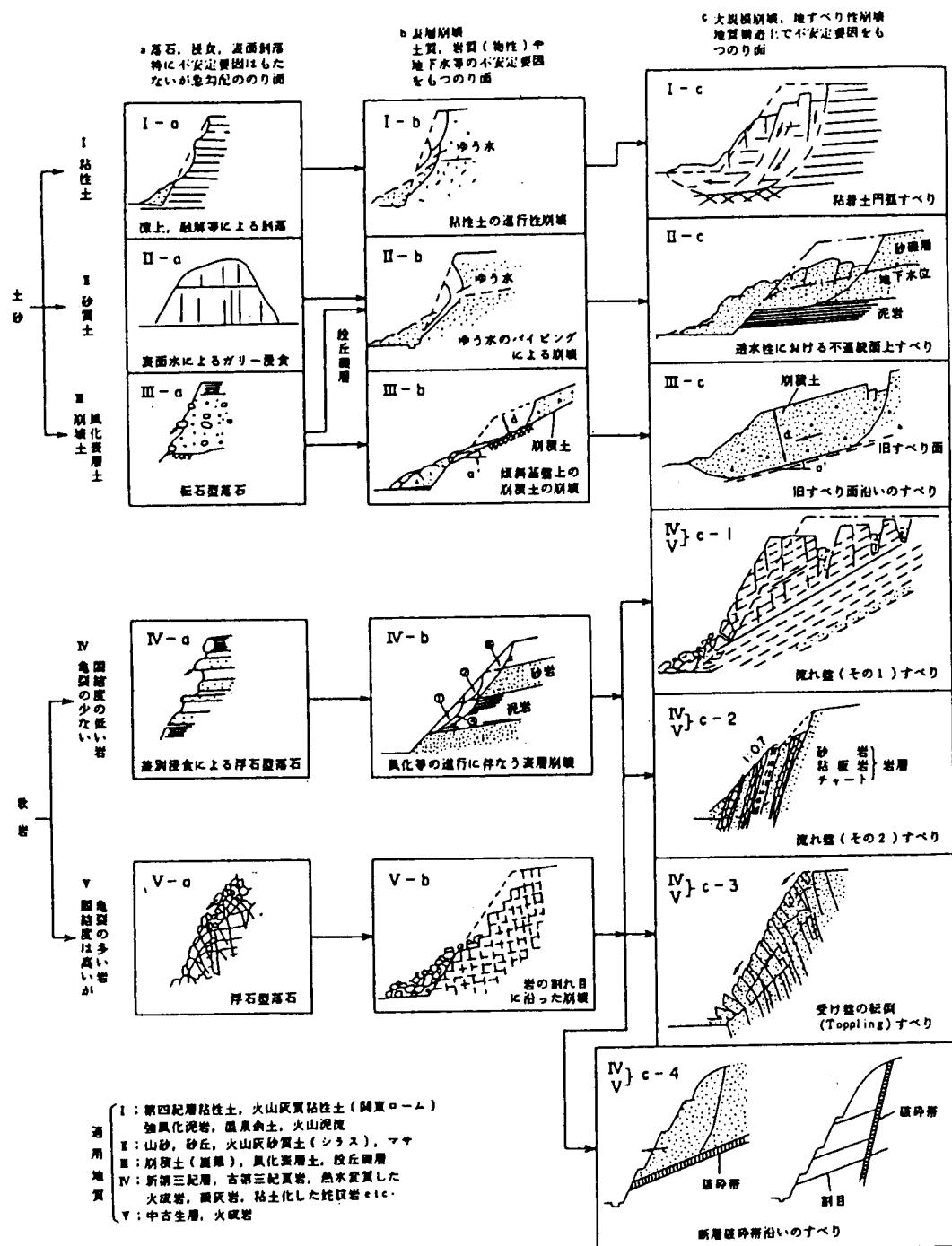


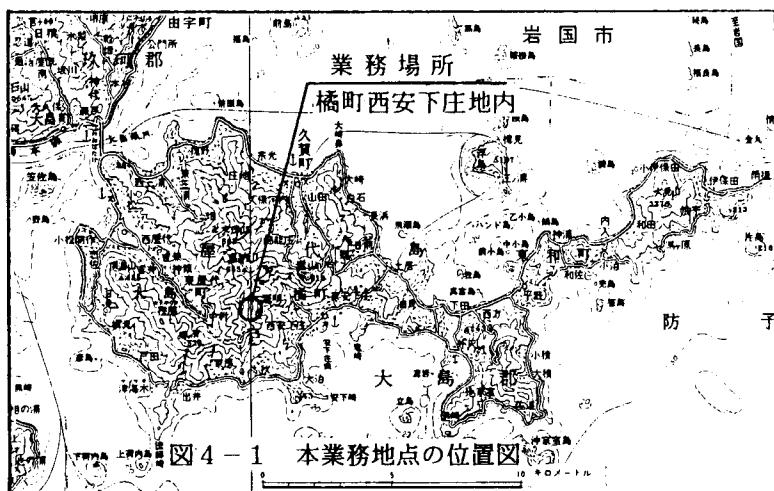
図3-1 切土法面における地山状況と崩壊形態の分類
(応用地質図 上野原図)

4、広域農道大島第2地区 切土法面の地質的特異性

4-1、本地区的地形、地質概要

本地区は、大島郡 橘町安下庄の西部に位置する(図4-1参照)。切土計画部は北東方向に伸びるやせ尾根の先端部に当たり、北側には扇状地性の緩斜面が広がっている。尾根筋の標高220m以高は傾斜15°未満であり、標高220~180m間は約30°と急で、これより海側は再び15°未満の緩斜面となっている。

道路の計画高は標高185m前後で、この尾根斜面部を高さ35~40mに渡ってスライスカットするものである。



地質は中生代白亜紀の領家花崗岩類を基盤とし、これを覆って新生代 第四紀の未固結堆積物が沢部や緩斜面部に分布している。

領家花崗岩類は、領家变成帯に出現する花崗岩類の総称であり、貫入時期により古期と新期に分けられている。本地区は図4-2に示すように、古期（蒲野片麻状花崗閃綠岩）と新期（東和花崗岩）の境界付近に位置している。なお、本地区の北東に聳える嵩山（標高618.5m）には、第三系の安山岩類（瀬戸内火山岩類）が花崗岩体を覆う形で分布している。

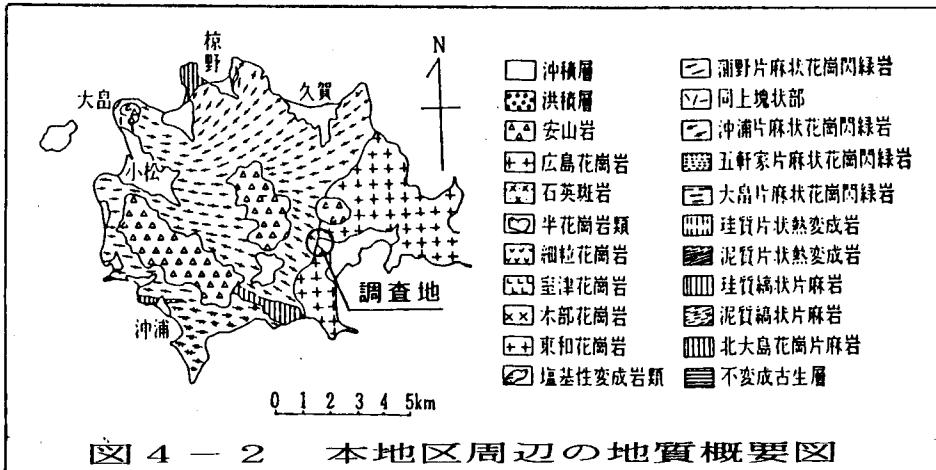


図 4-2 本地區周辺の地質概要図

4-2、法面安定対策施工までの経緯

広域農道大島第2地区建設事業に伴う事前調査は、平成3年度の計画ルート沿いの地表地質踏査から始まる。この結果により、計画ルートにおける土工、構造物の設計施工上の土木地質的問題点の大要が明らかとなり、平成4年度にルートの測量と詳細設計を実施している。さらに、測量設計と並行して規模の大きな土工区間、橋梁、トンネル等の重要構造を対象として、各種地質、土質調査を実施している。本地区についても、法高35～40mの長大切土区間となるため、平成4年10月から翌年1月に掛けて、縮尺1/500の地質精査、縦横断方向の弾性波探査、3孔の調査ボーリング等を実施している。これらの調査結果に基づき、安定計算を行った結果、現設計の1.0勾配で切土した場合には、法面の安定性に問題があり、アンカー工による抑止工が必要と判断していた。安定な切土形状とする場合には、全体に1.4勾配の切土形状に変更する必要が生じる。この安定勾配切土案では、さらに長大な切土範囲となり、用地確保や掘削土量の増大が重大な問題となつた。このため、当面現設計で切土し、掘削面の地盤状況を観察した上で、法面保護工を兼ねた法枠とアンカー工を施工する方針とした。

切土工事は平成5年11月から開始し、翌6年1月末頃にはほぼ道路基面までの掘削が終了した。掘削後、最適な法面安定工を検討する目的で、現地の地質精査と法面観察を行った所、事前調査で緩いマサ土が異常に深くまで分布すると予想された法面中央部は、花崗岩のマサ土ではなく、土石流起源の未固結堆積層が分布していた。基盤のマサ土との境界は、すべり破壊を受けて幅20cm程度に渡り

圧碎され、白色のすべり粘土が形成されていた。このような状況から、現状の1.0勾配の法面は安定限界（安全率で評価すれば $F_s = 1.00$ ）にあり、本層をすべり土塊とした法面崩壊（3章 図3-1のIII-bタイプ）が懸念された。そこで、両者の地質境界をすべり面とする地すべり解析を行い、アンカーワークによる抑止工と表層部の表面保護を兼ねた法枠工を施工するものとし、その実施設計を行った。本工法による法面工は平成6年3月から開始され、同年10月に無事終了している。

4-3、本地区の特異性について

周東地域に分布する領家変成岩類の内、縞状片麻岩および古期花崗岩類は2章で記したように、山口県下で比較的地すべり災害の多い地質である。その発生機構は必ずしも明確にされていないが、当変成岩類には、縞状あるいは片麻状構造と呼ばれる定方向の分離面が発達する。この分離面は、三郡変成岩などの結晶片岩類に見られる片理と同様に、潜在的な弱面として地盤に存在し、地殻変動や風化に伴ってすべり面に発展し、図3-1のIVC-1、VC-1タイプの崩壊を発生すると考えられる。すなわち、縞状あるいは片麻状構造の発達と言う地質的特性が、斜面の不安定化を招く一つの大きな素因と考えられる。しかし、本地区は領家変成帯に属するものの、事前および事後の調査結果より、法面を構成する花崗岩には片麻状構造が殆ど見られず、同時代の広島花崗岩に類似した岩相を示すことから、新期の岩体と判断した。従って、片麻状構造を素因とする崩壊タイプではなく、地山の花崗岩が強い風化を受けて形成された緩いマサ土の崩壊タイプ（図3-1のII-b）を想定していた。

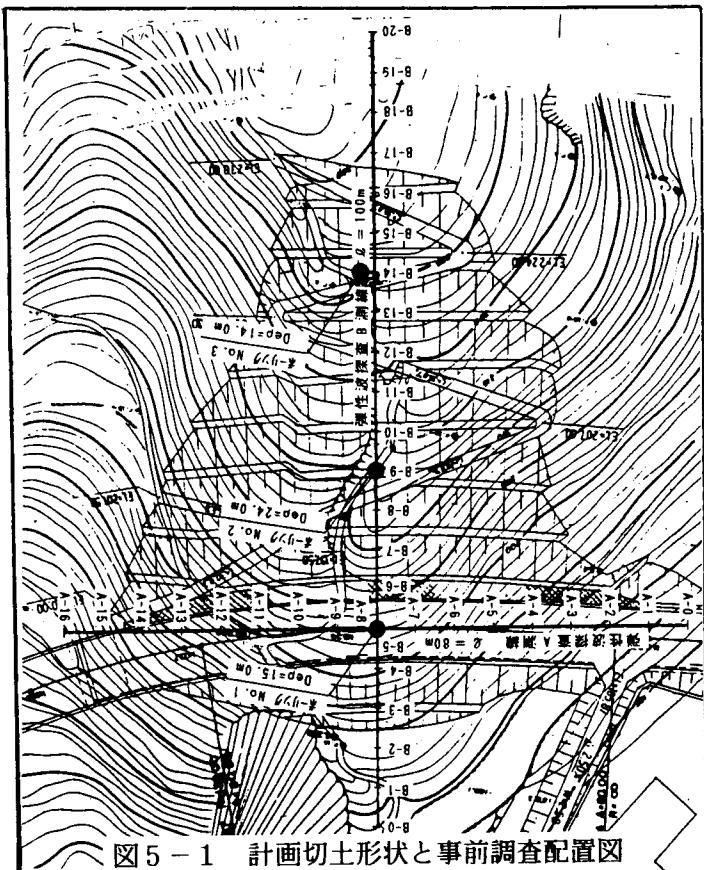
現実には、後背地から供給された古い土石流堆積物（旧崩積土）が法面中央部を中心に広く分布し、本層が基盤のマサ土との境界に沿ってすべりを生ずるという形態であった。この未固結、ルーズな土石流堆積物の存在は本地区的地形から見て、通常予知し難い地質状況であった。結果として、事前調査段階で予想した崩壊形態とは大きく異なる要因により、法面は不安定化していることが明らかとなつた。このような点で本地区的切土法面は、地質的に特異な事例に位置付けられる。

5、事前調査結果の概要

5-1、調査の内容と実施数量

事前調査は、図5-1の配置図に示す地点で実施した。調査内容と数量は以下の通りである。

- ①地表地質踏査；縮尺1/500
- ②弾性波探査（受振点間隔5m）；A・B2測線、延べ180m
- ③調査ボーリング（ $\phi 66$ 、標準貫入試験を含む）
；B No.1、2、3孔、延べ53m

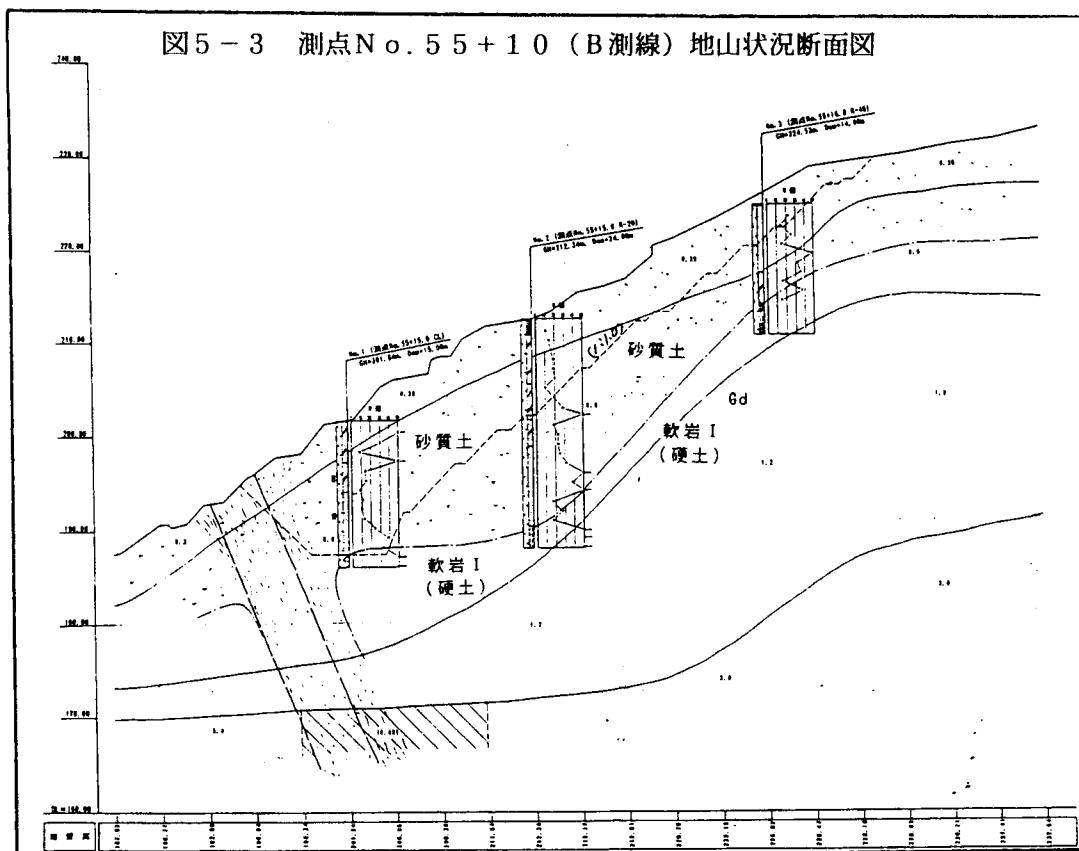


5-2、想定した切土法面の地山状況

上記の事前調査結果から、本切土部周辺の地質並びに法面の地山状況は、図5-2、5-3に表した。すなわち、切土計画部の地質は、領家變成岩類に属する新期の花崗閃緑岩（Gd）から成り、やせ尾根状の斜面は、全体に弾性波速度 $V_p = 0.6 \text{ km/s}$ 層から構成される。この速度層の分布形状は、自然斜面の縦横断形状に反して、

斜面中央部でポケット状に深まり、下位の1.2km/s層の上面までは最大25mの深さに達する。ボーリング結果より、本速度層の上部はN値15前後の転石混じり、粘土質マサに相当し、中間部はN値20～50の比較的締ったマサ土で、下部のN値50以上の硬質なマサ土へ漸移している。

図5-3 測点No.55+10(B測線)地山状況断面図



5-3、調査結果による法面の設計・施工方針

1.0 勾配の現設計で切土した場合、法面表層部は粘土質マサおよび緩いマサ土が分布すると推定され、N値及び既存文献資料より両層の強度評価を行って、安定計算を実施した。その結果、現設計の切土形状では、 $F_s = 0.96$ と試算され、法勾配1.0では安定性に問題があり、何らかの対策が必要と判断した。

その対策としては、安定性を確保出来る切土形状（計画安全率 $F_s = 1.20$ への変更案を考えた安定計算を行い、全体に1.4の法勾配に変更する必要があることになった（図5-4参照）。このケースで

図 5-2 業務地点周辺の地質平面図

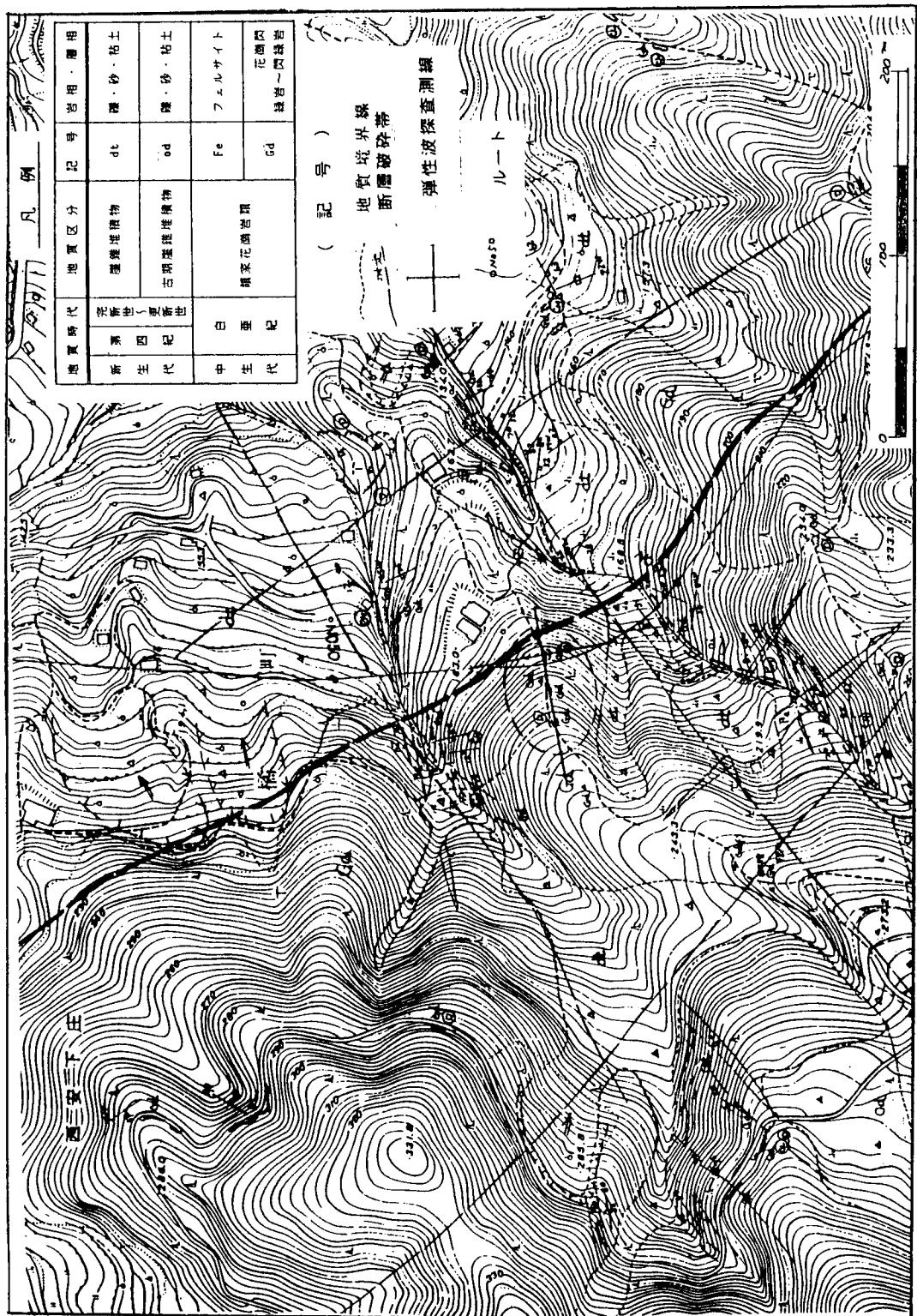
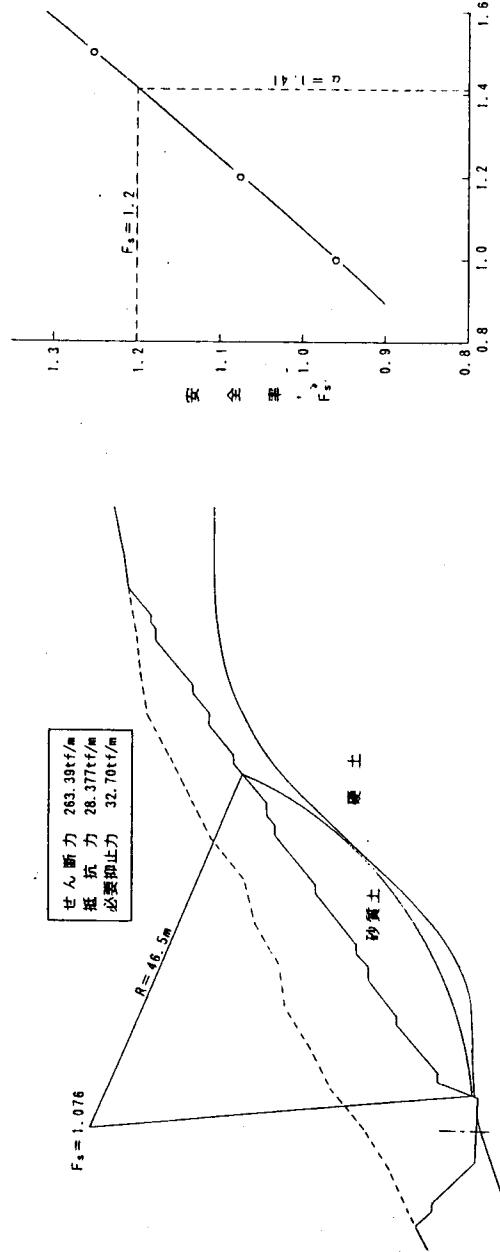
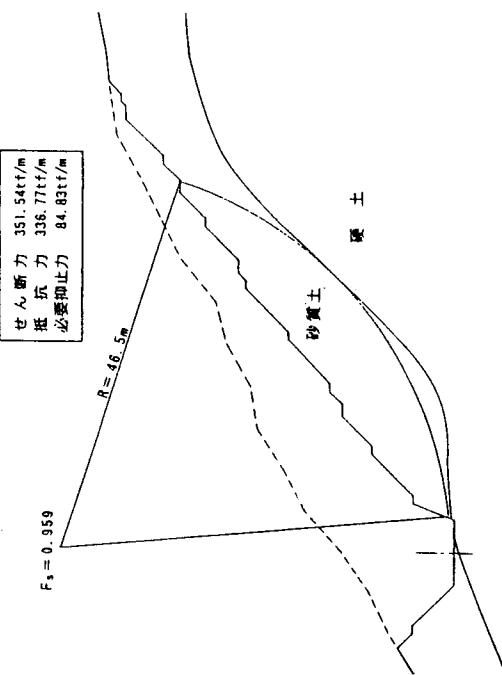


図 5-4 事前調査の安定角解析結果図

(2) 法勾配 1:1.2 法勾配 1:a

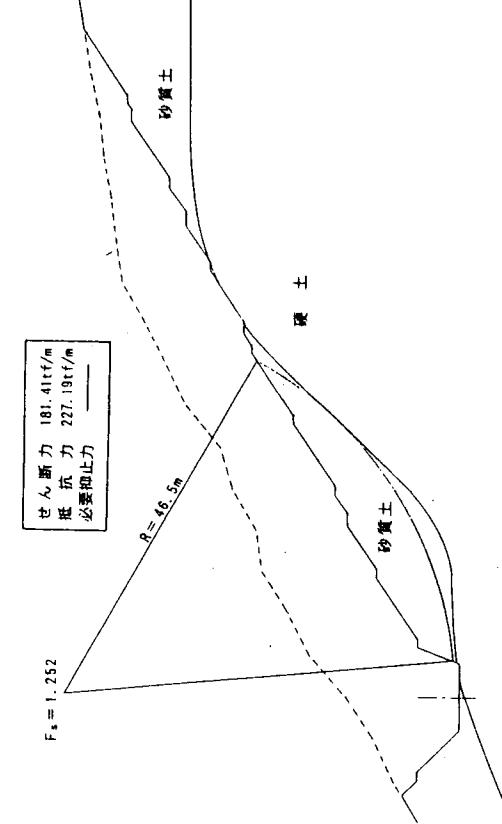


(3) 法勾配 1:1.5



せん断力	351.5t/m
抵抗力	336.77t/m
必要抑止力	84.83t/m

$F_s = 0.959$



せん断力	181.41t/m
抵抗力	227.19t/m
必要抑止力	—

$F_s = 1.252$

せん断力	351.5t/m
抵抗力	227.19t/m
必要抑止力	—

せん断力	181.41t/m
抵抗力	227.19t/m
必要抑止力	—

は、用地確保の問題及び掘削量の増大から土捨場が問題となり、島嶼部にあたる本地区にとっては、現実性に欠ける案になる。

比較案として、切土形状は現設計とし、法面保護を兼ねた法枠を受圧版とするアンカー工により、すべりを抑止する工法を提案した。なお、切土が終了した段階における安全率は $F_s = 1.0$ を下回ることから、一定の掘削段階毎に法面観察を行い、地盤状況を確認しながら、法枠やアンカーの逆巻施工が必要か否かや施工範囲、所要アンカーと法枠工の規格等、詳細な検討を実施する方針とした。

6、切土後の法面観察結果

6-1、事前に想定した地質・地山状況との相違点

掘削直後に行った法面観察の結果並びにその結果による切土法面の地山の状況は、添付写真及び図6-1に表わした。

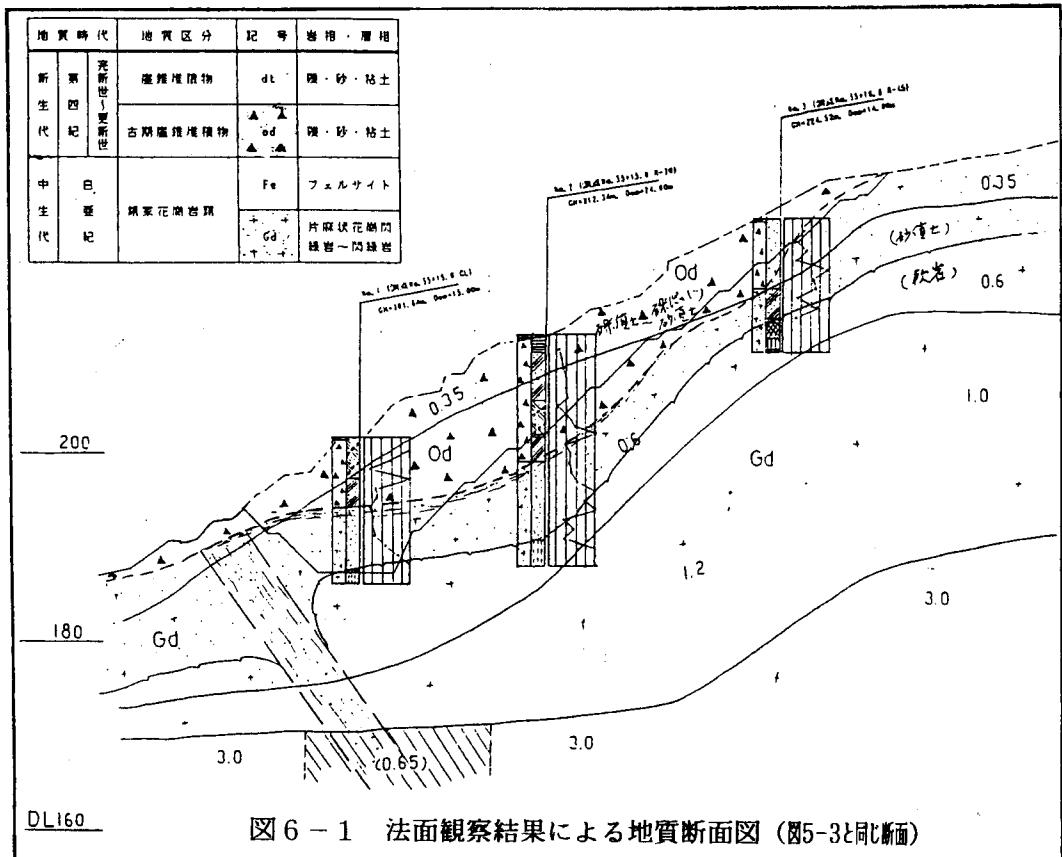
事前調査で想定していた地山状況と比較すると、次のような点に相違があった。

- ① $V_P = 0.35 \sim 0.6 \text{ km/s}$ 層は、比較的均質な緩いマサ土を想定していたが、法面の最下段部と上部7段目以高を除く、大半の部分は砂質粘性土を基質とし、径5~cmの角礫を多量に混入する未固結土砂が分布。本層は旧崩積土(土石流堆積物)と考えられる。
- ② 基盤のマサ土と未固結土砂の境界は、すべり破壊を受けて幅20cm程度に渡り圧碎され、白色の粘土が形成されている。
- ③ 最下段部と上部7段目以高のマサ土は、比較的密実な地盤状況を呈し、現況の1.0勾配はほぼ安定勾配と判断され、植生工程度の法面保護で恒久的な安定を得られる地盤状況にある。
- ④ 均質な緩いマサ土の円弧すべりを想定していたが、現実に不安定な土塊は旧崩積土であり、既に基盤の花崗岩との境界にすべり粘土が形成され、地すべりとしての取扱いが必要である。
- ⑤ 法面の起点側翼部から谷壁斜面に掛けて、緩い砂質土状を呈する崖錐堆積物も分布し、小規模な表層崩壊を生じている。

6-2、法面安定上の問題点と対策の基本方針

上記のような地質、地山状況が明らかとなり、当法面における安定上の問題は、法面中央部に分布する礫質土状の旧崩積土のすべりと、起点側の法面翼部から谷壁に分布する新しい崖錐層の表層崩壊である。前者の旧崩積土は、表層部の不安定化だけでなく、基盤と

の境界をすべり面とする法面崩壊についての安定対策が必要である。既存ボーリングコアの見直しによって、本層は法面に最大4m程度の層厚で分布し、地質境界に沿ってすべりを生じ易い状態にあることから、第1の崩壊ブロックは、本層の分布域と判断した。次に、新しい崖錐層が分布する起点側翼部から谷壁にかけての自然斜面部でも、現状において小規模な表層崩壊を生じていることから、これらの分布域についても別途安定化を図る方針とした。



7、対策工の設計

7-1、安定解析と必要抑止力の算定

安定解析並びに対策工設計の進め方は、「道路土工；のり面工、斜面安定工指針」に準拠し、以下の条件で行った。

①検討断面及びすべり形状（図7-1参照）。

旧崩積土の最大すべり長さとなる法面中央付近、No. 56横断を用い、すべり面は旧崩積土と基盤の花崗岩の地質境界とした2円弧1直線の複合すべりとした。

②安全率の設定

- ・現況；切土直後の法面観察時点で若干の押出し現象が認められることから、安定限界状態と判定し、 $F_s = 1.00$ と評価
- ・計画安全率；道路の重要性と崩壊を生じた場合の被害の重大性を鑑み、 $F_s = 1.20$ に設定

③単位堆積重量（ γ_t ）；すべり土塊は礫質土に分離され、一般的な土の γ_t ($1.8 t/m^3$) より大きめに評価し、 $1.90 t/m^3$ を採用

④地下水条件（間隙水圧）；法面観察により、すべり土塊及び基盤岩の透水性が高く、間隙水圧として働く地下水昇は少ないと判断し、これを無視して、全応力解析とした。 (設計サイドからは安全側の設定となる)

⑤すべり面強度の決定法；既にすべり面が形成されていることから、地すべりとして解析、現況 $F_s = 1.00$ とした逆算法により算定。

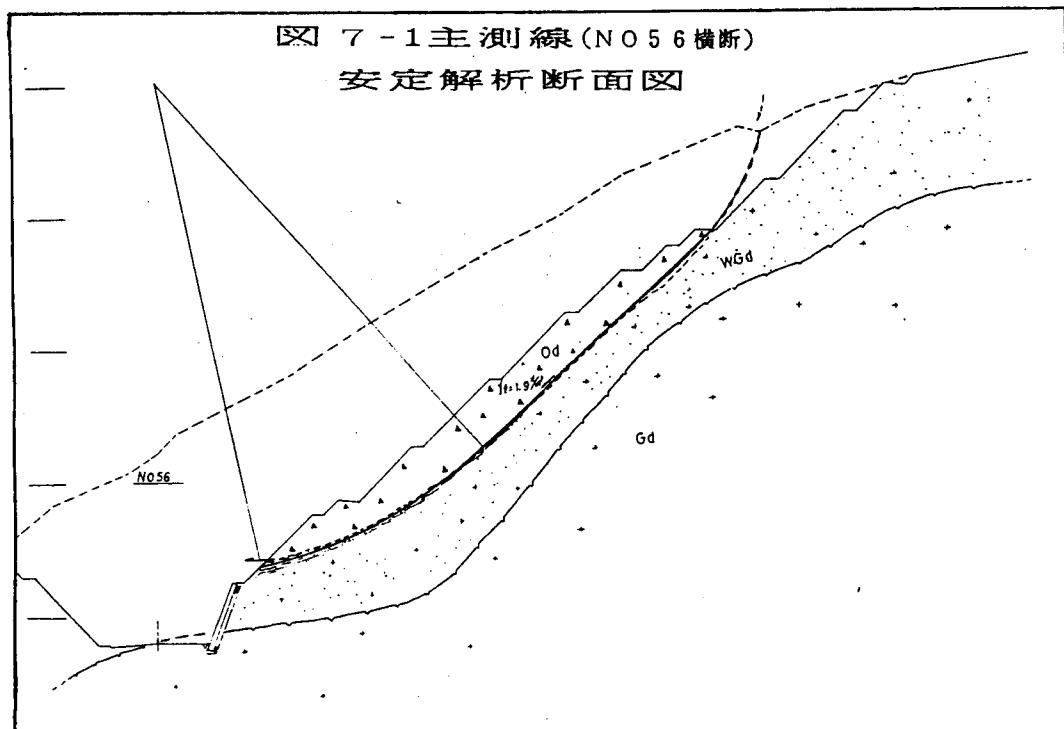
逆算結果の $C - \phi$ 関係式は次の通りであり、経験的手法により C 値を推定（すべり層厚 $\times 0.1 t/m^2$ ）、 ϕ を決定。

なお、すべり層厚は、切土前の自然斜面からの平均層厚 1.5 m を想定した。

- ・ $C - \phi$ 関係式； $C = 2.627 - 3.574 \tan \phi$
 $C = 1.5 t/m^2$ 、 $\tan \phi = 0.315 (\phi = 17.5^\circ)$

この条件を用いた安定計算の結果、現況の切土形状における必要抑止力（P_R）は、22.79t/m となった。

土工指針によれば、この程度の抑止力であれば、安定対策工により抑止、抑制可能な地すべりに位置付けられる。



7-2、対策工法案の比較

長大法面の最下段から6段目まで、最大層厚4mのすべり土塊が存在するため、対策工法としては、このすべり土塊の一部を排土する緩勾配の切直し案か、現状の切土形状で抑止工を施工する案のいずれかが考えられ、比較案として次の3案を検討した。

第①案 ; 排土（再切土）工法

すべり土塊の頭部を排土し、すべり力を軽減し所定の安全率を確保する工法である。安定計算により、1.2勾配の切直しにより所定の安全率が得られる。

第②案 ; 鉄筋挿入（補強土工）工法

現況断面で鉄筋挿入による補強土で安定化する工法である。本工法は鉄筋挿入配置を密に行うことから、いわゆる疑似擁壁構造となり、全体的な安定効果は高い。

第③案 ; アンカー付き法枠工法

現況断面でアンカーによる抑止構造で安定化する工法である。アンカーの受圧版は法枠工とし、法面保護工と併用する。法面内に礫が分布し、地盤面が起伏に富むことから吹付法枠構造とする。

以上の3案について、概略構造及び数量計算を行い、表7-1に示す工法比較表としてまとめた。

鉄筋挿入工法は、玉石の存在のためボルトの切断の可能性が高く、クレーン施工の限界高に近い作業となり、施工性の問題がある。また、工事費も高価となり本地区では不適当と判断した。

排土工法とアンカー工法は概ね同等の工事費となるが、排土工法は計算上1.2勾配で計画安定率は確保出来るが、長大法面内にすべり土塊が一部残存することになるため、恒久的な安定性の観点からは、不安を残すことになる。また、用地問題や残土も大量に発生し、狭い島内での処分問題が残る。一方、アンカー工法は現況断面で施工するものであり、比較的工法がシンプルで施工実績も多く、信頼度の高い工法である。ただし、斜路が複雑に配置されていることからアンカーの面的な展開にやや難しい面がある。

各工法の信頼性、施工性、工費面を総合すると、アンカー付法枠工法が最も優れており、本工法を最適案として採用した。

表アーチ、法面安定対策工法案の比較結果表

工法案	工法概要図	工法の特徴及び得失	概算工事費(10m ² 当たり直工)	判断
① 排土工法案		<ul style="list-style-type: none"> すべり土塊の頭部を排土し、所定の安全率を確保 本ケースでは1:1.2勾配の直しが必要 長大法棒となり、法面保護工費が増大 掘削土は全体で約5000m³程度生じ大量の残土発生 下部に残存するすべり土塊は法棒工の併用が必要 用地の追加が必要 斜路配置の為、法面が複雑で人力施工部が生ずる。 	案械掘削・運搬・処理 $1000\text{m}^3 \times 2,300 = 2,300\text{千円}$ 人力掘削・運搬・処理 $800\text{m}^3 \times 4,200 = 3,360$ 法面整形 $615\text{m}^2 \times 1,000 = 615$ 吹付け棒 F300 $312\text{m}^2 \times 15,000 = 4,680$ 吹付け棒 F200 $156\text{m}^2 \times 13,000 = 2,028$ 厚層基材吹付(t=5cm) $451\text{m}^2 \times 5,300 = 2,390$ $\Sigma = [5,373]\text{千円}$ (用地費は除く)	
② 鉄筋挿入補強土工法案		<ul style="list-style-type: none"> 現況断面で鉄筋挿入工による抑止構造で安定化を図る。 鉄筋挿入は吹付け棒 F200 の交点に配置する。 鉄筋挿入工ですべり土塊の大半を補強するため安定性が高い。 クレーン施工の限界高は H=30m で、上部は施工限界となる。 玉石を多く含むため自穿孔型鉄筋が必要となり、削孔、材料費が割高 工期は全面クレンチ施工が可能であれば比較的早い。 	鉄筋挿入工 (ガイドW) 併用自穿孔 $763\text{m} \times 18,000 = 13,734\text{千円}$ 吹付け棒工 F200 $35\text{m}^2 \times 13,000 = 4,550$ 厚層基材吹付(t=5cm) $423\text{m}^2 \times 5,300 = 2,242$ $\Sigma = [20,526]\text{千円}$	
③ アンカーワーク法案		<ul style="list-style-type: none"> 現況断面による抑止構造で安定化。 法面長が長い為、アンカーは3段に配置させる。 反力版を兼ねた吹付け棒工 500 × 500 が必要。 斜路配置のためアンカーの展開が複雑化。 工期がやや長い。 経済性の面では、排土案に劣る。 	アンカーワーク (E5-2, φ115) $190\text{m}^2 \times 32,000 = 6,080\text{千円}$ 吹付け棒 500×500 $195\text{m}^2 \times 25,000 = 4,875$ 吹付け棒 F200 $158\text{m}^2 \times 13,000 = 2,054$ 厚層基材吹付(t=5cm) $406\text{m}^2 \times 5,300 = 2,152$ $\Sigma = [5,161]\text{千円}$	

7-3、アンカー付き法枠工の設計

対策工法の比較により選定した第3案アンカー付き法枠工について実施設計を行った。アンカー工の設計は「グランドアンカー設計、施工基準（土質工学会）」、法枠工は「のり枠工の設計、施工指針（全国特定法面保護協会）」に準拠して実施した。

以下に主要な部材、構造計算結果の概要を述べる。

1) 設計アンカー張力と部材の決定

抑止力 $P_r = 22.8 \text{t/m}$ に対し、引止め、締付け両効果を考慮し、打設角を各種変化させて、最も効果的なアンカー角を検討した。その結果、法枠の配筋が可能な配置内では $\theta = 20^\circ$ が最適と計算され、設計アンカー角とした。その時の必要アンカーライド T_r は 30.75t/m である。

アンカーの水平間隔は、すべり土塊の中抜けと経済性を考慮して、@3.00m とし、すべり末端部に縦方向に6段配置するものとしてアンカー1本当たりの設計張力 (T_o) を求めた。

$$T_o = \frac{T_r \cdot a}{N}$$

但し
$$\begin{cases} a : \text{アンカーの水平間隔} & 3.0 \text{ m} \\ N : \text{縦1列当たりのアンカー本数} & 6 \text{ 本} \end{cases}$$

$$= \frac{30.75 \times 3.0}{6}$$

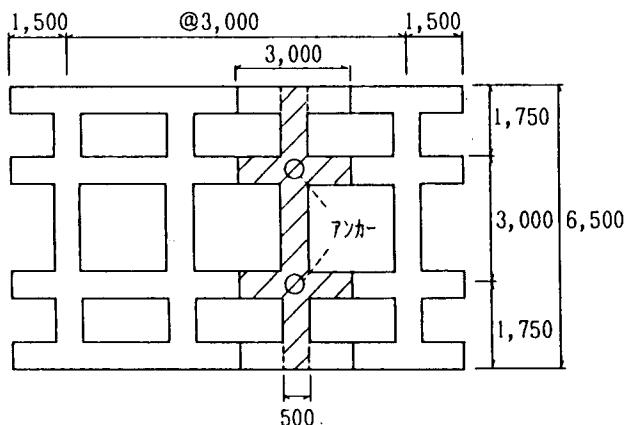
$$= 15.4 \text{ tf/本}$$

$T_o = 15.4 \text{tf/本}$ に対するアンカーライド鋼材としては、 P_c 鋼より線 $\phi 12.7$ を2本使用すれば許容張力 ($P_a = 22.4 \text{t/本}$) 以内となる。設計段階では定着地盤の面的広がりが不明確なため、現場施工時に対応性が良いとされるV形、E5-2タイプを使用するものとして、必要定着長等の計算を行った。定着長の検討は、鋼材とグラウトの付着力より求まる長さ ($\ell_s a$) とグラウトと地山の周面摩擦力から求まる長さ (ℓa) の長い方を採用する必要がある。地山の周面摩擦抵抗は、施工時に基本試験により確認することを前提とし、設計時では定着地盤を N 値30程度の礫質土と想定し、 $\tau = 2.5 \text{kgf/cm}^2$ として $\ell a = 426 \text{cm}$ を求めた。 $\ell_s a = 241 \text{cm} < \ell a = 426 \text{cm}$ より、設計定着長は4.5mとした。なお、自由長は基準により最小4.0mとした。

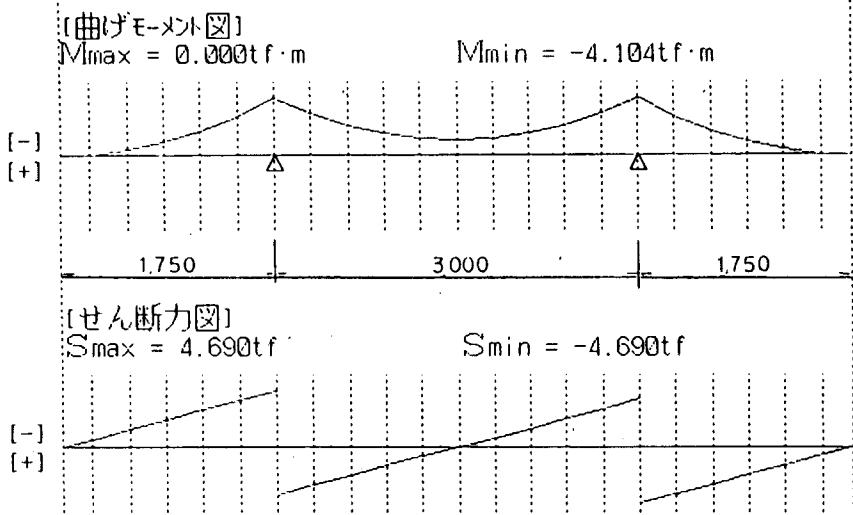
2) 法枠の設計

アンカーの受圧版を兼ねた法枠工の設計法は、明確な基準がないのが現状である。しかし、先出の基準や参考図書により、比較的軟質な地盤に設置するケースでは、アンカー力を等分布荷重に換算し、コンクリート梁として部材の計算を行う方法が一般的とされている。ここでは、アンカー力を下図の範囲に等しく分担するものと考え、縦横2方向について、張出しを考慮した連続梁として解析した。

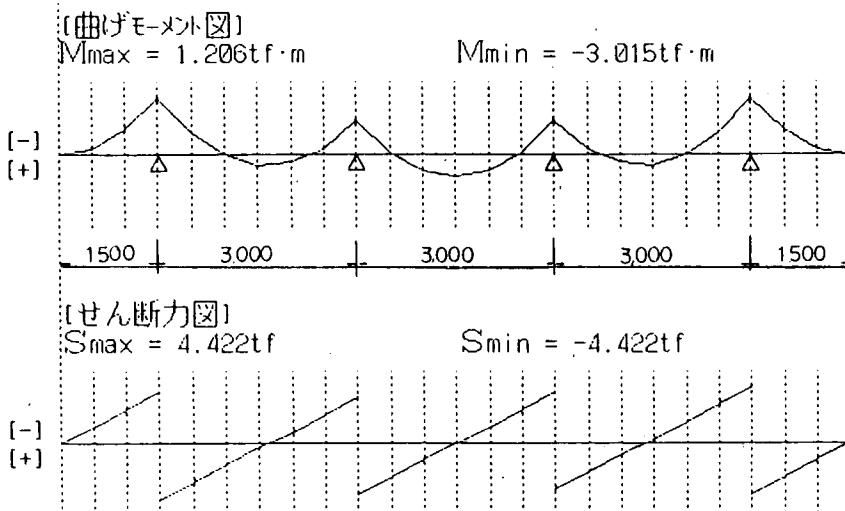
解析結果は曲げモーメント図、せん断力図に示す通りであり、縦枠の断面力が大きいため、縦枠について梁断面と応力度の照査を行い、□500×500 主鉄筋4-D16 となった。なお、横枠については、縦枠に準じて同等の配筋とした。



[縦枠の解析結果図]



[横枠の解析結果図]



8、あとがき

本地区の切土法面工事に際しては、土工規模に応じたほぼ適正な内容、数量の事前調査が実施されていたと言える。しかし、各種調査結果を総合的に解釈、判断する際に、現場が尾根地形にあたることや周辺にマサ土の露頭が多く認められた点から、一種の先入観にかられ、結果としてポケット状に落ち込んだ $V_p = 0.6 \text{km/s}$ 層の地質的解釈を誤り、尾根中央部に旧崩積土が分布するという特異な地質状況を予知することができなかった。

事前調査のボーリング及び弾性波探査結果より、尾根中央部が予想外に悪い地山状況にあることが判明した段階で、より巨視的な地形判読を再度行ったり、現地を補足踏査する等によって、新たな情報を収集し、冷静に分析すれば、予知はある程度可能であったとも思われる。

この点については、この種の調査に携わる技術者として今後の事前調査に際して十分な留意が必要である。

また、安定対策工としてアンカー付き法枠工法を採用し、実施設計、施工を行ったが、法面内に斜路が複雑に設置されているため、アンカーの奥行方向打設間隔 3 m、横断方向 6 段の配置が、規則的に展開出来ない箇所が生じた。アンカーの打設が困難な箇所では、張出し長が梁断面の計算時点と異なり、所定内に応力が納まらない可能性が出て来た。このような箇所では、横枠に目地を入れる等で対応したが、いずれ対応に統一性が求められる所であり、今後、早急にアンカー付き法枠工の設計法について基準化することが望まれる所である。

以上

切土直後の法面全景



写真番号①



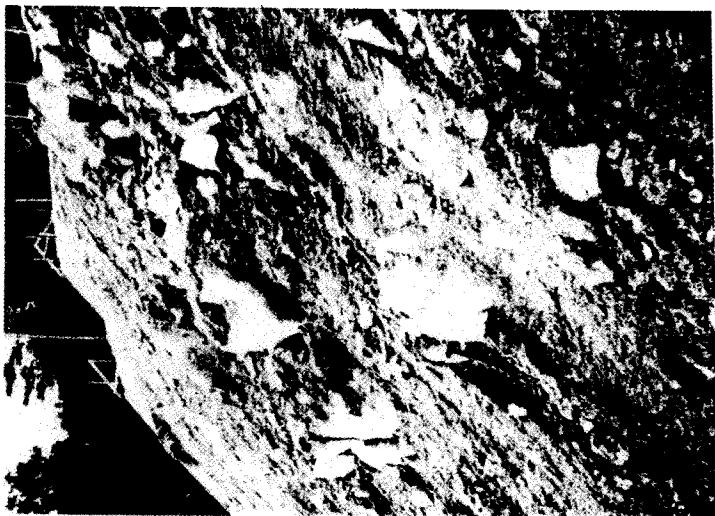
写真番号②



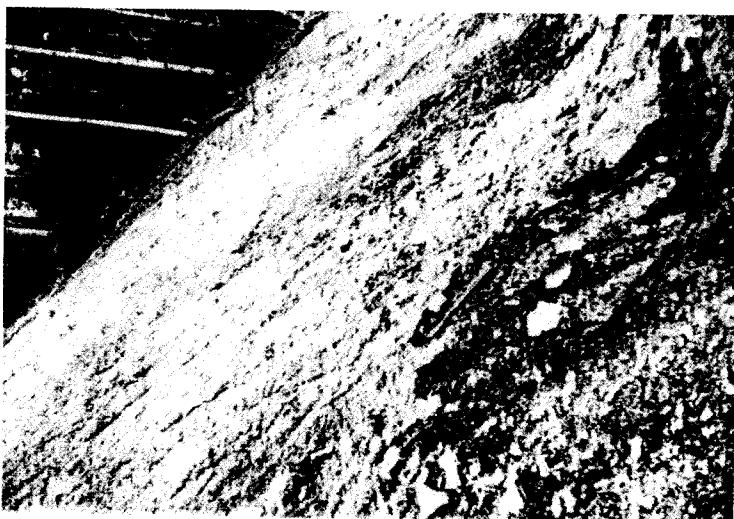
写真番号③



写真番号④



写真番号⑤



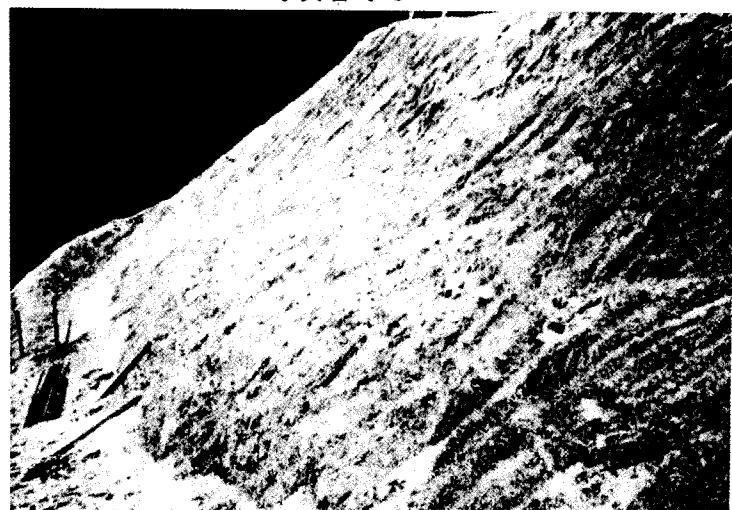
写真番号⑥



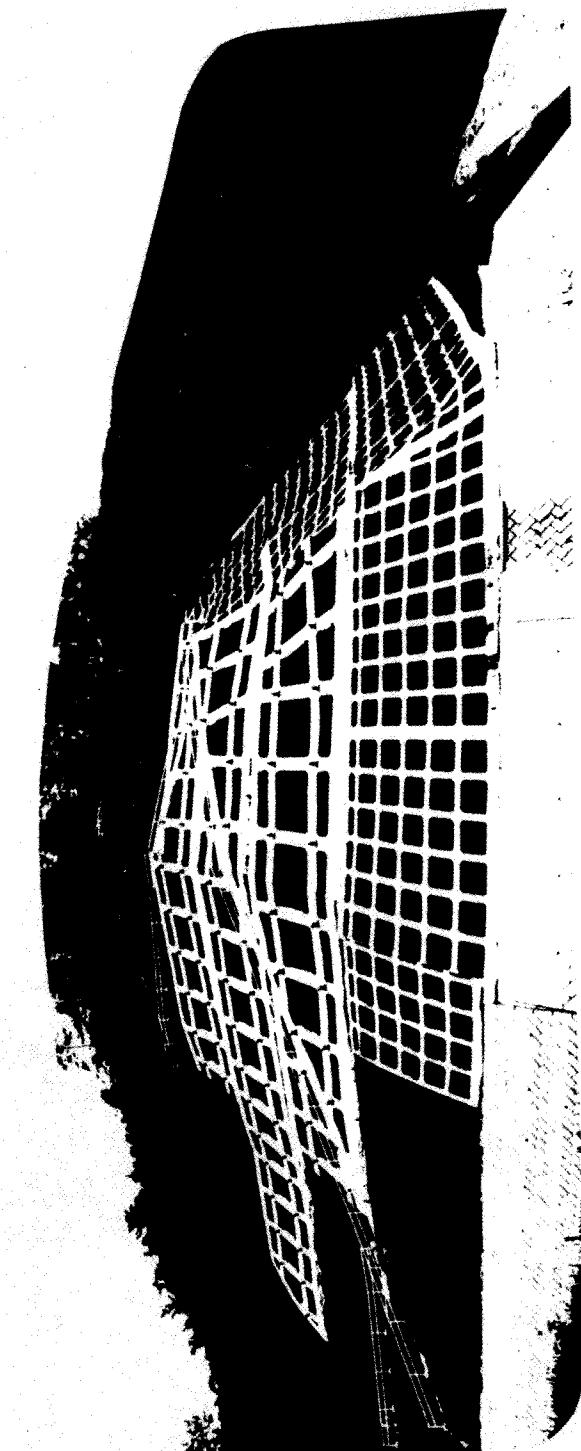
写真番号⑦



写真番号⑧



真 写 工 竣 事 工



農地における土壤流亡量の推算および 土壤侵食機構に関する研究

鳥取大学大学院連合農学研究科
Kingshuk ROY

1. はじめに

農用地の生産性を低下させる原因の一つとして、降雨による土壤侵食がある。土壤侵食は、雨水流のエネルギー、土壤の物理性、斜面の傾斜度、斜面長、斜面幅、侵食の状況、斜面の凹凸など多数の因子が関与している複雑な現象である。侵食量を事前に評価、予測することが農地保全分野において重要な課題である。このため、より簡単で正確に土壤流亡量を推算することが望ましい。これまでの研究では、土壤侵食量 (q_e) は侵食因子 (K_e) 、地形因子 (L_d 、 $\sin\theta$) 、降雨因子 (q_r) との間に「 $q_e = a K_e L_d^\alpha \sin^\beta \theta q_r^\gamma$ 」の関係で表されることがわかっている^{1),2),3)}。

侵食因子 K_e は被覆に関する係数 a_c と侵食溝の有無に関する係数 b とで表すことができるが、土壤流亡量をより正確に予測するためには a_c および b の最適値を知る必要がある。そこで、山口大学農学部付属農場内の自由型枠試験圃場において生育形態の異なる作物を年々数種栽培し、作物の生長段階に伴う降雨毎の流出水量、土壤流亡量の測定を行い、各種栽培作物区における a_c および b の値について推察し、現地圃場への推算式の適用性を検討した。さらに、自然降雨のもとでの実験を進めるとともに室内や野外で人工降雨装置を設置し、圃場の物理的特性（斜面の幅、長さ、勾配、土性）および植生形態、つまり、圃場面の被覆率とともに雨水流の特性が、土壤侵食機構にどのような影響を与えるかに視点を置いた解析を試みた。以上のこととまとめて本報告で述べる。

2. 植生および降雨型を考慮した土壤流亡量推算式

2.1 推算式の概要

本研究で用いた土壤流亡量推算式は、山口大学付属農場内の枠試験圃場における観測や室内実験で得られたデータをもとに、傾斜圃場における土壤流亡量(q_e)を降雨量(q_r)から直接計算できる次式のような実用型土壤流亡量推算式である^{1),2),3)}。

$$q_e = a K_e L_d^\alpha \sin^\beta \theta q_r^\gamma \quad (1)$$

ここに、 α 、 β は圃場の傾斜、斜面長の状態により、 a 、 γ は降雨型^{1),2)}によって決まる定数であり、特に a は土壤の種類、傾斜、斜面長等に関する無次元量である。また、 L_d は無次元斜面長（基準となる圃場の斜面長に対する傾斜圃場の平均斜面長の比）、 θ は斜面勾配、 K_e は侵食係数である。侵食係数 K_e は営農状態の圃場に対しては、侵食に関する各要因、例えば作物、雑草等による被覆割合、マルチの敷設程度、圃場の耕起、圃場状況、侵食溝の有無などにより定められる係数である。さらに、整備後作物栽培時の営農状態の圃場においては、この係数(K_e)は圃場の植生、地表面の被覆状態を表す被覆係数 K_c 、耕作状態を示す畠状係数 K_s の2つの主領域にまとめて表される。したがって侵食係数 K_e は、営農状態では K_c と K_s の積で求められるとし、

$$K_e = K_c \cdot K_s \quad (2)$$

で表されている。

本研究における野外での全ての観測を行った枠試験圃場は営農状態であったため侵食係数 K_e は(2)式により求めた。この式はさらに次式のように展開されている。

$$K_c = \{1.0 - (A_1/A_0)a_c^{H/D}\} \quad (3)$$

$$K_s = \{b(D_b/d_b)\sin\theta_r\} \quad (4)$$

したがって、

$$\begin{aligned} K_e &= K_c \cdot K_s \\ &= \{1.0 - (A_1/A_0)a_c^{H/D}\} \cdot \{b(D_b/d_b)\sin\theta_r\} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 A_1 ：圃場内の植物の平面的な被覆面積、 A_0 ：圃場の面積、 H ：地表面から植物被覆の中心部までの高さ、 D ：被覆面積の平均直径、 D_b ：1つの圃場の横幅、 d_b ：圃場の畠幅の合計、 θ_r ：畠が等高線となす角である。さらに、 a_c ：植物の種類、混植の程度、マルチの敷設程度を示す係数であり、 b ：侵食溝の有無および耕作面の状況に関する係数である。 a_c 、 b のいずれも仮定値が採用されている段階で実用性としての定数化が未だ確立されていない。

土壤侵食は植生による被覆、雑草あるいはマルチの平面的面積だけではなく被覆植生の地上部の高さによる空間の影響をも関係があると考えられいるため被覆係数 K_c の算出が必要である。地面から植生による被覆が高くなるにつれて横方向からの降雨が直接地表面をたたくようになり、さらに露出した土層表面上を雨水が流れやすくなり、掃流力による侵食効果も増大する。

図-1 のように、圃場の面積を A_0 、その圃場を植物が平面的に被っている面積を A_1 とし、 A_1/A_0 を被覆率と定義する。また、図-2 のように、地表面から植物被覆の中心部に位置するまでの高さを H 、その位置の被覆面積の平均直径 D とし、 H/D とし空間

率として表すこととする。さらに、被覆率や空間率ではとらえることが難しい植物の種類、混植の程度あるいはマルチの敷設条を考慮した係数 a_c 等を用いて定数化を試み被覆係数 K_c は裸地のときの値、すなわち $K_c=1$ より小さくなる条件で定式化を試み、被覆係数を上式で表し、 $A_1/A_0=0$ 、つまり被覆がない場合 $K_c=1.0$ となり裸地を示している。それに対して、 $A_1/A_0=1$ 、つまり地表面が植物や雑草あるいはマルチで完全に覆われている場合、侵食が最も少なく、 $K_c=0$ となる。また、 $H=0$ 、つまり植物の地上部が地表面にほぼ接している場合、 $K_c=1.0-(A_1/A_0)$ で植物の被覆面積のみ侵食に関係している。

また圃場の表面は圃場の耕作（畝立）形態や植付作物の種類等によって多様な形状を示している。土層および地表面は、土壤の物理的特性（粒度分布、締め固めの状態、有機物の含有量等）により様々な形状を示すと共に、圃場の耕作形態や植付作物の種類によって色々な形を有している。耕作によって縦畝が作られ、また裸地状態においても降雨前に侵食溝(rill, gully)が存在すると圃場面は侵食を促進する形状となり、裸地圃場に比べて多量の土壤流亡を生起させる場合もある。また逆に、横畝で作物が栽培されると侵食抑制効果は極めて大きくなることが考えられる。

図-3 が示すように、1つの圃場の横畝を D_b 、圃場の畝幅の合計を d_b すると、土壤の侵食は畝幅比 D_b/d_b に応じて増減し、更に畝が等高線（contour）となす角 θ_r ($0 \sim 90^\circ$) に応じても変わることが考えられる。この θ_r が大きくなるに

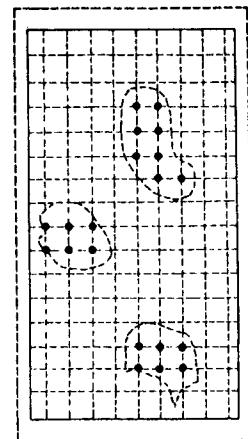


図-1 透明グラフ用紙による写真上の被覆率(%)の測定

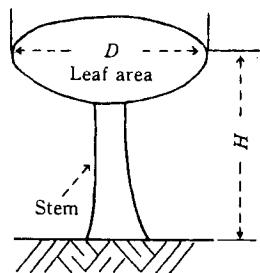


図-2 空間率(H/D)の概略図

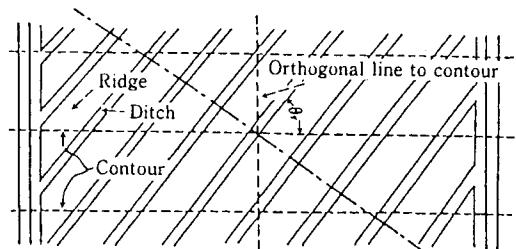


図-3 畝および等高線の配置図

つれて畠は縦畠状態を示し、 $\theta_r=90^\circ$ のとき等高線に直交する縦畠となる。したがって、 θ_r が増大するにつれ侵食も増すことが考えられてくる。そこで、 D_b/d_b 即ち圃場に畠がない場合には $K_s=b$ となり、 K_s の値はそのときの b の値、つまり耕作形状あるいは初期侵食溝の有無により決められる。

2.2 推算式の観測圃場への適用

(1)式を展開する段階では、これまでに使用した枠試験圃場（長さ 19.7m、幅 1.7m、深さ 0.6m、勾配 10° であり、以後、標準型枠試験圃場と称する）に適用する場合の各物理量の単位は次のように表される。

q_e : 土壤流亡量($m^3/(10\text{min} \cdot m)$)、 q_r : 10 分間降雨量($mm/10\text{min}$)、 $L_d (=L/19.7m)$: 無次元斜面長、 K_e : 侵食係数、 θ : 傾斜角、 α, β, γ : ベキ数、 a : 係数。

ベキ数 (α, β) は、圃場の形状に関する量であり、勾配、斜面長の異なる実験あるいは現地圃場における直接観測から求める必要がある。

2.3 降雨量と表面流出量の関係

流出解析の分野では、降雨量(q_r)と流出水量(q_w)の関係は、次式で表される^{2), 4)}。

$$q_w = a_r q_r^\gamma + b_r \quad (6a)$$

ここで、係数 a_r とベキ数 γ は各降雨型により決定され、 b_r は基底流出量である。本学の枠試験圃場の場合には、流域面積が小さいため、基底流出水量 b_r は無視できると考えられるので $b_r=0$ とすると、降雨量と表面流出水量の関係は次のようになる。

$$q_w = a_r q_r^\gamma \quad (6b)$$

降雨は変化が激しく、様々な形態で降るために、1種類の推算式で対応することは極めて困難である。そこで、降雨の強さや継続期間等により降雨の型を i) 集中型降雨 (C型)、ii) 長雨型降雨 (L型)、iii) 中間型降雨 (M型) の3つに分類し、それぞれの型について a_r と γ の値が求められている。

i) **集中型降雨:** 10 分間降雨量 8.0(mm)以上の降雨を1回以上含み、連続あるいは断続的な降雨が2時間以内に降りやむ降雨（記号では C で示す）

ii) **長雨型降雨:** 10 分間降雨量 5.0(mm)以上の降雨を1回以上含み、連続あるいは断続的な降雨が2時間以上降り続く降雨（記号では L で示す）

iii) **中間型降雨:** 集中型降雨、長雨型降雨のいずれにも属さない降雨
(記号では M で示す)

ただし、断続的降雨中でも流出がなくなれば、そこで1区切りとする。

降雨量(q_r)と流出水量(q_w)の関係を(6 b)式で表した場合、標準型枠試験圃場における10年間にわたる観測の結果^{2), 4)}を自由型枠試験圃場(幅 0.94m、長さ 9.70m、勾配 10°)

に変換すると、各降雨型に対する表面流出水量と降雨量との関係は次のようになる。

1)集中型降雨

$$q_w = 3.91 q_r^{1.49} \quad (7)$$

2)長雨型降雨

$$q_w = 7.01 q_r^{1.22} \quad (8)$$

3)中間型降雨

$$q_w = 9.34 q_r^{1.15} \quad (9)$$

ただし、

q_r : 降雨量(mm/10min)

q_w : 表面流出水量 [l/(10min·0.94m)]

また、室内実験と枠試験圃場における斜面長の違いを考慮して求められた自由型枠試験圃場の土壤流亡量推算式は簡単に次式で表される。

$$q_w = a' q_r^{\gamma_f} \quad (10)$$

ただし、

q_r : 降雨量(mm/10min)

q_w : 土壤流亡量 [kg/(10min·0.94m)]

a' ($a' = a K_e L_d^\alpha \sin^\beta \theta$) は土壤および植生の種類、傾斜、斜面長等に関する物理量であり、 γ_f は降雨型によるベキ数である。

各降雨型で求めた(7)～(9)式の値を(10)式に代入して整理した結果を表一に示した。

(10)式に、各 10 分間降雨量および表一で示している各降雨型による a' 、 n の値を用いれば 10 分間当たりの土壤流亡量（裸地の状態で）が計算でき、それを 1 降雨全体について計算を行えば、1 降雨当たりの土壤流亡量を推算することができる。

表一 各降雨型に対する a' および γ_f の値

Rainfall type	1.0 < q_r < 10.0 (mm / 10 min)		10.0 < q_r (mm / 10 min)	
	a'	γ_f	a'	γ_f
C Type	7.24×10^{-4}	3.47	6.72×10^{-2}	1.61
L Type	2.82×10^{-3}	2.84	1.26×10^{-1}	1.32
M Type	5.51×10^{-3}	2.86	1.72×10^{-1}	1.24

3 材料および方法

3.1 観測施設

本研究で用いた全てのデータは学内野外観測および室内実験において得たものであ

る。野外観測は、さらに自然降雨と人工降雨のもとで2つの圃場において行った。また、室内実験は人工降雨装置による表面流を用いて斜面の物理的特徴を様々に変更し行ったものである。各観測および実験施設の説明は次の通りである。

1. 自然降雨下の野外圃場：この圃場（以後自由型枠試験圃場と称する）は、図-4に示すように、5区画からなっており、各区の斜面長は9.7m、幅0.94m、勾配10°である。また、搬入した土の物理的特性は、比重 $G_s = 2.66$ 、液性限界（L.L.）=42.4%、塑性限界（P.L.）=26.51%、乾燥密度 $\rho_d = 1.3\text{g/cm}^3$ であり、重量比は、砂：（シルト+粘土）=58:42である。枠試験圃場下端には、写真-1に示すように、各区から流出してきた土砂流を沈砂池に導くベースプレートがあり、それに続いて、沈砂池および三角堰が設けられている。また、沈砂池内には、土壤流亡量を観測するため、木綿袋を取り付けた木枠が、さらに、流出水量を観測するためのフロート式自記水位計が設置されている。観測場内には、日巻の転倒マス型隔測自記雨量計が設置され、降雨が測定されている。

2. 人工降雨装置下の野外圃場：図-5および写真-2に示しているように、この圃場は2つの区画からなってお池を設け、各試験区から流出してきた土砂流を土壤と水に分類して測定できる装置を設り、各区とも有効斜面長

5.0m、幅0.7m、勾配10°である。それらの下端には沈砂池を設置した。沈砂池の底から一定の高さにワイヤーネットを取り付け、土壤を集めることができる。また、沈砂池の下部に三角堰を設置することにより流出水量も求めることができる。さらに、降雨を降らすために設置した水文環境制御装置は、検定結果により、2mm/h(0.33mm/10min)～180mm/h(30mm/10min)の範囲までの雨が発生可能である。圃場内の試料土は、自由型枠試験圃場内の土と同じく山口大学付属農場内山林より搬入した細粒土である。

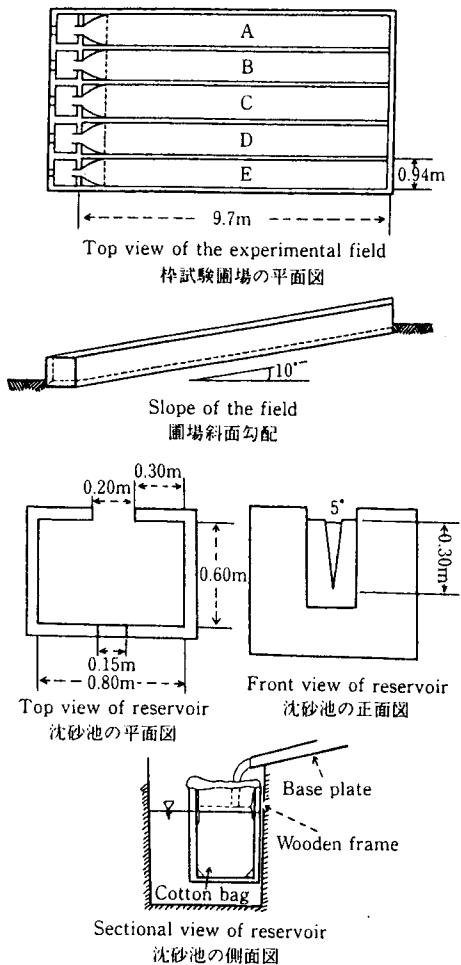
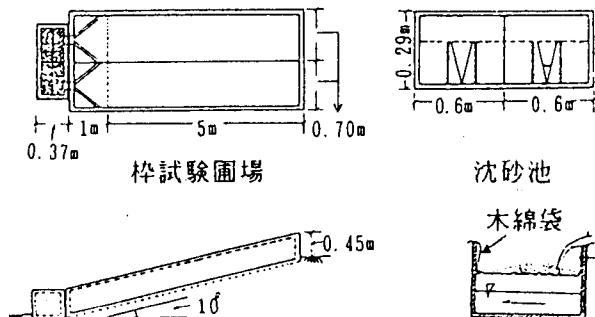


図-4 自由型枠試験圃場の概略図



写真一1 枠試験圃場の各区の下端に取り付けた流出土砂採取施設



図一5 降雨装置下の野外圃場の概略図

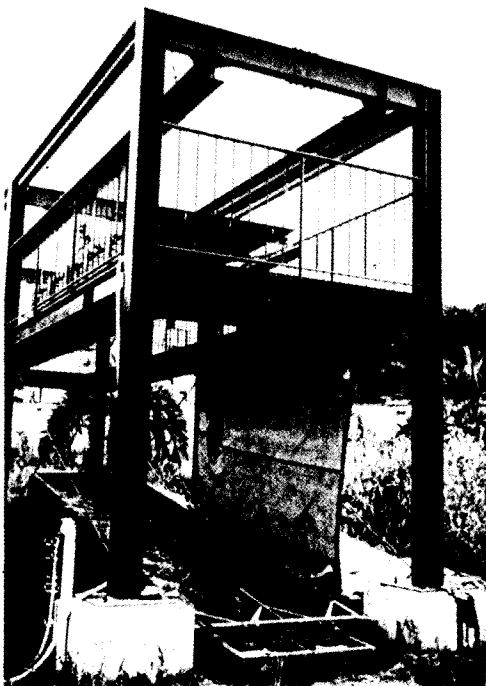
り、試料土は上記の圃場で用いた同じ土である。侵食溝横断面測定装置（図一6(c)）は、土壤表面に発生した侵食溝の横断面形状を測定するための装置である。侵食溝横断面測定装置の幅は 16cm、高さは 18cm であり、竹串および竹串の後部に固定した目盛りから構成されている。竹串の長さは 14cm で、それぞれ 0.5cm 間隔で横に並んでいる。

3.2 観測方法

3. 室内実験装置: 室内実験で用いた実験装置は、①水文環境制御装置、②侵食ボックスおよび③侵食溝横断面測定装置によって構成されている[図一6(a～c)]。水文環境制御装置（図一6(a)）は水槽、モーター、電磁弁及び水門環境制御装置操作盤より構成されている。表面流は水文環境制御装置操作盤より入力された流量に従って一定の水位に保たれた水槽より、電磁弁で調節されて供給される。この装置の表面流発生装置部分はクッションボックス、スロープ及び自動傾斜調節台から構成されており、電磁弁によつて水量を調整された水を侵食ボックスに流下させるための装置である。侵食ボックス（図一6(b)）は表面流発生装置のクッションボックスとそのスロープを乗せ、流下した水を受けとめエネルギーを減殺する薄層流流下部、試料土を詰める土壤充填部及び硫化した水や流失土を測定するための、流失土受け部とからなる。本実験で用いた土壤充填部は木製の箱型で、サイズは様々である。

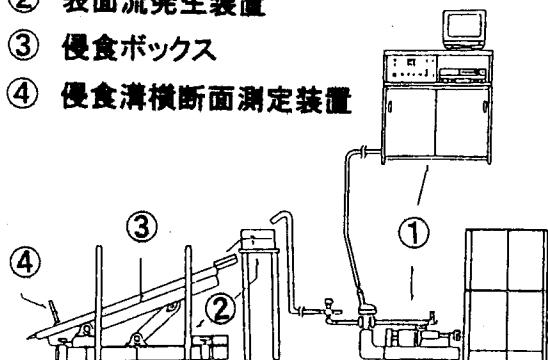
1.自然降雨下の野外圃場：(1)～(5)
 式で示している推算式を使用して土壤流亡量を推算するため、自然降雨下の野外圃場では、供試作物の生长期間を考慮して 1992 年 5 月 28 日～9 月 5 日までと 1993 年 4 月 12 日から 8 月 3 日までの 2 ヶ年にわたり観測を行った。それぞれの観測の目的と測定方法は同じであるが、観測期間と作物の種類は異なっている。1992 年度の観測は、A 区に牧草（オーチャドグラス、トールフェスク）、B 区に枝豆（白鳥枝豆）、D 区にトウモロコシ（シュガーバンタム）、E 区にニンジン（黒田五寸）を播種した。トウモロコシ、枝豆は 2 条蒔、ニンジン、牧草は散播した。また、1993 年度の観測は、A 区に時無大根、B 区に小松菜（丸葉小松菜）、D 区にアカクローバ、E 区に牧草（イタリアン コンモン）を播種し、大根、小松菜は 2 条蒔、アカクローバ、牧草は散播した。両方の観測でも C 区は裸地とし、他区との比較対象区とした。写真一3 および写真一4 に年別の作付状況を示す。

この圃場での土壤流亡量推算する方法は簡単に流図で示される。



写真一2 降雨装置下の野外圃場

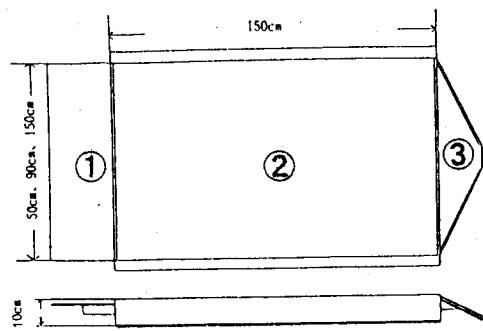
- ① 水文環境制御装置
- ② 表面流発生装置
- ③ 侵食ボックス
- ④ 侵食溝横断面測定装置



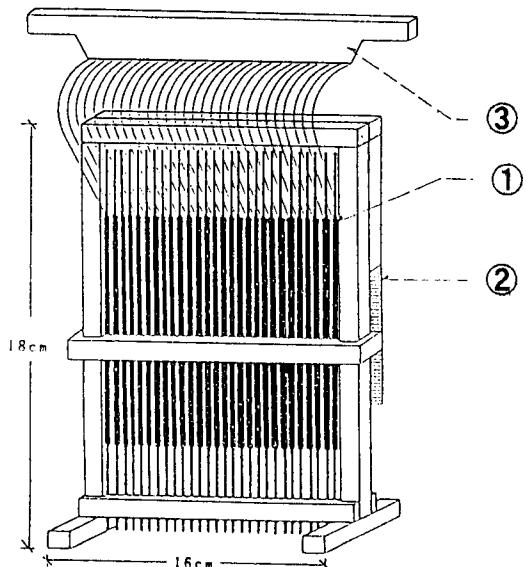
図一6(a) 室内土壤侵食実験装置の概要

①竹串
②目盛り
③木製の板

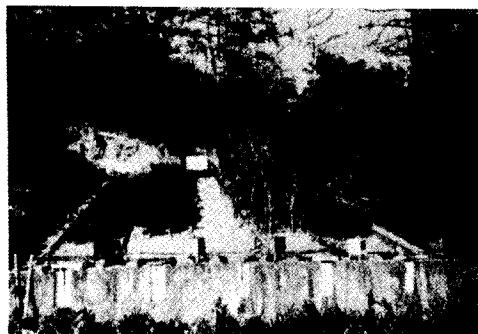
①斜面幅
②土壤充填部
③流失土受け部



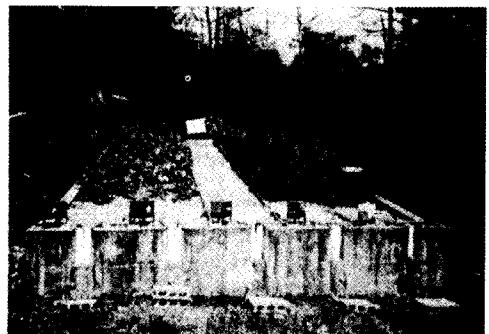
図—6(b) 侵食ボックスの上面図、側面図



図—6(c) 侵食溝横断面測定装置

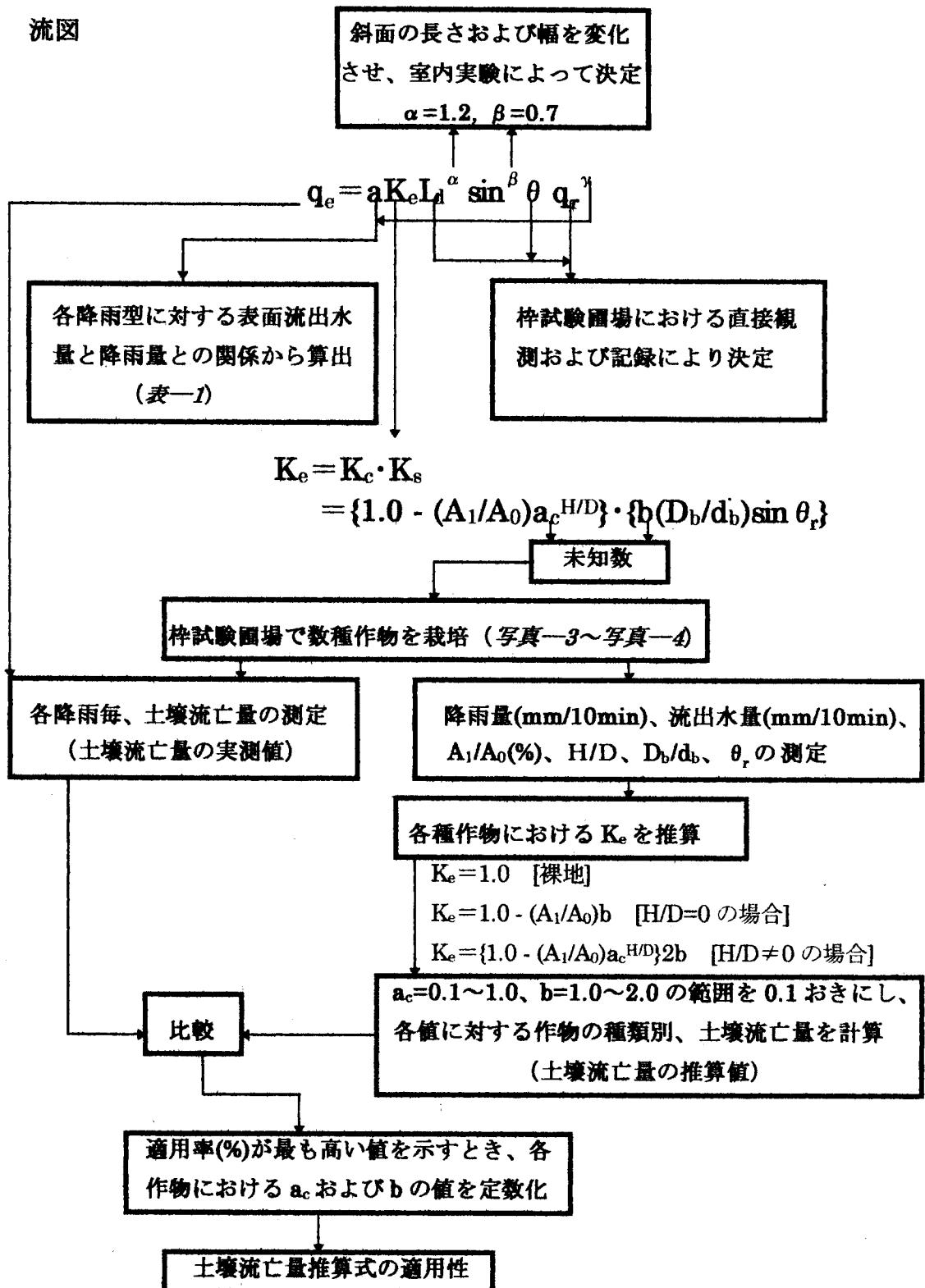


写真—3 作物の生長状況(1992年)



写真—4 作物の生長状況(1993年)

流図



降雨量は、枠試験圃場に設置した転倒マス型自記雨量計の日巻自記紙より、各降雨期間中の10分間単位の降雨量を読み取り、総降雨量を求めた。表面流出水量は、それぞれの区の自記水位計の検定結果より、目盛りと三角堰の越流水深の関係から計算し、10分間単位の表面流出量を基本単位として総流出水量を求めた。

土壤流亡量は、1降雨毎に流出する濁水を沈砂池に取り付けている木綿袋を用いて、水と土砂に分離して採取し、この土砂を乾燥させ重量を測定した。しかし、試験区画5つあることと降雨が続き、降雨間隔が短く、土の乾燥が追いつかない場合には、土の含水比を測定し、湿潤重量から乾燥重量に換算し1降雨当りの土壤流亡量を求めた。

また、土壤流亡量の推算に当たって、推算式中の侵食係数 K_e (5式) に含まれる被覆係数 K_c と畝状係数 K_s の算出法として次のような方法を用いた。

被覆係数 K_c の決定要因である被覆率(図-1)および空間率(図-2)はそれぞれ(11)式および(12)式で定義される。

$$\text{被覆率}(\%) = (1.0 - (A_1/A_0)) \times 100 \quad (11)$$

$$\text{空間率(無次元)} = H/D \quad (12)$$

被覆率の算定方法としては、圃場において上方から鉛直下向きに撮影された写真に透明な方眼紙をかぶせ、図-1に示すように次式により算定するものとする。

$$A_1/A_0 = N_B/N_A = (N_A - N_C)/N_A \quad (13)$$

ここで、

N_A : 写真中に含まれる方眼の全交点数

N_B : 写真中で草生部分の方眼の全交点数

N_C : 写真中で裸地が占める部分の方眼の全交点数

一方、空間率は、標尺を植物体の横および立てて置いて撮影することにより、地表面から被覆の中心部までの高さ(H , cm)、その位置での被覆の平均直径(D , cm)とから求めることができる。

さらに、畝状係数 K_s の決定要因として図-3に示すように、土壤の侵食は畝幅比 D_b/d_b に応じて増減し、更に、畝が等高線となす角 θ_r ($0^\circ \sim 90^\circ$)に応じても変わる。1992年の観測では、圃場の耕作形態は全区画とも畝が無い状態により畝状係数は $K_s=b$ とした。

しかし、1993年の観測において畝状係数 K_s を算定する場合、A区では、畝幅の合計が $0.47m$ ($d_b=0.47m$) の縦畝で作物を栽培したため、 $D_b/d_b=2$ 、 $\theta_r=90^\circ$ になる。したがって、 $K_s=b(D_b/d_b)\sin\theta_r$ に代入し、 $K_s=2b$ とした。

以上のことふまえて、各種栽培作物の生育形態を考慮した場合、侵食係数 K_e の求め方は次に示すようになる。

① 裸地区の場合

$$K_e = 1.0 \quad (14)$$

② 地表面から被覆の中心部までの高さが無視できる作物で畝が無い場合 (H/D=0 から $a_c^{H/D} = 1$) (牧草、ニンジンなど)

$$K_e = \{1.0 - (A_1/A_0)b\} \quad (15)$$

③ 比較的高さがある作物の場合

(枝豆、トウモロコシ、大根、小松菜、アカクローバなど)

$$\text{畝が無い区では, } K_e = \{1.0 - (A_1/A_0)a_c^{H/D}\}b \quad (16a)$$

$$\text{畝栽培区では, } K_e = \{1.0 - (A_1/A_0)a_c^{H/D}\}2b \quad (16b)$$

裸地区の場合、両年の観測の期間中の降雨を長雨、中間、集中型に分類し、それぞれの 10 分間降雨量を各降雨型の式に代入して土壤流亡量の推算値を求めた。この区には被覆がないために、侵食係数を $K_e = 1$ として計算を行った。

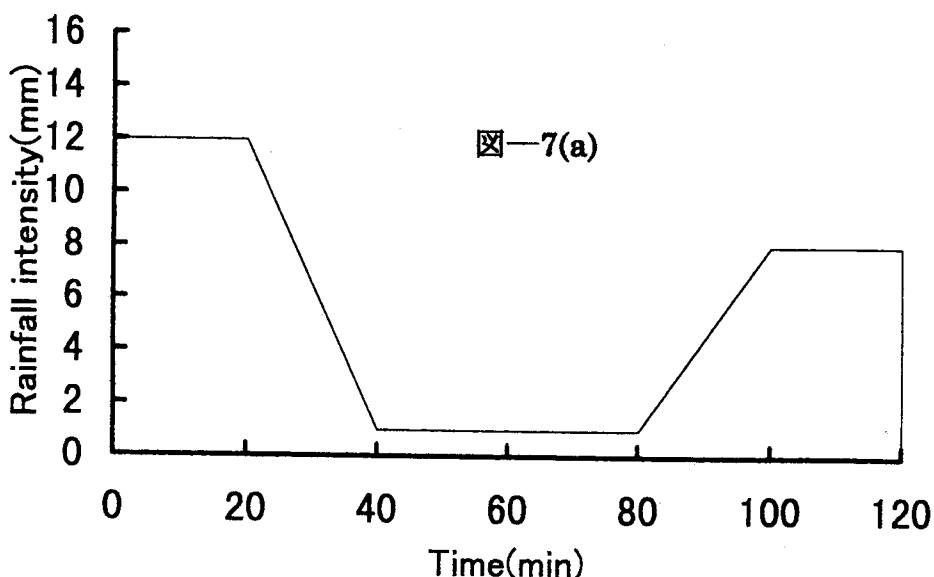
次に、被覆がある場合、各圃場、期間別の土壤流亡量の推算値を係数 a_c および b の値を変数とおき、 a_c は 0.1 から 1.0 までの 0.1 おきに 10 段階、 b は 1.0 から 2.0 までの 0.1 おきに 11 段階についてそれぞれ計算を行った。この理由は、 a_c の値の範囲が、(10a) 式および(10b)式において、 $0 \leq K_e \leq 1$ また、 $0 \leq A_1/A_0 \leq 1$ であるから、 $0 \leq a_c^{H/D} \leq 1$ となる。 $0 \leq a_c$ とすると、 $0 \leq a_c \leq 1$ となる。また、係数 b は、侵食溝の有無に関するものであり、圃場面に侵食溝がなく裸地と同じ条件を示す場合は $b=1$ となる。さらに耕作面の状態により変化し、侵食溝がある場合には、それだけ土壤流亡量が増加するため、 b の値も増加する。これまでの観測値において、一応裸地の 2 倍以上には侵食量は増加しないことから、 b の範囲は、 $1 \leq b \leq 2$ となる。

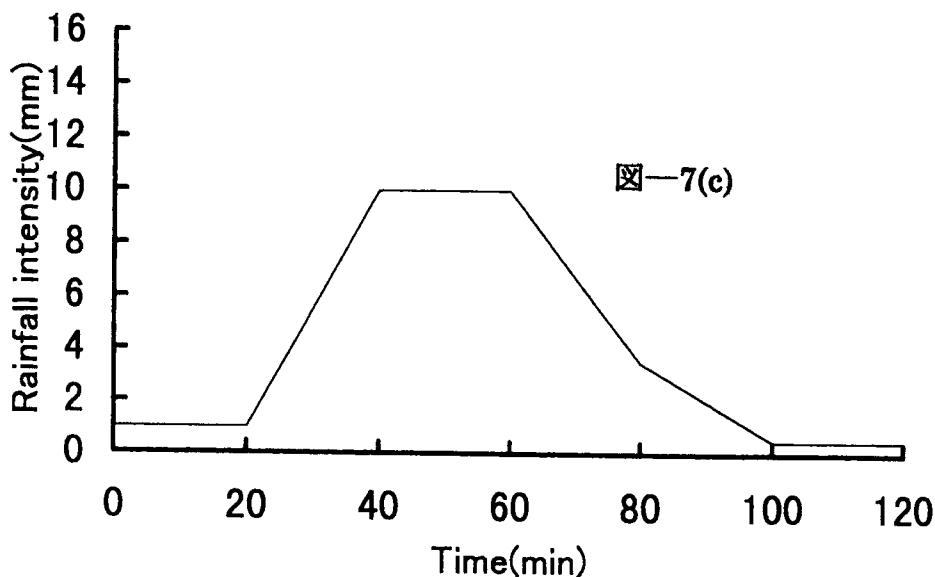
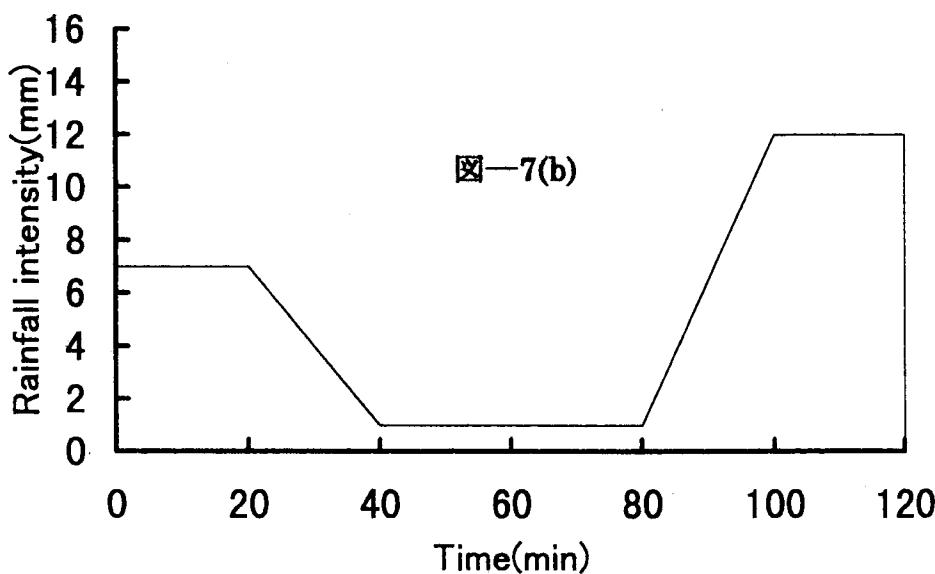
次に、 a_c および b の値は以下のようないくつかの条件で適用率 (%) という指標を設け、未知数の最適値と式の適用性を調べた。

同じ降雨量でも、降雨の型の違いや降り方、さらに実測値に含まれる誤差によって、土壤流亡量の実測値と推算値との差が 2 倍以上にもなる観測例がみられた。このことから、実測値を 100% として、土壤流亡量の実測値の半分の 50% から 1.5 倍の 150% の範囲に推算値が含まれれば、その推算値には適用性があると考えて、全観測期間の降雨継続期間数に対して適用性が認められた期間数の割合を適用率(%)とした。すなわち、適用率は次式で定義することにした。

$$\text{適用率 (')} = 100 \times \frac{\text{土壤流亡量の実測値の } 50\% \text{ から } 150\% \text{ の間にある推算値を示す降雨期間数}}{\text{降雨継続期間数}}$$

2. 人工降雨装置下の野外圃場：この圃場では、自然降雨に近い強度の雨を降らせ、圃場を平面裸地、畝裸地、畝被植地の3種類に設けて、推算式によって各圃場における土壤流亡量の推算とその適用性を自然降雨下の圃場と同様な方法で調べた。過去15年間における自然降雨のデータによると土壤流亡量を引き起こす最小10分間降雨強度は0.5mm/10minである。そこで、降雨装置を用いて、より自然の状態（各降雨期間、降雨強度、降雨形態）に近づけるため、これまでの自然降雨データにより定義された降雨型（集中型、長雨型、中間型）をもとに、図一7(a)～(c)に示すように3つのパターンを基準にして12通り（1, 2, 3, 1+2, 1+3, 2+3, 3+1, 2+1, 3+2, 1+1, 2+2, 3+3）の降雨形態を作成した。さらに、各降雨形態の強度を変えて、①平面裸地状態、②畝裸地状態、③畝被植地（パセリ）の作物成長段階別に観測を行い、自然降雨下の野外圃場と同じ方法で土壤流亡量の実測値と推算式の比較から各区における未知数(a_c , b)の値と同時に推算式の適用性を調べた。





図—7(a～c) 2時間降雨形態の分類

3. 室内実験装置 :

これまでに著者等が行った室内侵食実験 [土壤の含水比 14%、平均乾燥密度 $1.30\text{g/cm}^3 \sim 1.40\text{g/cm}^3$ 、斜面の長さ 20cm~160cm、幅 10cm、深さ 5cm、勾配 $3^\circ \sim 15^\circ$ 、また土の物理的特性は、比重 $G_s = 2.69$ 、液性限界(L.L.)= 40.8%、塑性限界(P.L.)= 23.5% であり、重量比は、砂 : (シルト+粘土) = 58.8 : 41.2 である]において、土壤流亡量と勾配、斜面長の関係より、無次元土壤流亡量は $L_d^{1.2}(\sin \theta)^{0.7}$ にほぼ応じて増加することで、本研究で使用した推算式によって土壤流亡量を推算するためには $\alpha = 1.2$ 、 $\beta = 0.7$ を採用することとした。

4 結果および考察

4.1 野外圃場における土壤流亡量の推算および適用性

1 自然降雨下の野外圃場

この圃場では、各作物および各種作物栽培区における、未知数 a_c 、 b の決定値および土壤流亡量推算および推算式の適用率を表一2 に示すが、その算定方法は次のようである。

i) 牧草およびニンジン栽培区

牧草およびニンジンは、地表面にほぼ接して生長するので、幼苗から収穫までの空間率は $H/D = 0$ と考えてよい。この原因は、牧草として栽培が行われているイネ科、マメ科の植物は背丈が低く、葉面積が小さいためであると考えられる。また、ニンジンについても同じようなことが言え、空間率を数値として表現することは難しい。したがって、被覆係数 K_c は、被覆状態の割合しか影響を受けないことになる。また畝状係数 K_e は、畝がないために耕作面の状態により決まる。よって、侵食係数 K_e は被覆率と、畝状係数 K_e に含まれる b だけが問題となる。

以上のことから、 b の値を 1.0 から 2.0 までの 0.1 おきに 11 段階に変化させ、それぞれの区における b の値を適用率から判断することにした。

表一2 土壤流亡量の実測値と推算値の比較から得られた各 b の値に対する適用率(牧草、ニンジン)

Crop \ b	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Meadows	29.2	34.7*	34.7*	34.7*	34.7*	34.7*	34.7*	28.5	34.0	34.0	34.0
Carrot	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	50.0*	37.5	50.0	25.0	25.0	25.0

* は b の最適値を決定するとき、最も高い適用率を示す

a) 牧草栽培区

表-2 によると、牧草栽培区では、 $b=1.1\sim1.6$ の時は一定で 34.7%であるが、 $b=1.6$ を過ぎると適用率は下がり、また $b=1.8\sim2.0$ の時には適用率が若干上昇するようである。なお、1992 年度の観測では、 $b=1.6$ を過ぎると適用率はかなり下がる傾向が見られた。両方の観測値を加味して、牧草区に対して適用率がある b の値は、一応 $b=1.1\sim1.6$ と置くことにした。

b) ニンジン栽培区

表-2 から分かるように、ニンジン栽培区では、 $b=1.5$ および 1.7 のときに適用率が高く、 $b=1.7$ 以上になると適用率は低下し、 $b=1.5$ より小さくなる場合も適用率は低下する。この結果より、ニンジン栽培区では、 $b=1.5$ の値を示すようである。

ii) 枝豆、トウモロコシ、大根、小松菜およびアカローバ栽培区

前項に比べ空間率を無視出来ない各種作物栽培区においては、 a_c を 10 段階、 b を 11 段階に分け、土壤流亡量の推算値を求め、各実測値に対応する推算値の適用率の比較を行った。 a_c および b の組合せは 110 通りあり、それらに対して、さらに、各作物の期間別の組合せが加わるので実際に表現しづらい。そこで b の値から作物の種類によって代表値な b の値と a_c の組合せについて適用率を調べた結果を表-3 に示した。しかし、これらの値は b の代表値に関するものだけであるので、代表値以外の b の値による適用率も検討して最良の(a_c 、 b)の組合せを求めた。

a) 枝豆栽培区

枝豆区では、代表値として、 $b=1.2$ 、 1.5 、 1.8 の場合の a_c の変化に対する適用率を調べた。これより、 a_c の値の増加と b の値の減少に応じて適用率が上がっていく傾向が見られた。(a_c 、 b)の値を求めるとき、 $a_c=0.9$ 、 $b=1.1$ の場合に適用率が良いので枝豆栽培区における(a_c 、 b)のそれぞれの値を 0.9、1.1 とした。

b) トウモロコシ栽培区

枝豆区と同様に、 b の代表値を 1.0 、 1.1 、 1.5 の場合に a_c の変化に対する適用率を表-4 に示した。この区は、他の作物栽培区より適用率が比較的低くなっているが、 a_c の値が増加し、 b の値が減少していくにしたがい適用率が上がっている。そこで、トウモロコシ栽培区における(a_c 、 b)の値を求めるとき、 a_c の値は 0.9、 b の値は 1.0 程度となる。

c) 大根栽培区

$b=1.2$ 、 1.6 、 2.0 のとき、 a_c の値の変化に対する適用率の傾向を見ると、まず、 b の値が増加するに従い適用率がほぼ上昇する。特に、 $b=2.0$ で、最も適用率が高くなつた。次に、 a_c について考えると適用率が高い値を示すのは、 $b=2.0$ の場合において、0.7、

0.8、0.9の3通りある。よって、それらの値の中間をとつて0.8を a_c の値とした。

表—3 土壤流亡量の実測値と推算値の比較から得られた各 a_c および b の代表値に対する適用率(枝豆、トウモロコシ、大根、小松菜、アカクローバ)

Crop	b	a_c		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
		1.1	1.5	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	25.0	50.0	62.5	62.5*	12.5
Soybean	1.5	37.5	37.5	50.0	50.5	50.0	50.5	50.0	25.0	37.5	62.5	62.5	25.0
	1.8	0.0	25.0	25.0	37.5	37.5	37.5	37.5	12.5	50.0	50.0	50.0	12.5
	1.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25.0	25.0	50.0*	50.0	50.0
Corn	1.1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25.0	37.5	50.0	50.0
	1.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25.0	50.0	50.0
	1.2	33.3	33.3	33.3	33.3	44.4	44.4	44.4	44.4	22.2	22.2	22.2	22.2
Radish	1.6	33.3	33.3	44.4	44.4	44.4	55.6	33.3	44.4	33.3	33.3	33.3	33.3
	2.0	33.3	33.3	33.3	33.3	44.4	44.4	55.6	55.6*	55.5	55.5	44.4	44.4
	1.0	33.3	33.3	33.3	44.4	33.3	33.3	33.3	33.3	22.2	11.1	11.1	11.1
Komatsuna	1.5	33.3	33.3	44.4	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
	1.9	55.5	55.6*	55.6*	55.6	33.3	44.4	33.3	22.2	33.3	33.3	33.3	33.3
	1.1	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	33.3	33.3	22.2	33.3	33.3
Red clover	1.5	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	22.2	22.2	33.3	33.3	33.3	33.3
	1.8	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	22.2	33.3	22.2	33.3	33.3	55.6*

* は a_c および b の最適値を決定するとき、最も高い適用率を示す

d) 小松菜栽培区

$b=1.0$ 、 1.5 、 1.9 のとき、 a_c のそれぞれの値に対して推算値の適用率は表—4に示すように変化する。それより、 $b=1.5$ の場合は適用率が a_c の値に関係なくほぼ一定値で推移するものの、他の場合は a_c の値が 0.4 を越えると適用率が下がる。そこで、 a_c が 0.3 以下の範囲で考えることにする。まず、この範囲では、 $b=1.9$ の時が一番適用率が高くなっている、また全推算値からわかるように、 $b=2.0$ の場合は、 $a_c=0.1$ において適用率がやや減少するが、それ以外は $b=1.9$ における適用率と殆ど同値である。このことから、小松菜栽培区においては、 $0.2 \leq a_c \leq 0.3$ とし $1.9 \leq b \leq 2.0$ とするのが適当であろうと思われる。

e) アカクローバ栽培区

アカクローバの場合、 $b=1.1$ 、 1.5 、 1.8 のときの計算表（表—4）を見れば、適用率が高くなるときの a_c および b の値はそれぞれ 1.0 、 1.8 の場合であった。よって、アカクローバ栽培区における b と b の値は、それぞれ 1.0 、 1.8 とした。

以上のことから、各種作物栽培区における (a_c, b) および b に対する適用値をまとめて

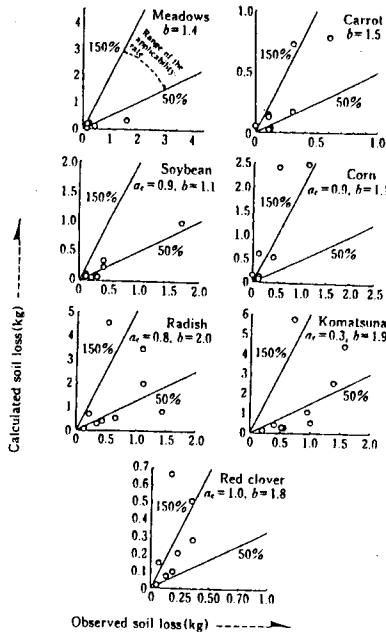
表—4 に示した。

図—8 は、(a_c、 b)および b の適用値を示すときに、各種作物栽培区における土壤流亡量の実測値と推算値の比較を表したものである。

2 人工降雨下の野

外圃場

この圃場においても、各区の各条件で未知数 a_c、 b の値を決定する、また推算式の適用率を調べる方法は自然降雨下の圃場と同様であるが、その結果を表—5 に示す。



図—8 各種作物栽培区における土壤流亡量の実測値と推算値の比較

表—4 各種作物栽培区における a_c および b の適用値

Crop	Values of (a _c , b)	Rate of applicability (%)	Type of crop
Radish	(0.8, 2.0)	55.6	Root Vegetables
Carrot	(-, 1.5)	50.0	
Komatsuna	(0.2~0.3, 1.9~2.0)	55.6	Leaf Vegetables
Meadows	(-, 1.1~1.6)	34.7	Grasses
Red clover	(1.0, 1.8)	55.6	
Soybean	(0.9, 1.1)	62.5	Beans
Corn	(0.9, 1.0)	50.0	Cereals

— は a_c の値を必要としない作物を示す

表—5 圃場の各状態における降雨型別土壤流亡量推算式の適用率(%)

圃場状態	推算式の適用率(%)		
	集中型	長雨型	中間型
1) 平面裸地(不耕地)	63.4	68.2	55.8
2) 平面裸地(耕地)	60.8	58.6	50.2
3) 裸地(畠有)	52.2	48.2	45.6
4) バセリ区(畠有)	42.2*	37.2*	40.5*

* (a_c, b)=(0.3, 1.5)の最適値を定数化としたとき

5 まとめ

自然降雨下の野外圃場においては、牧草、ニンジンなどの a_c の値については、地面から被覆中心部までの作物地上部の高さの影響をほぼ無視できうるので、空間率 $H/D = 0$ とおける。この場合、 a_c の値に関係なく $a_c^{H/D}=1$ となる。一方、枝豆、トウモロコシ、大根、小松菜、アカクローバなどの丈の高い植物を対象に観測を行った結果、小松菜 ($a_c=0.2\sim0.3$) 以外の 4 種類の作物については、 a_c の値が 0.8~1.0 のときに高い適用率が得られた。このことから、被覆係数 K_c は、被覆率の割合が、大きく影響していると言える。また、 b の値の検討を行ったところ、牧草 1.1~1.6、トウモロコシ 1.0、枝豆 1.1、ニンジン 1.5、大根 2.0、小松菜 1.9~2.0、アカクローバ 1.8 程度になった。被覆率が高く、侵食溝などの出現があまり認められない圃場においては b の値は、1.0 付近を示すといえる。逆に、畝などがあり、侵食溝などが見られる圃場においては、 b の値は 2.0 近くになるものと考えられる。

人工降雨装置下の圃場においては、不耕地および耕地、両状態の裸地区（平面）とも推算式の適用率がパセリ区および畝有裸地区より高い値を示すが、これの理由としては、パセリの地上部は、高い強度の降雨に対する抵抗力が低いため、高い強度の降雨で実験を続けることが不可能であったためだと思う。これは隣区の裸地区（畝有）の土壤状態にも影響を与えたと考えられる。

なお、今回の自然降雨下の枠試験圃場における観測および解析結果をもとに野菜類、牧草類、豆類、禾穀類等の作物別の(a_c 、 b)の値を求めたが、得られた(a_c 、 b)の値は、各栽培作物の播種から収穫までの平均値のみを示したものである。したがって、推算式の精度を高めるためには、各々の作物の生長段階別に応じた長期間にわたる観測などを行い、各生长期に則応した最も適性な値を決定する必要があろう。さらに、自然降雨により刻々と変動する圃場環境下での土壤流亡量を推算するに当たりその時間的な変動を無視することはできないと考えられるが、現段階においてはその影響は推算式に反映されていない。本研究で用いた人工降雨装置によって色々な強度の雨を降らせることが可能であるが、圃場は小さいため、大雨の直後に小雨を降らせた場合、表面流出は生じても土壤流亡量が見られることがあった。また、現地圃場への高い適用性を得るために、現地の観測値を中心とした(a_c 、 b)の値と本研究で得られた推定値との比較検討を試みる必要がある。

引用文献

- 1) Wischmeier, W. H., D. D. Smith : PREDICTING RAINFALL-EROSION LOSSES FROM CROP- LAND EAST OF THE ROCKY MOUNTAINS, USDA Agric. Handbook, No. 282(1965)
- 2) 日下達朗・藤田則之：土壤流亡量推算法の現地圃場への適用性について，農業土木学会論文集，第 128 号，pp. 67～74(1987)
- 3) Kusaka, Tatsuro : A METHOD OF ESTIMATING SOIL LOSS IN INCLINED FIELDS—Characteristics of soil erosion caused by rain water flow(V)—，農業土木学会論文集，第 126 号，pp. 41～49(1986)
- 4) 日下達朗・深田三夫・ロイ キンシュック：降雨型を考慮した土壤流亡量推算式について，農業土木学会誌，第 62 卷，第 4 号，pp. 39～45(1994)
- 5) Roy, Kingshuk・日下達朗・深田三夫：作物の生長に伴う被覆係数および畠状係数の定数化について—土壤流亡量推算式の適用性に関する研究（I）—農業土木学会論文集，第 180 号，pp. 29～37(1995)
- 6) Roy, Kingshuk・日下達朗・深田三夫：降雨装置による土壤流亡量の推算とその適用性—裸地およびパセリ圃場の場合—農業土木学会大会講演会、講演要旨集、山形県、pp. 552～553(1996)

農地保全研究集会 第17回研究集会資料

農地保全の研究 第17号

1996年11月14日

編集・発行者 農業土木学会農地保全研究部会

〒753 山口県山口市大字吉田1677-1

山口大学農学部 生物資源科学科

TEL 0839-33-5800 FAX 0839-33-5820
