

目 次

あいさつ

農地保全研究部会長 日下 達朗 … 1

特別講和 ―毛利氏と村上水軍―

郷土史家 森本 繁 … 2

1. 地表クラストが土壌侵食に及ぼす影響のメカニズム

東京農工大学農学部 西村 拓 … 4

2. 不安定斜面の安定度評価について

琉球大学農学部 宜保 清一 … 15

3. 急傾斜農地の保全事例（向東第二地区）について

広島県尾道農林事務所 岡野 正昭 … 24

4. ジオシンセテックスと補強土工法について

（財）土木研究センター 千田 昌平 … 35

5. GISを用いた広域土地保全計画の策定

―インドネシアの焼畑地域における事例紹介―

農業工学研究所 上村健一郎 … 48

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

農地保全研究部会第 18 回研究集会を尾道市において開催することになりました。全国各地から多くの参加者を得て、この地で研究集会を開催することは主催するものにとって最大の喜びとするところであります。

最近では農地の基盤整備や農村地域の保全に係わる諸問題に対してマスコミ等は良い評価を与えておりませんが、人間があらゆるところで生活を営んでいる以上、食糧の確保と環境の整備は切り離せないものと考えられます。その中で食糧の生産にも環境保全にも深くかかわり合いを持ち重要な役割を果たすのが農地保全だと考えております。

第 1 回の研究集会以来、農地保全に関するいろいろな問題について討議を重ねて参りましたが、今回は、「急傾斜畑地帯における農地の保全」と題して傾斜畑地に焦点をあてて侵食と保全とのかかわりを御検討いただくことになりました。中国四国地方は中山間部も多く、また海岸地域には急傾斜畑地が多く存在し、これらの畑地域の保全は極めて重要であります。広島県は以上のような地域環境の中で農業と取り組んできた我国でも有数の先進的な農業を築いてきたところであります。ここ尾道近辺はその中心的な位置にありこのテーマの保全問題を研究し、現地視察を行うに相応しい地域と思われます。

今回の研究集会は、そのような急傾斜畑地の保全を願ったテーマを念頭に講演題目を用意し、6 人の講師の方に講演をお願いすることに致しました。

特別講話としまして、今話題となっております「毛利氏と村上水軍」について郷土史家の森本 繁氏に講演をいただきこの地域の歴史を考えてみることに致しました。

急傾斜畑地の問題を考えるとき、そのメカニズムは基礎的な侵食現象から考える必要があるという立場から「土壌のクラストが土域侵食に及ぼす影響のメカニズム」と題してお話しいただくことに致しました。

続いて「不安定斜面の安定度評価について」と題しまして急傾斜地の土壌の崩壊に至る要因を土質工学的な立場からお話ししていただきます。

また急傾斜畑地の保全事例を尾道市近辺の向東第二地区を中心にお話しいただき、さらに保全事業の過程で実施されたジオシンセテックスによる補強土工法について研究発表をしていただきます。

最後に、国際的な農地保全の実情の紹介という立場からインドネシアの焼畑地域を対象に GIS を利用した広域土地保全計画についてお話しいただくことになっています。

引続いて、総合討論の時間が設けられていますので、講演の内容について、活発な意見交換がなされることを期待いたします。

おわりに、この研究集会、および現地見学の開催に当たり、広島県農政部農村整備課と課員の皆様、尾道農林事務所の職員の皆様ならびに関係各位の並々ならぬ御協力をいただきましたことを御報告申し上げますとともに、厚く御礼を申し上げます。

講 話 毛利氏と村上水軍

実証歴史作家 森 本 繁

講 演 要 旨

安芸山間部吉田の3千貫（約1万5千石）の地頭に過ぎなかった毛利元就は、弘治元年（1555年）の厳島合戦を契機として、安芸と備後を支配し、さらに周防・長門・石見・出雲・隠岐・伯耆・備中・美作にまで領国を広げて、中国地方十ヶ国の太守となった。

元就は厳島で陶晴賢を滅ぼし、防長計略を行うことによって、山陽道の備中にまで支配圏を広げていた旧大内氏の領国を継承し、山陰道においては石見銀山と出雲鉄を掌握することによって、永禄9年（1566年）に宿敵尼子氏を討滅した。

その毛利氏の中国制覇に協力したのが、ほかならぬ瀬戸内海因島・能島・来島の三島村上水軍であった。

毛利元就は天文10年（1541年）に安芸佐東部の銀山城主武田氏を滅ぼすことによって、その支配下にあった武田水軍を手に入れ、佐東川流域を生活圏とする河ノ内衆をもって直属水軍を編成した。つぎに天文13年に3男の隆景を竹原小早川家へ養嗣子として送り、さらに天文19年（1550年）に本家の沼田小早川氏をも相続させることによって、古くからの由緒をもつ小早川水軍を支配下においた。

芸予諸島を中心とする瀬戸内海で制海権を掌握していた三島村上水軍は、この小早川氏とのつながりで毛利氏に協力した。とくに因島村上氏は終始小早川隆景に服属して毛利水軍の中核となり、厳島合戦以降の元就の中国制覇に貢献した。

これから、時間の許すかぎり、そうした村上水軍の来歴と、毛利氏や小早川氏とのつながりおよび村上水軍が毛利氏の中国制覇や海上交易で果たした役割などについて、その実態を解明したいと思う。

1. 毛利水軍とは

2. 毛利氏と村上水軍とのかかわり

3. 因島村上水軍家の来歴

4. 村上水軍の海上交易

5. 水軍家の消滅とその後遺症

(参考文献)

『毛利水軍』 『村上水軍のすべて』 『小早川隆景のすべて』 (新人物往来社)

地表クラストが土壤侵食に及ぼす影響のメカニズム

東京農工大学農学部地域生態システム学科 西村 拓

1. はじめに

土壤侵食、土壤保全は、非常に古くからある問題である。有名なMiddletonの分散率は1930年代の報告であるし、1936年刊行のSoil Science (Weir)では、1章分15ページほどを割いて侵食の状況(1909年当時)から保全法までを概説している。同書内で紹介されている帯状植生やテラス工、ガリやリルの制御、過放牧の抑制などには、今日行われている土壤保全工の原形が見られる。これはそれぞれの工法が優れているかどうかということとは別に、土壤侵食が、雨滴、地表流水(風)、土壤の条件、地形などが複雑に絡む現象であるために、そのメカニズムは十分には明らかになっておらず、それゆえ汎用的な侵食物理モデルが存在しない状況にあることが一因であると考えられる。侵食のメカニズムを明らかにしていくことは、より効率的な保全方法または、直面する問題に対して最善もしくはより効果的な保全工法を選択するために意味あることであろう。

地表クラスト(土壤クラストともいう)の形成は、降雨に伴って生じる地表面の土壤構造の変化である。地表面に緻密で透水性の低いクラストが形成すると降雨の浸入を妨げたり、種子の出芽を阻害したりすることが報告されている(たとえば Morin and Benyamini (1977), Holder and Brown(1974))。地表クラストには、主に雨滴の影響で形成すると考えられている構造クラストや水が溜まるような窪地で土粒子の沈降堆積作用によって形成する堆積クラストなどいくつかの分類がある。クラストの形成という現象自体は、地表付近で起きるスケールの小さなもので、圃場スケール・流域スケールといった大きな視点で取り扱うことの多い侵食現象からはかけ離れているような印象を与えるが、侵食に関わる多くの要因の中から土の条件と水食の関係を取出して考える時には、地表クラストに注目することが一つの切り口であると考えられる。クラストの形成は「降雨中に地表面で生じる土壤の物理的な変化」であり、当然水食とも密接な関わりがある。地表面流出が発生しないこともしくは、地表面流出が対象区域外へ流出しないことが水食防止の要点であることを考えると農耕地におけるクラスト研究の意味は明らかである。

2. 地表クラストの形成と水の浸透

地表クラストの影響として最初にあげられるのがクラストの形成にともなう水の浸透量の変化である。半乾燥地など農業に必要な雨が十分ではないような地域では、透水性の低い地表クラストの形成による浸透量の減少は、利用可能な降水の量を減らし、灌漑水の効率を低下させ、さらには、数少ない降雨時に深刻な水食を起こして農業の存立を脅かすものとされてきた。Fig.1 は、室内で小型の土壤槽(長さ 50cm×幅 30cm×深さ 10cm)に土を詰めた後に人工降雨装置を用いて降雨を与え、降雨の浸入流出を測定するとともにクラストの形成を観察したものである。土壤槽内の土の飽和透水係数は、降雨前には 6000mm/hr (0.18 cm/sec)と非常に大きく、それに対して人工降雨の強度は、平均 33 mm/hr と飽和透水係数の 100 分の 1 程度であった。浸入速度は、降雨強度から地表面流

出分を差し引いたもので、土壌槽下端からの排水速度は実測値である。結果は、土壌の違いだけではなく、初期水分や土壌の初期乾燥密度、透水係数などに左右されるものである。若干湿った火山灰土を用いた実験(Fig.1)では、降雨開始後 20 分間は、降水が全て土壌槽内へと浸入したが、その後浸入が減り、地表面流出が徐々に発生した。土壌槽下端からの排水は、降雨開始後 25 分頃に開始したが、開始直後から逡減した。地表面における浸入速度の低下と土壌槽下端からの排水速度の低下はほぼ一致し、降雨開始後 50 分程度で定常になった。Horton 流など従来の考え方であれば、土壌の飽和透水係数よりもはるかに小さな強度で降雨を与えている時の地表面流出の発生は考えられない。すなわち、降った雨は土中への貯留分を除いてすべて土壌槽下端から排水されることが予想される。地表面における浸入速度の変化と土壌槽下端からの排水速度の変化が一致していることから、予想外の地表面流出発生は、地表面における透水性の低いクラストの形成が原因であることがわかる。

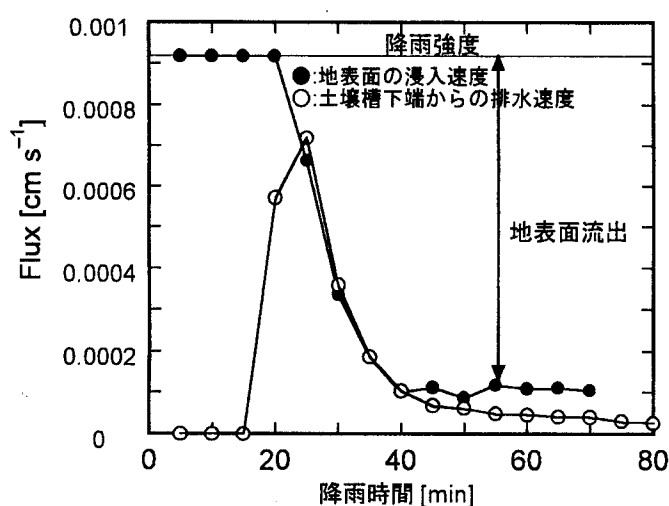


Fig.1 降雨水の浸入と流出（山梨粘土ローム 傾斜6°）

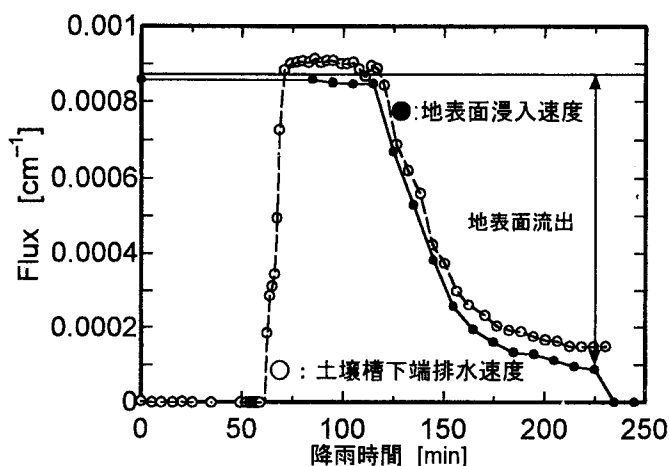


Fig.2 降雨水の浸入と流出（山梨粘土ローム・風乾・傾斜6°）

Fig.2 は、風乾した国頭マージを供試土に同じ実験を行なったものである。この場合も供試土は、降

雨前の状態で 100 mm/hr 以上の大きな透水性を示していた。この場合、降雨開始後 60 分くらいで土壌槽下端からの排水が開始し、その後 60 分間程度は、降雨前の土壌の飽和透水係数から予想されるとおり土壌槽下端からの排水速度と地表面における浸入速度が一致しながら全降雨が浸透した。降雨開始後 100 分を超えると地表面における浸入速度と土壌槽下端からの排水速度は一致しながら減少し、降雨開始後約 4 時間で定常に達した。これは、この実験では、土が十分に湿ってからクラストの形成が始まったことを意味している。以上の二例から十分透水性が高いと考えられるような土壌でもクラストが形成すると地表面流出が発生することが分かる。このような地表部の透水性の低下は、有効降雨を減らし、水食危険性を増すとともに日本のように比較的降雨量が多い地域では、畑作における排水不良の原因となる場合もある。

水を落として乾燥させた水田の田面がひび割れるように、地表に形成したクラストも乾燥に応じて亀裂が入ることがある。一般にモンモリロナイトなど膨潤性のスメクタイト質の粘土鉱物を含む土壌で乾燥収縮が顕著であるといわれる。Fig.3 は、先に示した火山灰土を供試土に用いたときの降雨中の地表面流出発生の様子である。ここで△で示した 4 回目の降雨は、3 回目の降雨から時間をおいて、地表面が乾燥してクラストに亀裂が入るまで待ってから降雨を与えた時の結果である。降雨開始時にクラストに亀裂の無い 2 回目 3 回目の降雨時の地表面流出の様子と比較して、明らかに地表面流出の発生が遅れていることが分かる。すなわち、地表面のクラスト層の透水性が低い場合でも亀裂があれば、亀裂部分がマクロポアのような働きをして降雨の浸入を促進する。しかしながら、乾燥して亀裂が生じるような土は、逆に水分を含むと膨潤することが多い。Fig.3 でも、降雨開始後 20 分程度で亀裂は閉じ、その後は、クラスト部の低い透水性が地表面流出を支配した。蛇足であるが、パーティソルと呼ばれるモンモリロナイトが主体の粘性土では、乾燥に伴って深いものでは、地表から下方へ 2m 位まで亀裂が進む場合がある。このように大きな亀裂が生じている時には、生半可な降雨では亀裂は閉じない。オーストラリアなどでは、この深くて大きな亀裂を利用し、一作終わると次の一年間は休耕して亀裂が入るままに放置して、土中水(地下水ほどは深くない)を涵養し、翌年の耕作時には、作土を耕うんすることで人工的に亀裂を塞いで蒸発を防ぎ、涵養した土中水と雨水で作物を育てるという方法で、降水が少ない条件下で天水農業を成立させている地域がある。

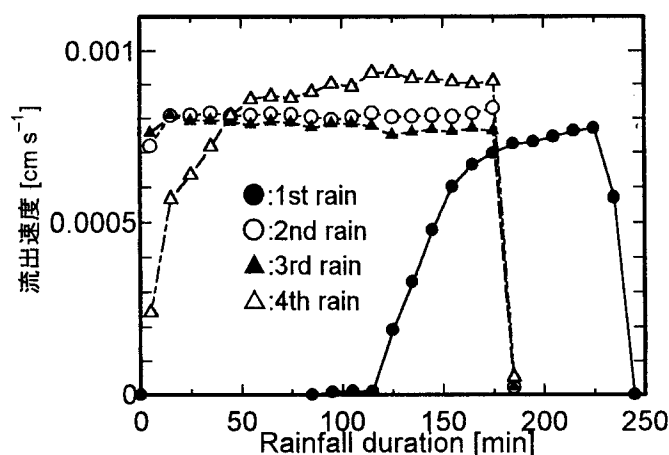


Fig.3 降雨反復時の地表面流出の変化

(山梨粘土ローム、1回目は風乾、2,3回目は2日間隔
4回目は亀裂発生後)

3. クラストとは？

次に、クラストとはどのようなものかという点について示す。いろいろな文献に、クラストは緻密である、クラストの透水性が低い等と書いてあるが、どの位緻密であるか、どのような構造になっているか、厚さはどの程度か等といったことについては良くわかっていない。ここでは、日本国内の火山灰土(山梨粘土ローム土)と沖縄の国頭マージを用いて行なった実験の結果についていくつか示す。注意しなければならないのは、ここで示すのはあくまで例であるということである。大まかな傾向は同じであっても、細部については土壌によって異なる。たとえば、ここで示すクラストは、団粒構造が発達した粘性土に形成するものであるが、砂質土やシルト質土の場合は、地表面に緻密なクラスト層ができるという意味では同じであるが、厚さや性質については、若干異なるクラストが形成することも考えられる。Bradford ら(1987)は、米国内の土性の異なる 20 種ほどの土について報告しているが、実際の土は、さらに性質が多様であり、土による違いを整理していくことは依然として課題となっている。

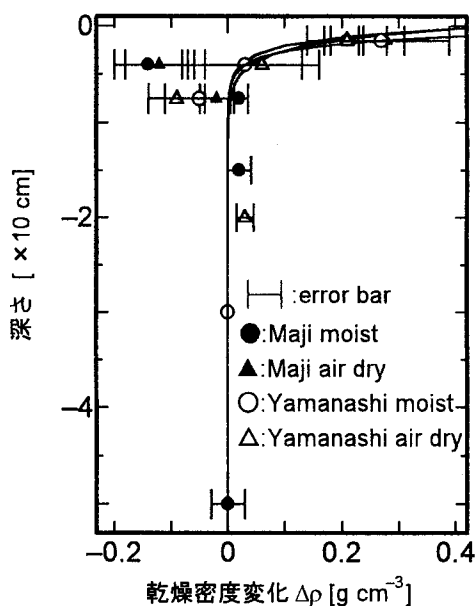


Fig.4 クラスト形成土層の乾燥密度分布

3. (1) クラストの構造と乾燥密度

クラストの構造は、クラストの形成する過程によって左右されと考えられる。たとえば、土壌が乾燥していて降雨開始と同時にスレーキングを起こして瞬時にバラバラに分散してしまうような場合は、降雨開始後速やかに地表面にクラストが形成し、そのクラストが覆いとなるためにクラストの下方では、大きな土壌構造の変化は起きにくい(写真 1 左)。逆に、降雨開始後、土壌がゆっくりと分散していくと、分散の結果生じる細かい土粒子は浸透する雨水とともに土壌中へ(下方へ)と流れ込み、土壌間隙を徐々に埋めていく。このような場合には、相対的に厚いクラストが形成する(写真1中、右)。写真 2 は、国頭マージを供試土とした場合である。地表面に石膏を散布した結果、国頭マージが分散しやすくなり、写真 1 の風乾土の場合と同様に地表面ごく近傍でクラストを形成し、その下では空

隙が目立つような構造を形成した。このような場合、透水性の低下は地表面のほんの数 mm の層に支配される。

土壌構造の変化に伴って乾燥密度も変化する。Fig.4 は、地表面近くの乾燥密度の変化の分布である。降雨前には、ほぼ均一な乾燥密度であったが、クラストの形成に伴って地表面から 1cm 程度の領域において非常に大きな乾燥密度の増加が生じている。

3. (2) クラストの透水性

Fig.5 は、地表クラストの形成に伴う山梨粘土ローム土の飽和透水係数の低下を示したもので、先に示した実験で使用した土壌槽表面から長さ 5cm のコア試料を採取して測定したものである。降雨開始直後に急激な低下を示し、積算降雨量 50mm を超えるとその後の変化は緩やかになっている。供試土壌は降雨前には、0.18 cm/sec 程度という非常に大きな透水係数をもっていたが、長さ 5cm のコア試料全体の透水係数としては 10 分の 1 以下、クラスト層(土壌断面の観察からクラストの厚さを 3mm と仮定して算出(Hillel 1971))では、降雨前の 1000 分の 1 まで透水係数が低下した。山梨粘土ロームは粘土分 30% 程度の比較的粘質で団粒構造の発達した土壌であった。Chiang ら(1993)によるとシルト質ロームの場合に初期飽和透水係数に対して 10~100 分の 1、粘性土で 4~30 分の 1 まで透水係数が低下したと報告されている。また、Segeren and Trout (1991)は、クラストの形成に伴ってローム質土で最大で降雨前の 200 分の 1 まで透水係数が低下したことを報告している。降雨強度が通常、数 mm/hr から大きくても 50mm/hr 程度と 1 オーダー程度しか変化しないことを考えると 2 オーダーにもわたる透水係数の低下は留意すべき結果である。

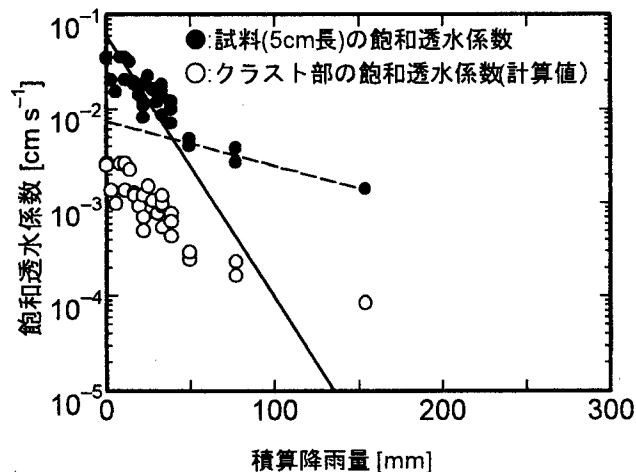


Fig.5 クラスト形成に伴う透水係数の低下
(山梨粘土ローム)

4. クラストの形成と耐食性

クラストの形成が土壌の耐食性に及ぼす影響は単純ではない。侵食を促進する作用としては、地表面流出の促進があり、保全的な効果を期待できるものとしてクラストの緻密で固い構造がある。Fig.6 は、クラストの形成に伴う地表面の硬さを自作したピンペネトロメータで測定したものである。ピンペネトロメータは、直径 3mm 程度の金属棒を土壌表面に突き刺すときの抵抗を測定したものであ

る。今まで示してきたデータでは、山梨粘土ロームは降雨開始後、40～50 分くらいでクラストが形成するが、50 分間以上降雨を与えて地表クラストが土壌槽表面に出来上がってしまうと、降雨後の乾燥とともに地表面の硬さは急激に増大した。

Fig.7 は、降雨中の地表面流出水の土砂濃度である。実験は、斜面長 50cm の小型土壌槽を用いて行った。降雨中の浸透速度、地表面流出速度から降雨開始後 50 分くらいで斜面一面にクラストが形成したと推測できた。地表面流出中の土砂濃度は、クラストが形成するとともにほぼ一定値になった。クラストが形成している試料へ 48 時間間隔でさらに何回か降雨を与えたところ、二回目以降の降雨では、相対的に小さな土砂濃度を示した。この濃度は、一回目の降雨時の最終土砂濃度よりもさらに小さなものであった。先に示した貫入抵抗値との単純な比較はできないが、クラストの固さが土砂濃度の低下に影響を与えていることは推察できる。

この結果は、斜面長が非常に短く、地表面流出水の侵食作用も小さい場合のものである。何十 m という斜面長を持つ実際の現場においては、おそらく地表面流出促進の効果が卓越し、侵食量を増す方向へ行くものと予想される。

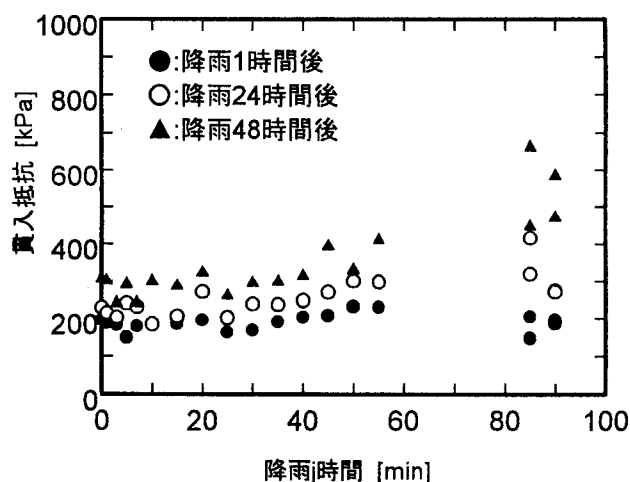


Fig.6 クラストの形成と地表面の硬さの変化

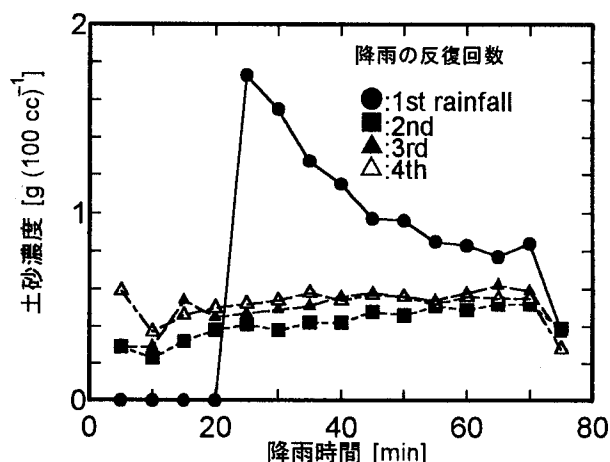


Fig.7 (a) 地表面流出水中の土砂濃度 (山梨粘土ローム)

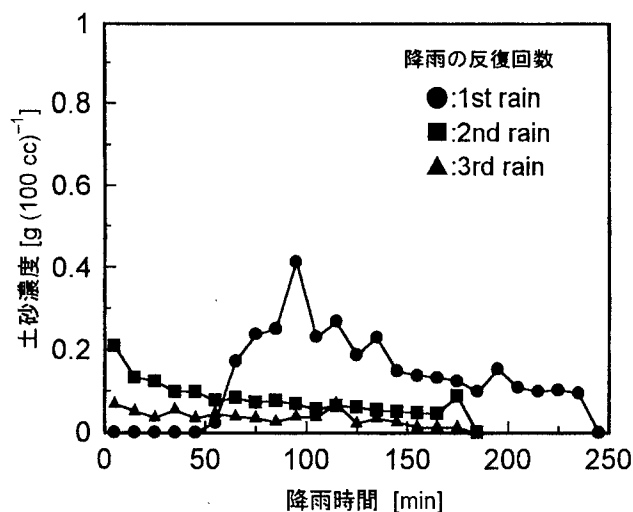


Fig.7 (b) 地表面流出水中の土砂濃度 (国頭マージ)

5. 土壌の分散の抑制と化学的保全工法

クラストは、降雨中に分散した土壌が間隙を目詰まりさせて形成する。その結果、土の透水性が低下し、地表面流出そして流亡土量の増加という結果を生むと考えられる。逆に土壌の分散を抑制して降雨前の土壌構造を維持することができれば、降水の多くは土中へ浸透して地表面流出とはならず、地表面流出が減れば侵食量も減ると考えられる。このような観点で化学的に土壌保全を行う試みが行われている。

化学的な土壌保全として知られているものに、PVA(ポリビニルアルコール)や PAM(ポリアクリルアミド)など土壌の団粒化促進効果を持つ高分子有機物の施工がある(たとえば Aly and Letey (1988)、Shainberg et al. (1990)、Lentz et al. (1992))。これらの高分子有機物は、効果も認められている一方で、分子量に応じて土壌の分散抑制効果と分散促進効果という相反する効果が発現する(PAM)ことやコストが高い一方で施工後の効き目が時間を追うごとに落ちていくこと等といった課題を持つ。他方、Miller(1987)や Shainberg(1989)、Reichert and Norton(1994)は、コロイド科学における DLVO(拡散二重層)理論に基づいて土壌の分散を抑制する目的で石膏やリン酸石膏、さらには、火力発電所の廃棄物リサイクルも両立させようとする目的でスラグ様の物質(石膏成分を含む)を農地に施用して地表面流出の発生ならびに土壌流亡を防止しようという試みをしている。これは、粘土を電解質を含まない純水にけん濁させたときはよく分散するのに対してある程度以上の濃度を持った塩水に混ぜ込んだときには、凝集して上澄みができるという現象を応用したものである。Shainberg らは、同じ観点で灌漑水の水質に注目し、灌漑水に電解質を混ぜることによって同じ効果を得ている。これらの研究は Shainberg ら(1989)の総説で整理されている。以上の報告では、石膏やリン酸石膏などの適度な溶解度を持つカルシウム塩が有用であるとしている。この場合も施用後降雨が繰り返すにつれて保全効果は逡減していくが、強い降雨が限られた期間に降るような地域では成果が出ることが期待されている。

一方、酸性土壌の場合は、酸性改良を目的としてカルシウム塩を施用することが多い。この場合も上記のような土壌の分散を抑制する効果が副次的にあるものと期待されてきたが、一部の酸性土

の場合には、カルシウム塩の散布によって土壌の分散が促進し、クラストの形成や地表面流出の促進へつながることがあるので注意する必要がある(Roth and Pavan(1990)、西村(1996))。これは、施用したカルシウムが酸性土壌の土粒子の結合剤として働いていたアルミニウム及びその水酸化物を追い出してしまったためと推察されているが、分散促進が生じる場合と生じない場合の違いといった部分に関する詳細なメカニズムはまだ未解明である。

6. さいごに

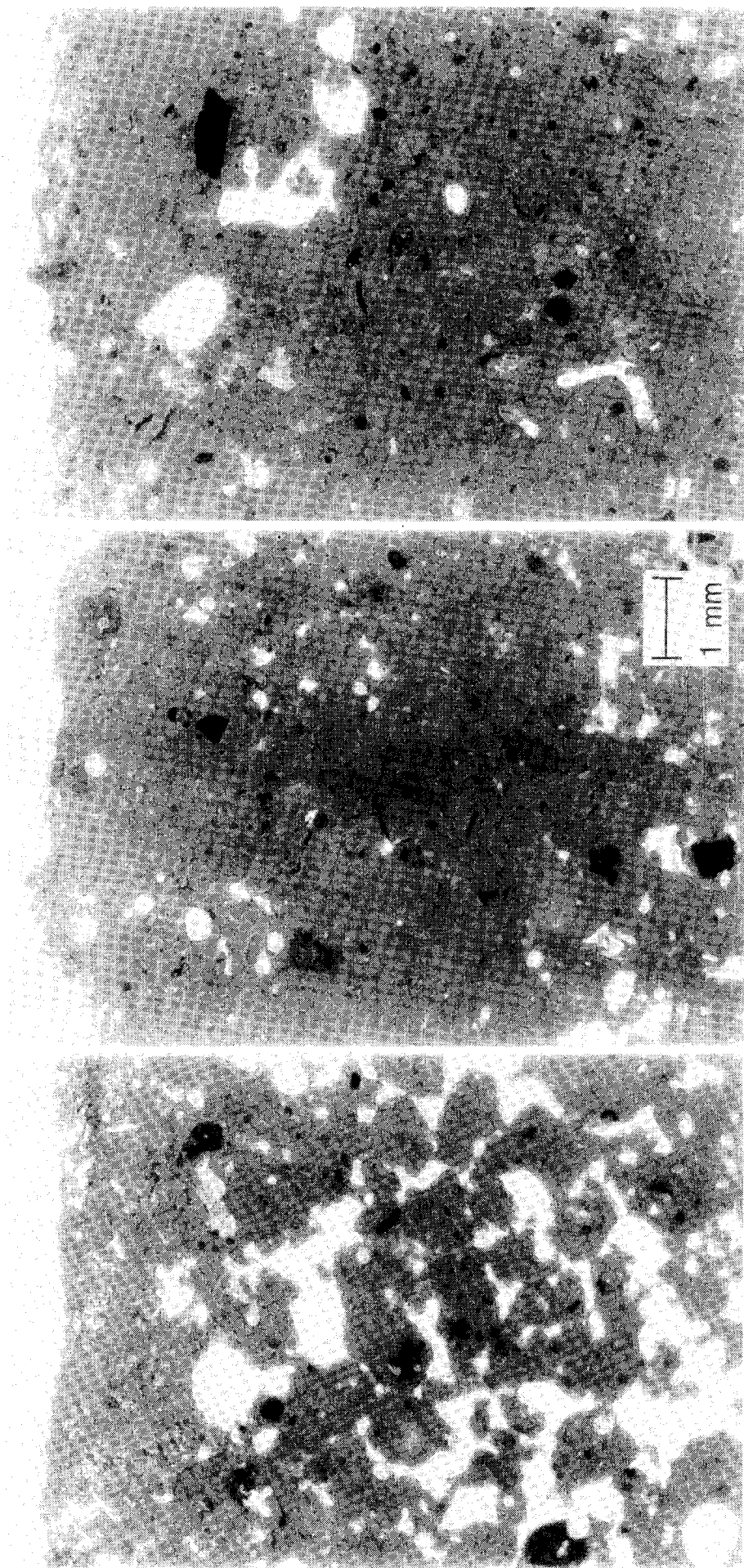
ここで示してきたものは、実験室内で得られた研究成果がほとんどである。このような知見と実際の現場を結び付けられるかどうかという点は土壌保全の研究の中で大きな課題である。米国のように農業が主たる産業として認知されている場合には、室内の研究から実験圃場さらには実際の農場へと研究成果のフィードバックがスムーズに行われていくことも期待できるし、実際に農家にも試験機関の研究成果を自分の農地に適用してみようとか研究自体をサポートしようという意欲と余力がある。しかしこのような状況は、限られた特殊な条件と考えたほうが良いと思われる。また、農業という産業の立場ではなく、環境保全という立場から土壌保全を考えたときに、どのような方策が受け入れやすいかという点は今後の課題と考えられる。

土壌保全は、古くからある問題であるとともに今日においても食料生産を進めていく上で重要な課題となっている。低投入型であろうと高投入型であろうと持続的に食料生産を行なっていくためには、土壌および土壌の生産性を維持することが不可欠である。帯状植生、テラス工、バンク、承水路、沈砂池といった構造物は、設備投資が可能な地域においては効果を発揮する。しかし、土壌、自然環境、社会等諸条件からこのような設備を作ることが出来ない地域も数多く、代替りの方策が求められているのも事実である。その一つとして近年期待が持たれているのが不耕起栽培である。不耕起栽培は、重機などによる耕起を出来るだけ避け、自然に任せることによって土壌構造を透水性良好な形に作り上げることで水の利用効率を上げ、水食を減らし、低投入型持続的農業(LISA)を維持させようというものである。不耕起栽培では、土壌構造の形成は降雨、植生、土壌生物などに任せられる一方で、水の浸透、流出などは、地表クラスト、マクロポアといった土壌構造の分布に影響される。このあたりに、土壌の分散凝集、地表クラストの形成といった小さなスケールで行われている研究成果を今後、生かす余地があるのではないかとと思われる。

7. 参考文献

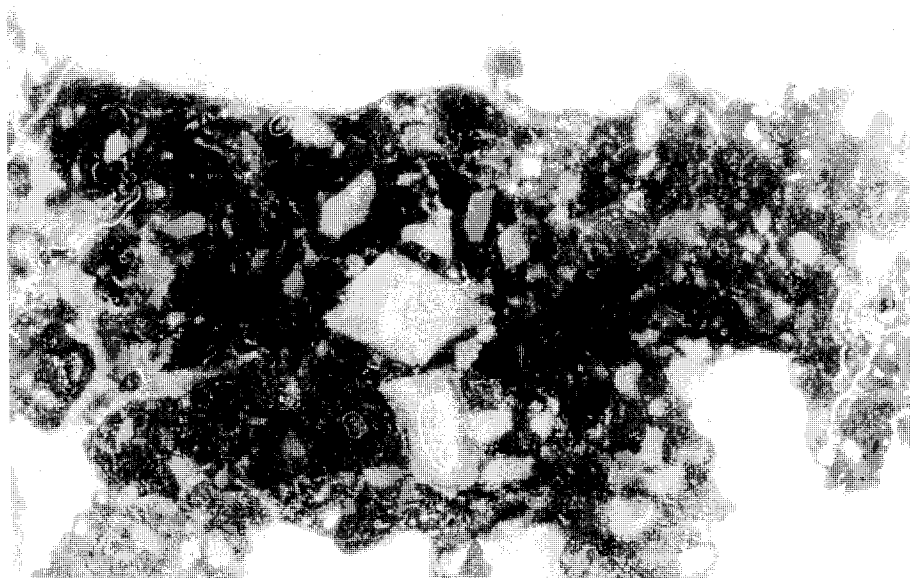
- Aly, S.M. and J. Letey, Polymer and water quality effects on flocculation of montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:453-1458 (1988)、
- Bradford, J.M., J.E.Ferris, and P.A. Remley, Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and soil splash detachment, *Sci.Soc.Am.J.* 51:1566-1571
- Chiang, S.C., D.E. Radcliff, and W.P.Miller, Hydraulic properties of surface seals in Georgia soils, *Soil Sci. Soc.Am.J.* 57:1418-1426 (1993)
- Hillel, D. *Soil and Water* (邦訳 土壌物理学概論 (岩田進午他訳)) 86-87 養賢堂 (1971)

- Holder, C.B. and K.W. Brown, Evaluation of simulated seedling emergence through rainfall induced soil crusts, *Soil Sci. Soc.Am. Proc.* 38:705–710 (1974)
- Miller, W.P. Infiltration and soil loss of three gypsum-amended Ultisols under simulated rainfall. *Soil Sci. Aoc.Am J.* 51:1314–1320 (1987)
- Morin, J. and Y. Beniamini, Rainfall infiltration into bare soils, *Water Res. Res.* 135: 813–817 (1977)
- Lentz, R.D., I. Shainberg, R.E.Sojka, and D.L.Carter, Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers, *Soil Sci.Soc Am J.* 56:1926–1932 (1992)
- 西村 拓 Changes in infiltration and ion exchange subsequent to gypsum application to a Japanese acid soil, *農業土木学会論文集*, 184:167–173 (1996)
- Reichert, J.M. and L.D.Norton Fluidized bed bottom-ash effects on swelling sols, *Soil Sci.Soc Am J.* 58:1483–1488 (1994)
- Roth, C.H. and M.A. Pavan, Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol, *Geoderma*, 48: 351–361 (1990)
- Segeren, A.G. and T.J. Trout, Hydraulic resistance of soil surface seals in irrigated furrows, *Soil Sci. Soc Am J.* 55:640–646 (1991)
- Shainberg, I. D. Warrington, and P.Rengasamy. Effect of PAM and gypsum application on rain infiltration and runoff. *Soil Sci.* 149:301–307 (1990)
- Shainberg, I., M.E. Sumner, W.P. Miller, M.P.W. Farina, M.A. Pavan, and M.V. Fay, Use of gypsum on soils: a review, *Adv. In Soil Science*, 9:1–111(1989)
- Weir, W.W. *Soil Science* (Chap. 25 Soil Erosion), J. B. Lippincott company, IL, USA (1936)



(a) 風乾上、降雨70分後
 (b) 湿上、降雨70分後
 (c) 湿上、降雨210分後

Photo 1 山梨精上:ロームに形成した上:壤クラスト (人工降雨、平均32mm h⁻¹)



1 mm

Photo 2 地表面に石膏を施用した国頭マージに形成した地表クラスト
(施用量 : 5 t/ha)

不安定斜面の安定度評価について

琉球大学農学部 宜保 清一
周 亜明
琉球大学大学院 中村 真也

I. はじめに

自然斜面や旧地すべり斜面では、切土により安定度が大幅に低下し、工事中あるいは工事後に地すべりが発生することが多い。不安定斜面の安定解析は、①現況安全率が決定できない、②すべり面の強度が確定できない等の理由から、一律に逆算法¹⁾が適用され、結果として過大な仮設抑止工が設置されることや粘着力 c と内部摩擦角 ϕ との重みづけ次第で対策工の効果の評価が異なることが指摘されている^{2, 3)}。一方、地すべりはすべり形態により初生型地すべりと再活動型地すべりに大別され、前者ではすべり面強度として「完全軟化強度」、後者では「残留強度」の適用が提唱されている^{1, 4)}が、このような単一の強度では地すべりの発生や現状を説明できない場合が多い^{5~8)}。これらの問題は斜面の安定度が適切に評価されていないことに起因したものである。防止工を精度の高いものにするためには、すべり面の状況と土質強度を的確に捉え、その結果に基づいた斜面の安定度評価が極めて重要である。そこで、宜保ら^{5, 7)}はすべり形態およびすべり面の状態を考慮に入れ、残留係数を導入してすべり面の平均強度定数を算定する方法を提案している。本研究は、提案された安定解析法の考え方にに基づき、小規模な不安定斜面に対する安定度評価法の確立をめざし、沖縄本島中部の池田地内地すべりと宮城地内地すべり、および中国、四川省雑谷腦河流域の沙坝地すべりを事例として、土質強度特性を重視した安定度評価について検討したものである。

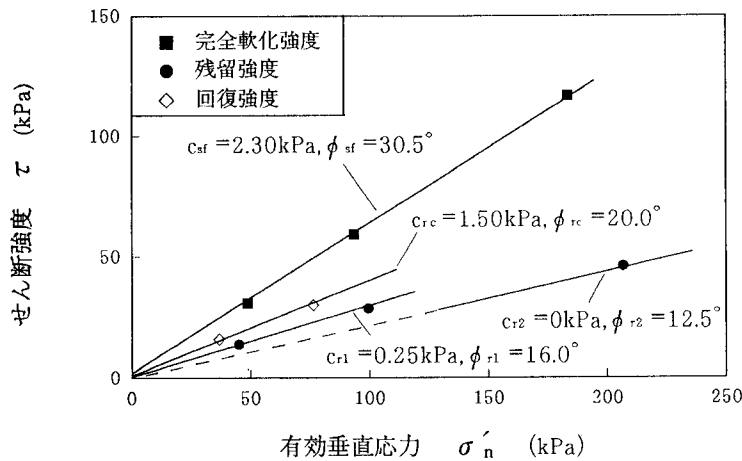
II. 池田地内地すべり

2.1 地すべり概況

池田(Ikeda)地すべりは沖縄県西原町の南西部に位置する。地質は、本島中南部から宮古島にかけて分布する新第三紀の島尻層群泥岩からなる。泥岩斜面では構造的弱面を素因とする初生型地すべりが多発している^{9, 10)}。本すべり斜面は、旧すべりで、1986年に町道建設のために末端切土工事が実施され、受働域が減少したにもかかわらず、現在まで安定状態が保たれている。今回、新設の那覇空港自動車道との関係で、町道が本斜面よりに移設されるため、それに伴う大規模な切土工事が計画されており、斜面の不安定化が危惧されている。斜面全体は、基岩の島尻層群泥岩層に泥岩由来の崩積土層(4~5m層厚)が上載している。斜面頭部に幅25m、落差0.5m程度の滑落崖が存在する。ボーリング調査により、難透水性の泥岩層と比較的透水性の高い崩積土層との境界付近に、軟化粘土の介在が確認された。

2.2 セン断強度特性

すべり面付近から採取した軟化粘土試料についてリングせん断試験¹¹⁾を行った。完全軟化強



図－1 池田地内地すべり試料の完全軟化強度，残留強度
および回復強度

度(τ_{sf})から残留強度(τ_r)に到達した後に，供試体を再圧密してから再せん断を行い回復強度(τ_{rc})を求めた。図－1はクーロン則に基づき整理したものである。完全軟化強度は $c_{sf}=2.30$ kPa， $\phi_{sf}=30.5^\circ$ ，残留強度は垂直応力 $\sigma_n=50$ kPa～100 kPaにおいて $c_r=0.25$ kPa， $\phi_r=16.0^\circ$ ，垂直応力 $\sigma_n \geq 200$ kPaに対しては $c_r=0$ kPa， $\phi_r=12.5^\circ$ ，回復強度は $\sigma_n=50$ kPa～100 kPaに対して $c_{rc}=1.50$ kPa， $\phi_{rc}=20.0^\circ$ となった。

2.3 安定解析

2.3.1 旧地すべり

地すべりの発生機構や発生形態を正確に把握するため，まず現町道建設前の旧地すべり地形について安定解析を行った。斜面変状およびボーリングコアを基にして旧地すべり面を推定した。0.5m前後の移動が想定できる斜面上部から中部にかけての主働域におけるすべり面の強度はすべり面の形成・発達過程で残留強度にまで低下したと考えた。また，受働域では崩積土層と泥岩層との境界付近に軟化粘土の介在が確認されたことから，完全軟化強度の関与を想定した。従って，すべり直後の簡便式は残留強度の項と完全軟化強度の項の和で与えられる。

$$F_s = \frac{\sum c' \cdot l + \sum (N-U) \cdot \tan \phi'}{\sum T}$$

$$= \frac{\sum c_r \cdot l_i + \sum (N_i - U_i) \cdot \tan \phi_r}{\sum T_i + \sum T_j} + \frac{\sum c_{sf} \cdot l_j + \sum (N_j - U_j) \cdot \tan \phi_{sf}}{\sum T_i + \sum T_j} \quad (1)$$

ここで， F_s : 安全率

l_i, N_i, T_i, U_i : 頭部主働域における各スライスのすべり面長(m)，スライス重量の垂直分力(tf/m²)，接線分力(tf/m²)，間隙水圧(tf/m²)

l_j, N_j, T_j, U_j : 下部受働域における各スライスのすべり面長(m)，スライス重量の垂直分力(tf/m²)，接線分力(tf/m²)，間隙水圧(tf/m²)

図－2に安定解析断面図を示す。想定された旧地すべりにおいてすべり直後の安全率を $F_s=1.00$ とし，実測最高水位から地下水位を上昇させて繰り返し計算を行い，主働域のスライス1～1

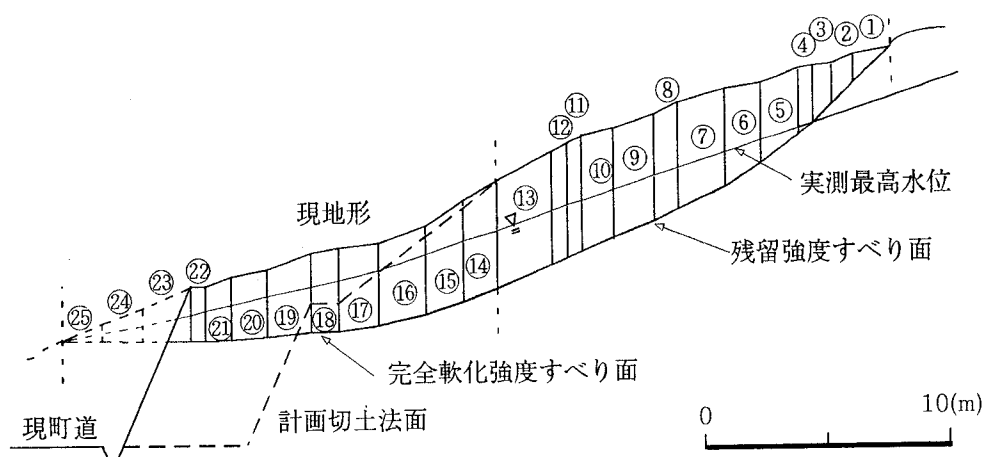


図-2 池田地内地すべりの安定解析断面図

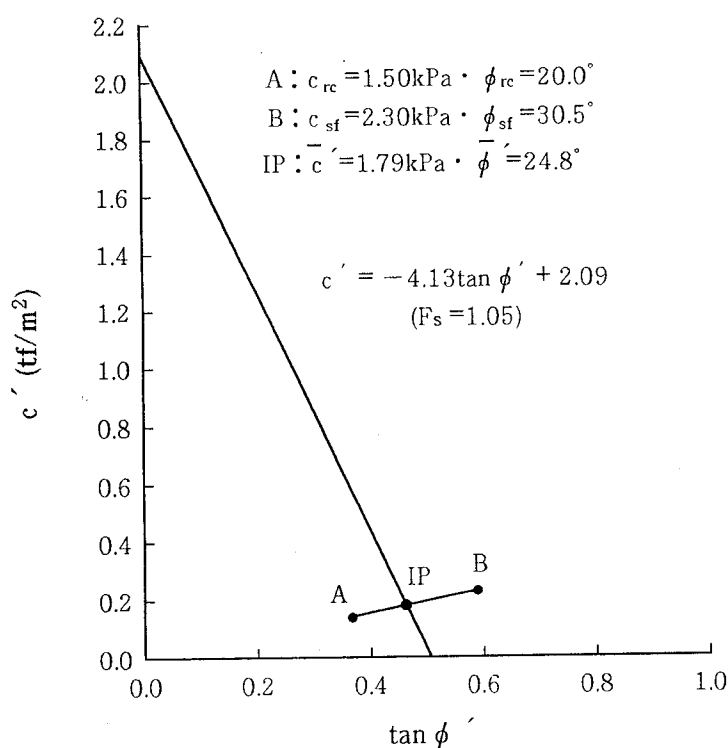


図-3 池田地内地すべりの現地地形に対する $c' - \tan \phi'$ 関係図

3のすべり面で残留強度が、受働域のスライス14～25のすべり面において完全軟化強度が動員されたことを明確にした。

2.3.2 町道建設時の安全率

本斜面は、すべり後の安定状態の下で一旦残留強度にまで低下したすべり面領域は土かぶり圧による再圧密により強度を回復し^{8, 12)}、強度回復による抵抗力の増大によって安全率が $F_s = 1.13$ にまで上昇した。町道建設時の切土斜面に対しては安全率が $F_s = 1.05$ となり、切土に伴って抵抗力が低下したものの、安定状態にあることをうまく説明できた。すべり面の平均強度定数は、「残留係数を導入した安定解析法」^{5, 7)}に基づいて図解的に $c' - \tan \phi'$ 関係図から求められる(図-3)。回復強度A点と完全軟化強度B点を結ぶAB直線と $c' - \tan \phi'$ 直線との交点I

Pが強度定数 $\bar{c}' = 1.79\text{kPa}$, $\bar{\phi}' = 24.8^\circ$ である。

2.3.3 町道移設計画における末端切土による安全率の低下

末端切土による受働域は大幅な減によって安全率が $F_s = 1.05$ から $F_s = 0.77$ へと大幅に低下することが示され、地すべりの再発生が予測された。一方、通常の手法では、静止中の崩積土地すべりに対しては安全率を $F_s = 1.03$ とし、 $\bar{c}' = 0.1h_{\max}(\text{tf/m}^2)$ ($h_{\max}$:すべり面の最大深さ)と仮定して $\bar{\phi}'$ を求めている。計画切土斜面に対してはこの場合 $\bar{c}' = 5.00\text{kPa}$, $\bar{\phi}' = 21.1^\circ$, $F_s = 0.86$ となり、安定度が過大に評価された。仮設抑止工の決定に大きく影響することから、安全な作業環境を確保する上で問題がある。

Ⅲ. 宮城地内地すべり

3.1 地すべり概況

本地すべりは沖縄本島南部南風原町宮城(Miyagusuku)地内町道2号線沿いに位置する。地すべりは、町道2号線整備に伴う擁壁工事の翌年(1978年)に豪雨に伴う地下水上昇(擁壁に水抜きが無い)に起因したものである。以来10数年間、滑動による擁壁破断と修復を繰り返した。1997年3月には豪雨により再滑動した。現在、斜面頭部の住宅への進入道路面に5cm程度の引っ張り亀裂が複数見られ、擁壁下部には長さ約40mの破断亀裂があり、5~10cm押し出されている。その後、1997年の台風13号と18号に伴う豪雨の際に破断亀裂より多量の地下水の流出が観察された。地下水位は0.5m程度上昇したが、移動は全く認められなかった。ボーリング調査によれば、風化泥岩は破碎されて脆弱化しており、強度的にかなり低下している。また、流れ盤性の小断層や不規則な節理が多数存在していることから、透水性は高いと思われる。すべり面については、頂部の道路面の亀裂と小断層弱面と擁壁の破断亀裂とを円滑に結んだ。初生すべり時と1997年3月の再滑動時の地下水位は、実測最高水位と擁壁上の流出水の痕跡を基に推定した。

3.2 解析上の問題点

本地すべりは、地下水が擁壁の破断亀裂より流出するため豪雨時の上昇が過小であり、安定状態にあることから、現況安全率は1以上である。すべり面状況を明瞭にするほどの調査もなされていないので、対策のための強度定数の算定が困難である。そこで、土質強度特性を最大限に生かして、初生すべり時と再滑動時(1997年3月)について安定解析を行い、すべり面に占める小断層弱面の関与領域を明確にし、すべり面の平均強度を決定する。

3.3 セン断強度特性

風化泥岩の不攪乱試料について圧密非排水三軸試験を行い、破碎ピーク強度 $c_r = 5.50\text{kPa}$, $\phi_r = 41.0^\circ$ を得た(図-4)。粘着力 c_r が小さいことはすべり土塊(破碎泥岩)の脆弱化が進んでいることを意味する。初生すべりの発生は小断層弱面の強度が残留強度にまで低下している^{7, 9)}ことおよび破碎泥岩の粘着力の低下に因るものであると考える。残留強度測定はリングせん断試験を用いて行い、同一供試体について順次垂直応力を下げせん断する多段載荷方式¹¹⁾の採用により時間短縮を図った。図-5はその結果を示したもので、残留強度 $c_r = 1.20\text{kPa}$, $\phi_r = 1$

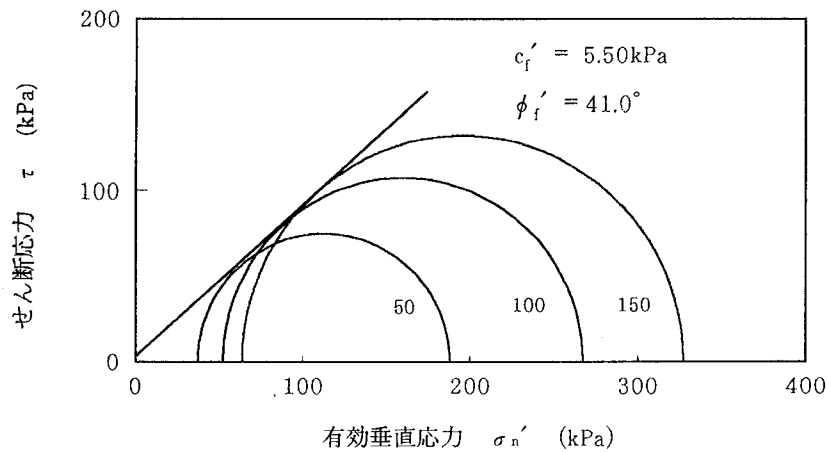


図-4 宮城地内地すべりの脆弱な破碎泥岩のモールの応力円
(側 圧 : 50~150 kPa)

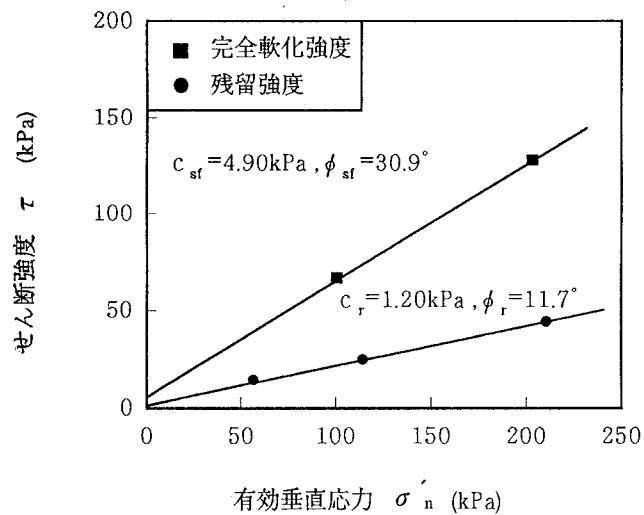


図-5 宮城地内地すべり試料の完全軟化強度と残留強度

1.7° を得た。破碎強度(τ_f)と残留強度(τ_r)との強度差が約30°と大きいことから、地すべり発生には小断層弱面の存在が重要であると言える。

3.4 安定解析

3.4.1 小断層弱面の寄与

小断層弱面のすべり面への転化を検討するために、初生すべり時の地形、地下水位、擁壁の抑止力(Pa)を考慮して安定解析を行い(図-6)、まず平均すべり面強度 $\bar{\tau}$ と平均有効応力 $\bar{\sigma}'_n$ を算定した。

次の簡便式を

$$F_s = \frac{c' \cdot \Sigma l + \Sigma (W \cos \theta - ul) \cdot \tan \phi' + Pa}{\Sigma W \sin \theta}$$

変形して

$$\frac{F_s \cdot \Sigma W \sin \theta - Pa}{\Sigma l} = c' + \frac{\Sigma (W \cos \theta - ul)}{\Sigma l} \tan \phi' \quad \text{-----}(2)$$

を得る。クーロン式 $\bar{\tau} = c' + \bar{\sigma}_n' \cdot \tan \phi'$ と対応させ、式(3)および式(4)⁴⁾を得る。

$$\frac{\bar{\tau}}{\tau} = \frac{F_s \cdot \Sigma W \sin \theta - Pa}{\Sigma l} \quad \text{-----}(3)$$

$$\frac{\bar{\sigma}_n'}{\sigma_n'} = \frac{\Sigma (W \cos \theta - ul)}{\Sigma l} \quad \text{-----}(4)$$

$F_s = 1.00$ として式(3)および(4)から、 $\bar{\tau} = 1.71 \text{tf/m}^2$ 、 $\bar{\sigma}_n' = 2.03 \text{tf/m}^2$ が得られる。破碎ピーク強度($c_{\tau}' = 5.50 \text{kPa}$ 、 $\phi_{\tau}' = 41.0^\circ$)がすべり面全域で動員されたとした場合、

$$\begin{aligned} \tau_{\tau} &= c_{\tau}' + \sigma_n' \cdot \tan \phi_{\tau}' \quad \text{-----}(5) \\ &= 2.31 \text{tf/m}^2 > \bar{\tau} \end{aligned}$$

となる。初生すべり時の地形の安定解析で破碎ピーク強度だけを適用した場合安全率が1以上となったことは、残留強度を発揮する小断層弱面領域の存在がすべり発生の必要条件となることを意味する。

3.4.2 設計強度定数算定

小断層弱面のすべり面への転化が明らかにされたので、次に残留強度および破碎ピーク強度の関与領域の範囲を把握する必要がある。そこで再滑動時の地下水位のもとで安全率を $F_s = 0.98$ として試算により繰り返し計算を行い(図-6)、スライス9~11のすべり面においては小断層弱面の残留強度が主導的に働き、スライス1~8、12~18のすべり面で破碎ピーク強度が動員されていたことが明確にされた。 $c' - \tan \phi'$ 関係図において $c' = -2.45 \tan \phi' + 1.71$ が得られた(図-7)。すべり面の平均強度定数は、「残留係数を導入した安定解析法」^{5, 7)}に基づいて図解的に図-7から求められ、 $\bar{c}' = 3.38 \text{kPa}$ 、 $\bar{\phi}' = 29.6^\circ$ となった。また、図-7に示した逆算法で得られた $c' - \tan \phi'$ 直線式は $c' = -2.59 \tan \phi' + 1.72$ 、 $\bar{c}' = 4.50 \text{kPa}$ 、 $\bar{\phi}' = 26.1^\circ$ は、土質強度特性を活かした解析結果とかなり異なり、すべり面の平均強度定数を低く評価していることから、対策工事に無駄な費用を投じることになる。

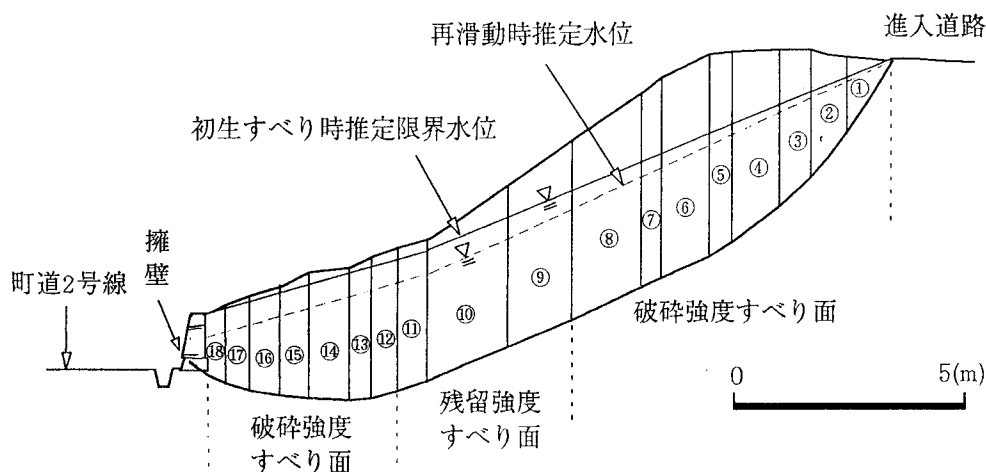
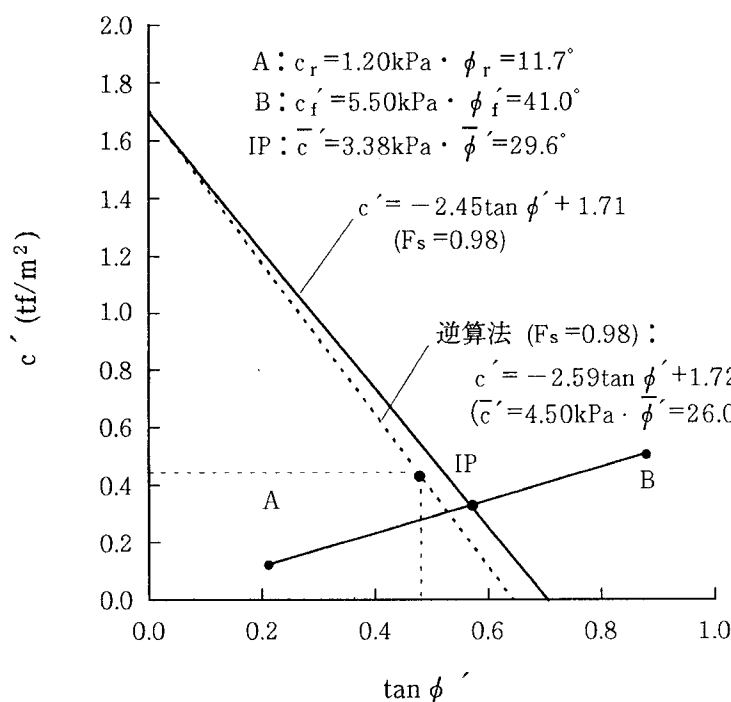


図-6 宮城地内すべりの安定解析断面図



図－7 宮城地内地すべりの $c' - \tan \phi'$ 関係図

IV. 沙坝地すべり

4.1 地すべり概況

沙坝(Saba)地すべり^{12, 13)}は、中国、四川省岷江支流の雑谷脑河上流右岸に位置する小規模な崩壊性の地すべりである(図－8)。この地帯は松潘甘孜褶曲系に属し、主に中生界三迭系と二迭系の千枚岩、変質砂岩、石灰岩、頁岩が分布している。地盤は中生代の印支期と燕山期に構造運動を受けており、さらに新生代の新構造運動期の強烈上昇地区にあたり、破碎が進んでいる。地すべりは住宅建設の際の斜面末端切土によって誘発された。1990年に駐車場の石積擁壁にひび割れが生じ、1993年12月には擁壁の大部分が倒壊した。多くの家屋が地すべりによって押し出され破損したため、27世帯が避難した。地すべりブロックは幅が約60m、平均斜面勾配が35°前後で、20m上方の頭部には多くの引張り亀裂が形成されている。移動土塊は透水性の高い破碎千枚岩の礫混じり崩積土からなる。

4.2 せん断強度特性¹²⁾

完全軟化強度(τ_{sf})および残留強度(τ_r)の定数は、 $\sigma_n \leq 200 \text{ kPa}$ のレベルにおいてそれぞれ $c_{sf} = 8.90 \text{ kPa}$, $\phi_{sf} = 36.8^\circ$ と $c_r = 0 \text{ kPa}$, $\phi_r = 36.0^\circ$ で、一般の地すべり土のそれよりかなり大きい。 τ_{sf} と τ_r の包絡線がほぼ平行で、その強度差が粘着力の喪失分に相当していることは、大変位せん断粒子配向がほとんど起こらなかったことと合致する(図－9)。

4.3 安定解析

沙坝地すべりは、すべりの兆候が現れてから3年後に約1～2m移動した。すべり面が形成され、すべり面強度は残留強度にまで低下している。すべり前後の地形に対して安定解析を行った。

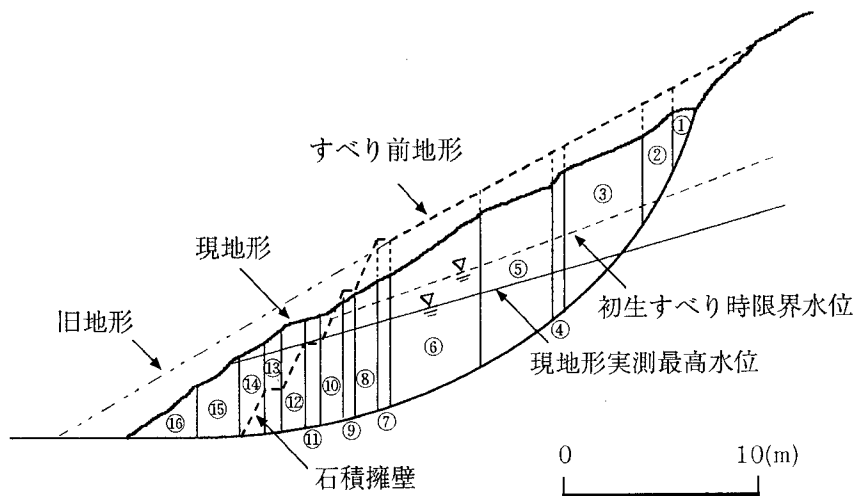


図-8 沙坝地すべりの安定解析断面図

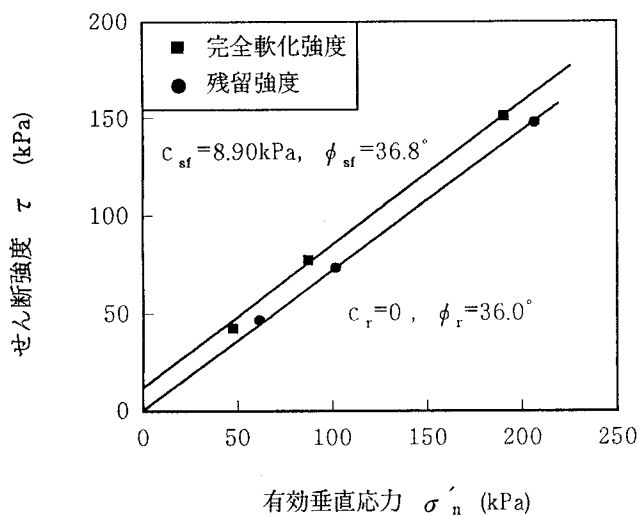


図-9 沙坝地すべり試料の完全軟化強度と残留強度

すべり面は円弧を仮定した(図-8)。地すべりの初生時の地形に対して、安全率を $F_s=0.98$ とし、前述した式(3)で、すべり面の平均強度 $\bar{\tau}'=3.76\text{tf/m}$ を算定した。一方、完全軟化強度定数($c_{sf}=8.90\text{kPa}$, $\phi_{sf}=36.8^\circ$)だけの動員を想定した場合、式(5)より $\tau_{sf}=3.95\text{tf/m}^2$ となった。このことは強度の低下によって地すべりが発生したことを意味し、初生時のすべり面の平均強度は完全軟化強度で近似できることが分かる。一方、現地地形に対して、残留強度定数だけの動員を想定した場合、 $F_s=1.02$ となった。このように、土質強度特性によって、地すべりの現況が説明できる。

V. まとめ

池田地内地すべり、宮城地内地すべりおよび沙坝地すべりについて、すべり面状況および土質強度特性を活用して安定解析を行い、地形改変前後の斜面安定度の評価を試みた。得られた

結論は以下の通りである。

①池田地内地すべりにおいては、主働域と受動域の移動量の違いに着目し、それぞれにおいて発揮される強度を明確にして切土計画斜面の不安定化を予測した。特に、回復強度の導入によってすべり形態がうまく説明できた。

②宮城地内地すべりに対しては、小断層弱面のすべり面への転化に注目し安定解析を行った。残留強度を動員する弱面領域の存在がすべり発生の必要条件であり、すべり面に占める弱面領域の割合を明確にし、残留強度を導入して斜面の安定度を合理的に評価した。

③沙坝地すべりは、崩積土層内にすべり面を有する崩壊性地すべりであり、初生時のすべり面の平均強度は完全軟化強度で、すべり後の現況安定度は残留強度でうまく評価できた。

④いずれの事例においても逆算法による安定解析は、土質強度特性に基づく解析に比べて過大または過小となり、すべりの実状をうまく説明できない。

⑤地すべり解析では、初生時の元地形について安定解析を行うことによって地すべりの発生機構や形態がより正確に把握できる。

土質強度特性は、地すべり形態に反映されるので、地すべりの発生機構解明と安定度評価に不可欠な工学的要素である。多くの不安定斜面について検証し、安定度評価法の確立をめざしたい。

参 考 文 献

- 1) 農水省構造改善局：土地改良事業計画設計基準－農地地すべり防止対策－，pp. 68-69, pp. 165-166, 1989
- 2) 山上拓男・植田康宏：地すべり地強度定数の新しい逆算法(Ⅰ)－基本概念－，地すべり21(2)，pp. 16-21, 1984
- 3) 網木亮介：地すべり研究の発展と未来，3 調査，3-3すべり面の土質強度特性，(株)大明堂発行，pp. 216-218, 1996
- 4) Skempton, A. W : Long-term stability of clay slopes, Geotechnique, 14(2), pp. 77-101, 1964
- 5) 宜保清一：地すべり斜面の安定性評価に用いる強度定数の考え方，土と基礎35(11)，pp. 27-32, 1987
- 6) 水野恵司：新潟県寺泊・椎谷層泥岩中に発生する崩壊型地すべり－地すべり土塊のせん断強度の評価に関する一考察－，地形11(1)，pp. 29-40, 1990
- 7) 宜保清一：残留係数を導入した安定解析法－沖縄島尻層群泥岩地すべりへの適用－，地すべり33(2)，pp. 46-50, 1996
- 8) 宜保清一・周亜明：再活動型地すべりの土質強度と安定解析，平成8年度農業土木学会九州支部シンポジウム，pp. 27-36, 1996
- 9) 佐々木慶三・吉沢光三・宜保清一・江頭和彦：沖縄島尻層群地帯の地すべり－地質学的背景－，地すべり27(2)，pp. 31-37, 1990
- 10) 周亜明・宜保清一・江頭和彦・翁長謙良・丸山健吉：沖縄，島尻層群地帯の地すべりにおける破碎泥岩と軟化泥岩の強度特性－浦添地すべりと山川地すべりの対比－，地すべり32(2)，pp. 26-33, 1995
- 11) 宜保清一：残留強度測定のためのリングせん断試験装置とその測定精度，地すべり31(3)，p. 24-30, 1994
- 12) 周亜明・宜保清一・江頭和彦・藤本昌宣：中国，岷江および雑谷脳河流域地すべり土の物理的・鉱物学的性質とせん断強度特性，農土論集187，pp. 23-29, 1997
- 13) 宜保清一・佐々木慶三・周亜明・江頭和彦：中国，岷江および右支雑谷脳河流域の地すべり，地すべり32(4)，pp. 41-48, 1996

急傾斜農地の保全事例(向東第二地区)について

広島県尾道農林事務所 岡野 正昭

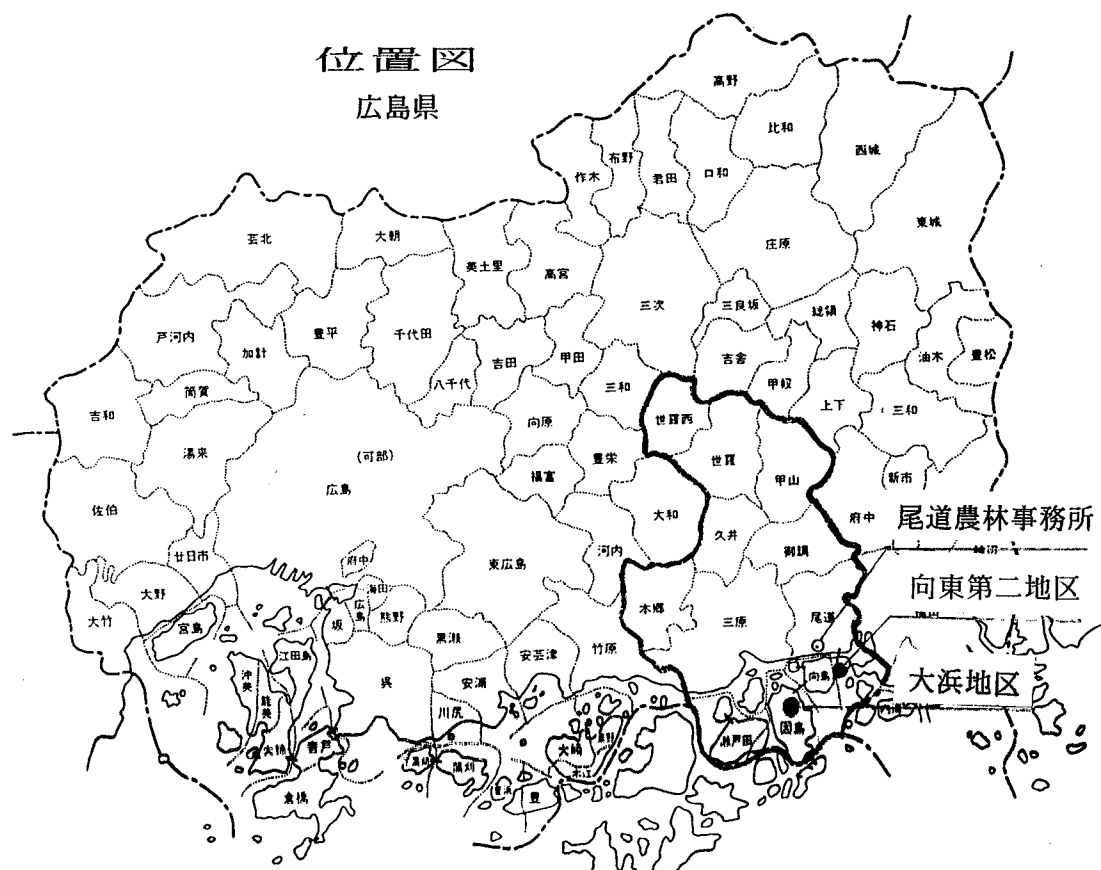
はじめに

尾道農林事務所の管内は広島県の南東部に位置し、総面積912.3km²で県総面積の10%を占め、備後地方生活圏に属し、北は県中央部の世羅台地から南は島しょ部に至る南北約50km、また、東西約40kmの3市8町からなる地域である。

気候は変化に富み、島しょ部・沿岸部を中心とする南部は年平均気温15～16℃、年間降水量約1,200mmと県内で最も温暖小雨の地域であり、一方、北部の内陸部や世羅台地は、年平均気温12～13℃と比較的低く、年間降水量約1,500mmとなっている。

瀬戸内海国立公園である海域には大小31の島があり、因島（因島市35.06㎢）、生口島（瀬戸田町・因島市30.8㎢）は、県内で4番目と、5番目に大きな島である。

管内の耕地面積は13,200haで、田が57%、畑が43%となっており、変化に富んだ気象条件等から多種多様な農産物が生産されている。



地域別営農形態

○沿岸部（三原市・尾道市）

水稻中心の地域であるが、野菜（わけぎ、キャベツ、かぼちゃ、ばれいしょ、きぬさやえんどう、いちご等）や果樹（ぶどう、もも、みかん等）でも、まとまった産地を形成しており、施設化等の取り組みも行われている。

○島しょ部（因島市・豊田郡瀬戸田町・御調郡向島町）

温暖小雨の気候を活かし、島特有の傾斜地に柑橘が栽培されており、高品質果実生産への取り組みが行われている。

また、野菜（わけぎ、トマト、葉ねぎ、きぬさやえんどう、ピーマン等）及び花き（洋らん等）の生産地でもあり、中核農家による施設化等が進み収益性の高い農業が展開されている。

○内陸部（豊田郡本郷町・御調郡御調町・久井町）

水稻が中心の水田農業地域であるが、中核農家は水稻と野菜、花き、畜産との複合化を目指している。

○世羅台地（世羅郡甲山町・世羅町・世羅西町）

県のほぼ中央部に位置し、水稻を基幹作物として、なし、肉用牛、酪農、たばこ等を加えた複合経営が展開されている。

また、国営、県営農地開発事業を中心とした畑地農業が推進されており、世羅幸水農園等の大型生産団地が19箇所形成されている。

1. 地区の概要

尾道市向東町一帯は畑作農業で、平地、丘陵地、山地ともほとんどが柑橘類の樹園地であり、みかん狩りを目的とした観光農園も幹線道路沿いに多くみられる。

当該地区の土質は広島県の島しょ部に卓越してみられるマサ土であり、開畑当初から耕土の流亡に苦しめられ、開畑が進むにつれてその被害も大きくなってきた。また、農地を維持するために必要な営農労力の増大と、急傾斜地での人力に頼った農作業であり搬入搬出道路の未整備、さらには農業従事者の高齢化など、営農条件が悪化していたため、昭和40年代後半から農地の侵食防止と農道整備の要望がなされた。

当時、尾道農林管内では昭和30年頃から島しょ部を中心に、計画的に農地保全整備事業を実施してきており、向東町の急傾斜地の農地についても、地元調整、計画の策定及び協議等諸準備を進め、昭和54年に向東地区、55年向東第二地区、56年向東第三地区と順次着工した。これらの地区は平成7年の向東第3地区の完成によって全地区完了した。

2. 現況

現況水路のうち市道周辺以外は、一部災害復旧によるコンクリート水路はあるものの、ほとんどが土水路及び雑石積みである。それも地元の人によると、小崩落を繰り返しているとのことであり、ある所では谷を埋め、道を流失させたこともあった。水路は侵食を受けてV字形をしている。現況道路で車が通行可能な路線は低勾配部にあるのみで、しかも高地に向かっては行き止まりになっている。傾斜地にある樹園地での作業はモノレールと人力に頼る他はない。水路を兼ねていた農道は、滅失したのも見受けられる。

3. 立地条件

①気象

広島県福山測候所の昭和17年～昭和51年の観測結果を使用した。

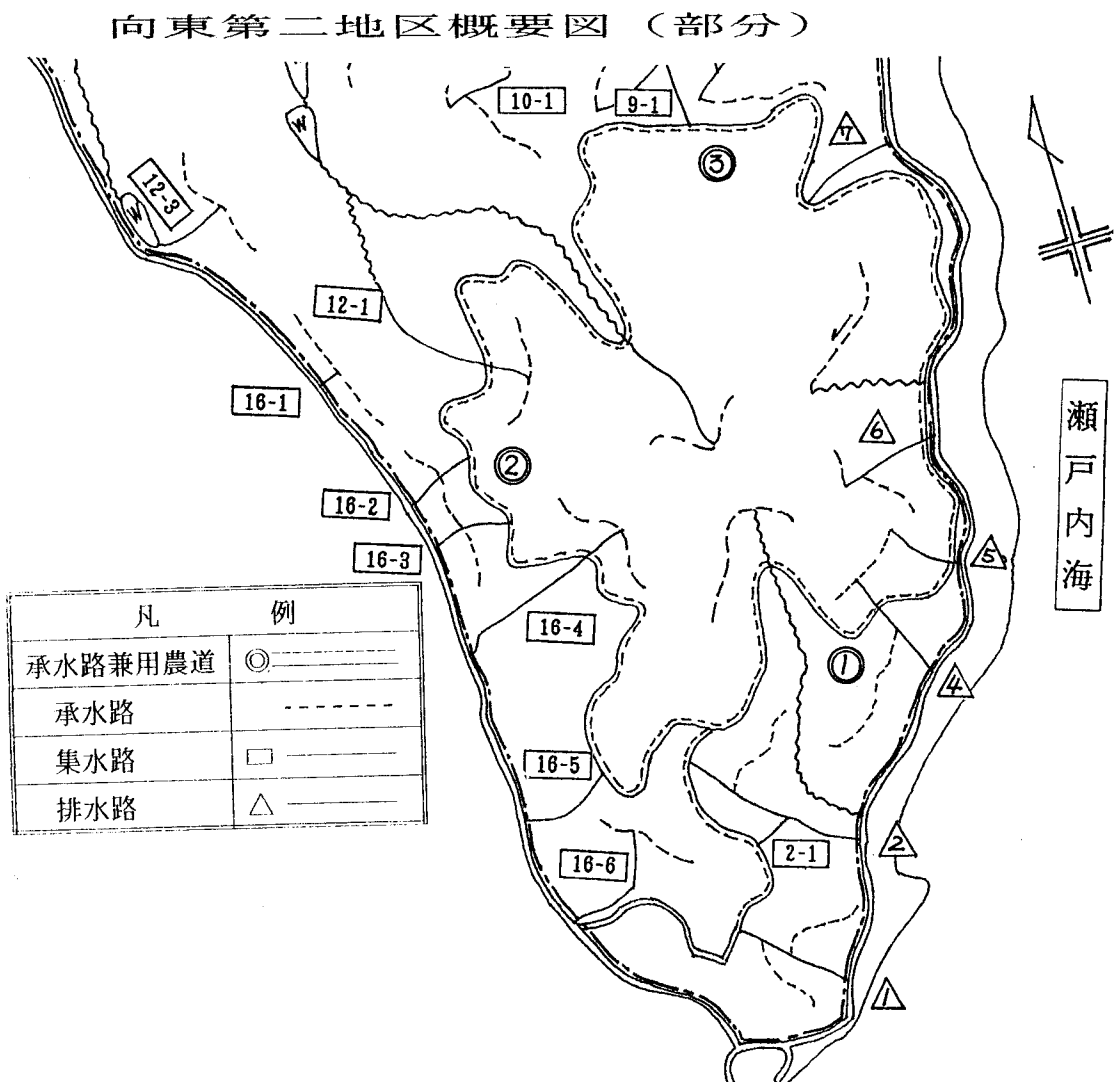
一般気象	年平均気温	14.7℃
	年平均降水量	1,208mm
特殊気象	最大日雨量	151.0mm
	最大時間雨量	73.3mm
	最大連続雨量	423.0mm

②地形

当地区は、向東町の西南端に位置し、標高103.8mの大山を山頂とした標高5～90mの急傾斜（平均傾斜度21.3°）畑が全方位に向かって傾斜している。また、平坦地はほとんどなく、数多くの谷と尾根がある起伏に富んだ複雑な地形である。

③地質及び土壌

大部分が花崗岩を母岩とした土壌で占められ、その風化土は粗粒質で受食性に富み、標高が上がるに従い耕土は浅くなる。平均侵食度は48.5%となっている。



④河川

地域には河川といえる規模のものはなく、殆どが小流域から発した溪流であり、勾配1/5～1/40の急流で、河床の侵食が著しく断面、線形とも不整形である。

⑤道路

主要道路としては、県道向島循環線が東西及び南北に、市道役場大町線が南北に貫きこれを幹線として利用している。地区内の道路は幅2～3mの農道が樹園地の麓まで通じているが、樹園地内は溪流ぞいに歩道程度のものがあるものの、多くの路線では強度の侵食を受けている。

4. 計画

基準雨量 承水路 時間雨量37mm（確率1/5）
 集排水路 時間雨量42mm（確率1/10）

流出率 $f = 50\%$

単位水量 承水路 $0.051 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
 集排水路 $0.058 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

排水計画 集水路、排水路は、現況水路を改修し、一部区間は既設利用とする。
 承水路は土壌侵食の程度、流域の状態、地形などを検討して標高差30～40mの間隔に設置する。

水路の合流点には合流槽を兼ねて土砂溜槽を設置する。土砂溜槽への堆積土は周辺農地に還元する。

農道計画 この地域の主要道路は国道317号線から分岐した県道向島循環線であり、農協支所、市役所向東支所など公共施設、病院、商店など生活施設すべてを沿線に持っている。受益地への連絡は二本の市道及び農道によって行う。この農道を接続させるように樹園地の高位部に承水路兼用農道を帯状に配置し、各農道を連結させるとともに、人力やモノレールによる運搬距離を減少させ、農地侵食防止とともに営農基盤の整備を図る。

通行車両は小型トラックであることより、全幅3.0mとし、必要に応じて車両のすれ違いのために待避所を配置する。また、農道から畑への進入のため、昇降路を設置してモノレール発着積み降ろしを容易にする。

5. 工事

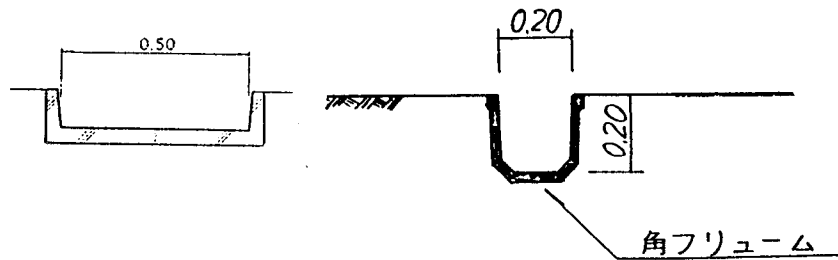
①承水路

本地区は湾曲の多い地形で、谷部においては激しい侵食を受けており、小さい谷と尾根が数多くある中を畦畔や防風垣、園内道水路が走っていて、大変複雑な様相を呈している。このためすべてを等高線沿いに設置するのは不可能であり、樹園地と山林の境界付近に設置するのを基本としながら、なるべく既存施設を利用するよう努め、部分改修を積極的に進める。

水路構造については、二次製品と現場打ちの経済比較の結果、二次製品の使用を基本とするが、路線が営農作業上支障となるものや水路の湾曲など、既製品の設置がなじまない場合は現場打ちコンクリート水路とする。特に二次製品においては、水路接続部からの漏水、曲がり部のはねあがり水による水路陥没など二次災害の発生に注意する。

山林、樹園地境界及び受益境に既設道がある場合、営農空間としての利活用を調査の上、コンクリート全面被覆の広幅水路についても検討する。

承水路 標準断面図



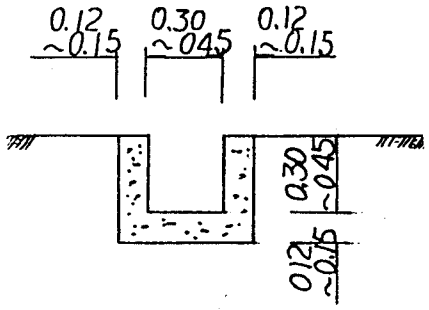
②排水路、集水路

谷部集水路方式とし侵食の著しい路線を優先する。保全効果が最大目標であるが、既設水路には耕作道が並行して隣接する場合が多いため、営農作業面での効用も検討した路線配置とし、広幅水路も検討する。

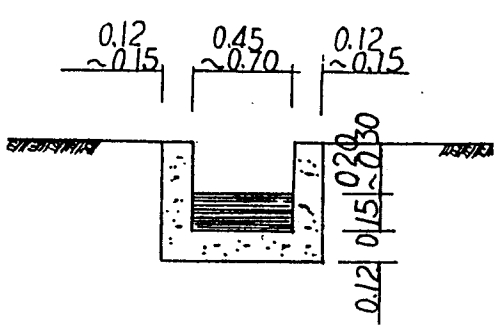
水路構造については、コンクリート三面張を原則とし、落差工、急流工、土砂溜槽等各構造物の検討により水流の減殺を考慮し、水路の安全を図る。計画勾配が1/5以上、あるいは最大許容流速を越える場合は階段式水路とする（階段水路は急傾斜樹園地帯では営農作業通路として活用されている。）。

承水路兼用農道を高位部に計画するため、承水路兼用農道の上流側の表面水はほとんどカットするので、排水路を流域の変更を伴わないよう計画する。

排水路、集水路 標準断面図



階段式水路 標準断面図

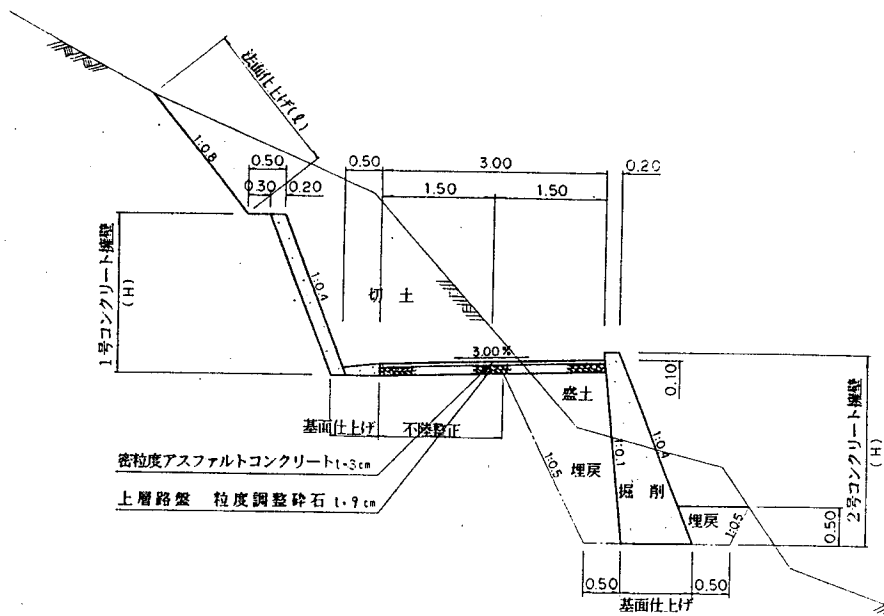


③承水路兼用農道

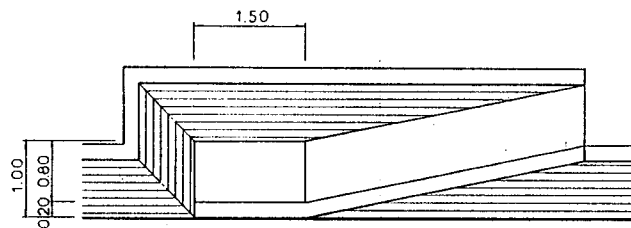
保全効果を高めるため、受益地内の高位部に設置し、交通面では横方向の連絡の確保を主目的とした。また、営農作業効率を上げるため、できるだけ多くの樹園地と接するよう配置する。

幅員は3mとし、路面はアスファルト舗装で片勾配の構造とし、洪水時排水のため10cmの水深を確保する。道路側溝については、通行をより安全にするためL型側溝とし、最大勾配

道路標準横断面図

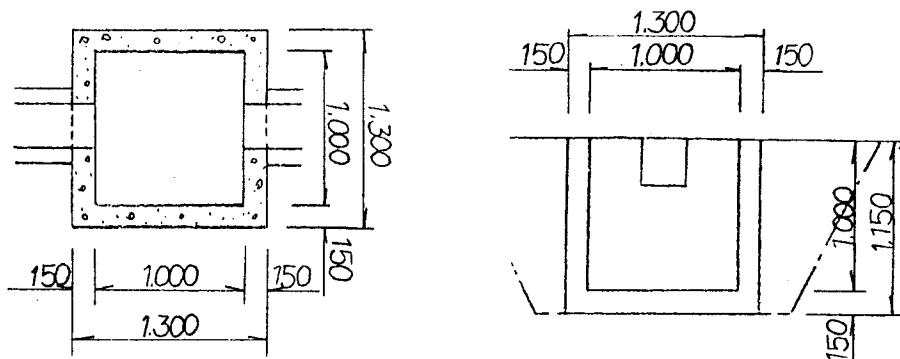


升降路

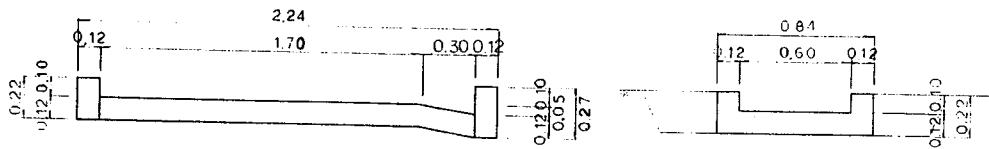


④付帯構造物

土砂溜槽は、急変部及び合流点に設置する。実態として溜まり水が用水としても利用されるので、利水の検討も行う。



⑤広幅水路



本地区は急傾斜、花崗岩地帯という悪条件にもかかわらず、古くからみかん栽培が盛んな尾道市の農業の中心的地域である。しかし、農業従事者の年齢は高く、急傾斜農地の重労働に耐えられず放棄される樹園地もでてきている。このような状況下で、既設私道（未舗装 $W=1.5\sim 2.5m$ ）は、営農資材の搬出入、収穫物の運搬道路としての重要な位置づけになっており、一輪車、軽四輪車の利用により、急傾斜樹園地での苛酷な労働条件の緩和に役立っている。既設私道は営農面だけでなく、大雨、台風時雨水による土壌流亡を防止するとともに、表面水を安全に流下させる水路機能を有しているが、未舗装道路のため道路自体が侵食をうけており、敷き藁、落ち葉などによる表面被覆も一時的な侵食防止法としかになっていない。

既設私道については水路兼用道路としての計画も可能ではあるが、負担金、道路敷地の捻出が困難で、単独水路を設置すれば、私道の幅員が減少して現況機能が保持できなくなるため、計画を断念した。

○広幅水路の設置基準

- ①現況幅員が2 m程度あり現況において軽四輪車が通行しているもの。
- ②現道が侵食を受けているもの。
- ③二戸以上の受益のあるもの。

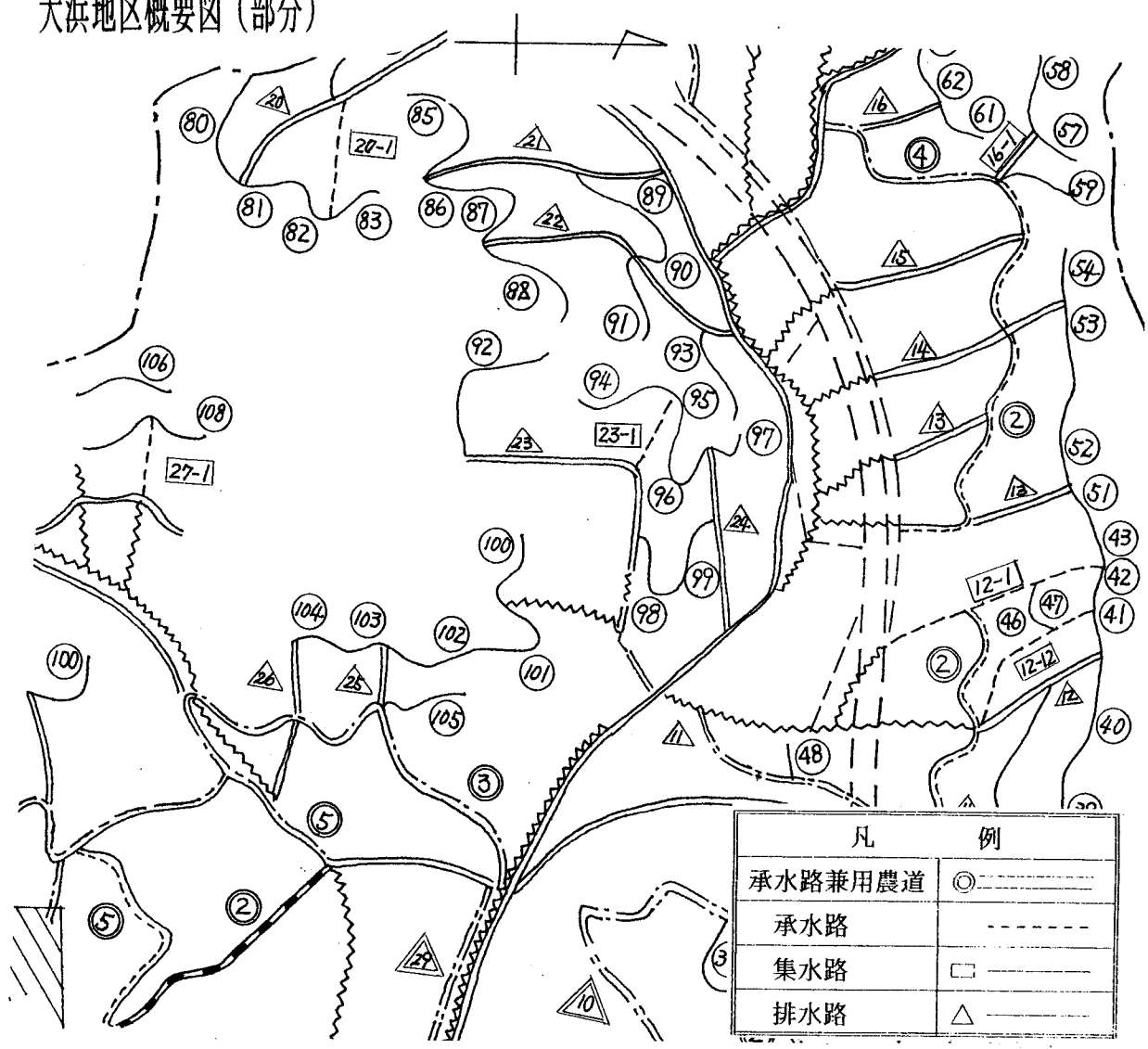
○予想される広幅水路の効果

- ①既設道路、承水路兼用農道との連絡により、営農資材、収穫物の運搬が一輪車、軽四輪車で可能となり、労働条件が向上するとともに密度の濃い営農が展開できる。
- ②コンクリート全面被覆により、雨水が安全に流下でき、土砂流亡の防止も可能となる。
また、水路幅が広く水路壁が低いため維持管理が容易で、広幅水路を横断しての農作業も可能である。
- ③コンクリート量は増加するも、型わく量の減少と機械掘削が可能となることにより、 0.4×0.4 の三方張コンクリート水路と 0.1×2.0 の広幅水路がほぼ同じ単価となるので対コスト効果は大きくなる。

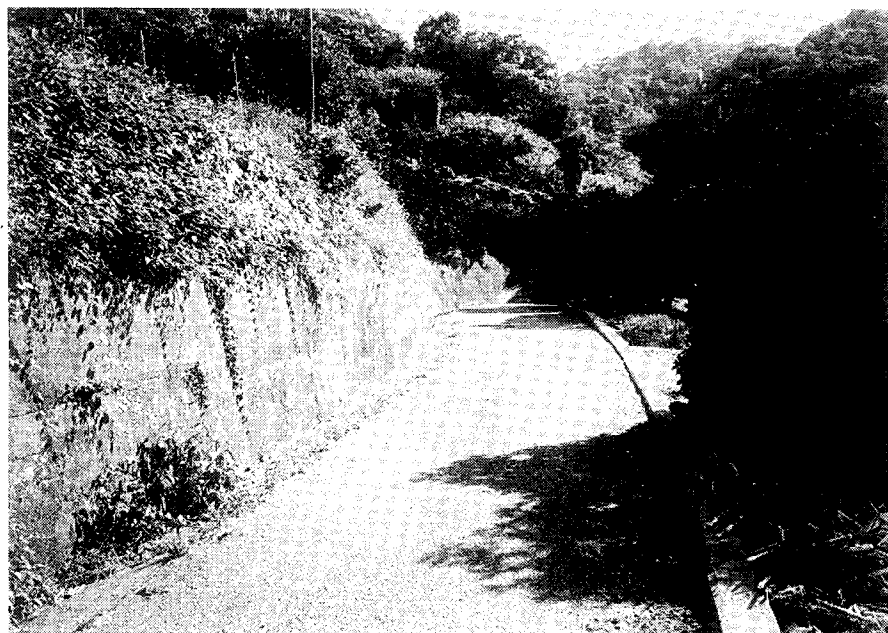
6. 事業完了後の実態

以上の方針で施工し、平成5年に向東第二地区が完了した。完了後の実態を予想するために、県営農地保全整備事業で昭和54年に完了した大浜地区（因島市）の現状を調査したので参考までに報告する。

大浜地区概要図（部分）



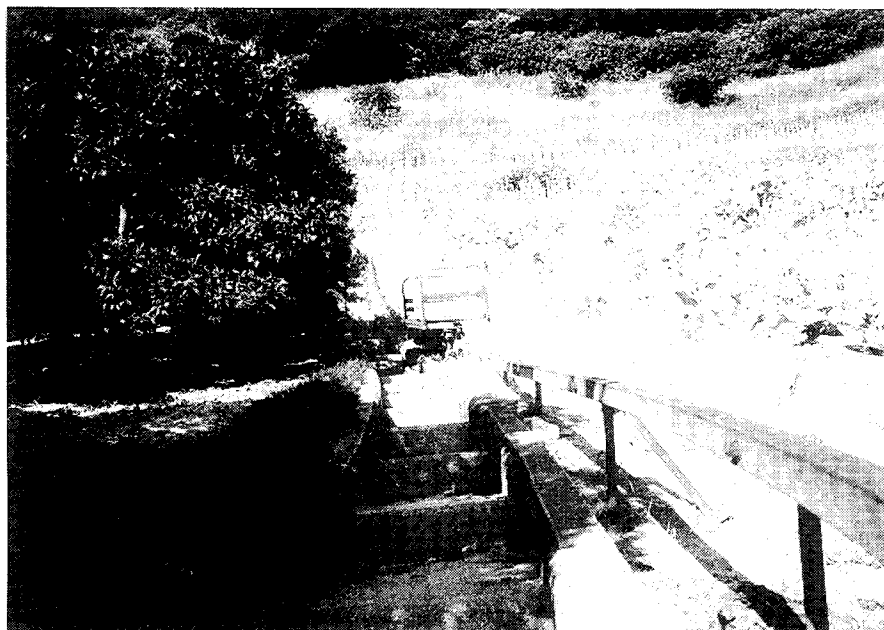
承水路兼用農道
左側張コンクリート
路面状況良好



コンクリート構造物は風化も見られず、十分機能を発揮しており、道路の両側とも草刈りなどが行われている。なお、雑草が繁っている場合は、側溝が草に覆われて位置や構造を確認しないと走行しづらく感じるが、U字側溝でなくL型側溝の場合は車輪がはまらないから、事情を知っている受益者は多少見通しが悪いことを除けば不便は感じないだろう。

十分管理されている
階段水路

農作業用のモノレールがあり、右側はたばこを栽培している。畑の上流端に角フリュームの承水路が見える。



雑草が繁った状態
の階段水路

このままでは歩行できないが水路としての機能は発揮できている。皮肉なことに侵食防止には法面の草が役立っている。



集水路や排水路についても管理が十分行われているものも多く見受けられるが、たばこ畑の例のように、侵食防止のためか草刈りをしているものは少なく、草に覆われてなかなか見つからないものもある。

広幅水路

十分管理されているもの

左はキウイフルーツの畑である。ライニング幅が広く雨水が流れる頻度が多いためか路面に雑草がみられない。



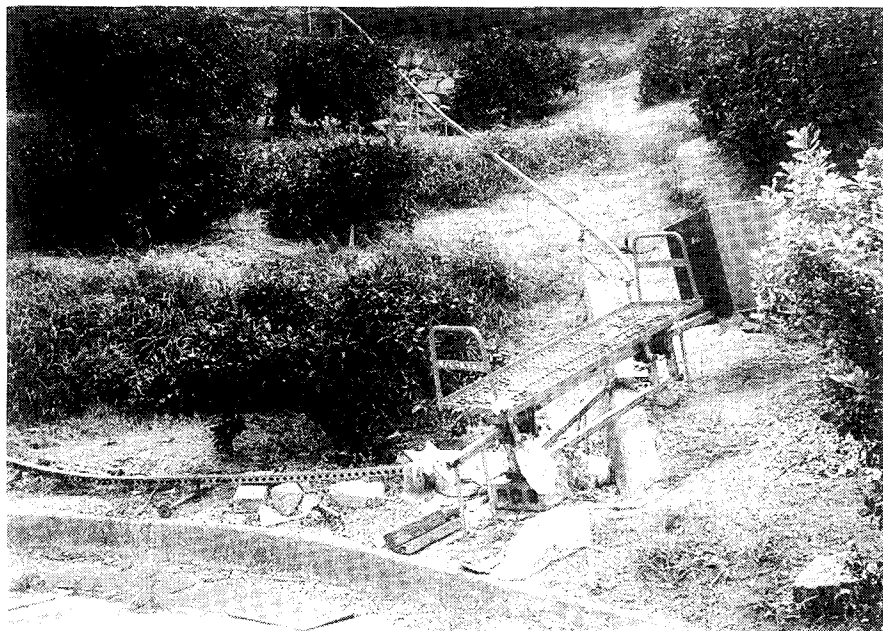
広幅水路と承水路 兼用農道の接点

右側の土砂溜槽は承水路兼用農道の上流の排水路からの暗きょを設置している。土砂溜槽は用水源として利用されている。



大浜地区の現状を見ると、急傾斜で慢性的な用水不足まである悪条件の重なった島しょ部で樹園地の荒廃を農地保全整備事業が防いできたといえるのではないか。

承水路兼用農道沿
いにあるモノレー
ル



おわりに

複雑な地形と狭隘な樹園地が多い管内島しょ部においては、広幅水路は有効に利用されているが、受益者から多くの希望が出されても整備水準から、これに応えられないこともある。また、管内の農地保全整備事業がなされていなければ、悲惨な状況になっていたことが容易に推測でき、農業、農地の保全に果たした農地保全整備事業の効用は計り知れないものがある。

整備した諸施設が有効に利用され、より積極的な農業経営により、地域の活性化に寄与することを期待し事例報告を終わります。

1. 地盤工学の変遷

土質工学会が地盤工学会に名称が変わったように、従来の土質・基礎 (Soil and Foundation) が地盤工学 (Geotechnical Engineering) と呼ばれるようになってきている。また、地球環境の観点からとらえた地盤工学を、環境地盤工学 (Environmental Geotechnology) と呼び、第2回の環境地盤工学の国際会議1996年に大阪で開催されるにいたっている。このように、地盤技術も他の工学分野と同様に急激に進展してきている。ここに、年代をさかのぼって地盤技術発展の経緯を簡単に振り返ってみる。

(1) 杭基礎工法の開発 (1960年代)

この時代は高度成長期に入ろうとしていた時期で、大型構造物の需要が高まり、それらの基礎杭として、鋼管杭が開発されるとともにディーゼルパイルハンマが導入された。しかしながら、ディーゼルパイルハンマの普及と同時に振動・騒音が社会問題にまで発展し、その対策工法の開発が精力的に行われたのがこの時期である。その結果、コンクリートパイルや網管杭のような既製杭工法として、プレボーリング工法や中振り工法で代表される埋め込み杭工法が、当方で100種類以上も開発されている。一方、同じ騒音・振動対策型の杭基礎工法として場所打ち杭工法が導入され、普及が始まったのもこの時期である。すなわち、フランスのベント社から導入されたベント工法とも呼ばれているオールケーシング工法をはじめ、ドイツのザルツギッター社から導入されたリバーササーキュレーションドリル工法 (短くリバーサ工法と呼ばれている) および、アメリカのカルウエルド社から導入したカルウエルド工法とも呼ばれてきたアースドリル工法は、ほぼ同じような時期に導入された場所打ち杭工法で、いずれも孔の掘削法に特徴があつて、孔を掘削したのち鉄筋を建て込み、トレミー方式によりコンクリートを打設して杭を造成する方法においては同様であることから、わが国では場所打ち杭3工法として普及してきた。

このように、1960年代は公害対策型の杭基礎工法の開発に勢力が集中されている。

(2) 深層地盤改良工法の開発 (1970年代)

更に経済の発展とともに、臨海部の開発に伴う軟弱地盤改良の需要が伸びたこともあつて、この時期は深層地盤改良技術の開発が目立った。例えば、

- ① 従来型のサンドコンパクションパイル工法やサンドドレーン工法に加えて、現在のボーード系ドレーン工法の元祖ともいふべきペーパードレーン工法の導入、袋詰めサンドドレーン工法の開発など、バーチカルドレーン工法の普及。
- ② 軟弱な粘性土地盤を、セメントや石灰などの固化材を用いて柱状に固化処理をする深層混合処理工法の開発
- ③ 高圧ジェットで地盤をほぐしながらセメントスラリーで置換えまたは固化処理を行なうジェットグラウト工法の開発

- ④ 地下水の汚染問題を引き起こしたことにより、注入材をはじめ管理方法など各種の規制を受けたことから開発された現代型の薬液注入工法の普及
- ⑤ 補強土工法の元祖ともいうべきテールアルメ工法の導入

(3) 補強土工法、ジオテキスタイル工法（1980年代）

フランスのテールアルメ工法に対応したように、イギリスのテンサー社から合成樹脂系のジオグリッドが開発され、これが引き金になって欧米ではジオテキスタイル工法が急激に頭角を表してきた。ジオテキスタイルは土の補強効果があるばかりでなく、各種機能を有することから、その用途も広く、わが国における普及にもめざましいものがある。また、地山の補強工法として、ソイルネーリング工法をはじめとする鉄筋類の挿入工法も、補強土工法の仲間に入ってきた。このように、'80年代はテールアルメ工法、ジオテキスタイル、鉄筋補強工法、アンカー補強工法などによる、補強土盛土工法、補強土壁工法、地盤補強工法、斜面補強工法などの開発普及が行われてきている。

(4) 建設発生土の利用技術をはじめとする環境地盤技術の開発（1990年代）

現在は、'70年代、'80年代に開発した工法の更なる普及および応用技術の開発が行われるとともに、平成4年に始まった建設省の総合技術開発プロジェクトである「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発」にみられるように、環境問題に対処した技術開発に関心がもたれている。また、ジオテキスタイルで代表される織布や不織布を用いたいわゆるジオテキスタイル工法は、ジオグリッド、ジオメンプレ、ジオコンポジットなどが加わり、その種類や機能が多様化してきたことから、その名称もジオテキスタイルからジオシンセテックスと呼ばれるようになってきている。さらにまた、建設省の土木研究所と共同研究が進行中であるハイグレードソイルと呼ばれている混合補強土工法も土のグレードを上げる工法として新しく参入してきており、土の高付加価値化が進められている。

2. 補強土工法

1970年代の中ごろに、フランスからテールアルメ工法が導入されてから、補強土工法の普及が始まり、ジオグリッド（geogrids）やジオネット（geonets）といったジオテキスタイル系の材料が開発されるにしたがって、シート・敷網工法、鉄筋類挿入工法、長繊維混合法、単繊維混合法など補強土工法に属する各種工法が急速に普及してきた。一方、ジオシンセテックスは、ジオテキスタイルの発展結果の産物で、材料領域がテキスタイルに加えて、プラスチック系のものまで広がってきていることから、ジオテキスタイルという名称の領域ではカバーしきれなくなったことから派生した用語ということが出来る。しかしながら、これらの対象となる用途機能は、基本的にはジオテキスタイルと変わらず、補強土以外にも、透水材、遮水材、分離材などとして幅広く使用されている。

土の中に補強材の役目をする部材を挿入して、土を補強する工法は古くから存在しており、わが国においても、敷丸太工法、敷そだ工法などに代表される表層地盤の補強工法は長年にわたって用いられてきた。しかしながら、近年になって新しい材料が開発され、いろいろな方法で土を補強することが多くなるにつれて、補強土工法の概念が広がり、補強材を用いて土を補

強する工法を総称して、補強土工法と呼ぶようになってきている。図-2.1に補強土工法の構成経緯を示す。また、補強土工法を使用形態で分類したのが表-2.1である。

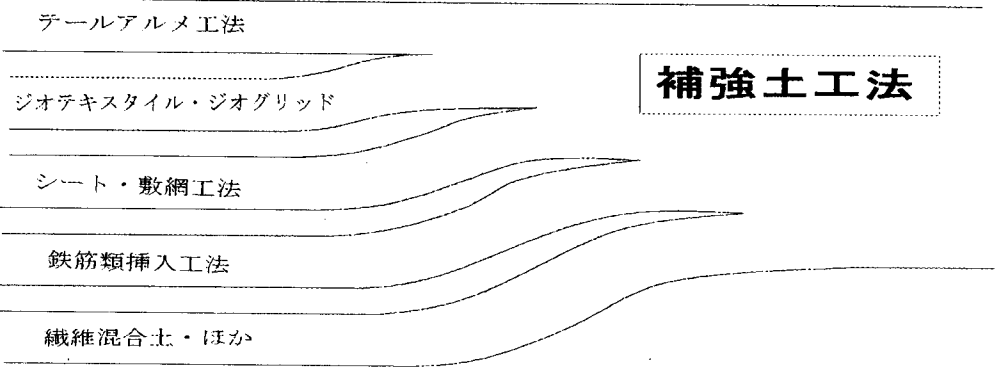


図-2.1補強土工法発展の経緯

図-2.1に示すように、当初テールアルメ工法が導入されたときに、仏語のテールアルメを補強土と呼んだのがはじめてで、その後、ジオテキスタイルによる補強土を含めたものから、シート・ネット工法、鉄筋挿入工法などを含む各種の工法が補強土工法と呼ばれるようになってきた。

表-2.1において、壁面を持つ盛土の補強土工法は、従来の擁壁工に対応しているもので、

表-2.1 補強土工法の分類

分 類	模 式 図	例
(A) 壁面をもつ盛土の補強工法		- テールアルメ工法 - ジオグリッドによる補強土壁工法 - 多数アンカー式補強土壁工法 ほか
(B) 地盤・盛土の補強工法		- シート、ネットなどによる表層地盤補強工法 - シート、ネットなどによる盛土補強工法
(C) 自然地山の補強工法		- 鉄筋類挿入工法 (ソイルネール工法 ほか) - 網状鉄筋類挿入工法 (ルートバイル工法 マイクロバイル工法 ほか)

土をほぼ鉛直に盛立てる工法として発展してきた。この工法では、盛土の補強のほかに鉛直の壁面材を用いて、盛土材料の崩落を防止する構造になっている。補強材としては、テールアルメ工法が用いている帯状鋼板のほか、ジオグリッド、鉄筋メッシュ、などが使用されている。さらに、最近ではテールアルメ工法の帯状鋼板に替わって、ジオテキスタイル系のベルト状の補強材を使用した補強土壁工法も用いられている。

一方、多数アンカー式補強土壁工法は、これまでの摩擦型の補強とは異なり、アンカーと壁面材とで盛土材を拘束した形で補強する新しい形式の補強盛土として注目されている。

地盤・盛土の補強は、軟弱な表層地盤の支持力の増大や、盛土ののり面の安定を図るもので、不織布やジオグリッドなどを地中に敷き込む工法がこれに当たる。

自然地山の補強工法は、鉄筋や帯状の鉄板を打ち込んで自然斜面や切り土斜面を補強する工法として発展してきた。

3 ジオシンセテックス

3.1 ジオシンセテックスの種類と用途機能

3.1.1 ジオシンセテックスの種類

ジオテキスタイルは、本来土質材料や地盤とともに用いられる透水性の繊維材料と定義され、織布 (woven fabrics) , 編布 (knitted fabrics) , 不織布 (non-woven fabrics) などがこれに相当するが、これに帯紐 (webs) 、マット (mats) 、ジオネット (Geonet) , ジオグリッド (geogrids) などの関連製品の総称して用いられてきた。広義には、不透水膜であるジオメンブレン (geomembrane) やジオコンポジット (geocomposite) などもジオテキスタイルの領域に含まれていたが、材料が多様化するにしたがって、いわゆるテキスタイル以外のものまでジオテキスタイル呼ぶことに無理があることから、これらを総称してジオシンセテックス (geosynthetics) と呼ぶようになっていく。ジオシンセテックスには多くの種類があるが、おおよそ以下のようにまとめることができる。

(1) 不織布 (Nonwoven geotextile)

繊維をシート状のウェブ (web) と呼ばれる形にし、織機や編み機を使わないで、化学的方法 (接着剤を用いる方法) によるか、機械的方法 (かぎ針による絡ませ ; ニードルパンチ法) 、熱的方法 (熱と圧力を用いる方法) によって結合させて平面形状にしたもので、長繊維と短繊維のものに大別される。

(2) 織布 (Woven geotextile)

平行に並べた縦糸に、横糸を直角に交差させた組織になるように織り機を用いて作ったもの。

(3) 編物 (Knitted geotextile)

糸状繊維を組み合わせて絡ませ、交差などして連続したループで構成されたものをいう。織布に比べて伸縮性が大きい。

(4) ジオグリッド (Geogrid)

引張部材を交点部で強固に結合あるいは一体とし、規則的な格子構造を持つ合成高分子等からなるシート。

(5) ジオネット (Geonet)

網状構造で、繊維材に囲まれた開口部が比較的大きく、交点部は結節あるいは一体となっている合成高分子等からなるシートであり、一般の織物や編物と区別されている。

(6) 複合製品(Geocomposite)

単一の製品は、各々長所と短所の機能を持っているため、製品の長所をお互い組み合わせる必要な機能を発揮させる複合製品。主に、排水を主体としたものと遮水を主体としたものがある。

(7) 連続長繊維混合土(Geofiber)

砂質土に連続長繊維をランダムに混入し、この繊維の引張力によりせん断強度の増加を図る補強土。主に、侵食防止工等ののり面保護および擁壁工として用いられる。

(8) ジオメンブレン(Geomembrane)

透水性の極めて小さいもの、または不透水性の膜状材料で、遮水シートに用いられる。

3.1.2 用途機能と物性

(1) 用途機能

- ① 排水機能；降雨や地盤中の余剰水等構造物の機能上不要な水を集水し、排出する機能
- ② ろ過機能；水の流れによる土粒子の流れを抑制し、水のみを通過させる機能で、他の機能と併用して用いられることが多い
- ③ 分離機能；粒径の異なる、または性状の異なる土層の相互混入を防ぐ機能
- ④ 補強機能；ジオテキスタイルの持つ引張りおよび摩擦特性により土等の安定を向上させる機能
- ⑤ 保護機能；構造物の部材の損傷を防ぐ機能。例えば溜池や廃棄物処理施設などの底面をジオメンブレンで遮水する場合に、鋭利な角ばり等によるジオメンブレンの損傷を防ぐ
- ⑥ 遮水機能；溜池や廃棄物処理などにおいて、水・廃液の土構造物内への浸透を防ぐ機能

(2) ジオシンセテックスの物性

ジオシンセテックスの素材としては、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリビニルアルコール、ポリアミドおよび塩化ビニールなどがあり、製品の種類は160を越えているといわれている。これらの物性もそれぞれ異なるものであるが、代表的物性を表-3.1に示す。

表-3.1 ジオシンセテックスの一般的な物性

種 別	織 布	不 織 布	ジオグリッド
厚 さ (mm)	0.5 ～ 1.0	2 ～ 11	(リブ) 0.5 ～ 1.3
質 量 (g/m ²)	100 ～ 900	100 ～ 900	200 ～ 940
引張り強さ (kgf/m)	1,000 ～ 20,000	300 ～ 2,800	(縦糸のみ) 1,200 ～ 8,000
伸 率 (%)	13 ～ 32	70 ～ 150	(縦糸のみ) 7 ～ 23
引裂き強さ (kgf)	50 ～ 240	9 ～ 35	—

3.2 ジオシンセテックスの特性評価

ジオシンセテックス製品には、先にも述べたように多種多様なものがあり、その機能、用途も多岐にわたっている。したがって、土構造物の補強に際して最適なジオシンセテックスを選定するには、まず、それぞれの特徴を十分に把握することが重要である。そのためには、ジオシンセテックスの種類や機能、用途、あるいは、使用される箇所における築造時の作業等の環境への対応性、築造後の長期的な環境要因に対する耐久性など、様々な観点から選定する必要がある。

3.2.1 ジオシンセテックスの諸元(厚さ・重さ・目合い)

ジオシンセテックスの基本的な形態を示す指標に、厚さ・重さ・目合いがある。排水材として使用されるジオシンセテックス(不織布等)は、厚さ・重さの値が、また補強材として使用されるジオシンセテックス(ジオグリッド・ジオネット・織布等)は、重さ、目合い、ときとして厚さが着目すべき項目となる。

- ① 厚さ； ジオシンセテックスを土中に敷設して土中水を排水するため面内方向の透水性を期待する場合、透水性とともに厚さを考慮する必要がある。主に厚さを考慮すべきジオシンセテックスとしては、織布と不織布がある。
- ② 重さ； 重さは、1 m²当たりの単位重量のことで、製品分類の基準とすることが多い。厚さ、重さおよび強度は相関関係にあり重さが大きくなるに従い厚さが厚くなり強度も増加するのが一般的である。
- ③ 目合い；目合いは、ジオグリッド、ジオネットあるいは織布の多角形(主に4角形)である開口部の大きさを示す指標であり、ロール長さ方向を縦方向、ロール幅方向を横方向としてあらわされる。

3.2.2 ジオシンセテックスの強度・変形特性

ジオシンセテックスの強度・変形特性には、引張特性とクリープ特性とがあり、これをもとに設計上必製となるジオシンセテックスの設計引張り強さや引張り剛性などが決定される。このため、適切な試験によって合理的な値を決定する必要がある。

(1) 引張り特性

ジオシンセテックスの引張特性としては、破断強さ、引張剛性、引張強さと伸びひずの関係などが設計上必要となる。

ジオテキスタイルの引張試験は、ジオグリッド、ジオネット、織布、不織布等の種類を問わず、試験温度、引張り速度、供試体数などの共通条件を満足するものとなっている。

(2) クリープ特性

ジオテキスタイルを用いた補強土の設計では、ジオテキスタイルの設計引張り強さとして、単に破断強さを用いるのではなく、土の破壊ひずみに対応する引張り強さやクリープを考慮した限界引張り強さを用いる。クリープを考慮した限界引張り強さ T_{cr} は、一般に引張り試験によって求めたジオシンセテックスの破断強さ T_{max} にクリープ低減係数 μ を乗じて次式のように表される。

$$T_{cr} = \mu \cdot T_{max} \quad (3.1)$$

ここに、 T_{cr} : クリープを考慮した限界引張り強さ(tf/m)

μ : クリープ低減係数

T_{max} : ジオシンセテックスの破断強さ(tf/m)

である。クリープを考慮した限界引張り強さ T_{cr} の定義としては、クリープによる破壊現象が明瞭に表れる材料では、荷重を加えてから一定時間に破壊を生じるときの応力で定義される「クリープ破壊強さ」を用いるが、破壊現象が明瞭でなく、クリープひずみが徐々に増加するような材料では、荷重を加えてから一定時間にある規定されたクリープひずみを生じる応力で定義される「クリープ限度強さ」を用いる必要がある。

3.3 ジオシンセテックスによる盛土補強

ジオシンセテックスによる補強土は、壁面を有する盛土、急勾配盛土および敷設材による地盤補強に大別される。ここでは主に盛土の補強について取り上げる。

3.3.1 内的安定と外的安定

補強土の設計に当たって、補強領域を一つのブロックとみなして、その内的安定と外的安定とに分けて検討する。内的安定とは、外力に対してブロック体の形状を維持し、かつそれに十分対抗しうるものであるかどうかということ、補強土盛土工法の設計の基本になる。一方、外的安定は、内的安定の結果補強土ブロックが破壊しない条件で、外力に対して安定であるかどうかを検討するもので、円弧滑り、滑動および沈下の検討がこれに当たる。

3.3.2 設計引張り強さ

補強土の設計は、無補強の状態での円弧すべりに対して所定の安全率 ($F_s \geq 1.2$) を満足しないときに、ジオシンセテックスを用いることによって、安全率 F_s を所定の値まで引き上げるといった考え方によっている。財団法人土木研究センターの「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」では、図-3.1に示すように、ジオシンセテックスの張力 T をすべり面方向の成分 ($T \cos \theta$) とすべり面と直角方向の成分 ($T \sin \theta$) とに分けて考え、 $T \cos \theta$ が引張り力により土塊のすべりを引き止める効果を、 $T \sin \theta$ がすべり面に作用する

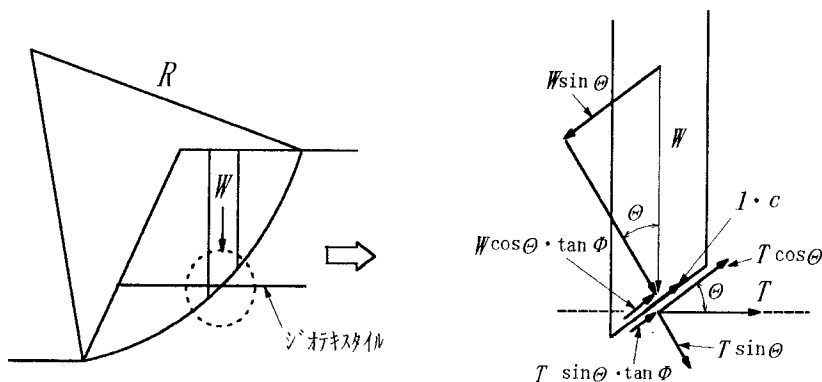


図-3.1 ジオテキスタイルによる補強効果

拘束圧を増加させて、土自身の摩擦抵抗を増加させる効果を発揮し、両者ですべりに対して抵抗するとした次式から、安全率を求める方法を用いている。ジオシンセテックスの必要引張り力は、敷設位置が分かっているならば、(3.2)式で $F_s = 1.2$ とにおいて、 T が最大となる円弧を求めれば算出できる。

$$F_s = \frac{R \sum \{c \cdot l_i + (W_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i) \cdot \tan \phi + T_i \cos \theta_i\}}{R \sum (W_i \sin \theta_i)} \tag{3.2}$$

ここに、 R : 滑り円弧の半径 (m)、 c : 土の粘着力 (tf/m²)、 l : 分割片で切られた滑り面の弧の長さ (m)、 θ : 土の内部摩擦角 (°) である。

3.3.3 安全率

ジオシンセテックスの設計引張り強さは、単に材料の引張り強さを用いるのではなく、次式に示すように、各種の安全率を考慮して決める。

$$T_A = \frac{T_{\max}}{F_{cr} \cdot F_D \cdot F_C \cdot F_B} = \frac{T_{cr}}{F_D \cdot F_C \cdot F_B} \tag{3.3}$$

ここに、 T_A : ジオシンセテックスの設計引張り強さ

$T_{\max}$: ジオシンセテックスの最大引張り強さ

F_{cr} : クリープを考慮した材料安全率

F_D : 耐久性を考慮した材料安全率

F_C : 施工中の損傷を考慮した材料安全率

F_B : 接合部の強度低下を考慮した材料安全率

T_{cr} : クリープを考慮したジオシンセテックスの限界引張り強さ

である。それぞれの安全率は、使用条件材質のどによって異なるため、多くの室内試験あるいは現場試験データのもとに定めなければならないが、おおよその目安を示したのが表－3.2である。

表－3.2 安全率の目安

安全率の種類	設計安全率(常時)
円弧すべりに対する安全率	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
クリープを考慮した安全率	$F_{cr} = 1/\mu$
耐久性をを考慮した安全率	$F_D = 1.0 \sim 2.0$ (条件によって異なる)
施工中の損傷を考慮した安全率	$F_C = 1.0$ (岩ずりの場合は大きくなる)
接合部の強度低下を考慮した安全率	F_B : 製品によって異なる。(要試験)
ジオテキスタイルの通水能力に対する安全率	$F_s \geq 2.0$
引き抜きに対する安全率	$F_s \geq 2.0$

3.3.4 壁面工

壁面工は、壁面の剛性、構造形式、ジオシンセテックスの連結方法などは、補強土壁の全体的な安定性、施工性ならびに景観などに大きく影響する重要な役目を果たしている。その主なものは以下のとおりである。

① 巻き込み形式

所定の層厚毎にジオシンセテックスを表面で巻き返して土中に定着させるか、あるいは次段のジオシンセテックスと連結させながら壁面を構築していくもの。

② パネル形式

定型寸法のコンクリートパネルをジオシンセテックスと連結させながら、壁面を垂直に形成していくもの。

③ 蛇かご形式

ある程度の剛性をもつジオシンセテックスを用いてのり枠を形成し、その中に壁面材を投入しながら壁面を構築していくもの。

④ PCコンクリートブロック形式

コンクリートブロックを壁面材とし、それにジオシンセテックスを連結させて壁面を形成させるもの。

3.4 敷設材工法

ジオテキスタイルの機能のうち、軟弱地盤対策工として用いられている対象を整理すると、概略次のようにまとめることができる。

- (1) 盛土の底面あるいは盛土の中に敷設することによって、支持力の確保、トラフィカビリティの確保、材料の分離などを目的とするもの。

ジオグリッドのような引張り剛性の高い材料をに組み立てて、箱状あるいは版状にして、粒状材を充填することによって比較的曲げ剛性の高い版状構造を作り、支持力の確保および不等沈下を抑制しようとするもの。

- (3) 砂質系基礎地盤内に多層敷設し、(2)と同様の効果を期待するもの。

- (4) 杭支持構造物背後の盛土体の沈下あるいは切盛土工で、盛土下部の粘性土層厚の違いにより地表面の段差やクラックが発生するのを防止することを目的とするもの。

- (5) 橋台などの偏荷重が作用する杭支持構造物において、急勾配補強盛土をプレロードとして施工し、地盤の変形安定化を待って構造物を築造することによって、地盤の側方流動の影響を軽減しようとするもの。

- (6) 杭頭を鉄筋で連結し、その上にジオシンセテックスを敷設することによって、盛土荷重を軟弱地盤に伝達させずかつ周辺構造物にも変状をさせないようにするもの。

4. 鋼材による補強土工法

すでに述べたように、A. ビダー（仏）が、壁面パネルの背面にストリップと呼ばれる帯鋼の補強材を挿入する補強土工法（テールアルメ工法）を発明したのに続いて、テンサー社（英）がジオグリッド補強土を開発してから、補強土工法が急速に普及してきた。テールアルメ工法は、わが国においても早くから導入され、多くの実績を持つにいたっている。その後、わが国固有の工法として多数アンカー工法が開発されたほか、ソイルネール工法、ルートパイル工法、帯状補強土工法、マイクロパイル工法など、鋼材による補強土工法も各種開発あるいは導入さ

れている。鋼材による補強土も補強断面の形態的には、ジオシンセテックスによる補強土工法とほとんど同じであるが、テールアルメ工法および多数アンカー工法は、やや異なる独自の設計法を用いている。ソイルネール工法やマイクロパイル工法は、地山の補強が対象で、必ずしもまだ設計法が確立しているとはいえないが、補強材がすべり面のせん断抵抗を高める設計法を用いる点において、ジオシンセテックスによる補強盛土の設計法とほぼ同様と考えてもよい。ここでは、テールアルメ工法および多数アンカー工法の設計の考え方を要約して述べることにとどめる。

4.1 テールアルメ補強土壁

テールアルメ工法の場合は、無補強の場合のすべり面を想定して、すべり面より壁側を主働ゾーン、その背面を抵抗ゾーンと呼び、主働ゾーンの土塊によって発生する土圧を抵抗ゾーンに敷設してあるストリップの引抜き抵抗が受け持つといった原理に基づくもので、多くの実績に基づくデータから独自の設計法を打出している。例えば、主働領域の決め方、土圧の深度方向の分布、ストリップの摩擦係数の深度方向分布などがそれである。また、補強材であるストリップに作用する張力については、すべり面と交差するところで最大になるとし、それに対応するストリップの長さおよび水平方向の敷設本数を定めている。

(1) 補強材に作用する引張り力

図-4.1は、ストリップに作用する引張り力の関係を示したもので、主働領域と抵抗領域を境にちょうど綱引きをしているように引張り力が分布する。スキンパネルと呼ばれる壁面材には、上段のストリップとの間の土圧として、 T_0 が残る。図において、 ϕ は盛土材のせん断摩擦角、 T_m はストリップに作用する最大引張り応力、 λ は地表面における主働領域の水平長さで、テールアルメの設計では盛土高さ H の30%以下とみなしている。

(2) 土圧係数

多くのテールアルメ構造物の計測結果を総合すると、土圧係数は地表面に近いほど大きく、地表面からほぼ6 m付近から主働土圧よりも小さくなる傾向にあり、その分布傾向から、図-4.2に示すように、地表面に静止摩擦係数 K_0 をとりここから6 mまで直線的に主働土圧に変化するものとし、それより下部は主働土圧係数を用いるようにしている。

(3) 摩擦係数

補強材（ストリップ）と盛土材の摩擦係数も土圧係数と似たような傾向にあって、深さによって、摩擦係数が異なるといったデータがえられており、仮想壁面高の上端から6 mまでの間の摩擦係数として、見かけの摩擦係数 f^* を用い、6 m以深にはストリップと盛土材の摩擦係数 $\tan \phi$ を用いている。この関係を前項の土圧係数の分布と同じ図-4.2に示す。

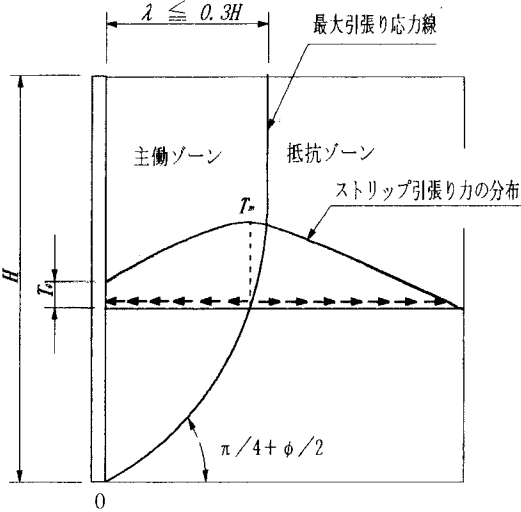


図-4.1 ストリップに作用する引張り力

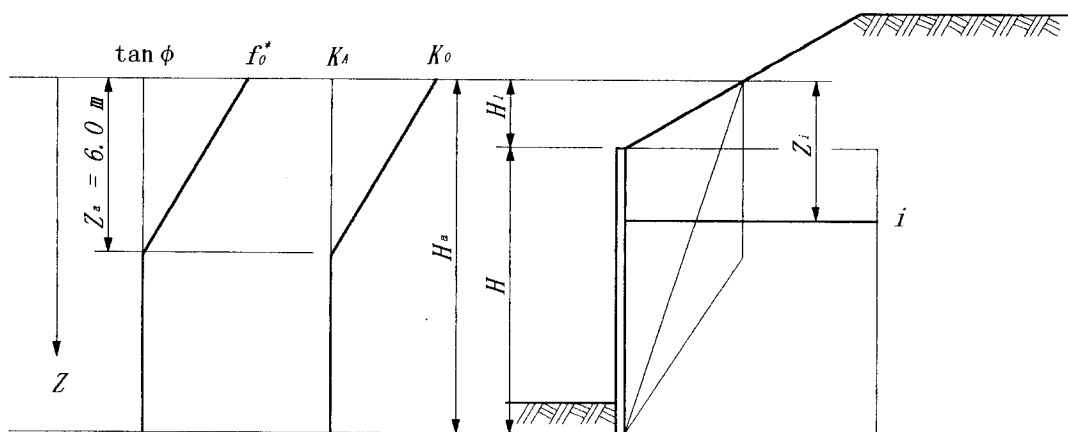


図-4.2 深さと土圧係数、見かけの摩擦係数の関係

図に示すように、見かけの摩擦係数 f^* は f_0^* を最大にして、6 m まで直線的に変化している。 f_0^* はストリップの種類によって次のように与えられている。

- ① 平滑補強材の場合 : $f_0^* = \tan \phi$ (ϕ : 盛土材のせん断抵抗角)
- ② リブ付き補強材の場合 : $f_0^* = 1.2 + \log U_c$ (U_c : 盛土材の均等係数)

4.2 多数アンカー式補強土壁

多数アンカー式補強土壁工法は、ジオテキスタイルやテールアルメ工法とは異なった補強土理論に基づく工法で、わが国のオリジナルともいえる環境の中で発展してきた工法である。補強壁盛土の構成は、図-4.3に示すようにテールアルメ工法の補強材であるストリップに換わって、先端にアンカープレートをもつロッドが壁面材と結ばれており、アンカープレートと壁面材との間の盛土材が拘束された状態で補強されるといった原理に基づいている。この場合、

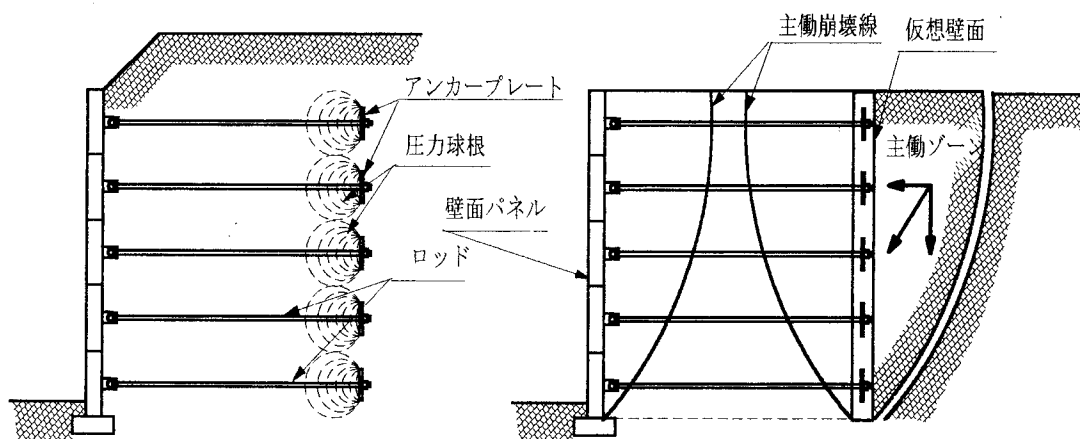


図-4.3 多数アンカー式補強土壁工法の構成

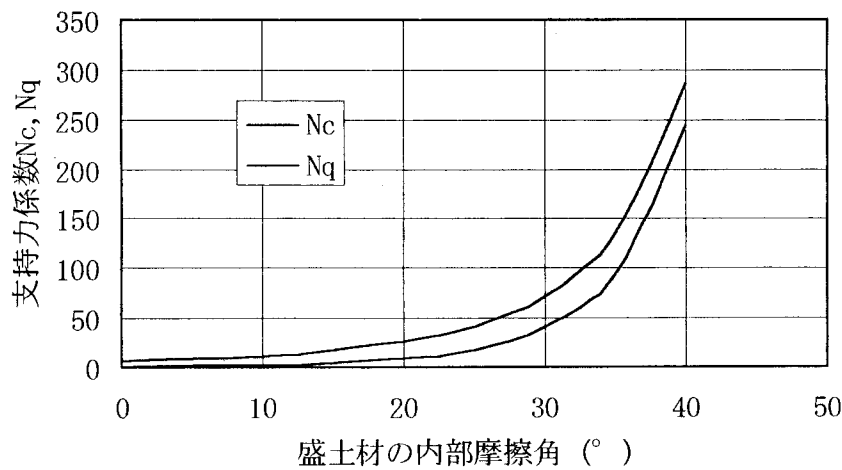
アンカー部には、そこに作用する主働土圧に対抗する引張り力のために互いに干渉する圧力球根が構成されて、見かけ上の背面壁ができる。この壁が、同図に示すように二重矢板を構成するものと考え、内部の土圧が互いに作用して二重矢板の内部が一体となったブロック（ケーソン）となって、転倒および滑動の外力に対して抵抗すると考えることができる。すなわち、設計検討においては補強土部分を内的安定、ブロックの外からの荷重に対しては外的安定として取り扱うことができる。

アンカープレートの引抜き抵抗力はTerzaghiの支持力公式と同様に、次式によって与えられている。

$$Q_{pu} = c \cdot N_c + q_p \cdot N_q \tag{4.1}$$

$$Q_{pa} = \frac{Q_{pu}}{F_s} \tag{4.2}$$

ここに、 Q_{pu} ：アンカープレートの極限引抜き抵抗力度（kgf/m²）、 q_p ：地盤の拘束圧（kgf/m²） Q_{pa} ：アンカープレートの許容引抜き抵抗力度（kgf/m²）、 F_s ：安全率（＝3）である。



図－4.4 盛土材の内部摩擦角と支持力係数

また、式における支持力係数 N_c 、 N_q は、それぞれ理論式および実測データから盛土材の内部摩擦角と対応した数値で与えられているが、その関係をグラフで表したのが図－4.4である。また、図－4.5はテールアルメ工法のような摩擦型補強土と、多数アンカー式補強土壁の拘束補強の場合のほ補強材にかかる引張り力の分布を比較したものである。図からもわかるように、いずれの場合も主働崩壊線を境に補強材が抵抗する形で補強しているが、摩擦型補強の場合は、引張り力が崩壊線を横切るところで最大になり、ストリップの盛土側の端部が0になっている。ただし、壁面には上段と下段の補強材間の土圧あるいは拘束土圧が残留する。

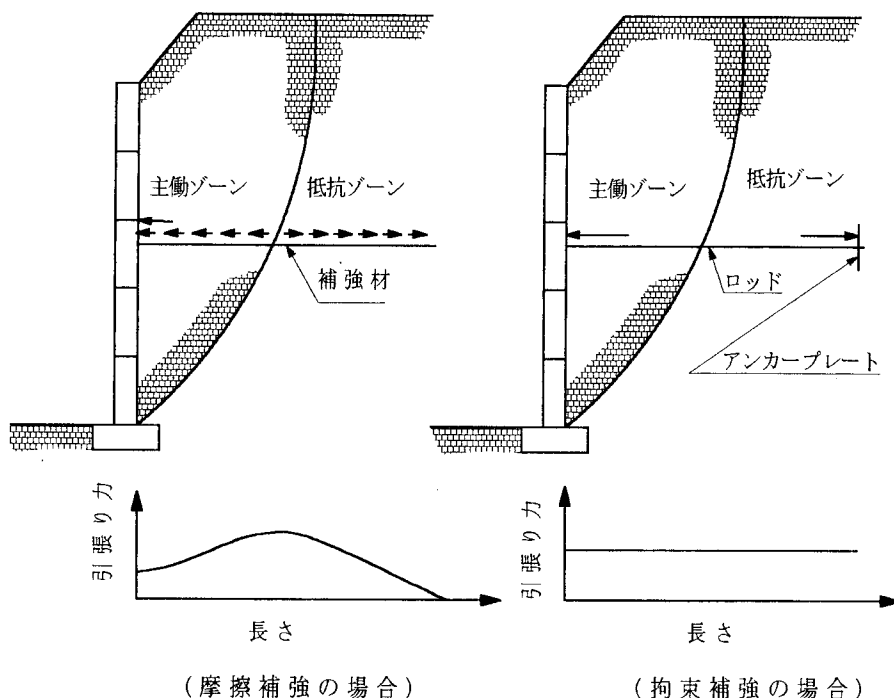


図-4.5 摩擦補強と拘束補強

おわりに

以上、最近のジオシンセテックスおよび鋼材による盛土補強について、現況を取りまとめた。近年とくに多くの繊維メーカーが補強土分野に参入しており、補強材そのものが多様化してきている。筆者が所属する財団法人土木研究センターが行っている建設技術の審査証明事業に対しても年間数件の補強材審査の要請がでている。補強土の領域も不織布を用いた排水補強や、ソイルネール工法、マイクロパイル工法などによる地山補強といった新しい補強土技術が加わり、補強土工法は更に進展するものと考えられる。当土木研究センターにおいても、建設省土木研究所の協力をえて「ジオテキスタイル補強土の普及委員会」を常設委員会とし、ジオシンセテックスによる補強土技術の発展を反映するかたちで設計施工マニュアルの改訂および設計計算プログラムのバージョンアップをするなど、技術メンテナンスに努めているところである。

<参考文献>

- 1) 財団法人土木研究センタージオテキスタイル補強土工法普及委員会：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル、平成9年3月（6刷）
- 2) 財団法人土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル、平成8年6月（11刷）
- 3) 財団法人土木研究センター：多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル、平成8年12月（5刷）
- 4) Chida S. : Recent Engineering for Ground Improvement, AIT Lecture Note, April, 1996

G I Sを用いた広域土地保全計画の策定

—インドネシアの焼畑地域における事例紹介—

農林水産省農業工学研究所

上村 健一郎

1. はじめに

今年の7月から発生し始めたインドネシアの森林火災は周辺諸国への煙害やメダンの飛行機墜落事故、シンガポール沖の海運事故などで世界的な注目を集めている。森林火災の原因は、焼畑や大規模プランテーションの火入れ、造林地の整地に伴う火入れ、石炭層の地中火の延焼など様々な原因が考えられているⁱが、定量的、空間的な原因分析は十分なされておらず、本論で取り上げる焼畑も主要な火災原因である可能性は否定できない。実は、1991年にもかなり大規模な森林火災が発生し、日本をはじめ先進各国が調査団の派遣や消防協力を行っている。この時も今後の森林火災防止策が検討されたが、火災の早期警戒・消火システムの確立などの消火対策とともに、長期的には、火災の延焼を防止するような構造を持った森林の造成、保全が重要であり、そのためには森林地域の適正な土地利用計画の策定が不可欠であるとの指摘がなされているⁱⁱ。

森林火災対策に限らず、熱帯林の保全には、空間的、定量的な土地資源評価に基づいた適正な土地利用保全計画の策定が不可欠である。インドネシア政府は、関係各省庁のコンセンサスに基づいて、1億4千万 ha あまり¹を国土計画上森林として管理すべき地域に指定している。指定された森林区域は、さらにその目的と機能に応じて、保安林、自然保護林、生産林、転換林の4種類に分類される。ただ、こうした森林区分の線引きは十分な土地利用調査や森林資源調査に基づいて行われたものではなく、実際の土地利用や各種開発計画と整合しないケースが少なくない。現在、インドネシア林業省は、世界銀行やF A Oの協力を得て、サテライト情報、空中写真、G I S等を活用した森林資源調査と土地利用計画の策定を進めているが、実際に森林区分が更新されるのはまだかなり先の話になりそうである。

一方、こうした全国レベルの資源調査等におけるG I S導入に先行して、森林回復事業、産業造林事業などのプロジェクトレベルのG I S化は急速に進行しており、最近では空間計画が必要な事業のほとんどが何らかの形でG I Sを活用するといった状況になっている。本報告で紹介する中部スマトラ森林回復事業マクロスタディは、筆者の知る限り、林業省の森林回復事業でG I Sを本格的に導入した最初の事例である。当時筆者はJ I C A専門家としてインドネシア公共事業省情報処理図化センター(PUSDATA)に派遣されており、この中部スマトラ森林回

ⁱ インドネシア国内のマスコミは造林地の整地に伴う火入れを主犯説とする論調が多い。

ⁱⁱ 成熟した森林は、疎林や灌木林などに比べると林地内の湿度が高く容易には火がまわらないため、こうした耐火性の強い森林の適正な配置が火災の延焼防止に有効とされている。

復事業マクロスタディのリモートセンシング・GIS解析に携わった。本稿では、中部スマトラ森林回復事業での筆者らの試みをとおして、広域の土地利用・保全計画策定におけるGISの現状と課題を紹介する。

2. 中部スマトラ森林回復事業の概要

(1) 事業の背景と目的

今回の森林火災報道では熱帯林保全に対する取り組みの遅れを指摘する論調が多いが、インドネシアは熱帯林保全に対して極めて積極的な政策をとっている。例えば、1990年から毎年2%ずつ熱帯林の伐採量を削減し、2040年には産業用林を除いて伐採を全面的に廃止する方針を決定しているが、こうした政策を打ち出している国家は他には例がない。また、政府が森林伐採権を与えている約500社の森林業者（コンセッショナー）に伐採量1m³ごとに10US\$を緑化基金として賦課したり、林業就労者が不法な焼畑を行わないように、アグロフォレストリー開発や村落開発をコンセッショナーに義務づけるなど、多様な乱開発防止策を展開している。

森林回復事業はこうしたインドネシアの熱帯林保全政策の重要な柱の一つであり、政府が5年おきに策定する国家開発計画（REPLITA VI、1994/95－1998/99）では、本事業の推進によって105万haが新たに造林されることとなっている。中部スマトラ森林回復事業は、スマトラ島カンパル川上流域を対象に、焼畑などにより低質化した森林地帯の森林資源の育成と流域の土壌及び水保全を目的とする造林事業である。特にこの事業は1993年当時建設中であったコトバンジャンダムの集水域を対象地域として設定しており、ダム流域の保全を強く意図して計画されている。

日本のOECFでは、1992年からこの事業に対して円借款を実施しており、借款資金は、空中写真撮影、地形図作成、造林対象地の選定及び造林実施計画の作成に係わる費用に充当されている。1993～94年に実施されたマクロスタディでは、リモートセンシング情報などをベースに、造林適地絞り込みの判断素材となる以下のような空間情報のGISデータベースを構築した。

- ① 対象地域の地形的、水文的特性に関する情報
- ② 焼畑地の分布状況等の土地利用情報
- ③ 土壌侵食危険度に関する情報
- ④ 対象地域下流端に建設中のダムに対する滞積土砂の推定発生源に関する情報
- ⑤ 森林区分に関する情報

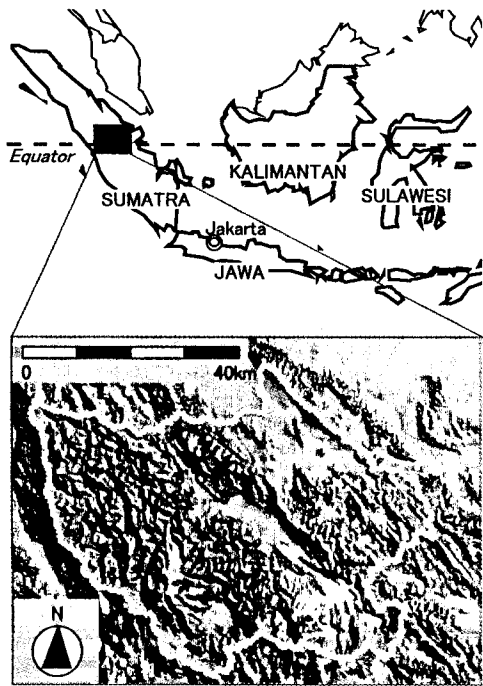
(2) 対象地域の概要

ア. 位置及び地形概況

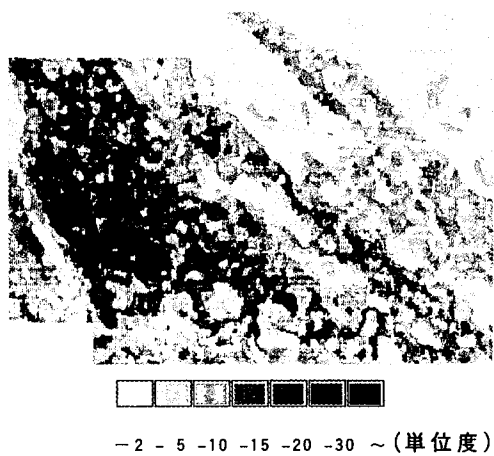
調査対象地域は、スマトラ島のほぼ中央部を東西に横断して流下するカンパル川上流部に位

ⁱ 全国土面積の約74%。

置し、西スマトラ州とリアウ州の州境に位置している。対象地域面積 333,087ha に対し、最高標高 2,260m、最低標高 70mで、その標高差は 2,190mとかなり大きな値を示すが、起伏が激しいのは対象地域の西側のバリサン山脈に属する部分で、東側は比較的穏やかな丘陵及び平地が広がっている。図－1 に対象地域の位置及び地形概況図（地形陰影図）を、図－2 に傾斜区分図を示す。



図－1 位置および地形概況図



図－2 傾斜区分図

イ. 気候

対象地域は熱帯雨林気候帯に位置し、気温は季節的な変動はほとんどなく年間平均 27℃となっている。降雨は年間平均 2,650mm であるが、場所による雨量のばらつきが大きく、対象地域内外の 13 箇所の雨量観測所について平均年間降雨量を見ると、最小 1,621mm、最大 3,754mm となっている。

また、雨季と乾季で降雨量に大きな差が見られ、6～8月の雨量は他の月に比べてかなり少なくなる傾向にある。例えば、調査対象地域の下流側に位置する村落バンキナンでの観測記録によると、もっとも雨量の多い 12 月で 355mm、もっとも雨量の少ない 6 月で 157mm となっている。

ウ. 土壌

インドネシアの土壌農業気象研究所で作成している土壌図によると、この地域の土壌は、低平地では Dystropepts が、また、丘陵地・山岳地では Kanhapludults が卓越している（いづ

れも USDA の Soil Taxonomy 土壌大群レベルでの分類)。Kanhapludults はインドネシアの分類基準では赤黄色ポドソルに相当する Podsolik Haplik に分類されている。西スマトラの赤黄色ポドソルは、「森林下ではかなり高い有機物含量を示すが、開墾後は表土侵食を受けやすく、それに伴って肥沃度も急激に低下する」と言われており、筆者らが行った現地調査でもダムサイト近辺の丘陵地帯で激しいリル侵食、ガリ侵食が観察された。

エ. 土地利用

調査対象地域の土地利用は、まず、カンバル川沿いの平地によく整備された水田が広がり、その周縁の傾斜面に焼畑地が分布している。集落の周辺には、ココやし、バナナ、マンゴ、コーヒー、カカオなどの家庭菜園的な樹園地が分布している。丘陵地には粗放的なゴム園が広く分布しており、一部に大規模なゴムのプランテーション農場が見受けられる。丘陵地帯には天然林と思われる森林はあまり認められず、ほとんどが2次林ないしは灌木林のような状態である。一方、対象地域西部の山岳地帯は基本的には森林で覆われているが、この地域にも焼畑とみられるパターンが無数に点在しているのがランドサット画像上で認められる。

調査対象地域を含むカンバル地方の作物統計によると、水稻、ゴム、陸稲、大豆、とうもろこし、キャッサバ、バナナ、みかんなどが主要作物として栽培されている。

オ. 森林区分

インドネシアにおける森林区分の定義を表－1に示す。対象地域西側の山岳地帯のほとんどが保安林に、東側の低平地・丘陵地は生産林または転換林に指定されている。

表－1 インドネシアの森林区分

森林区分名	区分コード	機能及び目的	施業基準
保安林 (Protection Forest)	HL	水源涵養等国土保全	禁伐
自然保護林 (Nature Reserve Forest)	HAS	動植物の保護、観光、レクリエーション	禁伐
普通生産林 (Production Forest)	HPB	木材生産	択伐（直径 50cm 以上のみ）
制限生産林 (Limited Production Forest)	HPT	木材生産及び国土保全	択伐（直径 60cm 以上のみ）
転換林 (Convertible Forest)	HPK	農地等への転用	皆伐可

資料：国際協力事業団インドネシア共和国セクター別基礎資料、1994

カ. 焼畑

焼畑は、地上部に蓄えられた森林のバイオマスを燃焼により一挙に土壤に還元して利用する農業形態といえることができる。しかし、農民の営農・生活形態からみると焼畑にも様々な形態があり、英語ではこうした形態に応じて、“shifting cultivation”、“slush and burn farming”、“swidden farming”、“recurrent cultivation”など、様々な用語で使い分けられている。本対象地域で卓越する焼畑の形態は、農民自身は集落など一定の場所に定着し、その周辺の森林で耕作地のみを移動させる「定着式焼畑」と考えられる。ただし、衛星画像を判読する

と、集落からのアクセスが困難と思われる場所にも焼畑らしいパターンが多数認められることから、「移動式焼畑」または「伝統的焼畑」を行っている焼畑農民も相当数存在すると推察される。

対象地域の焼畑の営農形態は、乾季の後半に火入れ、雨季の始めに播種を行い、陸稲、キャッサバ、とうもろこしなどを混作する。土地は整地されず倒木や焼け残った根株をよけて播種される。2, 3年の耕作の後、収量が減ってきたり雑草の侵入が激しくなると耕作を放棄して他の場所に移動する。

焼畑に関する統計等既存情報は、特に「伝統的焼畑」農民との接触が困難であるためほとんど存在しないが、インドネシア移住省と英国が共同で実施した土地資源調査プロジェクト（RePPProT; Regional Physical Planning Programme for Transmigration）では、本対象地域を含むリアウ州には49万ha、西スマトラ州には12万haⁱⁱの焼畑地が分布していると報告している。

3. 造林適地選定のためのリモートセンシング・GIS解析

(1) GISデータベースの構築

本マクロスタディで収集・解析されたデータは、リモートセンシングデータ、地形図、土壤図、行政界図、気象情報、社会統計情報など様々な形態や精度、スケールの情報から構成されているが、基本的には、UTM座標系に変換した後、リモートセンシングデータの解像度である30m×30mのグリッドに切り直して、データベース化されている。以下に登録されたデータの諸元を示す。

ア. 標高 (DEM; Digital Elevation Model)

BAKOSURTANAL (インドネシアの国土地理院) 発行の1/50,000 地形図12葉の等高線をデジタイズして作成。デジタイズした等高線間隔は平地で25m、傾斜地で100m。登録データは10cm単位の標高値。

イ. 土地利用 (1992)

ランドサットTMデータ (1992年6月15日撮像) の土地被覆分類に基づく。分類カテゴリーは①森林 (高密度植生)、②森林 (低密度植生)、③灌木林・ブッシュ、④ミックスガーデン・居住地、⑤草地・畑地、⑥水田、⑦裸地・荒地、⑧ゴムエステート、⑨水域、⑩分類不能 (雲) の10カテゴリー。

ウ. 土地利用 (1985)

ランドサットMSSデータ (1985年6月28日撮像) の土地被覆分類に基づく。分類カテゴリーは土地利用 (1992) と同じ。MSSデータの解像度は60m×60m程度しかないが、他の

ⁱ 収量減少の原因については、第一に作物による養分収奪が取り上げられることが多いが、過去の研究調査事例を整理した平井によると、「作物栽培を考慮に入れた養分収支を考えると、作物による養分の収奪は土壌侵食による損失に比較すると取るに足りない」のであり、作物の必須元素のうち、「欠乏する可能性のある元素は土壌侵食の深刻さを考慮すればリンであろう」と報告されている。

ⁱⁱ 衛星画像の判読に基づく面積。

データとの重ね合わせのため、30m×30m に統一した。

エ. 焼畑地面積

1985 年から 1992 年の土地利用変化から植生強度が大きく変化している地点を抽出し、その面積が 5 ha 以下のものを焼畑の可能性が高いものと判断して焼畑分布図を作成。登録データは各グリッドが焼畑可能地である場合にはそのグリッドが属する焼畑団地サイズ (m²) を算出して登録。斜面崩壊地や森林伐採地も含まれる可能性や、焼畑地でも 7 年サイクルで耕作された場合はカウントされない可能性があり、信頼度が高いとは言えないが、前述の通り、他に情報がまったくないことから、データベースに登録することとなった。

オ. 降雨

平均年間降雨量 (mm/y) を登録。13 の観測点の降雨データからティーセン法により分布図を作成。

カ. 傾斜

ア. の標高データから作成。登録データは%の実数値。

キ. 土壌

CSAR (土壌農業気象研究センター) 発行の 1/250,000 土壌図から作成。

ク. 土壌侵食推定量 (現状の土地利用下での土壌侵食推定量)

登録データは USLE (Universal Soil Loss Equation) に基づく推定土壌侵食量 (ton/ha/year)。詳細は次節で説明。

ケ. 土壌侵食推定量 (土地利用をすべて森林に戻した場合の土壌侵食推定量)

詳細は次節で説明。

コ. 土壌侵食推定量 (土地利用をすべて開発して裸地状態にした場合の土壌侵食推定量)

詳細は次節で説明。

サ. 植林による土壌侵食低減量

詳細は次節で説明。

シ. 森林区分

RePPProT 発行の 1/250,000 森林区分図から作成。

ス. 推定流量

各グリッド上を流下する年間平均流量 (ton/sec) を流出シミュレーションで算出。

セ. 推定土砂到達量

各グリッドから下流端のダム湖に到達する土砂量を推定して算出。詳細は次節で説明。

タ. 小流域区分

林業省の森林管理区分図 (スケールなし) をもとに作成。ただし、流域界は DEM から同定。

チ. LUC 区分

LUC (Land Use Capability) 評価は USDA の土地評価体系をベースに Fletcher らが修正を加えたもので、土壌劣化を抑制しつつ適正な農林業生産をはかる土地利用策定を目的としている。林業省とニュージーランドの共同プロジェクト (INZLRM ; Indonesia-New Zealand

Resources Mapping Project) で採用されて以来、林業省の土地保全計画においては LUC による土地評価が行われるようになっている。LUC 区分は、まず、地形 (landform)、傾斜、土壌、母岩、土壌侵食、土壌保全、土地利用／被覆の各項目の状態が比較的均質であると考えられる土地単位 (land unit) ごとにまとめることによって作成される。ここでは、上述のような詳細な情報が広域に得られないことから、傾斜区分図と土壌図のみの重ね合わせによって、LUC ユニットの境界を定めた。

ツ. 村落境界

中央統計局発行の 1/50,000 行政界図から作成。人口、人口密度、man-land 指標ⁱ、人口圧力指標などの情報をリンクしてデータ登録。

テ. 土地保全／利用計画ⁱⁱ

LUC 評価に基づいて策定された土地保全／利用計画。

(2) 土壌侵食危険度評価

土壌侵食量の推定は、以下の USLE に基づいて行った。

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

E : 土壌損失量 (ton/ha/year),

R : 降雨係数

K : 土壌係数

S : 傾斜係数

L : 斜面長係数

C : 作物係数

P : 保全係数

本調査では、ランドサットデータの解像度に合わせて 30m×30m に分割されたグリッドごとに各係数の値を決定し、それらの積で算出される土壌侵食量をもとに、土壌侵食危険度評価図を作成した。GIS を用いた土壌侵食危険度評価の概念を図-3 に示す。

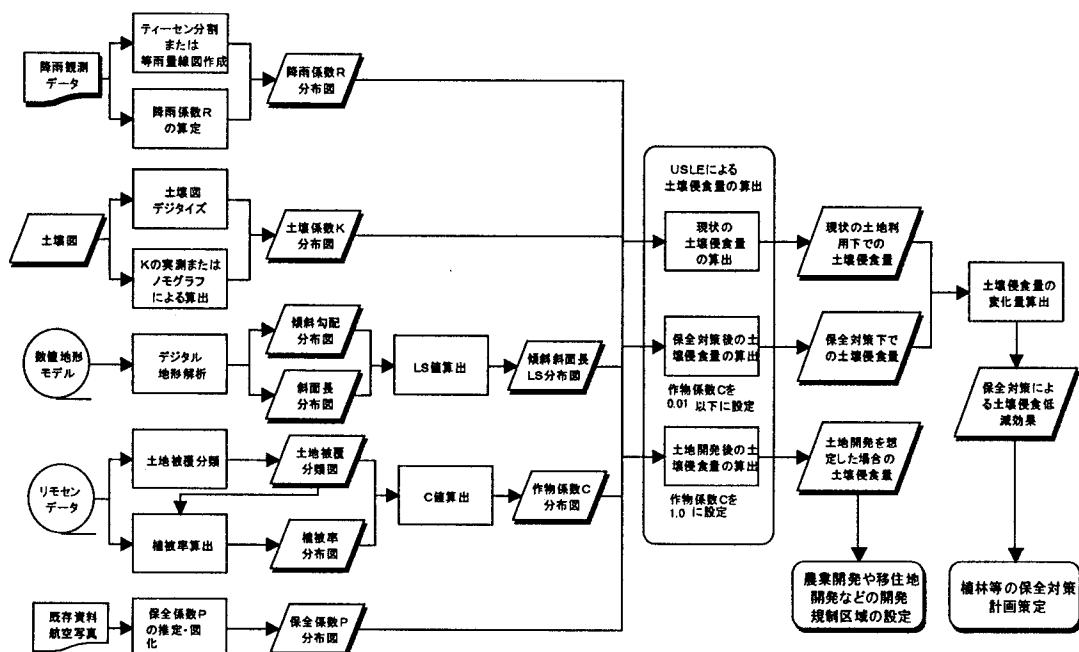
以下、USLE の各係数の決定について、順を追って記述する。

ア. 土壌係数 (K)

土壌係数 K は、各土壌に固有の耐侵食性を示す指標で、通常、標準試験区での実測か、ノモグラフによって求められるが、本調査では、林業省が実施している土壌データベース化事業で提案されている手法に従って導出した。この方法は、表層土壌の有機物含量、シルト分、土壌構造、浸透能の 4 つの特性ごとに採点表を作成し、採点結果の総和と K 値の対応表によって土壌係数 K を決定するという簡便法である。4 特性の採点表を表-2 に、表-2 から求められる合計点数と K 値の対応表を表-3 に示す。

ⁱ 人口を可耕地面積で割った指標

ⁱⁱ 日本語では内容に照らして「土地保全／利用計画」としたが、マクロスタディの英文報告書では "Recommended Land Use" となっている。



図－3 土壌侵食危険度評価の概念

表－2 K値決定のための土壌特性採点表

土壌特性	区 分	点数
有機物含量 (%)	< 2	4
	2－5	3
	5－10	2
	> 10	1
シルト分含量 (%)	> 50	4
	30－50	3
	15－30	2
	< 15	1
土壌構造	Blocky, planty or massive	3
	Medium to coarse granular	2
	Crumb or fine granular	1
浸透性	Slow to very slow	3
	Moderate	2
	Rapid to very rapid	1

表－3 K値－合計点数対応表

合計点数	区 分	K値分布幅	K値代表値
5以下	Very low	< 0.1	0.05
6－8	Low	0.1－0.2	0.15
9－11	Moderate	0.2－0.4	0.30
12以上	High	> 0.4	0.45

イ. 降雨係数 (R)

本来、降雨係数Rは、降雨の運動エネルギーと降雨強度の積を年間積算したものの年平均値で与えられるが、十分な降雨観測データのない場所での適用のために様々な簡略式が提案されている。本調査では、林業省のガイドラインで推奨されている以下の式に基づいて算定した。

$$Rb = 6.119RB^{1.21} \times HH^{-0.47} \times RM^{0.53}$$

Rb : 月平均降雨侵食度

RB : 月平均総降雨量(cm)

HH : 月平均降雨日数

RM : 月平均最大 24 時間雨量(cm)

13カ所の観測点のうち、RMが記録されていたのは6カ所のみであり、さらにこれら6地点のうち、5カ所までが調査対象地域の南部に遍在していたため、ティーセン分割や等雨量線図の作成は行えず、6観測点の平均値を全グリッドに適用した。従って、今回の結果には降雨の空間的な分布特性は反映されていない。

ウ. 傾斜・斜面長係数 (LS)

一般に、傾斜と斜面長は土壌侵食に関する地形因子として、便宜上、次式のように同時に算出されることが多い。

$$LS = (L/22.13)^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

S : 傾斜勾配 (%)

L : 斜面長 (m)

m : m=0.5

ここで、傾斜係数Sは、DEMから求めた。

また、斜面長係数Lは、連続した一様な単一斜面の長さと土壌侵食量との相関から導かれる係数である。複合斜面の斜面長係数を求める手法も開発されているが、あくまで連続した斜面への適用が前提である。今回、使用した30mグリッドのDEMから、計算上の斜面長を得ることは可能だが、それが連続した一斜面であるかどうかは判定できない。計算上の斜面長が実際の斜面長と一定の相関を持つものと考えて利用するケースもあるが、今回の場合、あまりに長大な斜面が出現することが想定されたため、全グリッドのL値を一律、22.13mⁱに固定して、LS値を算出した。

エ. 作物係数 (C)

作物係数Cは、作物の種類、生育状態、耕作条件により規定される作物の地表面被覆の状態と土壌侵食量の関係を示す係数である。インドネシアの植生に対して、実際にC値を求めた研究事例は必ずしも多くない。公共事業省がこうしたいくつかの研究成果を整理して作成したC値の一覧を表-4に示す。

ⁱ USLE標準試験プロットの斜面長

表－４ 代表的な作物または土地利用に対するC値

作物名または土地利用タイプ	C値
灌漑水田	0.01
天水田	0.05
メイズ	0.7
キャッサバ	0.8
陸稲	0.5
グランドナッツ	0.452
パラウイジャ（裏作的に行われる畑作の総称）	0.7
永久的なアランアラン（チガヤ草原）	0.021
火入れ直後のアランアラン	0.2
ブッシュ、灌木林	0.51
ゴムのエスレート園	0.2
オイルパーム	0.2
移動耕作地	0.4
天然林（落葉などの地表被覆が多い場合）	0.001
天然林（落葉などの地表被覆が少ない場合）	0.005
生産林（伐採後）	0.5
生産林（択伐）	0.2

表－４に示されたような作物種類や土地利用タイプを、リモートセンシングで把握できれば、各グリッドごとのC値を決定することが可能となる。しかし、実際には、ランドサットTMデータやSPOTのXSデータで、様々な種類や生育ステージの植生が混在する熱帯地域の土地被覆分類を行うことは非常に難しい。30m×30mのグリッド内が、単一の種類で様な生育ステージの植生で被覆されていることがきわめて稀な土地被覆状況下では、トレーニングサンプルを設定することすら困難だからである。

そこで、本調査では、C値を土地被覆分類のみから直接求めるのではなく、おおまかな土地被覆分類と植被率を組み合わせた以下のようなC値決定法を提案した。

- ① ランドサットTMデータで分類可能なおおまかな土地被覆カテゴリーを設定し、土地被覆分類を行う。
- ② 表－３などを参考に各土地被覆カテゴリーのC値を設定する。
- ③ すべてのグリッドについて植被率 α (%)を算出する。

Xという土地被覆カテゴリーに分類されたあるグリッドのC値を以下のように定義して算定する。

$$C = C(X) \times (\alpha / 100) + 1.0 \times ((100 - \alpha) / 100)$$

C : 対象グリッドのC値

C(X) : 土地被覆カテゴリーXのC値

α : 対象グリッドのXによる植被率(%)

ここで、各ピクセルの植被率は、福原らのVCR (Vegetation Cover Ratio) により算出する。VCRの概念を図－４に示す。

赤と近赤外域における反射率の散布図

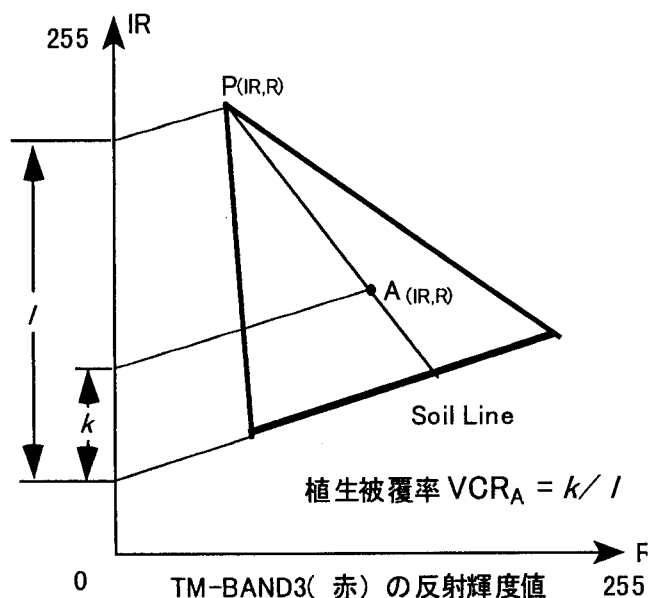


図-4 植被率の概念ⁱ

ここで提案したC値決定法は、以下のような仮定に基づいている。

- ① 全てのグリッドは、それが属する土地被覆カテゴリーと裸地で構成され、その面積比は植被率で定義される。
- ② ある土地被覆カテゴリーによって 100%被覆されるグリッドは、固有の反射特性（図-7のP点に相当する輝度値）と固有のC値をもつ。
- ③ 調査対象地域全域にわたって、土壌の反射特性は同一のソイルライン上にある。

表-5に設定した土地被覆カテゴリーと土地被覆分類結果およびC値を示す。

なお、使用したデータは、ランドサットTMデータで、PATH/ROW は 127/60、1992 年 6 月 15 日撮像のものである。また、土地被覆分類結果は、まず、全画像を I S O D A T A 分類法で分類した後、画像判読によって誤分類が多いと考えられるクラスタのみに対して、ディシジョンツリー分類法により再分類をかけて行った。C値の算出にあたり、雲がかかっている部分は、1985 年 6 月 28 日のランドサットMSSデータによる土地被覆分類結果で置き換えて処理を行った。

ⁱ 一般に、ある特定の植生に覆われた地域の、赤と赤外域の反射率の散布図を作成すると、図のような三角形上に分布する。植生が全くない裸地に対応する点は、Soil Line と呼ばれる線上に散布し、植被率が 100%に近づくほど、その反射特性はP点の近くに散布することが知られている。福原らは、この性質を利用し、任意の反射特性をもつ点(A)の植被率(VCR_A)を図のような方法で算出した。

表5 土地被覆分類結果と各カテゴリーのC値

土地被覆分類	面積 (ha)	占有率 (%)	C 値
森林 (高密度植生)	1 4 3, 5 0 5	4 3. 0	0. 0 0 1
森林 (低密度植生)	8 0, 5 0 3	2 4. 2	0. 0 0 2
灌木林・ブッシュ	6 4, 6 1 0	1 9. 4	0. 0 0 5
ミックスガーデン・居住地	7, 6 0 6	2. 3	0. 1
草原または畑地	2 2, 6 5 5	6. 8	0. 0 5
水田	2, 3 0 6	0. 7	0. 1
裸地・荒地	9, 1 8 5	2. 8	0. 8
ゴムエステート園	8 1 7	0. 2	0. 0 0 5
水域	1, 3 5 6	0. 4	0
分類不能域 (雲など)	7 4 5	0. 2	—
合 計	3 3 3, 0 8 7	1 0 0. 0	—

オ. 保全係数 (P)

通常、保全係数Pが1.0に設定される非農業地帯の土地利用が全体の90%以上を占めること、農業的土地利用をしている場所の保全係数をリモートセンシングやその他の既存資料で把握することが困難なことなどの理由により、本調査では、保全係数Pは、全グリッド一律、1.0に固定した。

(3) 土地利用変更シナリオに基づいた植林効果の推定

本マクロスタディでは、GISの特性を活かして、土地利用の変化を想定したシナリオを考慮し、以下のような評価図を作成した。

ア. 現状における土壤侵食量分布図

現状の土地利用下での土壤侵食危険度を示す図として作成した。

イ. 開発時の土壤侵食量分布図

対象流域が開発されて全て裸地化したと仮定し、全グリッドのC値を一律1.0に固定し、土壤侵食量分布図を作成した。これは、土地被覆条件を変化させた場合の最大土壤侵食可能量の分布を示すと同時に、植生を剥いではいけない領域、すなわち、農業開発や林業開発に対する開発規制地域の分布を示している。

ウ. 保全時の土壤侵食量分布図

対象流域がすべて植林などの対策により、林地化したと仮定し、全グリッドのC値を0.01(ただし、現状で0.01以下の場合はC値の変更は行わない)に設定して、土壤侵食量分布図を作成した。

エ. 植林による土壤侵食抑制効果

現況土地利用条件下での土壤侵食量と、植林対策後の土地利用条件下での土壤侵食量との差は、植林による土壤侵食抑制効果と解釈できる。両者の差画像を植林効果分布図として作成した。

図-5にLUCユニットごとに集計した土壤侵食量分布図(現況土地利用下)を示す。

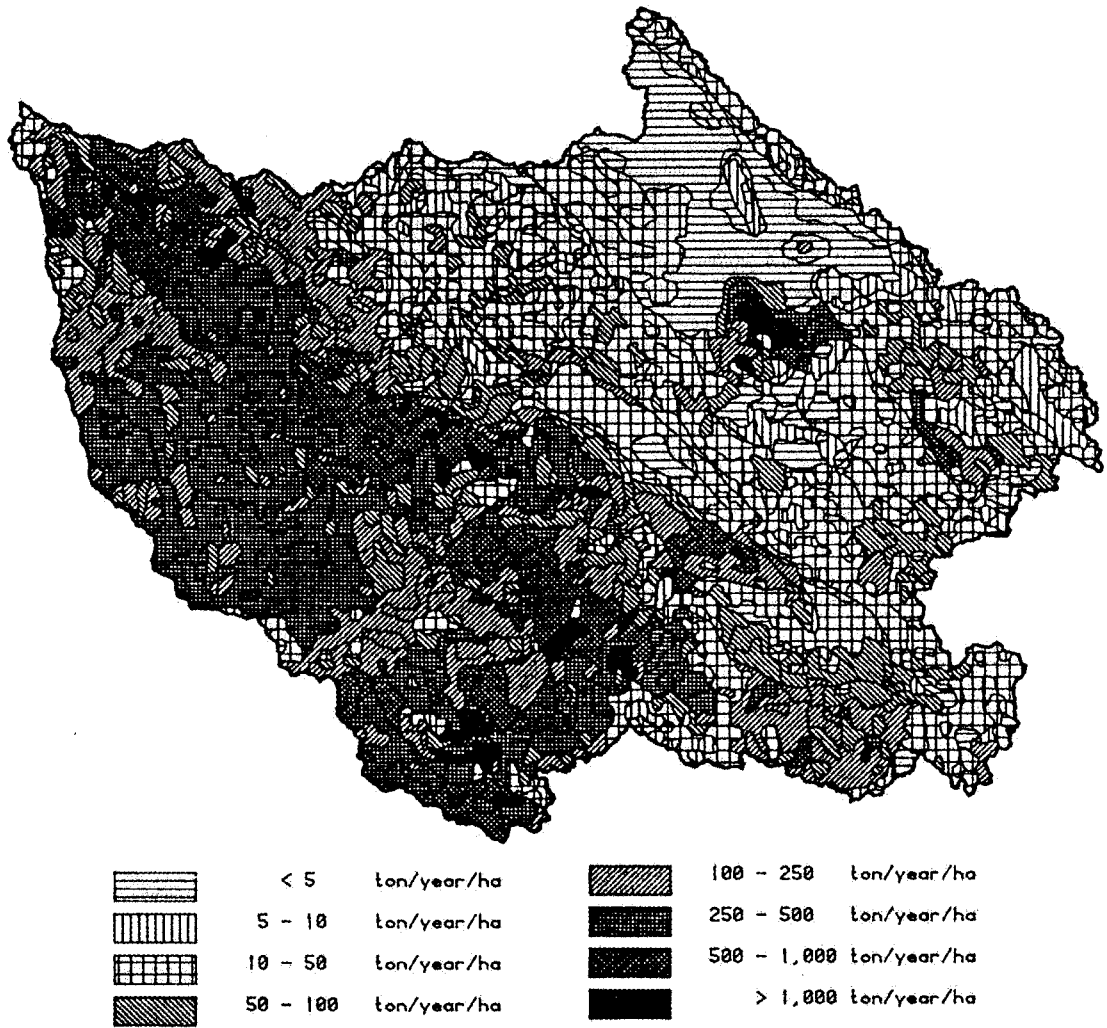


図5 現況土地利用条件下での土壌侵食推定量

(4) 土砂発生源の推定

前節で評価した土壌侵食量は、評価単位が30mグリッドというスケールを勘案すると、その地点から剥離された土壌の量と考えることができる。剥離された土壌がすべてダム湖に到達するわけではなく、ダム湖における堆積土砂の発生源の同定を行うには、侵食土砂の流下輸送モデルが必要となる。

ここでは、以下のような仮定をもとに、独自の侵食土砂の流下輸送モデルを提案した。

- ① ある地点を流下しうる年間侵食土砂量（年間土砂輸送最大可能量、 S_p ）は、その地点を流下する年間流出水量（ Q ）にある一定の係数（土砂懸濁率、 σ ）を乗じた量に等しい。
- ② 上流側からある地点に到達した年間侵食土砂量（ S ）とその地点で発生した年間侵食土砂量（ S' ）の和が、年間土砂輸送最大可能量（ S_p ）を超えない場合、その全量が、下流側のピクセルに流下、輸送される。

- ③ 前項と逆に、上流側からある地点に到達した年間侵食土砂量 (S) とその地点で発生した年間侵食土砂量 (S') の和が、年間土砂輸送最大可能量 (Sp) を超えた場合、下流側のピクセルに流下、輸送される土砂量は、年間土砂輸送最大可能量 (Sp) に等しい。
- ④ ある地点の土砂懸濁率は、隣接する上流側のピクセルとの標高差が大きいくほど、高い値をとる。(その地点の傾斜度が大きくなるほど、土砂懸濁率が高くなる。)

以上の仮定にしたがって、上流側から輸送土砂を積算していけば、最終的にダム湖に到達する堆積土砂量が求められる。図6に土砂輸送モデルの概念を示す。

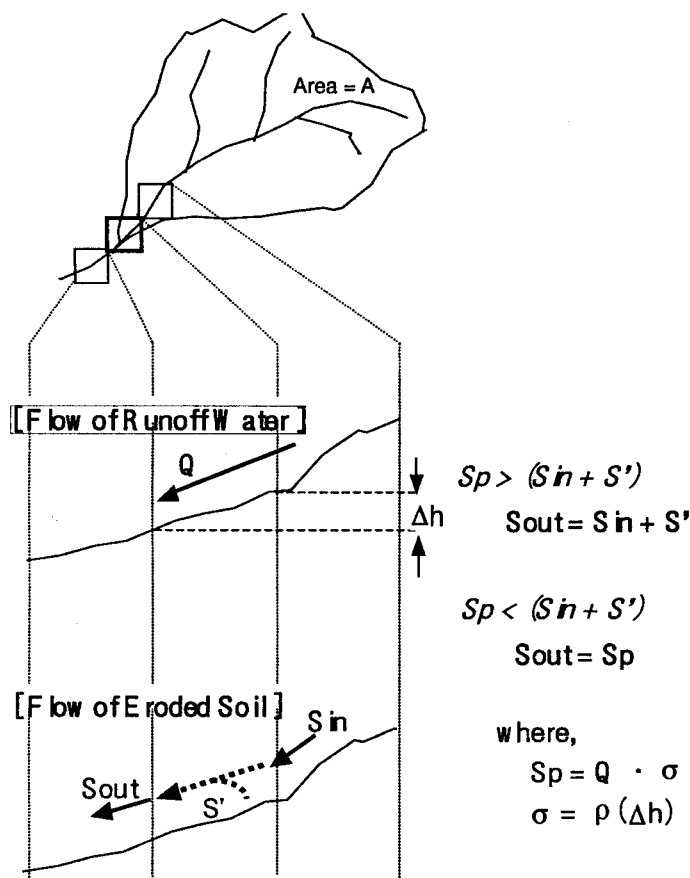


図-6 土砂輸送モデルの概念図

さらに、すべてのピクセル上で、到達土砂量、流下土砂量の比を記録し、排水経路沿いにこの比率を乗じていくと、任意のピクセルで発生した侵食土砂量のダム湖への到達比率が求まる。

4. 土地保全計画の策定

(1) 精査地域の選定

マクロスタディの第一の目的は、33 万 ha の対象地域から空中写真撮影および現地踏査を行

う精査地域約7万 ha を絞り込むことである。絞り込みは、表－6 の7 要因について、5 段階評価による1～5 点の評点を与え、その和によって精査優先度を決定した。評価は121 の分割小流域ごとに行われ、評点の高い順から7 万 ha までの流域が精査地域として選定された。

表－6 精査地域選定要因と評価基準

選定要因	I	II	III	IV	V	単位
Soil Erosion	0-15	15-60	60-180	180-480	> 480	Ton/ha/y
Sediment Source	0-3	3-5	5-10	10-20	> 20	Ton/ha/y
Total Volume of Sediment Source	0-10	10-20	20-30	30-50	> 50	1000ton/y
Reduced Soil Erosion by Reforestation	0-20	20-50	50-250	250-1000	> 1000	Ton/ha/y
Potential Shifting Cultivation Fields	0-20	20-50	50-100	100-200	> 200	Ha/watershed
Distribution of Bare Land (Area Ratio)	0-2	2-5	5-10	10-15	> 15	%
Forest Status ⁱ	HSA	HL	HPT	HPB	HPK	—

(2) 土地保全計画の策定

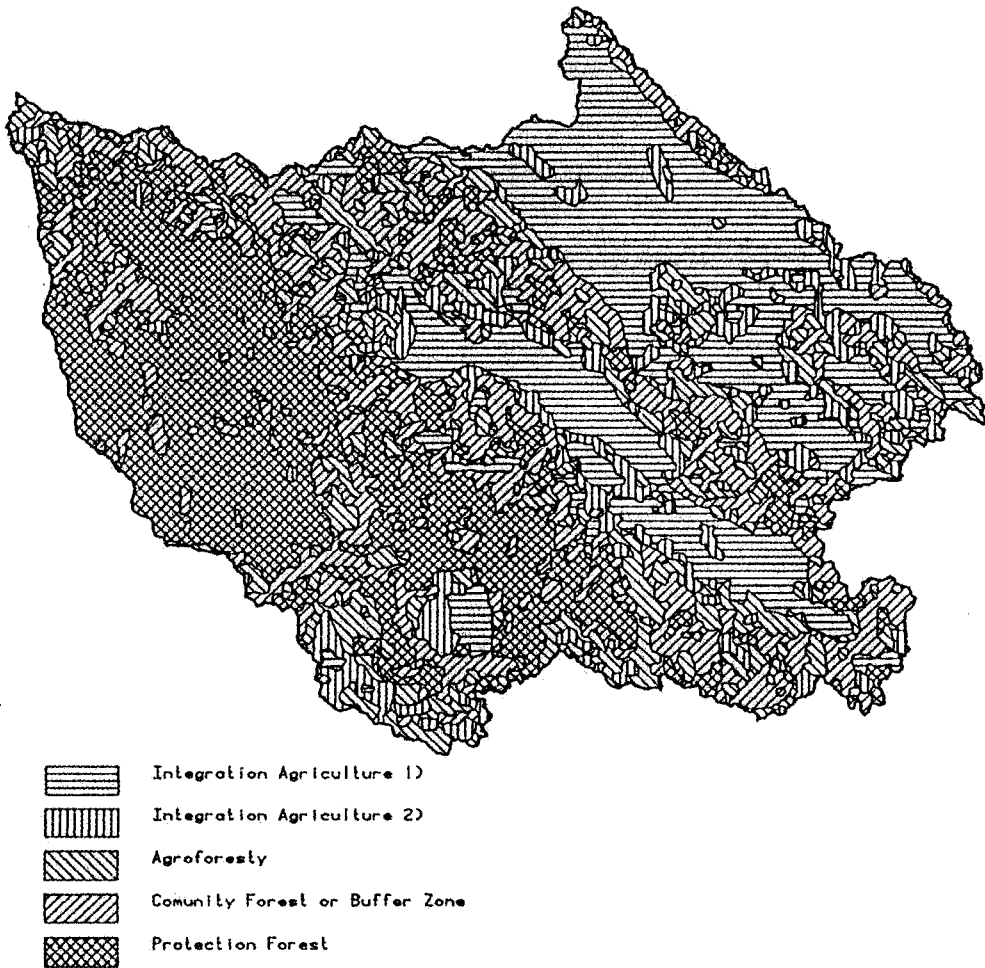
マクロスタディの第2の目的は、対象地域の土地保全／利用計画の策定である。林業省のガイドラインによると、土地保全計画におけるゾーニングは大別すると①保護地域 (protection zone)、②制約付き農林業生産地域 (limited production zone)、③農林業生産地域 (production zone) に区分されている。これらのどのゾーンに区分されるかは、土壌受食性、傾斜度、雨量強度の3 要因について5 段階評価し、それらの重み付き加算評価によって決定される。

本スタディでは、最初に LUC 評価を行い、対象地域の LUC ユニットの6 種類に類型化したのち、6 種類の LUC ごとに上述の土地保全ゾーニングのための重み付き加算評価を行っている。その結果、以下の5 区分の土地保全／利用区分が設定され、LUC ユニットのゾーニングがなされた。

- 農業生産ゾーン1：特に土地利用の変更は行わなくて良い。
- 農業生産ゾーン2：現行の森林地帯の保全を行うとともに、保全性の高い農業利用を行う。
- アグロフォレストリーゾーン：現行の森林地帯の保全を行うとともに、アグロフォレストリーを導入する。
- バッファゾーン：現行の森林地帯の保全を行うとともに、徐々に畑作地を低生産の林地に転換する。
- 保護林ゾーン：早急に保護林を造成する。

ⁱ 森林区分 (Forest Status) のコード名については表－1 を参照のこと。

図一7に作成された土地保全／利用計画図を示す。



図一7 土地保全／利用計画図

5. おわりに

現在、GISは広域の事象を解析するツールとして各方面で脚光をあびている。しかし、ここで紹介した事例を見ればわかるように、信頼性しうる結果を得るにはあまりに多くの困難な課題が横たわっている。特に深刻な課題はデータの信頼性の取り扱いであろう。広域の対象を解析する場合は、たとえ先進国であっても均質な精度の情報を対象全域にわたって収集することは不可能に近い。GIS解析によって、より高度で付加価値の高い情報が生み出される一方で誤差が集積されていってしまうし、また、そうした誤差やデータの信頼性をGISデータベースに記録したり、エンドユーザに伝達する方法も確立していない。

現在、GISの標準化作業が世界的な枠組みの中で進められており、こうした課題に対する対応策も徐々に明らかになってくるだろうが、すでに構築されてしまったGISデータベースの資産が活かされるのかどうか今後の焦点になるものと思われる。

最後になったが、本スタディは多くの人々の手によって実施されたものであることを付記し

ておく。主な分担をまとめておくと、地形解析、水文解析は境（現在 JICA 長期専門家）、土地被覆分類は Drs.Sarwoasih（PUSDATA）、GIS データベース作成は Drs.Adisasuti（PUSDATA）、焼畑解析は In.Rinny（PUSDATA）、LUC 評価は長澤（パスコインターナショナル）、土壌侵食、土砂流出は筆者が担当した。その他、図化作業、現地調査などで JOFCA チームのエンジニアと PUSDATA のカウンターパートに多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献

Center for Soil and Agroclimate Research (Indonesia) : Soil and Land Unit Map Sheet No.0715, 0716, 0815, 0816 (1990)

三宅正紀：インドネシアの土壌、熱帯農研集報 46、pp.17～24 (1983)

Ventura, S.J., Chrisman, N.K., Connors, K., Gurda, R.F., Martin, R.W. : A Land Information System for Soil Erosion Control Planning, J. Soil and Water Conservation, 43(3), pp.230～233 (1988) など

Ministry of Forestry (Indonesia) : Handbook for the Preparation of Land Data Base Forms j for Regional Planning (1990)

INZLRM Project : Land Resource Survey Handbook for Soil Conservation Plannnig in Idonesia(1990)

Ministry of Forestry (Indonesia) : Pentunjuk Pelaksanaan Penyusunan Rencana Teknik Lapabgan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah, pp.8 (1986)

Ministry of Public Works (Indonesia) : Lower Asahan River Flood Control Project, Study Report on Identification of Sediment Sources at the Upper Reaches, p.T-9 (1990)

Fukuhara, M., Hayashi, S. : Extraction of Soil Information from Vegetated Area, IBM TSC Report G318-1506-0 (1979)

JOFCA : Macro Study Report for Central Sumatera Forest Rehabilitation (Upper Kampar Watershed) Project (1994)

JOFCA : Final Report of Monitoring and Evaluation System Development for Central Sumatera Forest Rehabilitation (Upper Kampar Watershed) Project (1994)

PUSDATA : Study Report on Remote Sensing Analysis for Central Sumatera Forest Rehabilitation (Upper Kampar Watershed) Project (1993)

平井英明：焼畑生態系と土壌、「陸域生態系とバイオマス燃焼」講演会資料、pp.25～31 (1997)

国際協力事業団：インドネシア共和国セクター別基礎資料第3巻(1994)

境 忍、上村健一郎、塩野隆弘：リモートセンシングおよびGISによる流域シミュレーション、農業土木学会誌 63(6)、pp.43～48(1995)

農地保全研究集会 第18回研究集会資料

農地保全の研究 第18号

1997年11月20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
