

砂防学会賞（論文賞）を受賞して

神戸大学工学部

沖村 孝

1. はじめに

この度は栄誉ある砂防学会賞（論文賞）を受賞する機会を与えていただき、身に余る光栄と深く感謝申し上げますとともに大きな感激に浸っております。しかし、同時に、果たして小生が賞をいただくに値するかという不安も感じております。ただ、はっきり言えることは、この賞は小生を支え励ましてくれた多くの友人に与えられたものであり、たまたま小生が第一執筆者になる機会が多かったため、結果的に小生が皆さんを代表していただくことになったということでもあります。このため、まずここでは、これまで研究を進めるに際してお世話になった多くの友人、卒業生の皆様に心からお礼を申し上げたいと思います。

この小文では、小生が多くの紙とワープロのトナーをムダ遣いしながら進めてきた、あるいはきつつある研究、特に、今回授賞の対象となった論文が小生の研究の流れに占める位置づけについて簡単に紹介させていただきます。

2. 山くずれ研究のスタート

小生が山くずれの研究を始める決定的な契機は何といっても昭和42年に六甲山系で発生した土砂災害に学生として遭遇したことです。その前年、神戸大学に内地留学生としてこられた建設省国土地理院の羽田野誠一さんとともに、田中茂神戸大学教授の指導のもとに毎日毎日ガラス水槽を使って崩壊実験を続けました。この一連の実験を通して雨水の浸透、地下水面の形成とそれに伴う崩壊発生に関する定性的知識を獲得することができました。翌年、大学院に進学し、いよいよフィールドに入って崩壊地の現地調査を通して何故にそこで崩壊が発生したのかを考察し、前年にまとめた定性的なカテゴリー区分に個々の崩壊を分類する予定でありました。しかし、当時は六甲山系に適当な崩壊地がなく、昭和28年に有田川で発生した崩壊を対象とする予定で、7月上旬に初めて調査に入りました。数日間の調査を終え、神戸に帰った2日後にあの集中豪雨を経験することになりました。有田川の調査はあえなくとん挫し、豪雨の翌日からは六甲山系での現地調査が始まり、小生の六甲山系での山くずれの研究がスタートすることになりました。

3. 崩壊地調査と予知・予測研究

当時は、崩壊地に赴き崩壊発生地の形状や耐侵食性の現地調査を実施し、解析のための資料を入手しました。この資料は何故崩壊したかを主としてパイピングの有無から解明するため、さらには後に行う予定の土質力学的な事後解析（崩壊発生後の解析）に有用のみならず、これらの研究を通して得られる結果は、将来における崩壊の予知・予測の研究に必ず役に立つものと信じていました。しかし、予知・予測の本格的な研究に移行するにつれて、崩壊跡地から得られたデータのみでは予

知・予測にはほとんど役に立たないことが明らかになってきました。それは未崩壊地の調査を全く行わなかったためであります。崩壊原因を探るための解析にとっては重要なデータであっても、予知・予測には全く役に立たないデータとなることがあることをその時初めて知りました。この苦い経験を最近若い学生諸君に次のように話しています。「離婚の一般的な原因を調べるために、離婚した夫婦を対象としたアンケートや聞き取り調査をしても、離婚の本当の原因はたぶんわからない。本当に離婚の原因を知るためには、離婚しなかった夫婦を対象として離婚せずに長続きした理由の調査をもする必要がある」。この考えは、1970年代に多くの研究者によって進められた統計的手法による崩壊の研究を小生も手がける機会があり、その研究を通してますます強く実感することとなりました。

4. 土層調査から二次元多平面安定解析へ

この統計的手法による研究を進めた背景は、表層崩壊に影響すると思われる数多くの素因のなかで、一体何が重要な素因であるかを把握するために実施しました。その結果、地形形状要因と表土層厚の分布が重要であることを知ることができました。このため六甲山系の自然斜面上で表土層厚の分布を求めるために、土層構造調査を行いました。その結果として簡易貫入試験で表土層厚（潜在崩土層厚）の分布が求められる可能性のあることがわかり、このことを小生としては初めて新砂防に投稿させていただきました（1980）。

このような研究を経て、より積極的に予知・予測手法の開発に入っていました。当時は、崩壊原因究明のための事後解析も十分に解明できていない状態で、予知・予測に入るのはまだ時期早尚ではないかという意見も数多く聞かされておりました。しかしモデルを積極的に提案することによって、農学、工学、理学のそれぞれのフィルターを通して進められていた当時の崩壊原因究明のための現場調査の束縛から脱却する狙いも十分意識しておりました。

最初に手がけたのは三平面安定解析手法を多平面に拡張した二次元多平面安定解析の提案でした。

これは土層構造調査を進めていたため、縦断面上に潜在表土層厚の分布表示がある程度まで可能な段階にまで来ていたことが大きな背景であったことは言うまでもありません。この手法の提案によ

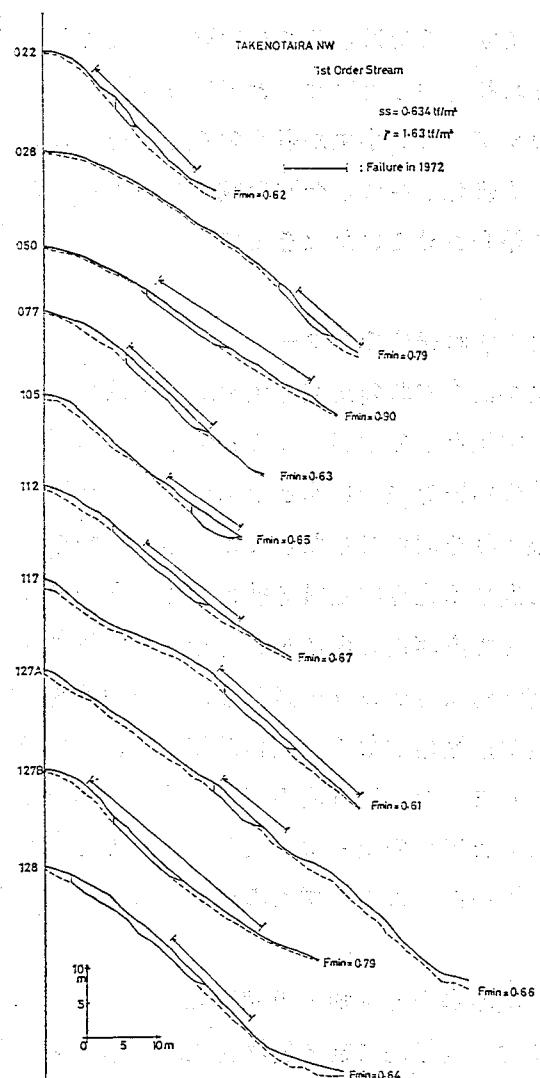


図-7(a) 1次水系上の危険すべり面の位置と安全率（崩壊斜面）（1982）

り、X-Z平面（断面）上で、どこで、どれくらいの長さで崩壊が発生するかが求められることをある程度まで示すことができました（1982）。

5. 集水モデルの提案

次に、平面二次元（X-Y平面）上で、どこが危険であるかを予知する手法の提案を試みました。まず第一の方法は、羽田野さんが提案していた地形的滑動力示数を数値地形モデル上で表現することでありました。最初は崩壊が水系上に発生するものと限定して、水系上で地形的滑動力示数を求め、危険な場所を指摘していました（1983）が、その後、下端幅を設定することにより任意の斜面上でも地形的滑動力示数が求められる手法を提案いたしました（1988, 1989）。この手法によれば、全流域面積の約70%を安全斜面、30%を危険斜面として絞り込むことができますようであります。前者の水系上での成果を用いて、絞り込まれた危険斜面を対象として多平面安定解析手法を用いる手法も提案しました（1983）が、これは二つの手法を繋ぎあわせたものにすぎませんでした。

小生にとって、次の新しい手法の提案は集水モデルと無限長安定解析を組み合わせた予知・予測手法の開発でありました（1985）。この手法は雨水の流れを数値地形モデルで再現することにより谷型斜面への集水のしやすさを表現するモデルであります。この手法の提案により経験的手法であった地形的滑動力示数による予知・予測に代わって、解析的にX-Y平面上で危険なセルを指摘することが可能となりました。当初発表しましたモデルは最も簡単なものでありましたが、その後数人の研究者によりさらに高度なモデルへと発展していることは喜ばしいことであります。

この集水モデルを用いると、仮に入力条件が全て明らかになったならば、崩壊発生場所と時刻はほぼ予知できることとなります。しかしどれくらいの規模で発生するかという規模の予知がこのモデルでは依然として未解決のままでありました。崩壊の予知・予測の研究の最終的な目標は、崩壊発生位置を予知し、それを未然に防止することあるいは崩壊に起因する土石流による災害を防止することであります。崩壊に起因する土石流に関しては多くの研究者からモデルが提案されています

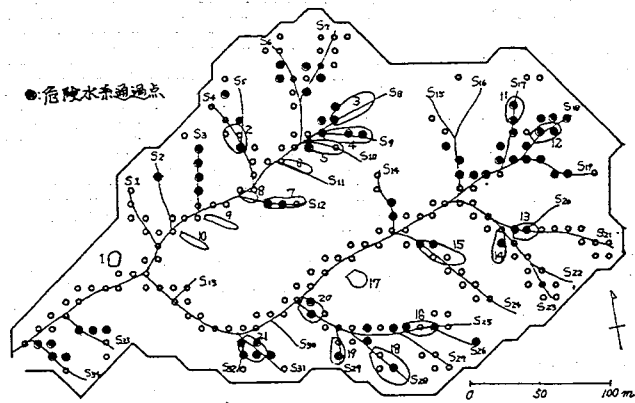
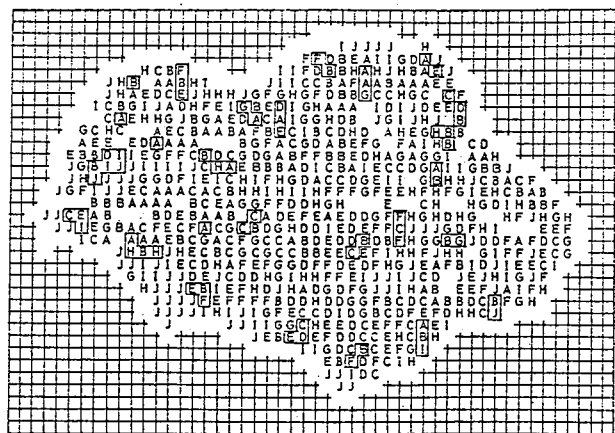


図-14 危険水糸点の分布 (1983)



注) $1.46 \leq A \leq 2.40$ $1.01 \leq E < 1.10$ $0.57 \leq I < 0.71$
 $1.32 \leq B < 1.46$ $0.91 \leq F < 1.01$ $0.04 \leq J < 0.57$
 $1.21 \leq C < 1.32$ $0.83 \leq G < 0.91$
 $1.10 \leq D < 1.21$ $0.71 \leq H < 0.83$
 図-11 $\tan \theta / (\tan \theta)_{\max}$ を用いた修正 F_p (1.5) 値による鈴鹿地区の危険度分布図 (1989)

が、これらの成果はあくまでも過去に発生した土石流を対象とした事後解析の研究を通して得られたものであります。このモデルによると土石流シミュレーションには、崩壊発生位置のみならず規模（土量）が大切な入力条件であることが明らかになっております。このため、次に規模の予知モデルの開発に着手することとなりました。

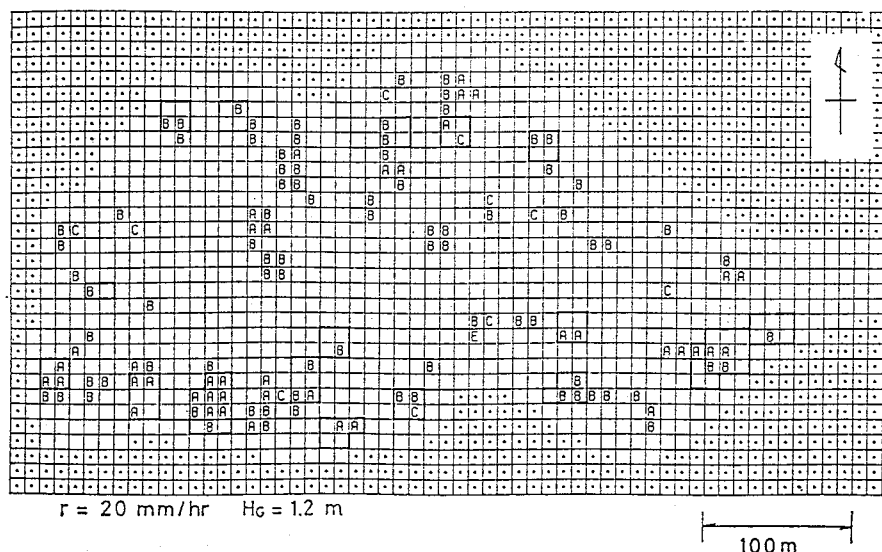


図-18 竹平 NW 試験地の崩壊危険度予測図 (1985)

6. 三次元多平面安定解析

規模（土量）を予知するモデルとして提案した手法が今回受賞の対象となった三次元多平面安定解析手法（1991）であります。この手法は既に提案済みの二次元多平面安定解析手法を三次元に拡張したものであります。この拡張の段階においては、小生の能力の欠如からいくつかの仮定を導入せざるを得ず、理論的にはまだまだ不備のある手法となってしまいました。具体的にはすべり面に対して直角方向の力のつり合いを多平面安定解析から求め、つり合いに必要な力を算定します。さらにこの力からすべり土塊のせん断抵抗力を求めます。これらが各行で求まります。次にすべり方向の力のつり合いを縦断方向で求めます。この際、下流端のセルはすべりに対して抵抗するものと仮定します。するとすべり土塊の各列ごとにすべろうとする力と抵抗する力が求まります。これに横断方向の解析で求めたせん断抵抗力を評価することにより、仮定すべり土塊全体のつり合いを求める手法であります。このモデルにより、一応、過去

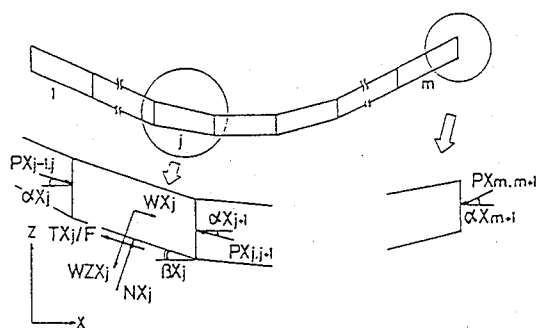


図-2 横断方向の力のつり合い（第 i 行の j 番目のセル） (1991)

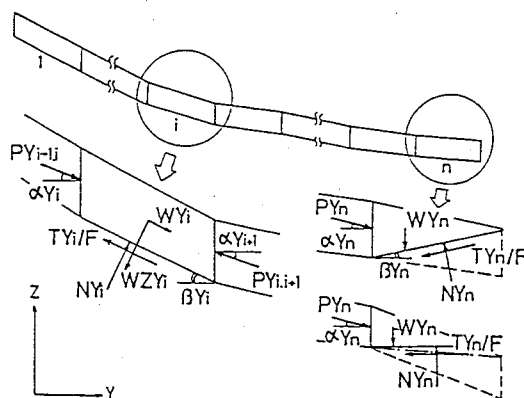


図-3 縦断方向の力のつり合い（第 j 列の i 番目のセル）および最終セルのすべり面仮定方法 (1991)

の崩壊を
対象とし
た事後解
析用のシ
ミュレー
ションモ
デルとし
ては役に
立ちそう
なものが

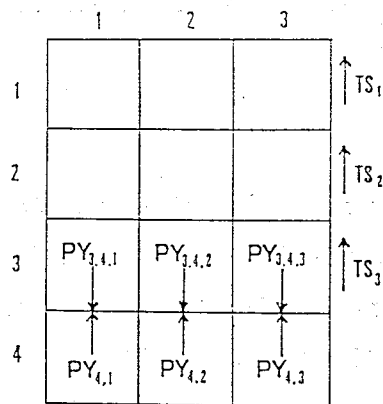


図-4 仮定すべり土塊のつり合い
(1991)

できあがりました。しかし、それは過去の崩壊の場所、規模、形状が明らかになっている場合であり、この予知・予測手法を未崩壊斜面に適用するには多くの問題をかかえていました。それはメッシュ間隔の大きさの違いにより得られる危険すべり土塊の大きさが異なるか否か、あるいは集水モデルを導入した場合の結果の相違等でありこれらの検討をまず行い、大きな問題が生じないことを確認いたしました(1992)。次に問題となったのは提案した三次元安定解析手法上の固有の問題として、予知・予測を行うにはまずすべりの方向をあらかじめ仮定しておく必要があったことであります。当初は危険セルの方向と仮定していましたが、様々な形状が仮定される三次元解析においてはただ一つのセルの方向のみと固定してよいのかという疑問がおり、仮定すべり土塊形状に応じてすべり方向を求める手法をも考察しました(1994)。このようなプロセスを経て現在に至っております。今回の受賞はこの三次元多平面安定解析手法が対象とされたようではありますが、今まで示した流れに示すとおり、小生にとってはこの手法の提案は最終的な目標である崩壊ならびにそれに起因する土石流の予知・予測としてはまだ遠く、一里塚の段階であります。次には、今回の成果を用いて土石流シミュレーションを行い、その結果を用いて土石流危険区域の設定に信頼されるモデルに

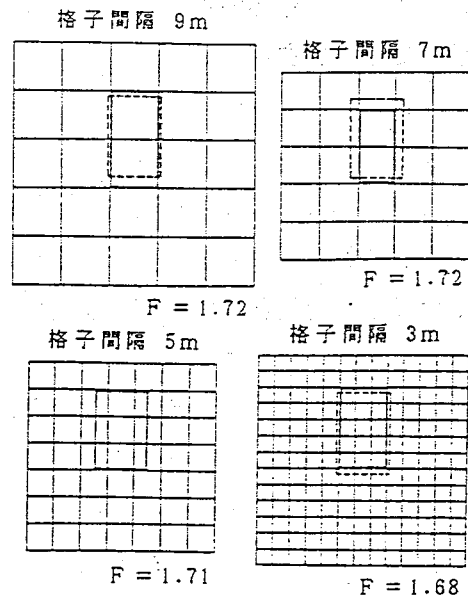
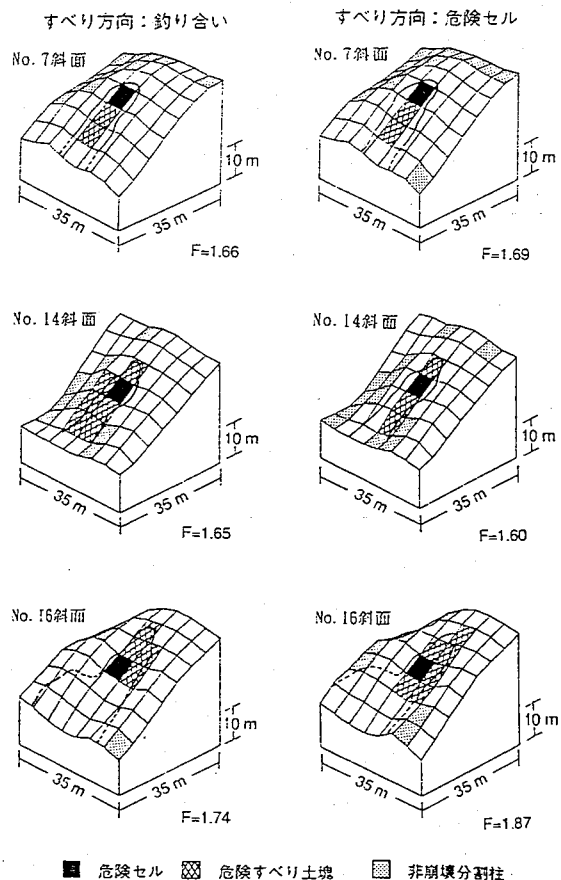


図-2 種々の格子間隔より得られる危険すべり土塊の位置および規模
(破線は格子間隔 5 m の時に得られた結果を示す)
(1992)



■ 危険セル ▨ 危険すべり土塊 ▩ 非崩壊分筋柱

図-14 非矩形仮定すべり土塊を対象とした三次元多平面安定解析手法による各斜面の崩壊源規模の推定結果
(1994)

まで考察を加えていく必要があります。これからもこの目標に向かってささやかではありますが努力する予定であります。

7. おわりに

本年1月17日には、小生が在住する神戸は震度7という未曾有の激震に見舞われました。幸い山腹崩壊の数は少なかったのですが、今年の梅雨期の豪雨による崩壊多発が心配されています。小生はこれまで六甲山を対象として豪雨に起因する崩壊を主たる研究テーマとしてきましたが、この六甲山ではこれからは地震時に受けた影響をも新たに評価する必要性が生じてきました。今後はこの方向の研究も進めていかなければならないと思っています。

私事ではありますが、小生は兵庫県豊岡市の出身であります。兵庫県北部のこの小さな町は日本の砂防の礎を築いた赤木正雄博士の生誕の地でもあります。豊岡の円山大橋左岸ののたもとには、「先師に答う」の銘を刻した碑のう上に生誕の地を向いた赤木博士の銅像が立っています。小生は土木工学の研究からスタートしましたが、研究対象が山くずれであったため砂防学と深い関わりを持つようになってから赤木博士のことを知りました。このことも小生と砂防を結びつける何かの縁と心強く感じております。

山くずれのように自然界で発生する現象は、人間が勝手に決めたいくつかの学問分野のうち、一つのみの学問分野では解決し得ない問題も多く含んでいます。今後とも多くの学問分野で得られた知識を吸収し、総合化しながら、山くずれによる災害防止の研究に力を果たしていきたいと考えております。今まで発表の機会を数多く与えていただいた砂防学会ならびに会員の皆様にあらためて心より厚くお礼を申し上げます。

関連した発表論文一覧

○田中茂・沖村孝：一試験地における風化花こう岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究、新砂防、33-1、pp. 7-16、1980。 ○沖村孝：潜在崩土層分布を利用した表層崩壊発生位置に関する研究、新砂防、35-1、pp. 9-18、1982。 ○沖村孝：地形要因からみた山腹崩壊発生危険度評価の一手法、新砂防、35-3、pp. 1-8、1983。 ○沖村孝：花崗岩地域における表層崩壊予知の一システム、新砂防、35-4、pp. 14-20、1983。 ○沖村孝・市川龍平・藤井郁也：表土層内浸透水の集水モデルを用いた花崗岩表層崩壊発生位置予知のための手法、新砂防、37-5、pp. 4-13、1985。 ○沖村孝・中川雅勝：数値地形モデルのみによる表層崩壊発生位置予知の一手法、新砂防、41-1、pp. 48-56、1988。 ○沖村孝・中川雅勝：地形的滑動力示数を用いた崩壊危険斜面予知手法の汎用性について、新砂防、41-6、pp. 14-21、1989。 ○沖村孝・前田勉：表層崩壊源規模推定のための三次元多平面安定解析、新砂防、44-4、pp. 3-10、1991。 ○沖村孝・森本功彦：三次元多平面安定解析手法の検討、新砂防、45-3、pp. 13-17、1992。 ○沖村孝・森本功彦：解析により求められたすべり方向を用いた非矩形三次元安定解析による表層崩壊形状の予知、新砂防、47-1、pp. 3-13、1994。