

大型降雨実験による 斜面崩壊発生機構の研究について

国立防災科学技術センター部付主任研究官
寺 島 治 男

1. はじめに

「斜面崩壊」という現象を考える時、わが国は諸外国とくらべ雨量とくに豪雨、梅雨、融雪などの気象条件と、平坦地が少なく傾斜の急な山岳地帯が多い地形条件を忘れることができない。

また、地殻変動（地震も含む）によって地盤が弱められ、さらに破碎帯とよばれるゾーンが多く、シラス、マサ、関東ロームおよび新第三紀層など水にきわめてもろい地質条件が崩壊を起こしやすくしている。

斜面崩壊を単なる自然現象という側面からのみ考えてはなるまい。とくに近年経済成長とともに土地利用形態が変わり、必ずしも安全でない地域（台地、丘陵、山麓の斜面周辺）にまで住宅、工場、道路、鉄道などが進出し、その規模もきわめて大きく、かつ急速であるがゆえに、災害の規模、頻度が増加しているのが現状である。

2. 斜面崩壊による災害の事例について

ここで斜面災害の事例について述べる。昭和46年9月房総半島東岸沿いをおそった台風25号は、秋雨前線を刺激し大雨を降らせ、勝浦で最大時間雨量122mmという豪雨をもた

らした。千葉県内で7,760個所の斜面崩壊が発生し、56名の尊い人命が失われた。また昭和47年7月5日、高知県土佐山田町繁藤では総雨量723mmという集中豪雨による崩壊のため活動中の消防団員等61名が土砂に埋められて行方不明となり、続いて6日宮崎県えびの市の真幸（総雨量520mm）が上流山地の大崩壊による土砂で全滅した。同日天草地区（総雨量526mm）、さらに8日には秋田県能代地区（総雨量370mm）、12日には神奈川県丹沢地区（総雨量649mm）、鳥根県松江地区（総雨量416mm）、広島県三次地区（総雨量500mm）、13日には愛知県小原村（総雨量379mm）、および藤岡村から岐阜県明智町にかけて被災した。

まさに昭和47年7月豪雨とよばれ、その被害総額は約4,900億円、死者行方不明451名、重軽傷者552名におよぶ被害をこうむった。また昭和49年7月神奈川県横須賀市において梅雨前線性集中豪雨（総雨量250mm）によって1,500個所の崩壊が発生し、死者13名、重軽傷者22名を出した。また香川県小豆島では昭和36年（全島）、昭和49年（東部）に集中豪雨によって土砂災害を被って以来、昭和51年9月台風17号による低気圧に伴う前線の影

響によって9月8日から13日の6日間で池田町で1,400mm、最大24時間雨量は9月11日0時から24時に内海町で841mm、最大時間雨量は11日20時から21時の間で100mmに達する集中豪雨によって崩壊および土石流が多発して、死者39名、重軽傷者65名、全半壊443戸という被害を被った。さらに昭和57年長崎豪雨災害は7月23日夕刻、18時頃から始まった、この日15時頃長崎県平戸付近で降りはじめた大雨は、西彼杵半島中央部から長崎市方面へ雨域を移し、長崎市周辺では19時から22時頃にかけて、記録的豪雨となった。長崎市北隣の、長与町では19時から20時までの1時間に187mmを記録したが、これはわが国の1時間降雨量の記録を更新する降雨となった。このような豪雨により、長崎市を中心に長崎県下で崩壊および土石流が発生し、死者行方不明299名、負傷者805名、家屋全壊584戸、同半壊954戸という被害を被り被害額約3,153億円に達する災害が発生したことはまだ耳新しい災害の一つである。

これら集中豪雨による斜面崩壊は豪雨域がそのまま災害地域と一対し、豪雨が直接の誘因となる場合が多い。

3. 大型降雨装置による斜面崩壊実験について

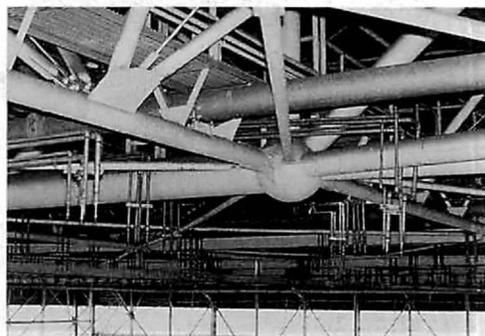
斜面災害は水災害と比較して考えてみると、災害をひき起す誘因としての降雨、融雪水などの気象要素は本質的に変りはないが、降水の供給を受ける斜面（崩壊発生の場合）での局所的な要素に大きく支配されて起こる場合が多いので、「いつ」、「どこで」、「どのような規模」で発生するかを予測するには非常な努力が必要となる。また豪雨型崩壊という

ものは急激な運動であり、必要な観測を行うには十分な時間的余裕がなく、また非常に危険をとまなうので接近が困難となる。そこでこのような条件下で斜面が安定な状態から不安定な状態を経て崩壊にいたるまでの経過を観察するには模型実験によって行うのが一つの有効な研究手段となる。さらに現象面からみると同一場所における同一現象の再現性が非常に少ないために現場における調査研究を難しくしている。そのために模型実験によると、その再現性が可能となり、崩壊現象を理解するためにはさらに有効性が高まるものと考えられる。

そこで国立防災科学技術センターでは筑波研究学園都市に大型降雨実験装置を作り（写真1、2）、この装置を利用して人工的に雨



写真—1 大型降雨実験装置

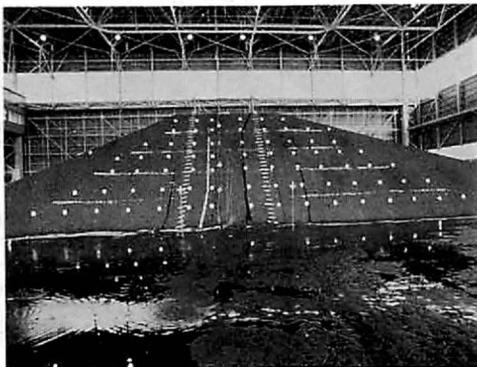


写真—2 大型降雨装置の天井に取付けられた散水用ノズル群（全体で2,400個）

を降らせて実験を行うわけで、ここでこの装置の概要を説明すると、降雨散水面積44m×72mの広さを持ち、降雨強度は15~200mm/時（国内での最大時間雨量記録は、1982年7月の長崎豪雨で、同県長与町187mm/時が観測されている。）雨滴落下高16mという規模、能力であり、このような装置としては世界最大のものである。降雨散水制御は全自動化されており、わずか数人で操作できるという特色をもっている。さらに実験区画（敷地）は5区画に区分され、この装置自体が移動式であるため、製作に長い日数を要する供試体の実験も順次行っているため、実験が能率的に行えるように作られている。

さて、以上の大型降雨装置を使って行った斜面崩壊実験について述べる。

斜面が安定な状態から不安定な状態を経て崩壊にいたるまでの経過を模型実験によって解明するため、比較的均一な土質条件をそなえた砂質土を供試土として、直高5m、天端5m×5m、斜面傾斜角20°、30°、40°、50°の四面体の提体を乾燥密度1.65g/cm³になるように散水を行いつつ均一に転圧し築造した。（写真3）



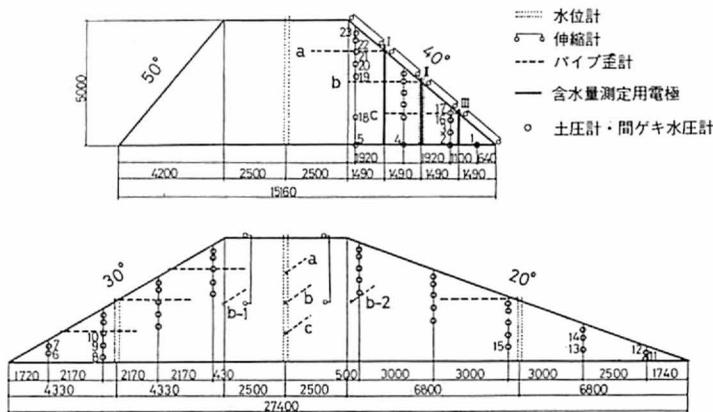
写真—3 斜面崩壊実験用模型（40°斜面，降雨強度25mm/時，降雨開始60分目）

この斜面に降雨を散水し、斜面土中に浸透させ、間げき水圧の発生と増大による斜面のせん断強度の低下によって破壊させる。さらにこの浸透水圧が外力として斜面の土塊に働き斜面を外側に動かそうと作用しているものと考え、提体中に間げき水圧計、土圧計を、斜面中央部に互に隣接した状態で埋設し（図—1を参照）、間げき水圧の増大による土粒子間の有効応力の減少過程を測定する。

そして有効応力の減少によるせん断強度の低下を調べるため、せん断試験機によってその土質特性の解析を行う。またせん断強度の低下によって発生する斜面のひずみは崩壊の規模に関係せず、崩壊時期よりかなり前に変化を示すので、崩壊の位置を予測するには土中ひずみおよび地表面変位を測定することが有効な計測手法であると考え。そのために塩化ビニールパイプにひずみゲージを接着したパイプひずみ計を土中に埋設し、土中ひずみを測定する。また斜面に地表面移動計を設置し、地表面の移動量を測定した。（図—1および写真4参照）

さらに、斜面崩壊が発生した場合に、崩壊土塊の流動落下エネルギーがいかにかに構造物を破壊し人命を奪うかといった現象を解明するために、斜面に指標を設定し指標の動きを撮影し、崩壊時の土塊の動きをモーションアナライザーで解析する。（写真4）

斜面崩壊の前駆現象を把握するための土中ひずみ、および地表面変位さらに土中のつりあい関係を判断するための間げき水圧、土圧の測定、および崩壊時の土塊の流動落下現象の測定解析など、崩壊発生から停止までの一連の測定解析を行うのであるが、ここで問題となるのは雨水が斜面土中に浸透して、その



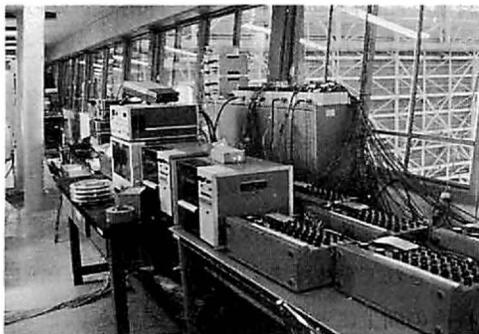
図一 計測器設置位置



写真一 4 斜面に取付けられた計測器の状況

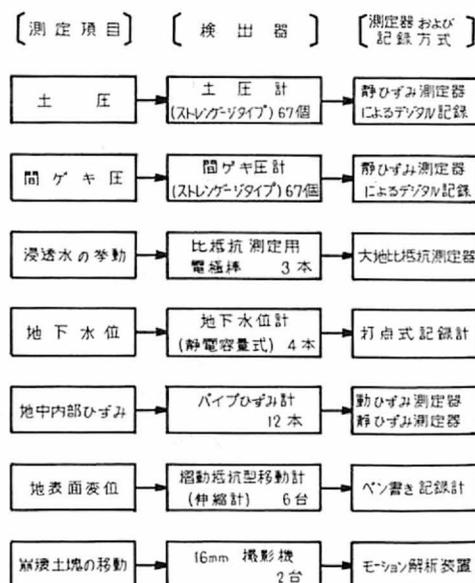
ために斜面が崩壊をひき起こすようになるための要因として地下水が支配している要素が非常に大きいと考えられる。そこで斜面土中の浸潤前線の移動およびそれに従い地下水面の上昇と崩壊との関係調べるため静電容量式水位計を設置して地下水の崩壊におよぼす影響を調べた。(図一2を参照)

以上の実物大の模型を用いて雨水の浸透から、崩壊が発生し、流動停止するまでの一連の現象を把握し、斜面崩壊機構を理解するための実験を行ったわけであるが、大規模な崩壊の誘因となる斜面末端部の流動あるいは洗掘などの局所的な現象が問題となる。(写真



写真一 5 斜面崩壊実験のための計測用機器

6) この現象は不透水層上に発生する地下水の挙動に大きく左右されるものと考えられる。今後、種々の条件における地下水の変化と斜面の局所的な現象との関係調べる必要がある。さらに瞬時に発生する崩壊現象も、斜面内部および地表面では崩壊発生のかかなり前から微小変動を示しており、これを十分な精度で測定し得るならば有効な予知の因子として利用出来ると考える。さらに崩壊土塊の挙動は初期の状態では全体的なすべりを示し、その間に崩壊土塊は局所的な圧縮と引張



図—2 斜面崩壊実験のための計測システム



写真—6 斜面末端部の局所的な崩壊の状況



写真—7 40°斜面に発生した崩壊の状況

を起こしていると考えられる。全体的には、崩壊土塊の上部においては引張力、下部においては圧縮力を受けている。その後崩壊土塊は下部において歪みが増大し、その結果、斜面下部では隆起が起り、また、斜面の上部では沈下現象が起ると考えられる。この現象はしばしば現場でも見られることであり、斜面を注意深く観察すると、斜面の上部に引張によるクラックが発生していたり、さらに、

斜面下部が隆起していたり、押し出しが見られた場合はその斜面は崩壊の危険性を多分に含んでいると判断して周辺住民の避難を速やかに勧告すべきである。

今後さらにこの一連の過程を研究して、降雨、地形、地質、地被などの要因が複雑に組合わされて発生する斜面崩壊の予知、予測の技術の向上に資したいと考えている。