

豪雨によるがけくずれ 調査法に対する提案

飯島 弘

国立防災科学技術センター

Some Proposals of the Investigation Method for the Stability of Natural Slopes under Heavy Rainfall

By

Hiroshi Iijima

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

Whenever areal heavy downpours and typhoons hit our country, many human lives and properties are lost and traffic networks are interrupted by the failures in natural slopes.

Recently these disasters have been tending to increase in consequence of the large-scale development of urbanization.

In order to establish a systematic method for investigation of the stability of natural slopes, actual proposals based on the observation and estimation of the ground water are given in this paper. There is a fundamental difference between natural slopes and artificial embankments such as earth dam or road banking. Proposals are made from the following point of view, that is, stabilities of natural slopes are subject to controls of areal geologic and hydraulic structures essentially.

The relations between the behaviour of ground water and the lowering of the stability of natural slopes are treated in Part 2, for the cases of the foot of a stratified volcano (Taradake, Saga Prefecture) and of the failure of slopes which are surrounding a hilly land (Yokohama City) covered with the so-called Kwanto Loam.

As a conclusion of this paper, the most important things for the scientific and effective approach to the foreknowledge of the failure of natural slopes are areal geologic and hydraulic surveys, including the back ground. At first, we must make clear the most prominent factors for the stability of slopes in each area. For the individual slopes, mechanical surveys of soil and rocks, observation of ground water and estimation of features of the slopes are to be done at the next stage of our investigation program.

目 次

| | | | |
|----------------------------------|---|-----------------------------|----|
| 1. ま え が き | 2 | 3. がけくずれ調査法に対する提案 | 8 |
| 2. 地下水の挙動のモデルとがけくずれ | 2 | 3.1 がけくずれ調査の現状と批判 | 8 |
| 2.1 被圧地下水によるがけくずれ (火山山麓部の例) | 2 | 3.2 がけくずれ調査法に対する 二, 三の提案 | 9 |
| 2.2 基盤の埋積地形とがけくずれ (関東ローム台地の例) | 6 | 4. あとがき | 10 |

1. ま え が き

この報告でとりあげるがけとは台地や丘陵の周縁に位置する自然の斜面、ないし若干の人為的な切取りを行なった自然斜面を指す。したがって人工的に土を盛った盛土斜面は除外している。

豪雨時に発生するがけくずれを大きく分類すると地表流水による浸食で発生するものと、地下水の挙動の変化によって誘発されるものとに区分される。一般に地下水の挙動の変化による、いわゆる地下水型のがけくずれの方が前者に比べて規模が大きく、かつ被害の程度が大きくなる傾向がある。この報告では主として地下水型のがけくずれについて検討を加えることにする。

2章では被圧地下水が、がけくずれのメカニズムの中で主要な役割を果たしていると考えられる火山山麓部(佐賀県太良町)における研究例および難透水性基盤の埋積地形が地下水の流動を支配する優位な要因と考えられる関東ローム台地(横浜市磯子区)における観察例をあげ、地下水挙動に関する簡単なモデルを想定しがけくずれとの結びつきについてふれる。

上記の二つの実例から、3章では今後のがけくずれ調査をより科学的に進めるための具体的な提案を行なっている。とくに、がけ、すなわち自然斜面は盛土斜面とは異なり後背地を含めた地域的な地質的・地下水理的な構造上の制御(structural control)を強く受けるので、がけくずれの予知の問題に正しく取りくむためには地域的な地質的・地下水理的な特殊性の十分なはあくが必要であることを述べる。

火山山麓部の被圧地下水によるがけくずれのメカニズムに関するモデルを想定するに当っては、『噴出岩地帯におけるがけくずれの機構および予知に関する研究』の成果に負うところが大きい。

2. 地下水の挙動のモデルとがけくずれ

地下水型のがけくずれという分類がなされているように、地下水はがけくずれの発生に重要な役割を果たしていることは明らかである。しかし、がけの破壊と地下水の挙動が、どのように結びついているかを具体的に明らかにした観測例はほとんどみられない。相当、長期間にわたる計画的な観測体制を準備しないかぎり、この関係を明確にした観測資料が得られる可能性は少ない。

また地下水の挙動自体、がけおよびがけ背後地の地域的特性に支配されるので、ある1地点で破壊に至るまでの資料が完全に観測されたとしても、地域特性を異にするがけにそのまま適用しようとはかぎらない。

このような困難な問題を効果的に処理するためには、地域特性の中で最も優位であると考えられる要素を選びだして、がけくずれの機構モデルを選定し、実測値との間の近似度を検討してゆくという手段が考えられる。

この章では火山山麓部という地域特性をもつ佐賀県太良町の有明海に面したがけについて、地下水の被圧水化とがけくずれという形で検討を加える。また不透水性の基盤の埋積地形が、豪雨時の地下水挙動に大きく影響を与え、未固結層中にパイピング現象を発生せしめる例として横浜市周辺の関東ローム台地について検討を加える。

2.1 被圧地下水によるがけくずれ(火山山麓部の例)

1) 地下水の被圧水化とセン断強きの低下

土や岩盤のセン断強さを減少させる要因として、間げき水圧の作用、粘土の吸水膨張、凍結・融解、振動などをあげることができるが、豪雨により発生するがけくずれの場合に最も優位に作用すると考えられる要因は間げき水圧の作用である。土や岩盤のセン断強きは近似的に粘着力と摩擦力の和

として次式によって検討される例が多い。

$$\tau = C + (\sigma - U) \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ ：せん断強さ、 C ：粘着力、 σ ：垂直圧力、 U ：間げき水圧、 ϕ ：内部摩擦角。

(1)式の第2項は摩擦力を示す項であるが、もし間げき水圧が増大すると有効垂直圧力が低下し、摩擦力の減少をきたす。換言するならば、豪雨によってある地層中の地下水が大きく被圧されるような条件にあると、

積載荷重の減少 → 摩擦力の低下
→ せん断強さの低下

という過程を経てがけくずれに至ることを示している。

2) 佐賀県太良町における地質・地下水の概要

1962年7月の豪雨によるがけくずれ災害の著しかった佐賀県太良町南部は多良岳（標高982.7m）東麓の有明海に面した海食崖の下に位置している。周辺部の地質層序は表-1のとおりである。

表-1 太良町付近の地質層序

| 時代 | 地層 |
|------|------------------------------|
| 現世 | 竹崎玄武岩類 |
| 洪積世 | 多良岳安山岩類 |
| 鮮新世 | 田古里粗粒玄武岩類 (TB ₄) |
| | 基盤玄武岩類 { (TB ₃) |
| | (TB ₂) |
| | (TB ₁) |
| 古才三紀 | 杵島層群 |

被災地域の基盤をなす玄武岩類は溶岩・火山砕せつ岩類の互層で、北ないし北北東に緩傾斜している。基盤の玄武岩類が向斜構造を示す凹部には多良岳安山岩が分布している。

玄武岩溶岩中に発達する割れ目には豊富な地下水が流動している。この割れ目の地下水は、背後にある広大な火山山体をかん養源とし、太良町大浦地区の上水道水源として利用されている。太良町里地区で実施した地質調査用ボーリングで測定したところによると、玄武岩の割れ目の地下水はやや被圧されていることが明らかになった。

溶岩台地を形成する多良岳安山岩は柱状・板状の節理の発達が著しく、風化も一般に進んでいる。台地の周縁部では節理が開口しているのが観察される（写真-1、-2参照）。台地の地下水位は比較的高く、玄武岩と同様に割れ目の水が豊富である。節理系は互いに連絡し、下位の砕せつ岩類を

受け盤として地下水は比較的容易に流動しているものと推定される。たとえば、基盤の埋積谷に沿って流動してきた地下水が、里地区海岸の安山岩のがけから約15,000m³/日の湧出が認められることから上記のことが推測される。



写真-1 龍ノ浦がけくずれ地点にみられる多良岳安山岩のオープンブラック状を呈する柱状節理



写真-2 野上川河口部にみられる多良岳安山岩の板状節理

3) 実験斜面における観測結果とモデル

豪雨下におけるがけの安定性を各種計器で直接測定するために長崎本線と国道207号線が並行する太良町里地区のがけが実験斜面として選ばれた。（防災科学技術総合研究報告、No.13参照）このがけは1962年7月の災害時には破壊をまぬかれたが、その両側部は大きく崩壊している。実験斜面には直接安山岩は分布していないが、背後地には広く分布する。測定項目は下記のとおりで、鉄道技術研究所が測定を担当した（噴出岩地帯におけるがけくずれの機構および予知に関する研究；総合研究、1964～1966）。

- a) 間げき水圧の測定、
- b) 含水量の測定、
- c) 地表ひずみの測定、

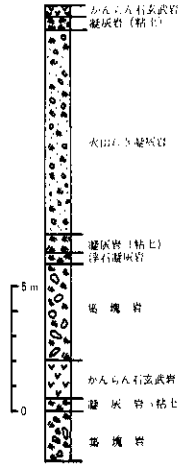


図-1 実験斜面付近の標準柱状図
(安藤・高橋1966による)

ここでは降水量と間げき水圧発生との相関についてとくに重点を置いて考察する。降水量とがけ構成層ちゅうに発生する間げき水圧(hydrostatic excess pressure)の相関を測定することを目的として坂田電機製PPR-2型間げき水圧計を地表面下3~4mおよび1.2~1.5mの2層に埋設した。間げき水圧計を埋設した部分は比較的透水性の良好な層準で、とくに下部の層準からはがけの部分に常時湧水がみられる。図-1と比較すると計器設置位置は粘土化した凝灰岩の上の層準にあたるものと考えられる。

図-2は日降水量と間げき水圧の相関についての測定結果で、間げき水圧の変化を水頭の変化に換算して示してある。グラフによれば下部透水層(P-4)、上部透水層(P-1)ともに降雨があると水頭の急速な上昇がみとめられ、同一降水量に対する上昇の割合は下部透水層(P-4)の方が大である。測定期間内に経験した最大日降水量は約300mmで、これに対応する水位上昇量は約4.5mである。1962年7月の災害時の降雨記録をみると日降水量は約700mm程度であったことがわかる。日降水量が293mm以下の場合の相関関係が700mmまで拡張されうると仮定すると、水位上昇量は約10mに達することになる。この

* Terzaghiは土の圧密の過程で発生する水圧のうち、静水圧以上のものを過剰水圧と呼んだ。ここでは降雨時に発生する地層水の初期水圧以上の水圧をさす。すなわち被災度の上昇の程度をいう。

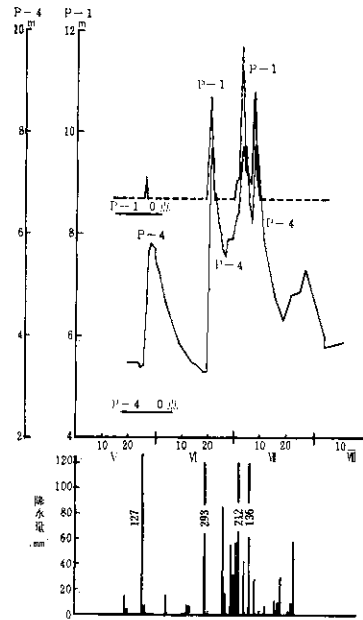


図-2 実験斜面における日降水量と間げき水圧
(鉄道技術研究所の資料による)

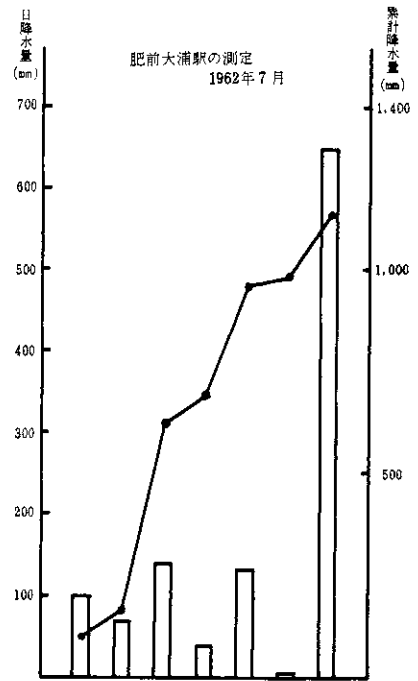


図-3 1962年7月被災時の降水状況
(佐賀県防災課の資料による)

値はきわめて大きな間げき水圧の発生を示すもので、有効垂直圧力が大幅に減少し、せん断強さの低下を促すことを示している。

また図-2のグラフから降雨があると間げき水圧の発生が、大きな時間的な遅れなしに現われていることがわかる。また、実験斜面の地表付近における含水量の変化の記録をみると地表面下2m以深は常に水で飽和に近い状態にあり、豪雨時に大きな含水量の変動を示すのは地表から2m以後の部分にすぎないことが明らかにされている。以上、要約すると次の3点となる。

- i) 豪雨時に発生する間げき水圧は異常に大きい。
- ii) 間げき水圧の発生は降雨直後からみられる。
- iii) 豪雨による含水量変化の激しい部分は地表面から2m以浅で、それ以深は常時水で飽

和されている。

上記のような地下水の挙動を説明するための一つのモデルとして図-4に示すものが考えられる。すなわちがけ構成層に地下水を供給する経路として、がけの後背地からのものを重視しなければならないという点である。iii)の測定によって明らかになようにがけ付近に降った雨が地表から地下に浸透する地下水供給経路は、火山山麓部のがけくずれの場合にはあまり重視する要はなく、むしろ、後背地に大量の水が供給されて後背地の地下水面が上昇し、その結果水頭の増大が、がけの部分に急速に波及してゆく点がより重要であり、実際の結果をよりよく説明できる。さらに異常に大きい間げき水圧の発生を説明するためにも、図-4に示すように、後背地の地下水面の高さとの関連を考えなければならない。

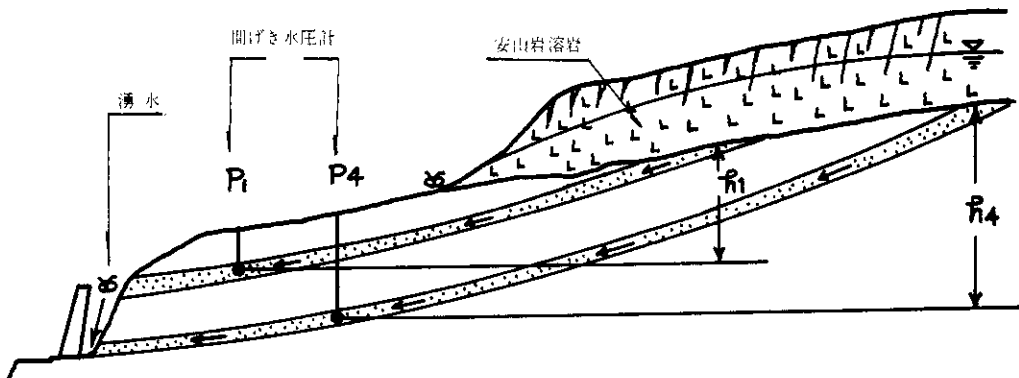


図-4 地下水の挙動に関するモデル

以上、主として地下水の挙動と間げき水圧発生メカニズムについて考察を進め、モデルを想定してきた。一方、鉄道技術研究所の研究(防災科学技術総合研究報告に掲載の予定)によると、実験斜面における間げき水圧の上昇は日降水量1000mm程度までは300mm以下の場合における水圧上昇率を拡張して適用でき、試算によって実験斜面の破壊は日降水量600mm付近で発生する可能性のあることを明らかにしている。

4) 今後の問題点

実験斜面における実測を通じ日降水量600mm前後で実験斜面のがけに破壊が生じることが推定された。しかし事前の降雨のあり方が間げき水圧

発生に与える効果についてはさらに検討を加える必要がある。

太良町里地区の実験斜面で得られた成果は、火山山麓部のがけの一特性、すなわち火山砕せつ岩類の中の地下水は豪雨時に急速に被圧水化する事実を明らかにした点にある。

この成果から太良町の有明海に臨むがけ、ないしこの地域に類似した地質的・地下水理的条件を備えた火山山麓部のがけの危険度を判定する基礎的な目安として次の諸点があげられる。

i) 凝灰岩・凝灰角れき岩などの火山砕せつ岩類は豪雨時には急速な間げき水圧の上昇による強度低下が著しい。したがって、がけの中部ないし

下部に火山砕せつ岩が露出し、常時湧水の認められるようながけは危険度の高いがけと考えられる。太良町の例ではがけの上部に安山岩が分布する場合には、下部の火山砕せつ岩のセン断破壊により上部安山岩をも含めた大規模ながけくずれが発生する可能性がある。

ii) 上部の溶岩類を石材などとして採掘し、人工的に火山砕せつ岩類を露出させたような場合には、豪雨時のがけの安定性が低下する要因となる。

2.2 基盤の埋積地形とがけくずれ (関東ローム台地の例)

1966年6月27~28日、台風4号の影響によって横浜市における累計降水量は260mmを越え、6月28日15時~16時の1時間降水量は21mmに達した。その結果、28日の夕刻から関東ローム台地周辺のがけや人工斜面で500箇所を上回るくずれが発生し、死者26名という大きな被害をだした。

1) ほらあなの発生とセン断応力の増大

横浜市戸塚区矢部町のローム台地の道路切り通して未固結の細・中粒砂層(屏風ヶ浦層上部の踊場砂層)ちょうにパイピング作用によって形成されたと推定される自然のほらあなが観察される。パイピングは地下水の動水こう配に影響されるが、鉛直方向のパイピング発生の際動水こう配は次式で表わされる。

$$i_c = (G-1)/(1+e) \quad (2)$$

ここに、 G : 土粒子の比重、 e : 間げき比

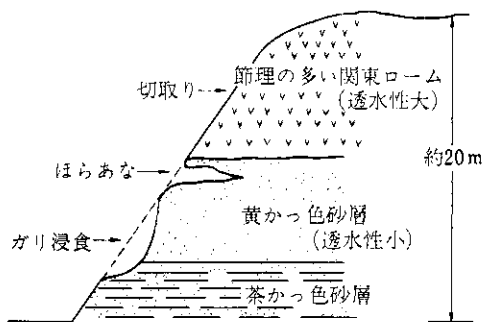


図-5 人工の切通しに見られるパイピングによる踊場砂層のほらあなの例(横浜市戸塚区)

すなわち、比重(有効垂直力)と間げき比(固結度)によってパイピングの発生条件が異なってくる。

切通しのほらあなは透水性の大きい関東ローム(多摩ローム層)と砂層の境界付近にはほ水平に点々と分布し、孔口の径は30~100cm、奥行は150cm以上に達している。ほらあな直下のノリ面はガリ状の浸食を受けており、これは豪雨時にほらあなから流出した水によって引き起こされた表面浸食であると考えられる。このほらあな群は人工的な切取りによって地下水の浸透路長が短くなったところに豪雨があり、台地の地下水水位面上昇し動水こう配が増大してパイピングが発生し、形成されたものと考えられる。いったんほらあなが形成されると、動水こう配がより増大し、がけの内部にむかってパイピング作用を促進させる。

がけを不安定化させる要因を大別すると次のようになる。

- a) がけ構成層中のセン断応力の増大
- b) がけ構成層のセン断強さの低下

豪雨によってくずれを起こす地層が未固結層の場合には、上記例のように比較的容易にほらあなを形成する。したがってセン断応力を増大せしめる諸要因の中で、パイピングによってがけ斜面に形成されるほらあなは重要なものと考えられる。

2) がけくずれの概要

がけくずれ被害の最も著しかった横浜市磯子区の臨海部は才四紀屏風ヶ浦層模式地として知られているところで、標高90~60mの開析の進んだ洪積台地を構成している。この台地は地形面としては多摩丘陵のT₂面に対比されるもので表層部は多摩ローム層および武蔵野・立川ローム層によっておおわれている。根岸湾に臨むがけは比高約50mの海食崖よりなり、傾斜は50°~80°に達する急斜面をなしている。最近の傾向として、埋立てによって海に向かって市街地が発展すると同時に、海食崖の直下にも住宅が新築されるようになってきた。

図-6はがけくずれによる家屋倒壊で人命被害をだした磯子区森町のがけの断面を示すスケッチである。がけの下部には固結した暗灰色のシルト岩(三浦層群上部)が露出し、その上部に直径2~5cmの円れきを含む砂・砂質シルトの未固結層(屏風ヶ浦層)が重なっている。がけくずれ地点では植被によって確認できないが、上記のれき・砂・砂質シルトの未固結層をおおって、厚さ3~10mの関東ローム層が分布している。くずれを発生した部分はシルト岩と未固結層の境界面(不整合

面) 付近から上部で、シルト岩の部分は新鮮な地はだを露出しているが、くずれた形跡は認められない。

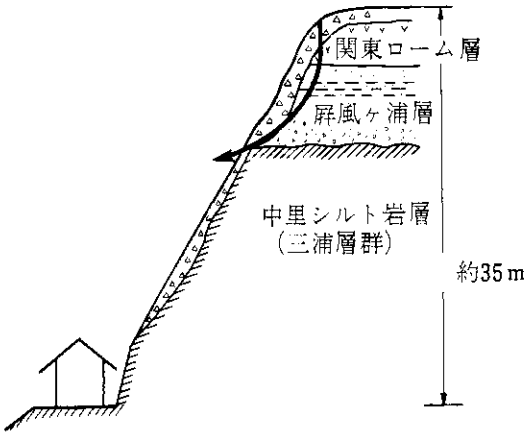


図-6 磯子区森町がけくずれ地点のスケッチ

くずれて落下した土量は数十～百 m³ の程度で、崩落土中には屏風ヶ浦層下部の円れきが相当量混入している。しかし、大部分は崖麓性の堆積物で不整合面付近の棚状地に堆積していたものが、未固結の屏風ヶ浦層の一部とともにくずれたものとみられる。同じ洪積台地の海食崖に近接して3か所、西北方約3 km の内陸部のがけに1か所がけくずれが発生しているが、いずれも不整合面より上部の未固結層ちゅうにくずれが発生している。

3) 地質・埋積地形と地下水の挙動

がけくずれ地点の下部に露出するシルト岩は三浦層群上部の中里シルト岩層と呼ばれるもので、図-7に示すようにプリンスホテルの南に谷底をもち、西方に延びる幅約4 km の埋積谷が刻まれている。この基盤層の谷を埋めて未固結の堆積物、すなわち洪積世中期の河口性堆積物である屏風ヶ浦層が堆積し、それを多摩ローム層がおおっている。さらに、これらの地層を不整合におおって台地の表層部に新期ローム層が分布している。

屏風ヶ浦層の基底面、すなわち中里シルト岩層の浸食面は西にゆるく傾いているが、幅約4 km の埋積谷も $1/100 \sim 2/100$ のこう配で西方に傾斜している。これに従い屏風ヶ浦層は屏風ヶ浦期 (2×10^5 年 B.P.) の積成盆の中心である相模平野に向かって層厚は次第に増している。

このような地質構造と地形条件からみて、ロー

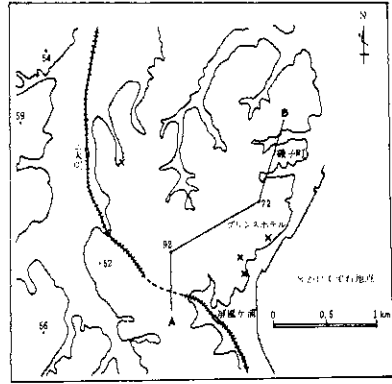


図-7(A) 磯子区のおもながけくずれ地点

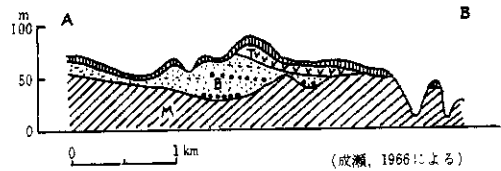


図-7(B) 地質断面図

ム台地のがけくずれに関与する地下水は、降雨によって地表面から供給され、ローム層、屏風ヶ浦層ちゅうに貯留され受け盤(難透水層である三浦層群)の埋積地形に支配され流動する浅層地下水であると考えられる。

台地の表面をおおる関東ローム層は火山灰起源の堆積物で、種々の特異性を示す土である。とくに降雨に対する土質特性として次の諸点をあげることができる。

i) 空けき率が大きい。

空けき率は75～80%に達し、自然含水比の値からみると常態では不飽和土であり、降水に応じて相当量の地下水を貯留する能力がある。

ii) 透水性が大きい。

乱さない試料について定水頭式試験を行なった結果によれば、透水係数(k)は

$$k = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

程度であった。さらに関東ローム層ちゅうにはクラックの発達が顕著な層準があり、縦方向の透水性を助長している。

上記の特性を示す関東ロームにおおわれ、受け盤の谷を埋積して分布する屏風ヶ浦層は層相の変

化が著しいが、谷底部に分布するれき質部・砂質部では横方向の透水性は相当に大きいものと推定される。これを裏付ける現象として、降雨のない時期でもローム層のうちに貯留された地下水が徐々に屏風ケ浦層のうちに浸透し、基盤（受け盤）との不整合付近から地表に湧出しているのが台地周辺で多数観察される。

しかし、豪雨時には短時間に大量の地下水供給を受けるので、図-7の断面図にみられるような埋積谷の部分には、地形上の集水域より広い地域の地下水が短時間に集中する。その結果、地下水の動水傾度が急増し、がけの不整合面付近の砂層に対する臨界動水こう配を越えるとパイピング作用が発生しほらあなを生じる。一度ほらあなが生じると流線の集中がより顕著になり、ついには地下水の噴出、ほらあなの拡大、セン断応力の増大、がけくずれと進展する。

4) 今後の問題点

関東ローム台地の基盤の埋積地形については、最近の第四紀学の成果によって次第に明らかになってきた。この成果をがけくずれ調査の基本的な資料として活用すると同時に、埋積谷部における地下水の挙動を長期にわたり観測し、豪雨時の地下水変化を明らかにすることが必要である。また未固結の屏風ケ浦層の透水性、パイピング発生時の臨界条件のはあくなどが必要となる。現在のところ各種の目的に応じた土質試験は相当数行なわれているが、地域的特性をはあくする原位置試験・観測を行なった例はないようである。

3. がけくずれ調査法に対する提案

3.1 がけくずれ調査の現状と批判

1966年6月27～28日、台風4号の影響で横浜市を中心に豪雨によるがけくずれが約500か所（神奈川県調べ）も発生し、死者26名という大きな被害をだした。ついで翌1967年7月には、いわゆる梅雨明けの集中豪雨で佐世保市・呉市・神戸市の各地で、がけくずれや小河川のはんらんによって350名を超える人命被害をだしている。

毎年のようにくりかえされる都市周辺の災害、とりわけがけくずれ災害の増大に対しては社会的関心も高まりその予知・予防を要望する声が高まってきている。がけくずれという現象は、わが国の土地利用形態からみた場合、人口集中の激しい都市の周辺に発生しやすい傾向をもっているので、

早急にがけくずれの予知・予防に関する抜本的な態勢を整備しないかぎり、毎年くりかえされる災害を軽減することはまず不可能と考えられる。とくに、がけくずれ発生の危険度を判定するための科学的・効果的な方法論がまだ確立されていないのが現状であり、これを確立することが当面の急務であると考えられる。すなわち、土地利用に秩序を与えるために各種の法規制が考えられ、現に施行されているものもあるが、その規制を裏づける根拠が必ずしも妥当であるとは考えられないものもある。個々の点を指摘する前にがけくずれの特殊性について比較的研究の進んでいる地すべりと対比しながら考えてみたい。

- 1) がけくずれの調査・研究は地すべりの場合にくらべて、より予知に重点を置いたものでなければならない。それは“くずれる”、“すべる”という表現に端的に示されるように運動の速度が、がけくずれの方が一般に大であり斜面の安定に異常をきたしたことを示す前駆的な現象が現われてからでは避難の時間が十分でない場合が多い。また豪雨によるがけくずれの発生時刻を過去の記録からみると、降雨のピーク時ないしピーク直後に発生する例が多い。これに反し、地すべりの場合にはすべりが活発化するのはがけくずれに比して時間的により遅れるのが普通である。
- 2) がけくずれは通常の場合、くずれを予測させるような明りょうな挙動を示さない場所に一挙に発生する例が多い。また経験的に一度がけくずれが大量に発生した地域は次に同程度の刺激を受けても前回ほどの被害を出さないことが知られている。換言すれば、がけくずれば、地質条件に対する選択性にとぼしく、素因としての地盤に潜在するエネルギーを一挙に放出する傾向があり、がけくずれ危険地帯は数十～数百年の期間で移動してゆく傾向があるともいえる。一方地すべりは特定の地質条件をもつ地域に地すべり帯を形成し、長期にわたり反復してすべてエネルギーを放出する例が多い。すなわちがけくずれる場合には誘因である降雨が優位に作用するのに対し、地すべりの場合は素因としての地質条件がより優位に作用するといえよう。しかし、最近の都市周辺のように活発な、あるいは無秩序に近い人為的刺激を大量かつ急速に加え

た場合には上記の経験法則の繰り返しサイクルがより短縮される恐れは多分にあると考えらるべきであろう。

- 3) 地すべりは数十～数百haに達する規模で緩斜面が滑動するものが多い。これに対しがけくずれによる移動土砂量は、はるかに少ない場合が多い。しかし、災害の面からみると規模は小さくても、がけくずれの方が大きな被害を与える場合が多い。これはがけくずれの発生個所が、人口密度が高く公共施設が密集している付近に多いことに由来する。また人命被害の大きくなる要因の一つとして生活者のその土地に対する認識の浅さも考える必要がある。

上記のような特殊性をもつがけくずれ現象に対処するための調査基準や法規制は、各地方自治体ごとに設定された建築基準条例などに準拠しているものが多い。これらの条例に示された規定をみると、斜面の形態、斜面の切取り限界高、斜面のこう配などについて各土質ごとにある数値が示されているものが多い。これらの数値が導かれる過程では、代表的な土質について力学試験や実験を実施して土質力学的な検討が行なわれたものであろうと推測される。がけくずれの研究を進めるうえで土や岩盤について力学試験を可能なかぎり数多く行なうことはきわめて重要なことである。しかし、これらの試験の値から一挙に個々のがけの安定性を計る基準に結びつけるとするならば、きわめて重要な手順が抜けているといわなければならない。それはがけおよび後背地の地域的特性のはあくであり、個々のがけがどのような立地条件下にあるかという検討である。2章で検討した例を引くまでもなくがけを構成する土や地層の空間的な広がり、それらの組合わり方、水理地質的な検討などを経なければ豪雨時のがけの安定性を考える重要な要素を見落とし、予測しなかった場所に、がけくずれの発生をみる恐れがある。

このような地域的特性のはあくを着実に行ない、さらに対象とする地域の新しい土地利用形態が豪雨時にどのような反応を示すかという見直しおよび土質力学的検討が組合わされたならば、より高度の、より精度の高い予知に結びつけることが可能となるであろう。

がけ周辺の土地利用が今後ますます高度化する傾向にある現在、防災科学的な裏付けをもった法

規制で土地利用に秩序を与えることは当面の急務であるといえよう。

3.2 がけくずれ調査法に対する二、三の提案

がけくずれを誘発する豪雨時の地下水の挙動は、後背地を含めた地域特性によって大きく変化することはすでに述べてきた。がけくずれの調査を効果的に、かつ計画的に進めるためには、地域的な特性のはあくを先行させ、次いで個々のがけの危険度の判定へと取りくむべきである。もし、地域的な特性の検討を省いて個々のがけの危険度の判定を考える調査法を続けたとしても、効率が悪く、かつ調査・研究の進行とともに予知精度が向上することは期待できないであろう。効果的にがけくずれの研究を進めるためには次のような手順を踏むのが妥当であると考えられる。

1) がけくずれの予知を目標とした地質調査

地質調査の方法も対象とするものによって調査の観点を変えるのが当然である。地表面下数十mの地質構造が支配的にきくがけくずれ現象を対象とする地質調査にはおのずから重点を置かなければならないいくつかの点がある。地質調査である以上、地域的に地層の分布状況や構造をはあくすることが第一であることは論をまたない。

一般的な地質調査に加えて、がけ構成層の組合せの状況、構成層の透水性の概要などに注目することが必要である。地下水流動を左右する不整合面や不透水層の微細な起伏や崖麓層の分布なども欠かせない調査対象となる。このような地域的な調査を通じて、地下水の挙動の地域的特性を明らかにし、個々のがけの立地条件を明確化することが必要である。名神高速道路の建設に当たり切取りノリ面(がけ)の安定性について検討した稲田・土肥¹⁰⁾は次のように述べている。

『名神沿線に現われる粘性土は大阪層群あるいは古琵琶湖層群に属する洪積層で比較的堅く、当初安定計算で予想したほどの問題は生じなかった。

ところが当初ほとんど予想もしなかった洪積砂質土の切取りノリ面が、その下位にある粘性土に沿って滑落することが多く、しかもこの崩壊は深い切取り部よりむしろ地下水の集中する沢の低いノリ面や、過去に地すべりや崩落の履歴をもった斜面の切取り部でひん発した。

そこでわれわれは土質試験あるいは安定計算以前の問題として、踏査の重要性とくに地下水分布の予想や過去における地すべりなどの履歴を知る

ことなどがきわめて必要であることを改めて痛感した……」

2) がけ周辺の土地利用の変化の監視

量的にも質的にも、都市域のがけに対する人為的な働きかけはきわめて激しいものがある。現状では各種の法規制が現実の変化に追いついて行かないといった傾向がみられる。急速に変ぼうしつつある実態を経常的に、正確にはあくしていなければ、適切な防災的措置を講ずることが不可能となるであろう。

限られた人員・予算・時間で効果的に上記項目を調査する場合に、空中写真の撮影・判読などの手段を利用することは有効である。

3) モデル斜面における測定・観測

地域的な地質・地下水理調査から、地下水型のがけくずれが発生しやすいと推定されるモデル地点を数か所選定し、各種の試験・観測を長期間にわたり実施する。とくに地下水の挙動に関する観測は可能なかぎり長期にわたり継続観測する必要がある。短期間の観測では予知に有効に利用できる資料が集められない恐れがあるからである。

力学的に斜面の安定性を検討する場合、がけの形状およびがけを構成する土や岩盤の力学試験値が基本となる。したがって、できるだけ多くの試料について試験を実施して可能なかぎり正確な力学的諸定数を決める必要がある。とくに自然斜面の土や岩盤の試験は、サンプリングの段階から試験値に大きな影響を与える可能性があるため、モデル斜面では大規模な原位置試験を計画してみるのもよいであろう。

斜面の安全率(F_s)は二つの力の比で表わされ、

$$F_s = \frac{\text{滑動に抵抗する力}}{\text{滑動を起こそうとする力}} \quad (3)$$

その値(F_s)が1以下になると斜面は破壊する。豪雨によるがけくずれを考える場合、安全率の低下に対して優位に作用するものは「滑動に抵抗する力」の減少である場合が多い。滑動に抵抗する力の基礎となる単位面積の土のせん断強さ(τ)は、

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

(ここにC:粘着力, σ :有効垂直圧力,
 ϕ :内部摩擦角、)

で表わされる。豪雨によって地層内部に間げき水圧が発生すると上式の第2項が($\sigma - U$) $\tan \phi$

となり、第1項Cは不変と考えてもせん断強さは低下する。たとえば、佐賀県多良岳火山山麓の実測例から概算すると300mmの日降水量によって、間げき水圧 $U = 0.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ が発生し、その結果せん断強さは降雨前の76%に低下する。

このように土質定数および降雨量と間げき水圧の相関関係が数多く実測されると、降水量とモデルのがけの安全率の変化との相関が明らかになる。

モデルのがけにおいて上記のような測定を実施し、その地域の特殊性をはあくしてから個々のがけの危険度を判定してゆくならば、より予知精度を向上させることが可能となるであろう。

4. あとがき

地下水の挙動とがけくずれの関係について、若干の実例をあげ調査法に対する提案を行ってきた。がけくずれを対象とする研究は他の研究にくらべて大幅におくれているのが現状である。たとえば呉市・神戸市付近の花こう岩地域のがけくずれの研究などは早急に進めなければならないもの一つである。

がけくずれの研究は、予知に重点を置いたものでなければならぬことはくりかえしふれてきた。がけくずれの特殊性の一つは誘因としての豪雨が あれば、場所がどうあろうとも大なり小なり発生する可能性がある。とくに、かつてあまり被害の経験がなく生活意識の中のがけくずれの危険を感じていないような地域を一挙に破壊する傾向のあることも指摘しておかなければならない一特性であろう。

このようながけくずれの特殊性と、広範かつ急速な都市化が進みつつあるわが国の社会的な背景を考えると、がけ周辺の土地利用の許容限界に対し防災科学技術的に明確な根拠を与えることが当面の課題であるといえよう。

参考文献

- 1) 金子史朗(1957): 関東ロームの節理。地質学雑誌, 63, p.743.
- 2) 中野尊正・小林国夫(1959): 日本の自然。東京, 岩波書店, p.148-150参照。(岩波新書)
- 3) 九州農政局(1964): 白石平野地区調査報告書—昭和39年度農業用水対策予備調査—
- 4) 関東ローム研究グループ(1964): 関東ロ

豪雨によるがけくずれ調査法に対する提案 — 飯島

- ム。東京，築地書館。
- 5) 斎藤 迪孝・上沢弘(1965)：降雨時の斜面の挙動(未公表)。
 - 6) 大滝俊夫(1965)：関東ロームの水文学的特性。気象庁研究時報，17, No.4。
 - 7) 大滝俊夫(1965)：降雨によるがけくずれの水文学的研究。気象庁研究時報，17, No.6。
 - 8) 国立防災科学技術センター編(1966)：噴出岩地帯におけるがけくずれの機構および予知に関する研究(才1報)。防災科学技術総合研究報告，No.13。
 - 9) 飯島 弘(1966)：川崎市久末の灰津波災害の発生機構について。国立防災科学技術センター研究速報，No.4。
 - 10) 稲田倍穂・土肥正彦(1967)：土質工学の活用による道路土工技術の向上。土と基礎，15, No.7, 9-13。
- (1967年9月4日原稿受理)