

平成18年度

# 砂防・地すべり技術センター 講演会報告

(財)砂防・地すべり技術センター 企画部

平成18年6月8日、砂防会館別館シェーンバッハ・サボーにおいて、  
(財)砂防・地すべり技術センター講演会を開催し、3名の方にご講演いただきました。  
以下に講演の概要を掲載します。

講演1

## これから日本を 襲う大地震



阿部 勝征

あべ かつゆき

東京大学 地震研究所  
地震予知情報センター長 教授

1

### 日本の地震予知の現状

#### 1-1 地震予知と前兆現象

地震の予知とは、これから発生する地震について、「時・いつ（発生する時刻）」、「所（発生する場所）」、「大きさ（地震の規模）」、の3つの要素を前もって知ることである。この3つをあらかじめ、かなりの確かさで予測できれば、大幅に人命の損失を防げるという点で、大変有意義なことである。

そのため国の地震予知計画は1969年後半から進められた。当初は「地震の前兆を捉えれば予知が可能だろう」と考えられていたが、観測体制が充実し、精度の高いデータが集まるにつれ、前兆現象の実態は非常に複雑で一筋縄にはいかないことがわかってきた。地震の前に前兆が出るとはかぎらない、また、前兆の出るしくみが未だもってわからないのである。気象災害であれば、台風が近づけば、気象庁は自前の観測で暴風警報、波浪警報など、行政が自ら判断して警報を発令することができる。しかし、地震予知に関しては、行政が自前でデータを集め自ら判断して地震が起こるという警報を出すに至っていない。

#### 1-2 予知が困難な「時・いつ」

地震予知の3要素のうち、最も予測が困難なのは「時・いつ」である。この「時・いつ」を予知するには3つ条件が必要と考える。それは、①前兆現象が必ずあること、②前兆現象が観測できること（客観的なデータとして記録に残せること）、③その記録されたものが前兆現象であるという確実な判断が下せるということ、である。この3つが揃わなければ、地震が起きる前に、いつ地震が起こるかということを事前に知って、その内容を公表することは難しい。

平成18年度  
財団法人砂防・地すべり技術センター講演会



### 1-3 予知が可能なケース？

これから日本を襲う大地震のなかで想定東海地震は、唯一予知が可能かもしれないと考えられている。これはマグニチュード8クラスの巨大地震が静岡県の直下で起こると、「所」と「大きさ」が特定されており、「時・いつ」についても、マグニチュード8クラスだと、『マグニチュード4クラスまたは5クラスの前兆すべりといわれる地下のゆっくりしたすべりが観測されるはずである』という理論から、観測体制を強化すれば予知が可能かもしれないと考えられている。

ただし、その他の地震に関して、例えば、内陸で起こる直下地震は、マグニチュード7クラスが想定されているが、マグニチュード8クラスに比べ、エネルギー的に数10分の1に落ちるため、前兆は捉えられないと考えられている。また、海域で起こる地震は、地震の規模が大きくとも、精密な地下の異常を感知（観測）できないため、今のところは予知ができないと考えられている。

## 2

### これから日本を襲う大地震

#### 2-1 東海・東南海・南海地震

東海・東南海・南海地震というのは、駿河湾～四国にかけての西南日本において、100～150年の間隔で、繰り返

返し発生してきたマグニチュード8クラスの巨大地震である。毎回巨大地震は起きるのだが、その起こり方の様式が毎回違っている。

例えば、江戸時代の宝永年間には東海・東南海・南海地震がほぼ同時に発生した。一方、60年前に四国沖で南海地震が発生し、その2年前に東南海地震が発生しているが、東海地震は、安政の地震（1854年）で発生して以来、152年間発生していない。これは、地下に相当なエネルギーが溜まっている可能性を示唆し、現時点ではいつ起きてもおかしくない巨大地震と認識されている。

#### 【被害想定】

国は大きな被害が予測される地域を「防災対策推進地域」にする法律を定め、東海・東南海・南海地震では、21都府県（対象人口3,700万人）を指定した。そして、防災対策を講じるために、被害想定（人的被害、経済的被害）をしている。東海地震が単独で起きる場合や東海地震と東南海地震が同時に起きる場合など、いろいろなケースを想定しているが、東海・東南海・南海地震がすべて同時に起きた場合、死者数は28,000人、全壊建物数は96万棟、経済的被害は最大で81兆円と推定され、きわめて甚大な被害となる。

#### 【被害の特徴】

被害の特徴は、非常に広域にわたる揺れと津波来襲等により多数の犠牲者を伴った、きわめて甚大な人的被害・経済被害を生ずる広域的な複合災害となることである。国は防災対策を講ずるために、期限（10年間）を決めて、その間に努力目標を設定（死者数・経済被害を半減）するという、防災戦略を昨年初めて公表した。留意すべき問題として、超高層建物等に影響する長周期地振動の発生などをあげている。

#### 2-2 日本海溝・千島海溝周辺の大震災

#### 【被害想定】

東北地方、北海道地方の沖合いで発生する巨大地震についても、「防災対策推進地域」の指定がなされた。防災対策を講じるための被害想定を行うにあたっては、海域で発生することから場所の特定が困難であるため、過去の事例を参考に8通りのケースを考えている。

その中で最も大きな被害は、宮城県沖地震の発生による被害（約1.3兆円）である。仙台という大きな都市があ

るためであるが、政府の地震調査委員会は、今後、30年以内に発生する確率は99%と公表している。

#### 【被害の特徴】

太平洋岸で起きる地震の特徴として、当然のことながら津波被害は大きいですが、地震は沖合いで発生するので津波が到達するまで20～30分の時間的余裕はある。ただし、冬に地震が発生した場合、避難路の凍結による避難の困難、積雪による屋根加重の増加、出火の危険性の増加などが挙げられる。

#### 2-3 首都直下地震

これまで南関東で発生した地震（マグニチュード6以上）は、活動期と静穏期を交互に繰り返しているようにみえる。そして、活動期の最後のほうで、関東大地震、元禄大地震といったマグニチュード8クラスの地震が発生し、その前には、大きな地震が起きやすくなる傾向がみられる。マグニチュード8クラスの地震の繰り返し間隔は、200年～300年である。関東大震災は1923年であることから、今後100年以内に発生する可能性は少ないが、いずれ活動期に入れば、マグニチュード7クラスの大きな地震が南関東で起こりやすくなるのは間違いないと考えている。

#### 【被害想定】

南関東とは、1都3県（東京、神奈川、千葉、埼玉）を主な対象地域とするが、南関東でマグニチュード7クラスの地震が発生する場所を特定するのは困難である。それは、南からはフィリピン海プレートが南関東の下に入り込み、さらにその下には東からは太平洋プレートが入り込んでいるため、いろいろなところで地震が起こることが考えられる。

一般的に、浅いところで地震が発生すると、地震の規模は小さくとも被害は大きくなるわけであるが、浅いところで地震が起きるとすれば、活断層が要注意といえる。関東地方でも東京の立川断層や神縄・国府津・松田断層、三浦半島断層といった活断層がある。被害想定にあたっては、これらの活断層を含めた18ケースの地震を考えた。

#### 【被害の特徴】

被害想定した18ケースのうち、1都3県に大きな被害を与えるタイプの地震がある。東京湾北部の地震（マグニチュード7.3）である。過去に起きた例としては、江戸時

代に発生した直下型の地震がある。安政の江戸地震（1855年）と呼ばれ、当時の江戸の人口120万人のうち、1万人が犠牲となった。被害の特徴として下町のほうが被害が大きく、地盤の悪いところでは揺れは増幅して家屋の倒壊件数が増える傾向にあることである。直接的被害は、建物被害が約85万棟、死者数は約12,000人と推定される。建物の下敷きになって自分では外に出られない等の自力脱出困難者は、最悪で約56,000人と推定される。また、帰宅困難者が都内で約390万人、1都3県で約650万人と想定された。これらの経済被害を算定すると、直接・間接被害の合計で112兆円に達し、現在の国家予算（約80兆円）を超えることが見込まれる。

これらの被害を減らすことが防災戦略となるが、防災戦略には3つの大きな柱を考えている。東京はあらゆる活動の中心地であり被害の影響が全国に波及してしまうことから、政治、行政、経済の中核機能を継続させるための「①BCP（事業継続計画）の策定」、膨大な被害量が見込まれる建物被害を軽減するための「②建物の耐震化」、そして、火災を初期段階で消し延焼火災を防ぐ「③初期消火率の向上」である。なお、③については、住民自らが自分で火を消す、近所の人と協力して街の火を小さなうちに消してしまうといった住民による自助・共助が必要となる。防災戦略の結果として、85万棟の80%にあたる家の延焼を防ぎ、それに応じた死者数の半減および経済被害の4割減が可能と考えている。

## 3 最後

これから日本を襲う大地震というものがあるといわれている。また、それらに対する防災対策を講ずるための被害想定が行われ、防災戦略も立てられ始めた。これから、その防災対策を講じていくことが重要となる。防災対策は時間がかかるが、今からでも対策を講ずるのに遅いということはない。

講演  
2内陸型地震により  
発生した地すべり災害

丸井 英明

まるい ひであき

新潟大学 災害復興科学センター 教授

1  
はじめに

2004年11月に新潟県中越地震が発生し、その約1年後の2005年10月にはパキスタン北部地震が発生した。これらの地震は、山間地域における強い内陸型地震であったことから、多数の地すべり、斜面崩壊が発生した。

このような内陸型地震による斜面災害の概要について報告する。

2  
新潟県中越地震について

## 2-1 概要

全国有数の地すべり地域である中越地方において、強い内陸型地震が発生したため、地すべり・斜面崩壊が多発した。同時に、この地域は全国有数の豪雪地域であり、地震によって損傷を受けた家屋が積雪の荷重によって倒壊するなど住宅被害が拡大していった。また、融雪期には斜面崩壊の拡大が危惧された。

## 2-2 斜面崩壊状況

国土交通省の調べでは、全体的な斜面崩壊ならびに地すべりの発生件数は3,800カ所、推定崩壊土砂量は約1億 $m^3$ 、そのうち約10カ所は崩壊土砂量が100万 $m^3$ を超える大規模な崩壊であった。また、50箇所以上での地すべりダムが形成された。中越地震による斜面移動の形態については次の通りである。

- ①尾根付近の急斜面で崩壊が多発している。
- ②河川沿いの溪岸崩壊が多発している。
- ③中間の比較的緩い斜面で、再滑動型地すべりが起きている。

これまでの地震では、緩い斜面における再滑動型地すべりは認識されていなかったが、今回の地震で多数発生したことが特徴的であった。

## 2-3 地すべりダムの形成と緊急対応

東竹沢地区、寺野地区では、地すべりダム形成による河道閉塞が生じた。ダムの決壊の危険性について判断しなければならなかったが、水深に対してダムの規模が大きいため、閉塞区間が長いことから、水圧、パイピングによる決壊の可能性は低いと判断した。しかし、背後の貯水池水位が徐々に上昇していたため、越流による決壊の危険性を回避するための処置が必要であったことから、ポンプによる緊急排水、および、予備的処置として埋設管路による排水路の設置が実施された。

芋川流域全体では、監視カメラによる土塊変状の注視、貯水池の水位観測の実施、さらに、土石流センサーの設置等を行い、下流の集落に対して避難体制を整えた。

## 2-4 復興と今後の課題

現在、対策として、不安定な土塊は切り取られ、のり面工が実施されている。また、軟弱な溪床は、地盤改良を行いつつ砂防ダムを建設して崩壊土塊の安定化を図る等、地すべり対策工事が着々と進行している。

現状では、豪雨による地すべりしか想定されていないため、今後は、地震を考慮した地すべり対策の検討が緊急の研究課題である。

3  
パキスタン北部地震について

パキスタン北部地震は、中越地震の約1年後に発生しており、甚大な地すべり災害が発生している。この地域は、インド亜大陸とユーラシア大陸のプレート衝突境界に位置し、周辺には活動層が広く分布している。震源地に近い既存の活断層に沿った地域やその近傍で、地すべり斜面災害が多く発生した。

ハティアンでは、長さ1.8km 平均幅500m 移動土塊2,700 $m^3$ と非常に大規模な崩壊が発生し、地すべりダム

を形成した。現在、水路による決壊防止対策工事中であり、水路の適正配置や侵食防止の必要性について現地提言している。

この地域の土地利用としては、長大斜面に広範囲で段々畑・棚田を造って農耕を行っており、長年にわたって人々が生活してきた。このような背景で強い地震災害を受けたことは、山古志村の状況と似通っている。

## 4 おわりに

このような地震災害は、アジア変動帯の共通の課題と考えるべきである。今後、同様な災害が発生した場合には、中越地震で学んだ経験を生かして、緊急対応や長期的な対応について技術協力をしていくべきと感じている。

講演  
3

## 地すべり地塊の流下範囲の解析手法と課題



吉松 弘行  
よしまつ ひろゆき  
(財)砂防・地すべり技術センター  
砂防技術研究所長

## 1 事例紹介

地すべり現象の中には長距離移動、すなわち発生域内から流下する現象があり、これを精度よく把握することは、今後のソフト対策、危険家屋住民への避難等におい

て有効であると考えられる。こういった地すべり地塊の流下範囲の解析手法、特に数値解析における現状の技術と今後の課題について述べる。

## 2 事例紹介

地震を起因とする地すべりの長距離移動した事例が3例紹介された。これらの現象に関して、予測という観点からこれらの数値解析の可能性と課題を明らかにすることが本講演の目的である。

### 2-1 長野県西部地震

1984年9月14日に発生した地震(M6.8)により、御岳高原地区で地すべりが発生した。この地すべりは、650mほど道路に沿って長距離流下して停止した。特徴的なのは、立木が立ったまま地塊が停止していることにある。

### 2-2 台湾地震

1999年9月21日に台湾中部で発生した地震(M7.3)により多数の斜面崩壊が発生した。この崩壊地塊のほとんどは、谷底まで流下していた。したがって、地震時に斜面崩壊が発生すると非常に長距離移動する可能性が高い。

### 2-3 ダンベの地すべり

2005年10月8日にパキスタンで発生した地震(M7.6)によりダンベ地区で大規模な地すべり(土塊量:2,700万m<sup>3</sup>)が発生した。この地塊は対岸まで乗り越えて堆積した。

## 3 地すべり地塊の流下範囲についての数値解析の種類

### 3-1 数値解析の種類

地すべり地塊の流下範囲における数値解析の種類については大きく以下の3つに分けられる。今回はこのうちの「②連続系による運動量解析:流体解析に準ずる手法」について説明する。

- ① 質点系による運動量解析
- ② 連続系による運動量解析:流体解析に準ずる手法
- ③ 粒子集合系による運動量解析:個別要素法・SPH法など

### 3-2 連続系による運動量解析:流体解析に準ずる手法

「連続系による運動量解析:流体解析に準ずる手法」においてその運動量を規定する底面抵抗力及び内部散逸力の考え方は次の3つに分けられる。

- ①モールクーロン理論による内部散逸応力の評価
- ②流体の乱れ、粒子の非弾性衝突による散逸応力の評価：典型的な土石流
- ③粘性モデルによる散逸応力の評価：クリープ性の粘性の強い現象

## 4 地すべり地塊の運動の支配方程式

数値解析を行うにあたって求める情報は移動地塊の運動状況、すなわち地塊が停止しているか、活動しているかにある。このため未知量としては、「移動地塊の厚さ」、「斜面方向の運動速度」、「斜面横断方向の運動速度」となる。したがって未知量を求めるための支配方程式は「地塊の連続式」、「X軸方向の運動方程式」、「Y軸方向の運動方程式」の3個の方程式が必要である。ここで用いる支配方程式は拡散項を含まない移流方程式である。

### 4-1 移流方程式

移流方程式の厳密解は、ある時間 ( $\Delta t$ ) 前の波形が、ある時間経過しても同じような形状で進むとして得られる。この移流方程式の計算を行うには、必要な情報量はすべて、求める値が流れてくる方向の値 (風上差分) し或使用しないことで求められる。

### 4-2 数値振動

一次精度の風上差分では散逸誤差が、二次精度では分散誤差が生じ、数値振動が発生する。この数値振動を抑えるため、高精度スキームは三次精度以上の風上差分を必要とする。

## 5 有限要素法

非構造格子を用いた支配方程式の離散化はガラーキン法を用いる。ガラーキン法は風上差分ではなく中央差分を用いていることが課題であり、数値計算の安定のため中央差分を風上差分に直す必要がある。

### 5-1 SUPG法

SUPG法は、流線上で風上側の重みを大きく、風下側の重みを小さくして中央差分による計算スキームが風上差分と等価になるようにするものである。ただし、SUPG法を用いても数値振動は発生する。これはSUPG法その

ものが必ずしも最適な風上方向ではないことに起因する。

### 5-2 衝撃捕捉項

SUPG法による数値振動を、支配方程式の残差ベクトルを最小にする方向で捕捉するものである。数値振動の発生個所のみ数値人工粘性を負荷することで、数値振動の発生を抑えるものである。

## 6 時間項の高精度化 (BTD法)

空間諸量に関する偏微分項の離散化は三次精度まで実施されるが、時間項は一次精度であり、計算精度が悪いため、時間項の高精度化を図る。時間項の二次精度化にはテイラー級数展開を用いて、時間項の二次精度化を空間の諸量値で表現する。

## 7 数値解析事例 (玉の木地すべり)

1985年に新潟県青梅で発生した地すべりでは、地すべり地塊の大半は地すべり発生地内に残っていた。この地すべりの挙動を数値解析により再現することを試みた。数値解析の結果は中央断面の一部で現象と合致しない箇所もあるが、おおむねの現象は説明可能である。今後はさらなる精度向上が必要であると考えられる。

## 8 今後の課題

SUPG法や衝撃捕捉項などを説明してきたが、これらの果たす役割は、非構造格子のElement lengthを適切に選定することによって、支配方程式の二次精度化を測ることができることにある。

従来の支配方程式は一次精度であり、非常に微小な区間を考慮して入力される情報量と、出力される情報量の差の時間変化を考えるものであったが、二次項以降を無視していた。

SUPG法や衝撃捕捉項を適用することによる支配方程式の二次精度化は、数値解析の安定性に寄与することとなる。今後、移流方程式の有限要素法による数値解析の課題は、Element length をより適切に選定し、SUPG法や衝撃捕捉法のさらなる高精度化が必要である。