

## 地震地すべり・連載 2

# 地震地すべりの予測・ 評価手法について

## 有限要素法 (FEM) を 用いた解析

道畑 亮一

みちはたりょういち

(一助)砂防・地すべり技術センター 斜面保全部課長代理

連載1回目では、地震地すべり発生事例より、特筆すべき現象について述べました。

今回は、数値シミュレーションを用いた地震地すべりの予測・評価手法について述べたいと思います。

### 1. 地震地すべりの「何」を予測するのか？

地震地すべり分野での数値シミュレーション技術の適用は、現時点において既に多岐にわたるものとなっています。このため、数値シミュレーション技術について言及するにあたり、解析の目的に応じた整理が有効と考えられます。解析の目的を大まかに分けると、

#### ①地震地すべりがどこで発生するのか？

(危険斜面を抽出する)

#### ②この斜面では地震地すべりが発生するのか？

(個別の斜面を評価する)

#### ③地震地すべりが発生した場合、どこまで移動するのか？ (発生時の影響を評価する)

のように整理されます。それぞれ目的が異なるため、それぞれに適した様々な手法により解析が実施されることとなります。

さらに、もっと基礎的な部分に踏み込んで、実験等により把握された地震時の様々な特性をシミュレーションにより表現しようという取り組みがあります。例えば、④異なる地層を持つ地盤中で実際にどのような地震動が発生するか？、⑤地震時のすべり面での物性値がどのように変化するか？などです。これら基礎的な部分の知見は、上記①～③での解析を実施するうえでの目的や要求精度に応じ、モデルの構成要素として

取り込まれることとなります。

### 2. 地震地すべりのシミュレーションに必要なこととは？

地震地すべりとは、地震時に斜面が揺すられて、地すべりが発生するという現象です。その地すべりの発生・滑動過程では、すべり面等の物性値が低下し斜面の不安体化が進むこと(上記②に相当)や、土塊の移動に伴い破壊されて拡散する(上記③に相当)、という現象が生じますが、まずは、地震時に斜面が揺すられる状況表現することが、地震地すべりのシミュレーションでは肝要となります。

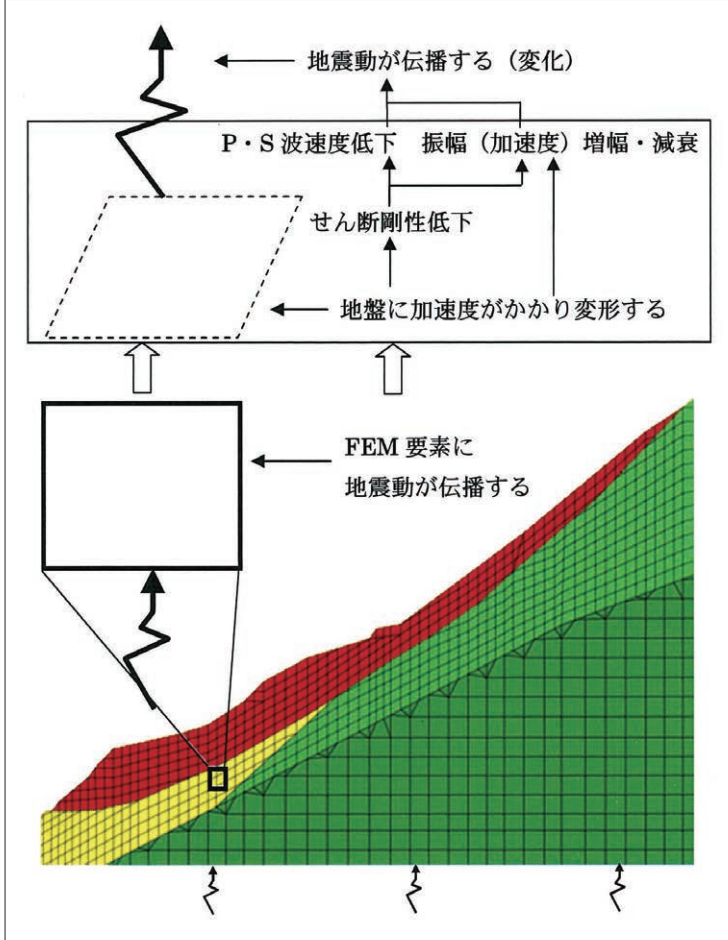
では、地震時に斜面が揺すられる状況表現することとはどのようなことなのでしょう。それは、地震動の振幅や加速度、P・S波速度が、地盤を伝播する過程で増幅・減衰していくことや干渉して増幅したり打ち消しあったりすることを表現することと言えます。これら現象を表現するために、斜面形状をモデル化の上、さまざまな地盤物性に関わるパラメータを設定する必要があります。

たとえば、地盤の物性に関わるせん断剛性(G)というパラメータがあります。せん断剛性とは、簡単に言いますと地盤の変形し難さと言えますが、地震で揺すられた場合、その強度が徐々に低下していきます。地盤工学分野のこれまでの知見により、せん断剛性強度の低下は、歪み(変形)の大きさに応じて発生することが分かっています。よって、まず、歪み(変形)の量を評価する必要があります。歪み(変形)の量には、重力による斜面のバランスに加え、時々刻々伝播する地震動による加速度の影響が加味されますので、時々刻々異なる値が算定されます。

さらに、地盤中のP・S波の伝播速度や振幅・加速度は、せん断剛性の強度に依存しています。せん断剛性強度が低下した場合を例に取りますと、P・S波の速度が低下し、一方で、振幅・加速度は増幅することとなります。このように、地震時の斜面内では、地震動に伴う斜面の歪み(変形)の発生と振幅・加速度の変化、地盤の強度の低下がそれぞれ関連しながら、時々刻々変化していくこととなります図1。

さて、地震時に斜面が揺すられる状況表現するこ

図-1 有限要素法(FEM)による地震応答解析イメージ



との概要を上記で述べましたが、こういった現象を表現するためには、どのような数値シミュレーション手法が適しているのでしょうか。地すべり地内の地層は、流れ盤、受け盤等複雑です。すべり面上の土塊内も完全に乱されている場合もあれば、地盤構造が残っている場合もあります。こういった地すべり地内の特性を考慮すると、斜面内の地層を小さな領域で定義し、それぞれの領域にしかるべき物性値を与えてやることができればよいと考えられます。このような設定に適した数値シミュレーション手法が「有限要素法 (FEM)」なのです。

### 3. 有限要素法(FEM)を用いたシミュレーションで何ができるのか？

それでは、1. で挙げた①～③の解析目的に立ち戻り、有限要素法 (FEM) でどのような解析ができるのか述べたいと思います。

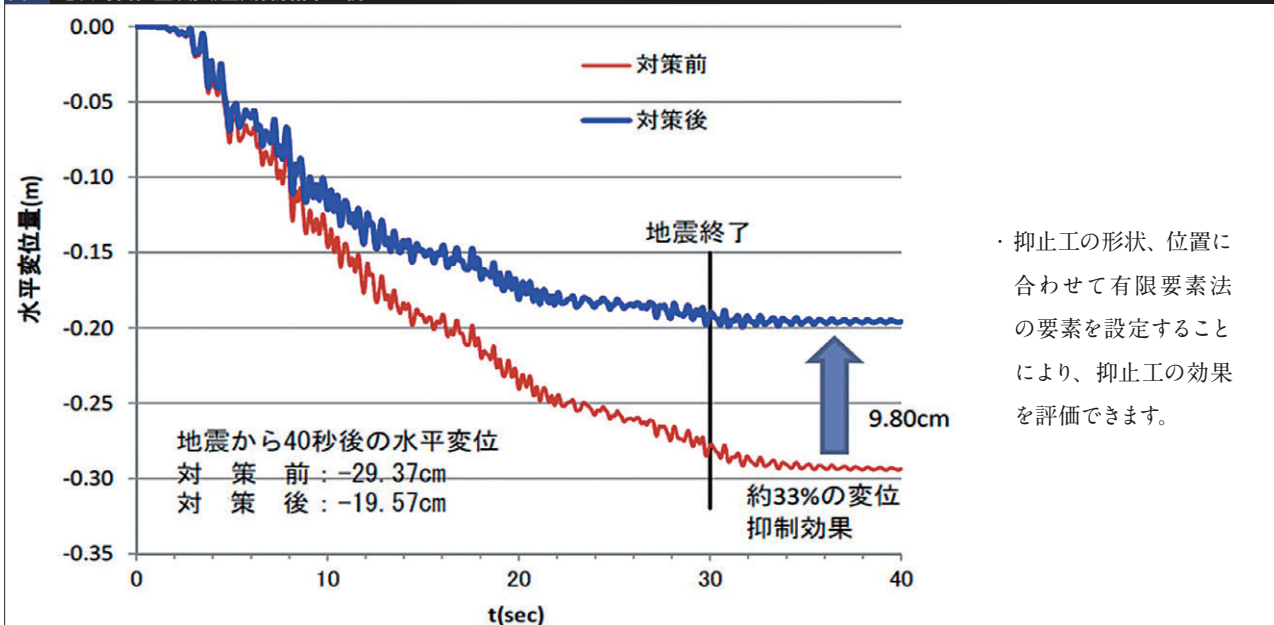
①危険斜面の抽出は、ある程度広い領域から、どの斜面が地震地すべりを引き起こす恐れが高いかを予測するものです。

地形のモデル化に加え、地下の構造を3次的に設定することにより、任意の斜面における地震時の力のかかり具合 (せん断力や加速度) を評価することができます。例えば、ある程度以上の加速度が発生した斜面を「危険」であるとする絶対評価もできますし、解析範囲内での最大加速度の分布より、相対的に危険な斜面を抽出することもできます。

もちろん、せん断力や加速度で評価しようというものですから、HP等で公開されている地震時の最大加速度で十分ではないか、と思われるところではあります。これは、いわゆる「静的」な手法に基づく一つの考え方です。ですが、こういった手法では、例えば、地震時の斜面崩壊には尾根部での地震動の増幅が要因となっている等、従来得られている地形の条件等に関する知見を十分に評価できません。地形効果を重み付けし評価する「静的」な手法も存在しますが、やはり、時々刻々と変動する地震動が伝播する過程では、斜面の凹凸の効果や地質等の地盤性状の違い等による影響を無視することはできないと思われますので、本稿で紹介しているような「動的」な手法の適用が望ましいと考えています。

②個別の斜面の評価では、①よりも詳細に斜面内の構造を反映することが求められます。特に、地すべり地では、地すべり土塊の底面の「すべり面」において大きな変動が発生しますので、すべり面での物性値の設定が重要になります。現状の有限要素解析では、歪み (変形) に応じすべり面の物性値が変化 (低減) するようなモデルを取り込むことが可能です。その結果、②の解析では、地すべり土塊の移動量を解析結果として得ることができます。地下水位や杭要素の設定を行うことにより、地すべり対策工施工に伴う効果を移動量の減少量として定量的に把握することもできます。また、移動した場合のすべり面の物性値を低減させることができるので、地震終了後に土塊が停止するか否か (斜面を滑動し続けるか否か) の結果を得ることができます。なお、②個別斜面の評価手法では、有限要素法 (FEM) により地震時に斜面が揺すられる

図-2 地震時変位量(滑動量)解析結果の例



・ 抑止工の形状、位置に合わせて有限要素法の要素を設定することにより、抑止工の効果を評価できます。

状況を解析して地すべり土塊に作用する時々刻々の地震動を取り出し、ニューマーク法により地すべり土塊の地震時変位量を評価する複合的な手法(渡辺・馬場法)が取られる場合もあります。

③発生時の影響評価では、土塊の到達範囲や移動速度(衝撃力)等を経評価することが必要となります。ただし、現状の有限要素解析(FEM)では、地すべり土塊が大きく変形し、拡散するような現象に対応しておりませんので、十分に表現できません。また、土塊内に取り込まれる水分状況が多い場合などでは、流動化するような現象に変化することが多いため、複雑な移動機構を考慮できるよう「モデルの作り込み」が必要となると考えられます。以上より、発生時の影響評価手法には、現時点で様々なモデルが提案されておりますが、今後のさらなる研究開発が期待される分野と考えています。

#### 4. 砂防・地すべり技術センターの取り組み

砂防・地すべり技術センターでは、自主研究の一環として、「数値解析を用いた地震時の斜面安定度の評価手法(案)」を取りまとめてきました。この手法(案)は、主に有限要素法(FEM)を用いた①危険斜面の抽出手法および、②個別斜面の評価手法について、既存の直轄地すべり地での検討事例をもとに取りまとめた

ものです。

数値シミュレーションは、ツールとしての整備のために非常な労力を伴います。そのため、地震地すべり等に関わる基礎研究分野における知見を今後も継続的に反映していく努力が必要となると思います。本「手法(案)」を参考としていただき、地震地すべり解析の分野がさらに発展していくことを祈念します。

冊子

#### 「数値解析を用いた地震時の斜面安定度の評価手法(案)」

ご希望・お問い合わせは下記へご連絡下さい。

(一財)砂防・地すべり技術センター 斜面保全部  
 ☎ 03-5276-3273 FAX 03-5276-3393  
 e-mail michihata@stc.or.jp 道畑まで

