

不連続変形法を用いた地すべりの挙動に関する研究

京都大学大学院	学生会員	○入江 敬
京都大学大学院	正会員	小山 倫史
京都大学大学院	正会員	西山 哲
京都大学大学院	学生会員	嶋岡 計亮
京都大学大学院	正会員	大西 有三

1. はじめに

日本では、地震に起因する地すべりが多発しており、例えば地震時に発生する被害状況を把握することにより、適切な対策工の検討を行うために、数値解析により、地すべり後の斜面の挙動を追跡することが検討されている。そこで、本研究では、不連続変形法(DDA)を用いて、実際に発生した地すべりの挙動を追跡し、被害状況を再現した解析例を報告する。

2. 不連続変形法の基礎理論

DDAでは、解析対象をブロックの集合体とモデル化し、ブロック重心で定義された剛体変位、剛体回転、およびブロックのひずみを主変数とした定式化を行う。定式化にはポテンシャルエネルギー最小化原理を用いており、接触を含む運動方程式は式(1)のようなハミルトンの原理に基づいた方程式となる。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \tag{1}$$

ここで、 M は質量マトリックス、 C は減衰マトリックス、 K は剛性マトリックス、 F は外力ベクトル、 u はブロック重心における変位、 \dot{u} は変位速度、 \ddot{u} は変位加速度である。また式(1)の運動方程式はニューマーク β 法により式(2)のように変換され、変位増分に関する連立方程式を各時間刻みで解くことで解が得られる。

$$\tilde{K} \cdot \Delta u = \tilde{F} \quad , \quad \tilde{K} = \frac{2}{\Delta t^2} M + \frac{2\eta}{\Delta t} + K_e + K_f \quad , \quad \tilde{F} = \frac{2}{\Delta t} M\dot{u} + (\Delta F - f) \tag{2}$$

ここで、 Δt は時間刻み、 Δu は変位増分、 K_e はブロックの弾性、 K_f はブロックの変位拘束・接触などに関する剛性マトリックスである。また f と ΔF はそれぞれブロックの初期応力に関するベクトル、体積力や点荷重などに関するベクトルである。尚、接触にはペナルティ法を導入し接触バネ剛性を定めることにより接触力を再現している。

3. 解析対象となる地すべりの概要

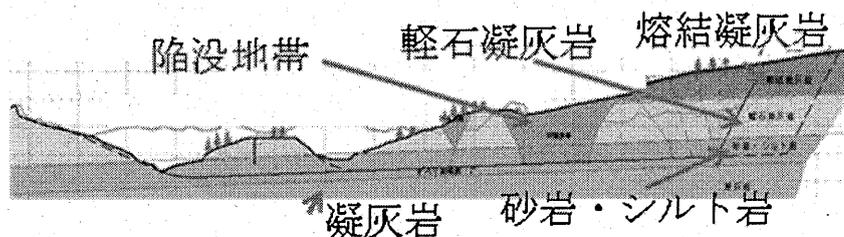


図 1 地すべり発生前の D 測線における縦断面図

本研究で解析する地すべりは、2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震に起因して、岩手県内陸部(図1)において発生した、最大落差148m、最大水平移動距離300m以上の非常に大きな地すべりである。

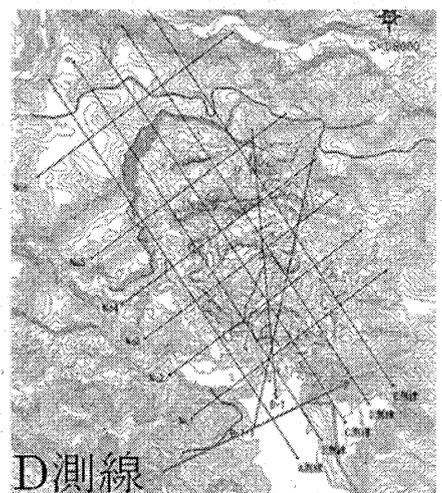


図 2 地すべり発生地域

本研究では、図1中のD測線において解析を行う。D測線における縦断面図を図2に示す。D測線は全長約1.5kmであり、図2からもわかる

キーワード 不連続変形法, DDA, 地すべり

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究ジオフロント環境工学講座 TEL 075-383-3306

ように、すべり面の角度は 2° と低角度である。また、D 測線周辺は集水域となっており、地下水が多く存在する。

4. DDA における地震応答解析手法

DDA には、地震波入力手法として、慣性力を入力する手法と変位の時刻歴を入力する手法があるが、本研究では変位の時刻歴によって入力する手法を採った。図3の赤丸で示す部分に変位の時刻歴を入力し、地震波を表現した。



図3 解析モデル

本手法で地震波を入力すると、地震波入力ブロックに極端な変形が生じてしまう。これは、土台ブロックに強制的に変位を与えたときに、慣性力に起因するエネルギーが蓄積され、変形という形でエネルギーを発散させているためだと考えられる。そこで、地震波入力ブロックの質量を本来の値の1000分の1に設定し、解析を行った。

5. DDA による地すべり解析

解析モデルは図3に示すものを使用した。モデル作成に関しては、大きな塊で動いたと考えられる部分はブロックの分割を粗く、大きな塊の移動により押し出されたと考えられる部分は細かく分割した。特に、解析モデルの真ん中より左側の部分はかなり攪乱されていたため、ブロックを流動的な形で細かく分割した。また、接触ばね剛性は、従来の研究を参考にし、 7.2×10^5 kN/m とした。接触ばね剛性以外のパラメータに関しては地盤材料の物性値を基に設定し、その数値は以下の通りである。

単位体積重量 16 kN/m³, ヤング率: 70 MPa/m², ポアソン比: 0.3, 内部摩擦角: 40° , 引張強度: 0 kN/m²

また、入力地震波は図4に示す通りである。地すべり発生後のD測線における地形及び解析結果をそれぞれ図5,6に示す。モデル右側がトップリングしている部分は正確に追跡できている。一方、陥没地帯における崩壊が見られず、全体的に滑動距離が短くなっている。また、図3の黄丸で示すブロックに、9.8[kN/m³], 青丸で示したブロックに4.9[kN/m³]の水平

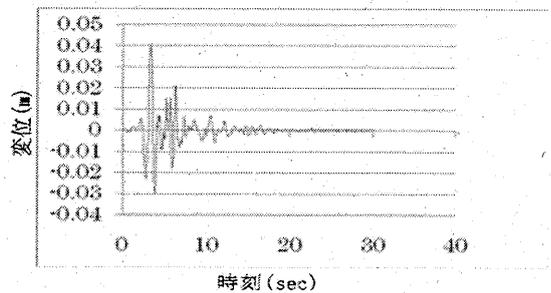


図4 入力地震波

方向に物体力をかけた場合、図7に示すように、陥没地帯での崩壊が見られる他、滑動距離も実現象とほぼ一致し、より正確に地すべり発生後の地形を再現できている。



図5 地すべり発生後のD測線における縦断図

4. まとめ

本研究により、DDA によって地震動に起因する地すべり後の斜面の変形挙動を追跡することができた。ただし、より実現象に近付けるためには、水平方向に力を加える必要があり、本地すべりは地震動のみによって滑動したのではなく、水平方向の力がかかっていたと考えられる。解析対象周辺は集水域となっており、地下水が多く存在していたため、地下水による水圧が作用し、このような大規模な地すべりが発生した可能性がある。今後、地震発生時の地下水の挙動を追跡する予定である。



図6 解析結果



図7 水平方向に力をかけた場合の解析結果

参考文献

1) Akao, S., Ohnishi, Y., Nishiyama, S. and Nishimura, T.: "Comprehending DDA for a block behavior under dynamic condition", Proc. of the Eighth International conference on analysis of Discontinuous Deformation (ICADD-8), pp.135-140, 2007