

Material Point Method を用いた斜面崩壊解析

清水建設(株)技術研究所 ○桐山貴俊・福武毅芳

1. はじめに 平成 28 年熊本地震における地盤災害は各機関の報告書を概観すれば、造成宅地の流出、河川堤防の沈下、阿蘇カルデラ内の地盤沈下、斜面崩壊などが報告され^{例えば 1)}、いずれも地盤の大変形に起因する災害である。地盤災害は地震発生と共に発生しており、古くは新潟地震(1964 年)で見られた液状化にともなう建築構造物の沈下、転倒が発生した。兵庫県南部地震(1995 年)では人工島が液状化により側方流動を起こし、港湾施設をはじめとして甚大な被害を与えた。東北地方太平洋沖地震(2011 年)においては、鉄道盛土が崩壊し不通となり、輸送機能が損なわれた。基礎地盤がインフラ施設や建築物に被害をもたらしてきたことは過去の地震被害で繰り返し報告されてきた。このように、地盤災害は広域かつ大変形を伴う現象である。地盤災害に対し、その原因の究明、発生メカニズムの解明には、文献調査、地盤調査など実績のある調査方法と共に、近年は数値解析技術が活用されてきている。以降では主に、連続体に基づく粒子法(Material Point Method)を用いた検討例について説明する。

2. 各種数値計算法 はじめに、変形レベルに対応させる形で数値計算法について説明する。現在土木工学では、数値計算法として有限要素法や差分法などの格子法が多く用いられている。格子法は計算格子(要素)が破綻しないような変形レベルが比較的小さい問題に適した手法であり、微小変形問題に広く用いられている。格子法は連続体力学に基づき、用いる物性値は変形係数や密度等、設計定数と共通している。その為、設計目的での活用が進んでいる。他方、変形レベルが大きい問題には離散化された定式化に基づく個別要素法(DEM)が多く用いられている。個別要素法は、構造物の離散化に伴う物性値の設定には事前検討が必要であるが、石垣や石橋、土石流など、そもそも離散的な挙動を示す現象を表現することが得意な手法である。個別要素法は直接設計行為に適用するというよりも予測解析、再現解析などで強みを発揮してきた。ここで表題にある斜面安定問題について考えてみる。斜面安定問題は、地盤材料が安定である間はほとんど変形を示さない微小変形問題であるが、安定が崩れたと同時に大変形問題へと遷移する。この様な進行性破壊的な問題に対しては、連続体に基づく粒子法の活躍が期待される。

3. 南阿蘇村立野地区斜面崩壊への適用 平成 28 年熊本地震で発生した南阿蘇村立野地区における斜面崩壊を事例に、粒子法による再現解析例を紹介する。南阿蘇村立野地区は阿蘇山カルデラ外縁部に立地し、布田川断層の北西端に位置する。崩壊状況は、崩壊長約 700m、崩壊幅約 200m、崩壊深度は最深部で約 25m と見積もられており、深層崩壊と分類されている²⁾。崩壊範囲には、JR 肥後本線、国道 57 号線、黒川にかかる阿蘇大橋を跨いで国道 325 号が含まれており、熊本県、大分県、宮崎県を結ぶ交通の要衝で発生した斜面災害である。また、この斜面災害と共に阿蘇

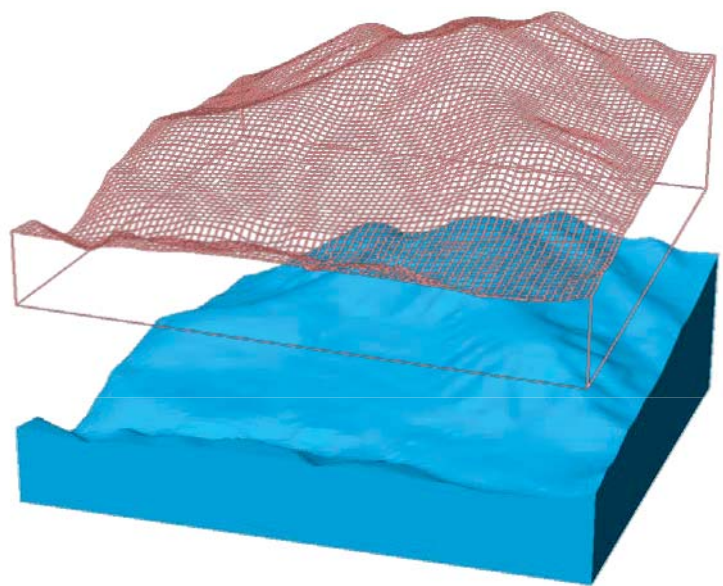


図 1 標高データより作成した対象地域の 3D CAD

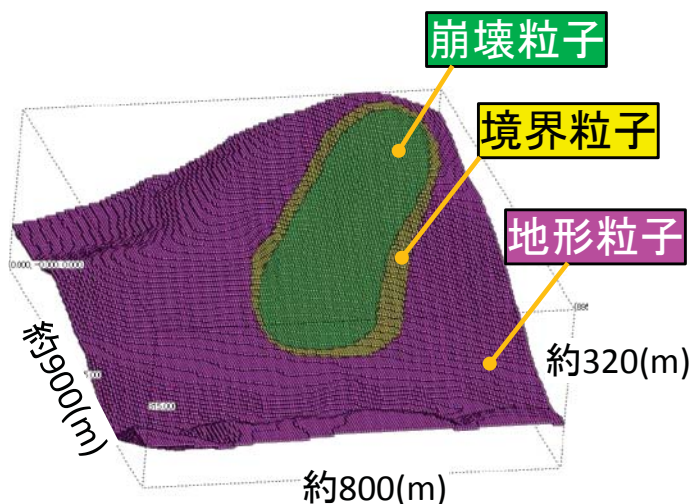


図 2 3DCAD より作成した解析用粒子

キーワード
連絡先

MPM, 粒子法, 大変形解析, 斜面崩壊

* 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所

大橋が崩壊しており、橋梁の崩壊に関しては、①地震動、②断層変位、③橋台変動、④土砂堆積などが指摘されている。それぞれ精査してみると、①に関しては耐震補強がなされていることから可能性が小さい。②に関しては事後調査による橋桁ジョイント部の捻れ状況から右岸・左岸の相対変位は大きくないと報告されており可能性は小さい³⁾。残る③に関しては残念ながら定かではない。④に関しても定まった結論はないが、この原因に関しては解析的な検討が出来そうである。今回は原因④の発生可能性について解析的に検討した。

4. 解析モデル作成と数値解析実行 自然斜面を対象とする場合、国土地理院の標高データが活用できる。標高データから三次元 CAD を起こし、対象斜面上部から黒川を挟み対岸を含む領域に粒子を正方配置することで解析モデルを作成できる(図1、図2)。解析モデルを生成することは比較的容易であり、格子法のようにメッシュ生成を要さない点は優れている。また、地形に高い形状再現性を持たせるためには微細な粒子を配置する必要があるが、この点は計算負荷とトレードオフの関係がある。今回実施した解析では再現解析であるため、被害調査に基づき崩壊範囲を設定し、実際に土砂として流出する崩壊粒子、崩壊形状を規定する境界粒子、地表面を規定する地形粒子を設定し、せん断強度低減法⁴⁾により崩壊粒子を流出させた。(図2) 解析結果と実際の土砂堆積状況を比較すると、斜面上部が削れる様に崩壊する状況や黒川へ土砂が流入する状況など、定性的に現象を再現できていると言える(図3)。一方、解析結果では国道付近の緩斜面における土砂の堆積状況が実際に比べ広範囲に及ぶなど相違点も見られる。阿蘇大橋付近への流入土砂に関しては、黒川のより上流側へ土砂流入が顕著であることから、前述の相違点を差し引いても、土砂流入はより上流側が主であったであろうことが伺える。すなわち阿蘇大橋への土砂の堆積は比較的多くはなかったものと推測される。解析結果から類推すると、阿蘇大橋の崩壊原因として指摘された土砂堆積は崩壊の主因と判断し難いことが分かる。

5. まとめ 本報告では、斜面崩壊を対象とした再現解析を通して粒子法を活用し、粒子法が、工学的判断の根拠となる情報を提供することができるを示した。

参考文献 1) 土木学会 地震工学委員会 平成 28 年度 土木学会全国大会 特別セッション「熊本地震報告会」. 2) 地盤工学会 第 51 回地盤工学研究発表会 特別セッション 平成 28 年熊本地震地盤調査報告会. 3) 東北大学 平成 28 年(2016 年) 熊本地震に関する調査報告会 資料 (<http://irides.tohoku.ac.jp/event/2016kumamotoeq.html>) (2016 年 7 月閲覧). 4) Matsui, T. & San, K.C. : Finite element stability analysis method for slope cutting, *International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement* (Fukuoka), Balkema, pp.317-322, 1988

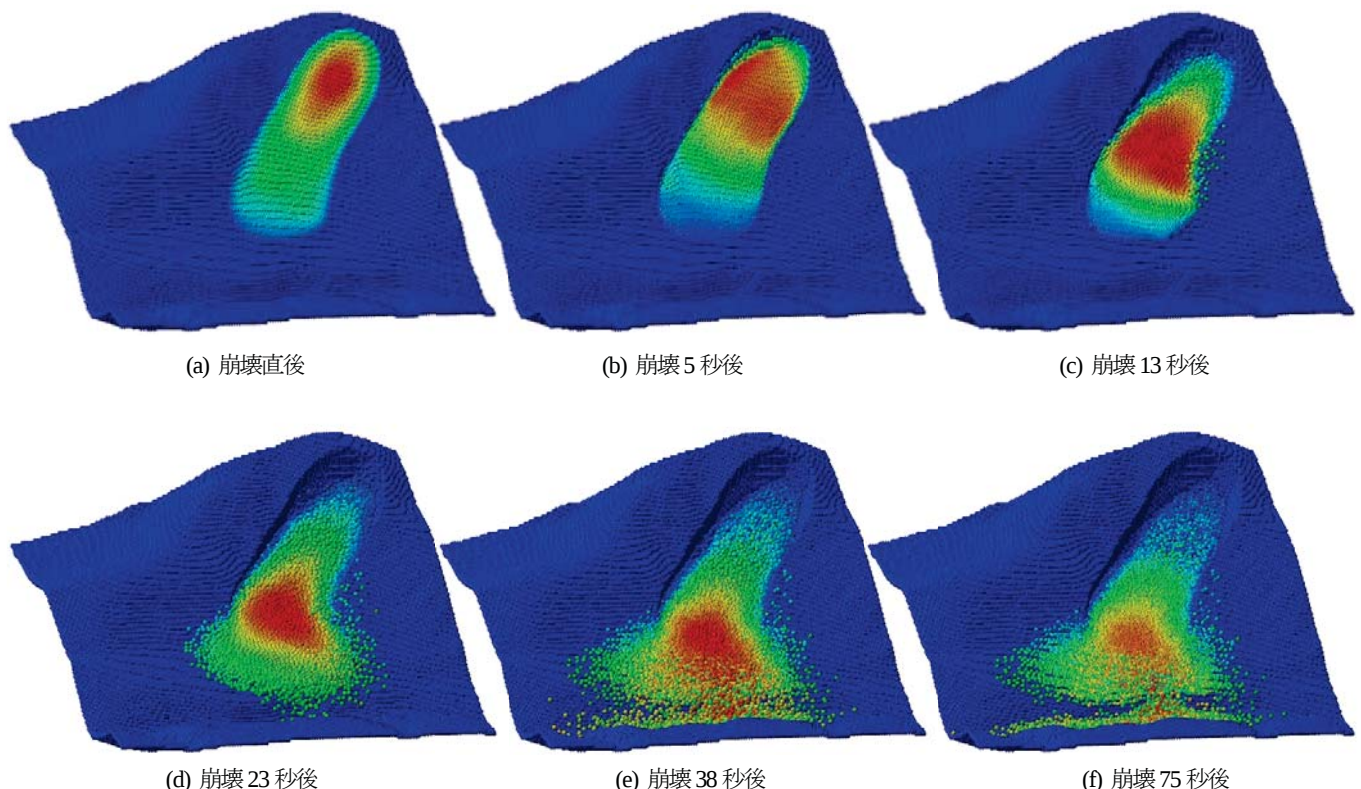


図3 粒子法(MPM)により得られた斜面崩壊の経時変化(赤色は変形量大きい領域を表す)