

ニューマーク法の現状と課題に関する基礎的検討

日本大学工学部土木工学科 学 ○鈴木諭 正 中村 晋 非 後藤啓太

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、白河市の葉の木地区で生じた自然斜面の崩壊、須賀川市のため池における藤沼ダムの崩壊により多くの人命が失われた。また、東京電力第一原子力発電所の敷地内にて生じた造成斜面の崩壊により送電鉄塔が倒壊し、外部電源が喪失し、津波による原子力発電所の事故の引き金となった。1995年以降、直下地震のような強い地震に対する土構造物の耐震設計にて、変形を許容する設計体系の導入が行われた。その手法の一つとして、ニューマーク法が鉄道構造物、道路構造物およびフィルダムなどの規準類に用いられている。原子力発電所の地震時の安全性、さらに仮に設計を上回る地震に対して事故が発生した後の事故対策に対する安全性を評価するため、自然斜面、また造成斜面の安定性を評価することが必要となる。ニューマーク法は土構造物のすべり破壊時のすべり変位量を求める簡易手法としてNewmark1により提案されて以来、様々な修正が加えられている。より高い安全性が要求される原子力発電所への適用性を明らかにするためには、その現状を把握することが必要となる。そのため、これまで社会基盤施設の耐震設計規準またその安定性評価に用いられているニューマーク法の現状について調査・分析するとともに、その背景としている実験への適用性に関する分析結果もふまえ、課題を明らかにする。そのため、耐震設計規準への適用事例、次いで電力施設のフィルダム、ため池などの地震安全性評価への適用性、最後に実験によるニューマーク法の適用性に関する分析結果について報告する。

2. 既往の基準類で用いられているニューマーク法の比較

耐震設計基準として、鉄道や道路の盛土およびフィルダムを対象として、それらで用いられてニューマーク法について比較する。それら3つの基準類では、レベル2地震動に対する盛土やダムの性能評価としてすべり破壊発生の可能性に加え、それに伴う塑性変形量が許容変形量以下となることを評価する体系となっている。その塑性変形の評価方法として、鉄道および道路盛土についてはニューマーク法が一つの方法として明記されている。フィルダムの基準では、塑性変形解析法と記述されているが、その一つの方法としてニューマーク法がある。その方法は、地震時に盛土内に発生する加速度やせん断応力などの応答量を適切に評価し、すべり破壊に起因して盛土内に形成されるすべり線の同定、形成されたすべり線上の土塊のすべり変位量の推定の2つのステップで構成される。原案では、すべり線の形状によらず、すべり線を平面とみなし、その平面上のブロックのすべりの発生する震度 k_y (降伏震度) 以上の震度 k_h の作用の積分により変位量を求めるという手法である。一般にすべり線は円弧として求めることが多く、すべり線に沿って作用するすべり線上の土塊への慣性力による滑動モーメント MDK とすべり線上の土の抵抗力による抵抗モーメント MRK の差分に降伏震度を上回る震度を乗じ、円弧すべりに沿った回転加速度の積分により回転角が求められる。

$$J \cdot \ddot{\theta} = (k_h - k_y) \cdot (M_{DK} - M_{RK})$$

ここで、道路盛土についてはニューマーク法の適用範囲が示されており、液状化が生じる地盤上の盛土や強度低下の著しい盛土は適用外としている。ダムについてはその高さ、15m未満が耐震性能評価の適用外としている。

また、ニューマーク法による評価基準値は、鉄道盛土で30cm、フィルダムで1m以内と比較的小さな値と

キーワード ニューマーク法

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8618

なっている。ニューマーク法の評価にとって重要なすべり線の同定に際して、鉄道盛土では盛土内での応答を一樣とする方法と盛土の地震応答解析により評価する詳細法、ダムでは自重解析と等価線形化法などによる動的解析による発生応力や加速度などの応答結果を踏まえた評価の流れが示されている。道路盛土では示されていない。ニューマーク法による変位量評価についても、鉄道では盛土材料の強度としてピーク強度を震動中に一樣な強度として考慮した方法、ひずみ軟化を考慮する手法などが示されている。他の基準では特に示されていない。

3. 基準以外で土構造物の安定性評価へ用いられるニューマーク法の比較

前章で示したダムの耐震基準は国土交通省管轄のダムを対象としているが、ダムには電力施設、農業施設としてのため池のダムがある。前者については、前項で示したダムの耐震基準の考え方が適用されている。地震作用については、対象ダム近傍での震源を同定し、断層の破壊過程を考慮した設計地震動の評価が実施されている。また、ため池については従来レベル2地震動に対する耐震性能の照査が実施されていなかったが、東北地方太平洋沖地震による藤沼ダムの被災により人命が損なわれたことを踏まえ、人的被害を伴う可能性がある堤体の耐震性能の評価を行うことが検討されている。その手法として、前述のダムの耐震基準の考え方に基づくニューマーク法、堤体材料の強度低下を考慮した詳細ニューマーク法、さらに堤体の強度低下を考慮するも地震作用を堤体内で一樣とする簡易ニューマーク法などが検討されている。

4. 既往の実験におけるニューマーク法の適用事例

ニューマーク法は「理論は簡明さに比べ、比較的妥当な結果を与える」との認識がある。ニューマーク法の検証に用いられている実験では、盛土内のすべり線の形成過程における盛土法面の弾性、さらに塑性変形を含めたすべり変位について、実験値とニューマーク法による計算値の比較が行われている。また、ニューマーク法では、すべり線が形成される降伏震度を超える震度が作用した後に変位が生じると計算するのに対して、実験では、すべり線の形成過程で盛土法面の変形が生じ、降伏震度を超える震度が作用しても必ずしもすべり変位が生じるとは限らない。ニューマーク法による評価対象となる基準値はそれほど大きな値でないものの、適用範囲、また安全側の評価が可能な範囲については検討が必要となる。

5. ニューマーク法の現状と課題

1) 現状：ニューマーク法は、すべり土塊が剛体かつすべり面における応力ひずみ関係が剛塑性と仮定して、地震時のすべり土塊のすべり変位量を計算する方法である。実際の土の挙動を考えるとニューマーク法は厳密な方法ではない。しかし、入力パラメータの設定が円弧すべり解析と同等であること、理論の簡明さに対して比較的妥当な結果を与えること、結果の解釈が容易であること等の特徴から設計に用いられる。

2) 課題：ニューマーク法は、本来、すべり土塊が剛体であり、すべり面における応力ひずみ関係を剛塑性と仮定して地震時におけるすべり土塊の滑動変位量を計算する方法である。しかし、ひずみ軟化などの地盤内の挙動を反映した手法など、Newmarkにより示された方法を越えた評価法がさまざま提案され、その評価法を含めた適用性の検証と適用範囲を明確にすることが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案） 2005
- 2) 国土交通省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・2007
- 3) 社団法人日本道路協会：道路土工-盛土工指針 2010
- 4) Newmark N.M. :Effects of earthquakes on dams and embankment, Geotechnique, Vol,15,No,2,pp.139-160,1965