

動的塑性論を用いた地震時の擁壁の破壊現象に対する検討

(株)竹中土木 (正) ○ 花房 卓司
鳥取大学大学院 (学) Binh Xuan LUONG
鳥取大学工学部 (正) 榎 明潔
鳥取大学大学院 (学) 康守 貴祐

1. はじめに

擁壁の耐震設計は、道路橋示方書の擁壁破壊に対する検討によると滑動・転倒（回転）・沈下であり、それに対する安定の検討を行うとされている。（ここでは擁壁は剛塑性体とし擁壁自身の引っ張り・圧縮破壊は考慮していない）しかし、従来の設計では擁壁の滑動・転倒（回転）・沈下に対して別々に検討を行い、別々の安全率を定めている。実際の擁壁の地震による破壊現象において擁壁が塑性破壊を起こす場合、滑動が発生してしまうと他の現象は発生しない。転倒（回転）・沈下に対しても同様の事が言える。よって擁壁の設計において安全率をそれぞれ別々に定めることは意味を持たない。そこで、「ダランベールの原理」と「加速度の連続条件」によって導かれる動的塑性論を用いることにより、加速度という同一のパラメーターを用い一義的に擁壁の安定の検討を行う事ができる。

2. 動的塑性論

地震動を受けて破壊している地盤の塑性領域の支配方程式は運動方程式と破壊条件式であり、運動方程式は通常の力のつり合い式に慣性力を導入したものである。また、慣性力を考える上で必要な塑性ブロックに働く加速度は時刻・場所によって異なっており、各塑性領域内のブロックの加速度を考慮するために「すべり面に垂直な加速度成分はすべり面の両側で連続である」²⁾という加速度の連続条件を数値解析的に塑性理論に導入すれば、動的な塑性理論として塑性破壊後の塑性ブロックの運動を解析する事ができる。（図-1 参照）本解析手法を用いて滑動・転倒（回転）・沈下に対して擁壁が地震時に破壊を開始する運動開始加速度を求める事ができる。

3. 検討方法

図-2 に示す基準となる擁壁を仮定し、この擁壁における従来の擁壁の滑動・転倒（回転）・沈下に対する安全率²⁾を求める。また、その幾何形状の擁壁に対して動的塑性論を用いて擁壁の運動加速度を求め安全率と運動開始加速度とを比較検討する。検討は、基準となる（図-2 に示す）擁壁の幾何形状のうちの一つを変更することによって従来の安全率を変化させその安全率における擁壁の運動開始加速度を求める。また、その運動時の擁壁の加速度より運動における変位量を求める。幾何形状の変更は、擁壁の高さ H ・底面幅 B ・重量 W ・底面外部摩擦角 δ の4つを行い、その幾何形状に対して滑動・転倒（回転）・沈下に対してそれぞれ安全率を求めた。また、解析に用いた擁壁背面・底面地盤の強度定数は、土の内部摩擦角 $\varphi=30^\circ$ 、見かけの粘着力 $c=0$ とした。

4. 従来の擁壁の安全率に対する運動開始加速度

(キーワード) 動的塑性論、運動開始加速度、変位量

(連絡先) 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部土木工学科 土質工学研究室 TEL 0857-31-5291

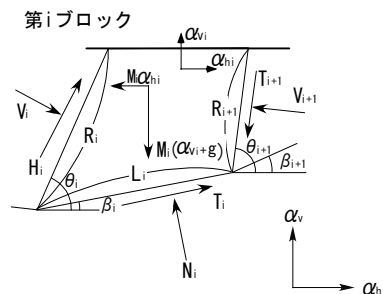


図-1 塑性破壊した地盤内ブロックのつり合い

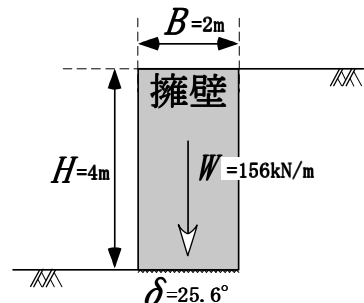


図-2 基準となる擁壁の幾何形状

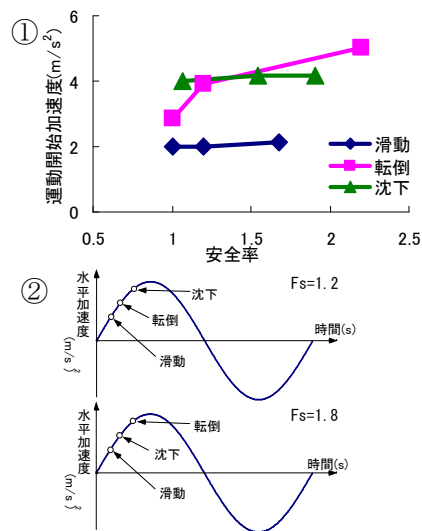


図-3 運動開始加速度と安全率の関係

(擁壁底面幅 B 変更時)

図-3,4 に擁壁の従来の安全率と運動開始加速度の関係を示す。図-3 ①は擁壁の底面幅を変化させたときの安全率と擁壁の運動開始加速度の関係である。従来の安全率 $F_s=1.2$ と $F_s=1.8$ の時の運動開始加速度を見ると、運動開始加速度の大小関係より運動は、 $F_s=1.2$ のときは「滑動⇒転倒（回転）⇒沈下」の順で発生する。また、 $F_s=1.8$ の時には「滑動⇒沈下⇒転倒（回転）」と安全率によって運動が起こる順番が入れ替わる事がわかる。（図-3 ②参照）

同様に、図-4 ①の擁壁高さを変化させた場合には、 $F_s=1.2$ の場合には「沈下⇒滑動⇒転倒（回転）」の順で起こるが、 $F_s=2.1$ の場合には「滑動⇒沈下⇒転倒（回転）」の順で運動が発生する事がわかる。（図-4 ②参照）このことより、従来の擁壁の設計における安全率は、別々の運動に対する安全率であり擁壁という一構造物の破壊現象に対する安全率としては明確でない。

ここで、今回求めた運動開始加速度に関して検討する。図-5 に示す質量を変更した場合を考える。この場合において、仮に擁壁の地震時における安定条件を入力水平加速度が 2.7m/s^2 以下と設定すると、滑動・転倒（回転）・沈下という破壊現象が入力水平加速度 2.7m/s^2 の時に同時に発生することになる。従来の安全率で見ると、滑動に対しては $F_s=2.3$ 、転倒（回転）では $F_s=1.0$ 、沈下に対しては $F_s=2.8$ という安全率となり、転倒（回転）の安全率は満たしていないことになる。しかし、擁壁が、ある入力される加速度までは耐えうるという設定に対しては条件を満たすことになり、擁壁の設定破壊開始加速度までの破壊に対する安定は保たれているといえる。

5. 幾何形状が及ぼす擁壁の変位量への影響

擁壁の幾何形状変更における運動開始加速度を求めることで、その加速度より擁壁の運動による変位量を求め、擁壁の変位量抑制に効果的な幾何形状の検討をおこなう。図-6 に滑動に対する幾何形状を変更した場合の変位量の変化を示す。この結果によると、擁壁重量を変化させることが擁壁の滑動を抑制することに効果的であるといえる。しかしながら、図-7 に示すように擁壁の沈下に対する変位量は滑動とは相反した関係で、擁壁重量が増えると沈下は促進されるという関係がある。ここで、擁壁重量と滑動・転倒（回転）・沈下に関する運動開始加速度との関係を図-8 に示す。この関係では、転倒（回転）は、滑動・沈下の運動開始加速度に対して擁壁のどの重量に対しても大きい事がわかる。そこで、滑動と沈下について検討すると互いにある擁壁重量のとき安全側で交わる一点がある事がわかる。この点は、滑動・沈下に対して安定な重量が一点で定まることを示しているといえる。

6. 結論

- 動的塑性論を用い地震時の擁壁の運動開始加速度を求め、地震によって擁壁が破壊を起こす一つの加速度を定める事ができ、これを用い地震による擁壁の破壊に対する安定を検討する事ができた
- 地震による擁壁の変位量の抑制に効果的な擁壁の重量を、運動開始加速度を用いることで、一つの擁壁重量で定める事ができた。

（参考文献）

- 榎 明 潔：地震時の斜面災害の特徴.2000 年 10 月鳥取県西部地震による災害被害に関する調査研究.2001
- 地盤工学会：新編 土と基礎の設計計算演習.2000.pp235-253

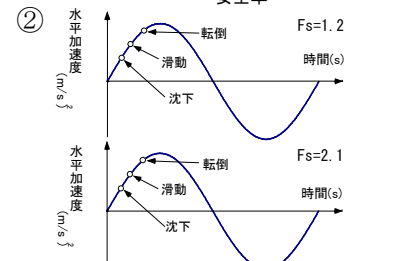
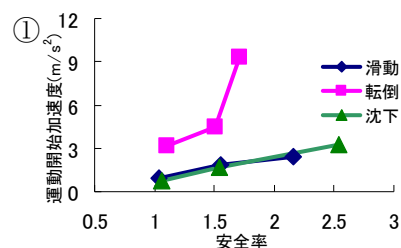


図-4 運動開始加速度と安全率の関係

（擁壁高さ H 変更時）

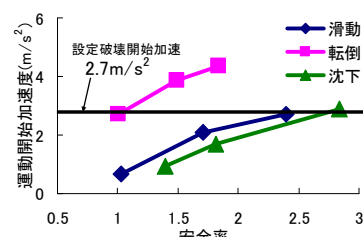


図-5 運動開始加速度と安全率の関係

（擁壁重量 W 変更時）

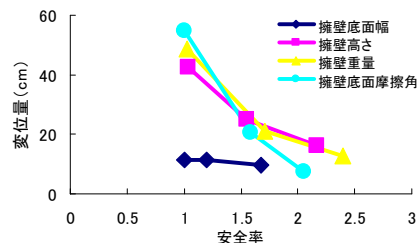


図-6 擁壁の滑動時の変位量と安全率の関係

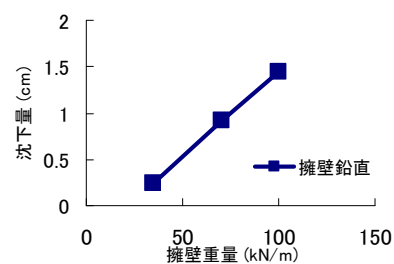


図-7 擁壁重量と沈下量の関係

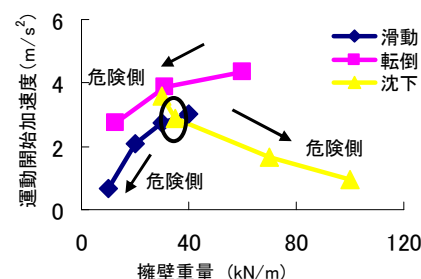


図-8 擁壁重量と運動開始加速度の関係