

地震時の土圧に関する研究

鳥取大学工学部（正）榎 明潔

鳥取大学大学院（学）○岡田 順三

1.はじめに

近年、兵庫県南部地震や鳥取県西部地震などの地震による構造物の倒壊が相次ぎ、耐震設計に対する関心が高まっている。そこで、本研究では構造物倒壊の一例である擁壁の破壊に着目し、擁壁の運動を考慮した地震時の土圧、擁壁の運動のメカニズムを解明することを研究目的としている。

2.在来の地震時の土圧論（物部・岡部式）

物部・岡部式は通常のクーロンの土圧論に震度法を導入し、地震時の土圧を求めている。震度法は地震力を加速度とみなし慣性力として捉えている点では、ダランベールの定理と同じであるが、慣性力に地震による実加速度を用いていないという問題点がある。また場所的に同じ慣性場を考えているので、擁壁、楔土塊の加速度分布を求めることが出来ない。また破壊面での破壊条件式を用いているが、楔土塊底面で破壊しているのならば楔土塊と基盤の加速度が同じはずがない。本研究ではこの点に着目している。

3.擁壁の運動を考慮した地震時の土圧の解析手法

本研究では慣性力をダランベールの定理を用いて基盤、擁壁、楔土塊にそれぞれ別の加速度を導入している。そして力の釣合い式、破壊面での破壊条件式、すべり面に垂直な方向の加速度の連続条件式（榎らが鳥取県西部地震の現地調査で見出した）を用いて問題を静定化している。擁壁の運動を場合、擁壁と楔土塊の運動は図-1に示すモードに分類される。①擁壁、楔土塊が基盤に対し相対的に静止している。②擁壁、楔土塊が基盤から分離する。③、④擁壁、楔土塊が一体となって主動、受動方向に変位する。⑤、⑥擁壁もしくは楔土塊のみが単独で主動、受動方向に変位する。②、⑤、⑥は土圧を求める事には直接関係無いが、地震時の楔土塊と擁壁の運動を明らかにするためには考える必要がある運動モードである。①は基盤の加速度と擁壁、楔土塊の加速度が同じであるという特異なケースであるが、このような状態が物部・岡部式で考えられているモードであると言える。③、④の場合には楔土塊と擁壁が接しているので土圧が生じる。本研究では主に③、④を対象として解析を行った。

（便宜上、主動破壊と受動破壊を擁壁と楔土塊が一体となって運動する際の基盤に対する相対速度の向きで定義した。）ここで、図-2の剛塑性体モデルを参照し、主動土圧について解くと連立方程式を解くことにより式-1を得ることが出来る。式-1で着目している外力（主動土圧）をすべり面の角度 θ で最小化しなければならないが、現段階では数学的に解くことが出来ず、数値解析的に θ を変化させて、外力の最小値を探索している。ここで問題を釣合い式で解いている以上、どのような加速度を代入しても解が求まってし

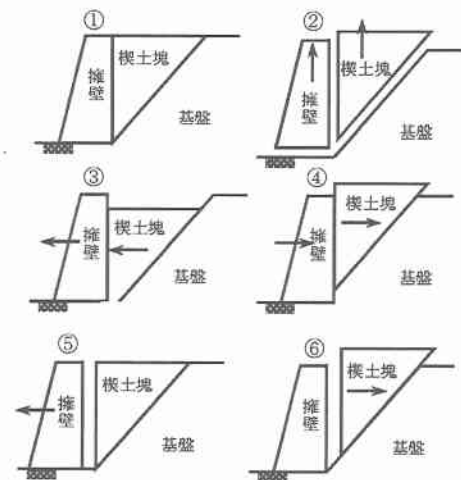


図-2 擁壁、楔土塊の運動モード

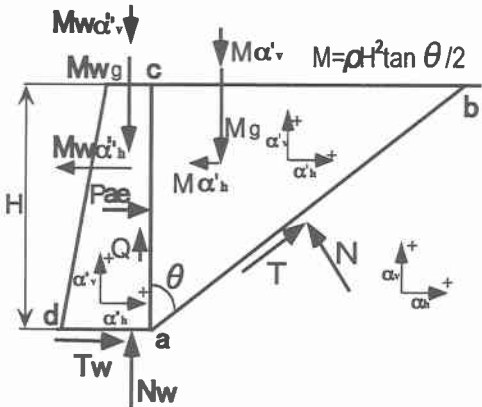


図-2 擁壁の運動を考慮した剛塑性体モデル

$$P_{se} = \frac{M \left((\alpha_v + g) \tan \delta + \frac{a_x A_v}{M_w} \right) + \frac{M \left\{ \alpha_v - \alpha_h \cot \theta + \left((\alpha_v + g) \tan \delta + \frac{a_x A_v}{M_w} \right) \cot \theta + g \right\}}{\tan(\theta + \phi)}}{\left(1 + \frac{M}{M_w} + \frac{M \cot \theta}{M_w \tan(\theta + \phi)} \right)}$$

式-1

表-1

擁壁の高さ (m)	5
擁壁の質量 (t/m)	50
壁摩擦角 (°)	27
付着力 (kN/m)	0
土の密度 (t/m ³)	1.8
内部摩擦角 (°)	40
水平加速度 (m/s ²)	5
鉛直加速度 (m/s ²)	0

まう。したがって本研究では、擁壁が主動破壊状態にある条件として「基盤の水平方向加速度>擁壁の水平方向加速度」を与えた。またこの条件を満足しない領域は擁壁、楔土塊ともに基盤に対し相対的に静止しているものとした。参考として表-1に示すパラメータを用いた場合の水平方向加速度と主動土圧の関係を物部・岡部式と式-①で比較すると図-3のようになり、実加速度を用いた場合、物部・岡部式は地震時の主動土圧を過大評価していることになる。

本研究では、地震時の土圧を求める際に擁壁の質量を仮定し、問題を静定化しているが、別に擁壁の加速度を仮定しても問題を解くことができ、擁壁が破壊する加速度を仮定することによって擁壁の質量を求めることも可能である。現実問題を考える際に、どちらの解き方が有用であるか検討する必要がある。

4.実際の地震波形を用いた擁壁の運動の解析

式-1で地震時の土圧が決定されれば、連立方程式を解くことにより擁壁の応答加速度をえることが出来る。ここで、擁壁の基盤に対する相対水平方向加速度を考えれば、時間で1回積分することにより相対水平方向速度、2回積分で相対水平方向変位を求めることが出来る。擁壁が動きだした後の相対静止条件は、擁壁の相対水平方向速度が0となった時とした。また、すべり面については、擁壁の変位及び基盤の加速度の変化とともに変わるものとしたが、実際すべり面の形状は、最初に発生したすべり面での軟化現象が考えられ、保存されることも考えられる。これは今後の研究課題の一つと言える。また、擁壁が受動方向に変位する場合についてだが、通常の擁壁の設計手法に基づいて擁壁の質量を仮定すると、このような破壊形態は存在しないという解析結果を得ている。ここに一例として表-1のパラメータ鳥取県西部地震の地震波形⁴⁾を用いた解析結果を図-4、5に示す。図-4において相対水平方向加速度が生じる加速度が波形ごとに違うのは、地震時の鉛直方向加速度の影響である。

5.まとめ

本研究から物部・岡部式の矛盾点が明らかにされた。この問題を解消するために擁壁の質量を仮定しダランベールの定理を導入して、加速度の連続条件式、破壊条件式、力の釣合い式を用いることで、擁壁の運動を考慮した地震時の土圧問題を静定化することができ、数値解析的に外力を最小化することによって土圧を求めることが出来た。また、擁壁の底面で破壊が生じている条件に「基盤の水平方向加速度>擁壁の水平方向加速度」を用いることで、主動破壊領域を決定することができ、地震波形から擁壁の基盤に対する相対水平方向加速度を積分し、相対静止条件を相対水平方向速度0と定義することによって擁壁の基盤に対する相対変位量を解析することが出来た。今後の課題として、相対静止状態の土圧の解明、滑り面保存の考慮、擁壁の回転（転倒）運動の考慮、模型実験による理論の確認が挙げられる。

参考文献

- 1) 右城 猛：新・擁壁の設計法と計算例,理工図書, 1998.
- 2) 最上 武雄：土質力学,pp.648~659.
- 3) 村上 巧一：地震時における斜面表層土の挙動,鳥取大学修士論文,2001
- 4) kik-net (<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>)

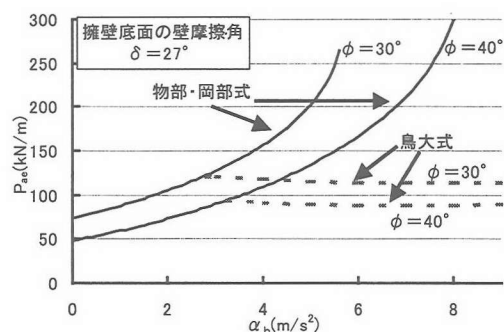


図-3 物部・岡部式と鳥大式の比較

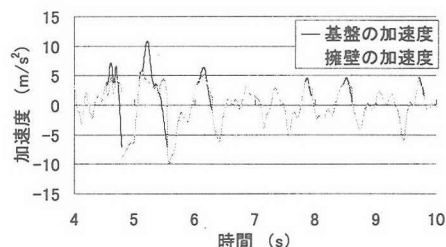


図-4 擁壁と基盤の加速度

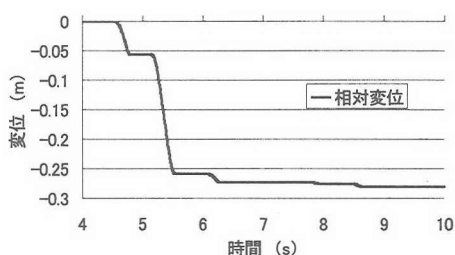


図-5 擁壁の基盤に対する相対変位量