

動的塑性論と加速度の連続条件

鳥取大学大学院 学生会員 ○吉村 崇

鳥取大学工学部 正会員 榎 明潔

鳥取大学大学院 学生会員 江本 宏明

1.はじめに

地震時に、変位を許さない構造物を造ることは、経済的に大きな負担を強いられる。一方、致命的でない変位を許せるならば、合理的な設計をすることができる。著者らが提案している動的塑性論では、Kötter 式で代表されるすべり線法に慣性力として加速度を導入するとともに、すべり線に垂直な加速度成分がすべり線の両側で等しいという連続条件を用いている。これにより、地震時の構造物応答や地盤の加速度分布が求めることができる。これにより、今後、耐震設計に活用できると考える。

2.動的塑性問題の位置付け

塑性問題は破壊の状態によって、斜面問題のように安全率を増加させることによって見かけの強度定数を低下させ、破壊する時の安全率を求める問題、土圧や支持力のように、破壊する時の力を求める問題、塑性領域に加速度を導入し、構造物の応答加速度を求める問題に分けることができる。これら問題を、安全率 F_s と加速度 α を使って表現すると図.1 のようになる。これからわかるように、動的塑性問題は $F_s=1$ で $\alpha \neq 0$ である。

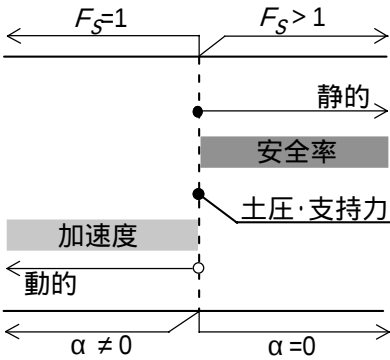


図.1 塑性問題の位置付け

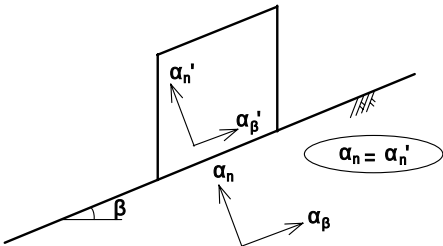


図.2 加速度の連続条件

このような塑性論は塑性化した領域内だけを定式化しているので、基盤から非塑性領域を伝播してくる地震波を説明することはできない。ただし、系全体の地震応答にあまり影響を与えないような、地盤に対して質量的にも寸法的にも小さな基礎・擁壁・斜面を考えるなら、これら周辺の塑性応力場の解析に使える可能性があると考えられる。また、従来の震度法と同様の概念と計算が単純であるという長所がある。

3.加速度の連続条件と動的塑性問題の解法

加速度の連続条件とは、図.2 に示すように、 $\alpha_n' = \alpha_n$ となることである。また、すべり面に平行な加速度成分は伝達されないが、すべり面方向の相対速度の反対方向に、土のせん断強度に相当する力が伝達される。

静的塑性論の解法として、Kötter 式で代表されるすべり線法を用いている。Kötter 式は力のつり合い式と破壊条件式により導かれる。したがって、塑性領域の応力を正確に表現できる。すべり線法に慣性力として加速度を導入することで、力学的には塑性理論を静的から動的に発展させることができる。しかし、加速度分布を導入した Kötter 式と加速度の連続式を数学的に解くことができないので、すべり線法の積分形である一般化極限平衡法(GLEM)を用いている。

4.各種の動的塑性問題

動的塑性論を用いることで、地震時の斜面表層土の運動や土圧、支持力を解明できる。表.1 に各種の問題の特徴を示す。斜面問題、土圧問題、支持力問題の順

表.1 動的塑性問題の特徴

	無限斜面	土圧	支持力
すべり面	一定	変化	変化
対象物	1	2	n+1
構造物応答	x	o	o
概略図			

キーワード 破壊、地震、塑性論

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地 鳥取大学工学部土木工学科

に扱う対象物が多く、複雑になっていることがわかる。

支持力問題では、図.3 のような力がブロックに作用する。表.2 に示す未知数の数と式の数の比較から、基礎を含む上載物の質量と底面摩擦を仮定するなら上載物の応答加速度を、基礎の加速度を仮定するなら静定問題として支持力を求められる。また、基礎の水平方向の力と鉛直方向の力を合成した力が最小となるすべり面で地盤の破壊が発生すると考えている。本研究では、前者の仮定を用い、基礎が並進運動で沈み込んでいく場合の応答加速度と変位を示す。

動的塑性論により基礎の応答加速度を求めることができる。この加速度を2回積分することで基礎の変位を求められる。解析条件は、(1)

強度定数 $\varphi=35^\circ$ 、 $c=10\text{ kPa}$ 、 $\gamma=18\text{ kN/m}^3$ 、(2) 入力加速度、水平加速度に $\sin$ 波、加速度振幅 $A=575\text{ gal}$ 、(3)基礎形状、奥行き 1 m 、幅が 3 m 、根入れはなく安全率を 3 とする。図.4 に解析結果を示す。この時、基礎と基盤の相対速度が 0 になるところで破壊が終わり、相対速度の初速は 0 である。このようにして、他の動的塑性問題も解くことができる。

5.震度法と動的塑性論の関係

震度法は静的塑性理論に水平方向の慣性力 $\gamma_h = \gamma \alpha_h / g$ と鉛直方向の慣性力 $\gamma_v = \gamma (1 + \alpha_v / g)$ を導入することで、地震時のある時刻での塑性領域を正しく解析できる。 γ は土の単位体積重量であり、 α_h と α_v は基盤の水平加速度と鉛直加速度である。しかし、ある時刻において場所の関数である α_h と α_v を定めることができない。ここに、加速度の連続条件を用いることにより、塑性領域の加速度分布を表現できる。これによって、動的塑性論では破壊後の塑性領域も表すことができる。図.5 に示すように、震度法では地震時に地盤が破壊するまでの解析はおこなうことができる。一方、動的塑性論では、塑性化した領域の加速度分布が求められることによって、破壊した後の解析もおこなえる。

6.まとめ

加速度の連続条件を用いることで、力学的に塑性理論を静的から動的に発展でき、この理論と震度法との関係を明らかにできた。また、塑性問題としての位置付けをすることができた。

7.参考文献

1) 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に関する調査研究、pp.155～164、2001 2) Emoki, M, et al：Generalized Limit Equilibrium Method and Its Relation to Limit Analysis Method, Soils and Foundations, Vol.31, No.2, 1991 3) 吉村 崇：地震時の基礎の運動に関する研究、第 37 回地盤工学会研究発表会、pp1357～1358、2002

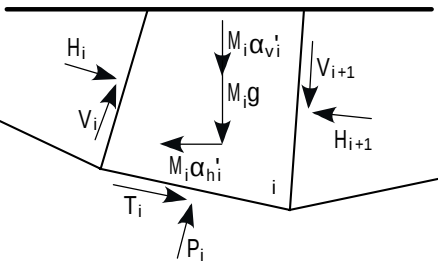
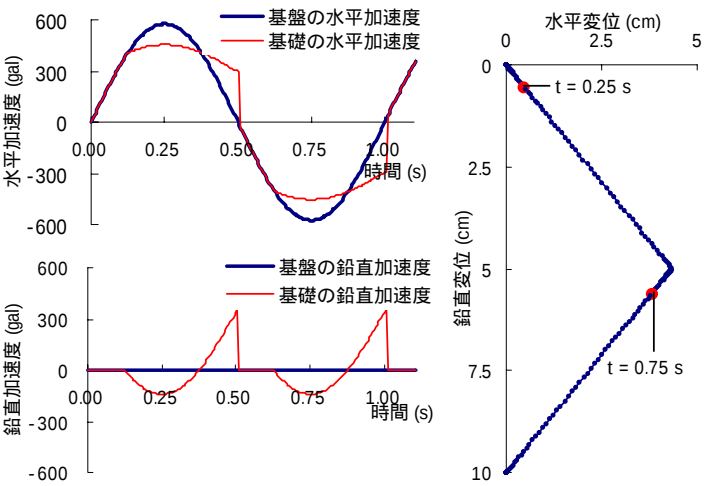


図.3 任意のブロックに加わる力

表.2 未知数の数と式の数

未知数			式	
ブロック底面	垂直力 $P_1 \sim P_n$:	n	ブロックのつりあい式 (運動方程式)	水平方向 $1 \sim n+1$: $n+1$
	せん断力 $T_1 \sim T_n$:	n		鉛直方向 $1 \sim n+1$: $n+1$
ブロック間面	垂直力 $H_2 \sim H_{n+1}$:	n	破壊条件式 (クーロンの式)	ブロック底面 $1 \sim n$: n
	せん断力 $V_2 \sim V_{n+1}$:	n		ブロック間面 $2 \sim n+1$: n
ブロック加速度	水平加速度 $\alpha_{h1} \sim \alpha_{hn+1}$:	$n+1$	加速度の連続条件式	ブロック底面 $1 \sim n$: n
	鉛直加速度 $\alpha_{v1} \sim \alpha_{vn+1}$:	$n+1$		ブロック間面 $2 \sim n+1$: n
未知数の合計			式数の合計	$6n+2$ 個



基盤と基礎の加速度 基礎の相対変位

図.4 sin波を用いた解析（周波数 1 Hz、振幅 575 gal）

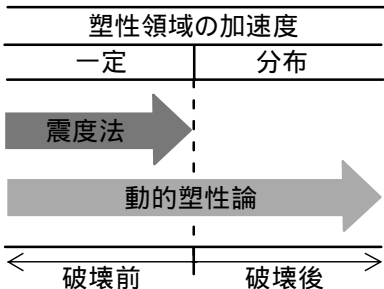


図.5 震度法と動的塑性論