

地震時の加速度の連続条件とダイレイタンスーに関する研究

鳥取大学工学部

正会員

榎 明潔

鳥取大学工学部

学生会員

○嶋田 礼緒奈

1. はじめに

榎ら¹⁾が提案している動的塑性論では、Kötter 式に慣性力として加速度を導入するとともに、すべり面に垂直な加速度成分がすべり面の両側で等しいという連続条件（以下、加速度の連続条件）を用いている。従来、加速度の連続条件のすべり面における内部摩擦角は一定としていた。しかし、地盤がせん断破壊を起こすとせん断面には、時刻的にダイレイタンスーが発生する。そこで、地震時のすべり面におけるダイレイタンスーについて実験的に解明し、加速度の連続条件にダイレイタンスーを考慮した。また、その加速度の連続条件を Kötter 式の近似数値解法である一般化極限平衡法（GLEM）に導入し解析を行い、ダイレイタンスーを考慮した場合としない場合の解析値を比較・検討する。

2. ダイレイタンスーを考慮した加速度の連続条件

加速度の連続条件とは「すべり面に垂直な方向の加速度成分はすべり面の両端で等しい」というものである。ダイレイタンスーを考慮した加速度の連続条件式は図 1 のモデルにおいて、以下のように示すことができる。

$$\alpha_v' \cos(\beta - \nu) - \alpha_h' \sin(\beta - \nu) = \alpha_v \cos(\beta - \nu) - \alpha_h \sin(\beta - \nu) \quad (1)$$

ここに基岩と表層土の水平方向の加速度を (α_h, α_h') 、鉛直方向の加速度を (α_v, α_v') 、すべり面の角度を β とした。この加速度の連続条件から β は以下のように表すことができる。

$$\tan(\beta - \nu) = \frac{\alpha_v' - \alpha_v}{\alpha_h' - \alpha_h} = \frac{\Delta \alpha_v}{\Delta \alpha_h} \quad (2)$$

ここに表層土と基岩の水平、鉛直方向の相対加速度を $\Delta \alpha_h$ 、 $\Delta \alpha_v$ とした。(2) 式より、各時刻における基岩と表層土の加速度がわかれば、破壊している領域でのすべり面の角度 β を求めることが可能となる。

3. 大変位高速せん断試験機による乾燥砂の定圧一面せん断試験

地震時のすべり面におけるダイレイタンスーを調べるため、図 2 に示す大変位高速せん断試験機を作製した。この実験装置は上箱をロードセルに固定し、下箱をシリンダーで押すことによってせん断をする構造である。下箱の底面と載荷板で試料が滑らないように三角アクリル棒を貼り、その間に試料を納め、供試体内に加速度計を設置した。せん断方向は図 2 に示す方向である。せん断を行う加速度は 50gal、

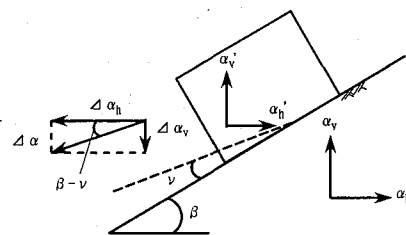


図 1 無限斜面のすべり面

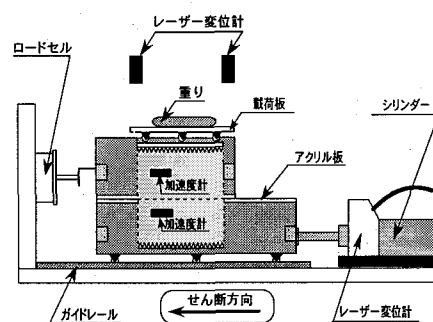
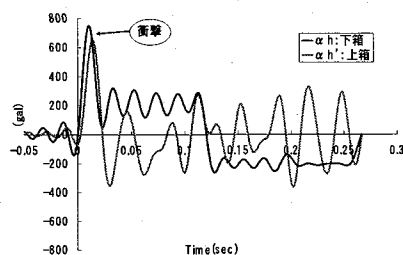
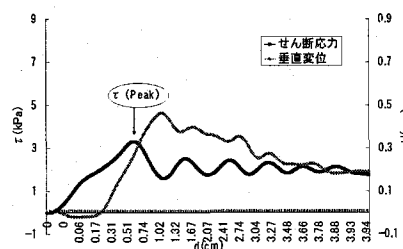


図 2 大変位高速せん断試験機

図 3 水平加速度
(200gal, e=0.8, $\sigma=2$ kPa)図 4 $\tau - d$ 曲線、 $H - d$ 曲線
(200gal, e=0.8, $\sigma=2$ kPa)

100gal、200gal とした。

〈実験結果と考察〉

図 3 に下箱、上箱の水平加速度を示す。この図よりせん断初期にシリンダーの衝撃が供試体に伝わっていることがわかる。図 4 にせん断応力 τ - せん断変位 d 曲線、垂直変位 H - せん断変位 d 曲線を示す。また、図 5 にダイレイタンシー角 ν - せん断変位 d 曲線を示す。静的な一面せん断試験では τ_{Peak} 時に ν_{Peak} の値を示すが、図 5 をみると τ_{Peak} を示す前に ν_{Peak} を示している。これは、シリンダーの衝撃によって供試体の体積が急激に膨張したために、 ν_{Peak} の値を示したと考えられる。今後、この問題を解決するために実験装置の改良が必要である。

4、ダイレイタンシーを考慮した GLEM による有限斜面の運動解析

図 6 に塑性化した地盤のブロック群、図 7 に地盤の i 番目のブロックに作用する力を示す。ブロック底面、ブロック右側の間面での加速度の連続条件式にダイレイタンシーを考慮し、有限斜面の運動解析を行った。解析条件を図 8 に示す。ブロックと地盤の水平・鉛直方向の相対変位を Δdh 、 Δdv とし、破壊した方向の変位量を dd と表した。

図 9 に $f=10\text{Hz}$ の第 6 ブロックにおける地盤とすべり土塊の水平加速度波形と水平方向の相対変位を示す。図より、すべり面が発生してからすべり土塊のすべり出し加速度は ν の値によって変化が見られるが、すべり始める時のすべり出し加速度は ν に関係なく同じであった。水平方向の相対変位量においては、 $\nu=0^\circ$ に比べて $\nu=-10^\circ$ は大きく、 $\nu=10^\circ$ は小さいという結果が得られた。 ν が変わることによって、水平、鉛直加速度、変位量に違いが見られたが、破壊終了後の変位量においてはその違いは僅かなものであった。よって、ダイレイタンシーを考慮しても、すべり面形状にはあまり影響を及ぼさないと考えられる。

5、まとめ

GLEM を用いた解析では、すべり始めた時のすべり出し加速度はダイレイタンシーを考慮する場合もしない場合においても同じであった。また、破壊終了後の変位量においても、変位量の違いはあったが僅かなものであった。したがって、ダイレイタンシーはすべり面形状に影響をあまり及ぼさないことが言える。また、今回の解析では ν を一定として解析を行った。しかし、ダイレイタンシーは時刻的に変化するものなので、今後の課題として、ダイレイタンシーの時刻的な変化を考慮した解析を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 榎 明潔：加速度分布を決定できる動的塑性理論の構築に関する基礎的研究 pp.IV-1・pp.IV-18、2005。

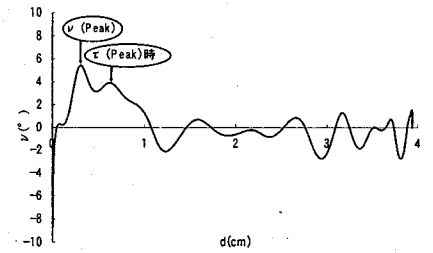


図 5 $\nu-d$ 曲線
(200gal、 $e=0.8$ 、 $\sigma=2\text{kPa}$)

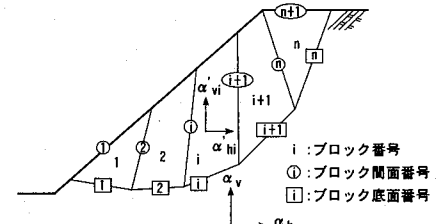


図 6 塑性化した地盤のブロック群

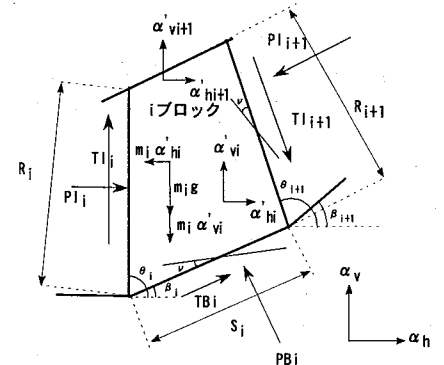


図 7 地盤の第 i 番目のブロックに作用する力

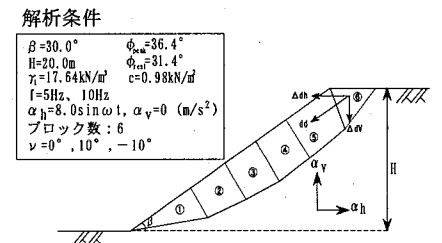


図 8 解析条件

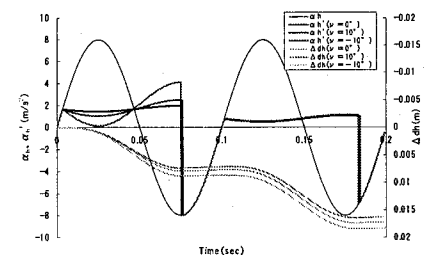


図 9 水平方向の加速度、相対変位
($f=10\text{Hz}$ 、第 6 ブロック)