

境界面における拘束ダイレイタンスーのモデル化に関する研究

大阪大学 工学部 辛 嘉靖
大阪大学 工学部 松井 保
大阪大学 大学院 ○髙谷 亮太

1. はじめに

土と構造物との相互作用において、拘束状態のダイレイタンスー効果は、それらの境界面において非常に重要である。著者らは、境界面における拘束状態のダイレイタンスー挙動を表現するための力学モデルを、すでに提案している¹⁾。

本報告では、Generalized plasticity theory²⁾を用いて、この拘束ダイレイタンスーをモデル化し検討した結果を報告する。

2. 解析モデル

クーロンの降伏関数と関連流れ則にもとづいた拘束ダイレイタンスー特性はすでに求められている(松井・辛, 1989)。すなわち、この簡単な弾塑性理論を用いると、境界面におけるせん断過程下のダイレイタンスー状態にある鉛直応力の増分は次式で示される。

$$d\sigma_n = \frac{K_n K_s \tan \phi}{K_s + K_n \tan^2 \phi} ds \quad (1)$$

ここに、 K_n , K_s は境界面の垂直せん断弾性係数、 ϕ は内部摩擦角、 $d\sigma_n$ は垂直応力増分、 ds はせん断変位増分である。

また、Generalized plasticity theoryを用いると、式(1)は次式のように変形される。

$$d\sigma_n = - \frac{n_{s1} n_{s2} K_n K_s}{H + (n_{f1} n_{s1} K_n + n_{s2} n_{f2} K_s)} ds \quad (2)$$

ここに、 n_{s1} , n_{s2} は塑性ポテンシャル面における鉛直およびせん断応力の単位ベクトル成分、 n_{f1} , n_{f2} は塑性降伏面における単位ベクトル成分、 H は硬化関数である。

塑性ポテンシャル面および降伏面における単位ベクトル成分は次式で表される。

$$(n_{s1}, n_{s2}) = (d_s, 1) \frac{1}{\sqrt{1+d_s^2}}, \quad (n_{f1}, n_{f2}) = (d_f, 1) \frac{1}{\sqrt{1+d_f^2}} \quad (3)$$

ここに、 $d_s = (1+\alpha)(M_s - \eta)$, $d_f = (1+\alpha)(M_f - \eta)$,

$$\eta = \frac{\sigma_s}{\sigma_n}$$

また、 M_s は限界状態曲線の傾き、 M_f は相対密度と M_s の積、 α は材料定数である。

さらに、硬化関数 H は次式で示される。

$$H = H_0 \sigma_n H_f (H_v + H_s) \quad (4)$$

ここに、 $H_f = \left(1 - \frac{\eta}{1 + \frac{1}{\alpha} M_f}\right)^4$, $H_v = \left(1 - \frac{\eta}{M_s}\right)$

$$H_s = \beta_0 \beta_1 \exp(-\beta_0 \xi), \quad \xi = \int |ds|$$

また、 H_0 , β_0 , β_1 は材料定数である。

ここで、 $d_s = d_f = -\tan \phi$, $H = 0$ のとき、式(2)は式(1)となる。

表-1 解析に用いたパラメータ

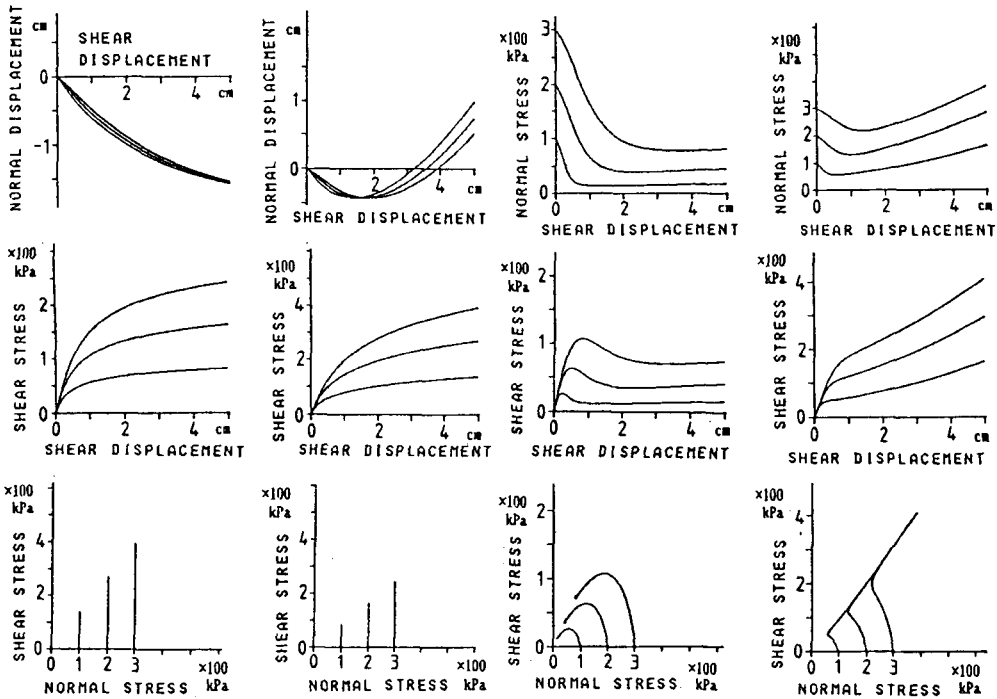
	ケース1 緩詰め砂	ケース2 密詰め砂
M_f	0.4	0.8
M_s	0.9	0.9
K_s (MPa/m)	350.0	350.0
K_n (MPa/m)	300.0	300.0
H_0 (1/m)	500.0	500.0
β_0	30.0	30.0
β_1	0.1	0.1
α	0.45	0.45

3. 解析結果

解析は、緩詰め砂および密詰め砂の場合において、垂直応力一定の場合と垂直変位を拘束した場合の2ケースを行った。また、初期応力は1.0、2.0、3.0 (kPa)の3種に変化させた。解析に用いたパラメータを表-1に、また解析結果を図-1、2に示す。

図-1は垂直応力一定の場合の結果である。ケース1ではダイレイタンシーが負になり、ケース2では負から正へと変化することがわかる。一方、図-2は垂直変位を拘束した場合の結果である。ケース1では、せん断変位の増加にともない垂直応力は最初減少し、その後残留値に落ち着き、また、せん断変位-せん断応力関係はピーク値が現れた後、一定の残留状態になることがわかる。ケース2では、せん断変位が大きく増加するとともに、垂直応力およびせん断応力がともに増加し、バイリニア関係で近似できるような挙動を示す。また、ケース1、ケース2とも変位が大きくなると、応力経路は破壊線に沿うことがわかる。

以上の結果は、提案したモデル化により拘束ダイレイタンシー特性が良好に表現されることを示している。



a) ケース 1

b) ケース 2

a) ケース 1

b) ケース 2

図-1 垂直応力一定の場合

図-2 垂直変位を拘束した場合

4. 結論

土と構造物の境界面における拘束ダイレイタンシーを、Generalized plasticity theoryを用いてモデル化し検討した。その結果、垂直応力一定の場合の境界面における正負のダイレイタンシー特性、垂直変位を拘束した場合の拘束ダイレイタンシー特性を十分表現できることを確認した。

参考文献

1. T. Matsui, K. C. San, "An elastoplastic joint element with its application to reinforced slope cutting", Soils and Foundations, Vol. 29, No. 3, pp95-104, 1989.
2. M. Pastor, O. C. Zienkiewicz, "A generalized plasticity hierarchical model for sand under monotonic and cyclic loading", Proc. 2nd Int. Conf. on Numerical Model in Geomechanics, pp131-150, 1986.