東北学院大学工学部環境建設工学科(学)○門脇 佑太
東北学院大学工学部環境建設工学科
村尾 祐哉
東北学院大学工学部環境建設工学科(正)飛田 善雄*

1.はじめに

本研究ではLi&Dafalias が提案したモデル¹⁾(以下 L&Dモデル)を取り上げ、その弾塑性L&Dモデルに 修正を与え、液状化後の地盤挙動の表現を試みた。L&D モデルの特徴は、有効拘束圧および密度依存性を比較 的簡単な関係式で表現することにある。せん断変形の 最終的状態で、せん断応力の変化もダイレイタンシー も生じない極限状態(Critical state)の存在を仮定し、 極限状態での間隙比と有効拘束圧の一意的な関係を利 用して、状態変数 ψ を定義する。その状態変数 ψ に塑性 係数、ダイレイタンシー係数が依存するという定式化 を行うことにより、密度および有効拘束圧依存性を簡 潔に表現している。このモデルが多様な条件での多様 な挙動を表現することが検討されている²⁾。

液状化などにより構造劣化を起こした砂の変形挙動 として、大きな体積圧縮挙動、せん断抵抗を示さない 領域の存在が知られている。本研究では、L&Dモデル を基本として、液状化後の砂の挙動の再現を行った。

2. Li&Dafalias モデルにおけるひずみ増分、応力増 分の表現

このモデルのパラメーター覧を表-1として収録する。 表-1 Li&Dafalias モデルのパラメータ

弾性定数	限界状態定数	塑性定数
$G_0 = 125$	<i>M</i> =1.25	d ₀ =0.88
v=0.05	<i>e</i> _Γ =0.934	<i>m</i> =3.5
p_{α} =101.2kPa	$\lambda_c = 0.019$	h ₁ =3.15
	<i>ξ</i> =0.7	h ₁ =3.05
		<i>n</i> =1

L&D モデルにおけるひずみ増分と応力増分は次式の ように表現される。

$$\begin{cases} d\gamma \\ d\varepsilon_v \end{cases} = \begin{bmatrix} 1/3G + 1/K_p & -\eta/K_p \\ d/K_p & 1/K - d\eta/K_p \end{bmatrix} \begin{cases} dq \\ dp' \end{cases}$$
(1)

ここで、Gはせん断弾性定数、 K_p とdはそれぞれ、せん断に関する塑性係数とダイレイタンシー係数、K

は体積圧縮弾性係数、ηは応力比である。せん断弾性定数 G は次式で定式化されている。

$$G = G_{\sigma} \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \sqrt{p' p_{\alpha}}$$
(2)

ここに、 G_0 は弾性定数、e は間隙比、p は有効拘束圧 である。このモデルは塑性係数もGに依存し、Gが低 下すると塑性ひずみも大きくなる。

3. 液状化等により構造劣化を起こした砂への拡張

L&D モデルでは、状態変数ψが重要な役割を果たし、 ψが大きいときには緩い砂の挙動を示し、小さくなると 密な砂の挙動となる。液状化後の砂の場合のように、 構造劣化を受けた砂は同じ密度(間隙比)であっても、 より緩い砂の挙動を示すことになる。このため、大き な状態変数ψを与えることが必要になる。

ここでは次式を用いて、構造劣化が生じたであろう 砂の挙動の再現を試みる。

$$m\psi = \psi + b \tag{3}$$

ここで bの値は構造劣化の場合には正の値とする。

さらに、液状化を受け内部構造が乱れたことにより、 非排水せん断時に、せん断抵抗が生じない無抵抗領域 が存在することが知られている。また、液状化後に間 隙水圧が消散し、体積圧縮を示した砂が非排水せん断 初期に小さなせん断応力でピークを示し、その後大き く流動したのち剛性が回復する挙動も知られている。

このような挙動の表現を b、せん断弾性係数の初期 値 Goのみを変化させて、表現することを試みる。な お、ここでの計算結果は、すべて非排水条件を対象と している。すなわち、式(1)の左辺の体積ひずみ増分 devは 0 とする計算結果である。

図-1、図-2、図-3、において、赤線はオリジナル L&D モデルの挙動を示す。青線は *b*=0.084、*G*oはオリジナ

キーワード:弾塑性モデル、密度・拘束圧依存性、ダイレイタンシー、状態変数 *〒985-8537 多賀城市中央1丁目13番1号、Tel&Fax 022-368-7396 ル L&D に対して 1/100 に設定し、液状化後すぐのせ ん断時の無抵抗領域の表現を試みた計算である。緑線 は、非排水せん断初期にわずかに抵抗を示した後流動 し、pが 10%に達した時点で、構造の回復が生じせん断 抵抗が回復する挙動を再現している。ここでは、せん 断ひずみが 15%に達した時点で、bを 0.084 から 0.028 に回復させている。このときの Go はオリナルモデル と同じにした。

4. 考察およびまとめ

液状化などにより内部構造が劣化した砂が示す弱く 不安定な挙動を表現することを目的として、L&Dモデ ルを基本として定式化を行った。できる限り簡便な方 法で挙動を再現するために、ここでは表-1に示す L&D モデルの 13 のパラメータのうちで主要な役割を果た す状態変数ψと弾性定数 Go の2つのみを変化させる こととした。(bの変化はerの変化に等しい。)その結 果、液状化した砂が示す非排水せん断時のせん断無抵 抗領域は、Wの値を大きくし、緩い砂の挙動を示すよ うに設定し、さらに Goの値を小さく設定することに より表現できることがわかった。さらに液状化により 乱された砂が間隙水圧が消散し、体積圧縮が生じた後 もその内部構造は乱されたままであるために、非排水 せん断時の初期には抵抗を示すものの小さなせん断力 でピークを示し、その後大きな流動を示した後、せん 断抵抗が回復する挙動は Go は変えることなく、状態 変数ψの付加価 b を小さくすることにより再現するこ とができた。

今回は掲載していないが、セメンテーションにより 内部構造が強化された砂の挙動―高いピーク強度、す るどい応力降下なども、ψと *Go* を変化させるだけで表 現できることが分かっている。

これらのことより、L&D モデルを基本として、状態変 数およびせん断弾性係数 *Go* の発展則(変形に伴いど のように変化するかを定めるモデル)を与えることに より、多様な挙動が表現できる可能性をしめすことが できた。現時点では、モデル化は完結しておらず、さ らなる研究が必要である。

6. 参考文献

1) Li and Dafalias: Dilatancy for cohesionless soil,



Geotechnique, 50,4,pp.449-460,2000

 2) 飛田善雄、三塚保法、山口晶、吉田望:密度と拘 東圧依存性を考慮した砂の構成モデルの検証 Vol.11.pp.411-422、2008