

東北大学 大学院 ○加藤 高之
東北大学 工学部 藤田 基雄
東北大学 工学部 柳澤 栄司

1. はじめに 地震時における砂地盤の挙動を予測するためには、従来用いられている *Hardin-Drnevich* モデルや *Ramberg-Osgood* モデルのような一次元的解析では、限界を有する。近年、地震時の液状化現象には、三次元的応力を発生させる表面波が大きく関与していることが、指摘されているからである。本研究は、簡便で、しかも、多次元応力状態における繰り返し載荷時の砂の変形挙動を表現し得るモデルを提案し、代表的な応力経路に適用し、既往の実験結果と比較することによって、その適用性について検討を行なうものである。

2. 提案する構成式 砂の基本的性質をすべて取り込むことは、極めて複雑な構成式をもたすことになるので、式をなるべく簡便にするため、つぎのような操作を行なった。

①工学的には、塑性ヒズミ速度の大きさを適切に判断することが、その方向を正しく表現することより大切であると考え、負荷曲面について単純化を行なう一方、塑性係数について十分な注意が払われている。

負荷曲面 ヒステリシス現象や *Bauschinger* 効果などを、多次元応力空間で表現するため次式で規定する。

$$f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - R(\theta) \cdot \sigma_0(\lambda_c) \cdot p' = 0 \quad (1)$$

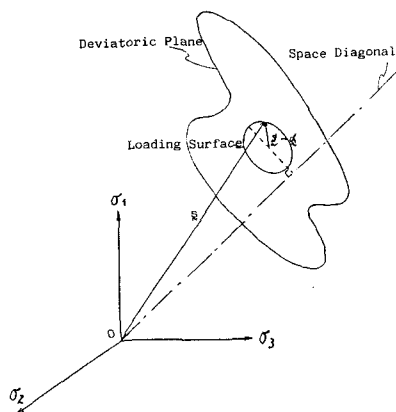
関数 $R(\theta)$ は、 π 平面上の負荷曲面の断面形状を決定する。その他のパラメーターについては、図1と図3を参照。

背応力 摩擦性材料である粒状体の塑性変形は、第一義的に、応力比で鏡一的に表現できるはずであるから、負荷曲面とその背応力の運動を偏差面上に限定する。

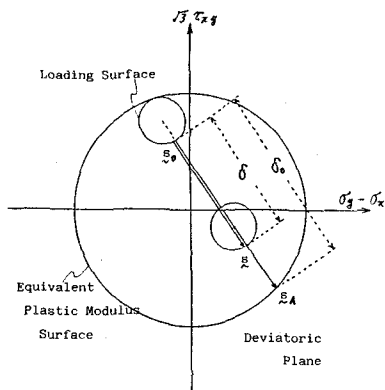
$$\alpha_{ij} = c(\lambda_c) (\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) \quad (2)$$

硬化則 *Dafalias-Popov* の提案した境界曲面理論を簡略化して扱うため、等塑性係数面なる概念を提案する。(詳細は発表時に行なう。図(2)参照)

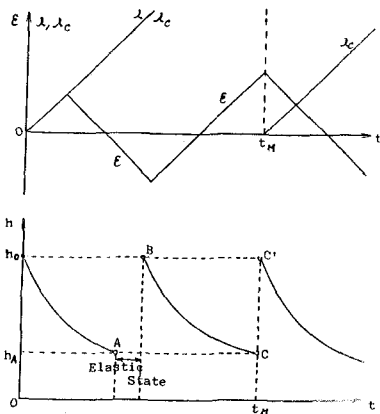
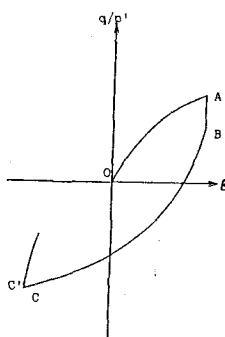
変相曲面 等方的硬化の大きさを示す $\sigma_0(\lambda_c)$ のパラメーター λ_c を、変相曲面を越えてから応力反転が生じた場合にはゼロクリアーすることによって、変相曲面を越えてから



図(1) 負荷曲面



図(2) 等塑性係数面(比例負荷)



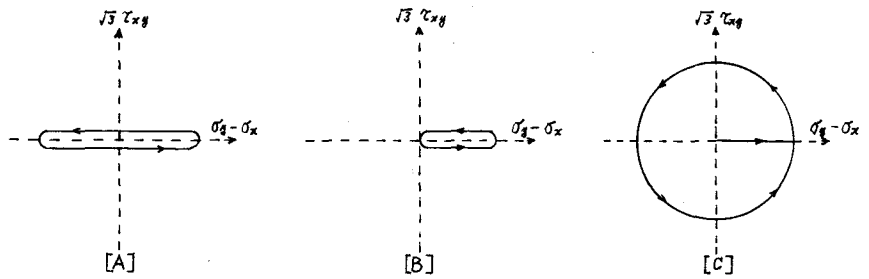
図(3) パラメーター λ_c の変化

の降荷時では、その直後から塑性変形を生ずることになる。

(図(3) 参照)

ダイレイタンシー

塑性偏差ヒズミは流れ則を用いるが、ダイレイタンシーにつ



図(4) 応力経路

いては、微視的構造に大きく影響されるので、偏差面上の塑性ポテンシャルとは別に、内部構造の変化を巨視的に表現する次の関数から求める。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^p = D(\sigma_{ij}, \alpha_{ij}, \epsilon_{ij}^p) \cdot \dot{\lambda} \quad (3)$$

3. 計算例 主軸の回転を伴わない場合の経路[A][B]と主軸の回転を伴う場合[C]の三つ(図(4))に対し計算を行ない、龍岡・石原、東畑の実験結果と比較し、その適用性について検討する。

経路[A] 三軸圧縮伸張試験 非排水状態の有効応力経路を図(5)に示す。繰り返し載荷に伴ない、間ゲキ水圧が上昇し、有効拘束圧がなくなることにより液状化が生じる過程が、的確に表現されている。この過程で生じる過剰間ゲキ水圧増分は、液状化直前で最も大きく、第1サイクルで次に大きく、中間のサイクルで小さいという傾向は、東畑による実験事実と一致するものである。

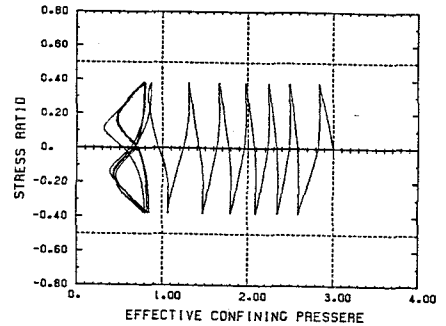
経路[B] 三軸圧縮試験 非排水状態の有効応力経路を図(6)に示す。有効拘束圧は次第に減少するが、面振りの場合と異なり、回を重ねても液状化に至らず途中で停滞するという現象は表現できるが、東畑の実験で見られるような応力経路が右に傾く現象すなわち、可逆的な間ゲキ水圧変動までは表現できない。

経路[C] 偏差応力の二次の不変量一定 図(7)は、偏差面上の応力点での塑性偏差ヒズミを適当な間隔でプロットしたものである。塑性偏差ヒズミ増分ベクトルは常に外側を向いており、応力の主軸(半径方向)と応力増分の主軸(接線方向)の中間にある。しかし、わずかも大ききの増加がみられないことが東畑の実験事実と反する。

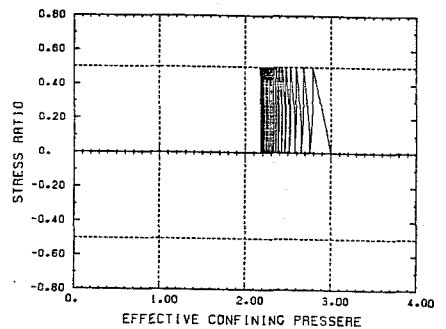
4. あとがき 定性的には、ほぼ満足すべき結果が得られたと言える。今後、このモデルを用いた解析が、地震時における多次元応力状態の砂地盤の挙動の予測となり得るためには、適切なパラメータの決定方法の検討が必要とされなければならない。また、「せん断」と「圧縮」の連成挙動についても、十分、配慮すべきである。

参考文献: 紙面の都合上、詳細は砂質土および砂地盤の変形・破壊強度の評価¹⁹⁸⁸ pp.53-58 または東北大学工・土木修論加藤高¹⁹⁸⁵ 1) D.Kujawski & Z.Mroz(1980)"A Viscoplastic Material Model and Its Application to Cyclic Loading"Acta

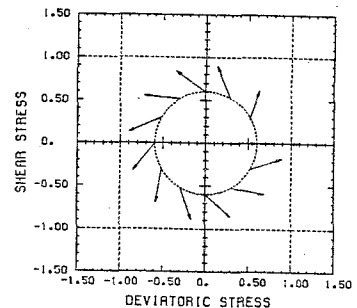
Mechanica Vol.36 pp.213-230 2) J.Ghaboussi & Momen(1982)"Modelling and Analysis of Cyclic Behaviour of Sand" Soil Mechanics Transient and Cyclic Loadings Chap.12 pp.313-342 3) Y.F.Dafalias(1982)"Bounding surface elastoplasticity viscoplasticity for particulate cohesive media" IUTAM Conference on Deformation & Failure of G.M.



図(5) [A]の有効応力経路図



図(6) [B]の有効応力経路図



図(7) 塑性偏差ヒズミ増分