

東北大学 工学部(正) ○飛田 善雄

同上 柳沢 栄司

1. まえがき

地震時に於ける砂質地盤の液状化現象は、繰り返し載荷時の砂の変形挙動を精度良く規定する事により、理解される。¹⁾ 初期異方性あるいはせん断変形による誘導異方性の液状化強度に及ぼす影響は、砂の様な粒状体の内部構造変化を表現するパラメータで統一的に表現できるものと思われる。本文では、小田²⁾、金谷³⁾、佐武⁴⁾らが提唱する、粒状体の内部構造を表現する構造テンソル(Fabric Tensor)の概念が液状化現象の理解に有用な事を示し、物体の内部構造の変化に基礎を置き、構成式を導く Endochronic Theory⁵⁾と構造テンソルの関係に付き考察する。

2. 異方性と液状化現象

砂の詰め方による初期異方性が液状化に大きな影響を与える事が、Mulilis et al.⁶⁾、Ladd⁷⁾らにより報告されている。彼らの用いた試験器は三軸圧縮-伸長試験器である。これに反して、単軸せん断試験器を用いた繰り返し載荷では、砂の詰め方の差異による液状化の影響は少ない事が Silver and Tatsuoka⁸⁾により報告されている。また、過圧密あるいはせん断変形の様な応力履歴(歪み履歴)の液状化強度に与える影響が Finn et al.⁹⁾、Ishihara et al.¹⁰⁾、Nemat Nasser & Tobita¹¹⁾により報告されている。この様に現在では、液状化強度は、砂の間隙比のみならずその構造(Fabric)にも強く影響される事が知られている。尚ほ歪み履歴の影響を考える際に、変相角の概念が重要になる事は周知の事実である。微視的には、有効応力経路が変相角内部にあれば、この履歴は砂の内部構造の欠陥を消失させ、変相角を越えると著しく異方的構造を形成するものと考えられる。一例を図1に示す。これは三軸圧縮試験器を用いて伸長方向に、変相角を越えて排水試験し、その後非排水状態で伸長→圧縮載荷を行なうものである。圧縮に入ると直、有効応力零状態へ流動する事が理解される。この様な歪み履歴の影響は、すべり面(あるいはMobility面)の概念を用いて、Nemat Nasser & Tobita¹¹⁾、松岡¹²⁾により説明されているが、ある面を規定する事が粒状体力学の構成上強い制約になる事が数々指摘されており、ここでは粒状体内部の体積に基礎を置く構造テンソルを用いて、異方性の液状化現象に与える影響を考える。

3. 構造テンソルと液状化現象

砂の様な粒状体の内部構造の尺度あるいはその変化を表現するものとして、接触角分布、接触点総数、粒子間力、粒径等の諸性質(あるいはそのうちの何れか)を用いて構造テンソルを規定する事が、佐武^{*}、小西¹⁴⁾、金谷^{**}、小田^{***}らにより試みられている。ここでは接触角分布と接触点総数を基準にして得られる様な構造テンソルを考え、これを F_{ij} と記す。(i, j は x, y, z のデカルト座標、以下総初めを用いる)

* 接触角分布を用いる。 ** 接触角分布、接触点総数を用いる。

*** 接触角分布、接触点総数、平均粒径を用いる。詳しくは 2), 3), 4)

及び 14) 小西、京都大学博士論文 参照の事

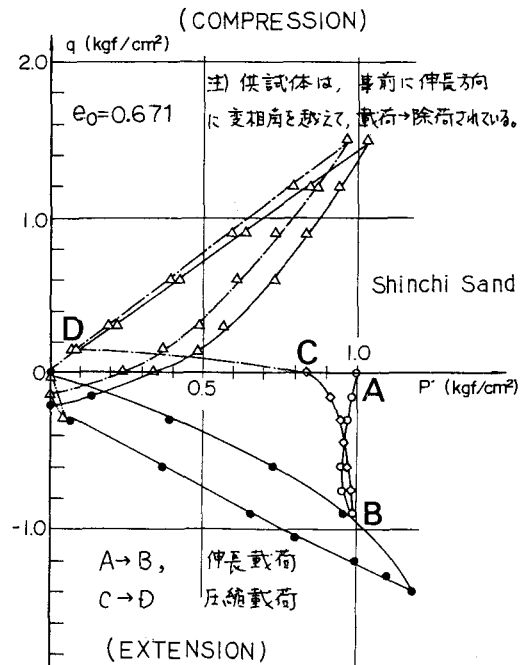


図1. 間隙水圧発生に及ぼすせん断履歴の影響

この時、 $\epsilon_{ij} = F_{ij} \delta_{ij}$ は、総接変数に関する情報を与える。 $\epsilon_{ij} = F_{ij}$ が大まい程、総接変数は多く、液状化強度は高くなる。偏差テンソル $F'_{ij} = F_{ij} - \frac{1}{3}(F_{kk} \delta_{ij})$ を考えて、その二次不変量 $J_2^* = \frac{1}{2} F'_{ij} F'_{ij}$ が大まい程、強い方向と弱い方向が卓越して表われるので、等方応力状態から繰り返し載荷を受ける様な液状化試験では、弱い方向により強度が決定され、液状化強度は低くなる。図1の様は大まいせん断局歴を受けたい供試体は、光弾性実験によれば異方的な構造が発達しており、当然 J_2^* の値も大きくなっているため、液状化強度は低くなる事が予想される。図1は、この考え方の正当性を示す一例である。図2は、資料作成方法の液状化強度に与える影響が三軸試験器と単純せん断試験器では異なる事を図化したものである。2つの試験器の差異は、応力システムが異なる事である。応力の主値 σ_1 の方向 ($I=1, 2, 3$) と構造テンソルの主値 F_i の方向はほぼ一致するのが三軸試験器であり、単純せん断試験器では σ_1 の方向が時々刻々変化し、且つ最も弱い方向に最大主応力が載荷される事もないので、初期構造が液状化強度に与える影響は小さくなるものと考えられる。以上の様に、液状化現象を理解する際に、構造テンソルの概念を用いると、統一的解釈が可能である。構造テンソルは粒状体力学の体系上許りでなく、土質工学の諸問題でも重要である。

4. Endochronic Theoryと構造テンソル

5) の内部構造変化を示すスカラー量を偏差ひずみで定義する事により、砂の繰り返し載荷時の変形特性、動的間けき水圧の予測が為されており、満足すべき結果を得ている。^{(5), (6)} これは Endochronic Theory の考え方に基いている。スカラー量を基にして議論がなされているので、物体内部に大まい異方性が存在する場合には、適用不可能である。微小ひずみ時の変形特性及び間けき水圧発生シミュレーションは、砂の内部構造が初期状態と大程変化しないので、スカラー量で巧く予測できるものと思われる。このスカラー量を構造テンソルで置き換える事により、異方性を考慮できるより広範囲に適用可能な構成式が導けると考える。

謝辞

本報告は著者の一人が Northwestern 大にて Nemat-Nasser 教授の下で行な、大研究が端緒である。均大、小田、先主、信州大、小西先生には、種々御意見を伺って、いる。以上記し沿御の意を表したい。

参考文献

- 1) 足立、智岡「土力学」投稿誌、2) 3) 4) 佐武稿「粒状体力学の構築に肉する研究」文部省科学研究費(B) (5) ASCE Vol. 103, GT5, P399~
- (6) ASCE, 103, GT2, 91 (7) ASCE, 103 GT6, 535 (8) Proc. of 7th WCEE, Vol. 3, 281 (9) ASCE, SH6, 1917 (10) Soils & Fnds Vol. 18 No. 4, 31
- (11) Mechanics of Materials (12) Soils & Fnds, 15, 1, 29 (13) Soils & Fnds, 20, 3, 45 (14) Finnertal 10th ICSMFE Vol. 1, 201 (15) 藤田、柳沢 (財団法人土木学会) 投稿誌

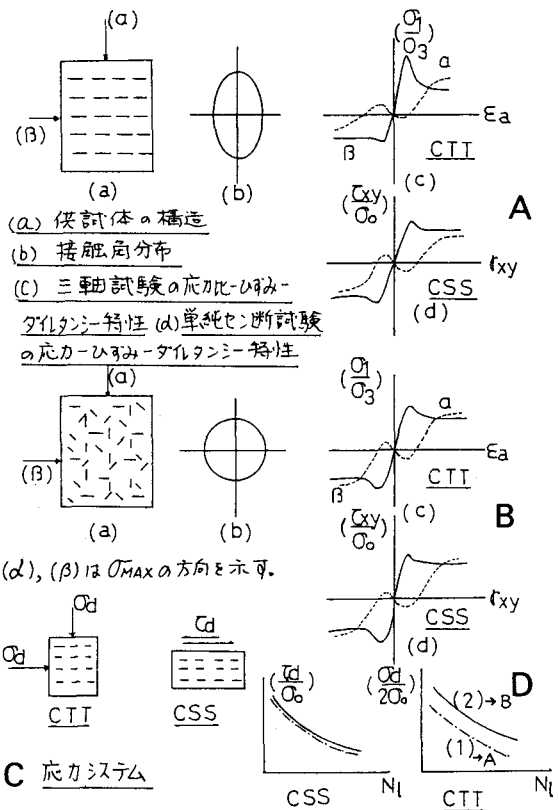


図2. 初期異方性、応力システムが液状化強度に及ぼす影響(概念図)

A, 異方性の高い供試体, B, 等方性の供試体 C, 応力システム D, 応力比と初期液状化に必要な繰り返し回数; CTT; 三軸圧縮試験器, CSS; 単純せん断試験器 をそれぞれ意味する。