

確率とか統計を土質力学に適用しようとする場合、土質のバラツキおよび土質試験実施にともなうバラツキを統計的に処理することがまず考えられる。それはよく言われるように、成因・成分・構造からみて、マスとしての土が複雑な材料であり、かつその力学的挙動が十分明らかにされておらず、試験法が標準化されていないためである。注目すべき次の二つの方向が、このことを特徴的に示している。一つはデータ処理としての統計学からすすんで、歴史性をもった構成からくるバラツキを示す地盤からえられるデータに対して、情報理論におけるエントロピー概念を導入する試みなどがなされている^[1]。他の一つは種々の土質試験データが実際の設計や施工管理に定量的にとり入れられる際、データから、それらのバランスのとれた精度をはっきりさせ、更に精度に合せた土質試験の自動化、開発研究を行なおうとするものである。これらマクロに観た土の不均一性を扱う方向の研究に、調査・設計・施工上の問題は差し迫った要求を投げかけている。

しかしながら、ここでとり上げた問題は土(特に砂)そのものの力学的挙動を本質的に確率的な現象としてとらえる方向、いわばミクロに観た土の不均一性や偶然性を基とした力学体系の方向に属するものである。古典的には統計力学-熱力学に、その後量子力学・反応速度論・乱流理論(たとえば Batchelor)などの体系中に、その手本を見出すことができない。

土に適用されてきた弾性論・塑性論などでは、一樣で等方的な連続体とみなせる媒質を出発点とし、応力を軸にして formulation されている。それゆえ、アーチ作用、力の変形の非線形性、履歴(力と変形に一義性がない)、せん断応力の寿命、漸進性破壊など、粒子性(あるいは土のミクロな構造)に根をおく現象に対しては、多くの理論修正のための努力がなされながら、元の理論の簡明な体系を複雑にはしても解決の方向が見えているとは言い難い。例えば土圧論においても、積み性の壁とみ、静止土圧とみ、変形条件が大きな作用をもつものは十分定量的に議論することできない。この事態は1920年に Terzaghi が述べた「粒子性に帰れ」^[2]という言葉をも、改めて想起させるものである。今日まで土質力学が発展してきた方向を延長させるだけでは、明らかに不十分であろう。

以下、土を確率的モデルでとらえるという点から、著者の目に触れた文献を紹介し、今後の研究の方向をさぐってみたい。

弾性理論の集合 [3]~[7] カーボンマイクロフォンや地震波の伝播の問題としてとり上げられ、マススプリング系あるいは Hertz の弾性接触理論を基にしている。応力と歪の非線形性や弾性係数の歪力依存性について定性的な説明が可能となるが、ある状態からの変化分を考えるため、非線形の積分-微分方程式を解かねばならない。表式の複雑さより、弾性論的力の釣合という出発点に限界を感じる。

粒子性・不連続性 [8]~[13] Rowe は塑性平衡の条件下に規則配列の媒質で成立するエネルギー的法則を、一般に成立するものとして実験値を整理した。粒子性に着目しながら統計処理を避けてマクロな量をとり出す方法。[10]は実験的手法として興味ある。最上は、砂の断続的動き、空隙の場所的・時間的変動、せん断応力による不安定平衡の存在、砂の力学的状態の一義性の欠如、を指摘している。

確率的粒子配列 [14]~[16] 最上はある粒子配列の状態確率^[14]からエントロピー的概念を導き、熱力学の式から $P \sim V$ 関係を求めた。Litwinişzyn はランダムウォーク的考えから拡散の方程式を導き砂粒の移動を扱っているが、煤質の力学的性質には触れてない。

破壊理論 [17]~[19] 破壊現象の研究は煤質のミクロな構造をもとに急速に体系化され、Griffith Theory, 転位理論、生起確率過程論によって、ガラス・金属等の破壊強度・時間おくれ・scale effect 等が明らかにされた。^[17] マクロな等方性とミクロな異方性の関係も研究され^[18]、セメントモルタルの破壊を Markoff process としてとらえた堀の研究^[19]は最弱リンク理論の直接の適用例である。

今後の問題点 ①運動学的観点より粒の動きを支配する統計を明らかにする ②巨視的状态の統計的重みとしてのエントロピーから、ある粒子配列状態の経過・平衡の安定を論じる ③ミクロな量を測定し、モデルをチェックする ④確率モデルから出発し、どのような道筋でマクロな量の方程式を導くか鍵となると思われる ⑤破壊理論は構造敏感性の煤質の特徴を表現するのに有効であり、砂マス^マの断続的挙動を砂粒の再配列の生起確率として、又クリープを速度過程として扱えるであろう。

- [1] ゴルツェンソン: 土質力学を發展させる上での若干の問題; 土と基礎 No. 44 pp. 44~47 (1961)
- [2] Terzaghi: From Theory to Practice in Soil Mechanics; John Wiley & Sons p. 109 左欄
- [3] Deresiewicz: A review of some recent studies of the mechanical behavior of granular media; Appl. Mech. Review 11-6 p. 259 (1958)
- [4] Deresiewicz: Mechanics of granular matter; Advances in Applied Mech. vol. V pp. 233~306 (1958)
- [5] 飯田淑孝: Velocity of elastic waves in a granular substance; 震研彙報 17 pp. 738~808 (1939)
- [6] 高橋健人・佐藤泰夫: On the theory of elastic waves in granular substance I, II; 震研彙報 27, 28 (30)
- [7] 南雲昭三郎: 粒状煤質の弾性 I, II, III; 物理探鉱 15巻 pp. 65~71, 194~197, 16巻 pp. 149~156 (63)
- [8] Rowe: The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact; Roy. Soc. London series A vol. 269 pp. 500~527
- [9] Caquot-Kérisel: Traité de Mécanique des Sols; Gauthier-Villars pp. 233~236 (1956)
- [10] 岡本・伯野: 動荷重を受ける砂粒子の接触圧変化について; 土と基礎 No. 80 pp. 37~40 (1964)
- [11] 最上武雄: 乾燥砂の運動機構に就て (1); 土木学会誌 昭和 17 年 5 月 p. 483
- [12] 最上武雄: 土質力学と粉体; 粉体工学 64 年 5 月号 pp. 33~40
- [13] 湯浅欽史: ゆるい砂の変形における不連続的な動きについて; 年次学術講演会 III-13 (1964)
- [14] 最上武雄: 粒子の力学; 理工学研究所報告 第 3 巻 pp. 168~170 (1949)
- [15] ランダム・リフシツ: 統計物理学 (上); 岩波書店 p. 30 (1957 邦訳)
- [16] Litwinişzyn: Fundamental principles of the mechanics of stochastic media (ポーランド) Proc. 3rd Conf. Appl. Mech. pp. 93~110 (1957)
- [17] 横堀武夫: 材料強度学; 技報堂 (1955)
- [18] Volkov: Statistical Strength Theory; Gordon and Breach (1962 英訳)
- [19] Hori: Statistical aspects of fracture in concrete I, II; 日本物理学会誌 14-10 pp. 1,444~1,452 (1959), 17-1 pp. 228~236 (1962)
- [20] 横山次郎: 岩石の塑性に関する問題について; 岩の力学国内シンポジウム p. 33 (1964)