締固められた砂質土における粒度のフラクタル分布

山口大学大学院　学生会員　○縄田　宏　岡元　拓也　中河　祥一
山口大学大学院　　正会員　中田　幸男　兵動　正幸　吉本　憲正

１．序論

本研究は，締固め土の粒子レベルからのモデル化を最終的な目標にした基礎的な検討である．吼々では，締固めた土の粒径の自己相似性に着目して，フラクタル次元 D を活用することを試みた．フラクタル[1),2)]は，ある模様の元の画像と拡大した画像とで，見分けがつかない(自己相似)ことをいい，元のフラクタル画像がいくつかの自己相似の図形から成り立つことをいう．今回の検討では．突き固めによる締固め土に対する粒度の変化に着目し，フラクタル次元を用いた評価の適用性について考察した．

２．粒度のフラクタル分布

粒度の自己相似性を定量化するに当たり，フラクタル分布関数を用いた．この関数は，粒度のような場合，粒径 d を用いて以下の式(1)で表すことができる．

$$N = A \times d^{D} \quad \cdots \text{式(1)}$$

土質力学では，粒度をふるい分析によって求めるため，d はふるいの開き目と等価であると考える．式中の N は，粒径 d よりも大きい粒子の個数であり，ここでは，開き目 d のふるいに残留した粒子数である．また，D はフラクタル次元であり，A は粒径が 1 mm のときの N をさす．式(1)を用いて，フラクタル分布を示したものが，図 1 となる．この図は，粒径 2mm の粒子が一個だけあると仮定して作図したもので，フラクタル次元を 0.5 から 3.0 に変化させて作図したものである．このフラクタル次元は以下の式で与えられる．

$$D = -\delta(\log N)/\delta(\log d) \quad \cdots \text{式(2)}$$

式(2)に示すように，直線の傾きがフラクタル次元となる．図 1 の粒度を図 2 に示す．図 1 から図 2 を描く場合には，式(1)を用いて d を 2mm から 0.01mm の間に無数のふるい目を想定し，各ふるいに残る粒子数を算出して，重量に換算することで，粒度曲線を作成した．図 1 および図 2 には，以後の実験に用いる 2mm 以下に粒度調整した試料の粒度分布を示している．示した試料のフラクタル次元はおよそ 2.4 であることがわかる．

３．突き固めによる粒度変化

試験は，山口県のまさ土を用いて行った．突き固めによる粒度変化を観察するために粒径が 2mm 以下に調整した試料と，粒径が 2mm 以下かつ 0.25mm 以上に調整した試料の 2 種類を用意した．突き固めに

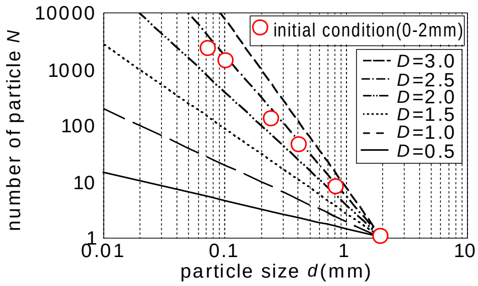

図 1　フラクタル次元 D が 0.5～3.0 の フラクタル分布

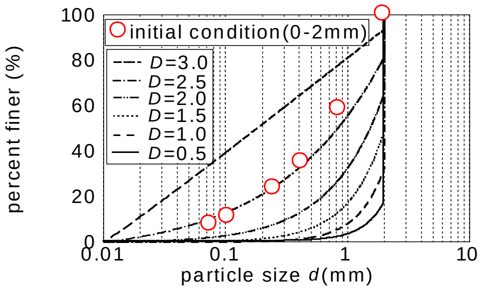

図 2　フラクタル次元 D と粒度分布の関係

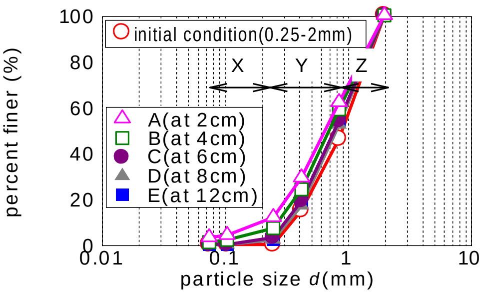

図 3　粒径を 0.25-2mm に調整した試料を 50 回突き固めた際の粒度変化

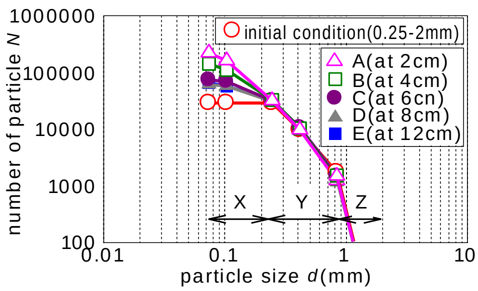

図 4　粒径を 0.25-2mm に調整した試料を 50 回突き固めた際のフラクタル分布の変化

よる粒度変化を調べるための試験は，以下のように行った．試料を1.7kg 用意し，モールドに投入する．モールドは直径 10*cm*，高さ 12.7*cm*，容積 1000cm^3のものを用いた．その後ランマー重量 2.5kg，落下高さ 30*cm* で突き固めを行った．突き固め回数は 50 回と 100 回の 2 種類で行った．突き固め後，突き固め面からの距離に着目して締固められた土を採取してふるい分析を行った．

粒径を 0.25-2*mm* に調整した試料を 50 回突き固め際の粒度変化を図 3 に示す．突き固め面からの距離により粒度分布が変化するため，突き固め面からの距離が 2,4,6,8,12*cm* の結果をそれぞれ A,B,C,D,E とした．突き固め面に近い試料ほど，粒径の大きい粒子が減少し，粒径の小さい粒子が増加していることがわかる．また，各点におけるフラクタル分布の変化を図 4 に示す．図より粒径の範囲でフラクタル分布が大きく異なるため，粒径が 0.075-0.25*mm* の範囲を X，0.25-1*mm* の範囲を Y，1-2*mm* の範囲を Z として考察した．X の範囲は，初期状態には粒子が存在しない．締固めによって粒子は増加するが，突き固め面に近い箇所ほど粒子が増加している． Y の範囲では粒子数がわずかに減少している．これは X の範囲での増加量に相当するだけ減少しているといえる． Z の範囲では 1*mm* と 2*mm* の粒径のデータしか得られないため，十分な傾向が得られなかった．今後は 1-2*mm* 間のふるい目のふるいを使用し，粒子の分布を調べる必要がある．

次に突き固め面からの距離とフラクタル次元の関係を図 5 に示す．X の範囲のフラクタル次元は初期状態では 0 であったが，どの点でも次元の増加が見られる．特徴としては，突き固め面から約 8*cm* 付近までは減少するが，8*cm* を超えるとあまり変化が見られなかった．このことから，突き固めによる影響が突き固め面から約 8*cm* 付近までに顕著に表れることを意味する．

次に突き固めエネルギーと X の範囲におけるフラクタル次元の関係を図 6 に示す．また，初期粒度の異なる 2 種類の試料の結果を示す．0-2mm 試料のフラクタル次元はエネルギーによらず 2.3 程度であった 0-25-2mm 試料の X の範囲のフラクタル次元は突き固めエネルギーが大きいほど高くなることがわかった．

図 7 に，フラクタル次元と均等係数の関係を示す．このフラクタル次元は X の範囲に対するものである．X の範囲のフラクタル次元との間には相互関係があることが示唆される．

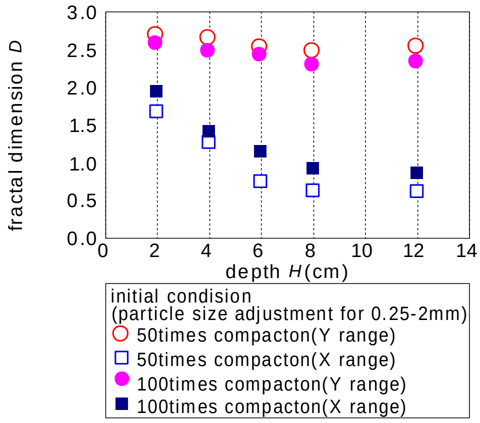

図 5　突き固め面からの深さと各粒径範囲におけるフラクタル次元の関係

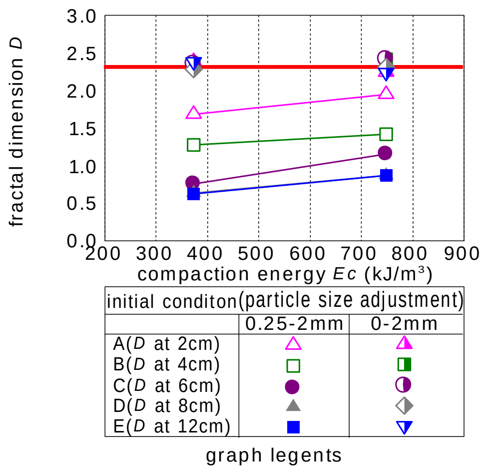

図 6　粒径が X の範囲における突き固めエネルギーとフラクタル次元の関係

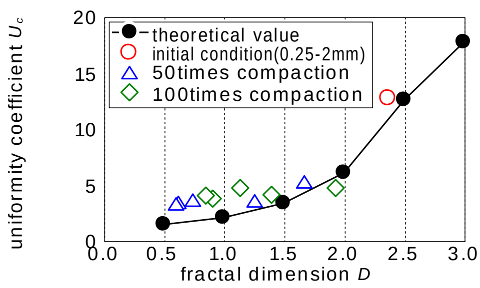

図 7　フラクタル次元と均等係数の関係

4．結論

(1) 0.25-2*mm* の試料の突き固め後のフラクタル次元は，0.25*mm* 以下の粒径範囲では締固め面に近いほど大きくなることがわかった．(2) 突き固めエネルギーが大きいほどフラクタル次元は大きくなる．(3)均等係数とフラクタル次元に相互関係が認められた．

＜参考文献＞　1) 松下　貢，フラクタルの物理(Ⅰ)，裳華房，2002，2)高安　秀樹，フラクタル，朝倉書店，2010