

京都大学工学部 正員 ○松尾 稔
 日本技術開発 正員 駒田智久
 京都大学大学院 学生員 井宮秀雄

はじめに；砂の粒状性に着目するという考えのもとに，砂層の変形に関してモンテカルロ法的手法を用いた一，二の試みについてすでに報告した⁽¹⁾⁽²⁾。本報告は二の一連の研究の一部であり，次の二つの目的をもっている。一つは著者の手法の根本仮定の一つである“砂層内の間げりのすろぼりのランダム性”の是非を調べることであり，他の一つは上記の問題にとらわれずに，多少巨視的になってもかまわないからともかく“砂層内の間げりのすろぼりの現実”を確かめようとすることである。上記の著者の仮定はいわば任意的に与えたもので，裏付けにならぬような理論的，実験的事実があったわけではない。そこで砂層中に配置した鉛粒子の移動を調べる目的で，昨秋実施したX線実験（結果未報告）において，砂層内の間げり比変化がX線写真でかなりはっきりと撮影されることがわかった。そこで砂層内の間げり比の変化そのものをX線の吸収量によって量的にとらえ，砂層内小領域の間げり比とそれの空間的分布について有効な情報が得られるのではないかと考えられた。

間げり率を求める式について；X線の吸収に関しては可視光線にありると同様にBeerの法則が有効である。すなわち入射および通過X線強度を I_0 ， I ，通過試料の厚さ t_s (cm)，線吸収係数 μ' とすれば，

$$\ln(I_0/I) = \mu' t_s \quad (1)$$

図1(a)に示すような幅 d ，厚さ t の砂層をX線が通過する場合を考える。X線が砂粒子部分を通る実質距離は幅 d にわたって変化するが，これを幅 d 及び平均した値 t_s を用いて議論を進めることは許されるであろう。 $T_s/\mu' = t_s/t$ と取りかかると，(1)式を用いることにより間げり率 n は次式で示される。

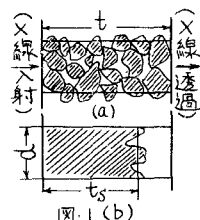
$$n = 1 - \{\ln(I_0/I)\} / \mu' t = 1 - \{\log_{10}(I_0/I)\} / d \quad (2)$$

ここに $d = \mu' t_s / 2.3$ であり，砂粒は数種の組成鉱物から成っているから，厳密には μ' ，すなわち d は一定値ではないが，幅 d について平均的に考えれば一定値と考えておいてもさしつかえはない。したがって d が与えられれば， I_0 ， I を測定することによって n を知ることが出来る。

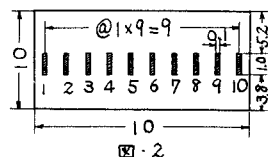
実験方法の概要；たておよび横がともに10cm，奥行1cmのアクリル樹脂板(厚さ3mm)製の砂槽に，従来計算に用いた砂を入れ，X線回折装置を用いて実験を行なった。X線の照射位置は図2斜線部に示すところであり，1cm間隔で水平方向に10箇所とした。またその照射領域はたて1cm，横0.1cmとした。なおX線強度の統計的変動を考慮して，所定の領域へのX線照射は数分間継続した。

二，三の実験結果について；(2)式により各試験における供試体全体の n を用いて d を計算すると多少ばらつき，また I_0 自体も少しではあるが時間的，空間的変動を示した。したがって n 値の絶対量には多少問題がある。しかし各測定値の相対的な相違はかなり信頼度の高いものであるといえる。

図3は試験結果の一例である。これは上記10箇所各領域の間げり率の度数分布図であり，供試体全体の間げり率をほぼ同一($n = 48.3 \sim 49.8\%$ ，平均 49.2%)にした11個のゆるぎの砂の試験結果につ

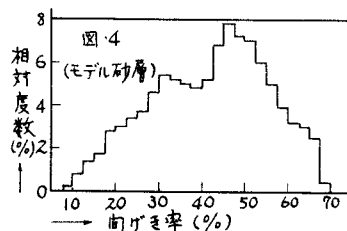
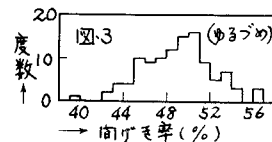


いてのものである。図3から、この程度の巨視的な領域(0.1cm³)を対象としても、かなり間引き率のすばりがあることが推定される。図3自体には各試験における α の変動の影響も少しは入っているが、個々の供試体(α :一定)における各測定位置に関して最大値と最小値の差を調べてみても、少なくとも6%以上の差が認められた。



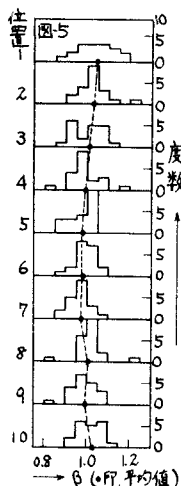
図・2

つぎに著者の仮定の検討という立場からみこむ。図3の分布形は比較的正規分布に近い。このような分布から、著者のモデル砂層の構成要素(1mm³の立方体)について求められた図4の間引き率分布を推定することが可能であるならば、図4の是非、すなわち著者の仮定を検討できるわけである。ところで間引き率の空間的分布がランダムであると仮定すると、平均値および標準偏差に関しては、原理的には、マスを対象とした実験から、このマスの構成要素の分布についての平均値および標準偏差の推定と検定が可能である(すなわち平均値と標準偏差に関しての言いえは、図3から図4



の表示における分布の推定が可能)。しかし一方マスに関する実験から、構成要素の間引き率の分布形を理論的に推定することは一般に不可能である(すなわち分布形に関しては図3→図4の推定は不可能であり、検定のみなら可能)。したがって“分布形”の問題に関しては図4のように任意的に仮定してしまおうか、他の理論によるか、あるいは何とかの方法で測定して見出す以外に方法がない。著者は、各測定領域の大きさを小さくすると同時に、測定位置の間隔をきわめて小さくして供試体全体にわたって測定可能とすることにより、この方法が“間引きのすばり”の現実を確かめる目的を達しようとする。なお平均値のみに着目すると、図4から求められる平均値は41.9%である。これに対して実験に用いた供試体全体の平均値は、ゆづめのときがすでに示したように49.2%、かたぶめでは40.9%となった。このことから、平均値のみに着目するがより著者の仮定に基づく図4は非常識なものではないといえる。

つぎに個々の測定位置での間引き率の分布や、各測定位置間の関連をみるために整理した結果の一例を示すと図5である。この図では α の変動の影響を軽減させるために、横軸に β の値を用いている。 β は個々の位置での間引き率を、同一供試体中の計10個の測定位置における間引き率の平均値で割ったものである。試験個数が少ない(この図にはゆづめ12個、かたぶめ8個の計20個の試験結果が図示されている)ので、各位置でのばらつきや分布形について定性的、定量的に議論することは現在のところまだできない。ただ各位置の平均値をみるとわずかにあるが一定の傾向をもつ変動を示しており、位置的な関連がない、すなわちランダムであるとはいえない。均一にふるよう砂を充てんしたが、砂槽側壁の影響があり、中央付近にくさへば側壁近くでは少しゆづめとなり、図6のように β の値が大きくなったものと予想される。



※1) 2010国土学会年次学術講演会講演概要。2) 41年度関西支部年次学術講演会講演概要。