

砂礫の内部摩擦角について

東大工学部土木教室 正員 最 上 武 雄

東大工学部土木教室 〇学生員 吉 越 洋

最上は粒状体の力学についての研究に於いて、間げき比 e と内部摩擦角 ϕ との間に、 $\sin \phi = \frac{e}{1+e}$ なる形の関係式を導いた。¹⁾ ここで e は定数である、この関係式が砂に対して良く適合することは既に確かめられている。²⁾ 以下にこの関係式が粗粒より成る粒状体についても良く適合することを示す。更に定数 e と粒度配合、粒子の形状や枚数など粒状体の特性を定める諸要素との関係を考察し、内部摩擦角を簡単かつ経済的に求める方法の可能性を検討する。

1. e の一定性について 電源開発K.Kでは同社の建設したロックフィルダムの材料について直接せん断試験を行った。³⁾ その試験結果およびそれから $e = (1 + \sin \phi) / \sin \phi$ によって求めた e の値、 e の平均値 $\bar{e}$ などを表-1に示す。表-1によると、 $\sin \phi = \frac{e}{1+e}$ で関係を表わした場合、 $1/(e - \bar{e})$ で云つて高々3%の誤差があるだけであることがわかる。 $\bar{e}$ の値は1附近に散らばっている。

最上の砂についての検討でも表-1と似た結果が得られ、 $\bar{e}$ の値に1に近かった。従つて $\bar{e}$ の値は粒子の大きさによつては⁴⁾ないと考えて良さそうである。

2. e と粒度分布などとの関係

粒度分布の特徴を表わすために均等係数 U を用い、その値を表-2に示す。表-1, 2から均等係数の対数 $\log U$ と $\bar{e}$ との関係をプロットしたものが図-1である。

ここで用いた資料は電源開発K.Kのもの、他、Bishop,⁵⁾ Marsal,⁶⁾ 高岡と守谷⁶⁾によつて発表されているせん断試験結果および港湾技術研究所の砂の三軸試験結果であり、表と図では各々、D, B, M, N, Kで表わしてある。

図-1を見ると、D₃を除くDで示される点およびM₁は良く直線にのつている。これを直線Aと呼ぶことにする。また、B, K, Nで示される点もB₁を除いて比較的良く直線にのつている。これを直線Bと呼ぶことにする。

DとMはロックフィル材料の碎石である。B, K, Nは天然の砂礫で、最大径は約0.5mmから30mmまで様々である。直線Aは碎石に、直線Bは天然の砂礫に対応すると云えようである。従つて直線AとBとの違いは粒子の形状や粒子

の破碎し易さに依るものと考えられる。MはDよりも加えられている応力がかなり大きい。M₁は比較的強硬であるがM₂, M₃は破碎し易い。M₂, M₃は直線から著しく外れている。従つて試験中にどれぐらい破碎が起つたかも e の値にかなり影響を及ぼすと思われるが、資料が少いので現在のところ未

表-1

	$1+e$	$\sin \phi$	e	$\bar{e}$	$\frac{e-\bar{e}}{\bar{e}}$	U	$\log U$
D ₁	1.66	0.793	1.316	1.282	0.020	2.4	0.380
	1.70	0.766	1.302				
	1.80	0.703	1.265				
	1.90	0.656	1.246				
D ₂	1.48	0.701	1.037	1.009	0.017	14.0	1.146
	1.50	0.682	1.027				
	1.60	0.623	0.997				
	1.63	0.607	0.989				
	1.70	0.595	1.012				
D ₃	1.81	0.547	0.990	1.013	0.021	3.1	0.491
	1.36	0.768	1.044				
	1.40	0.717	1.004				
D ₄	1.44	0.688	0.991	0.952	0.013	15.0	1.176
	1.31	0.741	0.971				
	1.33	0.707	0.940				
D ₅	1.40	0.676	0.946	0.899	0.019	19.0	1.279
	1.28	0.688	0.881				
	1.33	0.673	0.892				
D ₆	1.39	0.665	0.924	0.782	0.006	33.6	1.526
	1.26	0.629	0.789				
	1.30	0.599	0.779				
	1.35	0.576	0.778				

だ数的な議論はできない。B₁は粒度曲線の形が階段状で他のものとは異った特性を有し、粒度分布の特性を均等係数だけで表わすのは適当でない。B₁が直線から大きくはずれているのはこのためであると思われる。

3. 内部摩擦角を推定する方法

適当に分類された粒子の形状や枚復などに対して、図-1の直線A、Bなどの関係が与えられたとすれば、粒状体の内部摩擦角の次のような推定法を提案できる。すなわち内部摩擦角を求めようとする粒状体の粒度分布曲線から均等係数Uを求める。Uが求められれば図-1から $\bar{e}$ が求められる。 $\bar{e}$ が定まれば、 $\sin\phi = \bar{e}/(1+e)$ によって、内部摩擦角 ϕ を間げき比 e に対して求めることができる。この間に必要な試験はふるい分析だけである。

4. 結 論

- 1) 最上の理論式 $\sin\phi = \bar{e}/(1+e)$ は粗粒より成る粒状体に対しても良く適合する。
- 2) 砂の場合と同様に礫の場合も $\bar{e}$ の値は1附近に散らばっている。
- 3) 定数 $\bar{e}$ と均等係数Uの対数との間には着しい直線関係のあることが見出された。二つの直線が得られたのは粒子の形状や枚復の相違に依ると思われる。
- 4) 定数 $\bar{e}$ と粒子の破碎の程度との関係については今後の研究を必要とする。
- 5) ふるい分析のみによって内部摩擦角を間げき比に対して定め得る可能性がある。

参考文献

- 1) T. Mogami A Statistical Theory of Mechanics of Granular Materials, Journ. Faculty of Eng. Univ. of Tokyo, Ser(B), vol. 28, No. 2, 1965
- 2) T. Mogami Angle of Internal Friction of the Granular Material and a Simple Transient Phenominon, 工学会論文集 No. 128, April, 1966, 電源開発株式会社のロックフィルダム, 日本ダム会議創立15周年記念講演 1967
- 3) 浅尾 裕
- 4) A.W. Bishop A Large Shear Box for Testing Sands and Gravels, Proc. 2nd. Int. Conf. S.M.F.E. 1948
- 5) R.J. Marsal Large Scale Testing of Rockfill Materials. Proc. A.S.C.E. March, 1967
- 6) 高岡恭三 守谷正博 乾燥砂の直接せん断試験の実用性について 土と基礎 No. 123 May 1968

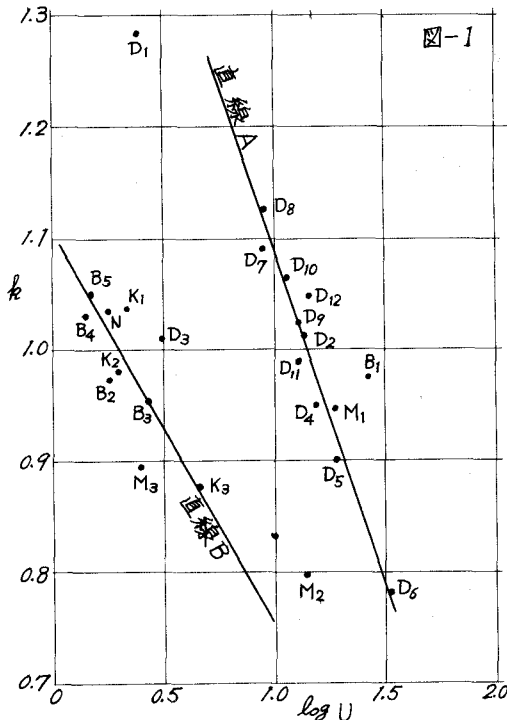


表-2

	$\bar{e}$	$\frac{1+\bar{e}}{2}$	U	$\log U$
D ₇	1.091	0.025	8.8	0.95
D ₈	1.123	0.020	9.3	0.97
D ₉	1.025	0.021	12.9	1.11
D ₁₀	1.066	0.019	11.8	1.07
D ₁₁	0.988	0.028	12.9	1.11
D ₁₂	1.045	0.006	14.7	1.17
M ₁	0.949	—	19.0	1.28
M ₂	0.795	—	14.0	1.15
M ₃	0.894	—	2.5	0.40
B ₁	0.977	0.024	27.0	1.43
B ₂	0.972	0.022	1.8	0.26
B ₃	0.957	0.023	2.7	0.43
B ₄	1.031	0.039	1.4	0.15
B ₅	1.053	0.040	1.5	0.18
K ₁	1.038	0.028	2.2	0.34
K ₂	0.981	0.027	2.0	0.30
K ₃	0.878	0.036	4.5	0.66
N	1.037	0.029	1.8	0.25