

1. 緒言

本文は、現在までに得られた約500個の岩石試験の結果を整理し、その物理的及び力学的性質間の相関性に検討を加えたものである。

一般に、これらのうちのいくつかには高い相関性を示すものが知られているが、これらの相関性の高いものばかりでなく、比較的その低いものにも意義のあることを述べ、考察を加えるものである。

2. 相関係数に及ぼす内因

岩石の物性に関する3つの変量 X 、 Y 、 Z の多数の組が得られたとする。これらを X 、 Y 、 Z 座標にプロットすると、例えば図-1のような楕円体として示される。このような場合、一般に相関の高い X 、 Y の関係について議論されるが、相関の低い Y 、 Z 、 Z 、 X については注目されない。しかし、 Y 、 Z 及び Z 、 X 間の相関係数が小さくとも、 Z の Y 及び X に対する変動が同程度であれば、 X 、 Y には強い相関が現われると考えられる。すなわち、変量 Z が X 、 Y に見かけの相関を生ずる要因となり、 Z は X 、 Y に対する一種の媒介変量と考えられる。

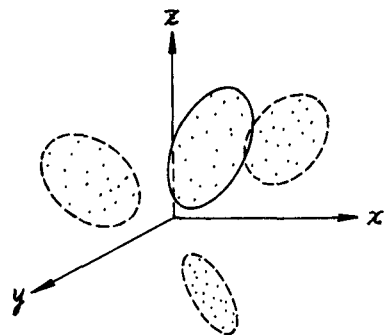


図-1 三次元における分布図と相関

3. 相関係数の計算結果

3.1 試験項目；試験を行なった項目は、一つの岩石試験片につき表-1に示す12項目である。相関係数はこれら12項目をすべて組合せて、66通りの計算を行なった。試験個数は、火成岩101個、堆積岩377個であり、12項目の試験すべてを行なったものに限定した。

3.2 相関係数；得られた66個の相関係数を表-2に示す。元来、密度や含水率等の6項目の物理試験の間には高い相関が予想されるが、表-2に示すように上位は火成岩、堆積岩ともにこれらが占めている。これら以外で比較的相関が高いとされる0.7以上のものには、両者に共通するものとして、一軸圧縮強度 σ_c とP波速度 V_p 及びP波速度 V_p とS波速度 V_s である。相関の有無がしばしば議論される一軸圧縮強度 σ_c と静弾性係数 E との相関は、本報告では堆積岩(0.756)では高く、火成岩(0.256)では低い結果を示している。一方、ポアソン比 ν は、他のどの物性値とも強い相関を示さないことが特徴的である。

4. 考察

ここで、第2節で述べたような観点から、比較的相関の高い物性値間に内在すると思われる第三の媒介変量について検討を加える。例えば、火成岩、堆積岩ともに高い相関を示す σ_c 、 V_p について、まず σ_c と V_p 以外の10項目の変量との相関を求める。同様にして、 V_p と σ_c 以外のそれらとの相関係数を求め、これらの相関係数の中で、その値が等しく、かつ同一変量を互いに共通する組合せがあれば、その共通する変量を媒介変量と考えられる。

このようにして検討した結果を表-3にまとめて示す。同表には火成岩と堆積岩を比較して示してある。

表-3より、一軸圧縮強度 σ_c とP波速度 V_p は火成岩、堆積岩ともに高い相関を示すが、この両変量(σ_c 、 V_p)の間において、密度 ρ が σ_c 及び V_p に対して同程度の変動を示す。また、静ヤング率 E も同様である。しかし、媒介変量としての ρ 、 E の σ_c 及び V_p に

測定項目	湿潤密度	自然密度	乾燥密度	吸水率	含水率	飽和含水率
単位	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%
記号	ρ_w	ρ_n	ρ_d	S_1	S_2	S_3
測定項目	一軸圧縮強度	圧裂引張強度	P波速度	S波速度	静弾性係数	ポアソン比
単位	kg/cm ²	kg/cm ²	m/sec	m/sec	kg/cm ²	—
記号	σ_c	σ_t	V_p	V_s	E	ν

表-1 岩石試験項目一覧表と記号

火成岩				堆積岩			
相関変数	$\sigma_c \cdot V_p$	相関係数	$r=0.717$	相関変数	$\sigma_c \cdot V_p$	相関係数	$r=0.722$
変量	r	変量	r	変量	r	変量	r
$\sigma_c \cdot E$	0.256	$E \cdot V_p$	0.227	$\sigma_c \cdot E$	0.756	$E \cdot V_p$	0.705
$\sigma_c \cdot \rho$	0.553	$\rho \cdot V_p$	0.510	$\sigma_c \cdot \rho$	0.387	$\rho \cdot V_p$	0.319
$E \cdot V_p \quad r=0.227$				$E \cdot V_p \quad r=0.705$			
変量	r	変量	r	変量	r	変量	r
$E \cdot \rho$	0.258	$\rho \cdot V_p$	0.482	$E \cdot \rho$	0.395	$\rho \cdot V_p$	0.319
$\sigma_c \cdot E \quad r=0.256$				$\sigma_c \cdot E \quad r=0.756$			
変量	r	変量	r	変量	r	変量	r
$\sigma_c \cdot \rho$	0.550	$\rho \cdot E$	0.258	$\sigma_c \cdot \rho$	0.387	$\rho \cdot E$	0.395
$\sigma_c \cdot S_3$	-0.474	$S_3 \cdot E$	-0.207	$\sigma_c \cdot S_3$	-0.341	$S_3 \cdot E$	-0.384
$\sigma_c \cdot \sigma_t \quad r=0.656$				$\sigma_c \cdot \sigma_t \quad r=0.708$			
変量	r	変量	r	変量	r	変量	r
$\sigma_c \cdot \rho$	0.387	$\rho \cdot \sigma_t$	0.328	$\sigma_c \cdot \rho$	0.545	$\rho \cdot \sigma_t$	0.485

表-3 各相関における媒介変数

及ぼす相関の強さは岩種によって異なり、火成岩では ρ が、堆積岩では E の影響が大きいことがわかる。同様にして、静ヤング率 E と P 波速度 V_p との相関では、堆積岩では密度 ρ が媒介変数であると考えられるのに対し、火成岩ではこれに相当するものがなく、その結果として火成岩の $E \cdot V_p$ 間の相関は極めて低くなっていると考えられる。

さらに、一軸圧縮強度 σ_c と E との相関では堆積岩において密度 ρ と有効間隙率 S_3 （あるいは吸水率 S_1 ）の両者が媒介変数とみられるが、火成岩では明瞭なものはなく $\sigma_c \cdot E$ の相関も低いことがわかる。一方、一軸圧縮強度 σ_c と圧裂引張強度 σ_t の間の相関係数はともに0.7前後で相当強い相関がみられるが、これらの媒介変数とみられるものは、火成岩、堆積岩ともに密度 ρ である。

5. まとめ

本報告では各物性値間の散分図には触れなかったが、相関の高いものには片対数あるいは両対数において直線とみられるものがあった。元来、相関は両者の因果関係を示すものではないとされ、また相関係数の大きいもののだけが注目される傾向にあるが、相関係数は小さいが互いに等しい値を示す媒介変数的物性値に注目し、相関の内的要因を実験値から検討を加えた。その結果は火成岩、堆積岩ともに密度が各物性値の相関に寄与していることが明らかとなった。また、堆積岩に比べて火成岩に相関の高いものが少ないが、これは火成岩の密度の分布範囲が小さいことが一つの理由であると考えられる。

	火成岩		堆積岩		全岩石	
	物性値	相関係数	物性値	相関係数	物性値	相関係数
1	$\rho_w \cdot \rho_d$	0.966	$\rho_w \cdot \rho_d$	0.992	$\rho_w \cdot \rho_d$	0.986
2	$\rho_w \cdot \rho_n$	0.964	$\rho_w \cdot \rho_n$	0.991	$\rho_w \cdot \rho_n$	0.985
3	$S_1 \cdot S_3$	0.946	$\rho_n \cdot \rho_d$	0.989	$\rho_n \cdot \rho_d$	0.971
4	$\rho_w \cdot \rho_d$	0.929	$\rho_n \cdot \rho_n$	0.981	$S_1 \cdot S_3$	0.951
5	$\rho_d \cdot S_1$	-0.915	$\rho_n \cdot S_3$	-0.945	$\rho_n \cdot S_3$	-0.950
6	$\rho_d \cdot S_3$	-0.900	$\rho_n \cdot S_2$	-0.936	$S_1 \cdot S_2$	-0.930
7	$S_2 \cdot S_3$	-0.885	$\rho_n \cdot S_1$	-0.935	$\rho_d \cdot S_1$	-0.914
8	$V_p \cdot V_s$	0.883	$\rho_n \cdot S_2$	-0.930	$\rho_w \cdot S_3$	-0.902
9	$\rho_w \cdot S_1$	0.839	$\rho_n \cdot S_3$	-0.898	$V_p \cdot V_s$	0.901
10	$S_1 \cdot S_2$	-0.823	$\rho_w \cdot S_2$	-0.889	$S_1 \cdot S_2$	-0.883
11	$\rho_w \cdot S_3$	-0.799	$\rho_d \cdot S_2$	-0.822	$\rho_n \cdot S_3$	-0.881
12	$\rho_n \cdot S_1$	-0.796	$\rho_w \cdot S_3$	-0.817	$\rho_d \cdot S_2$	-0.870
13	$\rho_d \cdot S_2$	-0.767	$S_2 \cdot S_3$	0.768	$\rho_n \cdot \sigma_t$	-0.870
14	$\sigma_c \cdot E$	-0.756	$S_1 \cdot S_2$	0.747	$\rho_w \cdot \sigma_t$	-0.868
15	$\rho_n \cdot S_3$	-0.746	$\rho_n \cdot S_2$	-0.730	$\rho_n \cdot S_1$	-0.853
16	$\sigma_c \cdot V_p$	0.717	$\sigma_c \cdot V_p$	0.722	$\sigma_c \cdot V_p$	0.826
17	$\sigma_c \cdot V_s$	0.711	$V_p \cdot V_s$	0.705	$\rho_w \cdot S_2$	-0.813
18	$\sigma_c \cdot \sigma_t$	0.708	$\sigma_c \cdot V_p$	0.696	$\sigma_c \cdot V_s$	0.813
19	$V_p \cdot E$	0.705	$\sigma_c \cdot \sigma_t$	0.656	$\sigma_c \cdot V_s$	0.795
20	$\sigma_t \cdot V_p$	0.682	$\rho_w \cdot \sigma_t$	0.553	$\sigma_t \cdot V_s$	0.764
21	$\sigma_t \cdot V_s$	0.672	$\rho_n \cdot \sigma_c$	0.550	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.748
22	$V_p \cdot E$	0.659	$\rho_d \cdot \sigma_c$	0.545	$\rho_d \cdot \sigma_t$	0.739
23	$\rho_w \cdot S_2$	-0.660	$\rho_w \cdot V_p$	0.510	$\rho_n \cdot S_2$	-0.737
24	$\sigma_t \cdot E$	0.576	$\sigma_c \cdot V_p$	0.503	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.736
25	$\rho_n \cdot S_2$	-0.496	$\rho_n \cdot V_p$	0.485	$\sigma_c \cdot E$	-0.713
26	$\rho_d \cdot E$	0.419	$\rho_n \cdot V_p$	0.482	$S_1 \cdot \sigma_t$	-0.681
27	$\rho_w \cdot E$	0.413	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.474	$\rho_w \cdot V_p$	0.678
28	$\rho_n \cdot E$	0.395	$S_1 \cdot \sigma_c$	-0.459	$\rho_n \cdot V_s$	0.677
29	$\rho_n \cdot \sigma_c$	0.387	$\sigma_t \cdot V_s$	0.451	$\rho_n \cdot V_p$	0.676
30	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.384	$\rho_n \cdot V_s$	0.449	$V_p \cdot E$	0.676
31	$\rho_d \cdot \sigma_c$	0.384	$S_2 \cdot \sigma_c$	-0.412	$\rho_w \cdot \sigma_t$	0.674
32	$S_3 \cdot E$	-0.384	$\rho_d \cdot V_s$	0.407	$V_s \cdot E$	0.672
33	$S_1 \cdot E$	-0.352	$\rho_n \cdot V_s$	0.403	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.670
34	$S_3 \cdot \sigma_c$	-0.341	$\rho_w \cdot \sigma_t$	0.401	$\rho_n \cdot V_s$	0.670
35	$\rho_n \cdot V_p$	0.328	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.395	$\rho_d \cdot V_p$	0.670
36	$\rho_n \cdot \sigma_t$	0.321	$\rho_d \cdot \sigma_t$	0.387	$\rho_d \cdot V_s$	0.667
37	$\rho_n \cdot V_p$	0.319	$\rho_n \cdot V_p$	-0.384	$\rho_d \cdot \sigma_t$	0.660
38	$S_2 \cdot E$	-0.312	$S_3 \cdot V_p$	-0.370	$\rho_n \cdot E$	0.652
39	$\rho_d \cdot V_p$	0.304	$S_2 \cdot V_p$	-0.364	$\rho_n \cdot E$	0.645
40	$S_1 \cdot \sigma_c$	-0.302	$S_2 \cdot E$	-0.337	$\rho_d \cdot E$	0.640
41	$\rho_w \cdot V_p$	0.298	$S_2 \cdot V_p$	-0.333	$\rho_n \cdot E$	0.630
42	$\rho_d \cdot V_p$	0.293	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.318	$\rho_n \cdot V_p$	-0.619
43	$\rho_w \cdot V_p$	0.289	$S_1 \cdot \sigma_t$	-0.316	$S_2 \cdot \sigma_t$	-0.611
44	$\rho_w \cdot \sigma_t$	0.274	$\rho_n \cdot E$	0.308	$S_3 \cdot V_p$	-0.611
45	$S_3 \cdot V_p$	-0.272	$\rho_d \cdot E$	0.285	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.597
46	$S_3 \cdot V_p$	-0.263	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.272	$S_2 \cdot E$	-0.597
47	$S_1 \cdot V_p$	-0.262	$\rho_n \cdot E$	0.258	$S_2 \cdot E$	-0.560
48	$S_1 \cdot V_p$	-0.254	$\sigma_c \cdot E$	0.256	$S_1 \cdot \sigma_t$	-0.556
49	$\rho_d \cdot \sigma_t$	0.247	$S_3 \cdot V_p$	-0.255	$S_2 \cdot V_s$	-0.538
50	$S_2 \cdot \sigma_c$	-0.240	$S_1 \cdot V_p$	-0.252	$S_2 \cdot V_p$	-0.532
51	$S_1 \cdot \sigma_t$	-0.160	$V_p \cdot E$	0.230	$S_1 \cdot V_p$	-0.529
52	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.159	$V_p \cdot E$	0.227	$S_2 \cdot \sigma_t$	-0.517
53	$\sigma_t \cdot L$	0.159	$S_3 \cdot E$	-0.207	$S_1 \cdot V_s$	-0.513
54	$S_2 \cdot V_p$	-0.150	$S_1 \cdot E$	0.200	$S_1 \cdot E$	-0.501
55	$S_3 \cdot V_p$	-0.136	$\sigma_t \cdot E$	0.168	$S_3 \cdot \sigma_t$	-0.490
56	$S_2 \cdot L$	0.118	$S_3 \cdot L$	-0.128	$V_p \cdot L$	0.061
57	$S_1 \cdot L$	0.073	$S_3 \cdot L$	-0.094	$\sigma_t \cdot L$	0.059
58	$V_p \cdot L$	0.073	$S_1 \cdot L$	-0.091	$V_s \cdot L$	0.048
59	$\sigma_t \cdot L$	0.068	$E \cdot L$	-0.070	$S_3 \cdot L$	0.047
60	$V_p \cdot L$	0.068	$\rho_n \cdot L$	-0.053	$\rho_n \cdot L$	0.029
61	$S_3 \cdot L$	0.066	$V_p \cdot L$	0.044	$S_1 \cdot L$	0.028
62	$E \cdot L$	0.051	$V_s \cdot L$	-0.022	$\sigma_c \cdot L$	0.027
63	$\rho_d \cdot L$	-0.038	$\rho_n \cdot L$	0.020	$E \cdot L$	0.017
64	$\rho_n \cdot L$	-0.022	$\rho_n \cdot L$	-0.011	$\rho_w \cdot L$	0.013
65	$\rho_n \cdot L$	-0.009	$\rho_w \cdot L$	-0.010	$S_3 \cdot L$	0.008
66	$S_2 \cdot \sigma_t$	-0.004	$\sigma_t \cdot L$	-0.005	$\rho_d \cdot L$	0.007

表-2 相関係数の計算結果(火成岩101個、堆積岩377個)