

岩石の圧縮強度と引張強度について

大坂昌春* 本館静吾*

目 次

まえがき

1. 試料および試験法

(1) 試 料

(2) 試 験 法

1) 一軸圧縮試験法

2) 圧裂引張試験法

3) 超音波伝播速度測定

2. 試験結果

(1) 堆 積 岩

(2) 火 成 岩

3. 考 察

ま え が き

従来岩石の圧縮強度に関するデータは、かなり集積されているが、引張強度に関するデータはきわめて少ない。これは、岩石を材料あるいは基礎として取扱ううえに引張強度の意義が圧縮強度に比してうすいとゆうことと、さらに岩石の引張試験が岩石の性質上比較的困難なことによるものである。したがって圧縮強度と引張強度との関係について記載されている報文も少なく、一般的に圧縮強度から引張強度を推定するような方法がとられている。(例えば圧縮強度：引張強度 \approx 10~20:1)しかし、岩盤掘削あるいは岩盤の凍害を取扱ううえには岩石引張強度特性を知る必要があると考えられる。そこでこの報告ではかなり数多くの試料について、圧縮強度と引張強度とを測定し、両者の関係について考察してみた。引張強度の測定には従来 ①単純引張試験と②円柱状の試験片の軸に直角方向から圧縮荷重を加える方法(圧裂試験)の両者が用いられており、これらの方法は試験片の製作が比較的困難な欠点があった。しかし最近この②の圧裂試験をさらに一般化した点載荷圧裂試験法が開発された。この試験は後述のように試験法が非常に簡単であるので、当試験ではこの方法を用いた。当実験の結果から新第三系の比較的軟質な、堆積岩においては、圧縮強度と圧裂引張強度との間にかかなりの相関関係のあることが見いだされた。火成岩においては安山岩についてのみ相関関係が認められた。また脆性度(圧縮強度/

引張強度)は、新第三系の堆積岩と火成岩類がある範囲内(脆性度5~35)におさまることが認められた。上記両試験のほか超音波伝播速度の測定も行った。

当報告をまとめるにあたっては、地質研究室星野室長に終始御指導をお願いし、また実験にあたっては、同研究室、石田富持、松田啓三、内山進、前田明の各技官の御協力を得たことを記して謝意を表すものである。

1. 試料および試験法

(1) 試 料

本実験に使用した試験片は、昭和40~42年度に北海道開発局が施工した道路および道路トンネル工事現場より採取したものである。岩種は堆積岩10種、火成岩8種、計18種類で変成岩類が皆無で岩種的には若干かたよりがある。試料採取個所は、146個所(堆積岩類67個所、火成岩類79個所)で、各個所から3個の試験片を作製して実験を行ない、その平均値をとった(表一4参照)。

(2) 試 験 法

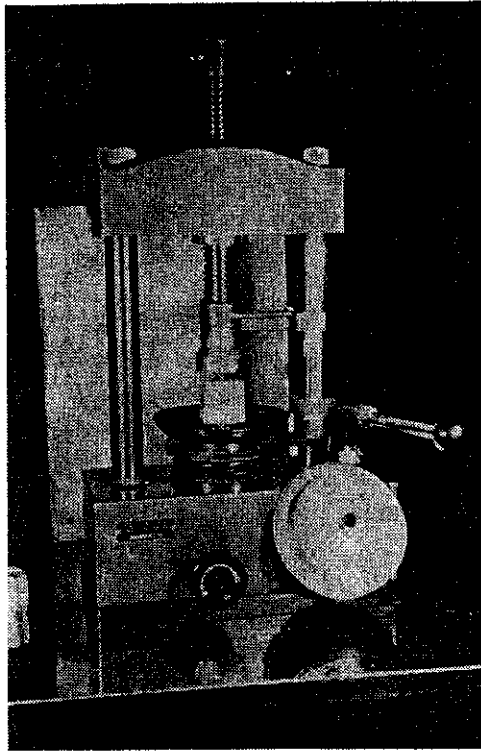
1) 一軸圧縮試験法

供試体の大きさは、5cm立方としダイヤモンドカッターによって整形した。岩石の圧縮強度は、乾燥状態であるか、湿潤状態であるかによって非常に差があるのが一般的であり、また、加圧速度、供試体の寸法、供試体の整形状態(例えば加圧面が平行であるか否か)などによってかなりの異なった値が得られる。当実験では、ダイヤモンドカッターで整形した後、加圧面をカーボランダムで研磨し、その後飽和状態(20℃の水中で72時間吸水せしめる)とした供試体を用いている。加圧速度は1.5 kg/cm²/秒とした。

2) 圧裂引張試験法

岩石の引張試験には、一軸単純引張試験と圧裂引張試験とがあるが、当試験では圧裂引張試験によった。ここに用いた方法は圧縮点載荷を加える方法(試験機は点載荷圧裂引張試験機とよばれている)で供試体は非整形でもよいとされているが、当試験では圧縮試験とまったく同じく5cm立方体とし、飽和状態のものを用いた。試験機および点載荷方法は写真一1に示すようなもので、引

*地質研究室



写真一 圧裂引張試験機による点載荷法
(試験片 5 cm立方体)

張強度は次式によって与えられる。

$$st = \frac{k \cdot F_0}{2\pi a^2}$$

ここにおいて

st : 引張強度

F_0 : 荷重

$2a$: 上下載荷点間の距離

k : 定数

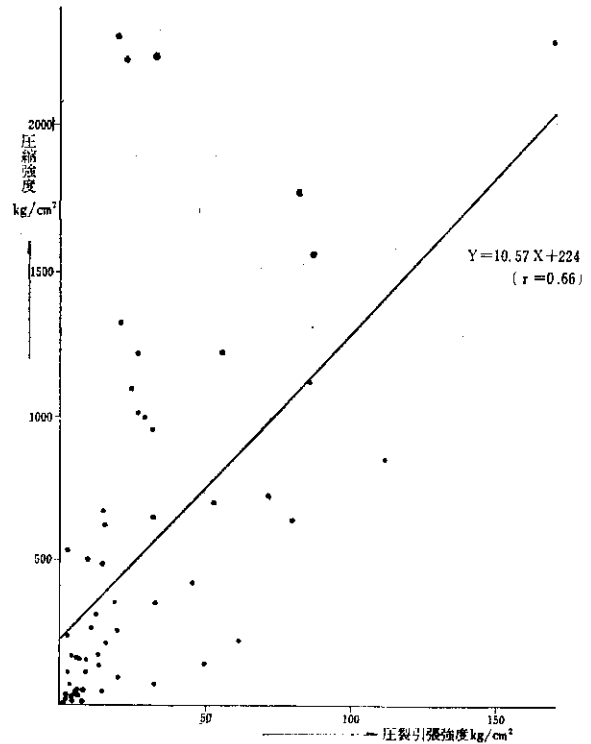
岩石のポアソン数が $m \geq 4$ の場合は $K = 1.4$ である。当試験ではポアソン数を計測することなく、全試料のポアソン数 m が上記の条件にあてはまるものと仮定して計算している。

3) 超音波伝播速度測定

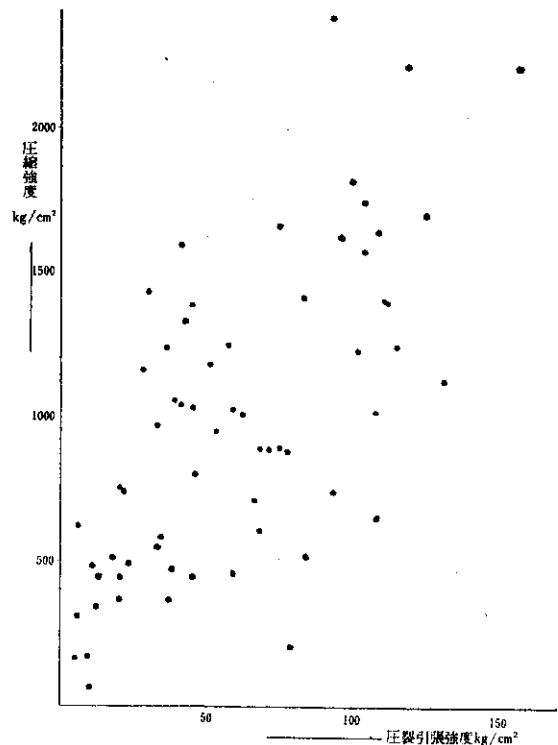
圧縮試験前および圧裂引張試験前に超音波伝播速度を測定し、両試験に用いる供試体において、クラック、その他の損傷の有無を調べ、両試験のための供試体のチェックを行なった。

2. 試験結果

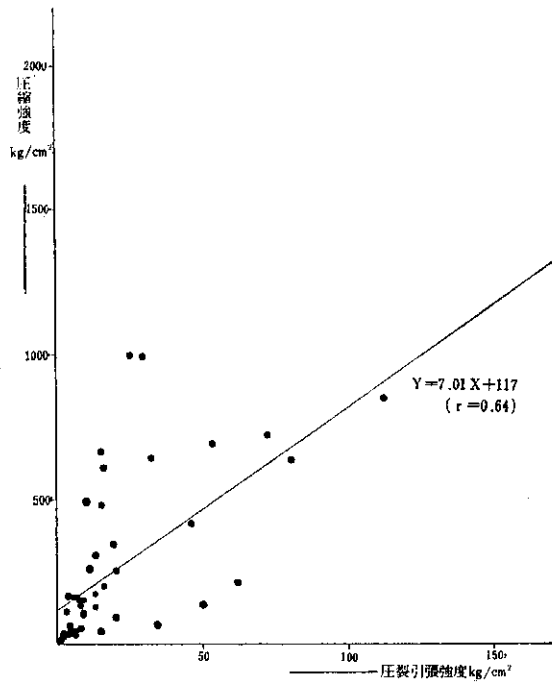
試験結果は、表一4、および図1～7に示すとおりである。図1～7に示してあるように、圧縮強度と引張強度の関係、圧縮強度と超音波伝播速度の関係および圧縮強度と脆性度の関係を求めた。それらをまとめたものが表一1である。以下堆積岩および火成岩について説明する。



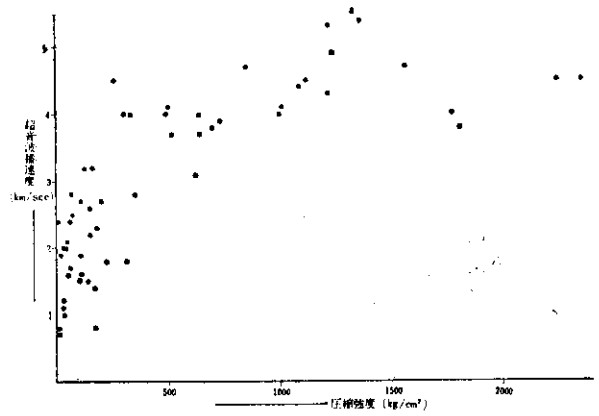
図一 圧縮強度と圧裂引張強度の関係
(堆積岩類)



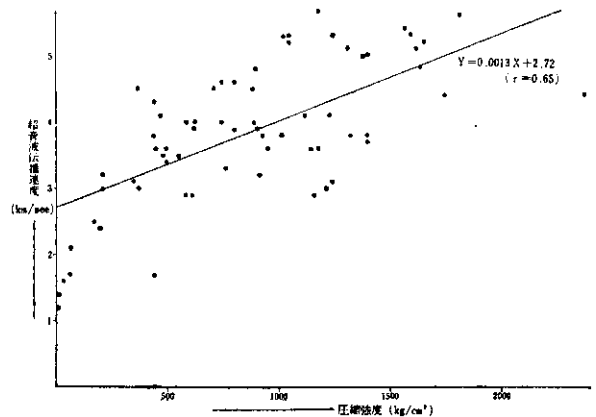
図二 圧縮強度と圧裂引張強度の関係
(火成岩類)



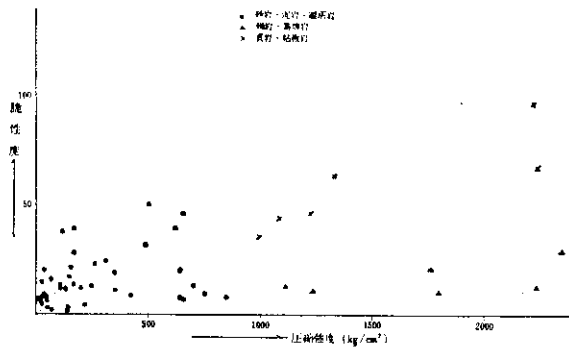
図一三 圧縮強度と圧裂引張強度の関係
(泥岩, 凝灰岩, シルト砂岩類)



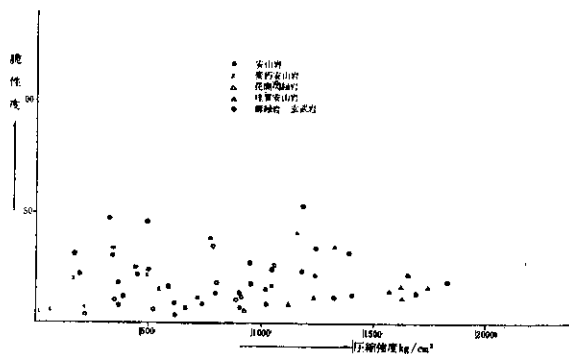
図一六 超音波伝播速度と圧縮強度の関係
(堆積岩類)



図一七 超音波伝播速度と圧縮強度の関係
(火成岩類)



図一四 圧縮強度と脆性度の関係
(堆積岩類)



図一五 圧縮強度と脆性度の関係
(火成岩類)

表一

岩石	圧縮強度と引張強度
堆積岩類	$r=0.66, y=10.57x+224.33$
火成岩類	$r=0.26, y=1.393x+898.0$

圧縮強度と超音波伝播速度	備考
$r=0.77, y=0.0016x+2.096$	57箇所
$r=0.65, y=0.0013x+2.72$	78箇所

(1) 堆積岩

図一四にみるように堆積岩類の試験結果は、非常に大きなバラツキを示し、脆性度では2~90の範囲内に入りその約80%が5~40の範囲内に、10~20の範囲内に入るものはわずかに30%である。しかしこれは点の集合状態から3つのグループに分けられるようである。便宜上これらをA群(○印)、B群(△印)およびC群(×印)として説明しよう。

A群は、図一四のように、圧縮強度900 kg/cm²以下脆性度40以下で57、供試体のうち40がこの枠内に入っている。これらの岩種および地質時代は次のようなもので、岩種的な特徴がうかがえる。すなわち、この枠内にはいる

もののほとんどが、新第三系の砂岩、泥岩、凝灰岩で、固結度は低いが水中で崩壊するようなものではなく肉眼的に見て均質等方な岩石といえそうである。

B群について考察すると、堆積岩ではあるが、礫岩で代表されるいわゆる、か粒状を呈する岩石類である。すなわち角礫岩、角礫凝灰岩、集塊岩、礫砂岩などである。図-4では、圧縮強度 $1,100\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 2,400\text{kg}/\text{cm}^2$ 脆性度 $10 \sim 30$ である。強度は、堆積岩として非常に高い値を示しているが、脆性度は低い範囲に入る。このことは、現場から試料を採取するとき、地盤、すなわちその岩体から大きなブロック（約 $30\text{cm} \sim 40\text{cm}$ 立方体）として採取不可能で、この岩体内に含まれている最も硬質な安山岩

あるいは砂岩などの礫が採取されたものとも考えられ、この値がこれらの岩盤全体を代表するものと考えられることは早計であろう。

C群では頁岩および粘板岩の2種類で地質時代としては中生代および古生代に属する岩石である。試験結果では圧縮強度 $1,000\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 2,300\text{kg}/\text{cm}^2$ 脆性度は $35 \sim 90$ である。

このばらつきの原因として考えられることは、これら岩石のもつ成因的特徴、すなわち層理と試験時における加圧方向とに関係するものと考えられる。つぎに以上述べた堆積岩類の試験結果を岩種別とグループ別にまとめると、表-2のようになる。

表-2 圧縮強度、圧裂引張強度および超音波伝播速度

区分	岩種	圧縮強度 (kg/cm^2)	圧裂引張強度 (kg/cm^2)	超音波伝播速度 (km/sec)	備考
A群	砂岩	10~2,235 (270)	1.80~173.26 (28.1)	0.7~5.5 (2.3)	20個
	泥岩	10~263 (118)	1.50~19.54 (10.4)	0.8~2.3 (1.7)	7個
	角礫凝灰岩	23~1,805 (214)	4.02~178.36 (17.0)	0.8~4.0 (2.6)	12個 凝灰岩を含む
B群	礫岩類	135~2,350 (944)	4.32~85.67 (56.6)	1.4~4.5 (3.0)	集塊岩、角礫岩、 礫砂岩、4個
C群	頁岩	30~2,240 (1,517)	3.79~112.22 (43.8)	1.8~5.0 (4.8)	粘板岩を含む 12個

() 内は平均値を示す。

(2) 火成岩

表-4の試験結果から火成岩類についてまとめたのが図-2、および図-5である。図-5に示されているように圧縮強度は $200\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 1,800\text{kg}/\text{cm}^2$ の範囲に入り、脆性度は、 $5 \sim 35$ の範囲に入っている。これを岩種別に分けてみると、79供試体のうち44が安山岩で一番多く、つぎに変朽安山岩が10供試体、珪質安山岩3、花崗岩4、その他の流紋岩、輝緑岩、玄武岩など18供試体である。また、火成岩類全体としては圧縮強度は非常に広い範囲

内にあるが脆性度は $5 \sim 35$ の範囲にはいっており、全試料中の約80%が、 $5 \sim 25$ の範囲内に入る。また $10 \sim 20$ の範囲内に入るものは約40%である。このように火成岩が堆積岩に比べてばらつきの少ないことは、層理、片理などの一定方向のひびわれが堆積岩、変成岩類に比べて少ないことによるものであろう。

つぎに火成岩類の試験結果を岩種別にまとめてみると表-3のようになる。

表-3 圧縮強度、圧裂引張強度および超音波伝播速度

岩種	圧縮強度 (kg/cm^2)	圧裂引張強度 (kg/cm^2)	超音波伝播速度 (km/sec)	備考
変朽安山岩	10~547 (161)	2.17~34.67 (18.8)	0.8~4.4 (2.35)	10個
安山岩	208~2505 (954)	5.6~194.44 64.9 (67.1)	2.9~5.6 (4.0)	47個
珪質安山岩	1120~1745 (1,365)	101.32~131.28 (112.2)	4.1~4.3 (4.1)	3個
花崗閃緑岩	1160~1635 (1,459)	28.12~109.19 (68.7)	2.9~5.4 (3.4)	5個

() は平均値を示す。

表—4.1 岩石試驗結果(堆積岩類)

	岩 種	超音波 傳播速 度 km/sec	壓縮強 度 kg/cm ²	壓裂引 張強度 kg/cm ²	脆性度
1	砂 岩	2.8	350	19.44	18
2	〃	3.1	615	15.96	39
3	角礫凝灰岩	3.9	725	72.22	10
4	凝灰岩	1.6	113	2.97	38
5	集塊岩	1.4	170	4.32	39
6	角礫凝灰岩	3.8	1,805	178.36	10
7	〃	0.8	170		
8	安山岩質集塊岩	4.0	1,770	82.47	21
9	〃		420	46.08	9
10	凝灰質砂岩		665	14.52	46
11	珪質砂岩		2,235	173.26	13
12	頁 岩		350	33.12	11
13	角礫凝灰岩	2.5	70	33.61	2
14	凝灰質砂岩	0.7	10		
15	凝灰質砂岩	1.7	60		
16	集塊岩	4.1	1,010	27.33	37
17	泥 岩	2.2		19.54	
18	集塊岩	1.5	135		
19	砂 岩	3.5		11.45	
20	頁 岩	3.8	700	53.17	13
21	〃	2.3		11.67	
22	千枚岩質砂岩	2.5		17.16	
23	溶結凝灰岩	1.8	310	12.83	24
24	珪質輝綠凝灰岩	4.9	1,240	115.20	11
25	礫 砂 岩	4.5	2,350	79.88	29
26	頁 岩	1.8	220	62.31	4
27	〃	2.0	30	3.79	8
28	角礫凝灰岩		140	50.40	3
29	頁 岩	4.7	850	112.22	8
30	〃	4.5	2,240	33.44	67
31	〃	5.0	2,220	23.20	96
32	砂 岩	2.3	14	7.56	2
33	泥 岩	1.6	50	15.01	3
34	砂 岩	2.1	50	6.20	8
35	〃	1.9	105	8.93	12
36	泥 岩	2.3	175	13.31	13
37	砂 岩	1.1	30	6.20	5
38	珪質砂岩	4.0	640	79.88	8
39	頁 岩	4.5	255	19.97	13
40	砂 岩	1.6		1.80	
41	凝灰質砂岩	2.0	43	5.36	8

	岩 種	超音波 傳播速 度 km/sec	壓縮強 度 kg/cm ²	壓裂引 張強度 kg/cm ²	脆性度
42	凝灰質砂岩	2.4	57	8.01	7
43	細粒砂岩	4.3	1,222	56.28	22
44	角礫凝灰岩	2.8	70	4.36	16
45	〃	2.7	202	16.17	12
46	〃	2.6	152	9.07	17
47	細粒砂岩	5.5	1,334	21.05	63
48	〃	5.3	1,220	26.78	46
49	頁 岩	4.4	1,093	25.47	43
50	シルト岩	1.2	34	1.69	20
51	溶結凝灰岩	2.2	153	7.40	21
52	角 礫 岩	4.5	1,120	25.67	13
53	角礫凝灰岩	2.7	110	8.54	13
54	〃	3.2	163	5.87	28
55	〃	3.2	132	12.53	11
56	凝 灰 岩	4.0	486	15.25	32
57	頁 岩	4.0	996	28.72	35
58	泥 岩	1.0	25	1.72	15
59	砂 岩	4.0	332		
60	〃	4.1	497	10.03	50
61	頁 岩	4.7	1,561	86.79	18
62	泥 岩	0.8	10	1.50	7
63	〃	2.2	263	11.67	23
64	〃	1.9	188		
65	角礫凝灰岩	1.9	23	4.02	6
66	砂 岩	3.7	644	32.18	20
67	頁 岩	3.7	524		

表—4.2 火 成 岩 類

整理 番号	岩 種	超音波 傳播速 度 (km/sec)	壓縮強 度 (kg/cm ²)	壓裂引 張強度 (kg/cm ²)	脆性度
1	安 山 岩		1,695	124.74	14
2	〃		310	6.43	48
3	〃	3.8	1,400	111.32	13
4	〃	3.1		69.84	
5	變朽安山岩	3.5	547	33.28	16
6	〃	1.7	60		
7	〃	1.4	10		
8	安 山 岩	4.0	585		
9	變朽安山岩	1.2	10		

整理 番号	岩 種	超音波 伝播速 度 (km/sec)	圧縮強 度 (kg/cm ²)	圧引強 度 (kg/cm ²)	脆性度
10	変朽安山岩	2.1	65	10.37	6
11	安山岩	3.8	925	151.92	6
12	花崗岩	2.9	620		
13	〃	3.0	1,215		
14	〃	2.9	1,160	28.12	41
15	安山岩		445	13.28	34
16	〃	4.3	2,505	156.96	16
17	〃	3.8	1,016	107.66	9
18	変朽安山岩	0.8	10	2.17	5
19	〃	3.2	210	34.67	6
20	安山岩	4.5	880	78.17	11
21	流紋岩	2.5	170	5.40	31
22	粗粒玄武岩	3.6	950	53.49	18
23	安山岩	4.1		51.12	
24	〃	3.0	370	19.91	19
25	輝緑岩	4.5	370	46.85	8
26	安山岩	3.6	1,150		
27	〃	3.7	1,400		
28	〃	5.3		60.87	
29	〃	3.6		76.53	
30	珪質安山岩	4.3	1,745	103.61	17
31	〃	4.1	1,120	131.28	9
32	〃	4.1	1,230	101.72	12
33	安山岩		525	83.68	6
34	〃		675	107.84	6
35	〃	3.6	1,180	22.32	53
36	〃	4.0	890	71.47	12
37	〃	2.9	605	68.40	9
38	〃	3.9	900	157.63	6
39	〃	4.2	625	194.44	3
40	花崗岩	4.8	1,635	109.19	15
41	安山岩	4.0	745	93.19	8
42	〃	3.2	1,010	61.91	16
43	変朽安山岩	1.6	30		
44	安山岩	3.4	496	20.29	24
45	流紋岩	2.4	196	9.27	21
46	安山岩	3.8	1,323	111.98	12
47	流紋岩	2.9	587	34.43	17
48	安山岩	3.3	757	20.08	38
49	〃	4.3	2,376	93.36	25
50	変朽安山岩	3.6	496	23.45	21

整理 番号	岩 種	超音波 伝播速 度 (km/sec)	圧縮強 度 (kg/cm ²)	圧引強 度 (kg/cm ²)	脆性度
51	流紋岩	3.5	483	11.03	44
52	安山岩	4.5	713	66.14	11
53	〃	5.0	1,400		
54	〃	5.3	1,593	41.18	39
55	〃	4.6	794	59.66	13
56	〃	3.8	440	17.58	25
57	〃	5.3	1,026	59.25	17
58	〃	4.3	444	19.96	22
59	〃	4.0	622		
60	〃	5.2	1,655	74.69	22
61	〃	5.0	1,384	45.02	31
62	安山岩	5.3	1,245	56.94	22
63	〃	5.2	1,051	39.17	27
64	変朽安山岩	4.4	170	8.56	20
65	輝緑岩	5.2	937	33.10	28
66	〃	5.3	1,042	40.87	25
67	〃	5.7	1,180	51.33	23
68	流紋岩	3.1	1,241	36.18	34
69	花崗閃緑岩	5.1	1,619	95.96	17
70	〃	5.4	1,569	104.30	15
71	〃	5.1	1,313	42.19	31
72	安山岩	3.1	344	11.65	30
73	〃	4.6	742	21.05	35
74	〃	5.6	1,813	99.63	18
75	〃	4.1	471	37.76	12
76	輝緑岩	4.8	894	76.99	12
77	安山岩	3.6	446	44.99	10
78	〃	3.9	800	45.54	18
79	〃	3.0	208	78.21	3

注 空白の部分は試験片なし。

3. 考 察

従来圧縮強度と引張強度の関係、すなわち、脆性度、 $\left(\frac{\text{圧縮強度}}{\text{引張強度}}\right)$ は、ばくぜんと10~20の間にあるといわれており、また、表一5に示すように巾の広い試験結果も得られているが、以上述べた試験結果からつぎのようなことがいえそうである。すなわち、新第三系の泥岩、凝灰岩、シルト砂岩のような比較的固結度の弱い、肉眼的に均質等方な岩石では圧縮強度と引張強度との間にはかなり高い正の相関関係が認められる。また火成岩についてもほぼ均質等方な安山岩についてもかなりよい相関関

係があることが認められる。しかし、固結度の高いいわゆる圧縮強度の強い堆積岩においてはこのような傾向は認められない。また、火成岩においては圧縮強度にばらつきがあるが、脆性度では、5~35(80%は5~25)の範囲に入っており、火成岩類全般については比較的せまい範囲におさまるようである。このような結果から、圧縮強度から引張強度を推定することは、堆積岩においては比較的固結度の弱い岩石においてはある程度の信頼がおけそうであるが、圧縮強度の高い岩石においては、その推定は無理のようである。火成岩では、圧縮強度に大きなばらつきがあるが脆性度はある範囲内(80%が5~25)に入っていることは堆積岩全体と比較して大きな相

違点である。従来いわれているような圧縮強度：引張強度=脆性度=10~20の範囲内に入る個数は火成岩で40%、堆積岩でわずか30%という値が得られた。この試験結果からすると圧縮強度と引張強度の関係は、従来いわれている圧縮強度：引張強度=10~20というような狭い範囲にはおさまらず一般的にはおよそ5~50という広い範囲をもつものであるが、ある種の岩石についてはかなり狭い範囲に入ることが明らかにされた。

最後にすでに述べたように試験片が岩種、地質時代、また地域別など統一されていないうらみもあるので、今後一層これらの試料と試験を集積整理していきたいと考えている。

表-5 種々の岩石の強度 (R.G Wuerkerによる)

岩 石	圧縮強度 Sc(kg/cm ²)	引張強度 st(kg/cm ²)	せん断強度 Ss(kg/cm ²)	Sc/st	備 考
チャート	2,260	69.5	203	32.6	
石 炭	112	21.0	14	5.4	
花崗岩(片磨岩)	1,960	28.7	120	68.3	
ク	2,470	35.0	123	50.6	
ジャスペライト	6,930	77.1	395	90.0	
石 灰 岩	1,500	24.5	93	60.8	
泥 岩	1,750	33.6	119	52.1	
岩 塩	154	6.0	15	25.8	
砂 岩(I)	1,040	16.1	63	64.4	
ク (II)	161	15.2	27	10.6	
頁 岩	365	108.0	100	3.4	
コンクリート	210	24.5	39	8.5	