

グリーンタフ地域の凝灰岩の物性と力学的性質に関する研究

澤 崎 雅 之* ・ 鶴 田 憲 明**
日下部 吉 彦*

Studies on the Physical and Mechanical Properties of Tuffaceous Rocks in Green Tuff Region, Japan

Masayuki SAWAZAKI ・ Noriaki TURUTA
Yosihiko KUSAKABE

Neogene tuffaceous rocks are mined for building stone at many places in Green Tuff region. In this study, uniaxial compression test, diametral compression test, elastic wave test, shore hardness test and physical tests have been carried out to investigate the physical and mechanical properties of the tuffaceous rocks.

The important properties indicated from results of the tests, are as follows.

- (1) Uniaxial compressive strength and axial secant modulus of elasticity of the test pieces immersed with water, considerably lower than that of the desiccated ones.
- (2) Judging from uniaxial compressive strength, axial secant modulus of elasticity and tensile strength, anisotropy is not recognized.
- (3) The brittleness of the tuffaceous rocks are 10 or more than 10.

1. 緒 言

わが国では多種、多様の岩石が建設用石材として利用されている。グリーンタフ地域の凝灰岩もそれらの一つであって、比較的軟質で加工し易いという利点のために、各地で採掘が行われ広範な用途に供されている。

本研究は、図-1に示したように、グリーンタフ地域内の10ヶ所から産出する凝灰岩質石材を対象として、室内実験の結果から、それらの物理的及び力学的特性について検討したものである。

2. 試料及び実験方法

2-1. 試料採取地点

実験に供した試料は、表-1に示した名称で石材市場に流通しているグリーンタフ地域の凝灰岩であって、15cm×15cm×30cmの直方体ブロックに加工されたものを、その産状に関するデータ

*建設工学科 土木工学専攻 **大学院生

とともに業者を通じて入手した。

2-2. 試料の鉱物組成及び物理的性質

各試料の鉱物組成は、鉱物顕微鏡による

観察とX線粉末回折法とにより調べた。

その結果は表-2に示す通りである。

また、物

理的性質

として、

真比重、

みかけ比

重、乾燥

密度、間

隙率、吸

表-1 試料の産出地

石材名	産出地
十和田石	秋田県北秋田郡比内町
院内石	秋田県雄勝郡雄勝町
高島石	山形県東置賜郡高島町
船生石	栃木県塩谷郡塩谷町
大谷石	栃木県宇都宮市大谷町
日華石	石川県小松市観音下町
笏谷石	福井市加茂河原町
別畑石	福井市別畑町
若草石	静岡県田方郡韮山町
荒島石	島根県安来市荒島町

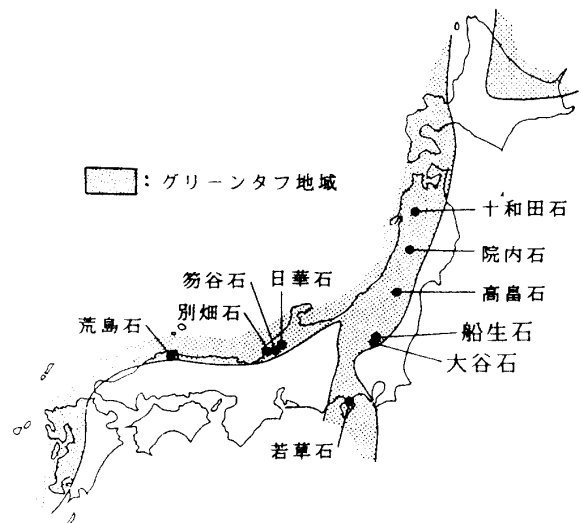


図-1 グリーンタフ地域と試料採取地点

表-2 鉱物顕微鏡及びX線回折により検出される鉱物名など

十和田石	顕微鏡下	石英・斜長石・緑泥石・方解石
	X線回折	石英・斜長石・斜方輝石・モルデン沸石・緑泥石・絹雲母
院内石	顕微鏡下	石英・斜長石・黒雲母・輝石・火山ガラス・火山岩々片
	X線回折	石英・斜長石・モルデン沸石
高島石	顕微鏡下	石英・斜長石・緑泥石・火山ガラス・火山岩々片
	X線回折	石英・斜長石・モルデン沸石
船生石	顕微鏡下	石英・斜長石・火山ガラス・緑泥石・黄鉄鉱
	X線回折	石英・斜長石・緑泥石・絹雲母
大谷石	顕微鏡下	石英・斜長石・絹雲母・黒雲母・火山ガラス・緑泥石・黄鉄鉱
	X線回折	石英・斜長石・
日華石	顕微鏡下	石英・斜長石・火山ガラス（軽石・軽石質繊維状など）
	X線回折	石英・斜長石・斜方輝石・モルデン沸石
笏谷石	顕微鏡下	石英・斜長石・火山岩々片・鉄鉱・緑泥石・セリサイト・粘土鉱物
	X線回折	石英・斜長石・緑泥石・方解石・絹雲母・パイロフィライト・トリディマイト
別畑石	顕微鏡下	石英・斜長石・火山ガラス・火山岩々片
	X線回折	石英・斜長石・モンモリロナイト
若草石	顕微鏡下	石英・斜長石・緑泥石・方解石・方解石化した結晶
	X線回折	石英・斜長石・緑泥石・方解石・絹雲母
荒島石	顕微鏡下	石英・斜長石・黒雲母・火山ガラス（軽石など）
	X線回折	石英・斜長石・

水率、有効間隙率、間隙

指数を求めた。その結果

を表-3に示す。

表-3 試料の物理的性質

	真比重	見かけ比重		乾燥密度 g/cm ³	間隙率 %	吸水率 %	有効間隙率 %	間隙指数
		強制湿潤	強制乾燥					
十和田石	2.65	2.23	2.01	2.01	24.5	10.5	21.1	8.6
院内石	2.45	1.78	1.52	1.49	39.3	17.2	26.0	6.1
高島石	2.55	1.95	1.67	1.64	35.7	16.7	27.9	4.5
船生石	2.64	1.95	1.72	1.74	34.3	13.7	23.6	10.0
大谷石	2.50	1.90	1.53	1.53	38.7	23.6	36.2	11.6
日華石	2.32	1.74	1.32	1.25	45.7	32.0	42.1	20.2
笏谷石	2.70	2.17	1.93	1.95	28.0	12.5	24.1	7.9
別畑石	2.68	2.11	1.79	1.78	33.7	17.8	31.9	10.5
若草石	2.70	2.22	1.97	1.98	26.7	12.9	25.3	6.0
荒島石	2.42	1.73	1.38	1.38	44.1	26.1	35.8	9.0

2-3. 試料の区分・整形

及び保管

前述の直方体試料から、
岩石試料用コア抜機によっ
て直径50mmのコアを切り
出した。その際、原位置で

の鉛直軸方向に切り出した試料をV試料、鉛直軸に垂直な方向に切り出した試料をH試料として

試料採取方向を区別した。切り出したコアは、両端面をその平行度が5/100 mm以下になるまで研磨して、直径50mm、高さ100mmと、直径50mm、高さ50mmとの2種類の円柱試料を作製

した。これら円柱試料は、1ヶ月以上、気乾燥状態においたもの（以下に乾燥試料とする）と、蒸留水中で1週間真空脱気した後そのまま水浸状態においたもの（以下に湿潤試料とする）

表-4 乾燥試料の実験結果

		一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	P波速度 (km/s)	ショアー 硬度 (Hs)	軸方向割線 弾性係数 $\times 10^5$ (kg/cm ²)	含水比 (%)	飽和度 (%)
十和田石	V	520	40.3	2.76	40	1.55		
	H	614	33.7	2.82	44	1.63	0.34	2.7
院内石	V	166	16.9	2.28	33	0.48		
	H	160	17.9	2.30	29	0.47	3.95	15.0
高島石	V	246	25.4	2.90	34	1.12		
	H	250	26.1	2.70	34	0.82	2.37	10.9
船生石	V	308	36.7	2.17	25	0.57		
	H	326	28.8	2.42	25	0.64	0.43	2.2
大谷石	V	136	20.0	1.92	19	0.29		
	H	141	16.6	2.19	18	0.45	3.22	12.8
日華石	V	147	14.9	2.16	21	0.44		
	H	105	12.8	2.17	20	0.33	4.43	12.2
笏谷石	V	308	32.1	2.63	27	0.87		
	H	332	29.0	2.77	25	1.09	0.64	4.1
別畑石	V	212	24.8	2.29	23	0.84		
	H	272	23.8	2.41	22	0.87	3.08	16.3
若草石	V	300	35.2	2.65	28	0.72		
	H	312	24.4	2.84	30	1.16	0.61	4.5
荒島石	V	149	21.2	2.51	16	0.58		
	H	149	20.8	2.58	16	0.45	3.39	10.4

表-5 一軸圧縮強度の変動係数
(%) (乾燥試料)

	V試料	H試料
十和田石	9.5	6.8
院内石	10.0	8.1
高島石	3.2	3.7
船生石	6.8	11.4
大谷石	6.4	6.4
日華石	8.6	3.1
笏谷石	6.3	3.2
別畑石	13.4	7.2
若草石	7.6	6.9
荒島石	7.8	9.1

との二通りに分けて保存し、以下の力学的及び物理的試験の供試体とした。

表-6 湿潤試料の実験結果

		一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	P波速度 (km/s)	軸方向割線 弾性係数 $\times 10^5$ (kg/cm ²)	含水比 (%)	飽和度 (%)
十和田石	V	398	32.2	2.99	0.67		
	H	400	30.9	2.96	0.75	9.8	8.3
院内石	V	121	12.7	2.45	0.24		
	H	126	11.7	2.51	0.28	17.6	7.1
高島石	V	192	14.3	2.80	0.50		
	H	156	16.7	2.87	0.29	22.2	8.9
船生石	V	196	15.4	1.85	0.23		
	H	218	12.2	1.84	0.27	12.6	6.6
大谷石	V	58	6.1	2.17	0.09		
	H	49	3.8	2.22	0.11	22.7	9.4
日華石	V	96	9.8	2.37	0.19		
	H	85	10.0	2.43	0.15	33.6	9.7
笏谷石	V	233	24.6	2.53	0.44		
	H	242	19.4	2.69	0.45	12.4	8.5
別畑石	V	151	14.8	2.73	0.36		
	H	189	15.9	2.83	0.40	18.3	10.0
若草石	V	185	19.2	2.70	0.24		
	H	186	14.1	2.65	0.43	12.3	9.5
荒島石	V	62	4.1	2.26	0.17		
	H	63	4.2	2.25	0.15	24.7	8.4

3. 実験方法及びその結果

力学的及び物理的特性を明らかにするため、上記のように準備された試料について、一軸圧縮試験、引張試験、P波速度測定、硬度試験を以下に述べる方法で実施した。

3-1. 一軸圧縮試験

直径50mm、高さ100mmの円柱試料を用いて乾燥試料（V、及びH試料各12本）と湿潤試料（V、及びH試料各4本）の各々について一軸圧縮試験を実施した。供試体のひず

み測定は、乾燥試料では、既報¹⁾と同様の方法で測定し、湿潤試料では、うず電流式ギャップセンサーを用いて軸ひずみのみを測定した。載荷方法は、軸ひずみ速度0.04mm/minのひずみ制御で実施し、単調載荷形式とした。一軸圧縮強度と軸方向割線弾性係数の平均値、及び試験終了時の供試体の含水比、飽和度の平均値を表-4及び表-6に示す。なお、乾燥試料に対する一軸圧縮強度の変動係数は、表-5に示す通りである。

3-2. 引張試験

直径50mm、高さ50mmの円柱試料を用いて、乾燥試料（V及びH試料各5本）と湿潤試料（V及びH試料各5本）の各々について圧裂引張試験を実施し、引張強度のみを求め、その平均値を表-4及び表-6に示した。載荷方法は、一軸圧縮試験と同様の軸ひずみ速度0.04mm/minのひずみ制御で実施した。

3-3. P波速度測定及び硬度試験

直径50mm、高さ50mmの円柱試料を用いて、P波速度測定及び硬度試験を実施した。P波速度は乾燥試料（V及びH試料各3個）と湿潤試料（V及びH試料各3個）について測定し、平均値を表-4及び表-6に示した。硬度試験はショアー硬度計を用い、乾燥試料（V及びH試料各3個）のみについて実施した。測定は、1個の円柱試料の上下面に対して各々10回測定し、3個の試料の平均値を求め、表-4に示した。

4. 試験結果の考察

4-1. 一軸圧縮強度と物理的性質との相関性

図-2 (a)～(d)は、乾燥状態のV試料について、両対数グラフ紙上に、一軸圧縮強度と物理的特性値との関係をプロットしたものである。図-2 (a)～(d)において、縦軸は一軸圧縮強度横軸はそれぞれ吸水率、有効間隙率、P波速度、ショアー硬度の値になっている。図-2より、一軸圧縮強度の値が大きい試料ほど、吸水率、有効間隙率は小さく、P波速度、ショアー硬度は大きくなっていることがわかる。このような傾向は、H試料、あるいは湿潤試料についても同様であるとともに、従来の研究結果²⁾の範囲内にも入っている。

4-2. 水浸の影響

乾燥状態に比較して湿潤状態では、一軸圧縮強度及び軸方向割線弾性係数がどの程度変化するかを検討した結果を、図-3、図-4に示す。縦軸には、湿潤一軸圧縮強度を乾燥一軸圧縮強度で除した値を、横軸には、湿潤軸方向割線弾性係数を乾燥軸方向割線弾性係数で除した値をとっている。図-3はV試料、図-4はH試料についてのものである。図-3及び図-4より、乾燥試料に比較して湿潤試料では、一軸圧縮強度が、V試料で80～40%、H試料で80～35%、それぞれ減少しており、また、軸方向割線弾性係数が、V試料で50～30%、H試料で60～20%、それぞ

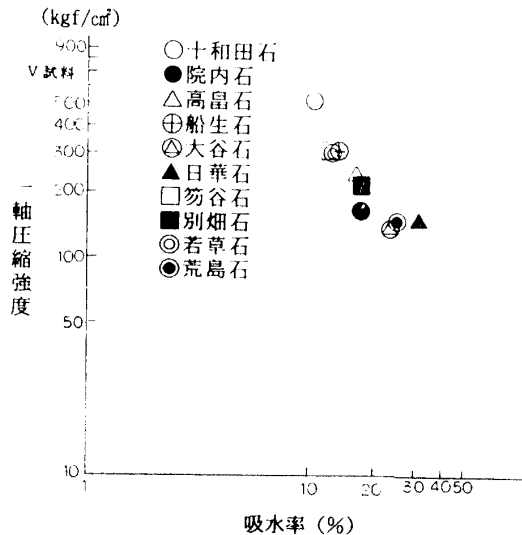


図-2(a) 一軸圧縮強度と吸水率の関係
(乾燥V試料)

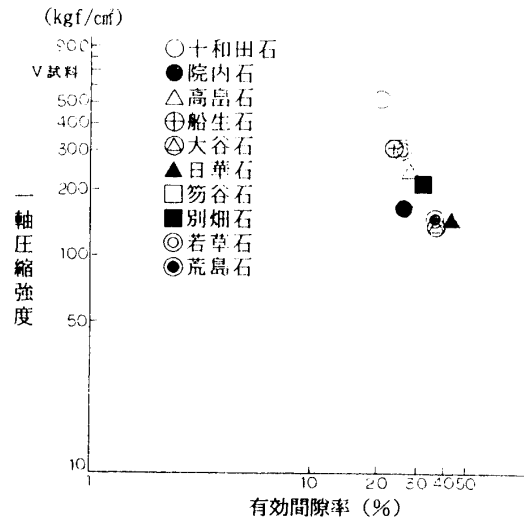


図-2(b) 一軸圧縮強度と有効空隙率の関係
(乾燥V試料)

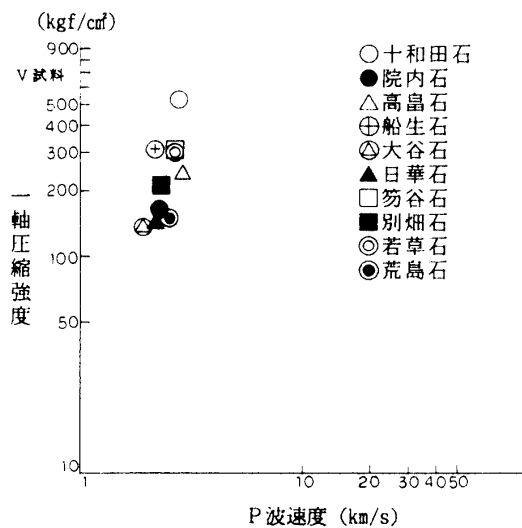


図-2(c) 一軸圧縮強度とP波速度の関係
(乾燥V試料)

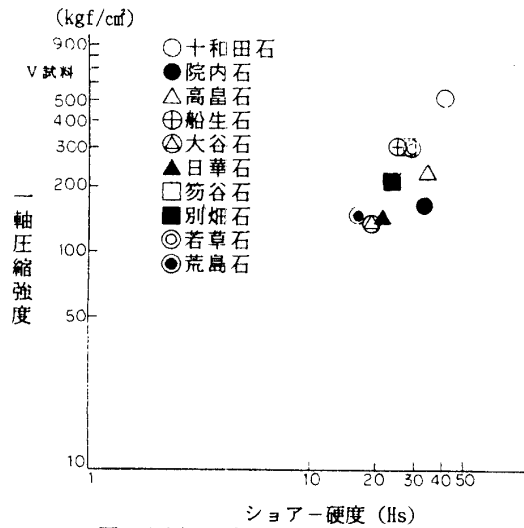


図-2(d) 一軸圧縮強度とショア硬度の関係
(乾燥V試料)

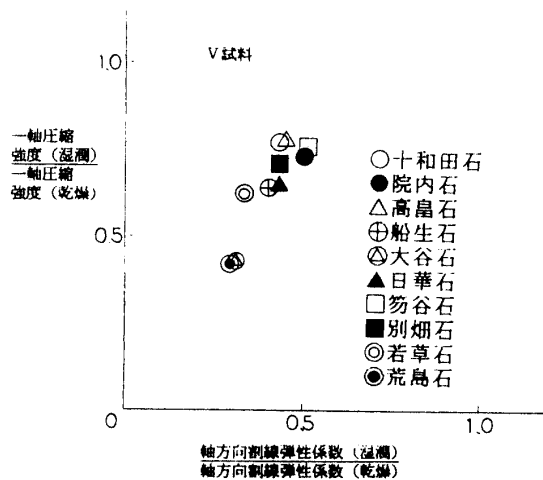


図-3 軸方向割線弾性係数(湿潤試料)
軸方向割線弾性係数(乾燥試料)と
一軸圧縮強度(湿潤試料)
一軸圧縮強度(乾燥試料)との関係

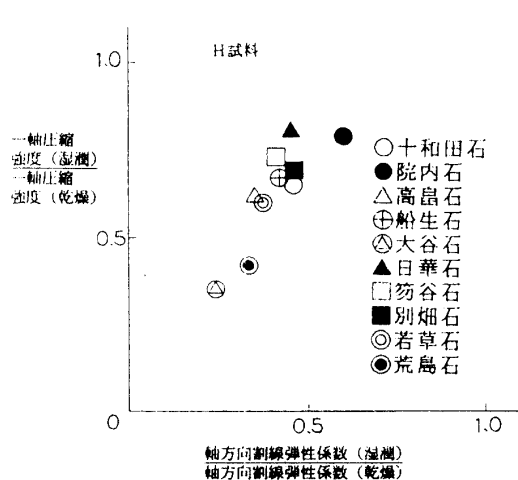


図-4 軸方向割線弾性係数(湿潤試料)
軸方向割線弾性係数(乾燥試料)と
一軸圧縮強度(湿潤試料)
一軸圧縮強度(乾燥試料)との関係

れ減少していることがわかる。このことより、水浸によって、一軸圧縮強度、軸方向割線弾性係数ともに、かなり減少することが明らかになった。

4-3. 異方性及び脆性度

試料の採取方向によって力学的特性値がどのように変化するかを、乾燥試料について示したのが、図-5～7である。図-5は一軸圧縮強度、図-6は軸方向割線弾性係数、図-7は引張強度に関するものである。各図とも、縦軸にはV試料の値を、横軸にはH試料の値をとっている。

図-5～7において、多少のパラッキはあるものの、プロットした各点が45°の傾きをもった直線上、またはその付近に分布していることから、本研究に用いた試料は、一軸圧縮強度、軸方向割線弾性係数、引張強度に関して、著しい異方性を示さないことがわかる。

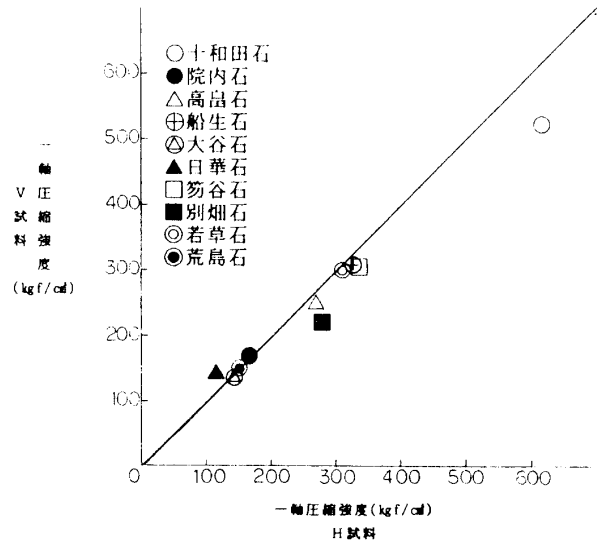


図-5 H試料とV試料に関する一軸圧縮強度の関係 (乾燥試料)

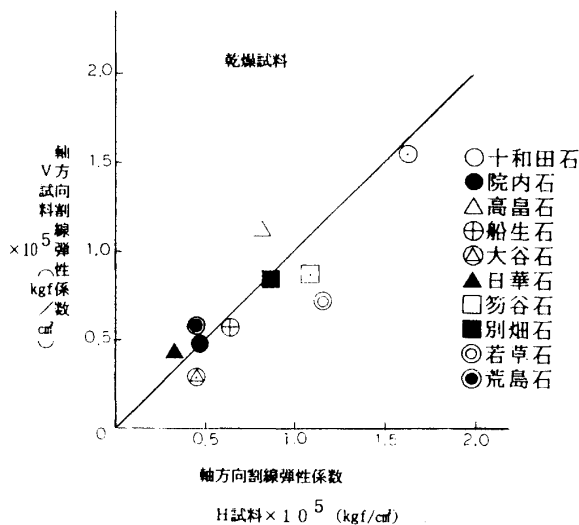


図-6 H試料とV試料に関する軸方向割線弾性係数の関係 (乾燥試料)

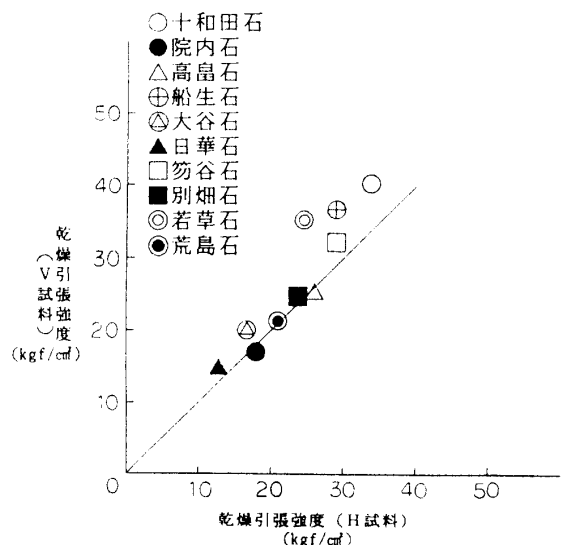


図-7 H試料とV試料に関する引張強度の関係 (乾燥試料)

なお、この傾向は、湿潤試料についても同様であった。

また、図-8は、乾燥状態のV試料について、一軸圧縮強度と引張強度との関係をプロットしたものであるが、各点は傾斜、 $\theta = \tan^{-1} 0.1$ の線上あるいは、それ以下の領域に分布していることがわかる。このことより、これらの凝灰岩試料の脆性度は、約10ないしはそれ以上であることがわかる。この傾向は、H試料あるいは湿潤試料でも同様の結果となっている。

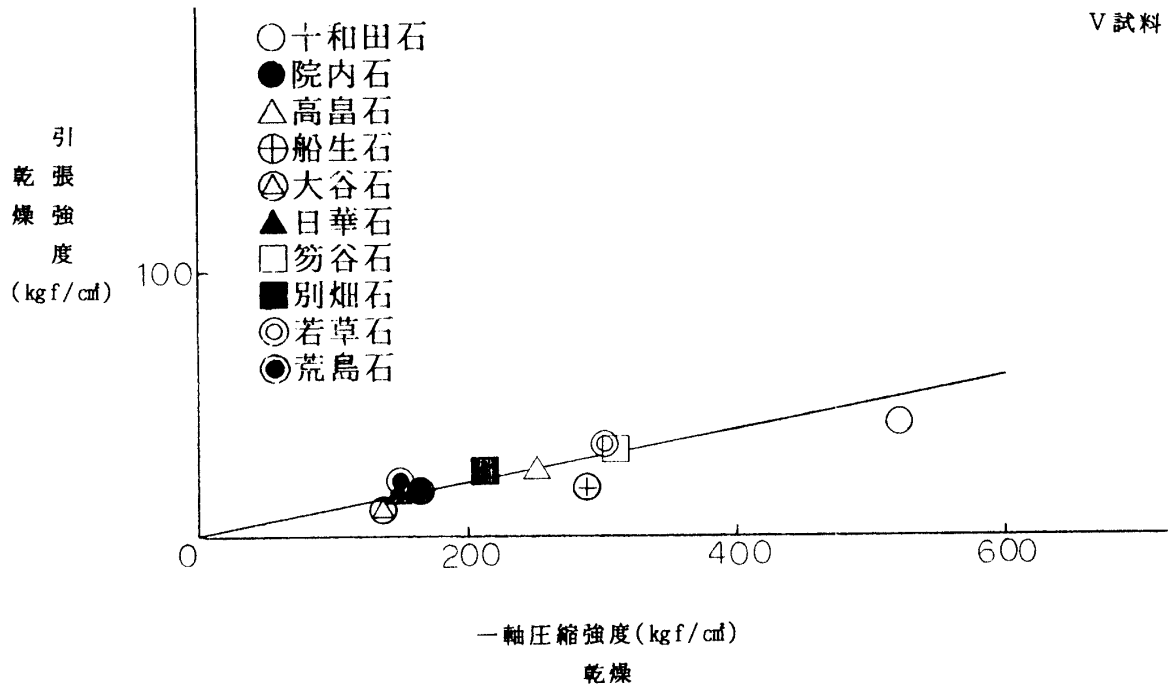


図-8 一軸圧縮強度と引張強度の関係
(乾燥V試料)

5. 結 語

本研究では、グリーンタフ地域の10種類の凝灰岩質石材を対象に、室内実験の結果に基づいてそれらの物理的及び力学的特性について検討したが、得られた成果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 物理的性質と力学的特性との相関性について検討した結果、これらの凝灰岩は、既往の調査結果²⁾の範囲内に位置していることがわかった。
- (2) 水浸によって、一軸圧縮強度及び軸方向割線弾性係数は、かなり低下することがわかった
- (3) 一軸圧縮強度、軸方向割線弾性係数、引張強度に関して、これらの凝灰岩は、著しい異方性は示さない。また、脆性度は約10あるいはそれ以上である。

謝 辞

本研究で用いた試料の採取に際して、各地の石材採掘業者の方々には、なにかと便宜を図っていただいた。ここに記して深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 澤崎雅之, 高橋義彦, 日下部吉彦, 伊藤一郎: 足羽山産凝灰岩(笏谷石)の強度特性に関する研究, 福井工業大学研究紀要, 第22号, pp. 185~192, 1992.
- 2) 桑原啓三: 岩石の圧縮強度と剪断強度による分類の試み, 応用地質特別号, 応用地質学会 pp. 25 ~ 33, 1984.

(平成5年12月13日受理)