

# 琉球大学学術リポジトリ

## 琉球石灰岩の圧縮強度について(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新城, 俊也, 中村, 一幸, Shinjo, Toshiya, Nakamura, Kazuyuki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4338">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4338</a>

# 琉球石灰岩の圧縮強度について\*

新城俊也\*\*・中村一幸\*\*\*

---

Toshiya SHINJO and Kazuyuki NAKAMURA :  
On the compressive strength of Ryukyu limestone

---

## I はじめに

第四紀洪積世に形成された琉球石灰岩は琉球列島に広く分布しており、農地開発、地域開発上この琉球石灰岩を取扱う場合が多い。従来、この岩石はコンクリート用骨材、路盤材料、土木工事用石材などに広く利用されており、その利用に応じての物理的性質についてはいくらか明らかにされている。しかし、その強度特性については未だ明らかでない。琉球石灰岩の強度の評価はそれに含まれる空げきの不均一性、固結度の相違、その他の要素によって困難であるが、ここでは沖縄の各地から採取した琉球石灰岩について一軸圧縮試験を行い、全体としての強度と2、3の物理量との相関性について調べた。

## II 試料および実験方法

### 1. 試料

琉球石灰岩(5)は洪積世のある高海水準期に形成され、その後の海水準低下と地殻変動により現在の地形を形成している。形成時期も大きく3期に区分され、下位より那覇石灰岩、読谷石灰岩、牧港石灰岩に大別されている。

那覇石灰岩と読谷石灰岩はその構成物(サンゴ、有孔虫、石灰藻など)、固結度および岩相の変化などについてはほぼ同じで、両者の区別はつけ難いと言われている(5)。そこで那覇石灰岩と読谷石灰岩は同一グループとみなし、ここでは琉球石灰岩を那覇・読谷石灰岩と牧港石灰岩の2つにグループ分けした。また、比較のため沖縄に産する古生紀石灰岩についても実験を行った。これらの採取地は表1に示してある。

那覇・読谷石灰岩の固結部は肉眼的に密実な状態から小さな空げきを含んだ状態と変化しているが、さらにその空げきの外に堆積中浸透水の溶解作用によって形成された空洞を含んでおり、その形状、大きさ、分布は不均一である。牧港石灰岩は港川産のものでアワ石と呼ばれ、有孔虫砂層より構成され、かなり多孔質で、その空げきの分布は那覇・読谷石灰岩に比べて一様であると見なせる。古生紀石灰岩は沖縄では良質なコンクリート用骨材として使用され、外観はかなり密実で固結しているが、構造上の

---

\* 第44回農業土木学会九州支部講演集(昭和49年10月 p 167~170)

\*\* 琉球大学農学部農業工学科

\*\*\* 梶谷調査工事株式会社(元琉球大学農学部農業工学科)

琉球大学農学部学術報告 22: 269~277 (1975)

弱面を有する場合がある。Fig. 1は破壊状況を示したものであるが、外観の状況の一部がわかる。

## 2. 実験方法

実験供試体の物理諸量はTable 1に示してある。ここに、真比重は岩石を砕いてピクノメーターによって求めた。間げき率は土質の場合と同様間げき比を利用して求めた。また見かけの密度は絶乾状態の値である。那覇・読谷石灰岩の間げき率はかなり巾広い値を示しているが、これらの値は主として溶解作用によって生じた空洞が占めているものと考えられる。また古生紀石灰岩の間げき率はほとんどが1%以下であったが、構造上の弱面を有する供試体は大きな値を示す。

Table 1. Physical characteristics

Rock		Sampling locations in Ryukyu Islands	Specific gravity	Porosity, %	Dry bulk density g/cm <sup>3</sup>
Ryukyu limestone	Naha-Yomitan limestone	Motobu Onna Yomitan Itoman Katuren Misato Miyako Ishigaki	2.67-2.78	2.5-30.4	1.89-2.56
	Makiminato limestone	Gushikami	2.72	32.1-40.1	1.68-1.85
Motobu limestone *		Motobu	2.71	0.33-4.97	2.36-2.70

\* formed in the Paleozoic

採取した試料のうち那覇・読谷石灰岩の本部と恩納産の試料はボーリングコアサンプルで、他の試料は各地の採石場からの岩塊である。

供試体はコアサンプルおよび岩塊からコアドリルとカッターを用いて直径50mm、高さ100~120mmの円柱形に成形したものである。

成形した供試体は一週間以上室内で風乾した後圧縮試験を行ったが、牧港石灰岩については風乾状態と一週間以上水浸した状態について圧縮試験を行った。

使用した圧縮試験機は那覇・読谷石灰岩と古生紀石灰岩に対して容量100tの手動油圧式圧縮試験機、牧港石灰岩に対して容量10tの電動圧縮試験機である。載荷方法は前者に対して一段階5~10%の応力制御、後者に対して0.02 mm/minの変位制御である。また、那覇・読谷石灰岩および古生紀石灰岩について各地からの1~2個の供試体に載荷軸方向とそれに直角な円周方向にひずみゲージ(20mm)を接着、ひずみを測定して体積変化およびポアソン比を算出した。その際、特に那覇・読谷石灰岩は空洞のない供試体表面を選んでひずみゲージを接着している。牧港石灰岩に対しては供試体表面にひずみゲージの接着が不可能であつたので、荷重変換器と変位計(LVDT)を界してX-Yレコーダに荷重~変位関係を自記させた。なお、加圧板と供試体端面の摩擦を取り除くため、供試体の上下端面にシリコンオイルを塗った薄いビニールシートを挿入した。

### Ⅲ 実験結果と考察

強度試験を行った供試体の数は那覇・読谷石灰岩74個、牧港石灰岩11個、古生紀石灰岩14個で、その結果はかなりのバラツキを示した。すなわち圧縮強度は那覇・読谷石灰岩に対し60～580%、牧港石灰岩に対し50～130%、古生紀石灰岩に対し220～970%であった。

#### 1. 応力～ひずみ関係

那覇・読谷石灰岩、古生紀石灰岩および牧港石灰岩の破壊状況をFig. 1に示した。破壊の形式は那覇・読谷石灰岩、古生紀石灰岩とも分離破壊で、ぜい性を示すことがわかる。また、この破壊状況より圧縮試験の際の加圧板と供試体端面の摩擦はかなり取り除かれているものと考えられる。牧港石灰岩はせん断破壊の形式を示した。

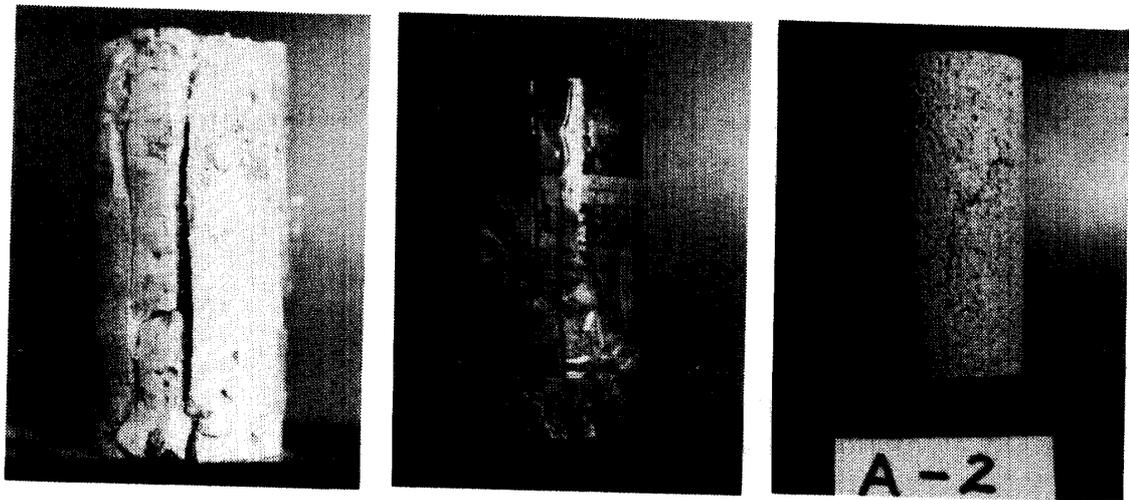


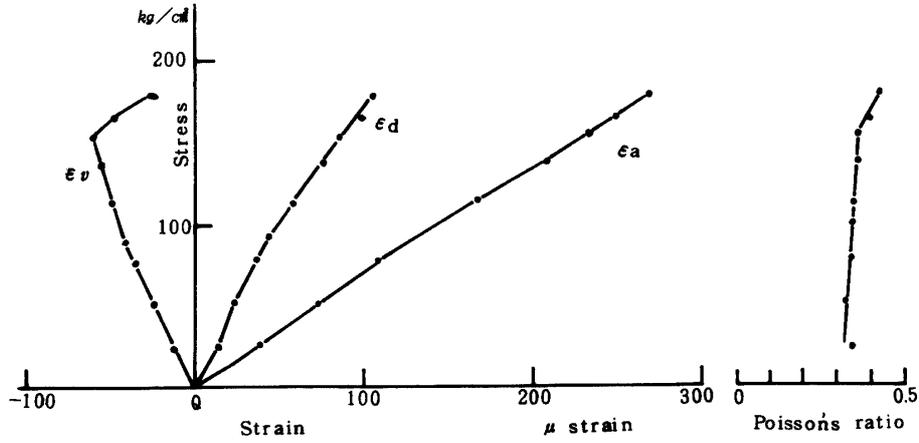
Fig. 1. Rupture mode

- (a) Naha-Yomitan limestone
- (b) Motobu limestone
- (c) Makiminato limestone

Fig. 2, Fig. 3はそれぞれ那覇・読谷石灰岩および古生紀石灰岩の応力～ひずみ関係の一例を示している。ここで軸ひずみ  $\epsilon_a$  は圧縮、側方ひずみ  $\epsilon_d$  は伸びで、体積ひずみ  $\epsilon_v$  は

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V}{V} = \epsilon_a + 2\epsilon_d \quad (1)$$

より求め、図では体積が減少することを示している。またポアソン比も応力に対して同時に示してある。応力～ひずみ関係は那覇・読谷石灰岩および古生紀石灰岩とも類似しており、両者とも応力～ひずみ曲線は塑性一弾性、または塑性一弾性一塑性の形式であった。体積変化は応力増加とともに減少し、その後増加する傾向にある。ポアソン比は応力の増加に伴わずかに増大するか、ほぼ一定値を示す。しかし、体積変化が減少から増加へ変る応力レベルでポアソン比は急に増加する傾向にある。以上のことは他の供試体についても同様な傾向を示したが、実験において側方ひずみの測定は体積変化が増加し始めるところまでしか行えない場合が多かった。これは分離破壊に伴い載荷軸方向に破壊面が生じ、ひずみゲージを破損したためである。

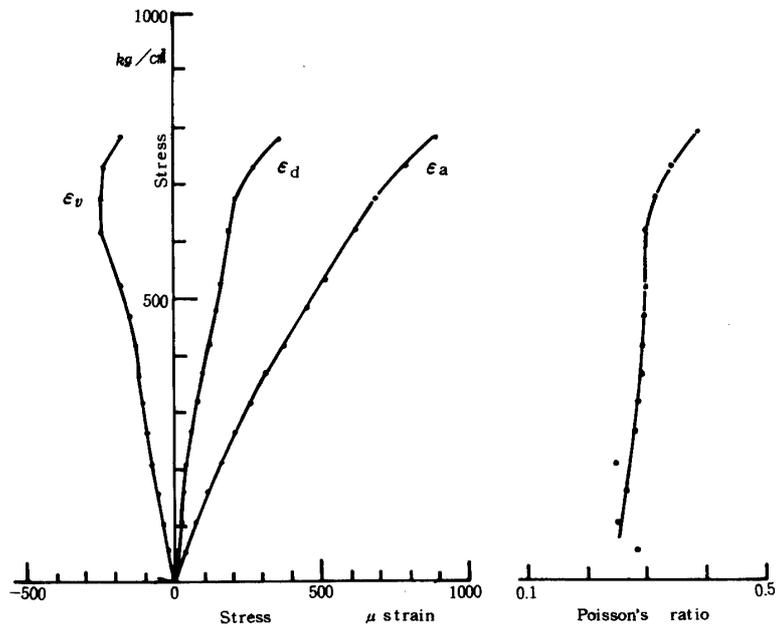


**Fig. 2. Typical stress-strain curves for Naha-Yomitan limestone**

$\epsilon_a$  : axial strain

$\epsilon_d$  : diametric strain

$\epsilon_v$  : volumetric strain



**Fig. 3. Typical stress-strain curves for Motobu limestone**

$\epsilon_a$  : axial strain

$\epsilon_d$  : diametric strain

$\epsilon_v$  : volumetric strain

Bieniawski (1) は組合せ圧縮応力を受ける岩質材料のぜい性破壊の進行過程として応力増加に伴い、クラック閉そく—き裂発生—安定した破壊伝搬—限界エネルギーの解放—不安定な破壊伝搬—強度破壊の順をたどるとしている。体積変化が減少から増加へ変る点が不安定な破壊伝搬の始まりに相当する。実験結果も同様な破壊伝搬過程をたどるものと思われる。また、一軸圧縮では体積変化が減少から増加へ変ると、不安定な破壊伝搬が急速に伝わり破壊する場合が多いことを意味するものであろう。なお、これらの岩石が弾性的に挙動するのは体積変化が減少から増加へ変る手前までであろう。

Fig. 4 は牧港石灰岩に対する応力～ひずみ関係の例である。那覇・読谷石灰岩に比べて破壊ひずみはかなり大きい。初期応力段階におけるひずみの増大はこの岩を構成している有孔虫砂の接触面における空げきの閉そくによるものと思われる。

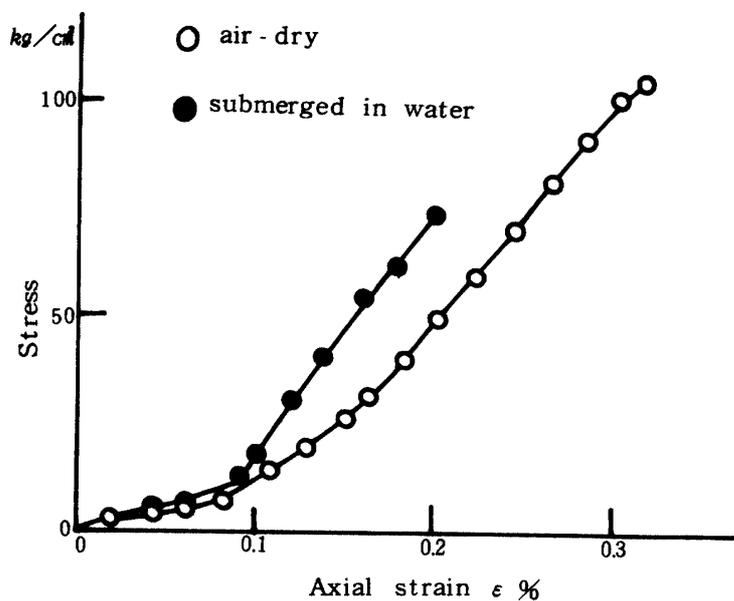


Fig. 4. Typical stress-strain curves for Makiminato limestone

## 2. 圧縮強度と物理諸量との関係

岩石の強度は不均質、異方性、固結度、風化度などの要因によってバラツクものである。実験に供した石灰岩もバラツキを示し、かつその範囲もかなり大きい。ここでは圧縮強度と2、3の物理量との相関性について述べる。

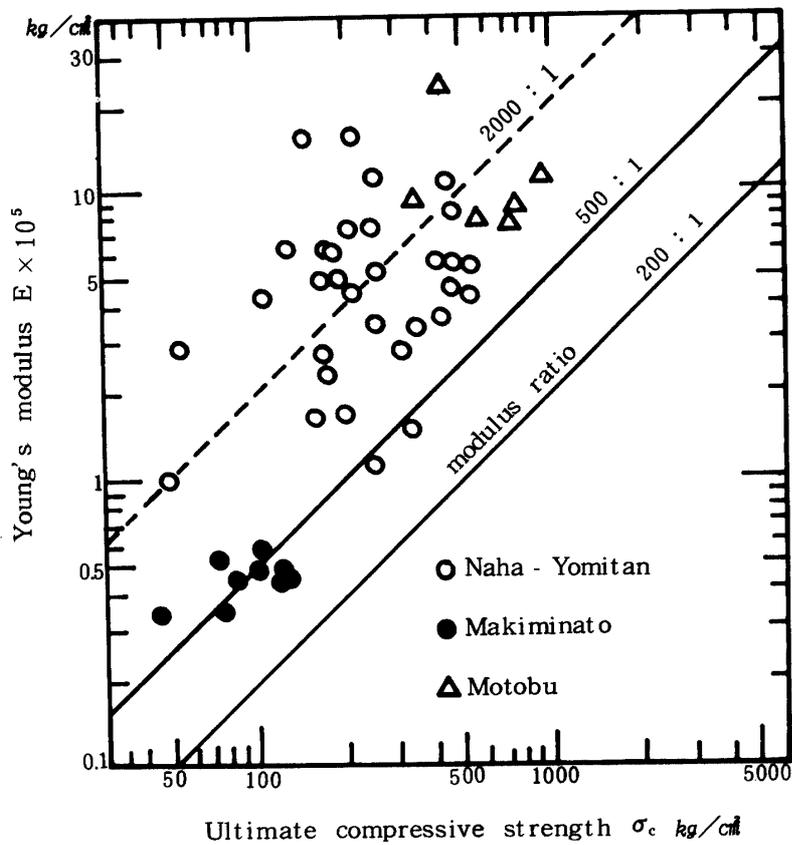
Deer and Miller (2) は横軸に一軸圧縮強度、縦軸に静弾性係数を両対数で示し、弾性係数と強度の比、すなわち modulus ratio と圧縮強度でもって岩石の工学的分類を行っている。ここに弾性係数は応力～ひずみ関係において、強度の1/2点における接線勾配として求めたものである。Fig. 5 は実験から得られた弾性係数と圧縮強度をDeer and Millerによる工学的分類図にプロットしたものである。これによると那覇・読谷石灰岩はバラツキがあるが modulus ratio 2000 : 1の線上に分布している。古生紀石灰岩は弾性係数、圧縮強度ともに那覇・読谷石灰岩よりいくらか大きいようである。牧港石灰岩は弾性係数  $5 \times 10^4$ 、圧縮強度 100 を中心に modulus ratio 500 : 1の線上にある。バラツキを伴うが、弾性係数  $E$  と圧縮強度  $\sigma_c$  と間には近似的に次式が成立する。

那覇・読谷石灰岩

$$E = 2000 \sigma_c \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2)$$

牧港石灰岩

$$E = 500 \sigma_c \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$



**Fig. 5. Engineering classification for Ryukyu limestone**  
 **$E = \text{tangent modulus at } 50\% \text{ ultimate strength}$**

Fig. 6 は那覇・読谷石灰岩と古生紀石灰岩に対するポアソン比と圧縮強度の関係を示したものである。ここにポアソン比は圧縮強度½点における値を用いている。すなわち弾性係数を定めたときと同じ応力レベルにおけるポアソン比である。これによるとポアソン比は強度に関係なく、平均0.25の値を示している。

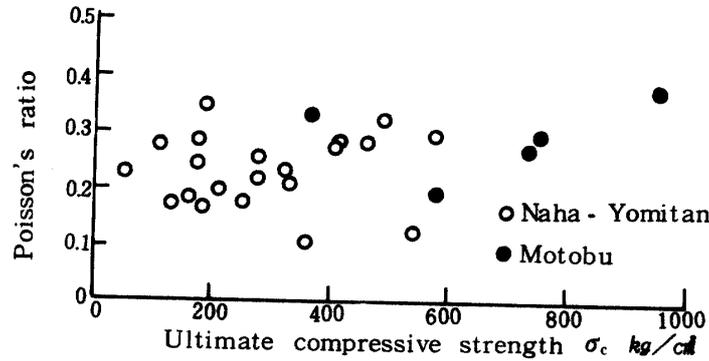


Fig. 6. Relationship between Poisson's ratio and compressive strength

Fig. 7 は間げき率と圧縮強度の関係を示したものである。琉球石灰岩は固結具合によっても強度は変化すると考えられるが、那覇・読谷石灰岩と牧港石灰岩の各々に対して間げき率の増加に伴い圧縮強度は急激に低下する傾向にあり、間げき率と圧縮強度との間にはある程度相関性があるようである。牧港石灰岩の空げきの分布は一様であると考えられる。しかし、那覇・読谷石灰岩は大きさ、形状、分布不均一な溶解作用による空洞を有し、その空洞周辺への応力集中を伴って間げき率の増加による著しい強度低下をもたらすものであろう。また、古生紀石灰岩の強度低下は間げき率の増加によってもたらされるのではなく、主にひび割れなどの岩石の構造上の弱面が原因となって強度はバラツクものであろう。なお、那覇・読谷石灰岩に対して圧縮強度  $\sigma_c$  と間げき率  $n$  との関係は次式で示されるようである。

$$\sigma_c = A \exp(-Bn) \tag{4}$$

ここにA, B は定数で、本実験の那覇・読谷石灰岩に対しておよそ  $A = 800$ ,  $B = 0.08$  であった。

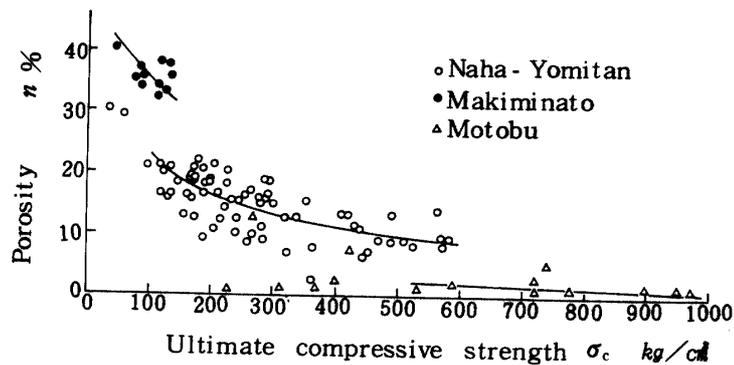


Fig. 7. Relationship between porosity and compressive strength

Fig. 8 は間げき率の代わりに乾燥密度（見かけ比重）と強度の関係を示したもので、Fig. 7 と同様な傾向を示している。また、この図には産地を異にする多くの石灰岩について得られた圧縮強度と見かけ密度との関係（3）も比較するため示してある。牧港石灰岩はほぼ一致しているが、那覇・読谷石灰岩はかなり異っている。すなわち、見かけ密度が大であるにもかかわらず、強度は増加しない。両者の差は不均一に分布している空洞に原因するものと考えられよう。

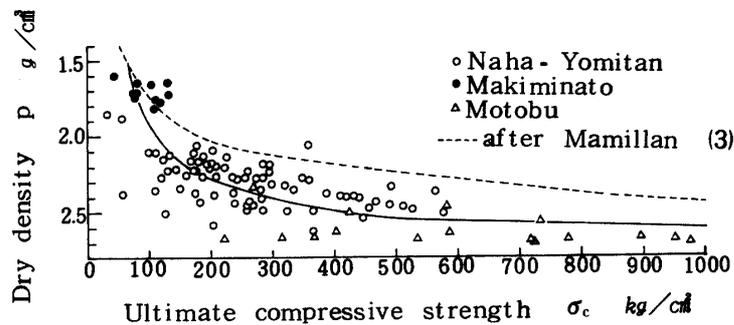


Fig. 8. Relationship between dry density and compressive strength

本実験において岩石の間げき率（見かけの密度）は空洞を含めた量で表わしているが、今後、空洞の量（大きさ、分布など）を音響的方法など他の手段で全間げき率から分離し、強度と関連づける必要があろう。

### 3. 強度におよぼす水分の影響

岩石に含まれる水は強度に影響を及ぼす。岩石中の空げきに含まれる水は圧縮によって空げきが減少すると、クサビのような作用をして粒子の表面エネルギーに影響し、粒子の結合力を弱めると言われている(4)。Fig. 9は牧港石灰岩についての風乾状態と水浸状態の強度の違いを示したものである。これによると間げき率の増加に伴い強度が低下し、さらに風乾状態より水浸状態の強度は小さく、強度は水分の影響を受けることがわかる。強度の差は同じ間げき率に対して平均40%である。那覇・読谷石灰岩については実験に供した供試体とほぼ同一地から採取した水浸供試体の強度試験結果(6)と比較したが、その差はバラツキの範囲内であった。

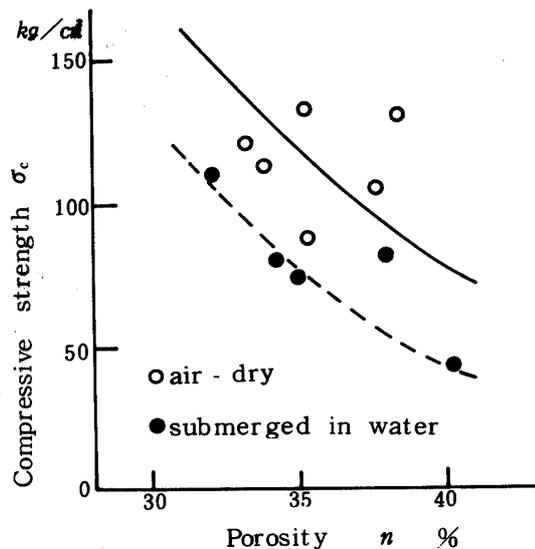


Fig. 9. Influence of water on compressive strength for Makiminato limestone

## IV ま と め

沖縄各地から採取した琉球石灰岩を地質学的に那覇・読谷石灰岩と牧港石灰岩との2つのグループに分け、全体としての圧縮強度と2、3の物理量との関係について調べた。

弾性係数と強度の比は近似的に那覇・読谷石灰岩に対して2000：1、牧港石灰岩に対して500：1である。間げき率の増加に伴い圧縮強度は減少するが、那覇・読谷石灰岩についての著しい強度低下は堆積中に浸透水の溶解作用によって形成された空洞によるものと推定される。ポアソン比は圧縮強度に関係なく平均0.25であった。

終りに、本実験を行うに当り実験に協力して頂いた琉球大学農学部卒業生石垣喜宏（沖縄県庁土木部材料試験所）、古波蔵朝盛（具志川市役所）両君に感謝の意を表す。

## 引 用 文 献

1. Bieniawski, Z. T. 1967 Mechanism of brittle fracture of rock, Part 11: Experimental studies, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 4: 407~423
2. たとえば Deere, D. U. 1968 Rock mechanics in engineering practice, ed. by Stagg and Zienkiwicz, p4~12, John Wiley and Sons
3. たとえば土木学会編 1966 土木技術者のための岩盤力学、p 62、土木学会
4. 土質工学会編 1974 岩の工学的性質と設計施工への応用、p 117、土質工学会
5. 古川博恭 1973 沖縄の地質、農業土木の機械化、7(3): 17~19
6. 沖縄開発庁開発建設部港湾計画課 1974 那覇港、平良港、石垣港、石材・骨材の物理工学的特性調査報告書

## Summary

This paper deals with the relationships between ultimate compressive strength and some physical characteristics of Ryukyu limestone from Okinawa, Ryukyu Islands, for engineering purposes. Ryukyu limestone, which is coral limestone formed and raised in the Pleistocene, is divided into two groups for convenience, namely, Naha-Yomitan limestone and Makiminato limestone. On the other hand the strength characteristics of Motobu limestone which is formed in the Paleozoic are compared with those of Ryukyu limestone.

The ratio of Young's modulus to the ultimate compressive strength, the modulus ratio, is 2000:1 for Naha-Yomitan limestone and 500:1 for Makiminato approximately. The compressive strength has tendency to decrease with increasing porosity. Especially for Naha-Yomitan limestone a remarkable decreasing compressive strength is considered to be the result of solution cavities contained in specimens. The value of Poisson's ratio is about 0.25 for Naha-Yomitan limestone.