

6 琉球石灰岩地盤データベース作成活動に関する調査研究（その3）

—琉球石灰岩固結部の圧縮強度と単位体積重量，超音波伝播速度，動弾性係数について—

上原地盤工学研究所・琉球石灰岩分科会

○安谷屋 賢

新城 俊也 真栄田 義安

武田 雅人 間 弘昭

日吉 智 大内 正敏

金城 正幸 宮城 敏明

1. はじめに

琉球層群は、第四紀更新世のサンゴ堆積物であり琉球列島特有の地盤である。その構成は、琉球石灰岩と砂礫や泥状等の堆積物である。琉球石灰岩は固結部と砂礫部からなり、陸水の影響により空洞が発達するなど、工学的な問題が多くその取り扱いが非常に難しい地層となっている。これまで琉球層群に関する地質学的研究は多く行われてきているが、地盤工学的には地盤の複雑さから信頼性ある評価が確立されておらず、地盤工学的な特性把握や地盤区分等は未だ明確にされていない。

このようなことから本分科会の研究は、琉球石灰岩の実態を理解し、構造物の基礎やのり面の安定、その他の土木工学的な取り扱いに関する課題を明らかにすることを目的とし、データベース作り等を行っている。本分科会の既往の研究発表¹⁾²⁾では、「岩状部の圧縮強度特性」に関する地域性や単位体積重量との相関性について、また琉球石灰岩砂礫部におけるN値と変形係数の相関関係について述べた。本文では、新たに収集・整理したデータベース分析から琉球石灰岩固結部における圧縮強度と単位体積重量及び地域特性の関係、圧縮強度と超音波伝播速度の関係、さらに圧縮強度と動弾性係数の関係について報告する。



図-1 データ収集地域とデータ数

2. データ収集及び整理

琉球層群が分布する地域（沖縄本島，久米島，宮古島，多良間島，波照間島，南北大東島）で得られたボーリングデータを主体に，原位置試

表-1 琉球石灰岩の地盤特性データベースの一例

NO	① 整理番号	② 地域区分	③ 層厚	④ 深度	⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ コア分類						⑫ f g h i j k 岩石試験							備考		
					EL	GL	硬軟	粗密	割目状態	コア形状	RQD		N 値	湿潤密度	P波速度	一軸圧縮試験				
											n=5 %	n=10 %				圧縮強さ	ひずみ		変形係数	引張強さ
					単位	m	m	m					回	g/cm ³	m/sec	kgf/cm ²	%		kgf/cm ²	kgf/cm ²
1	44-4-001	NA-1	>24.0	1.7	13		1	α	a	100	90	-	2.62		715.5					
2	44-4-002	NA-1	>24.0	8	6.3		1	α	a	95	90	-	2.59		666.5					
3	44-4-003	NA-1	>26.0	3.5	12		1	α	a	100	90	-	2.62		952.5					
4	44-4-004	NA-1	>26.0	-9.4	25		1	α	a	100	75	-	2.52		813					
5	44-4-005	NA-1	>13.0	6.1	10		1	α	a	90	85	-	2.54		541					
6	47-4-006	GB-4	>9.4	54.5	2.5		2	α	a, b	80	55	-	2.149		133.1					

験及び室内試験で得られたデータ(623件)を収集した。

柱状図及びコア写真より、岩状固結部(380件)と砂礫状部(243件)に大区分し、表-1のように項目別に分類を行った。本文では岩状固結部データのみを扱うものとし、図-1には一軸圧縮強度、超音波伝播速度、動弾性係数を集めた地域とデータ数を示す。

3. 分析結果及び考察

3-1. 一軸圧縮強度と単位体積重量の関係及び地域特性

既往の研究¹⁾で琉球石灰岩の岩状固結部の一軸圧縮強度と単位体積重量の関係は、比較的高

い相関関係(相関係数 $R^2=0.7775$)となっている。また圧縮強度は地域によって異なることも述べているが、その地域別に一軸圧縮強度と単位体積重量との関連性については述べていない。表-2は地域別相関係数とデータ数を示す。図-2は地域別にプロットした一軸圧縮強度 q_u

表-2 地域別相関係数とデータ数

No.	地域	相関係数 R^2	データ数
a	本島地区	0.0115	27
b	宮古島	0.468	83
c	久米島	0.9715	11
d	多良間島	0.7345	26
e	波照間島	0.5526	60
f	南北大東島	0.3478	31
	全体	0.6553	251

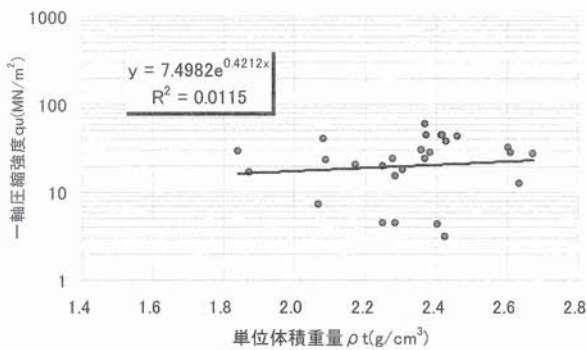


図-2(a) 単位体積重量と一軸圧縮強度[本島地区27個]

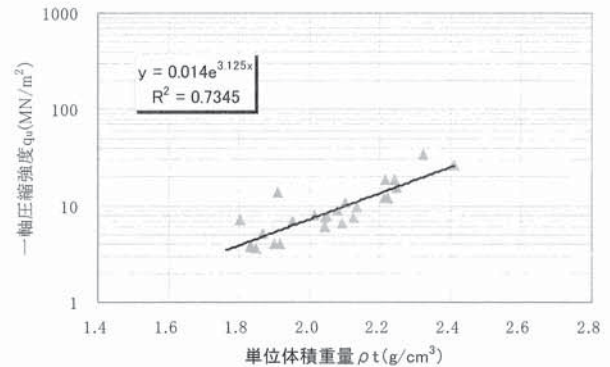


図-2(d) 単位体積重量と一軸圧縮強度[多良間島26個]

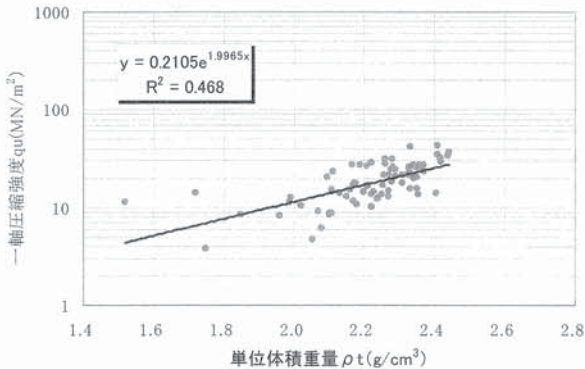


図-2(b) 単位体積重量と一軸圧縮強度[宮古地区83個]

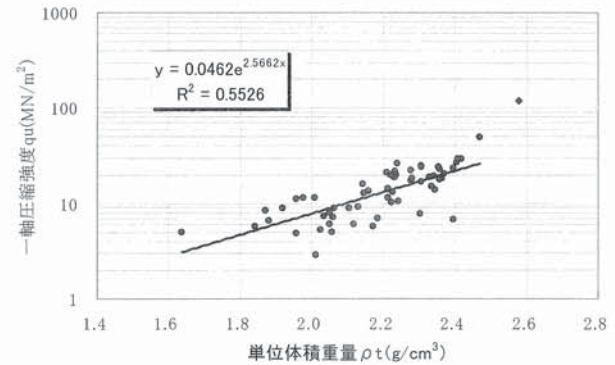


図-2(e) 単位体積重量と一軸圧縮強度[波照間島60個]

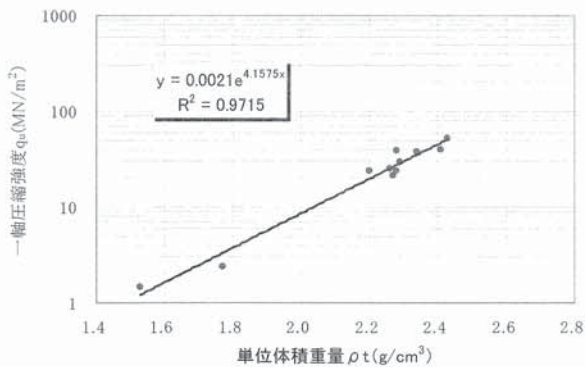


図-2(c) 単位体積重量と一軸圧縮強度[久米島11個]

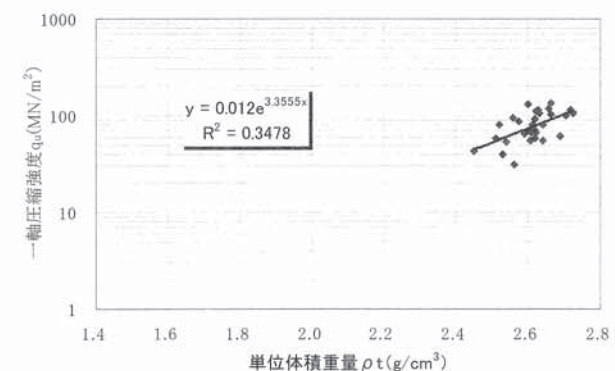


図-2(f) 単位体積重量と一軸圧縮強度[南北大東島31個]

の対数値と単位体積重量 ρ_t との関係を示す。既往の研究同様、全体的に単位体積重量が大きくなるに伴い一軸圧縮強度が大きくなる傾向を示していることが見て分かる。

琉球石灰岩はその環境、時代、層序、層相等の堆積過程が異なるとその特性は異なると考えられる。地域別に見ると図-2(a) (沖縄本島地区)の相関係数は $R^2=0.0115$ とほとんど相関性が無いのに対し、図-2(c) (久米島)は $R^2=0.9715$ と高い相関性を有する。本島地区については、本島地区内で中部地区、南部地区など地域区分を行う必要があると考える。

図-2 (b), (d), (e) (宮古島, 多良間島, 波照間島) の3島は $\rho_t=1.5\sim 2.5\text{g/cm}^3$, $q_u=3\sim 50\text{MN/m}^2$ の範囲で分布し相関性も高く類似しているように見える。

図-2(f)の南北大東島は、図からも分かるように $\rho_t=2.5\sim 2.7\text{g/cm}^3$ と狭い範囲に集中し高い強度を示す。他の地域と比べて物性値に明らかな差が確認できる。

3-2. 超音波伝播速度と単位体積重量の関係

岩石の超音波伝播速度は岩石の特性を表すのとして使用されており、直接的には岩石の動的特性の一つとして硬軟の度合を示し、岩盤の良好度や物性のバラツキに関する評価とし

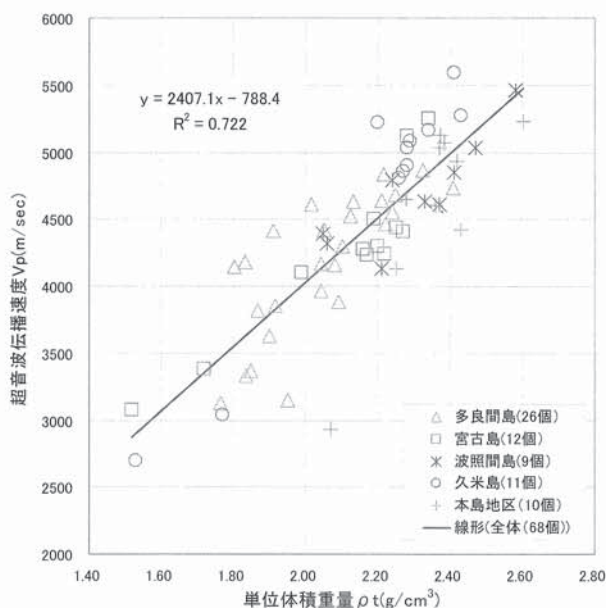


図-3 各地域の超音波伝播速度と単位体積重量の関係

て利用される³⁾。図-3には単位体積重量 ρ_t と超音波伝播速度 V_p との関係を示す。プロットは $\rho_t=1.5\sim 2.6\text{g/cm}^3$ に対し $V_p=3000\sim 5500\text{m/sec}$ の範囲でバラツキがあり、単位体積重量が大きくなると超音波伝播速度も大きくなる直線関係 ($R^2=0.722$) にある。 V_p は琉球石灰岩の強度を反映していると言える。それは超音波速度の特性が一般に密度が大きい岩石では速く、小さい岩石では比較的遅く、間隙率が小さいほど速いことにも関係する。

3-3. 一軸圧縮強度と動弾性係数の関係

固体の弾性係数を測定する方法には、大別して静的方法と動的方法があり、動的方法には共振法とパルス法がある。ここでは、後者の超音波速度測定で求まるパルス法で求めたデータを使用している。

図-4は横軸に一軸圧縮強度 q_u を対数で示し、縦軸に動弾性係数 E_d を示す。一軸圧縮強度 $q_u=1.5\sim 117.7\text{MN/m}^2$ に対し動弾性係数は $E_d=6.4\times 10^4\sim 41.9\times 10^4\text{kgf/cm}^2$ である。図から見ても分かるように圧縮強度が大きくなると動弾性係数も大きくなり、指数相関係数 0.824 と高い相関性を示す。

岩の分類手法として弾性係数と一軸圧縮強度の関係により分類を行うことがある。図-5には両

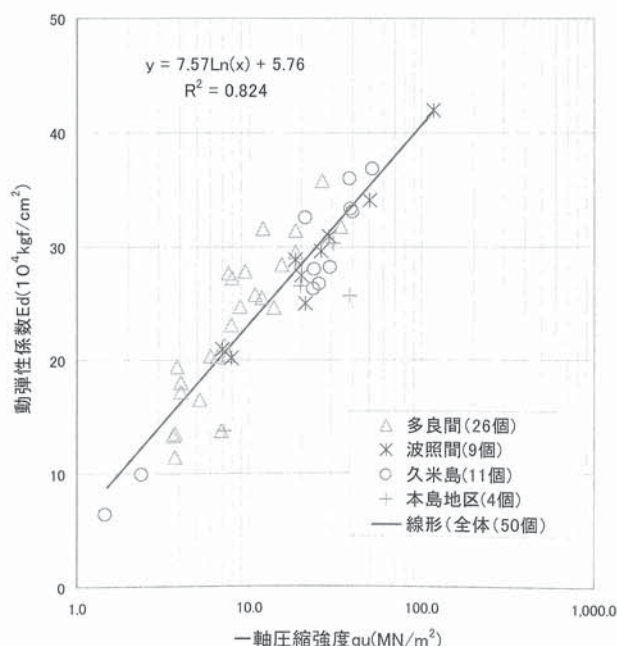


図-4 各地域の一軸圧縮強度と動弾性係数の関係

軸に対数をとった動弾性係数と一軸圧縮強度の関係を示す。

新城・中村ら⁴⁾は、一軸圧縮試験の結果から静的弾性係数と一軸圧縮強度の関係を両対数紙に示している(図-6参照)。プロットは、一軸圧縮強度 $q_u=50\sim 1000\text{kg/cm}^2$ に対し、静的弾性係数は $E_{50}=1.0\times 10^5\sim 20\times 10^5\text{kg/cm}^2$ の範囲にある。

動弾性係数 E_d は、静弾性係数 E_{50} と比べると分布のバラツキは少なく、 $E_d=1.0\times 10^5\sim 5.0\times$

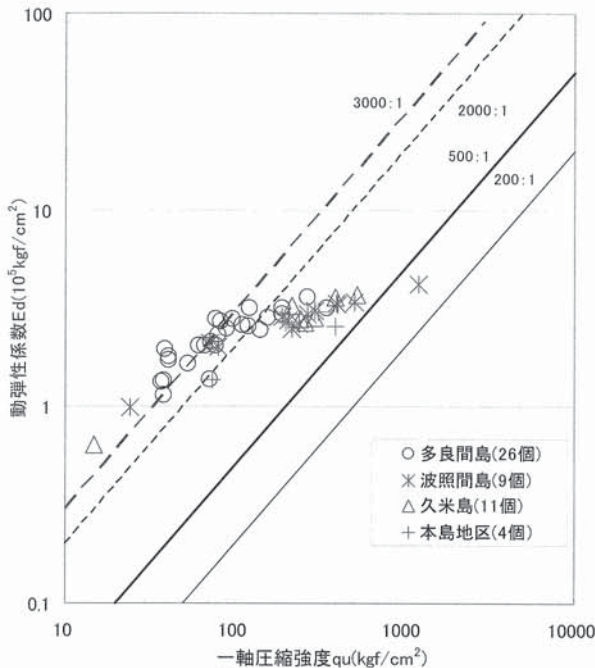


図-5 一軸圧縮強度と動弾性係数の関係

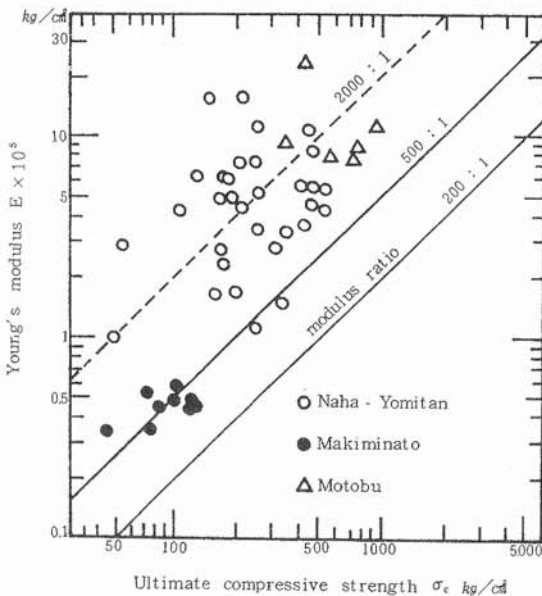


Fig. 5. Engineering classification for Ryukyu limestone
E = tangent modulus at 50% ultimate strength

図-6 新城らの一軸圧縮強度と静弾性係数の関係⁴⁾

10^5kgf/cm^2 と狭い範囲内(低い数値)にある。
 $q_u=100\text{kgf/cm}^2$ 以下では 3000 : 1 に近似する。また図-6 は Deer and Miller による工学的分類図、ゆえ、新城らの E_{50} と今回の E_d では、 E/q_u の分布範囲が 3000 : 1 ~ 500 : 1 で類似する。

4. まとめ

以上をまとめると次のとおりである。

- 1) 琉球石灰岩の岩状固結部の単位体積重量と一軸圧縮強度の関係を地域別に見ると南北大東島の物性値は明らかな差が確認できた。本島地区の相関性は低く、久米島は高い相関性を示した。また宮古島、多良間島、波照間島の3島は、分布特性が類似し相関性も高い関係にあった。
- 2) 単位体積重量と超音波伝播速度との関係は、相関性は高く緻密になるほどその超音波伝播速度は大きくなる傾向にあった。
- 3) 一軸圧縮強度と動弾性係数の関係は一軸圧縮強度が大きくなると動弾性係数も大きくなり、相関性も高い。
- 4) 動弾性係数 E_d は $q_u=100\text{kgf/cm}^2$ 以下で 3000 : 1 に近似する。また E_d は静弾性係数 E_{50} を対比すると低い値を示す。 E_d と E_{50} とも E/q_u の分布範囲が 3000 : 1 ~ 500 : 1 にある。

謝辞

この調査研究を行うにあたり、資料提供等にご協力して頂いた琉球大学工学部原久夫助教授に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長堂嘉光, 真栄田義安, 金城正幸, 前川淳, 内村雄一: 琉球石灰岩地盤データベース作成活動に関する調査研究(その1), 第13回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 70-73, 2000.11.
- 2) 田場邦男, 新垣正良, 国吉真寿, 真栄田義安: 琉球石灰岩地盤データベース作成に関する調査研究(その2), 第13回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 74-75, 2000.11.
- 3) (社)地盤工学会: 岩の試験・調査方法の基準・解説書 平成14年度版, (社)地盤工学会, pp. 1-14
- 4) 新城俊也, 中村一幸: 琉球石灰岩の圧縮強度について, 第44回農業土木学会九州支部講演集, pp. 167-170, 1974.10.