

サンゴ骨材コンクリートの力学的特性

愛知 五 男*, 平 澤 征 夫*

Mechanical Properties of Coral Aggregate Concrete

Itsuo AICHI* and Ikuo HIRASAWA*

(Received September 16, 1977)

The main object of this study is to obtain the mechanical properties of coral aggregate concrete.

The aggregate is the coral from Kikaijima in Kagoshima Prefecture. It has such properties as softness, porosity and coarseness of surface configuration. In this test, the mechanical properties of coral aggregate concrete for several mix proportions were respectively compared with that of normal aggregate concrete.

The results of this tests are summarized as follows:

1. It is necessary to increase the unit cement weight for coral aggregate concrete as much as 17% of that for normal aggregate concrete.
2. The secant modulus of elasticity is 30% smaller than that of normal aggregate concrete.
3. Drying shrinkage and weight decrease ratio are affected remarkably by relative humidity, and also are closely connected with the absorption of the aggregate.
4. The coral used in this test is useful for the aggregate of concrete, if the compressive strength is smaller than 250kg/cm².

1. まえがき

最近の安定成長下におけるコンクリート用骨材の需要は、一時はどの高い伸びではないが、依然膨大な量が供給されているのが現状である。このような骨材産業の隆盛を見る一方において、資源的に限りのある河川砂利の枯渇と河川管理上多くの問題提起を生じ、採取規制を一層厳しいものになっている。またトラック輸送による交通問題などを考慮すれば今後の良質な河川骨材の使用にはおのずから限界がある。これらの問題の解決策として骨

材供給源を他に求めざるを得なくなり、骨材の多様化現象が見られ、すでに砕石、砕砂、山砂利、山砂および海砂あるいは人工軽量骨材、高炉スラグ砕石など地域特性や、使用構造物に見合った骨材が多量に使用される方向にある。このようにして骨材として利用可能なものは、その特性を充分理解して管理すれば、相当広範囲にわたり骨材の利用領域を広げられるものと思われる。

たとえば、本研究に取り上げた骨材の産出地である南方の離島（喜界島）などでは、天然骨材の産出は殆んどされない場合が多い。サンゴ岩礁が散在する島では、以

* 土木工学科 (Department of Civil Engineering)

前からそれをクラッシングして、実験的研究を加えることなく、経験的にさほど重要でない構造物に利用して来ている。特に、台風時の暴風雨に遭遇しやすい地域でのコンクリート構造物の重要性は計り知れないほど大きい。公共性の高い構造物には、内地から移入した天然骨材を使用するため、輸送コストなども含めて必然的にコンクリート単価の高騰をひきおこしている。

サンゴ骨材コンクリートの性状については、具志^{1), 2)}の研究があり、材料の分離の傾向が大きく、強度は軽量コンクリートよりも若干劣り、骨材の種類により相違することを指摘している。

今回実験に取り上げたサンゴ骨材は、強度および形状は砕石よりも悪く、吸水量は人工軽量骨材程度であり、コンクリート用骨材としての使用は多くを期待することは出来ないと思われる。しかし、前述したような骨材事情の認識の上にたち本研究は、軟質で多孔質な、しかも表面形状の不規則なサンゴ骨材をも拡大利用する目的で、サンゴ骨材を用いたコンクリートの性状変化を具志の指摘した以外にも言及している。

さらに骨材一般の見地から、まず、コンクリートとしての基本的な配合や強度特性を調べ、つぎに、構造物に利用する際、重要である弾性係数、クリープなどの力学の特性と環境条件によって影響を受ける乾燥収縮、重量変化などを実験的に検討したものである。

2. 実験概要

1) 使用材料

セメントは小野田社製普通ポルトランドセメント（比重3.16、比表面積 $3,150\text{cm}^2/\text{g}$ ）、サンゴ骨材は細骨材、粗骨材ともに鹿児島県喜界島産で、海岸線より約1km程離れた陸地より採取したものである。天然細骨材、粗骨材は木曽川産を用いそれぞれの骨材試験結果を表一に示す。

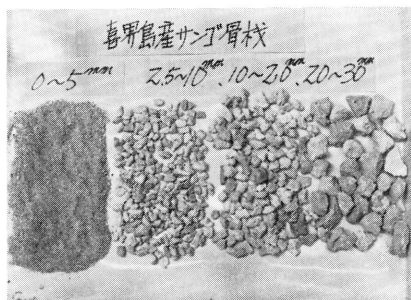


写真-1

サンゴ細骨材は、粒度曲細（図-1）からも明らかなように0.3~1.2mmのものが大部分を占め、粒度の分布がよくない。写真-1から明らかなように、粒形は一般

に球状に近いが表面は粗度である。粗骨材は一部に細長い小指状のものとか、表面にサンゴ特有な凹凸部と空洞を有するものも見られる。全般的に砕石の粒形を少し悪くした程度である。

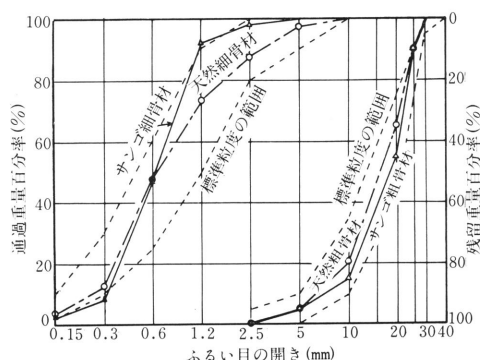


図-1 骨材の粒度曲線

サンゴ骨材の使用に当たっては、次の点に配慮した。

- ① 吸水量が天然骨材と比べて非常に大きいため48時間以上吸水させる。
- ② 粗骨材は表面の微粒子を水洗いしたのち粒度調整して表乾状態とする。
- ③ 細骨材も粗骨材と同様に表乾状態として用いる。
- ④ 混和剤としては、減水効果のあるポズリスNo.5Lを用いる。

2) コンクリートの配合

サンゴコンクリートを作る上で、ある程度のワーカビリティのよいコンクリートを得るには、細骨材の粒度、形状の不規則性や比重、粗骨材の粒形や比重などを考慮して細骨材率と単位セメント量を増加させる必要がある⁸⁾。

実験要因として骨材の組合せによるコンクリートを、サンゴ細骨材とサンゴ粗骨材（記号SSC）、天然細骨材とサンゴ粗骨材（記号NSC）、天然細骨材と天然粗骨材（記号NNC）、の3種とした。

また、セメントペースト強度による骨材強度の影響を調べるため、水セメント比をそれぞれ45%、55%、65%の3種取り上げた。

スランプ（ $7.5 \pm 1\text{cm}$ ）と空気量（ $4.0 \pm 1\%$ ）を一定とし、この条件の範囲内で、ワーカブルでプラスチックなコンクリートが得られるよう試し練りを繰り返して、表-2に示した配合を決定した。

3) 実験項目ならびに実験方法

各使用材料の諸性状を調べた上でコンクリートの示方配合を計算した。この示方配合を基に、まだ固まらないコンクリート性状、すなわちスランプ、空気量、ワーカ

表-1 骨 材 の 試 験 結 果

試験項目 骨材種類	表乾比重	絶乾比重	単位重量 (kg/m ³)	実 積 率 (%)	吸 水 量 (%)	すりへり 減 量 (%)	粗 粒 率	洗い試験 (%)	塩分含有量 (%)
サンゴ細骨材	2.49	2.34	1,370	55.0	6.9	—	2.54	1.35	0.003
サンゴ粗骨材	2.24	2.06	1,210	54.0	8.6	34.8	7.22	—	0.006
天然細骨材	2.57	—	1,620	63.0	2.0	—	2.80	1.10	—
天然粗骨材	2.62	—	1,600	61.1	0.9	12.3	7.05	—	—

※ JASSの試験方法による

表-2 コ ン ク リ ー ト の 配 合

記 号	水セメント 比 W/S(%)	細骨材率 S/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	細 骨 材 S	粗 骨 材 G			減 水 剤
						2.5~10mm	10~20mm	20~30mm	
SSC	45	40	180	400	650	133	354	398	1.00
	55	42	182	331	704	132	353	397	0.83
	65	43	192	295	722	130	347	391	0.74
NSC	45	40	163	362	701	139	370	416	0.91
	55	42	167	304	751	137	365	410	0.76
	65	45	167	257	822	133	352	397	0.64
NNC	45	39	152	338	702	247	501	403	0.89
	55	42.5	160	290	786	233	472	380	0.73
	65	44.5	160	246	830	226	460	370	0.62

ピリチーなど JIS A に準じて測定し、部分的に配合修正を行なった。

硬化後の実験項目と試験供試体寸法および養生条件は次のようである。

圧縮強度と引張強度ならびに静弾性係数、動弾性係数は、 $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体で水中養生 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) とした。測定1日前 (材令28日以後の一部は2日前) に恒温恒湿室 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$, R.H.80 $\pm$ 4%) で養生した。

乾燥収縮試験は、コンパレータ方法によって、材令1日目に基長を取り、任意の材令ごとに、最小目盛0.001mm まで読み取り可能な顕微鏡で測定した。

重量変化を調べるには、卓上台秤 (秤量20kg, 感量2g) を用いた。材令は、長さ変化試験と同じである。

乾燥収縮試験と重量変化の供試体は、同一のものをを用いた。その寸法は、 $10 \times 10 \times 40$ cm の直方体である。

養生条件は、温度を一定 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) として湿度条件を2種類 (R.H.45%, R.H.80 $\pm$ 4%) とした。

クリープ試験は、自動油圧試験機に、 $\phi 15 \times 30$ cm の円柱供試体を中央に球座をはさんで直列に2本配置して行なった。

変位量は、供試体に対称に取り付けた2個のダイヤルゲージ ($1/1000$ mm), 測定長25cmで測定した。

測定場所は、恒温室 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$, R.H.80 $\pm$ 4%) 内で行なった。

試験供試体本数は、同一供試体をクリープ試験では2本、それ以外の試験はすべて3本とした。

3. 実験結果と考察

1) 単位セメント量と細骨材率

同一水セメント比で所要の条件を満たすためには、単位セメント量の場合 SSC は、NNC に比べて、14~20%, NSC については5~7%増加させる必要がある。

細骨材率は骨材粒度と粒形の悪さから増加の傾向にある。しかし、増加率は配合表に示したようにごくわずかである。これは同一水セメント比の下でセメント量を増量させたことによるものと思われる。

2) 圧縮強度と引張強度

各配合の材令と圧縮強度の関係を図-2に示す。SSCの強度について約250kg/cm² 以下では、NNC に比べ強度は大きく、特に水セメント比65%で4週以後の強度増加は顕著である。一方250kg/cm² 以上になれば、SSC はNNC よりも小さく、材令経過による強度増進はあまり多くは望めない。また、360kg/cm² 程度で頭打ちの傾向が見られる。

図-3に材令28日における引張強度: σ_t と圧縮強度: σ_c との関係を示す。これらの比 (σ_t/σ_c) は、SSC 0.09~0.12, NSC 0.08~0.11, NNC 0.07~0.10である。引張強度の場合石質が弱いと、圧縮強度は強くても引張強度は弱くなることが一般にいわれている。しかし、天

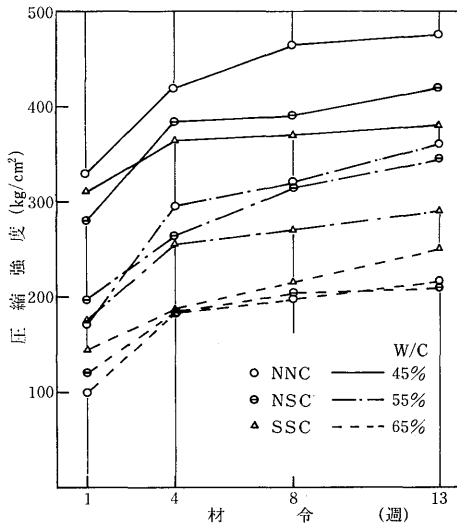


図-2 骨材の種類と配合変化が圧縮強度におよぼす影響

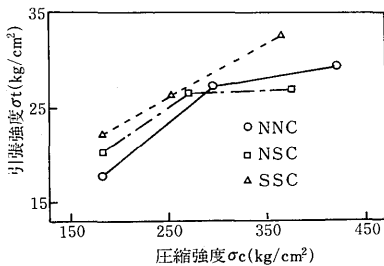


図-3 圧縮強度と引張強度との関係

然骨材に比べて弱いサンゴ骨材を用いた **SSC** は, **NNC** に比べて 20% 大きな値を示した点が注目される。

これらは, 材令が初期の段階か, 水セメント比が大きな場合に, セメントペーストやモルタル, すなわち, マトリックス強度が小さな間は, 粗骨材の表面積と粗度の関係があるように思われる。サンゴ骨材のような凹凸で多孔質な骨材では, 骨材自体の間げきにマトリックスが含浸することによる。また, 表面積の増大による付着応力とせん断抵抗力の増大が, 普通骨材に比べて大きなことに起因しているものと考えられる。

一方, マトリックス強度が大きくなれば, 骨材の形状や表面状態のみでなく, コンクリート組成上多くを占める骨材自身の強さが直接関係し, コンクリート強度が 250kg/cm² 以上になればこの傾向は顕著となる。

3) 弾性係数

静弾性係数は, 圧縮試験と平行して行い, 任意荷重段階ごとに電気抵抗線ひずみ計によりひずみを測定して求めた。圧縮応力度の 1/3 における割線弾性係数である。

動弾性係数は, 圧縮強度試験材令時に, 共振法によって測定した各供試体の縦共振数より求めた。

図-4, 図-5 に静弾性係数および動弾性係数と圧縮強度の関係を示した。静弾性係数において **SSC** は, 土木学会指針の普通コンクリートと軽量コンクリートの中間付近に位置し⁴⁾, **NNC** の約 70% 程度であった。**SSC** と **NSC** は, 大差なく細骨材の違いによる影響は少ないようである。

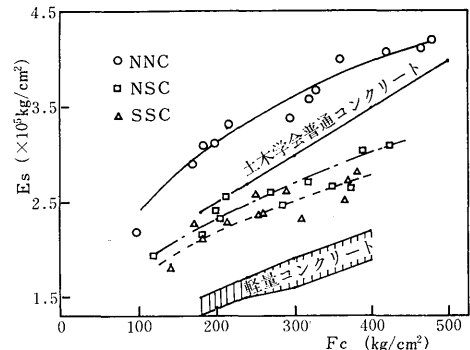


図-4 静弾性係数 E_s と圧縮強度 F_c との関係

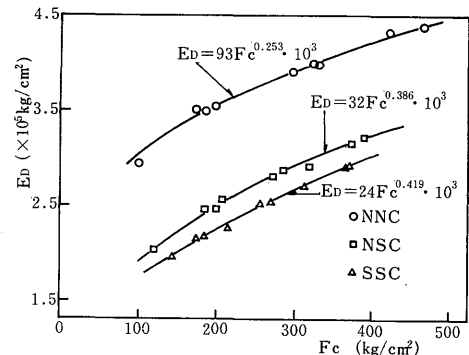


図-5 動弾性係数 E_d と圧縮強度 F_c との関係

動弾性係数も静弾性係数と同様な傾向にあり, 前者は後者に比べて 9~13% 増加を示している。本実験の結果に指数式を適用して最小 2 乗法によって実験式を求めたのが次の各式である。

$$E_D = 93 F_c^{0.253} \cdot 10^3 \dots \text{NNC}$$

$$E_D = 32 F_c^{0.388} \cdot 10^3 \dots \text{NSC}$$

$$E_D = 24 F_c^{0.419} \cdot 10^3 \dots \text{SSC}$$

ここに E_D : 動弾性係数 (kg/cm²)

F_c : $\phi 10 \times 20$ 供試体圧縮強度 (kg/cm²)

図-6 に動弾性係数と単位容積重量の関係を示した。単位容積重量が 0.2 t/m³ の差で, 動弾性係数は 1.3 × 10⁸ kg/cm² もの開きを生じている。単位容積重量が比較的大きな割には, **SSC** は動弾性係数が小さいように

思われる。

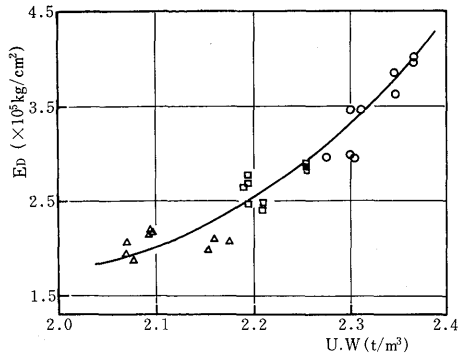


図-6 動弾性係数 E_d と単位容積重量 $U.W$ との関係

4) クリープ

クリープ試験は、水セメント比 55%のものについて、材令28日に破壊荷重の35%を持続荷重として载荷した。これにより得られたクリープ曲線を図-7に示す。

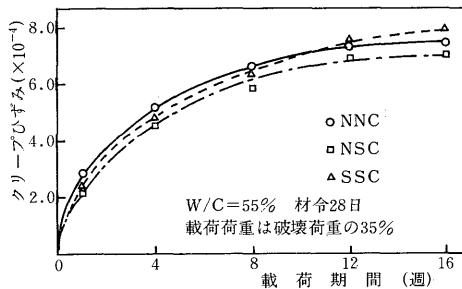


図-7 クリープ曲線

SSC はクリープひずみが NNC に比べて、10週ぐらいまで小さく、それ以後になれば若干大きくなる傾向を示している。しかし、当初予想していたクリープひずみの差は現われていない。16週におけるクリープ係数は、それぞれ $\phi_{NNC}=2.34$, $\phi_{NSC}=2.31$, $\phi_{SSC}=1.94$ であった。

5) 乾燥収縮

喜界島などで実際に、サンゴ骨材を用いた小規模な構造物は、天然骨材コンクリートに比べて、ひびわれが生じ易いといわれている。施工条件や配合などによる影響も考えられる。しかし、サンゴ骨材は軟質であるため、破碎時、運搬貯蔵時、そしてコンクリート混合時などにおいてすりへりにより、石粉が多く生ずる。これを考慮せず用いた場合に、微粉末の過多が、乾燥収縮量の増大に関係して、これが構造物自体のひびわれへと進展させているものと考えられる。

相対湿度の変化が各種コンクリートの乾燥収縮ひずみ

におよぼす影響を図-8に示した。

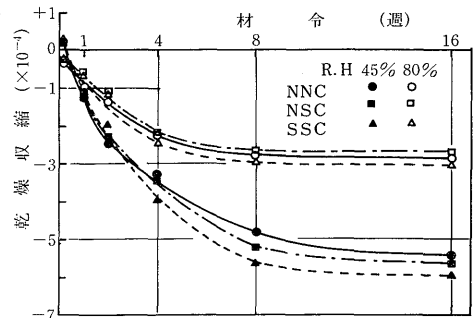


図-8 相対湿度が乾燥収縮におよぼす影響

一定の湿度条件下では、使用した骨材の違いにより、乾燥ひずみは、SSC が NNC よりも若干大きく現われている。これは骨材の性質で特に、弾性係数と吸水量に影響されていると考えられる。しかし、一定の水セメント比 ($W/C=55\%$) であっても、単位セメントペースト量の増加が、乾燥収縮に大きく影響していることも見のがせない。

また、相対湿度の違いが乾燥収縮ひずみに顕著に現われている。たとえば、相対湿度45%の場合、材令2日で膨張の傾向を示したが、それ以後材令8週程度までは、急激に乾燥ひずみが増大している。相対湿度80%の場合、乾燥ひずみは、比較的ゆるやかで相対湿度45%の約1/2と反比例している点が注目される⁹⁾。SSC は材令16週以後も乾燥ひずみが増加する傾向が見られる。

一般に乾燥ひずみの最終値の1/2となる期間は、普通コンクリートで1ヶ月、軽量コンクリートで10ヶ月とされている⁹⁾。

6) 重量変化

乾燥期間によって重量減少率の変化を図-9に示し

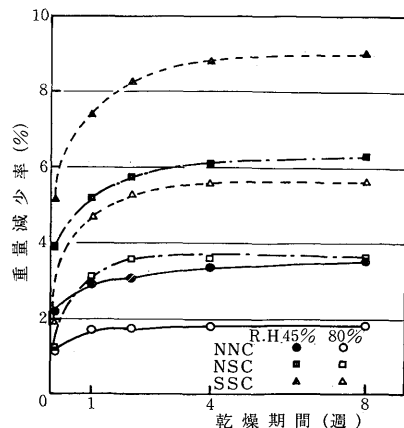


図-9 相対湿度が重量減少率におよぼす影響

た。減少率は断面寸法により大きく左右されるが、本供試体において4週でいずれもピークに近づいて来ている。相対湿度による影響は、乾燥収縮の傾向と非常に良く類似している。骨材の平均吸水量は、**NNC** 1.36%, **NSC** 5.62% (骨材吸水量の比 **NSC/NNC**=4.1), **SSC** 7.85% (**SSC/NNC**=5.8) である。単位水量もコンクリート重量に対して数パーセントの差を生じているが、重量減少率は骨材吸水量と密接な関係を持ち、相対湿度にも影響されるが、同一湿度条件の下で骨材吸水量の比の約1/2を示している。

4. 結 び

コンクリート骨材として、造礁サンゴと天然骨材を用いた9種類の配合を定め、それぞれコンクリートの諸性状について実験を行なった。天然骨材コンクリートを基準にして実験結果を要約すると次のようである。

(1) **SSC** は、同一条件の下で単位セメント量を約17%増量する必要がある。

(2) 圧縮強度 250kg/cm² までの **SSC** は、材令による強度増進は大きく、それ以上になれば骨材強度に影響され 360kg/cm² で強度は頭打ちになる。

(3) **SSC** の静弾性係数は、土木学会指針の普通コンクリートと軽量コンクリートの中間付近にあり、同一強度の **NNC** に対して約70%程度である。

動弾性係数も静弾性係数と同様な傾向にあり、**SSC** に対して $E_p = 24Fc^{0.419} \cdot 10^3$ なる実験式が得られた。

(4) クリープ試験は、材令28日で破壊荷重の35%を持続載荷した結果、骨材種類の影響は少ないようであるが、10週以降では **SSC** が若干大きくなる傾向を示した。

(5) 乾燥収縮について同一養生条件では、骨材種類の性質で特に、弾性係数と吸水量に影響され **SSC** が若干大きく現われている。

相対湿度の変化によって、乾燥収縮は非常に大きく影響され、**R.H.45%** に対して **R.H.80%** では約1/2に減少している。

(6) 重量変化については、供試体寸法に影響されるが、本実験の寸法のものでは4週ほどで一定値に近づく。

減少率は骨材吸水量に密接な関係にあり、吸水量の約1/2の値を示した。

コンクリート骨材としてのサンゴは、表面形状の粗悪さや軟質で多孔質な性状のため、あまり好ましい材料とは思われない。しかし、人工軽量コンクリートならびに砕石コンクリートの諸性状をよく把握して、骨材の管理と施工、養生に注意を払えば、圧縮強度 250kg/cm² 程度までのコンクリートであれば充分利用出来るものと思われる。

最後に、サンゴ骨材を提供され終始便宜を計られた、本学45年度卒業平悦夫氏(喜界島出身)ならびに実験に際しては多くの方々にご協力を戴いたことを記し、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 具志幸昌: さんご砂利コンクリートに関する研究Ⅰ, 琉球大学理工学部紀要工学編, 第2号, pp.53—66, (昭44)
- 2) 具志幸昌: さんご砂利コンクリートに関する研究Ⅱ, 琉球大学理工学部紀要工学編, 第3号, pp.91—113, (昭45)
- 3) W.H. Price: Grading and Surface Area, Significance of Tests and Properties of Concrete Making Materials, ASTM STP 169-A, pp. 404—414, April 1966
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書, pp.23, pp.81, (昭49).9
- 5) 日本コンクリート工学協会: コンクリート便覧, pp.82—87, (昭51).2
- 6) 村田二郎: 人工軽量骨材コンクリート, コンクリートパンフレット, セメント協会, 第79号, pp.44—45, (昭42).8