琉球大学学術リポジトリ

さんご砂利コンクリートに関する研究、3

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2013-07-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 具志, 幸昌, Gushi, Yukimasa メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/27016

さんご砂利コンクリートに関する研究、Ⅲ

具 志 幸 昌*

Studies on Finger Coral Concrete, Ⅲ

Yukimasa GUSHI

Synopsis

Following from the previous studies, this paper describes the behavior of Finger Coral concrete. It was clarified that Finger Coral concrete has enough strength for structural use but its low qualities in workability and bleeding behavior make it not to use generally. Low quality in workability can be improved by use of AE agents, but bleeding quantity can not be reduced so much by the use of AE agents.

"Ishigū" is a powderly soil of calcium carbonate and is yielded with lime stone in the main islands of Okinawa Prefecture. "Ishigū" is also-called coaral reef rock and much used as base-course materials in building roads.

The auther has planned to use "Ishigū" as fine additives instead of a part of fine aggregate, because sea sand used in Okinawa commonly are suffering from shortage of very fine part in composition.

"Ishigū" was used as a part of fine aggregate in proportionning concrete materials and following results are attained.

1) Bleeding behavior was much improved by the dosage of "Ishigu".

2) Bleeding quantity and ratio become reduced as increasing the dosage of "Ishigu".

3) "Ishigū" has much larger effect in reducing bleeding quantity or ratio than AE agents.

4) Finger coral concrete contained "Ishigu" has much larger compressive strength than concrete with no "Ishigū".

5) Finger Coral concrete with "Ishigū" also-exhibits higher Young's modulus than concrete with no "Ishigū", but the rate of increase in Young's modulus was not so large as the rate in strength.

In this study, a lot of static and dynamic Young's moduli of Finger Coral concrete specimens were measured, and formulae computing the both moduli based on the values of compressive strength and unit weight of concrete are proposed.

受付：1977年10月20日

* 琉球大学理工学部土木工学科

1. はじめに

さんご砂利コンクリートに関しては既に3回報告[1),2),3)]してあるが、さらに新しい事実を追加報告する。今回の報告の実験は1968年から1970年にかけて行ったものである。1970年4月の他大学学生による土木ビル不法占拠事件のため、実験は中断され、供試体等は破壊され、それまでの実験資料は逸散してしまった。事件解決後、資料の回収に極力つとめたが、かなりの未回収分があり、実験も中断し完了させることができなかった。そして、そのまま数年間放置しておいたが、せっかくの資料をうずもらせておくのも残念であるので、今回整理できた部分に考察を加え、「さんご砂利コンクリートに関する研究Ⅲ」として発表することにした。

さんご砂利そのものについては上記3報告および文献4）にくわしいが、一応簡単にふれることにする。

さんご砂利は戦前は鉄道の道床材となり、戦後は道路の路盤材として使われることもあり、重要でない構造物の骨材としても使われていた。沖縄県内や奄美群島の各島々の海岸に沿って発達している造礁さんごの砕片である。時に応じて海岸にうちよせられ、堆積している。場所が違えばその種類・性質も異なるが、一般に非常に多孔質で軟かく、内部に空洞を多く含み、表面に小突起が澤山ある（表面が滑かなものも一部に存在する。例えば前回[3)]の名護さんご砂利）。一般に細長く指状なので、Finger Coralとも呼ばれている。比重は2.0～2.35で吸水量は10%にも達する。従って耐久性を必要とする構造物またはその部分に使用することは好ましくない。さんご砂利を使用したコンクリートの強度は砕石コンクリートにははるかに及ばないが、天然軽量骨材を使ったものより大きく、[1),5)]強度上は十分使用可能である。さんご砂利コンクリートのもう一つの大きな欠点はブリージングが多く、ワーカビリチーが悪いことである。この点を改善するためにはAE剤・分散剤等の使用が考えられる。前回の報告[3)]によると、ワーカビリチー、ブリージング性状共にAE剤等の使用によってかなり改善されることが判明しているが、ブリージング量を大幅に減少させるには至らなかった。この点は使用した細骨材が微粒分に不足していたので、この面の改善が有効と考え、微粒分の補給として、「いしぐう」と呼ばれる石灰質の鉱物粉を細骨材の一部として使用することを思いつき、今回の実験を行った。その結果いしぐうを適切に使用するとブリージング性状は大幅に改善され、強度・弾性係数等も上昇し、プラスチシチーをはじめとするまだ固まらないコンクリートの性状も改善されることが判明した。今回の報告では「いしぐう」の使用が、さんご砂利コンクリートのまだ固まらないおよび硬化後の性質にどの様な影響を及ぼすかと言うことを主として述べ、その他2、3の判明した事項についてふれることにする。

2. 使用材料

今回使用のさんご砂利は沖縄本島中部の中城村の海岸のもので、前回の研究[3)]の中城Ⅱとほぼ同じ性質のものである。中城Ⅲと名付けて主な性質を表－1に示す。細骨材は沖縄県北部の伊是名島産のものと、那覇の西方海上のチービシ島産のものとであり、主として後者が使われた。主な性質を表－2にかかげておく。図－1に示してある通り、いずれも微粒分が不足している。

表－1 さんご砂利

名称	最大寸法 (mm)	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/cm³)	粗粒率	粒度残留百分率 ふるい目の開 (mm)							
						30	25	20	15	02	5	2.5	Ⅲ
中城Ⅲ	20	2.15	12.10	1020	6.49	0	3	?10	?	10	47	92	100

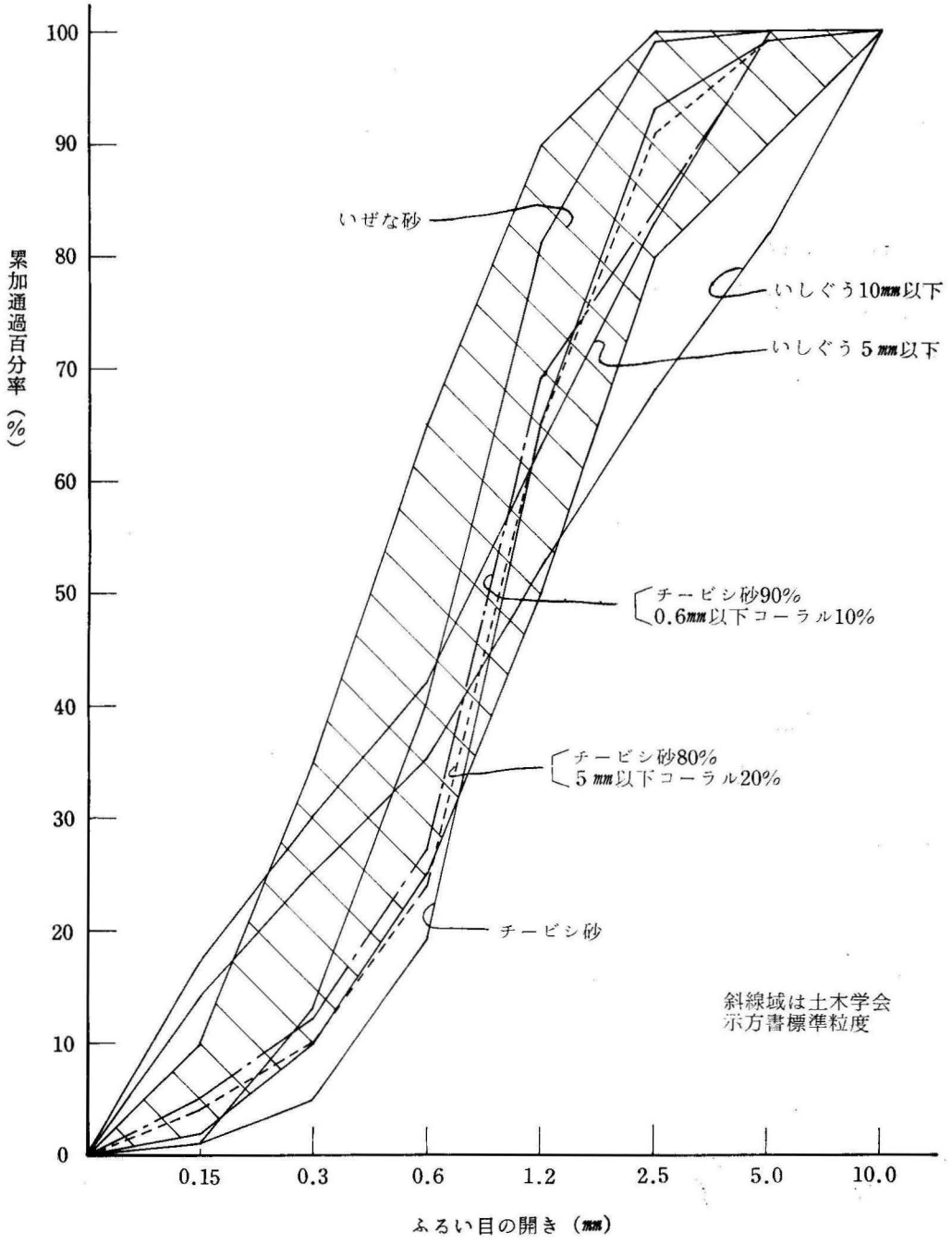
表－2 細骨材

産地	比重	吸水量 (%)	粗粒率	粒度，残留百分率，ふるい目の開 (mm)						
				5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	Ⅲ
伊是名	2.48	5.97	2.66	0	1	19	60	87	99	100
チービシ	2.59	3.99	3.18	1	7	35	81	95	99	100
いしぐう	2.63	1.01	3.21	18	32	48	65	75	86	100

「いしぐう」とは沖縄県の方言名で、石粉と云う意味であり、戦後コーラルリーフロックとも或は単にコーラルとも呼ばれている。現在いしぐうの主な用途は道路の路盤材であり、沖縄県内では費用の関係から砕石のかわりにこれが専ら路盤材として使われている（米軍が使用し始めた）。路盤材または土質改良材として県外にも盛に移出されている。

路盤材としてのいしぐうについては上原の報告[6)]その他がある。それらおよびその他の知見によると、いしぐうは沖縄本島をはじめその他の沖縄県内の主要な

図－1　使用骨材の粒度曲線



島々に産出する石灰岩質の土で、琉球石灰岩と一諸に存在し、岩石として固まらなかった石灰岩と云う感じのものである。炭酸石灰が主成分で98%前後を占める。いしぐうマトリックスの中には大小様々の石灰岩のかたまりが含まれている。茶褐色から白色に近い迄の色を呈している。今回使用のいしぐうは沖縄本島中部の読谷村産出のもので、細骨材としての主な性質は表－2の通りである。ただし、吸水率測定のための表乾状態の現出が仲々困難で、吸水率は多数の測定値の平均値を採用してある。実験に当っては適当な網ふるいでふるい分けを行なって、通過分を使用した。

3. いしぐうによるブリージング性状の改善

さんご砂利コンクリートのブリージングは非常に多く、砕石コンクリートの2倍程度もあり、ワーカビリチーも悪い。これは主としてさんご砂利の細長い指状の形状および表面の大小の突起や穴によるものと理解している。ブリージングを減少させ、ワーカビリチーを改善するためには、一般にＡＥ剤の使用が行なわれるが、前回の研究[3]によると、ＡＥ剤の使用だけではブリージング率または量をそれ程減少できないことが判明している。沖縄県内の細骨材はすべて海砂であるため、微砂分に欠けることが多く、そのためにさんご砂利コンクリートは勿論、砕石コンクリートのブリージングも多い[7]。沖縄の鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋が塩分のために腐食して、鉄筋コンクリート構造物の寿命が著しく短くなっていることが判明している*現在、鉄筋の腐食に必要な酸素の供給を断つと云う意味で、ブリージングを減少させることは沖縄のコンクリートの耐久性を向上させるうえで大切なことと考える。微細砂分の補給材料として、同じ海砂は考えられないので、路盤材料として広く使われている「いしぐう」の使用を考えついた材第である。いしぐうはすべて細骨材の一部として使用し、使用に当ってはふるいでふるいわけ、通過分だけを使用した。用いたふるいによって、5*mm*以下のいしぐうとか、0.3*mm*以下のいしぐうとかの言葉を当ててある。いしぐう使用量は（いしぐう）／（いしぐう＋砂）の重量比の%表示で表わし、これを「いしぐう率」と呼ぶことにしている。

今回使用した細骨材は先述の通り微砂分が不足しており、土木学会の示方書[8]の範囲内にない。チービシ産の砂は0.6*mm*以下がすべて不足であり、伊是名砂は0.3*mm*以下が少なく、0.15*mm*以下の分が不足している。

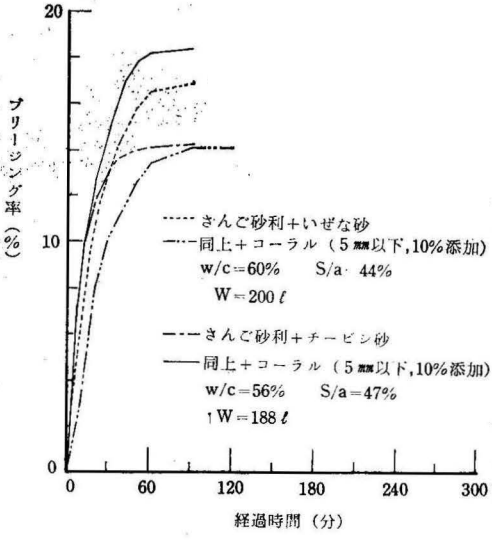
〔5 mm以下のいしぐうを添加した場合〕

チービシ砂に5*mm*以下のいしぐうをいしぐう率20%程度添加した場合でも粒度曲線は標準粒度の範囲内[8]におさまらない（図－1参照）。伊是名砂の場合は5*mm*以下のいしぐうをいしぐう率10%添加すれば、標準粒度内におさまる。しかし微粒分は不足の様でブリージングはそれ程減じない。

6種類の配合の場合にブリージングを測定してみると、いしぐう率約10%で、1回を除き5回はブリージング率・量共にやや減少していることが判るが、その減少量はわずかであり、統計的に有意とはならない（ブリージング率で平均 1.2%の減）。ブリージング率と経過時間との関係の1例を図－2に示す。

なお、5*mm*以下のいしぐうで砂の一部を代替してもスランプは殆んど変らないし、強度と弾性係数にも有意差は現われてこない。

図－2　コーラル（5㎜以下）添加の場合

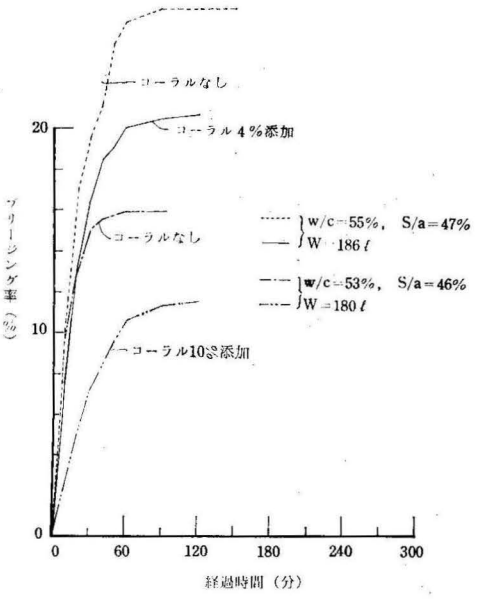


* 1973年から1977年に至るまでの琉大理工学部紀要工学編にくわしく報告されている。

〔0.3mm以下のいしぐうを添加した場合〕

チービシ砂の場合で、10%のいしぐう率で細骨材粒度は標準粒度の範囲内に入る。ブリージングは平均で約2割減少（ブリージング率で 4.8%、ブリージング量で0.2cc/cm² 程減少）する。しかし実験回数が少な

図－3　コーラル（0.3mm以下）添加の場合



いこともあって、統計的には10%の危険率でしか有意とはならない。ブリージング減少の実例を図－3に示す。

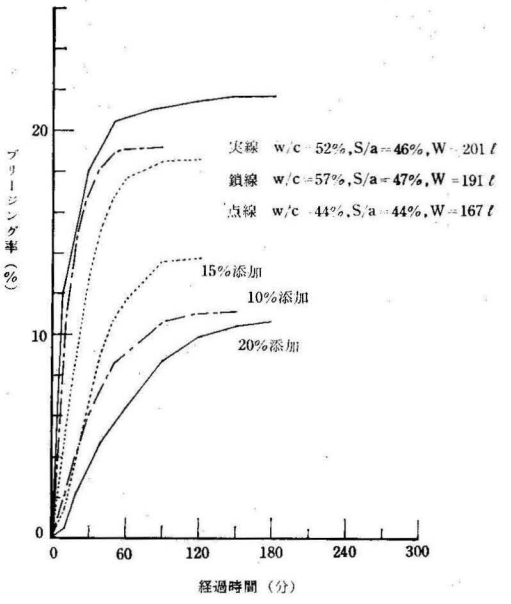
なお、平均で強度は20%、動弾性係数は３%、単位重量は0.3%程増加している。

〔0.6mm以下のいしぐうを添加した場合〕

チービシ砂の粒度曲線をみた場合、0.6mm以下の微粒分が不足しているので、0.6mm以下のいしぐうを添加するのは有効と考える。いしぐう率10%以上の場合標準粒度の範囲内に入る（図－1参照）。

ブリージングはいしぐう率10%以上の場合すべて減少し、その効果は著しく、いしぐう無添加の場合にくらべて、減少の程度はすべて統計的に有意（t－検定、1%の危険率で平均値に有意差あり）となっている。ブリージング減少の実例を図－4に示す。

図－4　コーラル（0.6mm以下）添加の場合



いしぐう率が大きくなればブリージングの減少量も大きくなる。また単位水量が小さいとき、ブリージング減少の程度は大きい。また細骨材粒度の影響も大きい。従ってブリージング減少の程度はいしぐう率の簡単な関数とはならない。チービシ砂を使ったコンクリートの場合、ブリージング量の減少の程度（%表示）は最小２乗法を使って次式で表わせる。

$$D=35.87+1.386(I-15)-0.6996(W-190) \quad (1)$$

D：ブリージング量の減少率（%）

I：いしぐう率（%）

W：単位水量（l/m^3）

上式はW=190 l/m^3のときブリージグン減少の割合は次の様になる。

I (%)	5	10	15	20	25
D (%)	22	29	36	43	50

既報[3]のＡＥ剤・分散剤を加えた場合と今回のいしぐうを加えた場合とのブリージング減少効果を比較してみると

1）　いしぐうの方がブリージングを減少させるのにずっと効果がある。

2）　ブリージング遅延効果はＡＥ剤の作用の方がずっと大きい。ＡＥ剤使用の場合ブリージングの終了はかなりおくれるが、いしぐう添加の場合は無添加の

場合とほぼ同時に終了する。

3）　従ってブリージングを減少させるには微粒分の不足を補う方法、つまりいしぐう添加の方法がずっと効果があり、微粒分不足の細骨材の場合、AE剤等の添加はブリージング減少に対してはあまり効果がない。

4. いしぐう添加によるその他の性質の改善

0.6*mm* 以下のいしぐうを砂の一部として添加した時のさんご砂利コンクリートのブリージング性状以外の性質の改善に対する効果を列挙する。

1）　同一単位水量の場合、スランプはふえる場合と減少する場合とがあり、結論はでないが、あまり変化はないと言ってよい（砕石コンクリートの場合は少しばかり減少する）。

2）　さんご砂利の様に元々ワーカビリチーの悪いコンクリートは、いしぐうの添加によってワーカビリチーやプラスチシチーはよくなり、いしぐう率を大きくすると改善される度合は大きくなる（いしぐう率5%から20%迄）。しかしこの種の作用はAE剤等の方が効果は大きい。

3）　さんご砂利コンクリートの圧縮強度はいしぐう添加により、かなりの程度増大する。強度増大の程度はいしぐう率が大きくなる程大きくなり、次式で表わされる。

$$\alpha = 22.45 - 0.436\,(C/W - 1.90) \times 100 + 0.225 \times (I - 15) \quad (2)$$

α ：強度増加率（%）

C/W：セメント水比

I ：いしぐう率

この有様は図－5をみればよくわかる。

4）　動ヤング係数Ed（同時に静ヤング係数Esも）は、いしぐう添加によりかなりの程度増大するが、その増大の程度は圧縮強度程ではない。従って同一強度でいしぐう添加と無添加の場合とをくらべると、無添加の場合の方が、一般にEdは大きい。勿論同一配合では添加した方がEdは大きくなる。

今回の実験のすべての場合を包含したときのEd～σ_{28}～単位重量Wとの関係を最小2乗法で整理すると次式をうる。

$$Ed = 0.001743\sigma + 0.004352W - 7.4473 \quad (3)$$

Ed：動弾性係数（$\times 10^5 kg/cm^2$）

σ ：コンクリート28日強度（kg/cm^2）

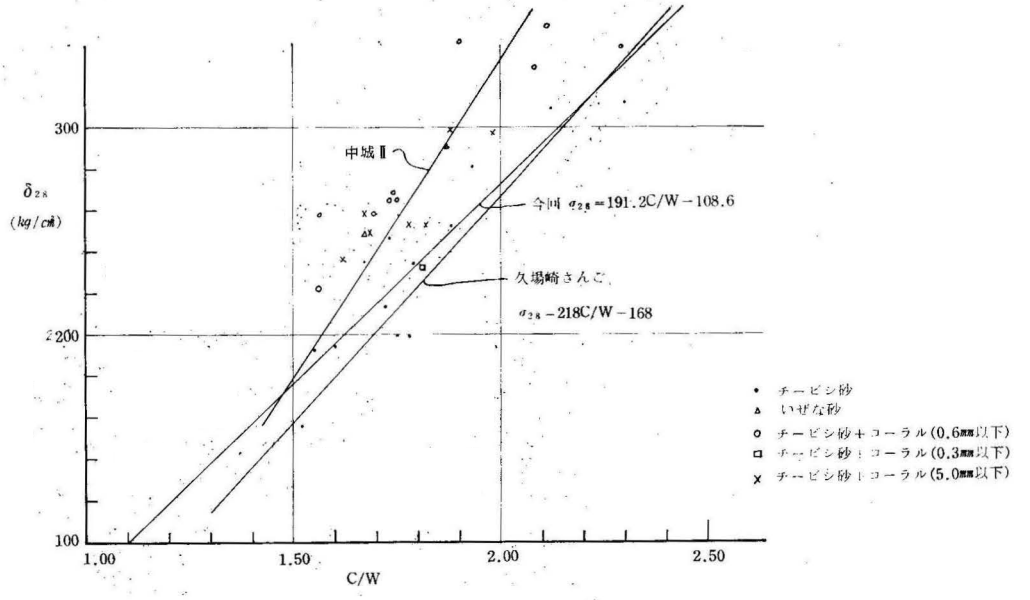
W ：供試体の単位重量（kg/m^3）

単に強度とEdとの関係をいしぐうを含む場合と含まない場合とにわけて、最小2乗法を適用すると、それぞれ次式をうる。

$$Ed = 0.002331\sigma + 1.8991 \quad (\text{いしぐうを含む}) \quad (4)$$

$$Ed = 0.002631\sigma + 1.8894 \quad (\text{いしぐうを含まず}) \quad (5)$$

図－5　C/W～σ_{28}関係



(3)式で単位重量の平均値W≒2190kg/m^3を使うと

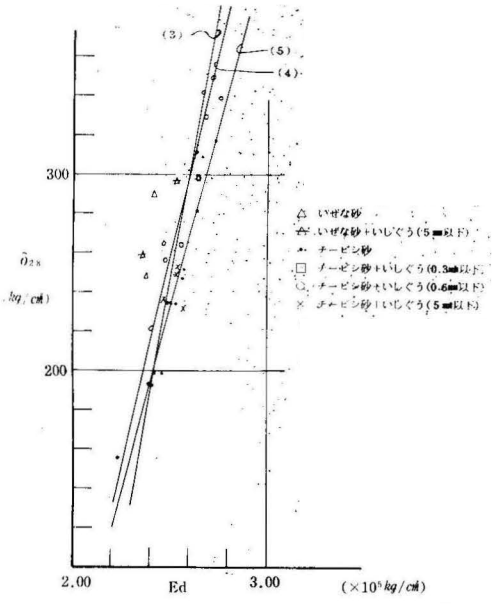
$$Ed=0.001743\sigma+2.0724 \quad (3)'$$

となり、主な強度について比較すると表－3の様になる（図－6も参照のこと）。

表－3　圧縮強度と動ヤング係数

σ (kg/cm^2)	150	180	210	240	270	300	360	式番号	備考
Ed ($\times10^5 kg/cm^2$)	2.33	2.39	2.44	2.49	2.54	2.60	2.70	(3)′式	
	2.25	2.32	2.39	2.46	2.53	2.60	2.74	(4)式	コーラル入り
	2.28	2.36	2.44	2.52	2.60	2.68	2.84	(5)式	コーラルなし

図－6　σ_{28}～Ed関係



5）　単位重量（供試体について圧縮試験前に測定）はふえる場合と減る場合とがあるが、ふえる場合が多い。

5. さんご砂利コンクリートのヤング率、強度

さんご砂利コンクリートの静・動弾性係数については前回の報告[3]でもふれているが、今回は前回のデーターをも含めて整理し、新しい事実について箇条書にのべることにする。

〔静弾性係数Esの場合〕

1）　Esに大きな影響を与える因子は粗骨材の種類、単位粗骨材量または細骨材率、粗骨材の硬さまたはヤング率、コンクリートの圧縮強度、単位重量等であり、砕石コンクリートでも同様である。

実験結果を最小2乗法を使ってEsを単位重量Wと圧縮強度σとの関数として表わすと次の様になる。

$$100Es=232.64+0.3051(\sigma-270)+0.2862(W-2190) \quad (6)$$

Es：圧縮強さの1/4の応力レベルでのヤング率（$\times10^5 kg/cm^2$）

σ：圧縮強さ（kg/cm^2）

W：供試体の単位重量（kg/m^3）

結果は有効数字3桁に丸めること。Esの測定2日前取出し、ペーパーゲージをその翌日貼って、3日目にテストをした。1つの配合について、2及至4個の供試体の平均値をとってある。ペーパーゲージは15×30 cmの円柱供試体の側面に対称的に2枚貼り、左右の歪差が30%以上あるものは採用しなかった。σとWとはEs測定用供試体と同時に製作した供試体をテスト日にとり出したものの平均値である。従ってEs測定用供試体の強度や単位重量ではない。(6)式と実測値との最大誤差は約11%である。(6)式は湿潤供試体の値を示すものであり、空気中で乾燥したコンクリートのヤング係数は(6)式において　W＝2150～2130kg/m^3としたものか、(6)式においてW＝2190kg/m^3とおいてさらに約10%程度減じた次式

$$100Es(\sigma/4)=209.4+0.2746(\sigma-270) \quad (7)$$

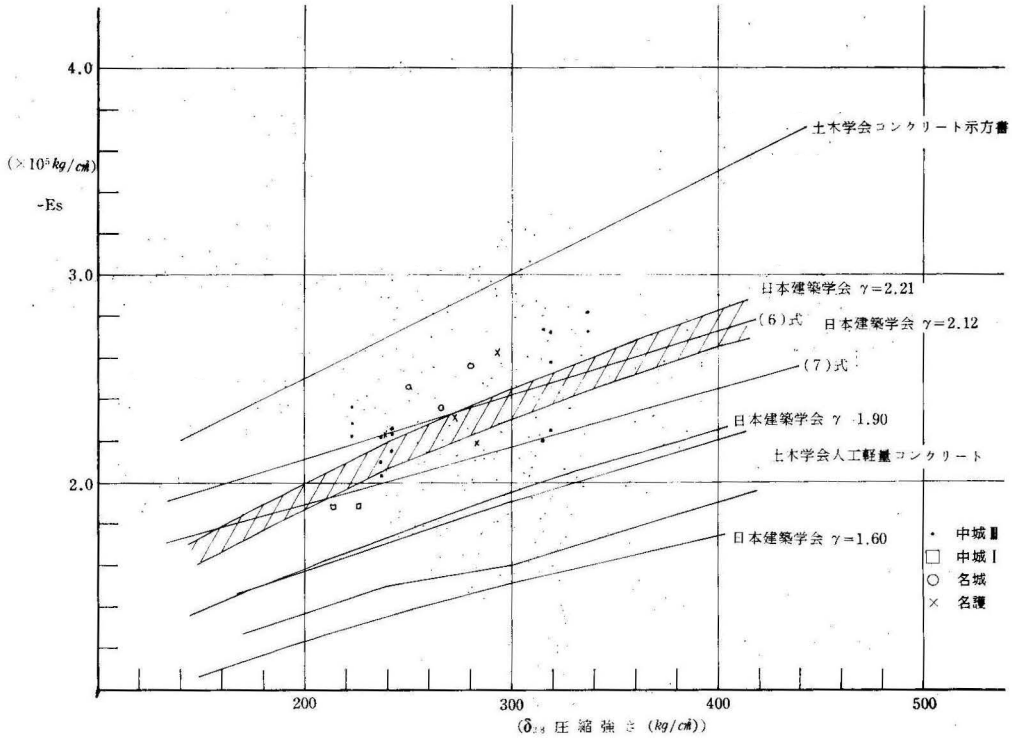
を実用式と考えた方がよい（図－7参照）。

2）　さんご砂利のEsに対しては粗骨材の種類の影響も大きいが、これは比重・粒度・最大寸法が違っているために単位重量が大きく違ってくるためと考えている。同一強度で比較すると、ヤング率は名城→名護→中城の順になる。上の(6)、(7)式は粗骨材の種類に関せず適用できる。

3）　単位粗骨材量または細骨材率の影響も或程度みとめられる。一般に同一粗骨材を使用した場合、同一水セメント比では単位粗骨材量が多い程Esは大きくなる。この点は前報[3]で述べた圧縮強度とは逆の現象である。勿論、一定限度内での話であり、砕石コンクリートのEsについても同様な傾向がみられる。

4）　さんご砂利の比重は2.2～2.35位で普通の粗骨材と人工軽量粗骨材との中間位であり、Esもその中

図－7　さんご砂利コンクリート　　$Es\left(\frac{\sigma}{4}\right)$～$\sigma_{28}$関係



間位の値となっている（図－7参照）。天然軽量骨材のEsと比較した場合、さんご砂利の値はかなり大きい。

5）　建築学会の式[9]またはＡＣＩの式[10]はやや過小の値を与えるが、係数を変れば適用可能と考える（図－7）。この点は砕石コンクリートの場合[11]と異なる。次式が割合よく適合する。

$$Es=4800\gamma^{1.5}\sqrt{\sigma} \qquad (8)$$

γ：コンクリートの単位重量（t/m^3）

σ：コンクリート強度（kg/cm^2）

6）　静・動ヤング係数の関係は既報[3]でもふれているが、大体において次の比率の関係にある。

Ed	Es（σ/4）	Es（σ/3）	Es（σ/2）
100	91	89	85
	(83～98)	(81～96)	(78～95)
110	100	88	84

ただし、Edは湿潤供試体の値であり、Esは2日間自然乾燥供試体の値である。勿論、EdとEsは同一供試体の値でなく、同時に製作した多くの別々の供試体の平均値の比率である。

〔動ヤング係数Edの場合〕

1）　さんご砂利の動ヤング係数についても前報で報告されているが、前報[3]の分のデーターも含めて、解明された事項について報告する。

さんご砂利の動ヤング係数も静ヤング係数と同じ様に種々の要因によって変動するが、やはり圧縮強度と単位重量の影響が最も大きい。粗骨材の種類の影響もみとめられるが、これは比重・最大寸法・粒度等が違うため、単位重量に相違がでてくるためと、種類によって粒形や硬軟（骨材としてのヤング率）が異なるため、同一水セメント比でも強度が違ってくるためと考えられる。

2）　Edを測定する供試体は15×30cmの円柱供試体で、圧縮試験を行う直前にEdを測定した。従って湿潤供試体の値であり、気乾コンクリートのEdはもう少し小さいものと考えている。表－4に最小2乗法で計算したρ（圧縮強さ）～W（単位重量）～Ed関係式を種々のさんご砂利について一括して表示しておく。この式は大気中で自然乾燥したコンクリートにもそのまま適用できると考えている。その理由は、砕石コン

クリートの場合の同様な式[11]が乾燥供試体にもよく適合したからである。砕石コンクリートの場合、気乾供試体は強度は殆んど変らず、単位重量は水中養生供試体にくらべて30kg/m^3位少なく、その分だけEdは減少している。個々のさんご砂利の種類に応じて対応する式番号の式がよく適合するが(13)、(14)式も割合よく適合する。ごく特殊の場合を除いて上の2式の実測値に対する誤差は最大で数%の程度である。ただし、名護さんご砂利に対しては(13)式の常数項を256.35に名城さんご砂利に対しては267.45にした方が一層よく適合する。

3）　前報[3]において、Edとσ_{28}との間にはさんご砂利の種類に応じてほぼ直線関係が成立すると言うことを述べたが、表－4の式において、単位重量の平均値を挿入すれば、たしかに近似的に両者の間に直線関係が成立する。ただし、その場合、強度が大きい時はやや過小、強度が小さいときはやや過大の値を与えることになる。参考のために表－4の各さんご砂利コンクリートの単位重量の平均値を示しておく。

表－4　さんご砂利コンクリートの動ヤング係数推定式

粗骨材の種類	Ed　表示式	式番号
名護さんご砂利	$100Ed=256.44+0.1837(\sigma-280)+0.3443(W-2200)$	(8)
名城さんご砂利	$100Ed=267.52+0.1753(\sigma-280)+0.3438(W-2200)$	(9)
中城Ⅰさんご砂利	$100Ed=260.48+0.1202(\sigma-280)+0.5495(W-2200)$	(10)
中城Ⅱさんご砂利	$100Ed=251.97+0.2104(\sigma-280)+0.1610(W-2200)$	(11)
中城Ⅲさんご砂利	$100Ed=352.90+0.1743(\sigma-380)+0.4352(W-2200)$	(12)
上記さんご砂利すべてに共通	$100Ed=260.17+0.1846(\sigma-280)+0.3674(W-2200)$	(13)
本部砕石(20㎜)とさんご砂利すべてに共通	$100Ed=264.55+0.2420(\sigma-280)+0.5890(W-2200)$	(14)

注　表示式は有効数字3桁に丸め単位は$\times10^5 kg/cm^2$とすること。
σ　：　供試体強度（kg/cm^2）
W　：　供試体単位重量（kg/m^3）
(11)式は7%迄の空気量のAEコンクリートを含む。
(12)式はいしぐう入りコンクリートが約半分を占める。

名護さんご砂利コンクリート　2207kg/m^3
名城さんご砂利コンクリート　2210kg/m^3
中城Ⅰさんご砂利コンクリート　2180kg/m^3
中城Ⅱさんご砂利コンクリート　2185kg/m^3
中城Ⅲさんご砂利コンクリート　2190kg/m^3

〔今回のさんご砂利コンクールの強度〕

さんご砂利コンクリートの強度も水セメント比の影響が最も大きいのであるが、その他、単位粗骨材量または細骨材率、さんご砂利の特性（強さ、形状、表面状況等）によっても或程度変動する。従ってC/W～σ_{28}関係はさんご砂利毎に実験によって定めなければならない。このことは前報[3]でも述べてある。今回のさんご砂利のC/W～σ_{28}関係式は次の通り

$$\sigma_{28}=191.2\ \ C/W-108.6 \qquad (15)$$

これは既報[1]の(2)′式に近い。前報[3]の諸式の値をすべて下回っている。その有様は図－6に示されている。

7. むすび

さんご砂利コンクリートについて研究を開始した時点と違い、現在（1977年）ではさんご砂利はごく小規模の工事でも使われなくなっている。従って、それについての研究成果を発表するのは無駄な様な感じもしないでもない。今回発表のブリージングを減少させるために「いしぐう」を使用した時の効果や、そのために発生した強度の増加等は興味ある事項であり、砕石コンクリートへの適用も考えられるので、あえて発表した次第である。

鉱物質微粉末がコンクリートのワーカビリチー、ブリージング、強度等に及ぼす影響については山崎寛司氏のすぐれた研究[12]があるが、実験を行った時点では文献を入手できておらず、また実験そのものが不慮の災害で中断したため、山崎氏の研究との比較と云う

ことも行えず、単に現象的に考察するにとどまってしまった。

砕石コンクリートへの「いしぐう」の適用は他日を期したいと思っている。

なお実験の実施に協力してくれた、本学助教授和仁屋晴讙氏に感謝する。

参 考 文 献

1） 具志幸昌、和仁屋晴讙：沖縄本島におけるコンクリートの強度および2、3の性質、琉球大学理工学部紀要工学編第1号、pp.71～80、1968年5月

2） 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、1969年5月

3） 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、1970年6月

4） 上間清：沖縄本島に産する海砂利の分布および物理的性質、琉球大学農家政工学部学術報告、第11号、pp.223～233、1964年12月

5） 平賀謙一、篠沢和久：軽量コンクリートの施工、pp.86～94、丸善、1960年

6） 上原方成：路盤の安定処理工法に関する基礎的研究(Ⅱ)—沖縄のコーラルリーフロック、その1、琉球大学理工学部紀要工学編、第3号、pp.61～90、1970年6月

7） 具志幸昌、和仁屋晴讙：沖縄のコンクリートの基本的性状に関する研究、そのⅠ、琉球大学理工学部紀要工学編、第2号、pp.67～110、1969年4月

8） 土木学会：コンクリート標準示方書、昭和49年度版、P.48、1974年9月

9） 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp.51～54、1976年3月

10） ACI Committee 209、Subcommittee 2：Prediction of Creep、Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures、ACI Publication、SP－27、P.54、1971

11） 具志幸昌：沖縄のコンクリートの基本的性状に関する研究、そのⅡ、琉球大学理工学部紀要工学編、第15号（発表予定）

12） 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリチーおよび強度におよぼす効果に関する基礎研究、コンクリートライブラリー、第8号、土木学会、1963年7月