

港 湾 技 研 資 料

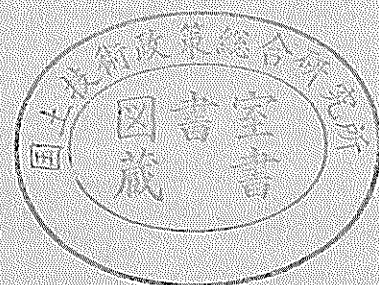
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 240 Sept. 1976

コンクリート用骨材としての沖縄産骨材の特性について

博 明
関 大
信 即

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. 予 え が き	3
2. 使 用 材 料	3
3. 粗 骨 材	5
3.1 粗 骨 材 の 概 要	5
3.2 粗骨材の基礎的性質	5
3.3 粗骨材の問題点および対策	8
4. 細 骨 材	8
4.1 細 骨 材 の 概 要	8
4.2 細骨材の基礎的性質	9
4.3 細骨材の安息角およびフロー値	12
4.4 細骨材の問題点および対策	12
5. モ ル タ ル	13
5.1 試 験 項 目	13
5.2 試験結果および考察	14
6. コ ン ク リ ー ト	15
6.1 コンクリートの配合および試験項目	15
6.2 試験結果および考察	15
6.3 沖縄における現地配合との比較	17
6.4 コンクリートの問題点および対策	17
7. 結 論	19
8. あ と が き	19
参 考 文 献	19

Properties of Aggregates in Okinawa for Use of Concrete Materials

Hiroshi SEKI *

Nobuaki OTSUKI **

Synopsis

Crushed stone and sea sand are generally used for concrete materials in Okinawa because of no river adequate to obtain ordinal river aggregates. It is said the properties of aggregates in Okinawa is much inferior to that of normal aggregates.

The paper discusses the problems and the countermeasures on aggregates of Okinawa, cement mortar and concrete used with the aggregates, due to the basic experimental work.

The testing items are specific gravity and water absorption for aggregates, compressive strength for concrete and so forth.

The experimental results indicate the following characteristics regarding aggregates and concrete.

- (1) Coarse aggregates have generally angular and flaky shape, and solid volume percentage shows lower.
- (2) Fine aggregates have the properties of lower specific gravity and larger water absorption.
- (3) Concrete used with aggregates show lower compressive strength and worse workability.

Recommended practices for using aggregates in Okinawa are as follows.

- (1) To higher solid volume percentage of coarse aggregates, by way of adopting the adequate crushers.
- (2) To combine with high quality materials such as crushed sand, with regards fine aggregates.
- (3) To increase unit weight of cement up to 50 to 70 kg pertaining to strength property of concrete.

* Chief of the Materials Laboratory, Structures Division

** Member of the Materials Laboratory, Structures Division

コンクリート用骨材としての沖縄産骨材の特性について

関 博 *
大 即 信 明 **

要 旨

沖縄県には、大きな河川がなく、河川産骨材の入手が困難であり、コンクリート用骨材として、砕石および海砂を用いている。これらの沖縄産骨材は、河川産骨材等と比較して、その品質はかなり劣る。

本文では、沖縄産骨材および沖縄産骨材を用いたコンクリートの基礎的試験を行ない、その問題点および対策を検討した。

試験項目としては、骨材の比重、吸水量試験、コンクリートの圧縮強度試験などである。

試験結果より、問題点としては、(1) 粗骨材は一般に粒形が悪く実積率が小さい、(2) 細骨材は比重が小さく吸水量が大きい、(3) コンクリートは強度が低くワーカビリティが悪い、などが明らかとなった。それらの対策として考えられることは、(1) 粗骨材は実積率を高くする、(2) 細骨材は良質な砕砂等を混合して使用する、(3) 一部沖縄産骨材を用いたコンクリートにおいては、河川産骨材を用いたコンクリートよりも単位セメント量を増加させる、などである。

1 ま え が き

我が国においては、コンクリート用骨材として、主に良質な河川産骨材を使用してきた。しかし、ここ数年來の骨材需要の増加、および河川産骨材の採取規制等により骨材事情は年々悪化している。今後、河川産骨材等良質な骨材を経済的に入手しがたくなる傾向は、ますます強くなるものと思われる。しかるに、今後、コンクリート工事を施工する際、品質のさほど良くない骨材でもうまく使用することが、是非とも必要となる。

このように、品質のさほど良くない骨材を使用せざるを得ない典型的な地域が、沖縄県である。沖縄県には、大きな河川がなく、コンクリート用骨材として、砕石および海砂を使用している現状であり、その品質にはいろいろな問題点があると言われている。

本研究においては、沖縄産骨材の基礎的性質を、他の一般に使用されている骨材と比較するとともに、沖縄産骨材を使用したモルタル、コンクリートの圧縮強度等の基礎的性質を検討した。それらの試験結果より、コンクリート用骨材としての沖縄産骨材の種々の問題点を明らかにし、その対策を検討した。

なお、本研究に当っては、沖縄総合事務局港湾計画課、那覇港工事事務所、平良港工事事務所、石垣港工事事務所の関係者の方々、ならびに当研究室堀井技官に多大の

御助力を賜った。謹んで感謝の意を表する次第である。

2 使用材料

(1) セメント

セメントは、普通ポルトランドセメント（秩父セメント社製）、B種高炉セメント（秩父セメント社製）、および早強ポルトランドセメント（三菱セメント社製）を使用した。それらの物理的性質を表-1に示す。

(2) 骨材

粗骨材は、本部砕石（名護産）、中南部砕石（読谷産）、宮古島砕石（砂川、友利、野原産）、石垣島砕石（大里、石底山産）、および相模川砂利（神奈川県産）を使用した。

細骨材としては、伊是名砂（伊是名産）、中南部砂（金武産）、宮古島砂（吉野産）、石垣島砂（白保産）、富士川砂（静岡県産）、および標準砂（豊浦産）を使用した。用いた沖縄産骨材の産地は図-1に示すとおりである。

(3) 練りませ水および混和剤

練りませ水は、水道水を使用した。

混和剤としては、ボゾリスル 5 L（20% 溶液として使用）およびボゾリスル 303（1% 溶液として使用）を用いた。

* 構造部 材料施工研究室長

** 構造部 材料施工研究室

表-1 セメントの物理的性質

セメントの種類	比重	粉末度		凝 結			安定性	フロー値 (mm)	強 さ							
		比表面積 (cm^2/g)	88 μ 残分 (%)	水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)			曲げ強さ (Kg/cm^2)				圧縮強さ (Kg/cm^2)			
									1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
普通ポルトランドセメント	3.17	3,140	1.1	27.7	2-48	4-05	良	257	-	36.8	53.5	73.2	-	145	243	412
B種高炉セメント	3.06	3,650	0.9	29.1	3-25	4-46	良	256	-	31.0	43.7	72.9	-	118	207	415
早強ポルトランドセメント	3.13	4,260	0.5	28.7	2-38	3-58	良	259	30.9	53.6	66.8	82.0	121	247	350	482

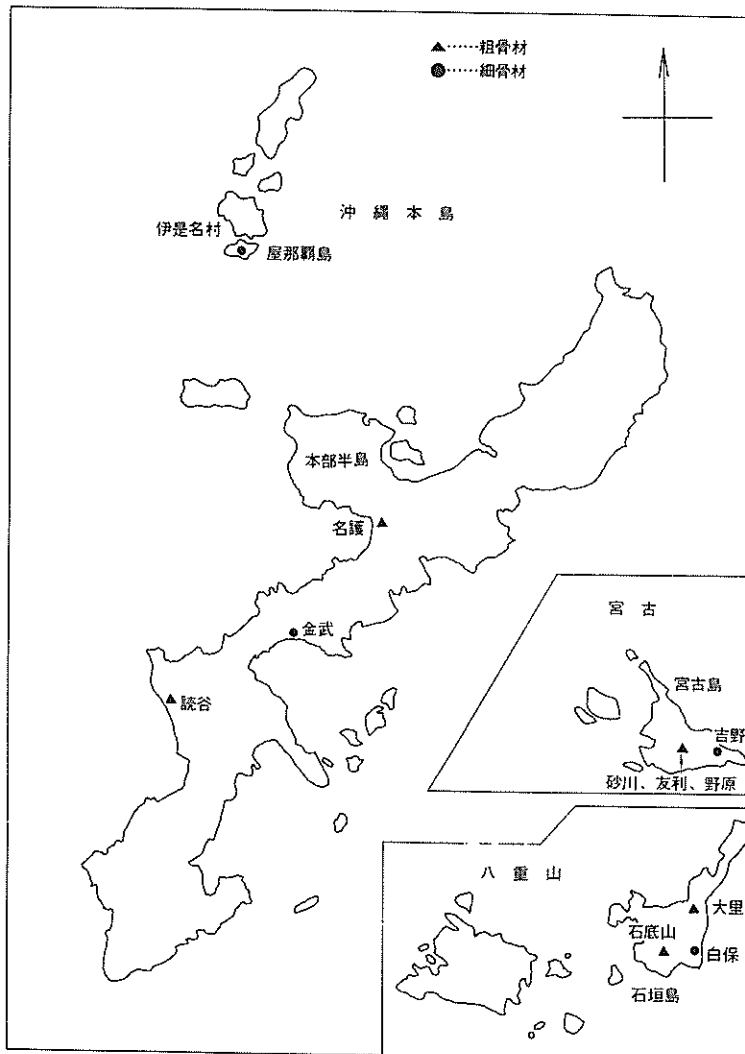


図-1 使用した沖縄産骨材の産地

3 粗骨材

3.1 粗骨材の概要

沖縄で使用される主な粗骨材の石質は、石灰質である。その種類は、沖縄本島中南部、宮古島等に広く分布している琉球石灰岩、沖縄本島北部および石垣島に分布している古生層石灰岩（本部石灰岩）があり、それらを碎石として使用している。

(1) 琉球石灰岩碎石

沖縄本島中南部等に産する第三紀の新しい石灰岩を原石としている。多孔質で比重がやや小さく（約2.5）比較的軟質である。沖縄本島においては、一部を碎石として空洞コンクリートブロック等に用いている他は、構造用コンクリート骨材としては用いていない。しかし、一部の離島、例えば宮古島においては、他に骨材がないという理由から、構造用骨材として用いている。

本研究においては、琉球石灰岩碎石として、中南部碎石および宮古島碎石を用いたが、両者とも粒形は悪く、特に中南部碎石は表面に軟かい部分があり、その部分がかもろく感じられた。

(2) 古生層石灰岩（本部石灰岩）碎石

現在、沖縄県で最も多く使用されている粗骨材であり、沖縄本島本部半島および石垣島において産出する。岩質は緻密堅硬で、比重は2.7台と大きく、破断面はなめら

かてつやがあるが、20mm以下のものは形状が不良で、偏平、細長いものが多く、実積率は60%を下回っている。

3.2 粗骨材の基礎的性質

沖縄産粗骨材の基礎的性質を把握するために、ふるい分け試験、比重試験、吸水量試験および実積率試験を行なった。

ふるい分けはJIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」により試験を行ない、比重および吸水量は、JIS A 1110「粗骨材の比重および吸水量試験方法」により試験を行なった。さらに、実積率はJIS A 1104「骨材の単位容積試験方法」により試験を行なった。

ふるい分け試験による粒度曲線を図-2～6に示した。

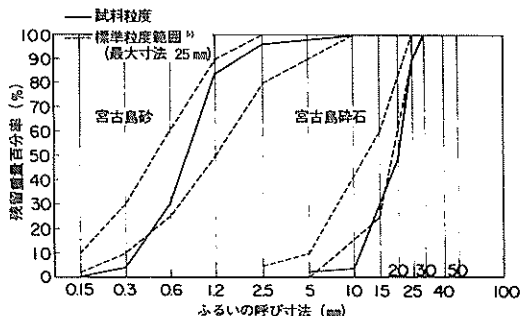


図-4 宮古島砕石および宮古島砂粒度曲線

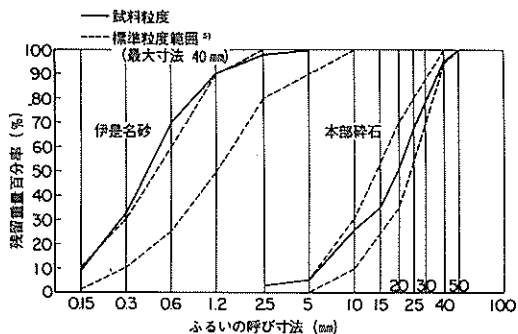


図-2 本部砕石および伊是名砂粒度曲線

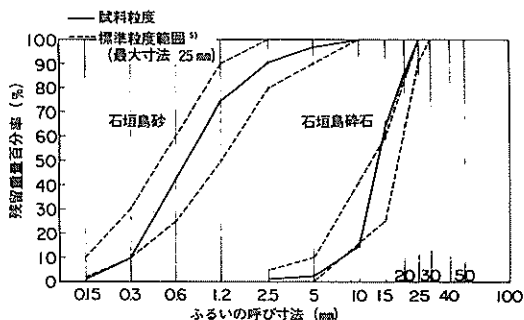


図-5 石垣島砕石および石垣島砂粒度曲線

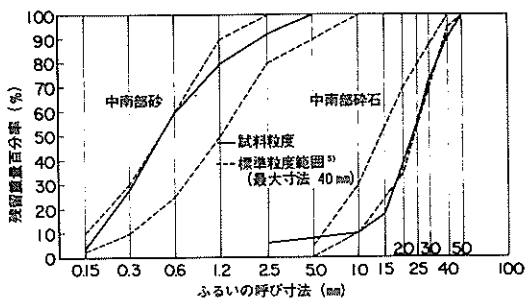


図-3 中南部砕石および中南部砂粒度曲線

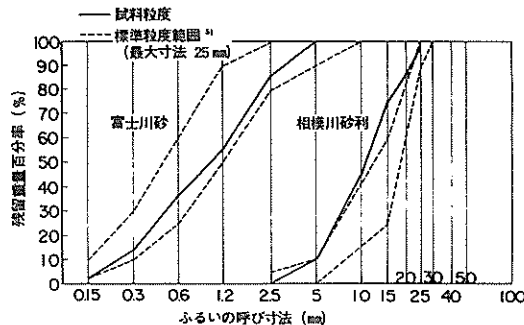


図-6 相模川砂利および富士川砂粒度曲線

表-2 粗骨材の物理試験結果

粗骨材の種類	最大寸法 (mm)	粗粒率	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m³)	実積率 (%)	空隙率 (%)	粗骨材のすりへり減量(%)*	安定性試験 (%) *
本部砕石	40	7.26	2.72	0.12	1520	56.0	44.1	24.0	2.0
中南部砕石	40	7.35	2.41	3.99	1270	54.8	45.0	29.5	24.0
宮古島砕石	25	7.46	2.46	2.74	1330	55.6	44.5	28.0	9.0
石垣島砕石	25	6.96	2.70	0.54	1480	55.1	44.9	29.0	8.2
相模川砂利	25	6.82	2.69	1.75	1730	64.3	35.7	—	—

(注) * 参考文献 1) による試験値
 なお、試験値は3回の平均値である。

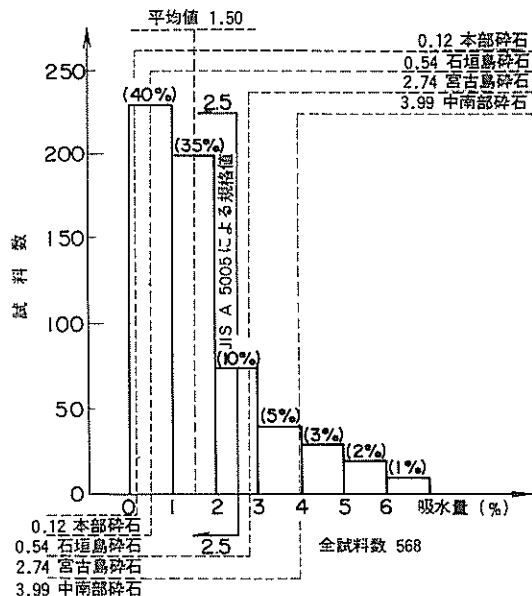
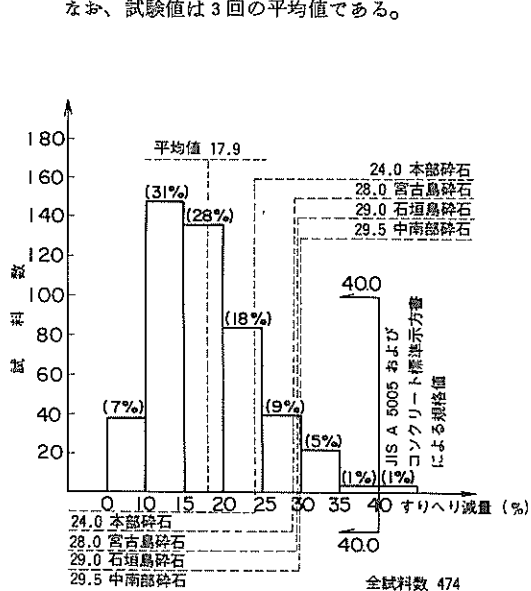


図-7 ロサンゼルス試験機による砕石のすりへり量分布図

図-9 砕石の吸水量の分布図

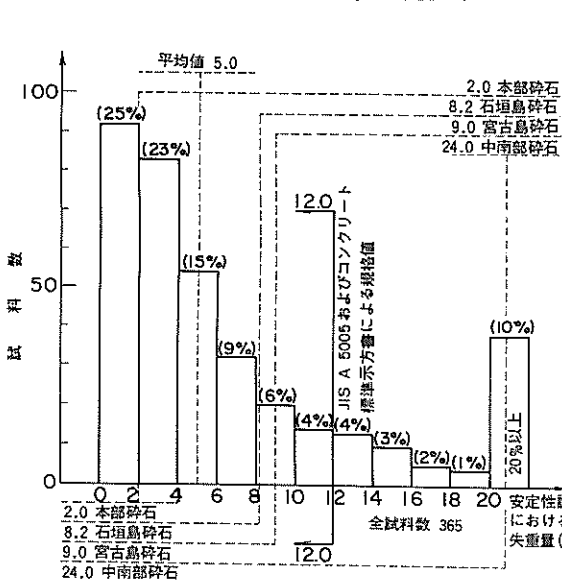


図-8 砕石の安定性試験における損失重量の分布図

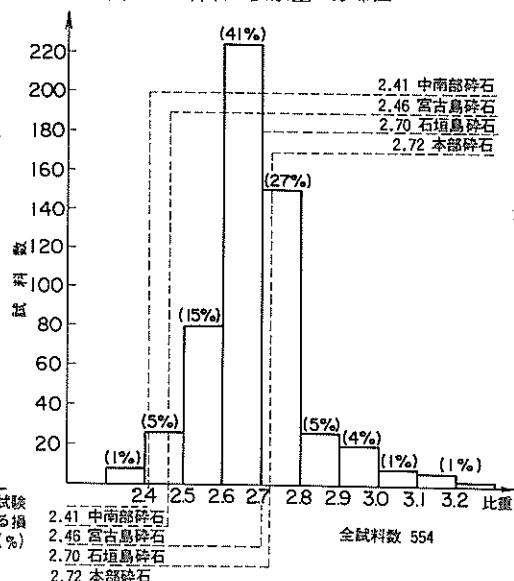


図-10 砕石の比重の分布図

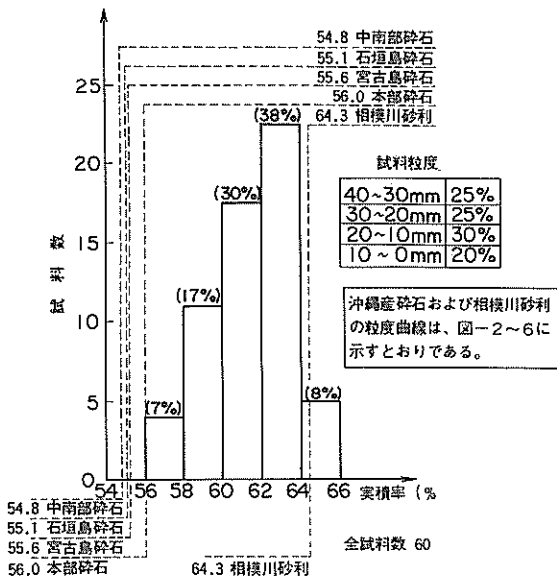


図-11 砕石の実積率の分布図

なお、コンクリートに同時に使用した細骨材の粒度曲線も併せて図示した。また、本試験結果および沖縄総合事務局資料¹⁾に記載されているすりへり減量および安定性試験結果を、表-2にとりまとめた。

沖縄産粗骨材が全国的にどの程度の骨材であるかを明確にするために、各地の砕石試験結果²⁾との比較を行った。図7~11はこれらの結果を示したものである。

図-7に、ロサンゼルス試験機によるすりへり減量の分布を示す。沖縄産粗骨材は、平均的なすりへり減量よりもやや大きな値を示しているが、JIS A 5005「コンクリート用砕石」および土木学会コンクリート標準示方書における規格値を満足しており、すりへり抵抗に関してはそれほど問題はないと思われる。

図-8に、砕石の安定性試験における損失重量の分布を示す。中南部砕石を除き、JIS A 5005 および土木学会コンクリート標準示方書の規格値を満足しており、特に本部砕石は良好な値を示している。中南部砕石は、規格値のおよそ2倍の値を示し、かなり品質に問題があると思われる。

図-9に、砕石の吸水量の分布を示す。古生層石灰岩砕石（本部および石垣島砕石）が、全国的にみてもかなり低い良好な吸水量を示すのに対し、琉球石灰岩砕石（中南部および宮古島砕石）は、JIS A 5005 の規格

値を満足していない。このことは、古生層石灰岩砕石が、緻密な構造をもち、琉球石灰岩砕石が多孔質であることを示すものと思われる。

図-10に、砕石の比重の分布を示す。吸水量と同様に、古生層石灰岩砕石と琉球石灰岩砕石との違いが明確にできており、琉球石灰岩砕石は JIS A 5005 の規格値を満足していない。

図-11に、砕石の実積率の分布を示す。沖縄産粗骨材は、他の砕石と粒度分布が異なり、適切な比較とは言えないが、4種ともに非常に低い実積率を示している。この原因は、写真-1~5に示されるように、粒形が悪いことに起因すると思われる。

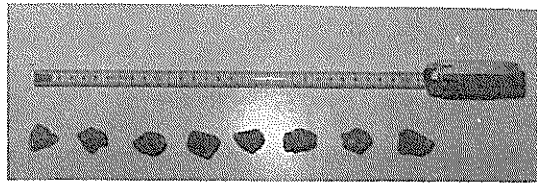


写真-1 本部砕石の粒形

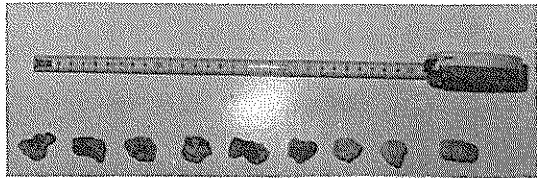


写真-2 中南部砕石の粒形

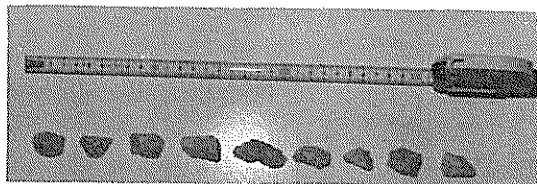


写真-3 宮古島砕石の粒形

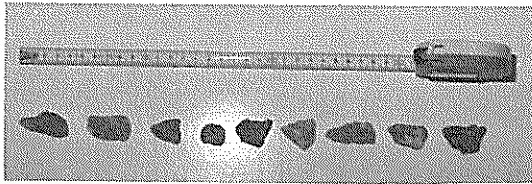


写真-4 石垣島砕石の粒形

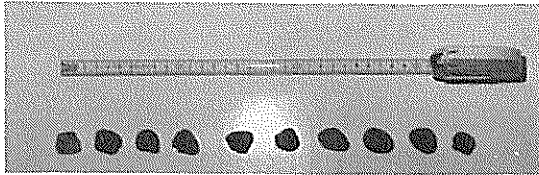


写真-5 相模川砂利の粒形

3.3 粗骨材の問題点および対策

沖縄産粗骨材4種に共通した問題は、粒形および実積率が悪いことである。このような骨材を使用して、所要のワーカビリティおよびコンシステンシーをもつコンクリートを得るためには、モルタル量を増加させる必要がある。すなわち、単位セメント量を変えずに、所要のワーカビリティを得ようとするれば、単位水量を増さねばならず、強度の低下をまねく。また、強度およびワーカビリティを同一とすれば、単位セメント量を増加させねばならない。さらに、強度の面からは、粒形が悪いために水分が骨材下面に溜りやすく、骨材下面の欠陥が著しくなり、特にモルタルブリーディングの多い場合、強度が低下することが考えられる。(図-12)

粒形および実積率の悪い原因は種々考えられる。まず、原石自体の構造によることが考えられるが、次に考えられるのが、砕石機の影響である。現在、沖縄県においては主としてジョークラッシャーが使用されているが、そ

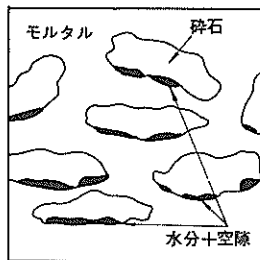


図-12 骨材下面欠陥概要図

表-3 砕石機の種類による実積率²⁾

砕石機の種類	川砂利	砕石			
		石灰石	硬質砂岩	安山岩	玉石砕石
ジョークラッシャー	70.0	60.9	60.3	62.4	61.6
インペラブレーカー		61.9	62.6	63.3	62.6

実積率(%)

の性能は必ずしもよくない。表-3にジョークラッシャーとインペラブレーカーとの性能を比較した²⁾ものを見すが、インペラブレーカーを使用したものの実積率が、約1~2%多いことが認められる。このため砕石機としてインペラブレーカーまたはそれと同等以上の性能の砕石機の使用が望まれる。

次に、琉球石灰岩砕石(中南部砕石および宮古島砕石)の比重および吸水量が、JIS A 5005および土木学会コンクリート標準示方書の規格値よりかなり悪いことが問題である。このような骨材は、一般に強度が低く、それらを使用したコンクリートの耐久性は低下する。骨材原石の圧縮強度を表-4に示す。古生層石灰岩の強度はほぼ問題はないが、琉球石灰岩の強度は低い。

このように、琉球石灰岩には問題が多いと思われ、可能な限りは、使用しないことが望まれる。

表-4 沖縄産粗骨材の圧縮強度¹⁾

種類	圧縮強度 (Kg/cm ²)	
	最大	最小
本部砕石	746	528
中南部砕石	297	138
宮古島砕石	653	205
石垣島砕石	574	451

(注) 試料は原石より成形したφ5×10cmの円柱供試体

4 細骨材

4.1 細骨材の概要

細骨材は、沖縄本島においては大半が海砂であり、海浜、洲等に多量に滞積している。また、宮古島、石垣島あるいは北部の離島においては陸上部に滞積しているが、貝殻片、塩分等を含み実質上海砂である。沖縄県では、これらを採取して使用しているのが現状である。また、砂の質も琉球石灰岩粒子、千枚岩粒子とあり、粒度、形状も多様で、地域においても種々のものがある。本研究で使用した4種の細骨材について概略を述べると以下のとおりである。

(1) 伊是名産細骨材

沖縄県北部の伊是名村屋那覇島に産し、陸上部に滞積

したものである。石質は、石灰岩粒子と思われ¹⁾非常に白っぽいものである。

(2) 中南部産細骨材

沖縄本島金武村に産し、陸上部に滞積したものである。石質は、千枚岩粒子と思われ¹⁾黒っぽく、貝殻片を多く含んでいる。

(3) 宮古島産細骨材

宮古島吉野の海浜に産するものである。石質は、石灰岩粒子と思われ¹⁾黄かっ色で丸味をおびている。

(4) 石垣島産細骨材

石垣島白保の海浜に産するものである。石質は、石灰岩粒子と思われ¹⁾淡乳かっ色である。

4.2 細骨材の基礎的性質

沖縄産細骨材の基礎的性質を把握するために、ふるいわけ試験、比重試験、吸水量試験、実積率試験、洗い試験、有機不純物試験および塩分含有量試験を行なった。

ふるい分けは、JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」、比重および吸水量は、JIS A 1109「細骨材の比重および吸水量試験方法」、実積率は、JIS A

1104「骨材の単位容積重量試験方法」、洗い試験は、JIS A 1103「骨材の洗い試験」、有機不純物試験は、JIS A 1105「砂の有機不純物試験方法」、塩分含有量は、JASS5により、それぞれ試験を行なった。これらの試験結果を表-5に示す。

粗骨材と同様、沖縄産細骨材が全国的にみてどの程度の骨材であるかを明確にするために、各地の海砂試験結果³⁾との比較を行なった。この結果は、図-13~14に示す通りである。

図-13に、全国の海砂の比重分布を示す。沖縄産細骨材は、非常に軽い細骨材であることがわかる。

図-14に、全国の海砂の吸水量分布を示す。沖縄産細骨材の吸水量は非常に高く、軽量細骨材の吸水量に近い値を示している。

また、実積率もすべて60%を下回っており、かなり低い値である。このことは、粗骨材と同様に、細骨材においても、粒形にかなりの特徴があることが予想された。

写真-6~7および図-15~19に万能投影機(Nikon V-16A型)を用いて求めた沖縄産細骨材の粒形を示した。

表-5 沖縄産細骨材の物理試験結果

細骨材の種類	粗粒率	洗い試験 (%)	表乾比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (g/m ³)	実積率 (%)	空隙率 (%)	有機不純物	塩分含有量 (%)
伊是名砂	1.99	2.73	2.45	6.70	1380	56.9	43.1	合格	0.00
中南部砂	2.33	2.06	2.45	5.78	1210	52.0	48.0	合格	0.00
宮古島砂	2.86	0.65	2.40	6.85	1380	58.5	41.5	合格	0.01
石垣島砂	2.87	1.68	2.40	6.70	1310	57.2	42.8	合格	0.00
富士川砂	2.93	2.89	2.58	2.81	1650	65.3	34.7	—	—

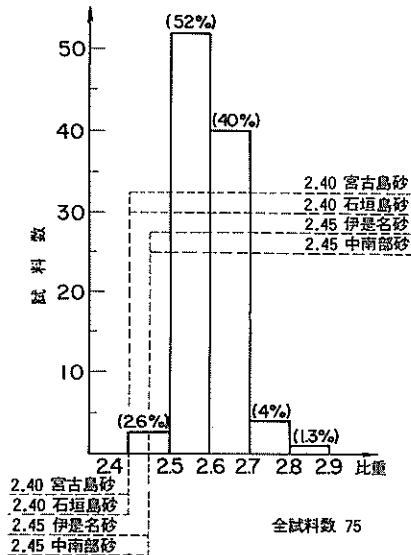


図-13 海砂の比重の分布図

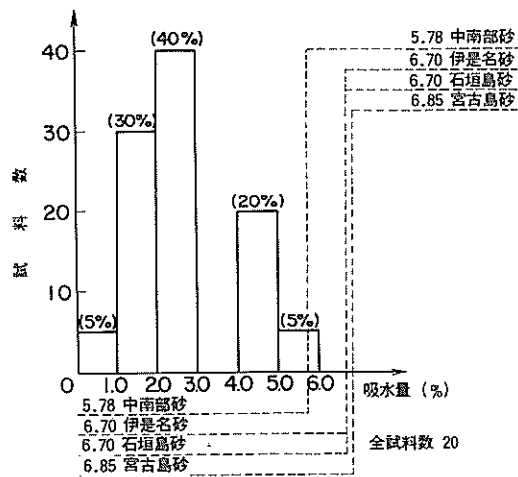


図-14 海砂の吸水量の分布図

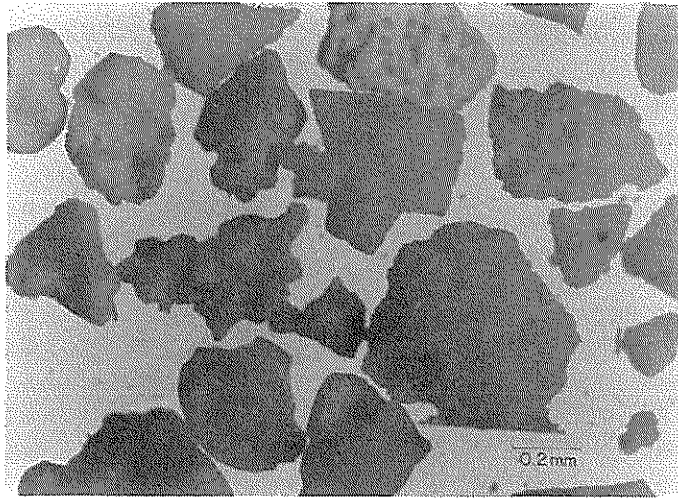


写真-6 中南部砂投影写真

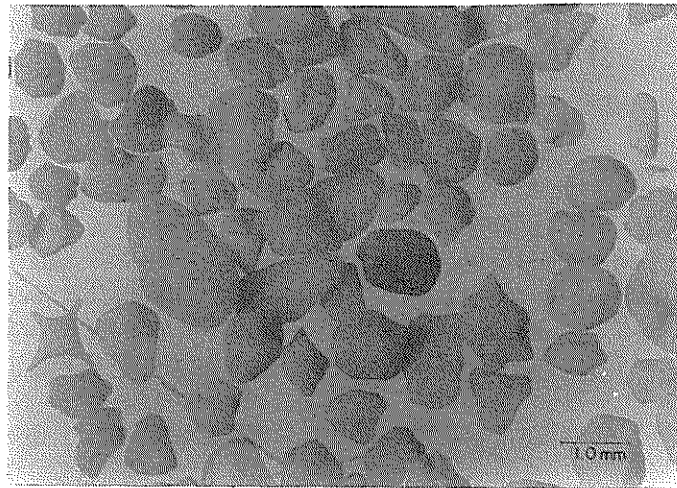


写真-7 宮古島砂投影写真

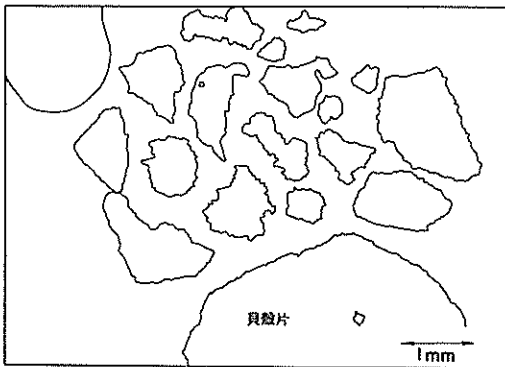


図-15 中南部砂投影図

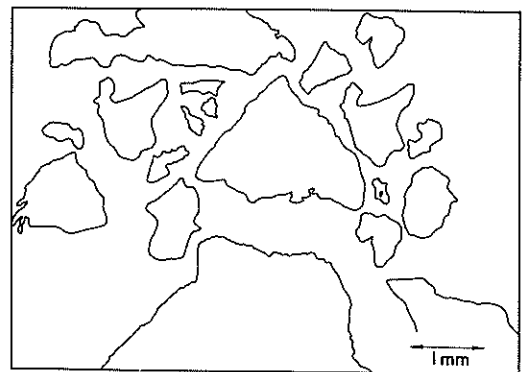


図-16 伊是名砂投影図

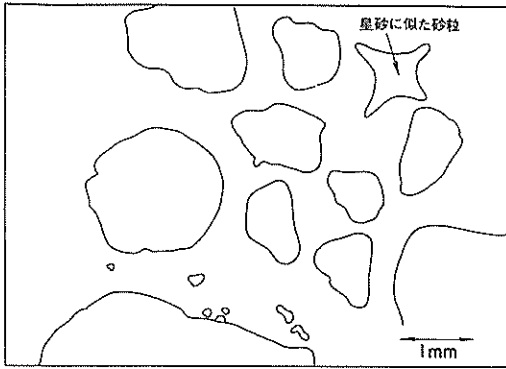


図-17 宮古島砂投影図

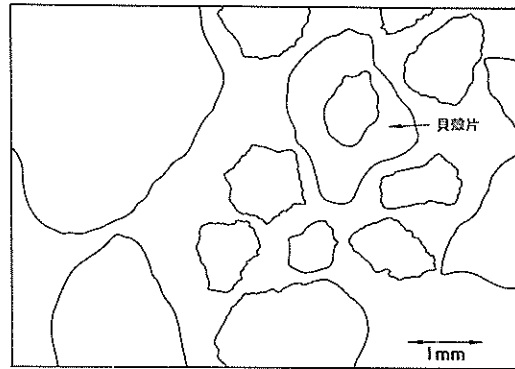


図-18 石垣島砂投影図

中南部砂および伊是名砂は、図-15～16 に示されるごとく粒子表面の凸凹がはげしく、特に中南部砂は写真-6 に示されるように多孔質であることが明瞭に認められた。また、中南部砂はかなり貝殻片を含んでいた。図-17～18 に示されるように、宮古島砂、石垣島砂の表面状態は、図-19 に示される富士川砂の表面状態と比較して遜色ないが、それぞれに特色のある貝殻片を含んでいた。

また、洗い試験、有機不純物試験に関しては、ほぼ問題ないようである。

以上をまとめると、沖縄産細骨材は、多孔質で比重が小さく、不純物はそれほど含んでいないと言える。また、塩分含有量については、採集場所、貯蔵方法、天候等で全く異なるので表-5 に示した値が、平均的な値であるとは言い難い。

表-6 に、種々の報告書にみられる沖縄産細骨材の比重、粗粒率、吸水量および塩分含有量の比較を示す。これによると、報告書ごとかなりバラツキであり、同一産地におけるものでも、かなりバラツキがあるものと思われる。

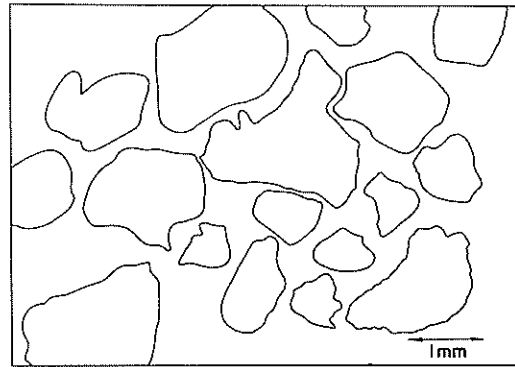


図-19 富士川砂投影図

表-6 種々の報告書に見られる沖縄産細骨材の性質

細骨材の種類	比 重				粗 粒 率				吸 水 量 (%)				塩 分 含 有 量 (%)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
伊是名砂	2.51	2.54	2.45	2.45	2.71	2.49	2.45	1.99	4.85	4.06	—	6.70	0.10	0.01	0.21	0.00
中南部砂	2.57	2.48	2.44	2.45	1.62	2.48	2.68	2.33	2.80	4.53	2.44	5.78	0.00	0.19	0.02	0.00
宮古島砂	2.45	—	—	2.40	3.24	—	—	2.86	5.97	—	—	6.85	0.27	—	—	0.01
石垣島砂	2.44	—	—	2.40	3.08	—	—	2.87	6.53	—	—	6.70	0.00	—	—	0.00

(注) I : 文献 1) による試験値
 II : 文献 6) による試験値
 III : 現地生コン業者による
 IV : 本研究による試験値

4.3 細骨材の安息角およびフロー値

4.2 で述べたように、沖縄産細骨材は、種々の特性を有しており、それらの粒形特性を安息角および乾燥砂のフロー値を測定することにより、把握することを試みた。それぞれの試験方法は以下の通りである。

安息角測定法：図-20 に示す漏斗に試料を入れ、上面をならしたのち、試料を板の上に流下させ、砂のひろが

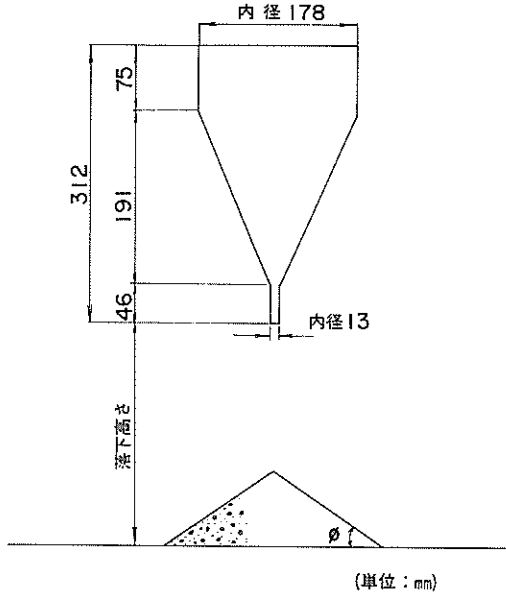


図-20 安息角の測定方法

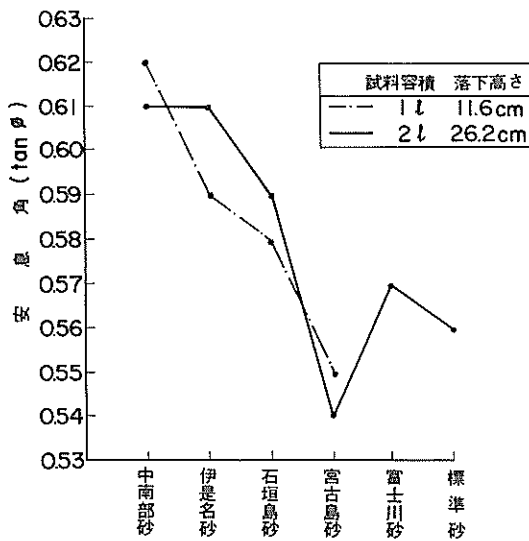


図-21 細骨材の種類と安息角

りと高さにより、安息角 ($\tan \phi$) を求めた。試料の量を 1 ℓ, 2 ℓ と変化させ、また、落下高さを 100 mm, 116 mm および 262 mm と変化させ測定を行なった。

乾燥砂フロー値測定法⁴⁾：セメント試験用フローテーパー (JIS R 5201) と砂の表乾用フローコーン (JIS A 1109) を使用して、砂をコーンに詰め (一層 25 回突き)、モルタルのフロー値試験と同じ要領で砂のフロー値を測定した。なお、試料は前もって約 24 時間乾燥炉へ入れ、その後約 2 時間程度室内へ放置しておいたものを使用した。

以上 2 つの試験結果および粗粒率を表-7 に示す。

図-21 に、沖縄産砂の種類と安息角の関係を示す。これによると、概略、粒形の悪いと思われる砂の安息角 ($\tan \phi$) が大きな値を示す傾向が認められる。

図-22 は、沖縄産細骨材および種々の細骨材 (山砂、川砂および砕砂) の安息角⁴⁾ と実積率との関係を示したものである。これによると、沖縄産細骨材とその他の細骨材を別個に考えれば、実積率が増加すれば、安息角 ($\tan \phi$) が低下する傾向がうかがえる。

このように、沖縄産細骨材は、他の細骨材と別個の群を形成しており、他の細骨材に適用できる一般的な法則、理論が、そのまま沖縄産骨材には適用できないことが考えられる。この主な原因は、沖縄産骨材に共通している比重の小さいことおよび多孔質性のためではないかと考えられる。

表-7 細骨材の安息角、フロー値および粗粒率の測定結果

細骨材の種類	安息角 ($\tan \phi$)			フロー値 (mm)	粗粒率
	11.6 cm	20.0 cm	26.2 cm		
伊是名砂	0.59	0.57	0.61	181	1.99
中南部砂	0.62	0.58	0.61	191	2.33
宮古島砂	0.55	0.55	0.54	197	2.86
石垣島砂	0.58	0.56	0.59	197	2.87
富士川砂	—	—	0.57	205	2.93
標準砂	—	—	0.56	192	1.06

(注) ① 安息角測定時における砂の容積は 2 ℓ
 ② 落下高さは 11.6 cm, 20.0 cm および 26.2 cm
 ③ 上表はすべて試料 3 回の平均値

4.4 細骨材の問題点および対策

沖縄産細骨材 4 種に共通した問題点は、比重が極端に小さく、吸水量が大きいことである。このことは、細骨材が多孔性であることを示しており、中南部砂については写真-6 で明示されている。

細骨材の吸水量が多いと、コンクリート打設後にも、細骨材中に水分が残留している。このため、ペーストと細骨材の境界層の実質的な水—セメント比はかなり低下する。ペーストと細骨材の境界層はもとよりモルタル中の欠陥であるので、さらに、この層が弱くなり、コンクリートの強度および耐久性が低下することが考えられる。

さらに、一般には問題とはならない細骨材自体の強度にも疑問があると思われた。強度に関しては、5章においてモルタル強度の検討を行なう。粗骨材と同様に、単位水量が多いと、コンクリートの強度および耐久性の低下は、他の細骨材を用いた場合に較べて著しいと思われる。

個々の細骨材の粒形および粒度については、伊是名砂および中南部砂の粒形が悪く、宮古島砂がかなり単粒性で、伊是名砂を除き微粒子分が少ないことが認められた。さらに、表-6に示す如く、同一産地の砂でもかなり品質にバラツキがあると考えられる。

以上のことより、沖縄産細骨材は細骨材の品質として問題があるようであり、コンクリート構造物の種類や要求される強度によってはできるだけ使用量を少なくすることが望ましい。その方策の一つとしては、他の細骨材、例えば古生層石灰岩砂、または移入砂等と混入して使用することが考えられる。

また、沖縄産細骨材を使用する場合、その基礎的性質を確認することが望ましい。

表-8 モルタルの試験結果

細骨材の種類	ブリージング率 (%)	フロー値 (mm)	材令 7日 圧縮強度 (Kg/cm ²)	
			普通ポルトランドセメント W/C=0.65	早強ポルトランドセメント W/C=0.50
伊是名砂	1.15	270	107	236
中南部砂	1.23	227	112	238
宮古島砂	4.17	277	95	240
石垣島砂	1.89	286	102	326
富士川砂	0.95	276	108	334
標準砂	0.73	227	147	—

- (注) ① ブリージング率試験条件：室温 22℃, 湿度 66%
 ② モルタルフロー値試験条件：室温 13℃, 湿度 70%
 ③ S/C = 2.0
 ④ 圧縮強度供試体養生条件：水中養生(水温 20℃)
 ⑤ 上表はすべて試料 3 ケの平均値

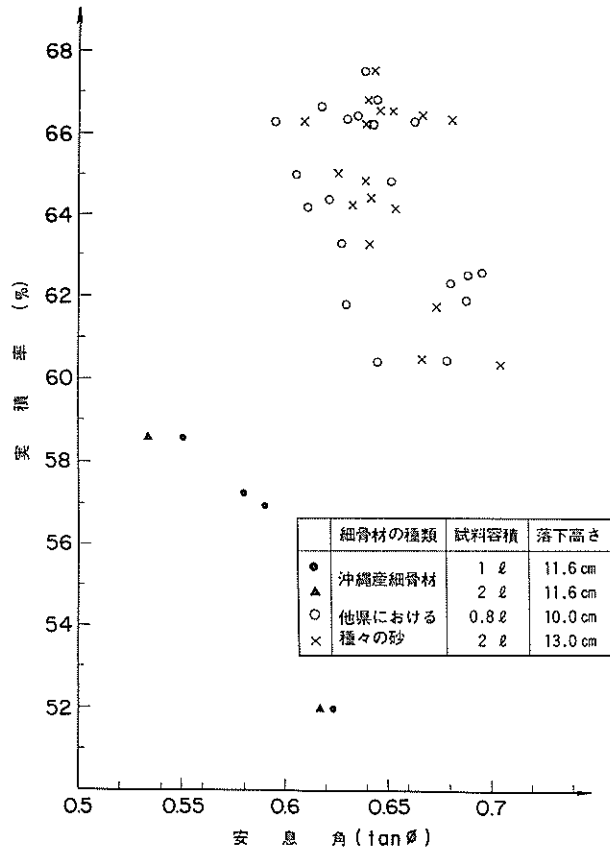


図-22 種々の細骨材における安息角と実積率

5 モルタル

5.1 試験項目

沖縄産細骨材を用いたモルタルの基礎的性質を把握するために、ブリージング試験、モルタルフロー値試験および圧縮強度試験を行なった。それぞれの試験方法は以下の通りである。

ブリージング試験：JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じてモルタルをこね混ぜ後、直ちに、500 ml メスシリンダーに 400 ml 程度モルタルを入れ、その体積を測定する。3時間後にブリージング量を測定し、モルタル体積に対する百分率をブリージング率とした。

モルタルフロー値試験：JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて行なったものであり、標準砂を重量を同一として種々の砂で置きかえて測定した。

圧縮強度試験：アムスラー式万能試験機を用い、φ 5 cm × 10 cm 円柱供試体の破壊耐力を求め、圧縮強度を算出した。なお、供試体は打設後 1 日で脱型し、試験時まで水中養生(20℃)とした。

5.2 試験結果および考察

沖縄産細骨材4種、富士川砂および標準砂モルタルのブリージング試験、モルタルフロー値試験および圧縮強度試験の結果を表-8に示す。

ブリージング率については、富士川砂および標準砂を用いたモルタルのブリージング率が0.95%および0.73%であるのに対して、沖縄産細骨材を用いたモルタルのブリージング率は、すべて1.0%を越えている。特に、宮古島砂を用いたモルタルのブリージング率は、4.17%と非常に高い値を示している。このように、モルタルのブリージングが多いことは、モルタルと粗骨材または鉄筋との着着力が低下し種々の悪影響を及ぼすものと思われる。

モルタルフロー値は、中南部砂が230mm程度のフロー値しか示さず、かなり流動性が悪いことが認められたが、その他の沖縄産細骨材は、富士川砂と大差ない流動性を示した。

圧縮強度については、水—セメント比を65%程度とすれば、細骨材の種類による差はほぼ認められないが、水—セメント比50%となると、細骨材の種類による差が顕著となり、富士川砂および石垣島砂を用いたモルタルに比較し、他の細骨材を用いたモルタル強度は、約30~40%低い値を示している。沖縄産細骨材は、強度面から石垣島砂を除いて、高強度のモルタルおよびコンクリート用材料としては適当でないと思われる。

表-9 コンクリートの配合

骨材の種類	セメントの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	① 空気量(%)	水—セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)						室温℃
							②		粗骨材	混和剤(L)			
							水	セメント		減水剤	AE剤		
本部砕石 および 伊是名砂	普通	40	13.1	4.1	56.5	34.5	143	253	621	1311	2.53	0.506	6.0
	普通	40	11.6	3.8	50.4	34.3	152	301	600	1274	3.01	0.602	6.0
	普通	40	13.3	4.3	48.6	34.3	146	300	599	1272	3.00	0.600	6.0
	普通	40	11.9	5.0	46.5	34.5	140	301	600	1275	3.01	0.602	6.0
	普通	40	11.9	4.6	43.4	34.7	132	304	618	1287	3.04	0.608	6.0
	普通	40	10.5	5.0	39.4	34.3	139	352	588	1245	3.52	0.704	6.0
	高炉	40	11.6	5.1	52.3	34.3	155	296	589	1248	2.96	0.592	6.0
中南部砕石 および 中南部砂	高炉	40	12.8	4.5	47.8	34.3	144	301	599	1270	3.01	0.602	8.0
	高炉	40	11.6	4.2	42.4	34.7	138	325	661	1373	3.25	0.650	6.0
	普通	40	10.7	6.1	62.5	38.1	170	272	631	1007	2.72	0.544	10.0
宮古島砕石 および 宮古島砂	普通	25	11.9	(4)	60.9	35.4	148	243	663	1237	2.43	0.486	12.0
	普通	25	10.4	(4)	54.2	36.6	133	245	684	1141	2.45	0.490	5.0
	普通	25	12.0	(4)	51.0	37.2	121	237	638	1101	2.37	0.474	6.0
	普通	25	12.8	(4)	44.7	38.0	132	295	670	1118	2.95	0.590	6.5
	普通	25	13.6	7.9	44.5	38.0	126	283	643	1073	2.83	0.566	8.0
	普通	25	11.9	4.8	44.5	38.0	130	292	664	1107	2.92	0.584	12.0
	普通	25	11.7	7.6	44.5	38.0	126	283	644	1075	2.83	0.566	7.0
	普通	25	10.6	7.6	43.8	37.9	125	285	645	1081	2.85	0.570	8.0
	普通	25	13.3	(4)	38.1	38.0	131	343	657	1095	3.43	0.686	7.0
	普通	25	10.7	(4)	35.2	37.9	116	330	673	1127	3.30	0.660	5.5
	高炉	25	11.4	7.6	51.0	38.0	143	280	630	1053	2.80	0.560	5.5
	高炉	25	11.5	5.8	44.5	37.9	130	292	654	1098	2.92	0.584	6.0
	高炉	25	10.0	5.8	43.6	37.9	128	293	657	1098	2.93	0.586	6.0
石垣島砕石 および 石垣島砂	普通	25	12.6	(4)	60.9	37.6	148	243	663	1237	2.43	0.486	12.0
	普通	25	13.6	(4)	47.9	37.6	141	294	655	1220	2.94	0.588	8.0
	普通	25	10.9	(4)	42.2	37.5	144	341	638	1191	3.41	0.682	9.0
相模川砂利 および 富士川砂	普通	25	10.0	3.0	46.8	29.7	148	316	554	1360	3.16	0.632	6.0
	普通	25	12.3	4.1	46.6	31.7	142	306	589	1320	3.06	0.612	9.0
	普通	25	13.2	4.8	41.8	31.6	129	308	593	1328	3.08	0.616	9.0
	普通	25	13.9	4.8	41.4	31.6	128	309	592	1333	3.09	0.618	9.0
	普通	25	13.5	4.1	40.3	31.6	126	312	600	1345	3.12	0.624	11.5
	普通	25	13.7	3.1	39.5	31.6	125	316	608	1363	3.16	0.632	8.5

(注) ① ワントン型エアメーターを用いて測定。() は空気量の推定値。

② 混和剤も含めた値。

6 コンクリート

6.1 コンクリートの配合および試験項目

単位セメント量を250~300Kgと変化させ、スランブ12±2cmを目標として配合を決定した。その結果を表-9に示す。なお、スランブ試験は、JIS A 1101「スランブ試験方法」で行ない、空気量試験は、JIS A 1128「まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」により行なった。

さらに、沖縄産骨材を用いたコンクリートの強度特性を把握するために、圧縮強度試験、ヤング係数試験およびポアソン比試験を行なった。それぞれの試験方法は以下の通りである。

圧縮強度試験：アムスラー式万能試験機を用い、φ15cm×30cm 円柱供試体の破壊耐力を求め圧縮強度を算出した。なお、供試体は、打設後1日で脱型し、以後試験時まで屋外暴露養生とした。

ヤング係数試験およびポアソン比試験：圧縮強度試験時に、コンプレッションメーターを用いて、応力-ひずみ曲線を作製した。応力-ひずみ曲線より、強度の1/2および1/3に対応する点と原点とを結ぶ直線の傾きを求めた。それらを割線ヤング係数とし、それぞれ $E_{1/2}$ および $E_{1/3}$ として表わした。また、ポアソン比は、強度の1/2および

1/3における横ひずみと縦ひずみの比として求め、それぞれ $\mu_{1/2}$ および $\mu_{1/3}$ として表わした。

6.2 試験結果および考察

図-23は、表-9をもととして単位セメント量と水-セメント比の関係を示したものである。これによると、

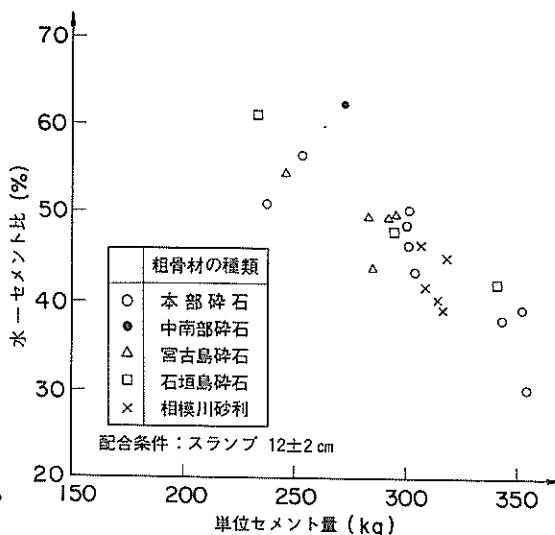


図-23 単位セメントと水-セメント比

表-10 コンクリートの圧縮強度およびヤング係数

骨材の種類	セメントの種類	①		水-セメント比 (%)	スランブ (cm)	②		ヤング係数③ (×10 ⁶ Kg/cm ²)		ポアソン比③	
		単位セメント量 (Kg/cm ²)	単位水量 (Kg/cm ²)			28日圧縮強度 (Kg/cm ²)	$E_{1/2}$	$E_{1/3}$	$\mu_{1/2}$	$\mu_{1/3}$	
本部碎石 および 伊是名砂	普通	253	143	56.5	13.1	173	2.73	3.32	0.20	0.16	
	普通	304	132	43.4	11.9	210	2.91	2.94	—	—	
	高炉	325	138	42.4	11.6	181	2.25	2.38	0.14	0.15	
中南部碎石 および 中南部砂	普通	352	139	39.4	10.5	315	3.36	3.38	—	—	
	普通	272	170	62.5	10.7	233	2.18	2.31	0.21	0.22	
	普通	237	121	51.0	12.0	214	—	—	—	—	
宮古島碎石 および 宮古島砂	普通	243	130	44.5	11.9	314	—	—	—	—	
	普通	245	133	54.2	10.4	224	2.73	3.00	—	—	
	普通	283	126	44.5	11.7	330	2.58	2.59	0.28	0.28	
	高炉	292	130	44.5	11.5	335	2.88	2.92	0.24	0.24	
	普通	343	131	38.1	13.3	321	—	—	—	—	
石垣島碎石 および 石垣島砂	普通	354	116	35.2	10.7	300	—	—	—	—	
	普通	243	148	60.9	12.6	208	—	—	—	—	
	普通	294	141	47.9	13.6	245	—	—	—	—	
相模川砂利 および富士川砂	普通	341	144	42.2	10.9	345	—	—	—	—	
	普通	309	128	41.4	13.9	341	3.17	3.22	0.17	0.17	
	普通	316	148	46.8	10.0	359	2.85	2.85	0.17	0.17	

(注) ① 高炉セメント使用, 他の供試体は普通ポルトランドセメント使用

② 圧縮強度, 供試体数2本

③ ヤング係数, ポアソン比 供試体数1本

使用骨材の種類に関係なく同じような傾向を示し、スランプ 12±2cm という条件に関しては、沖縄産骨材を用いたコンクリートは、骨材の粒形等が悪いにもかかわらず、相模川砂利および富士川砂を用いたコンクリートと同様な扱いが可能である。しかし、同一スランプ値であっても、作業性、パイプレーターの締め固め易さを比較すると、沖縄産骨材使用コンクリートはかなり劣ることが感じられ、スランプ値のみでワーカビリティを判断することは困難であると思われる。

空気量は、概略、4±1%の範囲となっている。しかし、宮古島産粗骨材および細骨材を用いたコンクリートの空気量は、細骨材が単粒性で、空気連行能力の大きな0.15mm~0.6mmの粒子を多く含んでいるためか、他の細骨材を用いたコンクリートより1~2%多いことが認められる。

表-10に、使用骨材種別に、圧縮強度、ヤング係数(割線ヤング係数 $E_{1/3}$ および $E_{1/6}$)およびポアソン比($\mu_{1/3}$ および $\mu_{1/6}$)を示す。

図-24および図-25は、表-9および表-10の結果より、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに関して水セメント比と圧縮強度および単位セメント量と圧縮強度の関係を示したものである。これによると、同一の水セメント比または同一の単位セメント量に対し、沖縄産骨材を用いたコンクリートは、相模川砂利および富士川砂を用いたコンクリートに比較してかなり低い圧縮強度を示している。また、セメント協会による圧縮強度推定式⁵⁾と比較すると、養生条件が異なることもあり、さらに強度が低いことが認められる。さらに、沖縄産骨材を用いたコンクリートの強度は、土木学会コンクリート標準示方書における品質の管理が満足でない箇所をも含め、ほぼコンクリート強度の最低値を示した式と同程度の値を示している。このことは、沖縄産骨材を用いたコンクリートは、良い施工を行なっても、同一水

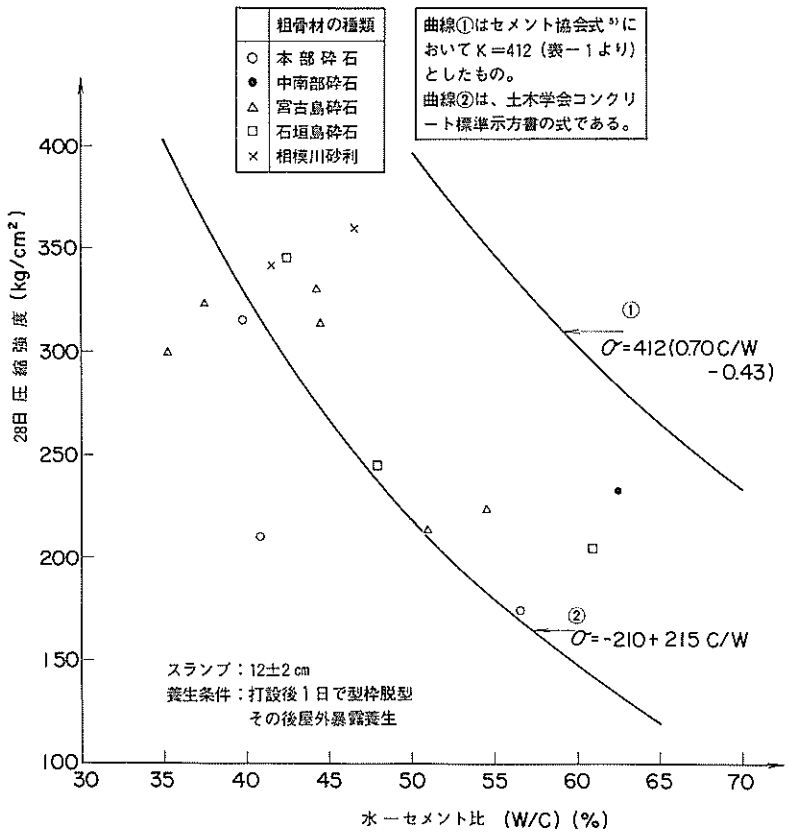


図-24 水セメント比とコンクリートの圧縮強度

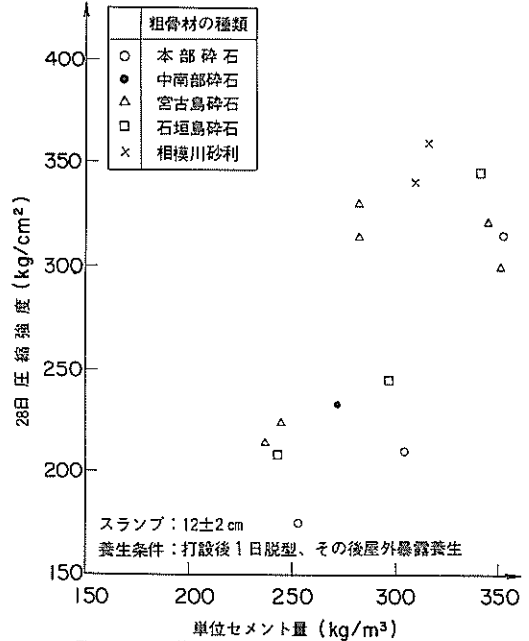


図-25 単位セメント量とコンクリートの圧縮強度

一セメント比の良質の河川産骨材を用いたコンクリートと同程度の強度を得ることは難しいことを示している。

また、粗骨材として本部石灰岩砕石を用いたコンクリートの強度と琉球石灰岩砕石を用いたコンクリートの強度には、ほとんど差がみられず、本試験のように圧縮強度 400 Kg/cm^2 以下のコンクリートの場合、粗骨材自体の強度はコンクリートの強度の支配要因とはならないと思われる。強度の低い原因は、むしろ粗骨材の粒形が悪いこと、モルタルのブリージングが多いこと、モルタル自体の強度が低いこと、等の影響が大きいと考えられる。さらにこれらの図より、同一スラブの基では、良質の河川産骨材を用いたコンクリートと同程度の強度を期待するためには、単位セメント量をかなり増加せざるを得ないと思われる。また、ヤング係数およびポアソン比については、試料数が少なく明確な傾向は把握できなかったが、特に目立った値もなく、既往の研究⁵⁾からも問題はさほどないと思われる。

6.3 沖縄における現地配合との比較

沖縄本島においては、コンクリート用骨材として、粗骨材は主として本部砕石を用いているが、細骨材は、各生コン工場において工夫しているようである。例えば、細骨材として、伊是名砂、中南部砕石および本部砕石の3種を混合し、比重を2.5以上として用いている工場もある。

また、沖縄県は気温が高く、コンクリートのスラブ、ワーカビリティーは、気温の影響を受け、さらに不利な配

合となっている。表-11 および表-12 に、宮古島および石垣島におけるコンクリートの配合および強度の一例と、本研究における配合および強度を比較したものを示す。使用材料、施工期間および養生条件が相違することなどを考慮すると、同一条件における比較と考えることは問題があるが、一般には、本研究における配合と比較して、単位セメント量あるいは水一セメント比が大きな配合であると思われる。単位セメント量の増加は、経済的に不利であるし、水一セメント比の増加は、使用材料、養生条件等が同一であれば、強度が低くなる。また、宮古島の配合において単位水量が 200 Kg/m^3 を越えているが、構造部材の種類、施工期間、あるいは施工条件によっては、乾燥収縮等で問題が生ずる可能性がある。

このように、沖縄県においては、骨材が低品質であることに加え、曇中コンクリートでありスラブ、ワーカビリティーが低下することを考えると、良質の河川産骨材を使用し 10°C 前後で練り混ぜるコンクリートと比較して厳しい状況にあると言える。

6.4 コンクリートの問題点および対策

6.2 および6.3 で述べたように、沖縄産骨材を用いたコンクリートは使用方法を誤ると問題点が多いように思われる。特に、考えられる問題点は、河川産骨材を用いたコンクリートと比較して、ワーカビリティーおよび強度が低いことである。その原因は、3章および4章で述べたように、沖縄産骨材の品質が悪いことにあるが、以下その対策を検討した。

表-11 平良港(宮古島)におけるコンクリートの配合および圧縮強度

季節	使用セメント	設計基準強度 (Kg/cm^2)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水-セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (Kg/m^3)					σ_7 (Kg/cm^2)	σ_{28} (Kg/cm^2)	
								水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材料			
												減水剤			AE剤
冬(12~2月)	普通ポルトランドセメント	270	20	12±2.5	4±1	57.9	47.5	201	347	801	893	3.47	—	276	324
夏(6~10月)						55.0	45.8	202	367	770	912	3.67	—	249	291
港研(1月, 9°C)	—	—	25	11.9	4.8	44.5	38.0	130	292	664	1107	2.92	0.58	227	300

表-12 石垣港におけるコンクリートの配合および圧縮強度

季節	使用セメント	設計基準強度 (Kg/cm^2)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水-セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (Kg/m^3)					σ_7 (Kg/cm^2)	σ_{28} (Kg/cm^2)	
								水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材料			
												減水剤			AE剤
石垣(7~9月)	普通ポルトランドセメント	270	20	12±2	4±0.5	50.0	41.5	172	344	725	1104	3.44	—	258	337
港研(1月, 9°C)								—	—	25	10.9	4.0	42.2	37.5	144

表-13 河川産骨材を用いたコンクリートの配合と
沖繩産骨材を用いたコンクリートの配合

河川産骨材を用いた コンクリートの配合			沖繩産骨材を用いたコンクリートの配合							
			暑中コンクリートでない場合				暑中コンクリートの場合			
単位水量 (Kg/m ³)	単位セメント量 (Kg/m ³)	水-セメント比	単位水量 (Kg/m ³)	単位セメント量 (Kg/m ³)	水-セメント比	単位セメント 量の増分 (Kg/m ³)	単位水量 (Kg/m ³)	単位セメント量 (Kg/m ³)	水-セメント比	単位セメント 量の増分 (Kg/m ³)
140	250	0.56	140	274	0.51	24	147	288	0.51	38
	300	0.47		333	0.42	33		350	0.42	50
	350	0.40		400	0.35	50		420	0.35	70
150	250	0.60	150	273	0.55	23	158	286	0.55	36
	300	0.50		333	0.45	33		350	0.45	50
	350	0.43		394	0.38	44		414	0.38	64
160	250	0.64	160	271	0.59	21	168	285	0.59	35
	300	0.53		333	0.48	33		350	0.48	50
	350	0.46		390	0.41	40		410	0.41	60
170	250	0.68	170	270	0.63	20	179	283	0.63	33
	300	0.57		327	0.52	27		343	0.52	43
	350	0.49		386	0.44	36		406	0.44	56
180	250	0.72	180	269	0.67	19	189	282	0.67	32
	300	0.60		327	0.55	27		344	0.55	44
	350	0.51		391	0.46	41		411	0.46	61

粗骨材に関しては、インペラブレーカーあるいはこれと同等の性能を有する砕石機を用い、できるだけ粒形を良くし突積率を高めること、ならびに、重要な構造部材では、琉球石灰岩砕石は用いないことが望ましい。細骨材に関しては、移入砂または砕砂等を混入して性状を改善することが考えられる。

ワーカビリティに関しては、河川産骨材を用いたコンクリートとの相違をスランプ試験で明確にすることは困難であったが、コンクリートをφ15cm×30cmの型わくへ打設する作業性から判断すると、単位セメント量を50Kg程度増加させることが望ましい。

強度に関しては、図-24から判断すると、沖繩産骨材を用いたコンクリートのそれよりも、5%程度低くする必要があろう。これは、例えば単位水量150Kg/m³、かつ単位セメント量300Kgの河川産骨材を用いたコンクリートと同等の品質をもつた沖繩産骨材を用いたコンクリートの配合は、単位水量150Kg、かつ単位セメント量333Kg/m³となることを意味する。このような計算を表-13に示すが、約20~50Kg単位セメント量を増加させればよい。

以上のことから、暑中コンクリートとしてのスランプ低下を考慮しなくてよい場合には、沖繩産骨材を用いたコンクリートの単位セメント量は50Kg程度増加させる

ことが望ましい。

暑中コンクリートとして考えた場合、スランプ低下を3~5cm⁸)とし、それに対する単位水量の増分を5%と仮定する⁵⁾ことができる。この場合、単位水量150Kg、かつ単位セメント量300Kgの河川産骨材を用いたコンクリートと同程度の沖繩産骨材を用いたコンクリートは、単位水量を5%増し、しかも、水-セメント比を5%低くしなければならぬので、結局、単位水量157.5Kg、かつ単位セメント量350Kgとする必要があろう。同様な計算を表-13に示すが、単位セメント量を40~70Kg程度増加させればよい。ワーカビリティを同程度に保つための増加が50Kg程度であるので、暑中コンクリートの場合、50~70Kg程度単位セメント量を増すことが望ましい。

また、強度に関しては、5章で述べたように、高強度を目標とするときには、モルタル自体の強度があまり期待できない。比較的強度の大きいコンクリートを打設したい場合には、細骨材として移入砂または砕砂を用いるなど、特別な配慮が必要となろう。

さらに、骨材の粒形が悪いこともあって、現地の配合においては、単位水量が200Kgを越えるものが見られる(表-11)。このように単位水量が多いと、乾燥収縮が大きくなりひびわれを発生しやすいので、養生等には注意を要する。

7 結 論

沖繩産骨材および沖繩産骨材を用いたモルタルおよびコンクリートについて検討を行なった。本研究の範囲内で得られた問題点および対策は、以下の通りである。

(1) 問 題 点

(a) 粗骨材は、すべて粒形が非常に悪く、それに伴って実積率が小さな値を示している。さらに、琉球石灰岩砕石は、比重が小さく吸水率が大きな値を示している。

(b) 細骨材は、すべて比重が小さく吸水量が大きな値を示している。

(c) 沖繩産細骨材を用いたモルタルは、河川産骨材を用いたモルタルと比較してブリージングが多く、また、水—セメント比を低くしても、ある程度以上の強度を得るのは困難である。

(d) 沖繩産骨材を用いたコンクリートは、単位水量および単位セメント量がほぼ同じであれば、河川産骨材を用いたコンクリートと比較して、強度は低く、ワーカビリティは悪い。

(2) 対 策

(a) 粗骨材に関しては、例えば砕石機としてインペラブレイカー等を用いるなどをして、できるだけ粒形をよくし、実積率を高めること、ならびに、構造物の種類によっては琉球石灰岩砕石の使用は避けることが望ましい。

(b) 細骨材に関しては、構造物の種類によっては移入砂または砕砂等を混入して性状を改善した骨材を使用することが望ましい。

(c) 沖繩産骨材を用いたコンクリートは、河川産骨材を用いたコンクリートと比較してワーカビリティが悪く、強度を同程度にし、しかもワーカビリティも同程度とするためには、単位セメント量を50Kg程度以上多くすることが望ましい。

(d) 単位水量はできるだけ少くすることが望まれる。

8 あ と が き

コンクリート用骨材としての沖繩産骨材の性質およびコンクリートの強度特性に関し、おおまかに述べた。

骨材は、施工現場ごとに、生コン工場ごとに、極端に言えば、バッチごとに異なったものを用いて所要のコンクリート工事を施工しなければならず、骨材の性質を把握することは重要である。しかし、コンクリートが優秀な材料であり、かなり粗悪な骨材を用い粗雑な扱いをうけても、かなりの強度を出すのが故に、その使用骨材に対する関心が、ほとんどないのが実情である。今後、骨材

事情がさらに悪化して、種々の低品質の骨材を使用する場合を考えると、骨材にもっと注目すべきであろう。

本研究は、試験の範囲が限定されており、水密性、乾燥収縮等、検討すべき事項は多いが、耐海水性に関しては、20年試験を実施中であり、順次報告したいと考えている。

(1976年6月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 沖繩総合事務局開発建設部 港湾計画課：沖繩の石材およびコンクリート用骨材調査，1974年4月，p.p. 1～115
- 2) 大島久次：コンクリート用骨材，技術書院，1970年1月，p.p. 57～88
- 3) 中村修吾：海砂の品質，コンクリートジャーナル Ⅷ10，1974年10月，p.p. 11～17
- 4) 菊本幸雄：細骨材の粒形および粒度がモルタルの性質におよぼす影響，セメントコンクリート Ⅷ 288，1971年2月，p.p. 2～8
- 5) セメント協会：コンクリート委員報告，セメント技術年報 Ⅷ 11，1957年，p.p. 238～239
- 6) 和仁屋晴謹：沖繩産骨材を使ったコンクリートの強度，セメントコンクリート Ⅷ 305，1972年7月，p.p. 27～31
- 7) 樋口芳朗・村田二郎・小林春雄：コンクリート工学 (I) 施工，彰国社，1968年5月，p.p. 38～102
- 8) 高沢信次郎・大城雄洋・山崎豊：沖繩における曇中コンクリート試験舗装(その1)，セメントコンクリート Ⅷ 340，1975年6月，p.p. 19～27

港湾技研資料 No.240

1976・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有) 葵印刷工業

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.