

# 鹿児島県の実験研究に関する海砂使用

松 本 進

(受理 昭和52年5月31日)

## APPLICATION STUDY OF SEA SAND IN KAGOSHIMA PREF. TO FINE AGGREGATE MATERIAL FOR CONCRETE

Susumu MATSUMOTO

Recently the sea sand has been widely utilized as fine aggregate of concrete materials, accompanied by the lack of usual sand. However, there are various problems in practical use of the sea sand for reinforced concrete and prestressed concrete; durability, rust of reinforcing bars, strength in short and long period, contents of salt and shell.

Based on results obtained from mortal test of sea sands in 20 places in Kagoshima pref., density and fineness modulus of the sea sand has much influence to the workability of the cement mortal, contents of salt and shell less influence. Contents of salt in the sea sand has much influence to the cement mortal strength in short period and long one. Content of shell in the sea sand has scarcely influence to the strength of cement mortal under 30% weight content.

### 1. 緒 言

戦後、特に昭和40年代の高度成長期における建設工事の増大は打設コンクリート量の激増を促し、その供給体制に歪みを生じさせることとなった。このことは従来使用されてきた良質の河川産骨材を枯渇化させることにもなり、また、河川管理上からも採取規制が強化されることになるのであって、ことに細骨材の不足は深刻な問題である。その打開策として、海砂、山砂および砕砂の使用が考えられ、それらの使用量は年々増大の一途をたどっている。

中でも、海砂は四面を海で囲まれた我が国においてその供給源が豊富であり、集積地さえあれば海上輸送は極めて容易で、しかも大量輸送が可能であることなどの利点を有する。近年、北海道、中国、九州などの各地方で海砂の使用が増大してきており、鹿児島県においても細骨材の90%以上を海砂に依存しているのが現状である。海砂は環境問題の解決があれば今後ますますその使用量は増加し、さらに海洋開発の進展に伴い、通常の土木構造物に限らず海洋構造物用コンクリート材料として将来大いに利用されるものと考えられる。

海砂使用に当って、現行の土木学会コンクリート標準示方書によれば海砂中に含まれる  $NaCl$  の含有量

が0.1%を越える場合には使用してはいけないと規定されているし、また土木学会プレストレストコンクリート設計・施工指針では海砂は使用してはいけないと規定している。

この様に厳しく規定された海砂をより有効にコンクリート用細骨材として大いに使用するに当っては未だ解決されねばならない種々の問題、すなわち、海砂中に含まれる塩分の作用によってコンクリート中に埋込まれた鋼材を発錆させたり、コンクリート中に含まれる  $Ca(OH)_2$  を溶出させるためコンクリートの耐久性を低下させたりコンクリートの長期強度を低下させる問題、また海砂中に含まれる貝殻などの混入によりコンクリートのワーカビリティを悪くし、そのため施工特性が損なわれる問題などがある。

本報告は鹿児島県の実験をコンクリート用細骨材として使用した場合における問題を取り上げ、基礎的な実験を行ったもので、その結果について報告する。

### 2. 使用材料

#### 2.1 海 砂

実験に使用した海砂は図1に示すように鹿児島県全域(20ヵ所)にわたって採取したもので、海底砂のものと汀線付近の海浜砂のものがある。これらの海砂の品質は表1に示すとおりで、比重は2.08~2.74、吸

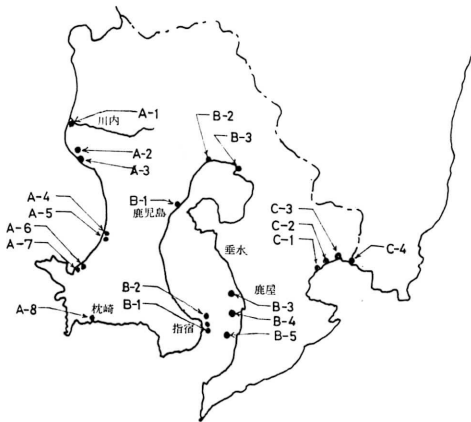


図1 鹿児島県内の海砂の採取位置

水量は0.63%~3.16%, 粗粒率は1.42~3.14, 貝殻含有量は1.4%~28.6%, 塩分含有量(NaClに換算した量)は絶乾状態で0.13%~0.31%の範囲のものであった。また、海砂と比較検討する上で、豊浦産の標準砂を使用した。

2.2 セメント、水およびその他

セメントは小野田セメント製普通ポルトランドセメントを用いた。水については概ね学内における水道水を使用した。塩分含有量試験における塩分抽出液は蒸留水を用いた。塩酸および硝酸銀は市販のものを用い、希釈水はイオン交換水を使用した。クロム酸カリウムも市販のものを用い蒸留水で約10%の濃度の溶液として用いた。

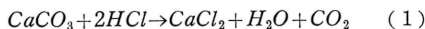
表1 海砂の品質

試料記号	地名	種別	比重	吸水量 (%)	粒 度							貝殻含有量 (%)	塩分含有量 (%)		
					粗粒率	各ふるいに留まる重量百分率(%)									
						5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15				
A-1	川内	海	2.66	1.07	2.10	0.6	0.9	1.9	22.3	85.6	98.6	1.4	0.168		
A-2			2.54	2.30	2.09	0	0.2	1.8	22.4	83.9	99.0	22.0	0.211		
A-3			2.59	2.48	2.46	0.1	1.7	9.2	45.8	89.5	99.2	28.6	0.179		
A-4	吹上浜		2.56	1.09	1.81	0	0.6	6.4	32.8	50.8	90.1	2.4	0.209		
A-5			2.50	0.63	1.85	0	0.1	0.2	20.4	68.2	95.7	1.6	0.028		
A-6	加世田		2.37	1.50	1.42	0.3	0.7	2.0	10.2	46.6	87.2	3.0	0.122		
A-7			2.08	2.18	1.68	0.8	1.5	3.7	14.1	55.4	92.1	2.4	0.183		
A-8	枕崎		砂	2.59	1.93	2.65	1.0	3.4	10.7	57.7	92.0	99.7	11.4	0.136	
B-1	磯		2.49	3.16	3.14	4.3	14.6	32.9	68.7	93.4	99.7	2.0	0.151		
B-2	加治木		2.53	3.09	2.67	0.3	0.5	7.0	62.0	97.2	99.8	3.8	0.210		
B-3	国分		2.61	1.38	3.08	3.5	9.1	27.1	74.7	94.5	98.9	1.8	0.251		
B'-1	指宿		海	2.63	2.04	2.79	0.9	8.0	24.9	59.7	88.1	97.8	-	-	
B'-2		2.60		2.88	2.24	0.5	4.2	15.5	37.2	71.4	95.2	8.2	0.150		
B'-3	大根占	底		2.40	2.40	2.62	0.8	3.5	16.3	55.6	90.8	15.0	12.8	0.147	
B'-4				砂	2.31	2.04	2.32	1.0	3.1	8.8	40.1	82.7	96.2	-	-
B'-5					2.38	2.38	2.26	0	1.0	5.9	36.4	82.6	97.7	2.4	0.130
C-1				志布志	海	2.34	2.46	1.42	0.1	0.2	0.3	3.3	47.0	91.0	2.4
C-2	2.44					1.26	1.60	0.1	0.7	2.5	10.3	50.5	96.3	3.2	0.271
C-3	砂					2.74	2.37	2.73	0.2	1.8	15.6	59.6	96.0	99.6	20.2
C-4		2.57				1.38	1.28	1.5	3.7	7.5	14.1	23.6	77.8	15.4	0.306

(注) 比重, 吸水量, 粒度試験は各2回ずつおこなった。

### 3. 試験方法

海砂の品質を調べるために行った試験のうち、比重および吸水量試験 (JIS A 1109) 粒度試験 (JIS A 1102) および塩分含有量試験 (JIS A 5002) などについては JIS の方法に準じて行った。また、貝殻含有量試験については JIS の方法もなかったため、炉乾燥した海砂 50g を乳鉢で粉砕し、これに 4 規定の塩酸を 50cc 加えて、貝殻分 ( $\text{CaCO}_3$ ) と反応させた。



これを水洗い、ろ過を繰返し残留分を砂とみなして、その乾燥重量を測り、そのときの重量損失を貝殻含有量とした。ただし、海砂を構成する鉱物の中で石灰質分を含むものは塩酸と反応するが、一般にはこの石灰質分は極めて少ないとされているので、本実験ではこれを無視した。

実験用供試体は全て  $4 \times 4 \times 16$  cm モルタル 供試体であって、このモルタルとしての物理的・機械的性質を調べるために行った試験は凝結試験 (JIS R 5201) およびセメントの強さ試験 (JIS R 5201) であって、JIS の方法に従って行った。

### 4. 実験結果および考察

コンクリートとしての良否は主として練り混ぜから打ち込みまでのまだ固まらないときの性質および硬化後に構造材として役割を果す力学的性質の 2 点に極めて密接に関連すると考えられる。前者ではコンシステンシーやワーカビリティなどの性質が重要視され、後者ではコンクリートの圧縮強度や曲げ強度などの性質が重要視される。本報告では上記のことを鑑みて、海砂使用がモルタルの凝結作用や流動特性に及ぼす影響および圧縮強度や曲げ強度などの力学的性質に及ぼす影響などについて検討を行った。

#### 4.1 流動特性および凝結について

一般に、コンクリートの流動特性を表わすものにコンシステンシーがあげられ、このコンシステンシーを測定する一つの方法としてフロー試験があげられる。これより得られたフロー値 (mm) が流動特性を表すことになる。

図 2 (a), (b), (c), (d) はフロー値に及ぼす各種の要因 ((a) 粗粒率, (b) 比重, (c) 塩分含有量, (d) 貝殻含有量) について 20 種類の鹿児島県海砂から得られた実験結果を示したものである。なお、各図中に示した実直線は実測値を最小二乗法により求

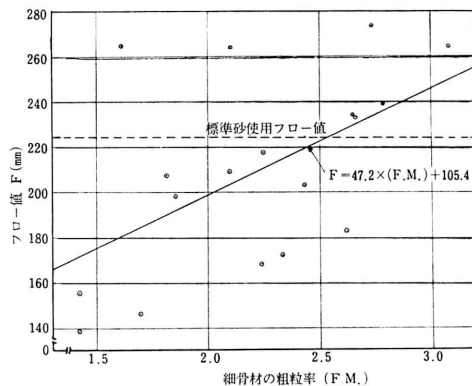


図 2 (a) フロー値に及ぼす粗粒率の影響

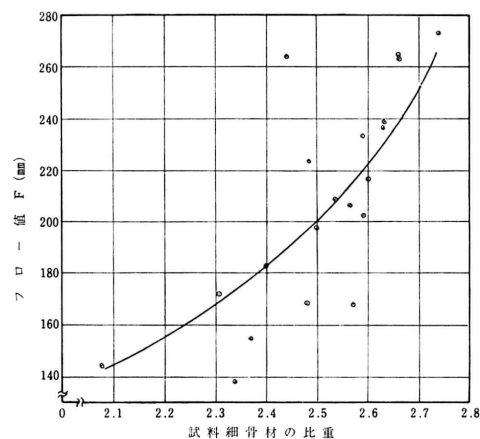


図 2 (b) フロー値に及ぼす粗粒率の影響

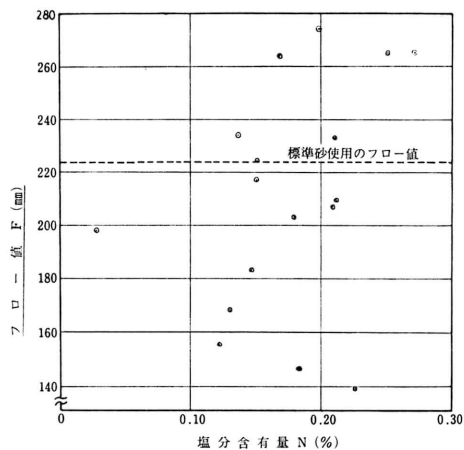


図 2 (c) フロー値に及ぼす塩分含有率の影響

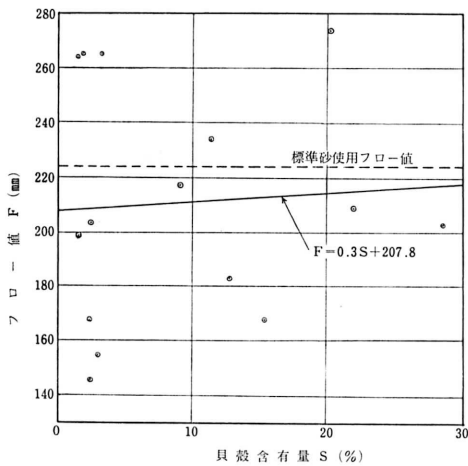


図2(d) フロー値に及ぼす貝殻含有量の影響

めたものである。

フロー値にかなり大きな影響を及ぼすと考えられる要因としては図2(a)および(b)をみれば粗粒率と比重があげられる。この原因としては、一般に粗粒率が小さいと粒径が小さく、そのため一定容積中に含まれる砂粒子の表面積が大きくなる。このため水粒子とセメント粒子の接触が妨げられワーカブルなコンクリートを造ることが難しくなり、流動特性も悪くなるものと考えられる。また、定重量で比較する場合、比重が小さいと比重の大きいものに比べると砂粒子の数も当然増加するため、一定容積中の砂粒子の表面積も増大することが考えられる。このため、比重の大きいもの程フロー値も大きくなり流動特性も良くなったものと考えられる。次に、貝殻含有量の影響が大きい。また、塩分含有量の影響については図2(c)に示したように非常にばらつきが大きいために確定的なことは言い難いが、柳場氏らの報告によれば両者の間には全く関係がないと報告されていることや、塩分そのものが骨材のような粒状体としてとらえるには余りにも小さすぎることを考え合すと、本実験の場合にも塩分のフロー値に及ぼす影響はほぼないものと考えられる。また、このことは標準砂を使用し、NaClを人為的に操作した場合の実験結果(表2)からも確かめられる。

凝結作用は主として塩分の含有量によって多少影響を受け、塩分の含有量が多ければ凝結も早くなり、少なくなれば凝結は遅くなると報告されている。本実験

表 2 塩分含有量とフロー値との関係

試料	塩分含有量(%)	フロー値(cm)
S-O	0	140.7
	0.1	144.5
	0.3	140.7
	0.5	143.2

でも、塩分の含有量が凝結作用に及ぼす影響を検討してみたが、上記の様な明らかな傾向は認められなく、凝結作用は標準砂使用のものとはほぼ大差なかった。

#### 4.2 強度作用について

海砂に関する既往の研究によれば、塩分が海砂使用モルタルに及ぼす影響は水和反応を促進させるため初期強度を増進させ、一方長期強度ではむしろ強度低下をひき起すと報告されている。また海砂中に含まれる

表 3 モルタルの曲げ強度試験結果

試料記号	材令 1 日		材令 7 日		材令 28 日	
	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)
S-0	13.6	3.5	48.0	6.7	67.0	7.5
A-1	14.1	4.9	46.3	6.0	60.4	6.4
A-2	13.2	11.3	47.5	6.7	65.5	4.8
A-3	21.4	5.2	50.2	6.3	62.2	4.7
A-4	27.3	6.8	44.8	8.1	57.0	6.2
A-5	7.8	0.7	40.3	4.6	60.8	3.4
A-6	12.0	1.8	38.0	3.7	54.8	4.8
A-7	12.6	13.0	37.5	4.1	49.8	5.1
A-8	14.0	2.7	43.1	3.6	61.2	3.8
B-1	14.4	5.9	40.9	7.0	57.3	1.0
B-2	10.0	14.2	38.5	8.5	57.1	3.0
B-3	10.7	11.2	40.1	3.3	54.2	6.3
B'-1	19.7	6.8	47.0	8.3	61.0	5.4
B'-2	23.6	8.6	44.5	5.9	55.9	3.5
B'-3	18.2	14.9	49.4	4.7	60.8	4.4
B'-4	17.4	2.1	46.2	2.9	62.6	1.9
B'-5	13.4	16.1	41.1	0.9	56.3	1.0
C-1	17.8	5.5	44.3	0.5	53.3	3.6
C-2	15.3	3.2	39.6	2.2	51.8	2.7
C-3	16.4	1.6	44.0	3.7	58.7	5.5
C-4	15.9	6.8	46.5	4.2	58.1	2.6



表 4 モルタルの圧縮試験結果

試料 記号	材令 1 日		材令 7 日		材令 28 日	
	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動率 (%)
S-0	44.2	4.9	178.7	6.7	331.1	5.7
A-1	42.3	13.7	182.8	5.8	303.2	4.3
A-2	44.1	10.6	210.2	6.5	277.4	3.5
A-3	62.0	13.7	218.9	8.3	306.6	4.3
A-4	84.4	2.5	179.5	4.0	254.8	7.1
A-5	22.8	2.5	163.7	2.0	315.0	2.3
A-6	41.7	4.7	158.3	4.6	248.8	6.3
A-7	44.0	8.0	166.1	3.8	245.9	6.7
A-8	41.7	7.2	170.9	3.8	282.5	9.6
B-1	44.8	15.2	167.5	14.5	254.1	5.0
B-2	25.3	14.2	163.0	4.9	253.5	4.3
B-3	27.8	16.6	159.5	9.3	251.8	7.4
B'-1	51.7	6.0	185.8	3.1	281.1	4.1
B'-2	98.6	9.6	189.9	1.0	275.4	6.4
B'-3	58.4	16.4	205.1	8.9	265.8	13.3
B'-4	54.7	15.4	161.7	6.5	290.0	4.8
B'-5	39.5	14.5	162.8	9.6	243.6	3.1
C-1	57.1	4.4	178.6	4.6	258.9	11.6
C-2	54.1	12.4	169.0	3.6	253.8	3.7
C-3	47.0	5.0	144.6	10.5	240.2	6.4
C-4	52.5	5.1	207.2	2.8	286.1	3.4

貝殻の影響についてはその含有量が30%程度以下であれば、強度には余り影響しないとも報告されている。本実験でもこの様な海砂使用モルタルの固有の性状を調べるため鹿児島県における海砂について実験・検討を行った。

表3および表4はモルタルの強度に主として影響を及ぼすと考えられる塩分含有量および貝殻含有量とモルタル強度(曲げ強度, 圧縮強度)について2種類の試験より得られた実験結果を一覧にして示したものである。

(1) 曲げ強度について

図3は塩分含有量と曲げ強度の関係を示したものであって、同図より材令1日における曲げ強度は塩分の含有量が0.1~0.2%程度では塩分を含まない標準砂使用モルタルの強度と同程度であるが、0.3%以上に

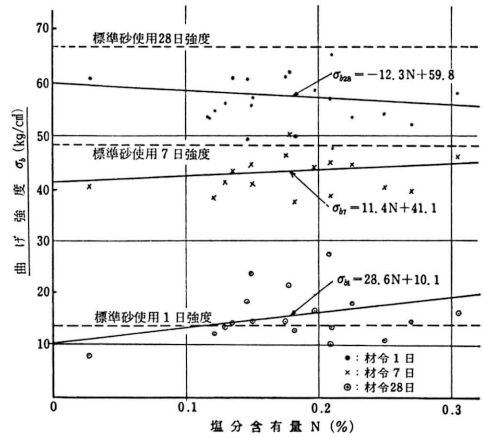


図3 曲げ強度に及ぼす塩分含有量の影響

なると標準砂使用モルタルの強度より25%程度大きな傾向が認められる。このような傾向は特に材令が若い時に見られるのであるが、材令28日程度となると上記の傾向とは逆に海砂を使用したモルタルは標準砂使用モルタルに比して15%程度強度の低下が認められる。

一方、図4は貝殻の含有量と曲げ強度との関係を実験値で示したものである。同図より、貝殻の含有量が2~3%程度の場合を除けば材令が1日とか7日とか比較的若い時期では貝殻の含有量が30%程度あってもその曲げ強度には標準砂使用モルタルの強度と大差なく、貝殻含有量の影響はほぼないと考えても差支えないようである。しかしながら、材令が28日と長期になると曲げ強度は標準砂使用モルタルの強度に比べ

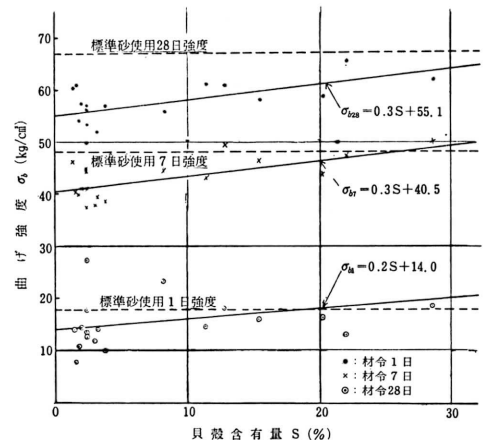


図4 曲げ強度に及ぼす貝殻含有量の影響

ると若干低くなる傾向が認められるが、その割合は実験の精度より考えて余り問題になる程のものではないと考えられる。

(2) 圧縮強度について

圧縮強度についても曲げ強度と同様に塩分の含有量と貝殻含有量の影響について検討を行った。

図5は圧縮強度に及ぼす塩分の含有量について得られた実験値を示したものであって、同図より、材令が若く1日程度の場合には塩分の含有量が0.2~0.3%程度となれば、塩分を含まない標準モルタルの強度よりも大きくなる傾向が認められ、逆に材令が28日程度となると塩分の含有量が多ければ多い程強度低下(20%程度)が認められる。

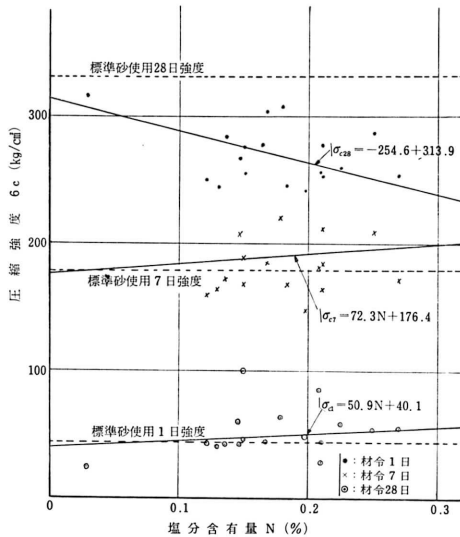


図5 圧縮強度に及ぼす塩分含有量の影響

一方、図6は貝殻含有量が圧縮強度に及ぼす影響を示したもので、同図より材令1日および7日程度では貝殻の混入が強度に及ぼす影響はほぼないものと考えられるが、材令28日程度となると多少強度低下の傾向が認められる。これも、貝殻が混入された供試体で考えてみると強度の変化は認め難い。従って貝殻を混入したモルタルの強度が標準砂使用モルタルに比べて全体的に多少低いのは別の原因によるものと考えてるのであって、貝殻含有量が30%程度以下であれば、材令28日のモルタル強度に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

以上、海砂に含まれる塩分および貝殻分がモルタル

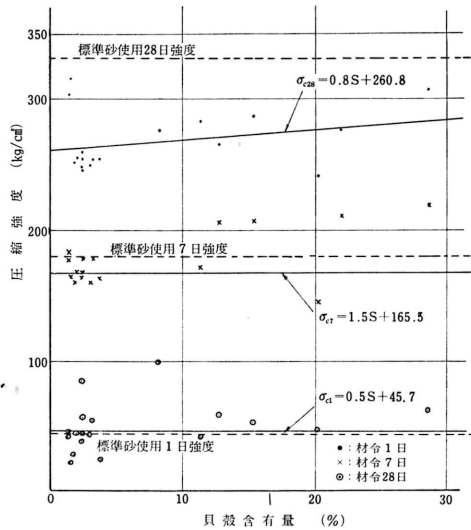


図6 圧縮強度に及ぼす貝殻含有量の影響

強度に及ぼす影響を曲げ強度と圧縮強度について検討を行ったのであるが、曲げ強度についても圧縮強度についてもその影響の程度の傾向はかなり同程度であることが認められ、これより得られた実験結果は既往の研究成果と矛盾はしないものであった。

5. 結 言

海砂をコンクリート用細骨材として使用する場合に当っては、コンクリートの耐久特性、施工特性ならびに強度特性に要影響を及ぼさないことが極めて重要なことであると考えられる。

本研究では特に海砂使用モルタルの流動特性ならびに強度特性について、鹿児島県内20ヶ所から採取した海砂を用いて実験を行った範囲で次のことが言えると思われる。

- (1) 海砂の比重ならびに粗粒率が大きければフロー値も大きくなり、モルタルの流動性に及ぼすこれらの影響はかなり大きいと考えられる。また、流動性に及ぼす塩分の影響は全く認められなかった。
- (2) モルタル強度に及ぼす塩分の影響は曲げ強度の場合も圧縮強度の場合もほぼ同様の傾向、すなわち材令が1日程度と若い時期には塩分の含有量が多ければ多い程初期強度が高められ、材令が長期になると逆に塩分の含有量が多い程強度低下の傾向が認められた。

- (3) モルタル強度に及ぼす貝殻分については曲げ強度および圧縮強度にはその含有量が30%以下であればほぼ影響がないことが認められた。

最後に、この研究報告は昭和51年度の卒業論文に取上げたものを取りまとめたものであって、卒論生服部正美君の協力を負うものが大きく、ここに心甚の謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) 狩野他：海砂の鉄筋コンクリート工事への利用に関する研究，日本建築学会論文報告集，No. 54.
- 2) 川田：海砂がセメント・コンクリートに及ぼす影響，コンクリートジャーナル，Vol. 12, No. 10.
- 3) 高桑他：コンクリート用細骨材としての細粒海岸砂の使用に関する研究，金沢大学工学部紀要，4巻4号.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書.
- 5) 土木学会：プレストレストコンクリート設計・施工指針.