

## 低品質骨材を用いたコンクリートの特徴

### I. マサを細骨材として利用した場合

柘植巳一\*・服部九二雄\*

昭和59年7月31日受付

## Properties of Concrete Made with Lower Qualitative Aggregates

### I. Use of Masa-do as a Fine Aggregate

Miichi TSUGE\* and Kunio HATTORI\*

Since about 1960, in Japan as well as other countries, the amount of good natural aggregate for concrete has been less than the necessary amount because of the uncontrolled gathering of river sand and gravel and the construction of many dams. In this situation, the lower qualitative aggregates such as sea sand and crushed stone, etc. have been increasingly used for concrete. As a results of the use of these aggregates for concrete, the corrosion of steel and the alkali-aggregate reaction have occurred in the plain and reinforced concrete structures in Japan.

Concrete is generally composed of aggregate, water, cement, entrapped or entrained air and admixture. Among other things, as the aggregate normally has the volume about 65 to 90% in concrete, the necessary amount of aggregate for concrete will be further increased. Therefore, the harmful effects to concrete as described above will occur very frequently.

We have studied whether the Masa-do can be used for a fine aggregate in concrete or not since 1981. The term Masa-do is applied to the residual soil which is derived from the weathering of the granite in Japan.

From the experiments carried out for three years since 1981, the following results were obtained.

- 1) Masa-do may very possibly be used for a fine aggregate in concrete.
- 2) The concrete made of Masa-do as a fine aggregate has a low workability and therefore to improve the low workability, it needs more higher cement content than that made of river sand and gravel as aggregate under the same water-cement ratio and slump.
- 3) The concrete made of Masa-do showed a slight decrease for bending, compressive strength and dynamic modulus of elasticity in comparison with that made of river sand and gravel.

---

\* 鳥取大学農学部農業工学科農業造構学研究室

*Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University*

## 緒 言

コンクリートは、言うまでもなく、セメント、骨材、水、空気と混和材料から成る主要な建設材料である。特に、その内、骨材は、コンクリートの全容積の約70%を占めるため、その特性がコンクリート全体の性質に大きく影響する。

天然・良質の河川産骨材は、河川上流部に建設されたダム群によって補給量が激減すると共に濫掘がたたって、昭和40年代より不足気味となり、その枯渇が懸念されはじめた。このため、海岸線の後退や河床低下による橋脚基礎の洗掘など骨材資源の枯渇問題以外の社会問題も生じてきている。

この良質の骨材不足を補うために低品質骨材（海砂、陸砂、碎石、産業副産物など）の使用量が多くなり、特に海砂の除塩不足によるコンクリート内の鉄筋の発錆・腐食とか、従来日本では非常に稀といわれてきたアルカリ骨材反応による鉄筋コンクリート構造物の劣化問題が報告されてきている<sup>2,8-10)</sup>。

既に述べたように、一般のコンクリートは、その容積の約70%が骨材で占められているので、今後とも前述の劣化問題は、あとをたたないものと考えられる。

このような低品質骨材を用いたコンクリートの特性に関する研究は、以前より幾つか行われてきてはいるが、実際の施工面で成果が生かされないうらいが多い。例えば、細骨材として海砂の使用には、室内実験では使用可と認められても、現状では十分除塩がなされていないため、鉄筋の発錆によるコンクリートの劣化が生じてきているわけである。

筆者らは、昭和56年度よりコンクリート用骨材資源の有効利用に関する全国的な規模の研究の一部として、中国地方でよくみかけるマサ土の細骨材としての利用の可能性をコンクリートのコンシステンシー、空気量及び強度などの面から検討を加えて、機会あるごとにその成果を発表してきた<sup>11-13)</sup>。

本論文は、昭和56年から58年にわたって行った実験に基づいて、マサ土を混入したコンクリートの性質を、スランプ、空気量、密度及び強度の面から、川砂との混合割合の影響を含めて検討した結果についてまとめたものである。

## 実験材料及び方法

土質工学会では、花崗岩質岩石が風化し、その場所に残留している残積土をマサ土としているが、本論文では

説明の便宜上、マサと略して表わすことにする。

### (i) 実験材料

実験に用いたマサは、岡山市下足守七鼻付近で採取したもので、川砂・川砂利は鳥取県千代川産、セメントは比重3.15のT社製の普通ポルトランドセメントである。使用骨材の物理的性質を第1表に、第2表には、川砂とマサのフルイ分け試験結果を、第3表には、示方配合を示す。これらの表中、マサAおよびBと区別しているのは、同一採取場所でも、物理的性質が異なったため、前者は昭和56・57年度使用のもの、後者は昭和58年度使用のものを表わしている。

ここで、昭和56・57・58年度の実験内容を示す。

(1) 昭和56年度(シリーズ1)：マサAの物理的性質の把握とマサ混入コンクリートの配合の確立及び $\phi 10 \times 20$  cm円柱形供試体を用いて、密度と圧縮強度へのマサ混入の影響を調べ、マサの細骨材としての利用可能性を検討した。

(2) 昭和57年度(シリーズ2)： $\phi 10 \times 20$  cm円柱形供試体と $10 \times 10 \times 40$  cm角柱形供試体を用いて、空気量、密度、曲げ強度(角柱形のみ)、圧縮強度、動弾性係数について、細骨材がマサAのコンクリートと、細骨材が川砂のコンクリートとを比較し、マサの細骨材としての利用可能性を検討した。

(3) 昭和58年度(シリーズ3)： $\phi 10 \times 20$  cm円柱形供試体を用いて、空気量、密度、圧縮強度、動弾性係数について、細骨材がマサBの場合の影響と、川砂とマサA及びBの混合割合の影響を調べ、最適混合割合を検討した。

第1表 使用骨材の物理的性質

種 類	比 重	吸水率 (%)	有効吸水率 (%)	粗粒率
マサA	2.59	2.25	1.03	4.28
マサB	2.52	2.48	1.47	3.36
川 砂	2.59	2.67	1.64	2.75
川砂利	2.60	1.81	1.30	6.54※

※人為的に粒度調整した値

### (ii) 実験方法

コンクリートは、強制練りミキサー(50 l)で所要量を先ず75秒間セメントと骨材のみを混ぜ、次に水を加えて150秒間練り混ぜた後、ミキサーを回転させながら練板上に排出させ、もう一度手練りしてから、スランプ測定、空気量測定用の試料の準備、練り上り温度測定を行った。なお、冬期には練り上り温度が20℃前後になるように混

第2表 川砂, マサA, マサBのフルイ分け試験結果

フルイの呼び寸法 (mm)	各フルイに残留する割合の累計 (%)			各フルイに残留するものの質量百分率 (%)		
	川砂	マサA	マサB	川砂	マサA	マサB
10	0	0	0	0	0	0
5	0	15	8	0	15	8
2.5	7	55	29	7	40	21
1.2	22	77	51	15	22	22
0.6	61	89	71	39	12	20
0.3	86	94	83	25	5	12
0.15	99	98	94	13	4	11
受皿	100	100	100	1	2	6
F.M.	2.75	4.28	3.36	100		

合水の温度を調節した。

所要のスランブを確認後, 示方書に従ってコンクリートを型枠に詰めて供試体を作製した。一日間室内で養生後脱型し, 20±3℃の恒温水槽内で所要期間養生した。

測定項目は, スランブと空気量(ローリング法)の他に, (1)空中質量, (2)水中質量, (3)動弾性係数(角柱:タワミ振動法, 円柱:縦振動法), (4)曲げ強度(角柱のみ), (5)圧縮強度(円柱はイオウキャッピングを施した)である。これらを, 材令2 [(1), (2)のみ], 3 [シリーズ2のみ], 7, 14, 21 [シリーズ2のみ], 28日に測定した。

第3表示 方 配 合

年度	配合名	マサ混入率 (%)	M.S. (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)			
								水	セメント	細骨材	粗骨材
57	川砂	0	20	12	2	55	44.8	185	336.4	798.5	987.7
	マサA	100	20	12	2	55	44.8	234	425.1	829.6	756.3
58	マサA50	50	20	12	2	55	48.6	209	380.0	818.4	868.4
	マサB	100	20	12	2	55	47.8	209	380.0	783.7	881.4
	マサB25	25	20	12	2	55	46.3	196	336.4	796.2	936.0
	マサB50	50	20	12	2	55	45.5	185	356.4	804.4	975.0
	マサB75	75	20	12	2	55	47.1	201	365.5	792.5	912.6

M.S.:最大骨材寸法, W/C:水セメント比, S/a:細骨材率

### 結果と考察

#### (i) 単位セメント量と空気量

第1図は, 第3表の示方配合の単位セメント量とマサ混入率の関係及び砂混入率と空気量の関係を示している。

第1図の(a)と第3表より, マサ混入率と単位セメント量は比例関係にあることがわかる。マサAでは, 川砂供試体より約90 kg/m³, マサBでは約40 kg/m³だけ単位セメント量が多くなっており, それだけ川砂・川砂利から成るコンクリートより不経済といえる。この原因は, 第1表のマサの物理的性質のうち, 特に吸水率が極端に大きい値を示さず, むしろ小さいことから, マサの粒形・粒度分布の影響と考えられる。

一般に, 砕石を用いたコンクリートは, 川砂利を用いたものより, 同一配合ならワーカビリティが悪くなり, その分だけ単位水量を増加させねばならない。この場合, 川砂利を用いたコンクリートの単位水量を基準として一

定のスランブを得るのに必要な単位水量の増加量は, 9~12%程といわれている<sup>3,6)</sup>。

更に, 砕砂コンクリートと天然砂コンクリートで, 同一スランブを得るには, 単位水量は, 3~13%増加するといわれている<sup>7)</sup>。従って, マサの粒形(角張った形)などを考えたとき, 砕砂コンクリートにマサ混入コンクリートが該当するとすれば, 単位水量は10%程度, 川砂・川砂利コンクリートより多くなると考えられる。しかし, 実際には, 単位水量の増加は, マサAで約27%, マサBでは約13%となっている。

また, 第1図(b)でわかるように, 空気量は, 砂混入率が多い程大きい値となるが, 混入率が50%以上になるとさほど増加しないし, 川砂・川砂利と両マサ混入コンクリートとの差は, 1%前後である。つまり, 筆者らの予想に反して, マサ混入コンクリートの方が小さい値となっている。そこで, 第2表のフルイ分け試験結果から, マサAの粒径0.15~0.60mmは9%, マサBのそれは23%, 川砂は38%と, マサAが極端に少ないことがわかる。こ

の粒径の粒子は、コンクリートの砂利（粗骨材）の周りでボールベアリングのような作用をしてコンシステンシーの改善に効果があり、更に、細骨材の粒度と空気量の関係では、空気量に最も影響する粒径は、0.30~0.60mmで、空気量はこの粒径の含有量の関数であるといわれている。

以上の点から、本実験で用いた細骨材としての川砂、マサA、マサBは、マサAが極端に空気連行性の悪い粒度分布をしていることがわかる。また、マサBの加積累加曲線が、細骨材の土木学会標準粒度範囲に入るのに比べ、マサAは、この範囲からの逸脱度が大きいことも関係している。従って、空気連行性の悪さを補うために単位水量を多くする必要があると共に、それに伴い水セメント比が一定であることから、単位セメント量も多くなったといえる。このように、マサは、川砂コンクリートと同一のスランプを得るには、単位セメント量を多くする必要があり不経済となるが、使用前にある程度大きい団粒を潰し、細粒分を多くして使用することも一つの方法といえる。

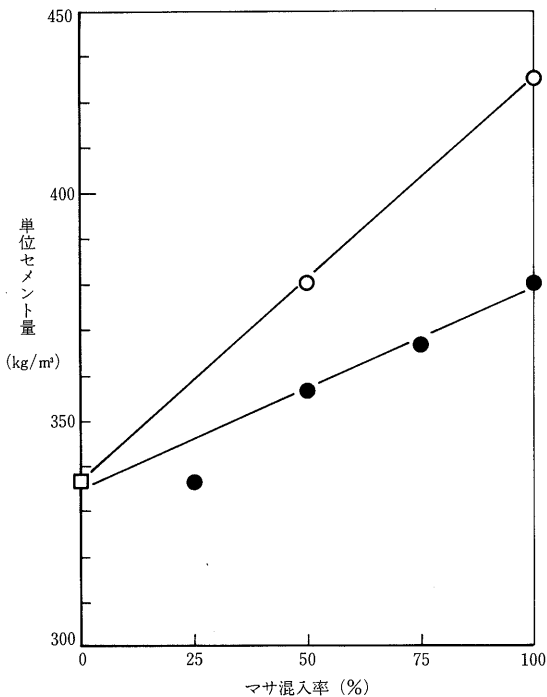
(ii) 密度及び密度比

第4表には、シリーズ2と3の密度の経日変化を示す。この表より次のことがいえる。即ち、密度の増加は、材令7及び14日まで急激に大きくなり、それ以降は緩やかになるが、使用材料の違いによる密度の増加率の差はない。川砂コンクリートの方が、マサ混入コンクリートより密度が大きい。また、角柱供試体の方が、円柱供試体より密度が大きい。

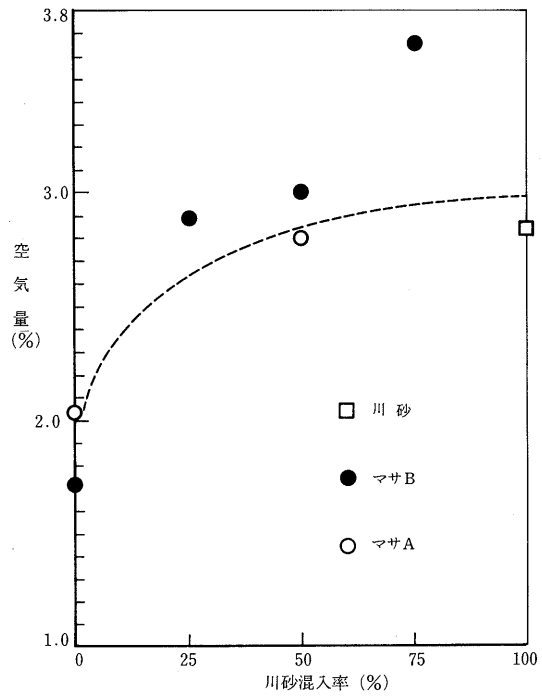
(iii) 曲げ及び圧縮強度と動弾性係数

まず、シリーズ2の結果を第2図に示す。この図から、マサ混入によって強度が川砂供試体よりも相対的に低くなり、特に動弾性係数で相対差が最大となる。これは、マサ及び川砂供試体とも粗骨材に同じ川砂利を用いているので、モルタル部分の性状の違いによるものといえる。

第3図には、シリーズ2と3の円柱供試体みの圧縮強度と動弾性係数の結果を示す。ただし、図中のマサAと川砂供試体は、シリーズ2の材令7、14、28日の値を用いて示してある。この図で、マサと川砂を混合することで強度が各材令で増大している。これは、いうまでも

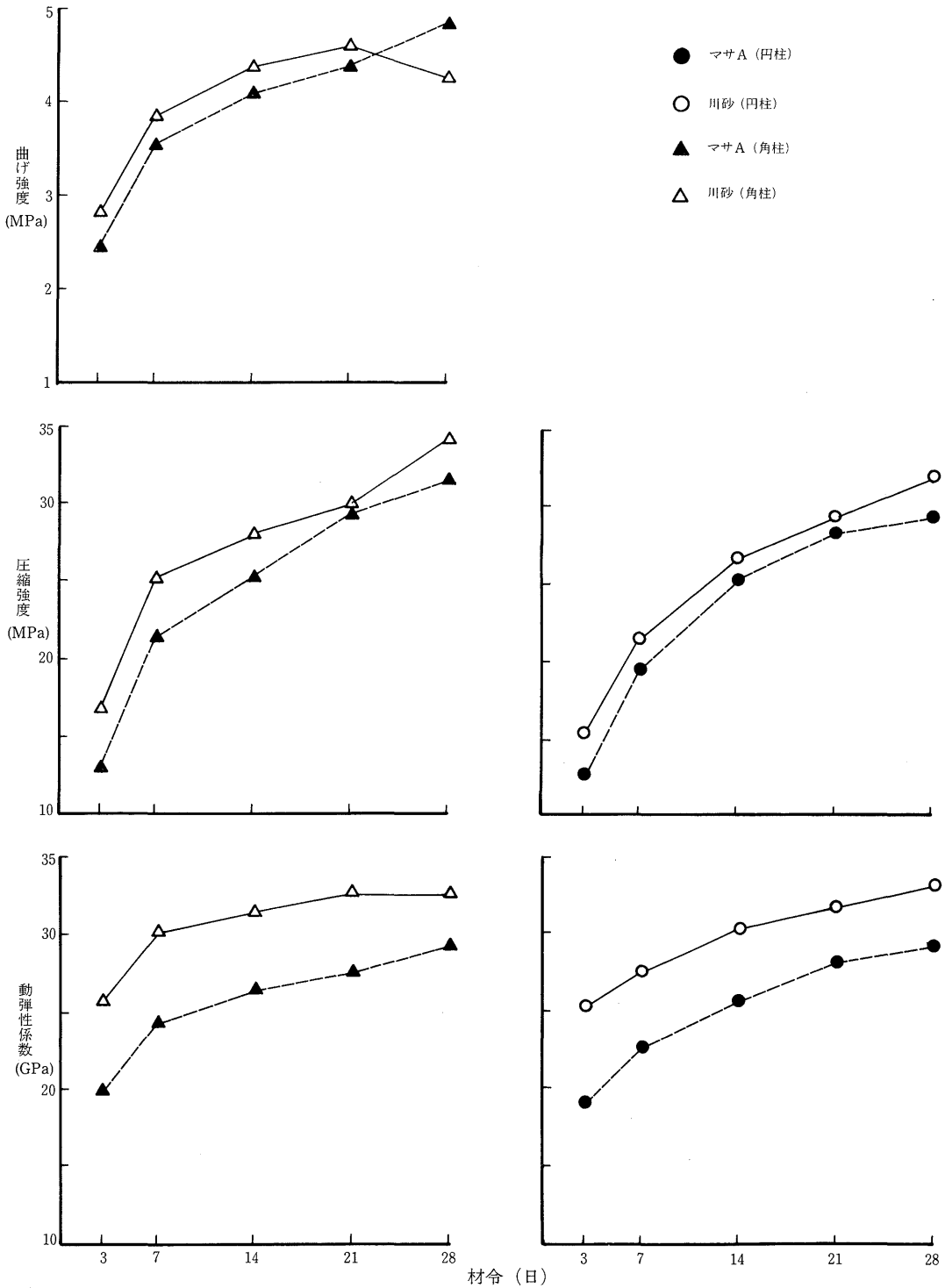


(a) マサ混入率と単位セメント量の関係



(b) 川砂混入率と空気量の関係

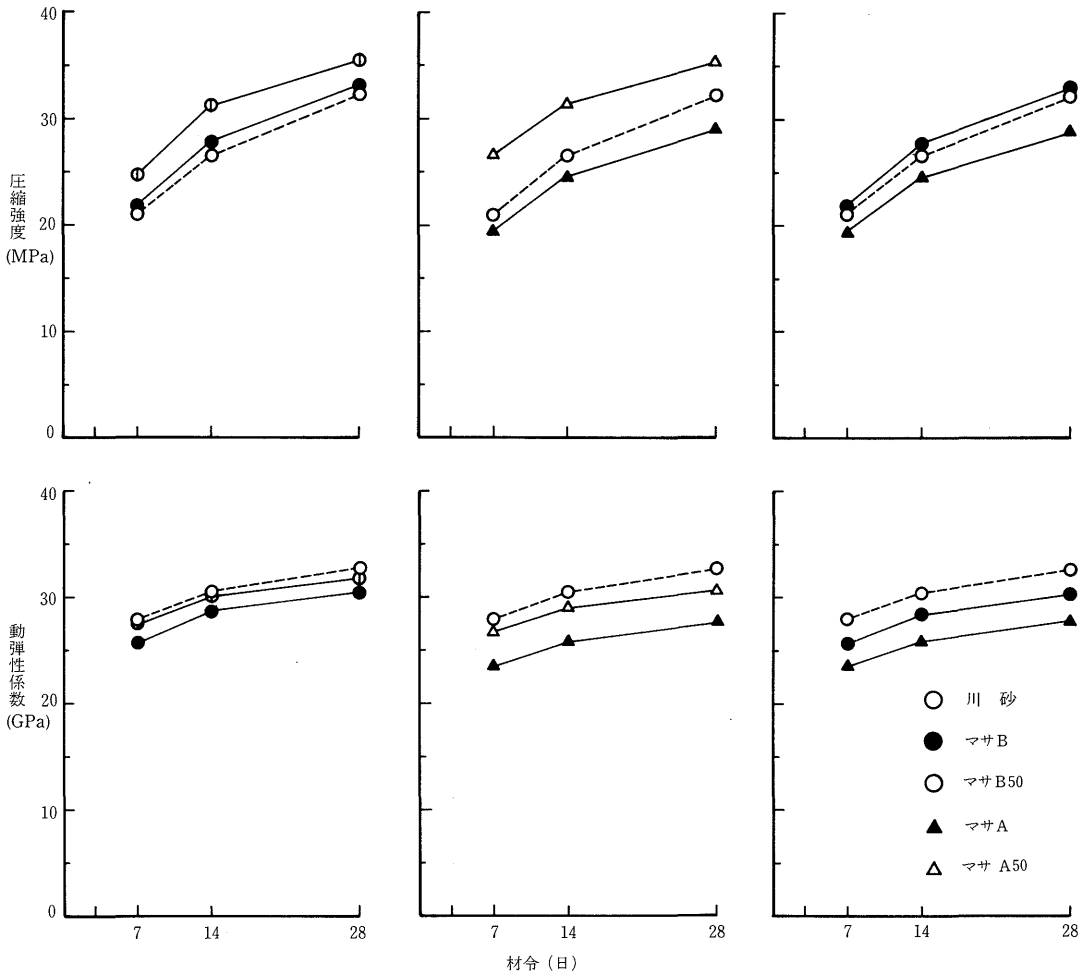
第1図 マサ混入率が単位セメント量と空気量に及ぼす影響



第2図 曲げ及び圧縮強度と動弾性係数の経日変化 (シリーズ2)

なく川砂混入で粒度が改善されたためである。なお、圧縮強度と動弾性係数の傾向はやや異なり、前者では、川砂とマサ混入の供試体が共に最も大きい値を示している

のに反し、後者では川砂供試体が最大値を示している。この点は、今後実験を積重ねて検討を要するであろう。



第3図 圧縮強度と動弾性係数の経日変化 (シリーズ2と3)

(iv) マサ混入率の影響

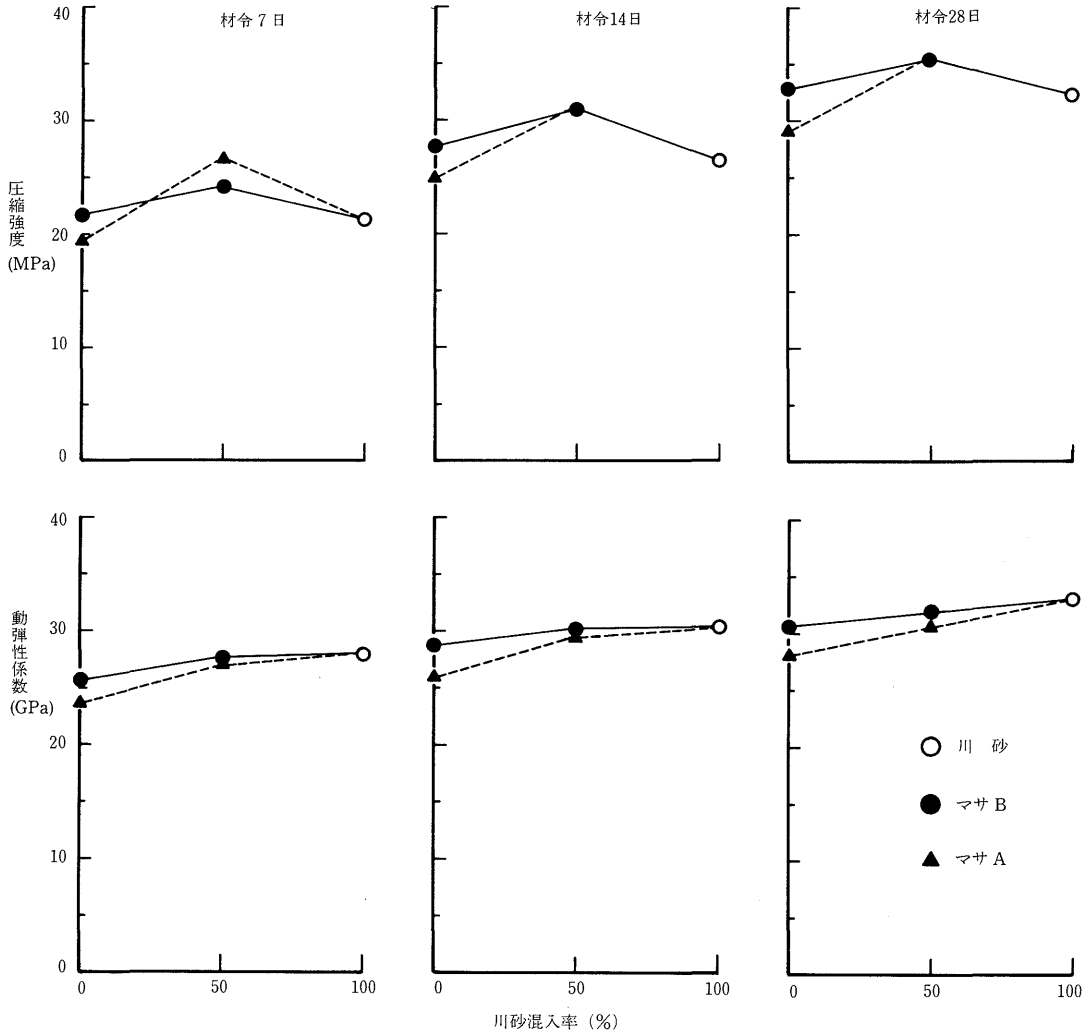
細骨材中の川砂とマサの混合割合が、圧縮強度と動弾性係数に及ぼす影響を材令別に示したのが第4図である。これらの図で、マサに川砂を混入する効果は、圧縮強度にはっきり現われており、川砂混入率0, 50, 100%の間では50%で最大となることがわかる。

(v) 供試体形状の影響

シリーズ2では、同一配合で異なる形状の供試体を作製し強度試験などを実施した。そこで、円柱形供試体と

角柱形供試体の形状及び寸法が圧縮強度と動弾性係数に及ぼす影響を示したのが第5図である。

一般に、コンクリート供試体は、同一品質でもその寸法・形状によって強度は相違する。例えば、圧縮強度では、 $H/D$  ( $H$ :高さ,  $D$ :辺長または直径) が小さく、かつ形が小さいもの程大きい強度を示す<sup>9)</sup>。従って、円柱では  $H/D=2.0$ , 角柱では  $H/D=1.0$  となるので、マサ及び砂供試体とも角柱形の方が大きい値を示す。一方、動弾性係数では、共振振動数から計算される時小さな



第4図 マサ混入率が圧縮強度と動弾性係数に及ぼす影響 (シリーズ2と3)

供試体よりも大きい方が大きい値を示すといわれており<sup>14)</sup>、実験結果もこの点を裏付けている。ただし、円柱形供試体は縦振動法、角柱形供試体はタワミ振動法で共鳴振動数を測定しているの、同一方法による比較検討も必要であろう。なお、比較は、各材令における平均値で行っている。

#### 結 論

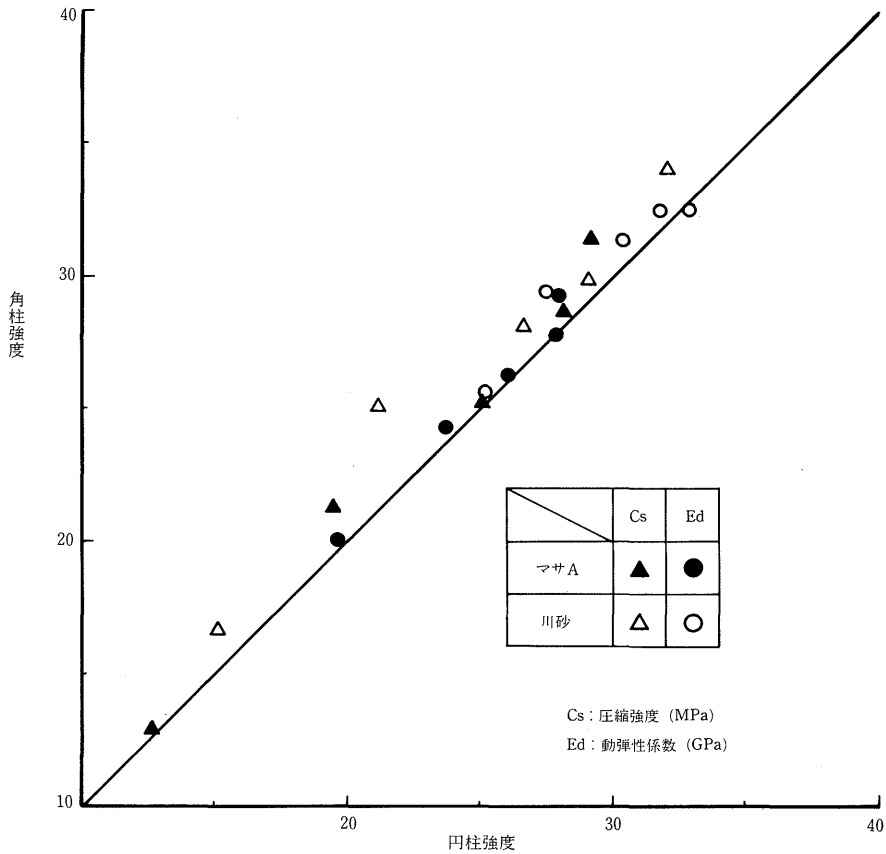
昭和56年度より、花崗岩の風化したマサのコンクリート用細骨材としての利用可能性と、それが混入されたコンクリートの諸性状に関する実験を行ってきたが、現在

までに得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) マサは、コンクリート用細骨材として十分使用できる。
- (2) マサ混入率と単位セメント量は比例関係にある。また細粒分 (0.15~0.60mm) が多いマサ程、単位セメント量は少なくてすむことから、粗いマサはある程度潰して使用の方が経済的である。
- (3) マサの物理的性質は、同一採取場所でも、深さ、気象条件、採取方法などによりかなり異なるので、使用に先立って入念な物理試験を行うべきである。
- (4) マサのみを細骨材として使用するよりも、川砂と混

第4表 密度及び密度比

配合名	供試体形状	各材令(日)の密度(g/cm <sup>3</sup> )及び密度比					
		2	3	7	14	21	28
川砂	円柱	2.3015	2.3034	2.3095	2.3123	2.3147	2.3159
		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
川砂	角柱	2.3249	2.3259	2.3283	2.3288	2.3304	2.3330
		1.0102	1.0098	1.0081	1.0071	1.0068	1.0074
マサA	円柱	2.2706	2.2746	2.2776	2.2835	2.2870	2.2852
		0.9866	0.9875	0.9862	0.9875	0.9880	0.9867
マサA	角柱	2.2860	2.2891	2.2922	2.2957	2.2958	2.2962
		0.9933	0.9938	0.9925	0.9928	0.9918	0.9915
マサA50	円柱	2.2796	—	2.2882	2.2901	—	2.2957
		0.9905	—	0.9908	0.9904	—	0.9913
マサB	円柱	2.2878	—	2.3008	2.3046	—	2.3045
		0.9940	—	0.9962	0.9967	—	0.9951
マサB50	円柱	2.3031	—	2.3054	2.3146	—	2.3182
		1.0007	—	0.9982	1.0010	—	1.0010



第5図 円柱強度と角柱強度の比較 (シリーズ2)



合した方が大きい強度が得られる。混入率の効果は、圧縮強度に強く現れた。

#### あ と が き

マサ混入コンクリートと、川砂・川砂利から成るコンクリートが、同一スラブになるように配合設計して諸性状の比較を試みて、マサが細骨材として十分利用できることが確認できた。ただし、単位セメント量が増大して不経済な配合となることが欠点といえる。しかし、これは、AE剤のような減水剤を混和させることで所要の単位水量を減らし、それに伴ってセメント量を少なく抑えることが考えられるので、今後この点も検討すべきであろう。更に、マサ混入率の強度面への影響の点で、川砂とマサの混合割合が50%で最良の結果が得られたが、実際には比較データが2年間にわたって得られたもので、実験条件、バッチ間の差の影響などを考へに入れると、もっと実験の積重ねを必要とするであろう。

なお、本実験の一部は、昭和56・57年度科学研究費の補助を受けて行ったものである。最後に、本実験に使用したマサの採取及び調査に御協力戴いた岡山県吉備高原開発建設事務所並びに鳥取県八頭地方農林振興局耕地課の関係各位に対し衷心御礼申し上げると共に、実験遂行に多大なる協力を頂いた昭和56・57・58年度当研究室の専攻生の諸君に深甚なる謝意を表する。

#### 文 献

- 1) 土質工学会：土質試験法（第一回改訂版）．東京（1970）
- 2) 福島正人・二村誠二：コンクリート用碎石のアルカリ骨材反応性．セメント・コンクリート，438 8-15（1973）
- 3) 伊東茂富：新編コンクリート工学．森北出版（第一版），東京（1977）pp. 210-212
- 4) 同上，pp. 189-191
- 5) 同上，pp. 81-82
- 6) 岩崎訓明・西林新蔵・青柳征夫：フレッシュコンクリート・硬化コンクリート．技報堂（第一版），東京（1981）pp. 13
- 7) 同上，pp. 14
- 8) 川村満紀・榎場重正：アルカリ・シリカ反応のメカニズム．コンクリート工学，22（2） 6-15（1984）
- 9) 小林一輔他8名：コンクリート構造物の寿命をどう考えるか．コンクリート工学，22（1） 2-22（1984）
- 10) 小林一輔他2名：アルカリ骨材反応をめぐって．コンクリート工学，22（5） 4-15（1984）
- 11) 柘植巳一・服部九二雄：コンクリート用骨材資源の有効利用について—細骨材としてのマサの利用について（I）—，農土学会中四国支部講演要旨，37 26-28（1982）
- 12) 柘植巳一・服部九二雄：同上（II）．農土学会講演要旨，514~515（1983）
- 13) 柘植巳一・服部九二雄：同上（III）．農土学会講演要旨，544~545（1984）
- 14) V. M. Malhotra：Testing Hardened Concrete—Nondestructive Method—．ACI Monograph 9，Detroit（1976）pp. 60