

# コンクリート用細骨材としての まさ土の利用に関する基礎研究

古河幸雄<sup>1</sup>・藤田龍之<sup>2</sup>・坂田正純<sup>3</sup>・村田吉晴<sup>4</sup>・渡辺英彦<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 日本大学教授 工学部土木工学科(〒963-8642 郡山市田村町字徳定中河原1番地)

E-mail : furukawa@civil.ce.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工学博士 日本大学教授 工学部土木工学科(〒963-8642 郡山市田村町字徳定中河原1番地)

<sup>3</sup>三栄建設株式会社 工事部(〒963-8863 郡山市菜根屋敷23番地ノ5)

<sup>4</sup>日本大学専任講師 工学部土木工学科(〒963-8642 郡山市田村町字徳定中河原1番地)

<sup>5</sup>正会員 工学修士 日本大学助教授 工学部土木工学科(〒963-8642 郡山市田村町字徳定中河原1番地)

阿武隈高地のまさ土を対象にして、コンクリート用細骨材への利用について検討した。細骨材としての品質を評価すると、規定値をすべて満足するのは絶乾密度、粘土塊量、有機不純物量、吸水率および塩化物に対する安定性は強熱減量Li≤2.5%の場合、洗い試験はすべてのまさ土で満足しないことがわかった。まさ土を骨材としたときの圧縮強度はセメントの物理試験による強さ試験で行い、粒度分布を自然粒度と細骨材として規定されている粒度範囲の中央粒度の2種類、水セメント比は3種類で行った。その結果、圧縮強度は粒度分布より水セメント比の影響を強く受けることが明らかになった。また、配合設計により強度試験を実施した結果、設定した圧縮強度の60~110%程度の強度発現が得られ、圧縮強度はLiに強い影響を受けることがわかった。

**Key Words :** decomposed granite soil, fine aggregate, grain size distribution, water-cement ratio, compressive strength

## 1. まえがき

花崗岩の風化残積土であるまさ土は日本全国に分布し、母岩の種類や風化度の違いのためにそれぞれの分布地域により多種多様な性質を示す。まさ土は砂質土であるため、置換材や盛土等の土質材料として大量に用いられているが、それ以外に砂質土としての性質を利用した用途に用いられることはほとんどない。

土質材料以外の用途としてまさ土の利用を考えると、その性質が砂質土であること、有機物もそれほど多く含まないことなどから、コンクリート用の細骨材への適用が挙げられる。これまで用いられている川砂、碎砂、海砂にまさ土が加われば、細骨材として用いることができる選択肢が増えことになり、細骨材採取による様々な問題に対して朗報となる。

まさ土を細骨材として利用する研究について、主要な論文集である土木学会論文集(III, V, VI部門)、農業土木学会論文集、材料、コンクリート工学論文集、その他等を対象に、概ね最近20年間程度の研究動向を調

査した。その結果、3件の研究成果が次のように報告されていた。服部・柘植<sup>1), 2)</sup>は、5種類のまさ土と1種類の川砂を用いて配合設計を行い、フレッシュ状態および硬化後の物理・力学的諸性状、凍結融解による安定性について検討している。用いたまさ土では、単位セメント量を多少多くすれば細骨材として利用できる可能性が大きく、凍結融解に対する耐久性も高いとの結果を得ている。井上ら<sup>3)</sup>は、まさ土の物性を調査した11種類の中から1種類を対象にして、配合設計によるフレッシュ状態および硬化後の物理・力学的諸性状について検討し、細骨材に用いることができる可能性が大である結論を得ている。高倉・吉野<sup>4)</sup>は、細骨材の粒度規定に粒度調整したまさ土4種類、海砂4種類を用いて配合設計を行い、フレッシュ状態および硬化後の物理・力学的諸性状を検討し、実際に間知ブロック、L型ブロック、擁壁などを試験製作しており、細骨材への利用に対する実用化に取り組んでいる。これらの文献に見られる研究成果は、細骨材の基準を満たすようなまさ土を用いた場合の結果であり、まさ土の風化度とコンクリートの諸性状との

表-1 材料の配合設計表

呼び名	強熱減量 (%)	骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (セメント%)
							水	セメント	細骨材	粗骨材	
平沢	1.76	20	8±2	2	63.6	46.9	185	291	824	977	2.7
馬場	1.96	20	8±2	2	63.6	43.4	185	291	743	1043	2.2
東和	2.05	20	8±2	2	63.6	49.1	185	291	838	926	3.2
早渡	2.58	20	8±2	2	63.6	41.2	185	291	637	1082	1.6
谷田川	2.70	20	8±2	2	63.6	43.5	185	291	716	1040	1.6
根本	4.82	20	8±2	2	63.6	44.8	185	291	915	1010	5.0
西田	2.64	20	8±2	2	63.6	46.7	185	291	926	977	5.0
鮫川	3.40	20	8±2	2	63.6	43.3	185	291	784	1045	1.0
斎藤	3.36	20	8±2	2	63.6	45.4	185	291	901	1005	1.5
蹄場	2.49	20	8±2	2	63.6	41.5	185	291	780	1076	3.0
船引	2.11	20	8±2	2	63.6	46.5	185	291	895	986	1.0
大平	2.39	20	8±2	2	63.6	43.8	185	291	835	1029	1.5
川砂	1.19	20	8±2	2	63.6	47.8	185	291	860	961	0.1
碎砂	0.89	20	8±2	2	63.6	45.1	185	291	858	1012	0.0
川砂	1.59	20	8±2	2	63.6	47.8	185	291	860	961	0.1
ISO砂	0.05	20	8±2	2	63.6	45.7	185	291	850	995	1.5

関連性について検討を行っていないため、どのような風化度までのまさ土を利用すればよいか明らかになっていない。コンクリートの強度は、骨材の品質にも影響されることから、まさ土の性質とコンクリート強度等の関係を明らかにすることは重要なことであり、それによってまさ土の利用範囲と価値が高まるものと判断される。

本研究は、筆者らが阿武隈高地に分布するまさ土を対象として、これまで行った細骨材への利用に関する研究<sup>5)~9)</sup>をとりまとめて修正・加筆したものであり、次の点を明らかにすることを目的とした。細骨材としてのまさ土の品質を検討するために、風化度に関する物理化学的性質を調べ、阿武隈高地のまさ土の風化度の特徴を明らかにする。コンクリート用細骨材への利用を前提に、まさ土の風化度とセメントの物理試験方法に規定されている強さ試験の強度特性との関係、さらに配合設計による強度特性を検討し、まさ土の土質工学的性質から、まさ土コンクリートの強度発現特性について評価するものである。

## 2. 試料および実験方法

### (1) 試料

試料は、阿武隈高地のまさ土を対象にして、原位置で風化したものがそのまま残留している残積土であること、つまり、崩積土や水によるふるいわけ淘汰を受けていないことを採取するための原位置条件とした。採取は、風化の程度が異なると思われる19カ所の地点において、2週間以上降雨のない時期を選んだ。採取ポイントに地下水のないことを確認して、各地点とも2~4mの

深度より乱したものを採取し、自然含水比を測定した後密閉して保存した。また、2カ所については、深度方向に対しての性質変化を調べるために、新鮮な土層断面より乱さないで採取した。まさ土を細骨材に用いる検討では、深度方向のまさ土は地表に近いほど風化は大きく、母岩が同じであれば、風化度が異なっても構成鉱物に由来する性質が類似すると考えられるので、深度2~4mのまさ土以外は用いないことにした。

細骨材にまさ土を使用する場合、標準骨材として、セメントの物理試験方法に規定されている強さ試験を行う場合は豊浦砂、配合設計の場合は川砂、および川砂に準じる細骨材として碎砂、ISO砂<sup>10)</sup>(これらを総称する場合は、砂等という)を用いた。

### (2) 実験方法

#### a) 風化度および材料の品質評価試験

採取した試料は、風化度の評価に必要と思われる物理化学的試験として土粒子の密度、粒度、保水性、強熱減量、比表面積(BET式一点法)<sup>11)</sup>、非晶質物質量<sup>12)</sup>の各試験(一部の試料で、試験の一部を行っていないものもある)、細骨材の品質を評価する材料学的試験として密度・吸水率、洗い、粘土塊量、安定性、有機不純物の各試験を実施した。試験は、JISまたはJGS(地盤工学会基準)の規定に従い、規定のない試験方法は提案されている方法に準じて行った。

#### b) 圧縮強度試験

まさ土の性質が圧縮強度に及ぼす影響を検討するための基礎実験として、セメントの物理試験(JIS R 5201-1992)に規定されている強さ試験を行った。この試験は、角柱供試体により曲げ試験と圧縮試験を実施する

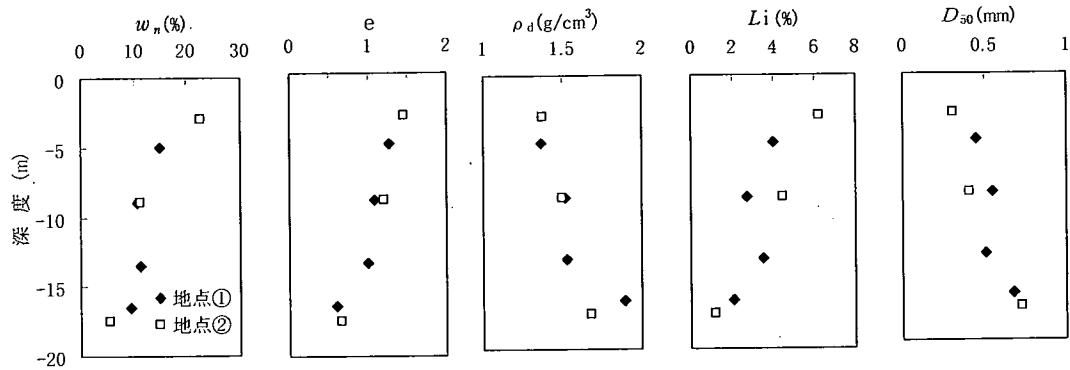


図-1 まさ土の深度方向の性質

ことになっている。本研究では、まさ土の風化度の違いが圧縮強度の発現特性に及ぼす影響の検討を目的としていること、しかも供試体数が多いことから、曲げ試験を行わないことを前提に  $\phi 50 \times 100\text{mm}$  の円柱供試体を行った。この試験の標準配合は、豊浦砂1040g、セメント520g、水338mlであり、材齢3, 7, 28, 56日(20±3°Cで1日温潤箱中、それ以後は水中養生させた)後に取り出し、弾性波速度試験、圧縮試験、細孔量分布試験(水銀圧入法)を実施した。現在、この試験方法は改正され、ISO砂を用いることになっているが、本研究の開始時期が豊浦砂の使用を規定していたため改正前のJISの配合で行い、豊浦砂のところをまさ土に置き換えて行った。

配合設計は、目標強度を $20\text{MN}/\text{m}^2$ に設定し、全ての配合に対して水セメント比とスランプを一定とした。粗骨材は川砂利(表乾密度=2.62g/cm<sup>3</sup>、吸水率=1.82%、すり減り減量=12.3%)を使用し、骨材量は粗粒率に応じて $s/a$ を修正した。スランプは8±2cmの範囲になるように設定しているが、まさ土の風化の程度により、配合設計の水量だけではそのスランプが満足できないことがあるので、混和剤(レオビルド)を加えて調節した。表-1に配合設計の結果を示す。供試体の作製は、強制練りミキサーに所要量の骨材とセメントを入れて60秒程度空練りした後、予備試験により求めた配合で設定したスランプが得られる混和剤量を混入した練混ぜ水を投入し、数分間練混ぜた。練混ぜ後、コンクリートを練板に排出して数回手練りを行い、スランプが所要の範囲にあることを確認してから型枠( $\phi = 10\text{cm}$ ,  $H = 20\text{cm}$ )に2層に分けて締め固めながら詰め、最後に振動機で締め固めた後表面を成形した。1日間恒温恒湿室(20±3°C, 80%)内で養生した後キャビングを行い、脱型後、水中養生を行った(20±3°C)。供試体を材齢3, 7, 28, 90日(一部の供試体では14, 21日も行った)に取出し、弾性波速度、圧縮強度試験を実施した。

### 3. まさ土の性質

図-1は、阿武隈高地内での距離を隔てた2地点において、深度方向の自然含水比 $w_n$ 、間隙比 $e$ 、乾燥密度 $\rho_d$ 、強熱減量 $L_i$ 、50%粒径 $D_{50}$ を示したものである。 $w_n$ 、 $e$ 、 $L_i$ は深度が大きくなるにつれて低下する傾向を、 $\rho_d$ 、 $D_{50}$ は逆に増加する傾向を示す。それらの諸数は風化度に関連するといわれており<sup>13)</sup>、風化が進行するとそれらの値は大きく、あるいは小さくなることから、地表面から深度が大きくなるにつれて風化度は小さくなり、まさ土の性質は深度により変化していることがわかる。深度方向に対して、それぞれの物理的性質の値が深度の増加とともに大きく変化するほど、つまり、深度方向に対する勾配が大きいほど、風化度の変化が著しいといえ、両地点を比較すると、深度方向の風化度の勾配は、地点①より地点②の方が大きい。このように、深度方向に対する風化の程度は、まさ土が残積している地域により異なるので、深度が同じでもまさ土の性質が異なってくる。これは、西日本の生駒山<sup>14)</sup>の花崗閃緑岩の風化層断面で得られた結果でも同様な特徴を示している。

図-2は、地表下2~4mで採取したまさ土の性質について、 $L_i$ との関係で示したものである。 $L_i$ を他の物理化学的な性質と比較する際の指標としたのは、風化の進行に伴い、一次鉱物が二次的生成物として粘土鉱物に変化していく過程で構造水が増大するためであり、 $L_i$ の大きさが鉱物中の構造水や有機物などに深く関わるからである。特に、まさ土の場合は有機物量が少ないので、構造水そのものの量を表していると考えられ、風化度が大きいと $L_i$ も大きくなることから、まさ土の風化度の指標として多用されることが多い<sup>15)</sup>。

(a)図は、保水性を示すものとして $w_n$ とpF3.3含水比を示したもので、両者とも直線的な増加傾向が認められることから、まさ土の保水性と $L_i$ との間には良い相関関

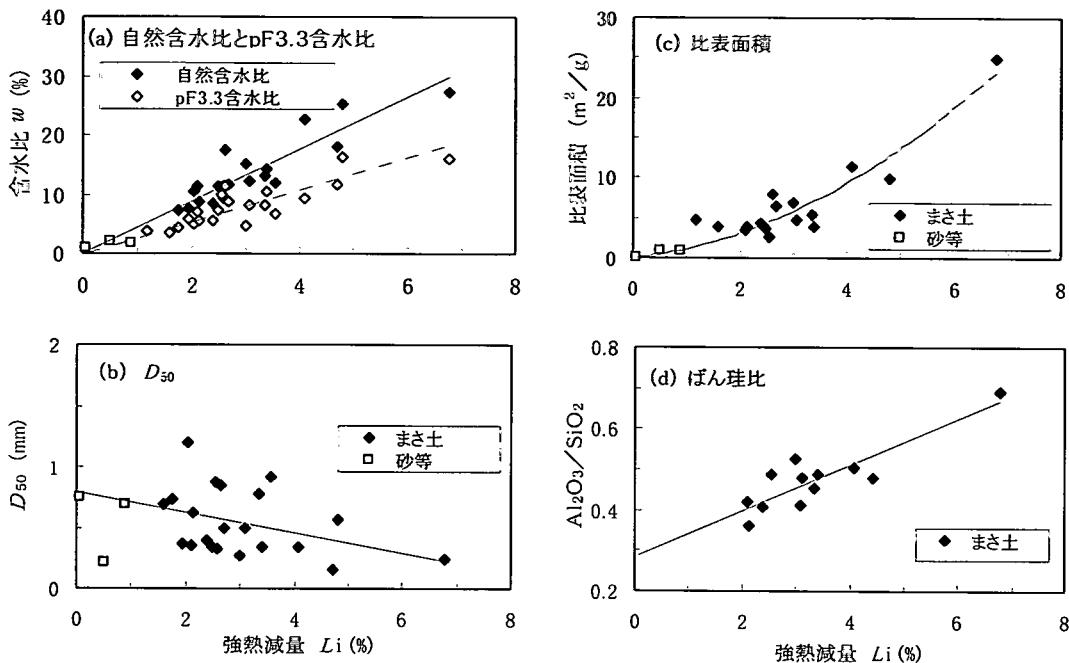


図-2 まさ土の物理化学的性質

係があるといえる。ここでいうpF3.3とは、土中水のポテンシャル $\psi$ を圧力水頭(cmH<sub>2</sub>O)に換算したとき、次式のように定義されており<sup>16)</sup>、pF3.3のときの水分量を含水比で表したものである。

$$pF = \log(-\psi) \quad (1)$$

まさ土は、地中で様々な作用を受けながら風化が進行し、それにともない土粒子の外周に凹凸や内部に空隙が発達していき、土中水としてそこに貯留していくものと考えられる。両含水比とも、 $L_i$  の増加とともに直線的に増大していることから、これらの水分量がまさ土の風化度に関連していることがわかる。保水性は、土粒子間の水の表面張力や土粒子間の物理化学的性質に起因する吸引力に支配され、pF3.3以下は自由水領域、pF3.3～pF4.2は準拘束水領域、pF4.2以上は拘束水領域といわれている<sup>17)</sup>。準拘束水領域の水分は練り返しても自由水化がしにくいといわれ、まさ土では土粒子内の空隙が多く、準拘束水はそこに貯留され、通常では土中水として流動しないといわれている。 $w$  は地中で安定した含水状態と考えられ、pF3.3含水比との差が自由水と位置づけられる。

(b)図は、粒度特性を $D_{50}$ により調べたもので、ばらつきは大きいが、 $L_i$  の増加とともにわずかな減少傾向を示している。図-1で示したように、試料の採取深度が浅いほど風化が進行して細粒化するため $D_{50}$ は小さくな

るが、同じ深さでも $D_{50}$ は違う値を示している。(b)図は2～4mの深度から採取した結果であり、風化による細粒化は、採取地点が異なっても深度方向の相対的傾向が継承していくことがわかる。

(c)図は、粒子特性を比表面積より調べたもので、 $L_i$  の増加とともに曲線的に増大する傾向を示している。(b)図と総合すると、風化の進行とともに細粒化しながら粒子表面構造の複雑化の度合いが著しく大きくなるものと推測される。

(d)図は、非晶質物質量をばん珪比Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>により検討したものである。浸透水などによる鉱物の溶脱は、第一段階としてCa, Na, Mg, Kなどから始まり、これらが溶出すると土中水はアルカリ性になる。第二段階はそれより難溶性のSiO<sub>2</sub>が溶出し始め、第三段階にはFe, Alが溶脱し、それらは酸化物Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の形で風化残積土中に残留する。このように溶出して土壤に残留した成分は、再結合によってゲル状の非晶質物質や結晶性粘土鉱物を形成してくる。一般的な自然環境におけるpH領域(5 < pH < 9)では、珪酸分は徐々に水に溶脱するが、アルミニウム酸化物は土中に留まって移動しにくいことから<sup>18)</sup>、風化が進むとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>が大きくなるはずである。図によると、 $L_i$  の増加とともにAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>が大きくなっていることから、前述の溶脱による風化過程が裏付けられる。

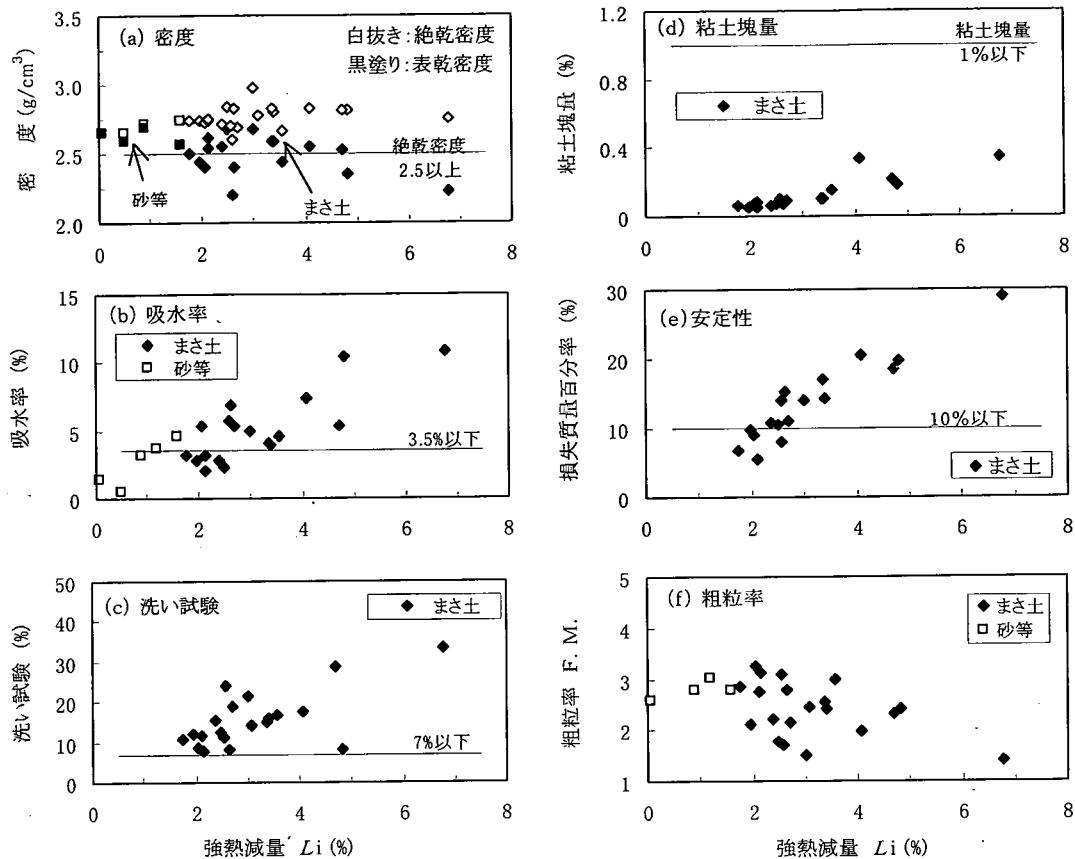


図-3 細骨材としてのまさ土の性質

#### 4. コンクリート細骨材としての特徴

細骨材として使用する場合、土木学会コンクリート標準仕方書<sup>18)</sup>には、「細骨材は清浄、堅硬、耐久的で、適当な粒度をもち、ごみ、どろ、有機不純物、塩化物等の有害物を含んではならない」と定義され、それぞれに対して規定値が設定されている。

図-3は、細骨材としての品質が規定されている項目について、 $Li$ との関係で示したものである。(a)図は、表乾密度と絶乾密度の場合で、 $Li$ との相関性は認められないが、絶乾密度  $\geq 2.5 \text{ g}/\text{cm}^3$  の規定はすべてのまさ土で満足している。(b)図は、吸水率を示したものであり、 $Li$ が大きくなるにつれて吸水率も増大する相関性が認められる。吸水率の規定値は3.5%以下であり、これに当てはまるのは全試料の1/3程度で、概ね  $Li \leq 2.5\%$  が満足するようである。(c)図は洗い試験の結果であり、すり減り作用を受けない場合は7%以下という規定を満足しない。(d)図は粘土塊量の結果であり、1%以下と規定され、すべてのまさ土でこの条件を満足している。

(e)図は塩化物(硫酸ナトリウム)に対する安定性試験の結果である。損失質量百分率は、 $Li$ が大きくなるについたがい増大し、まさ土の風化が大きくなると安定性が低下する特徴を示している。この規定値は10%以下であり、これには概ね  $Li \leq 2.5\%$  が満足するようである。(f)図は粗粒率を示したものであり、ばらつきは大きいものの  $Li$ の増加につれて小さくなる傾向を示し、風化の進行による細粒化が粗粒率にも反映されているといえる。

これらの項目以外に有機不純物試験がある。標準色液とまさ土の上澄み溶液色との比較から判定する方法であり、標準色液より薄ければ問題ない。両者を比色した結果、すべてのまさ土が標準色液より薄かったことから、有機不純物に対しては合格しているといえる。

図-4は、まさ土の採取時、および細骨材のJIS粒度範囲(以後、標準粒度という)とその中央粒度、豊浦砂、ISO砂の粒度分布である。まさ土の粒度分布は、粒度分布の全体にわたって細骨材の標準粒度の細粒側粒度分布より細粒側に位置するものから、標準粒度の粗粒側から細粒側へ横断するような均等係数の大きい試料

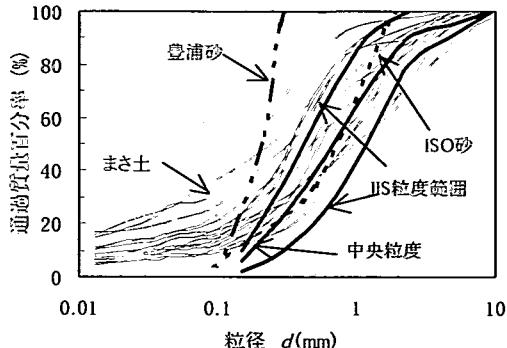


図-4 試料の粒度分布

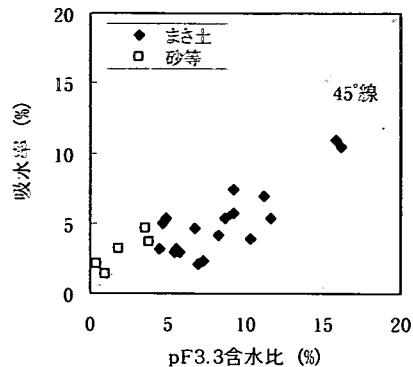


図-5 試料の吸水率とpF3.3含水比の関係

まで、多様な粒度分布を示している。また、 $d > 0.5\text{mm}$ では、標準粒度より多少はずれる試料もあるが、標準粒度範囲にあるものが多く、 $d < 0.3\text{mm}$ になるといずれのまさ土も標準粒度の細粒側に近づき、 $d < 0.15\text{mm}$ ではすべてのまさ土が標準粒度より細粒化している特徴を示す。したがって、図-3(c)で検討した洗い試験において規定値を超えたことが理解できる。

図-5は、吸水率とpF3.3含水比の関係である。砂等は、両者がほぼ同等であるのに対し、まさ土はpF3.3含水比の方が大きくなっている。しかも45°線と平行となるような傾向を示し、その差は吸水率が約5%程度小さくなる傾向にある。これは、粒子表面の特徴が現れているものと考えられる。砂等は表面の凹凸が少ないのでそこに水分が貯留されないため、吸水率とpF3.3含水比が近似するが、まさ土は風化の進行とともに表面の凹凸、および土粒子内部に貯留される水分量が多くなり、その差が現れたものと考えられる。

pF3.3含水比の測定では、試料に負荷するポテンシャルが決まっている。それに対し、吸水率の測定では、フローコーンに試料を入れ、突き棒で25回軽く突くことになっているが、突くときのエネルギーが曖昧である。したがって、pF3.3含水比と吸水率の値は若干異なるが、物理的根拠の明確なpF3.3含水比を表乾状態の水分量に置き換える可能性も考えられる。

## 5. セメントの物理試験における強さ試験

供試体作製における豊浦砂、セメント、水の配合は、それぞれ1040g、520g、338mlと規定されており、本研究では豊浦砂の代わりにまさ土を用いる。コンクリート供試体の強度に影響を及ぼすのは、骨材の性質と水量が考えられる。そこで、骨材の性質として粒度分布を位置

表-2 セメントの物理試験による強さ試験に用いた加水量

試料名	規定水 + 初期加水量	水セメント比
砂等	338(ml)	0.65
まさ土	338 + pF3.3 の水量	小
	338 + 自然含水比	↓
	338 + フロ-260 水量	大
	338 + フロ-160 水量	小
	338 + フロ-210 水量	↓
	338 + フロ-260 水量	大

づけ、採取時の自然粒度と細骨材の標準粒度範囲の中央粒度の2種類で検討した。自然粒度と中央粒度は、採取したまさ土を空気乾燥してふるい分け、それぞれの粒度分布に粒度調整したものである。水量は、豊浦砂の代替えにまさ土を使用すると、まさ土粒子の内部空隙や表面特性、細粒分量などの特徴が前述のように豊浦砂と大きく異なるので、規定の水量で供試体を作製するには、流動性の確保などの点から困難である。これは、まさ土粒子が加えた水を吸水して消費するためで、水量を豊浦砂の場合より多くしないとセメントと水による充分な水和反応が発揮できない恐れがある。そこで、自然粒度、中央粒度とも3種類の加水量を設定した。自然粒度の場合、まさ土において自由水化しないといわれている内部貯留水がある。それをセメントとの水和反応に貢献しない保持水として考え、それをpF3.3含水比とした。さらに、水セメント比(以後、W/Cという)を変化させて行うために自然含水比の場合とフロー値260となる初期加水量を設定した。中央粒度の加水量はフロー値で設定し、フロー値160、210、260の3種類とし(それぞれのフロー値での許容量は±10である)、加

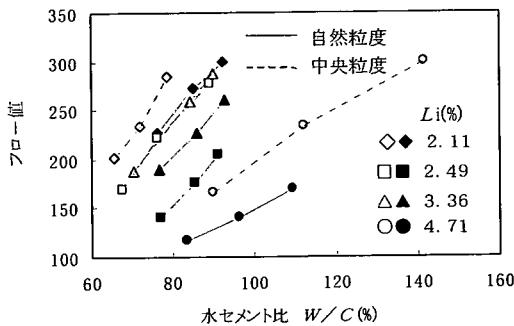


図-6 水セメント比とフロー値の関係

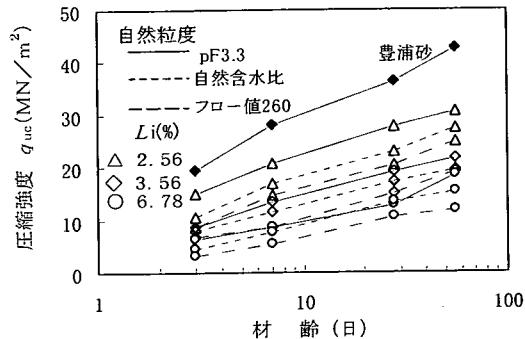


図-8 材齢と圧縮強度の関係

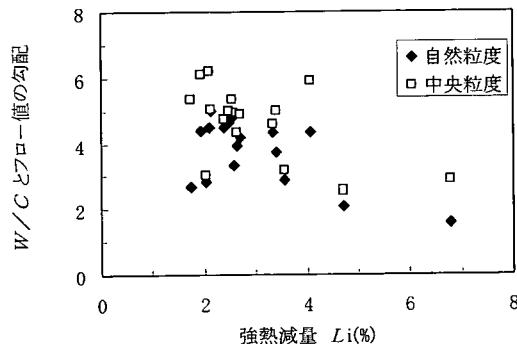


図-7 強熱減量と勾配(W/Cとフロー値)の関係

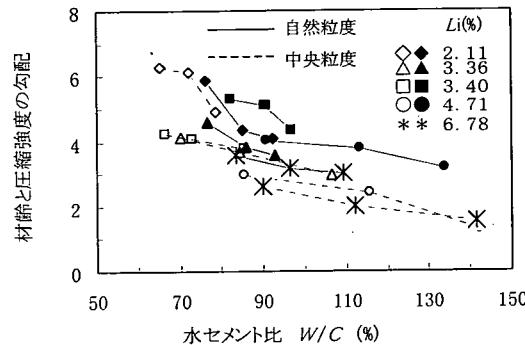


図-9 水セメント比と(材齢と圧縮強度)の勾配の関係

水量をまとめたものを表-2に示す。

図-6は、風化度が異なる代表的な4試料における練り混ぜ時の $W/C$ とフロー値の関係であり、自然粒度と中央粒度の場合である。各試料における両粒度分布とも、3種類の $W/C$ に対するフロー値は直線的な増大傾向を示し、中央粒度のフロー値は自然粒度よりも大きいところに位置している。それら右上がりを示す直線関係は、風化度の相対的関係で、風化度が小さいまま土は左上に、風化度が大きくなると右下へ位置が変化する傾向を示し、しかも直線勾配が徐々に緩くなる傾向が認められる。図-7は、図-6の直線関係における勾配を求め、強熱減量との関係を示したものである。多少ばらつきはあるが、 $Li$ が大きくなるにつれて勾配が小さく、相対的に自然粒度より中央粒度の方が大きくなつて、 $W/C$ に対して中央粒度が敏感であることを示している。これは、粒度分布に由来する保水能力の差が現れているものと考えられる。中央粒度の粒度分布は、自然粒度より粗粒側にあるため、 $W/C$ が同じでも粒子表面の凹凸により保持される準拘束水が少なく、土粒子が保持できない水量が流動性に関わる自由水として関与しているものと推測され、それがフロー値を大きくし、しかも勾配を急にする要因と判断される。

図-8は、風化度が異なる3種類のまさ土について、

自然粒度における材齢の経過に伴う強度変化である(基準試料の豊浦砂も示した)。各試料とも、圧縮強度は材齢の経過に伴い28日まで直線的に増大し、豊浦砂が最も大きいところ、まさ土はそれより小さいところに、風化度( $Li$ )が大きいほど下方に位置している。また、同じまさ土でも、 $W/C$ の違いによって圧縮強度の発現に影響を及ぼし、材齢が同じでも、圧縮強度は $W/C$ が小さいほど大きい。これは、他のまさ土、中央粒度の場合でも同様な傾向を示した。材齢(28日まで)と圧縮強度の関係が直線的な増加傾向と判断してその勾配を求める、図-9に5種類のまさ土について自然粒度と中央粒度について $W/C$ との関係を示す。勾配は、 $W/C$ が増加するにつれて小さくなり、3種類の初期加水量による $W/C$ を連ねた線の位置は、風化度の相対的関係で、風化度が小さいものは左上に、大きいものは右下にある。また、 $W/C$ を連ねた勾配は、両粒度ともまさ土の風化度が大きくなるほど小さくなつて、風化度が大きいまさ土ほど $W/C$ の違いによる強度発現に及ぼす影響は小さいといえる。両粒度分布の影響度について調べると、3種類の初期加水量による $W/C$ を連ねた線の位置が大きいところにある中央粒度の方が、自然粒度よりも大きいといえる。これらの傾向は、他のまさ土でも同じ傾向を示した。

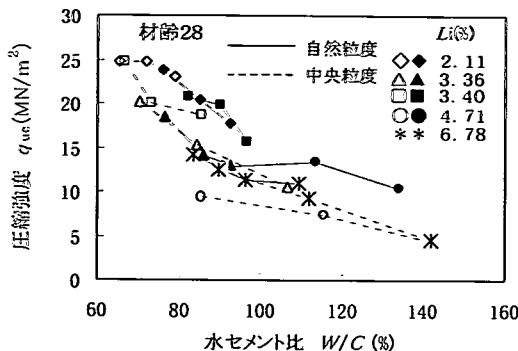


図-10 水セメント比と圧縮強度の関係

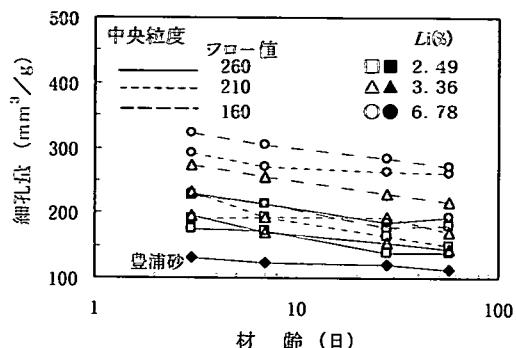


図-12 材齢と細孔量の関係

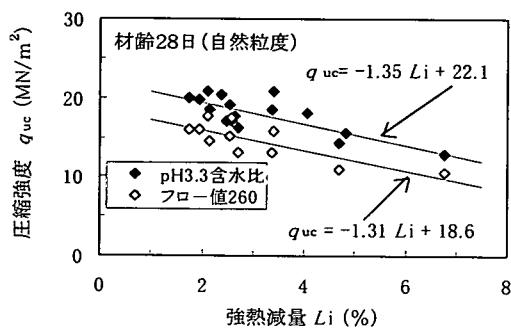


図-11 強熱減量と圧縮強度の関係

図-10は、5種類について、自然粒度と中央粒度における材齢28日のW/Cと圧縮強度の関係である。同じ試料における自然粒度と中央粒度の相対的位置関係は、○●印の試料を除いて、中央粒度は左上、自然粒度は右下に、その一部が重なりながら一本の線で示されるような右下がりの傾向を示している。同じ試料でありながら粒度分布が異なっても連続的な傾向にあるということは、強度発現の程度が、粒度分布よりW/Cの方が大きい影響を及ぼすものと判断される。

図-11は自然粒度の初期加水量がpF3.3含水比とフロー値260におけるLiと圧縮強度の関係である。多少ばらつきはあるが、圧縮強度はいずれの初期加水量ともLiの増加に伴い低下傾向を示す。それぞれの関係を求めるとき式となり、勾配がほぼ近似している。

pF3.3含水比の場合

$$q_{ue} = -1.35 Li + 22.1 \quad (2)$$

フロー値260の場合

$$q_{ue} = -1.31 Li + 18.6 \quad (3)$$

以上のことから、圧縮強度は粒度分布が多少異なるW/Cの関数となることが分かる。

圧縮強度は、供試体の密実性にも影響を受けると考えられる。細孔量が密実性に関わるものとして位置づけ、中央粒度の代表的な3種類のまさ土と豊浦砂につ

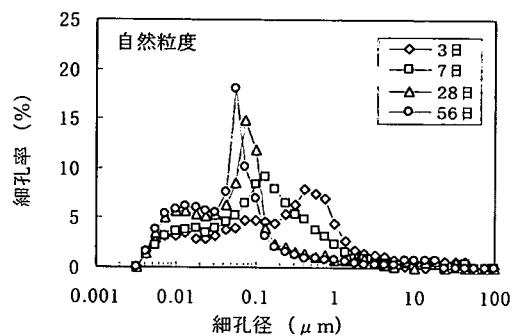


図-13 材齢の経過に伴う細孔径分布の変化

いて、図-12に材齢に対する細孔量の変化を示す。細孔量は、図-8で示した圧縮強度の場合とは反対に、材齢の経過につれて少くなり、風化(Li)が大きいまさ土ほど上方(細孔量が多い)のところに位置して勾配も急である。このような材齢と細孔量の傾向は、これ以外のまさ土でも、また自然粒度でも同様な特徴を示した。

供試体の細孔特性は、材齢の経過とともに細孔量のみならず細孔径分布にも影響すると考えられることから、自然粒度のまさ土を代表例として各材齢の細孔径分布を示すと図-13になる。細孔率が最も大きいところの細孔径分布の形状は、材齢が短い方から長くなるにつれて凸型のなだらかなものから次第に鋭くなっている。しかも、その細孔径のピーク位置が3日は0.4 μm、7日が0.1 μm、28日が0.07 μm、56日が0.05 μmというように、材齢の経過につれて小さくなっている。このピーク以下の細孔径分布の特徴は、いずれの材齢も、細孔径が0.01~0.03 mmのところで細孔率の変化が小さく、細孔率は材齢が長くなるほど大きくなっている。これら材齢の経過に伴う細孔径分布の推移は、セメントとの水和反応が途上である3日は、反応生成物がそれほど生成されないために大きい細孔径のところにピークが現れ、全体としての細孔量も多くなっているものと判断される。材齢が経過すると、セメントとの反応により生成物の

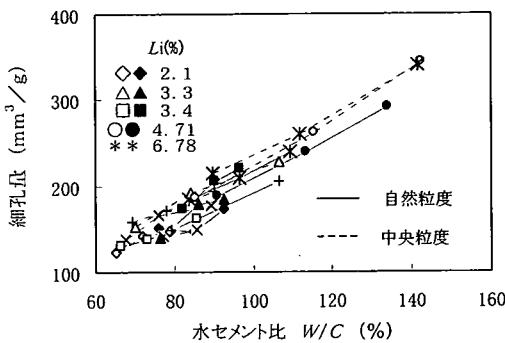


図-14 水セメント比と細孔量の関係

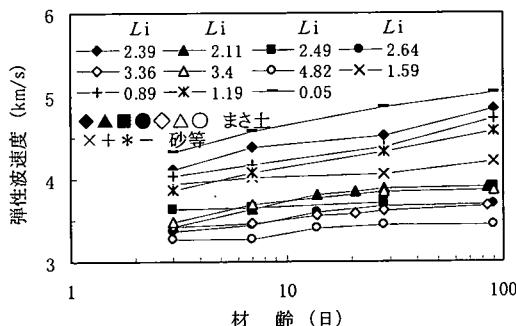


図-15 材齢と弾性波速度の関係

量が増大していき、それが大きい細孔径の空隙を埋め、それによって細孔率が最大となる径が大きい径から小さいところへ移行すると同時に、小さい径の細孔率が多くなり、結果的に細孔量の減少につながっているものと考えられる。

図-14は、細孔量に及ぼす粒度分布と $W/C$ の影響を調べるために示したものである。細孔量はいずれの $W/C$ でも自然粒度より中央粒度の方が多くなる傾向を示している。これらは、図-10の圧縮強度において、同じ $W/C$ なら自然粒度の方が中央粒度より大きめの値を示していることから、空隙が少ないと強度発現が大きくなり、細孔量から見た供試体の密実性といい相関性があるものと判断される。

## 6. 配合設計による強度特性

ここで作製した供試体は、表-1で示した配合設計によるものである。圧縮強度は、3~90日養生の材齢で検討し、併せて弾性波速度も測定した。

図-15は、材齢と弾性波速度の関係である。いずれの試料も、材齢の経過に伴う弾性波速度の増大はそれほど大きくなく、しかも、これまでのような砂等がまさ土よりも特に大きくなる特徴は示さない。それでも両者を比較

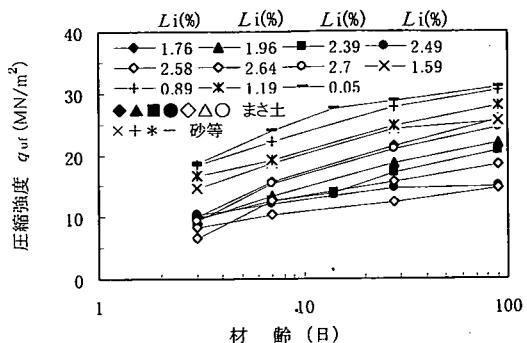


図-16 材齢と圧縮強度の関係

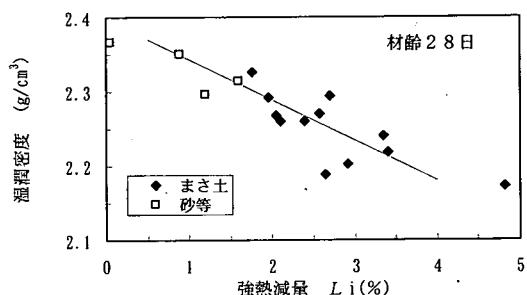


図-17 強熱減量と湿潤密度の関係

すると、砂等が相対的に大きい値を示している。

図-16は、材齢と圧縮強度の関係である。圧縮強度は材齢が経過するに伴い大きくなる傾向を示し、砂等はまさ土より圧縮強度が大きい位置に、まさ土は図-8で示した特徴と同様に、風化度( $L_i$ )が小さいほど圧縮強度が大きい位置にある。また、それらの強度発現の特徴は、材齢28日までは、まさ土の風化度( $L_i$ )が小さいほど勾配が大きく直線的に増加するが、それ以降になると28日以前に比べ圧縮強度の増加割合が鈍化していくことが分かる。したがって、まさ土の風化度( $L_i$ )が大きいと材齢による強度増加があまり期待できないといえる。

以上のことより、材齢に伴う特徴が明らかになった。一般に、コンクリートの性状は材齢28日で論じられることが多いので、以下にその材齢における各種性状を検討する。

コンクリートは、セメントの水和反応の進行に伴ってその強度と密実性が高いものになっていく。図-17は、強熱減量と湿潤密度の関係である。湿潤密度は、まさ土や砂等に区別なく、多少のばらつきがあるものの $L_i$ の増加に伴って直線的に減少している。湿潤密度もまさ土の風化度の影響を受けることが分かる。

図-18は、圧縮強度と弾性波速度の関係である。まさ土と砂等に1試料ずつ全体の傾向と大きく異なる試料はあるが、全体的に圧縮強度と弾性波速度はよい相関

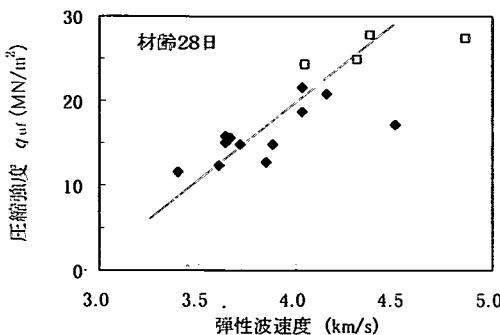


図-18 圧縮強度と弾性波速度の関係

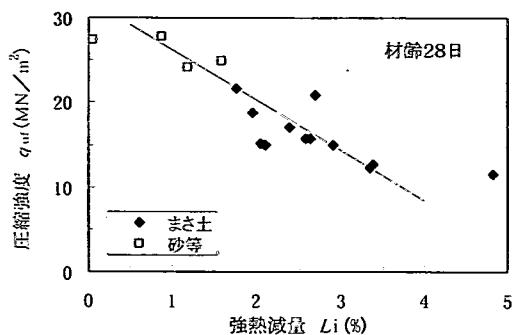


図-19 強熱減量と圧縮強度の関係

性が認められる。したがって、まさ土を細骨材として用いた場合にも非破壊による強度推定が可能であることを示唆していると判断される。

図-19は圧縮強度と強熱減量の関係である。多少ばらつきが認められるものの、まさ土と砂等の圧縮強度は、 $Li$  の増加とともに直線的に低下して、風化度( $Li$ )の影響を受けることがわかる。このことは、 $W/C$  を61.6%としてまさ土を細骨材として用いた場合、細骨材の諸条件を勘案した配合設計を行った上に、風化度を考慮する必要がある。その関係式は、次のとおりである。

$$q_{uf} = -5.94 Li + 31.3 \quad (4)$$

ここでの配合設計強度は $20\text{MN}/\text{m}^2$ を目標としており、これを得るために、 $Li \leq 2\%$ 程度のまさ土である必要がある。

図-20は、セメントの物理試験における圧縮強度と配合設計における圧縮強度の関係である。両者の関係は、多少ばらついているが一本の直線的傾向を示している。このことは、異なった配合の供試体でも、それぞれの配合に添った強度特性が発現していくものといえる。図中に原点を通る関係式を示した。

細骨材にまさ土を用いた今回の配合設計は、 $W/C$  を一定とする圧縮強度について検討した。設計強度より下回るまさ土を用いる場合は、単位セメント量を多くすることにより砂等と同等な強度発現が期待できると考えられ、その方策については今後の検討課題である。

## 7. まとめ

本研究は、阿武隈高地に分布する風化の程度を異なるまさ土を、コンクリート用細骨材として利用する場合の基礎的性質を検討した。得られた結果は以下のとおりである。

(1)まさ土の風化度は、風化層断面の位置が深くなるにつれて小さくなり、同じ深さでも残積地点により風化

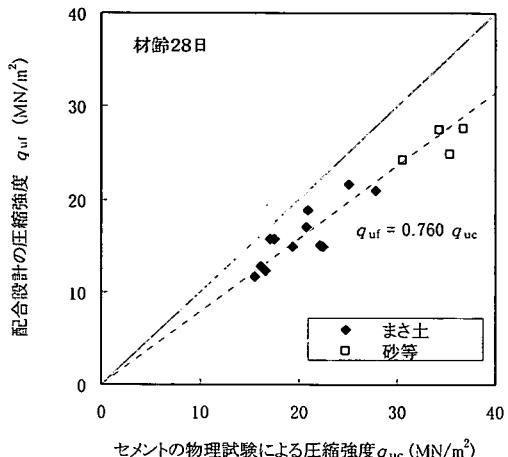


図-20 セメントの物理試験および配合設計による圧縮強度の関係

度が異なる。風化度の指標とされる強熱減量と、保水性、比表面積とは良い相関性が認められる。

(2)コンクリート用細骨材としてのまさ土の品質は、絶乾密度、粘土塊量、有機不純物はすべて、吸水率と塩化物に対する安定性は強熱減量 $Li \leq 2.5\%$ のものが規定値を満足したが、洗い試験はすべて規定値以上である。また、粒度分布は、規定の範囲より細粒側になるものが多い。

(3)セメントの物理試験における強度試験では、まさ土を自然粒度と標準粒度範囲の中央粒度で供試体を作製した。その結果、同じ $W/C$  ならば中央粒度の方がフロー値は大きくなる。

材齢28日の圧縮強度について、 $W/C$  の変化に伴う自然粒度と中央粒度の強度変化は、いずれのまさ土も一本の線で連なる傾向を示し、圧縮強度は粒度分布より $W/C$  および強熱減量の影響を強く受ける。

材齢と細孔量の関係は、材齢が経過するにつれて小さくなり、まさ土の風化度( $Li$ )が大きいほど多く、圧縮強度が大きいほど細孔量が少いという特徴を示した。

(4)配合設計による材齢と圧縮強度の関係は、セメントの物理試験による強度試験の結果とはほぼ同じ傾向である。材齢28日の圧縮強度と強熱減量の関係は直線関係を示し、配合設計の場合も、風化度が圧縮強度に影響する。

(5)まさ土をコンクリート用細骨材として用いるには、 $L_i \leq 2.0\%$ であると配合設計による圧縮強度を満足する。

**謝辞:**本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業(日本大学工学部):研究課題「中山間地及び地方都市における環境共生とそれを支える情報通信技術に関する研究(研究代表:小野沢元久)」の一環として実施したものである。また、本研究の遂行には、本学土木工学科土質工学研究室の卒業研究生諸君に多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 服部九二雄, 柚植巳一:マサ土を細骨材として利用したコンクリートの特徴—低品質骨材の有効利用に関する研究(I)—, 農業土木学会論文集, No.144, pp.25-32, 1989.
- 2) 服部九二雄, 柚植巳一:マサ土を細骨材として利用したコンクリートの凍結融解特性—低品質骨材の有効利用に関する研究(II)—, 農業土木学会論文集, No.160, pp.19-26, 1992.
- 3) 井上正一, 吉野公, 黒田保, 松井信作:真砂土のコンクリート用細骨材への適用に関する研究, 材料, Vol.49, No.10, pp.1091-1096, 2000.
- 4) 高倉寅喜, 吉野好明:マサ土コンクリートの開発, 建設マネジメント技術, No.10, 1998.
- 5) 古河幸雄, 渡辺英彦, 藤田龍之, 村田吉晴:コンクリート用細骨材としてのまさ土の利用の基礎研究, 東北地域災害科学研究, 第33巻, pp.289-298, 1997.
- 6) 古河幸雄, 渡辺英彦, 藤田龍之, 村田吉晴:コンクリート用細骨材としてのまさ土の利用の基礎研究(2), 東北地域災害科学研究, 第34巻, pp.189 ~ 196, 1998.
- 7) 古河幸雄, 渡辺英彦, 藤田龍之, 村田吉晴:コンクリート用細骨材としてのまさ土の利用の基礎研究(3), 日本自然災害学会東北地域災害科学研究, 第35巻, pp.75-80, 1999.
- 8) 古河幸雄, 村田吉晴, 坂田正純, 渡辺英彦, 藤田龍之:コンクリート用細骨材としてのまさ土の利用, 日本自然災害学会東北地域災害科学研究第37巻, pp.229-234, 2001.
- 9) 古河幸雄, 藤田龍之, 坂田正純:コンクリート用細骨材としてのまさ土の利用, 日本自然災害学会東北地域災害科学研究第38巻, pp.23-28, 2002.
- 10) JISおよびISO検討委員会:JIS R 5201「セメントの物理試験方法」の改正に伴う標準砂の変更について, 土と基礎, Vol.44, No.11, p.40, 1996.
- 11) 土質工学会編:土質試験の方法と解説, 第8編, 第3章, まさ土, pp.509-525, 1990.
- 12) 西田一彦, 佐々木清一, 久保井利達:まさ土の非晶質物質とその特性について, 土質工学会論文報告集, Vol.21, No.2, pp.180-190, 1984. および, 同上ディスカッション, Vol.25, No.2, pp.221-222, 1984.
- 13) 土質工学会編:日本の特殊土, マサ土, pp.91-97, 1964.
- 14) 青山千彰, 遠山茂行, 西田一彦:間隙分布から見た不規則マサ土の土構造, 第12回土質工学研究発表会, pp.149-152, 1977.
- 15) 土質工学会編:土質試験法, pp.681 ~ 682, 1979.
- 16) 土質工学会:土質試験の方法と解説, 物理試験第7章 p F 試験, p.89, 1990.
- 17) 鈴木敦巳:まさ土の非晶質物質とその性質について(ディスカッション), 土質工学会論文報告集, Vol.25, No.2, pp.221-222, 1984.
- 18) 土木学会編:コンクリート標準示方書, 施工編, pp.27-29, 1996.

(2002. 12. 16受付)

## BASIC RESEARCH ON THE USE OF DECOMPOSED GRANITE SOIL AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE

Yukio FURUKAWA, Tatsushi FUJITA, Masazumi SAKATA,  
Yoshiharu MURATA and Hidehiko WATANABE

The density of absolutely dry conditions, the clay lump content, and organic impurity content of decomposed granite soil met all the quality standards for fine aggregate. Soundness by the use of chloride and standard sieve 75  $\mu$  m passing content, in contrast, did not meet all of the standards. The coefficient of water absorption met the standard for decomposed granite soil of  $L_i \leq 2.5\%$ .

Concrete compression tests were performed on two types of fine aggregate grain size distributions with three water-cement ratios. Results showed that the water-cement ratio had a greater effect than the grain size distribution on the compressive strength of the concrete.