

コンクリート用細骨材としての真砂土の利用に関する研究

岡 村 雄 樹*
檜 貝 勇*

(昭和 60 年 8 月 31 日受理)

Use of Weathered Granite (Masado) for Fine Aggregate of Concrete

by Yuuki OKAMURA and Takeshi HIGAI

Abstract

This report describes the results of the experimental studies on the properties of fresh and hardened concrete made with weathered granite (Masado) fine aggregate comparing with that of the river sand concrete.

At first, the physical properties such as grading, specific gravity, absorption and particle shape etc., of weathered granite fine aggregate are examined. Then the properties of fresh concrete are examined. It is shown that the water content required to produce a given slump is much more in Masado fine aggregate concrete than in the river sand concrete. But, use of superplasticizer with optimum fine aggregate ratio is found to be very effective to reduce the water. Properties of hardened concrete such as compressive strength, tensile strength and bond strength, modulus of elasticity, drying shrinkage, resistance to freezing and thawing are examined. Though, in general, strength and durability are lower and shrinkage is larger in Masado concrete than the river sand concrete, Masado may be used as the fine aggregate of concrete provided the characteristics of Masado concrete are carefully considered in the design.

1. ま え が き

コンクリートの容積の約 70 % を占める骨材は、昭和 35 年頃まではほとんど良質の河川産骨材でまかなわれていた。しかし、昭和 30 年代後半からの経済の高度成長に伴い、建設工事量が急激に増大したため骨材の供給に不足を来すようになり、その結果、山砂、山砂利、海砂、海砂利、碎石、砕砂など、これまであまり使用されなかった多くの種類の骨材が用いられるようになった。また、これらの骨材の品質は河川産の骨材に較べて劣る場合も多く、コンクリート用骨材の種類と品質の多様化をもたらしている。コンクリートに用いる骨材は良質である方がより好ましいのは当然である。しかしながら、上述のように良質の骨材を安定供給することは次第に困難となりつつあるので、未開発資源の有効利用を計るとともに、一方では、良質な骨材の適切な使用についても考えなければならない。コンク

リート用骨材として今後とも供給可能と考えられる骨材の中には、骨材の品質規格に合わない、いわゆる低品質骨材と呼ばれるものも多い。現在の骨材の品質規格は、良質な河川産骨材が容易に得られていた時代に定められ、また、コンクリート工学自体も良質の骨材を使用するという前提のもとに発展してきた。しかし、上記のような状況を考えれば、このような前提を必要としないコンクリート工学の確立の方向に向かうべき時であろうと考えられる。すなわち、従来は品質規格外として使用されなかった低品質の骨材を用いたコンクリートの物性を調べ、この種コンクリートの利用方法を検討することにより、構造物の種類、用途および重要度などに応じてより広い範囲の骨材資源を有効に利用すべきであろう。

本研究は、資源有効利用の立場から未利用骨材の活用に資することを目的とし、骨材資源の一つとして我が国に広く分布しており大量に採取可能な風化花こう岩（真砂土と呼ばれる）を取り上げ、これを用いたコンクリートの諸特性について検討を加え、その結果に

* 土木工学科, Department of Civil Engineering

基づいて真砂土のコンクリート用細骨材としての利用方法を検討するものである。

2. 真砂土の細骨材としての諸性質

2.1 概 要

真砂土は風化した花こう岩であり、風化の程度と母岩の組成によってその諸性質は大きく異なることが予想される。一般に真砂土は、川砂等コンクリート用細骨材として用いられているものに比べて、“もろい”感じをあたえるのが特徴であって、この傾向は風化の程度が進んでいるものほど顕著である。また、採取地あるいは風化の程度によっては粒子の細粒化や粘土化がきわめて進んでいるのも特徴である。これらの特徴は、コンクリートの諸特性に直接的な影響を及ぼすものと予想される。

そこで、本章ではコンクリートの諸特性に大きく影響すると考えられる骨材の物理的性質、すなわち比重、吸水率、骨材の強さ、粒度および微粒分について良質な川砂と比較し、真砂土のコンクリート用細骨材としての特性を調べた。

2.2 比重、吸水率および破砕値

細骨材の比重および吸水率は、骨材としての品質の指標として重要視されている。表-1 は山梨県に分布する真砂土の採取地が異なる 6 種について表乾比重、吸

表-1 真砂土の比重・吸水率・破砕率

区 分	真 砂 土						川砂
	A	B	C	D	E	F	
比 重	2.53	2.49	2.34	2.51	2.54	2.30	2.62
吸水率(%)	3.65	3.56	8.61	6.20	6.04	11.29	1.67
破砕率(%)	70	79	77	69	78	90	42

表-2 我が国の細骨材の品質調査例¹⁾

分 類	特性値	比 重			吸 水 率 (%)		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
川 砂		2.50	2.68	2.63	1.11	5.71	2.46
海 砂		2.35	2.68	2.55	0.81	5.82	2.23
山 砂		2.50	2.71	2.56	0.91	4.57	2.48
砕 砂		2.53	2.83	2.67	1.06	4.90	1.94

表-3 真砂土の真比重

分 類	真 比 重
真 砂 土 A	2.68
真 砂 土 F	2.71
川 砂	2.69

水率および破砕値について示したものである。なお、比較のために富士川産の川砂についても示してある。これより、真砂土の表乾比重および吸水率は採取地によって大きく異なり、比重は 2.3~2.54 の値で、吸水率は相当に大きく 3.56~11.29 %を示している。表-2¹⁾ は、我が国の細骨材の品質を調査した例を示したものである。我が国でコンクリート用として使用されている細骨材と本実験に用いた真砂土とを比較すると、真砂土は表乾比重および吸水率とも劣っており、特に吸水率の値が大きいことがわかる。一方、表-3 は 2 種の

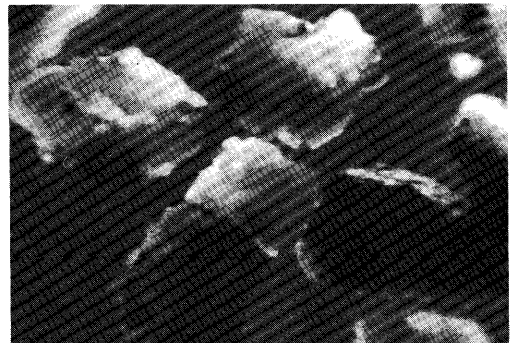


写真-1 真砂土 A の粒形

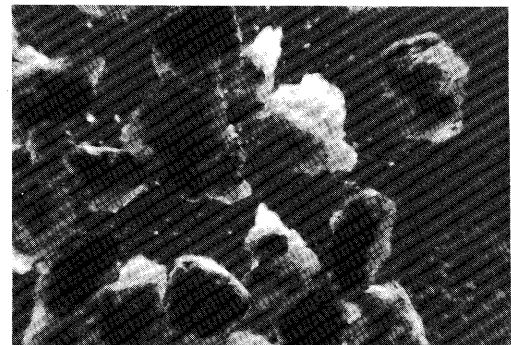


写真-2 真砂土 F の粒形



写真-3 川砂の粒形

真砂土 A, F および川砂について真比重を求めた結果である。この結果によると、真比重はいずれも 2.7 程度で大きな変化がないことがわかる。真砂土の表乾比重が小さく吸水率が大きいのは、骨材粒が風化されているため骨材粒内部の空隙が多いことによると考えられる。また、BS 812 に規定されている「破碎強度試験」を行った結果を表-1 に示したが、これより真砂土の破碎率は良質な川砂に比較すると 1.7~2.1 倍と相当大きく破碎されやすい結果を示しており、真砂土の骨材としての強度は小さいことがわかる。

2.3 粒形、粒度

骨材の粒形・粒度は、まだ固まらないコンクリートの性質、特にワーカビリティに影響を及ぼし、粒形が球または立方体に近いほど単位水量が少なくてワーカビリティの良いコンクリートが得られ、また粒径の小さい粒子を多く含むもの、すなわち、粗粒率が小さい骨材を用いると所要のコンシステンシーを得るための単位水量が増大する。写真-1, 2, 3 は、真砂土 A, F および川砂の粒形の拡大写真である。この写真より明らかなことは、1) 真砂土は川砂に比べ粒子に局部的な角ばりが生じていること、2) 角ばり傾向は真砂土 F の方が顕著であること、3) 骨材粒の全体的な形状は川砂に似ていることなどである。また、骨材の粒形判定に對し実用的に用いられている実積率でみると、川砂：68%，真砂土 A：64% および真砂土 F：61% であり、粒の集合体としての粒形は川砂より劣る。一方、表-4 は粒度分布を示したものである。これより、真砂土 6 種の粒径分布は相当に異なることがわかる。このように粒径分布が異なるのは、風化作用の程度の相違によるものと考えられる。すなわち、花こう岩の風化が進むほど、構成鉱物の斜長石、黒雲母は粘土化し、石英の細粒化が進むためである²⁾。

3. まだ固まらないコンクリートの性質

3.1 概 要

骨材に着目してまだ固まらないコンクリートの性質を検討する場合に取り上げるべき項目は種々あるが、第一に取り上げるべきことは、施工性および硬化コンクリートの品質と密接な関係があるワーカビリティが、使用する骨材によってどのように異なるかを調べることである。一般にコンクリートのワーカビリティは、用いる骨材の粒子形状、粒子表面状態および骨材の大小粒の混合状態により著しく影響される。真砂土は風化花こう岩であるため、これらの性状は 2 章で示したように、現在コンクリートに使用されている細骨材と異なるので、真砂土を用いたコンクリートのまだ固まらない状態の性質は当然異なってくることが予想される。

本章では、真砂土を用いたコンクリートについて、1) 単位水量とスランプの関係、2) 空気連行特性、3) プリージングなどについて調べ、これらの性質が良質な細骨材を用いた場合とどのように異なってくるかを検討したものである。さらに、これらの結果に基づいて、真砂土を細骨材として用いたコンクリートの配合設計上必要となる項目についても検討を行った。

3.2 実験の概要

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。粗骨材は最大寸法 20 mm の碎石で、比重 2.65、吸水率 3.32% のものである。なお、使用に際しては、粒度を調整しコンクリート標準示方書に示されている標準粒度曲線に適合するように調整して用いた。細骨材としての真砂土は、風化の程度が比較的進んでいないと考えられる真砂土 A と、風化の程度が進んでいると考えられる真砂土 F を取り上げた。また、比較のために富士川産の川砂も用いた。混和剤として AE 剤 (V-insol) と高流動化剤 (パリック FL) を使用した。

表-4 粒度分布

区 分 ふるいの呼び寸法		真 砂 土						川 砂	コンクリート 標準示方書 の標準
		A	B	C	D	E	F		
各 ぶ る い 量 に (%) と	5.0~2.5 mm	9	17	26	19	8	2	10	20~0
	2.5~1.2 mm	19	24	26	32	25	9	16	30~10
	1.2~0.6 mm	21	29	20	21	25	28	27	25
	0.6~0.3 mm	20	16	12	14	21	28	29	15~30
	0.3~0.15mm	21	9	8	8	12	16	14	8~25
	0.15mm以下	10	5	8	6	9	17	4	2~10
粗 粒 率		2.38	3.23	3.63	3.76	2.54	2.02	2.68	

ブリージングについての検討は、コンクリートの配合条件のうち水セメント比およびスランプを一定としてブリージングを調べた。実験は、JIS A 1123「コンクリートのブリージング試験方法」に準じて行った。配合設計上の検討項目とし、真砂土をコンクリート用細骨材として用いた場合の最適な細骨材率の値について取り上げ、川砂を用いた場合と比較して検討を行った。コンクリートの練り混ぜは、強制攪はん式ミサキ（容量 100 ℓ）を使用して行った。

3.3 実験結果と考察

図-1 は真砂土 A、F および川砂を用いたコンクリートのスランプと単位水量との関係を示したものである。

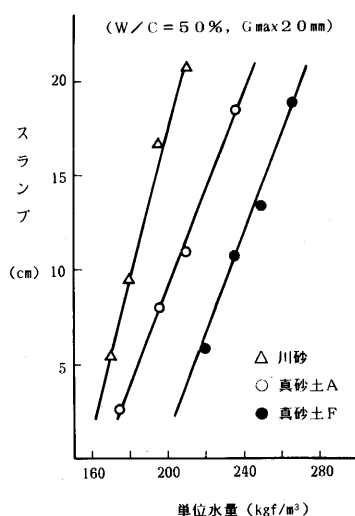


図-1 単位水量とスランプとの関係

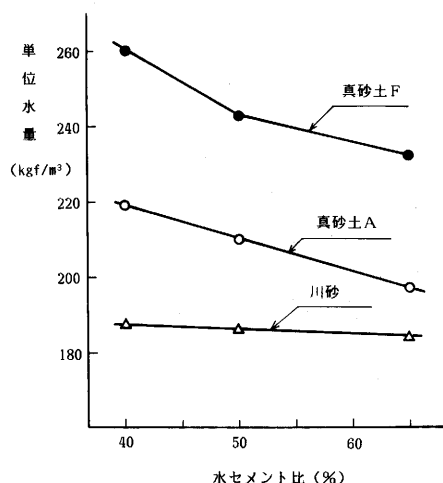


図-2 スランプ 12 cm を得るための単位水量と水セメント比との関係

この図をみると、所定のスランプを得るために必要な単位水量は、真砂土を用いたコンクリートが川砂を用いた場合より多く、川砂を用いたコンクリートに比べ 14～30% 単位水量が増大している。また、この増大する程度は風化が進んでいると考えられる真砂土 F を用いた方が顕著である。これは、1) 写真-1, 2, 3 より明らかなように、真砂土の骨材としての球状性が劣ること、2) 真砂土には川砂に比べ粒径の小さな粒子が多く含まれており骨材の比表面積が大きくなること、などによるものと考えられる。図-2 はスランプの値 12 cm 得るのに必要な単位水量と水セメント比との関係を、実用的な水セメント比 40～65% の範囲で調べたものである。この結果をみると、川砂を用いたコンクリートでは、所定のスランプを得るための単位水量は水セメント比が変化してもほとんど一定となり、いわゆる単位水量一定の法則が成り立つ。しかし、真砂土を用いたコンクリートでは水セメント比が小さくなると所定のスランプを得るための単位水量はほぼ直線的に増加しており、単位水量に及ぼす水セメント比の影響が大きく、単位水量一定の法則が成り立たないことがわかる。この理由については、細骨材中に占める 0.3 mm 以下の微粒分の過多による影響であると考えられる。

図-1 の結果から明らかなように、真砂土を用いたコンクリートでは所要のスランプを得るための単位水量は川砂を用いたコンクリートより相当大きな値となり、たとえば、スランプ 10 cm を得るための単位水量は、川砂で 180 kgf/m³、真砂土 A で 205 kgf/m³、真砂土 F で 235 kgf/m³ となる。このように、単位水量の大きいコンクリートは、ブリージングが大きくなることが予想される。表-5 は、真砂土を用いたコンクリートと川砂を用いたコンクリートについてブリージング試験を行った結果を示したものである。この結果をみると、真砂土を用いたコンクリートのブリージングは川砂を用いた場合より相当少なく、ブリージングの小さいコンクリートであることがわかる。このように予想に反して真砂土を用いたコンクリートのブリージングが少ないのは、骨材のふるい分け試験の結果から明らかなように、骨材中に含まれる 0.3 mm 以下の微粒分が多いためモルタルの保水効果が増大して、結果的に

表-5 ブリージング試験結果

細 骨 材	ブリージング率 (%)
真 砂 土 A	1.65
真 砂 土 F	0.79
川 砂	2.54

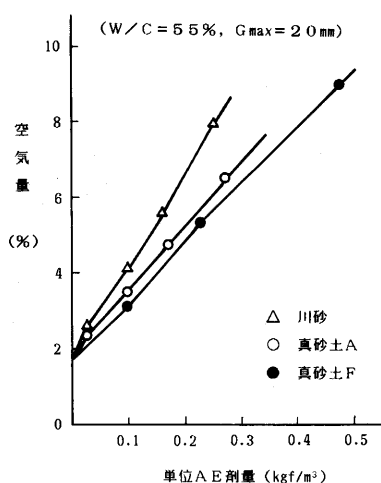


図-3 単位 AE 剤量と連行空気量との関係

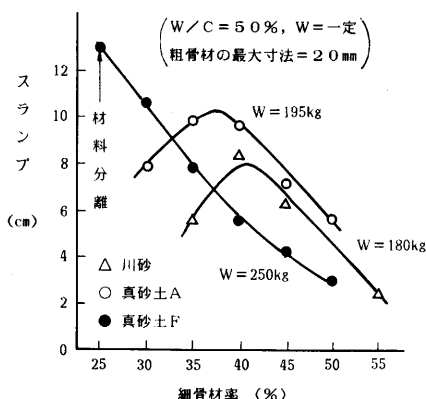


図-4 スランプと細骨材率との関係

ブリージングが減少したものと考えることができる。

図-3は、真砂土を用いたコンクリートの単位 AE 剤量と連行空気量との関係を示したものである。なお、比較のために川砂を用いた場合についても示してある。これによると、真砂土を用いたコンクリートと川砂を用いた場合とで比較すると、所定の空気量を得るための単位 AE 剤量は増大し、その程度は風化が進んでいると考えられる真砂土ほど大きいことがわかる。これは、骨材の粒度の影響、すなわち、微粒分を多く含むことによりコンクリートの粘性が増し、空気泡がコンクリート中に入りにくくなることによるものと考えられる。

この種の微粒分の多い骨材を用いると、所要のスランプを生じさせるような配合とするためには、単位水量や単位セメント量がかなり増大するが、このことは乾燥収縮その他の点で決して好ましいことでない。し

表-6 真砂土を用いたコンクリートの単位水量の減少に対する高流動化剤の効果

——スランプ10cmを得るための単位水量(kgf/m³)——

使用骨材	高流動化剤添加量				
	0%	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%
真砂土 A	205	192	179	165	153
真砂土 F	235	218	202	186	171
川砂	180	170	162	153	145

注) 高流動化剤の添加量はセメント重量に対する比

たがって、所要のワーカビリティが得られる範囲でできるかぎりこれらの値を小さくすることが望ましい。このためには、単位水量または単位セメント量を最小とする配合条件を求める必要がある。図-4は、真砂土を用いたコンクリートについて細骨材率とスランプとの関係を求めたものである。なお、比較のために川砂を用いたコンクリートについても示してある。この図より、真砂土 A および川砂を用いたコンクリートでは単位水量と単位セメント量を一定とし細骨材率を変化させるとスランプの値が最大となる細骨材率が存在する。この細骨材率ではスランプを一定とした場合、単位水量が最も小さくなり、いわゆる、最適細骨材率となる。一方、真砂土 F では細骨材率が小さくなるほどスランプの値が大きくなるが、しかし、細骨材率の値が25%となると材料分離が認められた。この場合、最適細骨材率の値は、コンクリートがワーカブルで材料分離を起こさない範囲内で単位水量が最小となる細骨材率の値を最適細骨材率として採用すればよいことになり、真砂土 F ではこの値が30%であった。このようにして求めた最適細骨材率は、真砂土を用いたコンクリートでは川砂を用いた場合より小さく、この傾向は風化が進んで骨材中に粒径の小さな粒子を多く含むものほど顕著となると考えられる。表-6は、単位水量を大幅に減じる一つの方法として、市販の高流動化剤を添加することにより単位水量の減少を図った実験の結果である。この結果によれば、高流動化剤を適当に用いることにより真砂土を用いたコンクリートの単位水量を、高流動化剤を使用しない川砂コンクリートと同等以下にまで減ずることが可能である。高流動化剤を微粒分の少ない細骨材を用いたコンクリートに適用すると材料分離の傾向を示すのであるが、真砂土は一般に微粒分を多く含んでおり材料分離が起こりにくいので高流動化剤の使用は特に有効であると考えられる。

4. 硬化コンクリートの性質

4.1 概要

骨材の諸特性の間には相関性があるものが多く、どの骨材特性が硬化コンクリートのどの特性に影響を及ぼしているかを定量化することは困難である。しかし、定性的な傾向については多くの研究よりある程度明らかとなっており、粒度・粒形および骨材粒の強さなどが硬化コンクリートの性質に影響する要因であるとされている。真砂土は、花こう岩が風化堆積したものであり、2章で明らかなように川砂等に比べ骨材粒子の強さ、粒度・粒形等も相当劣っているものが多く、これを用いたコンクリートの硬化後の性質も川砂等を用いた場合と比べ当然異なってくるものと考えられる。本章では、真砂土を用いたコンクリートの、1)強度と弾性係数、2)付着強度、3)乾燥収縮、4)凍結融解に対する抵抗性について、川砂を用いたコンクリートと比

較して調べた。

なお、検討に用いた真砂土は、真砂土 A、F の 2 種で、粗骨材については 3 章で用いたものと同一のものを使用した。

4.2 コンクリートの強度と弾性係数

図-5 は、水セメント比と圧縮強度との関係を示したものである。これより、いずれの骨材を用いた場合にも水セメントが小さくなるに従って圧縮強度もほぼ直線的に増大し、水セメント比法則に従っていることがわかる。また、真砂土 A、真砂土 F および川砂を用いたコンクリートの同一水セメント比での強度は、川砂、真砂土 A、真砂土 F の順に小さくなり、特に真砂土 F においては水セメント比 40% となると川砂を用いた場合との強度差が顕著となる。一方、図-6 はコンクリート中の細骨材量が圧縮強度に及ぼす影響について示したものである。この結果をみると、川砂を用いたコンクリートではコンクリート中に占める細骨材量が増大しても圧縮強度に対する影響はほとんど認められない。しかし、真砂土を用いたコンクリートの場合には、コンクリート中に占める細骨材量が増大するほど圧縮強度は低下することがわかる。このことより、真砂土を用いたコンクリートの圧縮強度が川砂を用いた場合より小さくなるのは、真砂土は川砂に比べ骨材内部の空隙が多くかつ風化により構成粒子の結合が弱くなり、骨材としての強度が低下したためであると推測される。図-7 は、水セメント比と引張強度との関係を示したものであるが、この結果を見ると、圧縮強度と同

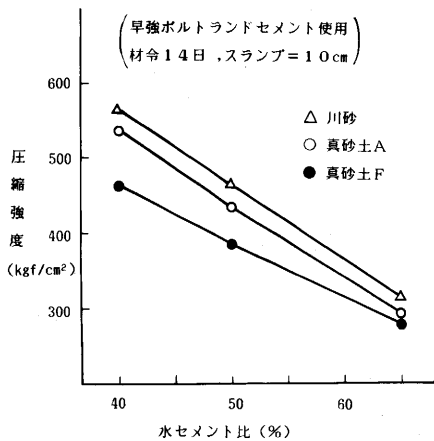


図-5 水セメント比と圧縮強度との関係

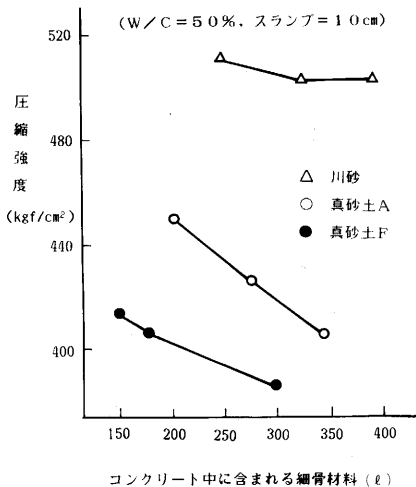


図-6 コンクリート中の細骨材量が圧縮強度に及ぼす影響

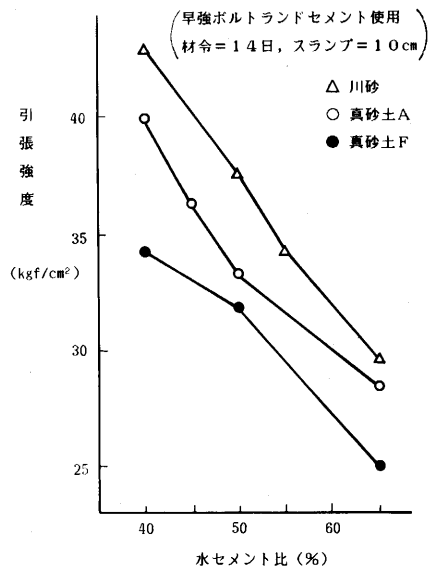


図-7 水セメント比と引張強度との関係

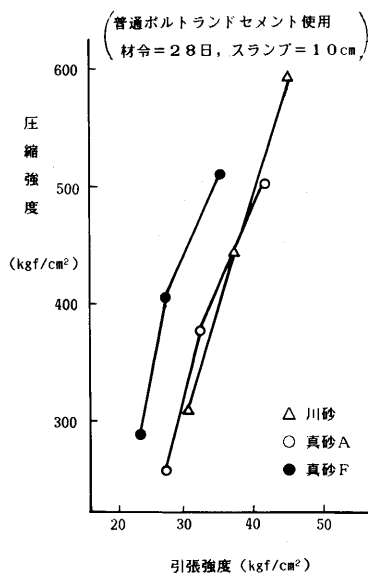


図-8 圧縮強度と引張強度との関係

様な傾向であることが認められる。また、図-8は引張強度と圧縮強度との関係を示したものである。これより、真砂土を用いたコンクリートは川砂を用いた場合と同様な割合で圧縮強度の増加に伴い引張強度も増大していることが認められる。

図-9はコンクリートの静弾性係数と圧縮強度との関係を、真砂土を用いたコンクリートおよび川砂を用いたものについて示したものである。この図より、真砂土を用いたコンクリートでは、いずれの圧縮強度においても、弾性係数の値は川砂を用いたコンクリートに比較し低い値を示し、この傾向は風化の進んでいると考えられる真砂土Fにおいて顕著である。このように、真砂土を用いたコンクリートの弾性係数が川砂を用いた場合より小さいのは、骨材自身の弾性係数が小さいことによるものと思われる。

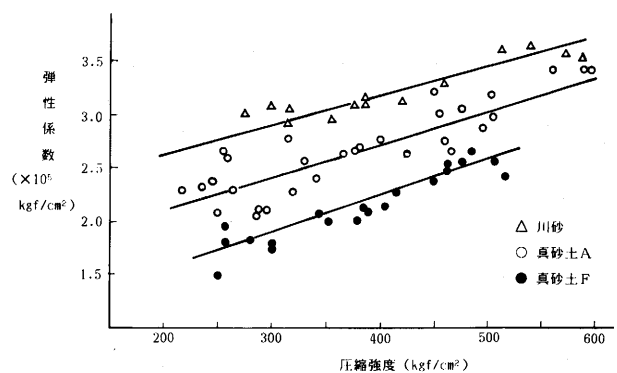


図-9 圧縮強度と静弾性係数との関係

4.3 鉄筋に対する付着強度

4.3.1 実験の概要

真砂土A、真砂土Fを用いたコンクリートの、異形鉄筋に対する付着強度を川砂を用いた場合と比較検討した。

コンクリートは圧縮強度が300 kgf/cm²、400 kgf/cm²および460 kgf/cm²の3種を用い、異形鉄筋は公称直径19 mmで、鉄筋軸に直角方向のフシを有するものを用いた。付着強度試験は断面が15×15×15 cmの立方供試体を用いた引抜試験によって行った。供試体の作成にあたっては、鉄筋を垂直に保ち、これと同方向からコンクリートの打ち込みを行った。なお、コンクリートの割裂による破壊を防ぐため、直径6 mmの丸鋼をらせん状に配置して補強を行った。鉄筋とコンクリートの付着長さは供試体底面から6 cmとし、これより上側の部分においては鉄筋とコンクリートの付着を絶った。コンクリートに対する鉄筋のすべり量は、鉄筋の自由端において測定した。

実験に用いたコンクリートの配合を表-7に示す。用いた鉄筋の引張試験結果は、降伏点：38.0 kgf/mm²、引張強度：56.2 kgf/mm²、伸び：22.8%である。

表-7 コンクリートの配合

コンクリートの 目標強度	骨材の種類	W/C (%)	単位水量 (kgf/m ³)	単位セメント量 (kgf/m ³)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)
460kgf/cm ²	川砂	50	180	360	42	10
	真砂土A	45	195	433	40	6
	真砂土F	40	235	588	30	5.2
400kgf/cm ²	川砂	55	180	327	42	10
	真砂土A	50	195	390	40	6
	真砂土F	50	235	470	30	10
300kgf/cm ²	川砂	65	180	277	42	10
	真砂土A	65	195	300	40	11
	真砂土F	65	235	362	30	13

表-8 付着強度試験結果

コンクリートの 圧縮強度 (目標値)	骨材の種類	各すべり時の平均付着応力度 (kgf/cm ²)				コンクリートの 圧縮強度 (実験値)
		0.05mm	0.10mm	0.25mm	最大付着 応力度	
300kgf/cm ²	川 砂	85.6	116.6	157.5	218.9	315kgf/cm ²
	真砂土 A	52.8	76.9	115.0	169.3	305kgf/cm ²
	真砂土 F	62.4	87.5	116.0	151.0	277kgf/cm ²
400kgf/cm ²	川 砂	110.3	148.7	200.9	253.0	418kgf/cm ²
	真砂土 A	87.8	124.5	171.7	216.0	440kgf/cm ²
	真砂土 F	121.6	141.9	161.6	174.9	384kgf/cm ²
460kgf/cm ²	川 砂	125.7	172.7	235.0	277.0	456kgf/cm ²
	真砂土 A	84.8	130.8	186.5	224.6	496kgf/cm ²
	真砂土 F	141.1	163.3	197.3	215.8	463kgf/cm ²

4.3.2 実験結果と考察

表-8は、自由端のすべりがおのおの0.05 mm, 0.1 mm, 0.25 mmの時の平均付着応力度および最大付着応力度を示したものである。この表より、1)自由端のすべり量が0.1 mm以上となるといずれの圧縮強度においても、真砂土を用いたコンクリートの付着応力度は、川砂を用いた場合より小さいこと、2)いずれの圧縮強度の場合にも、真砂土を用いたコンクリートの付着強度は、川砂を用いた場合より小さいこと、3)自由端すべり量が0.05 mmと小さい範囲においては、真砂土Fを用いたコンクリートの付着応力が川砂を用いたコンクリートを上回る場合があることなどわかる。鉄筋のすべりに抵抗する主要なメカニズムは、(1)鉄筋表面におけるコンクリートとの粘着力、(2)鉄筋とコンクリートとのすべり摩擦力、(3)異形鉄筋のフシに対するコンクリートの支圧抵抗であるといわれており、すべりの初期の段階においては主として(1)、すべりの大きな段階においては主として(3)による抵抗が主体であるとされている。すべり量が多い範囲で、真砂土を用いたコンクリートの付着応力が小さいのは、真砂土骨材が脆弱であるため、(3)による抵抗が川砂に比べて小さいことに越因すると考えられる。一方、すべり量が小さい範囲でこれと逆の傾向も認められるのは、真砂土Fを用いたコンクリートは極めて単位セメント量の多い配合であり(表-7参照)、ブリージング率も川砂を用いたコンクリートに比べ非常に小さい(表-5参照)ため、(1)による抵抗を阻害する鉄筋フシ下面の水隙が発生しにくかったことによるものと推測される。

4.4 乾燥収縮

4.4.1 実験の概要

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントで、コンクリートの配合は表-9に示した。なお、水セメント比、単位水量および細骨材率の配合条件を一

表-9 コンクリートの配合

条 件	骨材の種類	W/C (%)	単位水量 (kgf/m ³)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)
スランプ一定	真砂土A	50	195	45	9.9
	真砂土F	"	250	"	8.5
	川 砂	"	180	"	9.9
配合条件一定	真砂土A	50	180	45	9.9*
	真砂土F	"	"	"	10.5*
	川 砂	"	"	"	9.9
細骨材率	真砂土A	50	195	35	10.8
	"	"	"	45	9.9
	"	"	"	55	8.9
	真砂土F	50	250	35	12.0
	"	"	"	45	8.5
	"	"	"	55	5.2
	川 砂	50	180	35	14.0
	"	"	"	45	9.9
	"	"	"	55	6.6

* 高流動化剤使用

定とした場合には、同一コンシステンシーとするため、真砂地を用いたコンクリートに高流動化剤を使用した。供試体は10×10×40 cmの角柱体で、供試体を1週間標準水中養生した後長さ変化の測定を開始した。測長は300±0.5 mmとした。乾燥条件は、湿度60%、温度20℃の恒温恒湿状態である。

4.4.2 実験結果と考察

図-10は、真砂土を用いたコンクリートの乾燥材令48週までの乾燥収縮率を調べた結果を、川砂を用いたコンクリートと同等なスランプとした場合について示したものである。これによると、真砂土を用いたコンクリートは川砂を用いたものより乾燥収縮率が大きく、この傾向は風化の進んでいると考えられる真砂土Fのコンクリートの方が大きいことがわかる。図-11は、水セメント比、単位水量および細骨材率の配合条

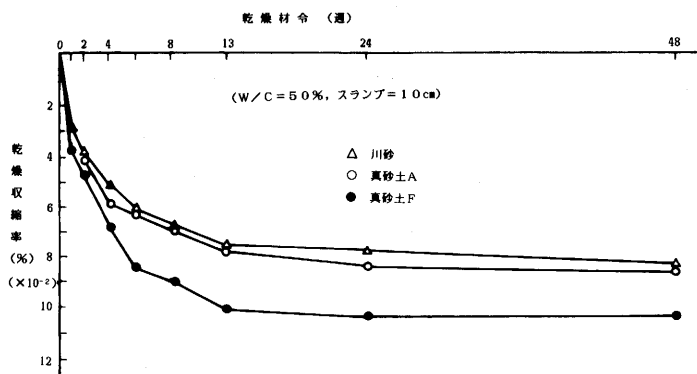


図-10 乾燥材令と乾燥収縮率との関係

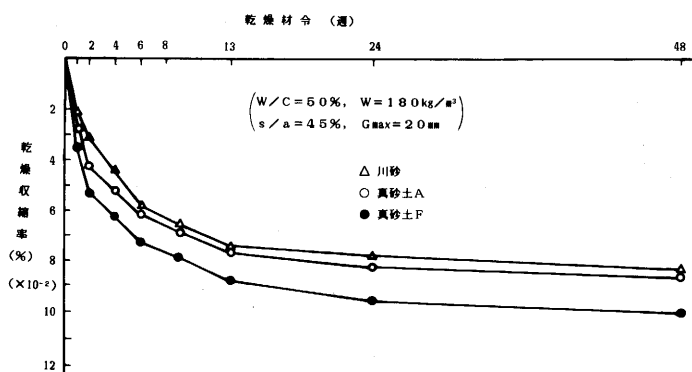


図-11 配合条件を一定とした場合の乾燥材令と乾燥収縮率との関係

件を同一とした場合についての乾燥収縮を調べた結果である。この図より、配合条件、特に乾燥収縮に影響を及ぼす大きな要因である単位水量を同じとしても、1)真砂土を用いたコンクリートは乾燥収縮率が大きいこと、2)真砂土 A では単位水量の影響はほとんど認められないが、真砂土 F では単位水量の影響が認められることなどがわかる。また図-12 は、骨材の影響を検討するため配合条件のうち細骨材率を変化させたコンクリートについて、乾燥材令48週における乾燥収縮率と細骨材率の関係を調べたものである。これより、いずれの骨材を用いたコンクリートでも細骨材率が大きくなるに従って、乾燥収縮率も増大するが、特に真砂土 F の場合にこの傾向が顕著である。これらの結果より、真砂土を用いたコンクリートにおいて、骨材の風化程度によって乾燥収縮率が大きく異なるのは、風化の進んだ骨材を用いたコンクリートの単位水量が増大するばかりでなく、骨材の吸水性、微粒分含有量などの骨材特性の変化による影響も大きいことが考えられる。また、Richard³⁾によれば、収縮は使用した骨材の弾性係数に依存するのであって、真砂土を用いたコン

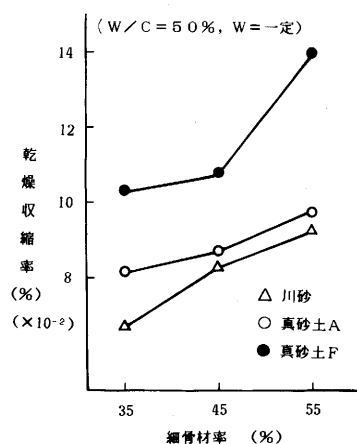
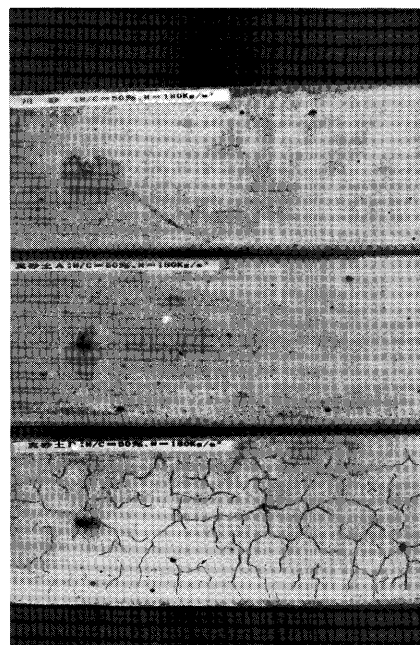


図-12 細骨材率が乾燥収縮に及ぼす影響



上：川砂を用いたコンクリート
 中：真砂土 A を用いたコンクリート
 下：真砂土 F を用いたコンクリート
 写真-4 乾燥収縮によるひび割れ発生状態

クリートではこのことも大きな要因の一つになっているものと考えられる。写真-4 は、乾燥収縮ひび割れの状態の一例を示したもので、これより、川砂および真砂土 A を用いたコンクリートでは乾燥収縮ひび割れは生じていないが、真砂土 F を用いたコンクリートでは乾燥収縮ひび割れが生じていることがわかる。

4.5 凍結融解に対する抵抗性

表-10 コンクリートの配合

設計空気量 (%)	骨材の種類	W/C (%)	単位水量 (kgf/m ³)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)
0	真砂土A	55	195	44	1.9	6
	真砂土F	55	250	44	2.4	8.6
4	真砂土A	55	190	44	4.4	7.7
	真砂土F	55	240	44	4.6	9.1
	川 砂	55	170	44	4.7	7.3
7	真砂土A	55	186	44	7.6	9.5
	真砂土F	55	230	44	7.0	8.1

4.5.1 実験の概要

この実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントで、コンクリートの配合は表-10に示した通りのものである。供試体は10×10×40 cmの角柱体で、材令28まで標準水中養生を行った。凍結融解試験はASTM666に準じて水中凍結融解急速法により凍結融解繰返し約30サイクルごとに、供試体の動弾性係数の測定を行った。動弾性係数は、たわみ振動により一次共鳴振動試験によって求めた。

4.5.2 実験結果と考察

図-13は、プレーンコンクリートの場合について凍結融解サイクル数と相対動弾性係数との関係を示したものである。これより、凍結融解に対する抵抗性は、風化が進んでいると考えられる真砂土Fを用いたコンクリートの方が小さく、凍結融解が100サイクル程度で相対動弾性係数は60%以下になっており耐久性に劣ると言えよう。一方図-14は、AEコンクリートとした場合の凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を示したものである。この結果から、AEコンクリートとすれば耐久性は明らかによくなるが、連行空気量4%程度では凍結融解作用に対する真砂土を用いたコンクリートの抵抗性は、川砂を用いたコンクリートより小さく、この傾向は風化が進んでいると考えられる真砂土Fにおいて顕著である。しかし、連行空気量を増大させ7%とすると真砂土を用いたコンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性は改善され、十分な耐久性を有すると判断され、川砂を用いた空気量4%のAEコンクリートと同程度の抵抗性を示している。

5. ま と め

真砂土をコンクリート用細骨材として利用するために必要となる骨材としての物性、まだ固まらないコンクリートおよび硬化コンクリートの諸性質に関する各種の基礎的な検討を行った結果、次のことが明らかとなった。

(1) コンクリート用細骨材としての真砂土の物理的

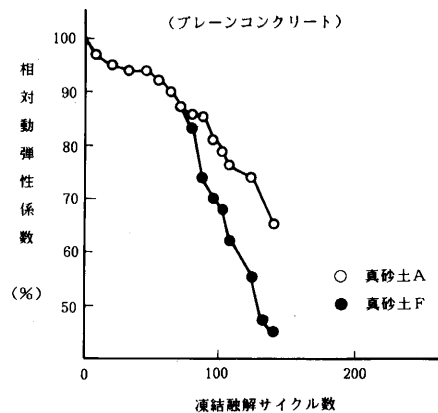


図-13 凍結融解サイクルと相対動弾性係数との関係

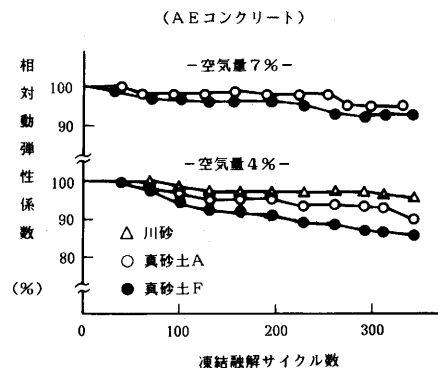


図-14 凍結融解サイクルと相対動弾性係数との関係

性質は、粒形・粒度分布および吸水率に特徴があり、これらの性質は、風化の程度によって大きく異なる。したがって、真砂土の細骨材としての品質規準を現在規準化されている試験方法で定める場合には、ふるい分け試験より求まる粒度分布と吸水率試験から求まる吸水率の二つから判定することが実用的であると考えられる。

(2) 真砂土を用いたコンクリートでは、施工に適するスランプを得るための単位水量が増加する。しかし、適切な細骨材率を用いること、高流動化剤などの混和剤を適当に用いることにより単位水量を大幅に減ずることができる。

(3) 真砂土を用いたコンクリートでは、一般の骨材を用いたコンクリートの配合設計で便利に用いられている単位水量一定の法則が成立しない。

(4) 真砂土を用いたコンクリートの圧縮および引張強度は水セメント比によって支配されるが、骨材の風化の程度によって所要の強度を得るための水セメント比は異なる。

(5) 真砂土を用いたコンクリートの弾性係数は、同じ圧縮強度の川砂を用いたコンクリートよりも15～35%程度小さい。この程度は真砂土の風化の程度によって影響され、風化が進んでいる真砂土ほど弾性係数が小さい。

(6) 真砂土を用いたコンクリートの鉄筋との付着強度は、圧縮強度の等しい川砂を用いたコンクリートよりも小さい。

(7) 真砂土を用いたコンクリートの乾燥収縮は真砂土の風化の程度によって影響され、風化が進んでいる骨材を用いたものほど乾燥収縮が大きい。特に、風化が進んだ微粒分の多い骨材を用いたコンクリートでは乾燥収縮ひび割れの悪影響が懸念される。

(8) 真砂土を用いたコンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性はAEコンクリートとすることで改善され、川砂を用いたコンクリートより多少連行空気量を多くすることにより凍結融解に対する抵抗性は良好と

なる。

真砂土を用いたコンクリートは、以上に示したことに注意して取り扱い、さらに構造物の種類、用途および重要度を考慮して適用すれば利用可能である。なお、鉄筋コンクリートに用いた場合の諸特性および耐久性についての検討は今後の課題である。

最後に、本研究を遂行するに際し、始終熱心に実験に従事して下さった塩沢一雄、大久保仁の両技官に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) セメント協会：コンクリート専門委員会報告F-28：細骨材の品質調査報告，1976-12.
- 2) 土質工学会：風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用，土質基礎工学ライブラリー，昭和57年.
- 3) Richard, T.W.: Creep and drying shrinkage of rightweight and normal weight concrete, Nat. Bur. stand. Monograph, Vol. 74, March 1964.