

[61] 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

正会員 ○岡村 雄樹 (山梨大学工学部)

正会員 檜貝 勇 (山梨大学工学部)

1. まえがき

真砂土は風化した花崗岩であるため、コンクリート用細骨材としての性質は良質な河川産骨材と比較して種々の点で劣る場合が多い。しかし、真砂土は全国各地に広く分布し大量に採取可能であるため、今後利用される可能性を持った有力な天然骨材資源である。一方、コンクリート用骨材の種類と品質の多様化が進んでいる今日、コンクリートの耐久性に疑問が投げ掛けられているが、この原因の一つとして、骨材事情が逼迫する中で十分なコンクリート工学上の検討がなされないままに低品質骨材の利用が先行したこと、および構造物の種類、用途、重要度などに応じた適正な骨材利用が行なわれなかったことなどが挙げられる。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、今後利用される可能性が高い真砂土を取り上げ、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たものである。

2. 真砂土の細骨材としての諸性質

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

真砂土は風化した花崗岩であり、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。表-1は山梨県に分布する真砂土の採取地が異なる6種について比重、吸水率および破砕率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

表-2 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	5.0~2.5 mm	9	17	26	19	8	2	10	20~0
ふ	2.5~1.2 mm	19	24	26	32	25	9	16	30~10
ま	1.2~0.6 mm	21	29	20	21	25	28	27	25
る	0.6~0.3 mm	20	16	12	14	21	28	29	15~30
い	0.3~0.15mm	21	9	8	8	12	16	14	8~25
量	0.15mm以下	10	5	8	6	9	17	4	2~10
に									
と									
%									
粗	粗粒率	2.38	3.23	3.63	3.76	2.54	2.02	2.68	

示してある。これより、真砂土の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。真砂土の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「破砕強度試験」を行った結果を表-1に示したが、これより真砂土の破砕率は良質な川砂に比較すると

1.7~2.1倍と相当大きく破砕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。一方、表-2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、風化作用の程度の違いによるものと考えられる。

3. 真砂土コンクリートの配合に関する検討

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。この図より明らかなように、所定のスランプを得るために必要な真砂土コンクリートの単位水量は、川砂コンクリートに比べ14~30%単位水量を増大する必要がある。図-2はスランプの値12cmを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殆ど一定となり、いわゆる単位水量一定の法則が成り立つが、真砂土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

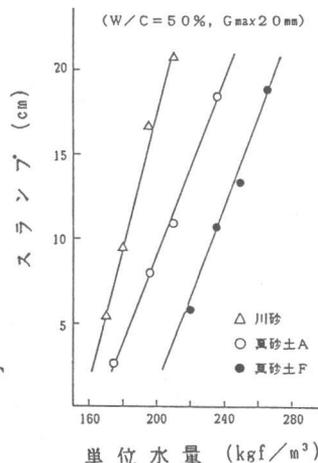


図-1 単位水量とスランプの関係

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 0.3mm 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で明らかに真砂土コンクリートでは、施工に適するようなコンシステンシーを得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。従って、所要のワーカビリティが得られる範囲で出来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-3は、真砂土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程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すると、真砂土Fを用いたコンクリートでは、最適細骨材率の値が30%程度となる。このようにして求めた最適細骨材率は、真砂土コンクリートでは川砂コンクリートより小さく、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-3は、単位水量を大幅に減じる一つの方法として、高流動化剤を適用した実験の結果である。この結果によれば、高流動化剤を適量用いることにより真砂土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じ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

図-4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比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、

表-3 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/m<sup>3</sup>) ---

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

- W/C=50% -

注)高流動化剤の添加量はセメント重量に対する比

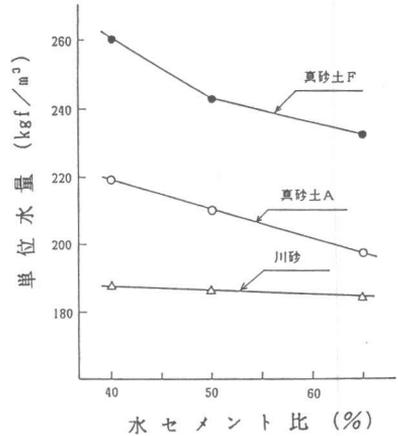


図-2 スランプ12cmを得るための単位水量と水セメント比との関係

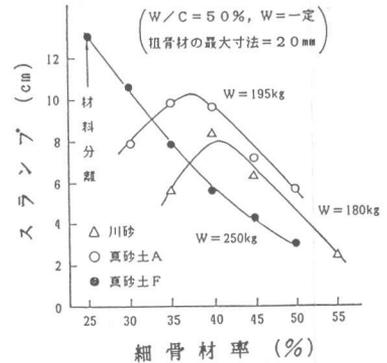


図-3 スランプと細骨材率の関係

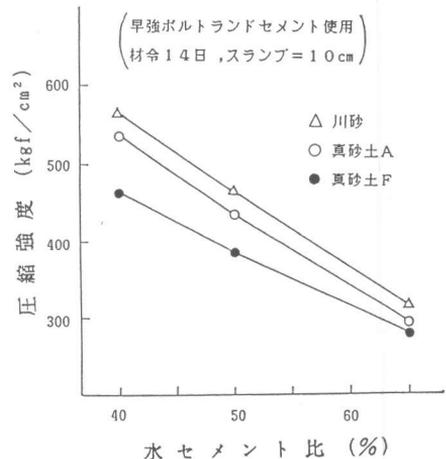


図-4 水セメント比と圧縮強度の関係

表-4 付着強度試験結果

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

特に真砂土Fにおいては水セメント比40%となると川砂コンクリートとの強度差が顕著となる。真砂土コンクリートの圧縮強度が川砂コンクリート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ているためであると推測される。図-5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、圧縮強度と同様な傾向であることが認められる。図-6はコンクリートの静弾性係数と圧縮強度との関係を、真砂土コンクリートおよび川砂コンクリートについて示したものである。この図より、真砂土コンクリートでは、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て低い値を示し、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、真砂土コンクリートの弾性係数が川砂コンクリートより小さいのは、骨材自身の弾性係数が小さいことに起因すると思われる。表-4は、引き抜き試験によって真砂土コンクリートの異形鉄筋に対する付着強度を調べた結果である。この表より、1) 自由端のすべり量が0.1mm以上となるといずれの圧縮強度においても、真砂土コンクリートの付着応力度は、川砂コンクリートより小さいこと、2) いずれの圧縮強度の場合にも、真砂土コンクリートの付着強度は、川砂コンクリートより小さいこと、3) 自由端すべり量が0.05mm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がわかる。すべり量が大きい範囲で、真砂土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、鉄筋のフシに対する支圧抵抗力が川砂に比べて小さいことに起因すると思われる。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、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、鉄筋表面におけるコンクリートの粘着力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。図-7は、真砂土コンクリートの乾燥材令4週までの乾燥収縮率を調べた結果を示したものである。これによると、真砂土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なり、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く、真砂土Fを用いたコンクリートでは、乾燥材令4週程度で乾燥収縮ひ割れも生じた。一方、図-8は水セメント比、単位水量および細骨材率などの配合条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。なお、真砂土コンクリートと川砂コンクリートのスランブを同程度と

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

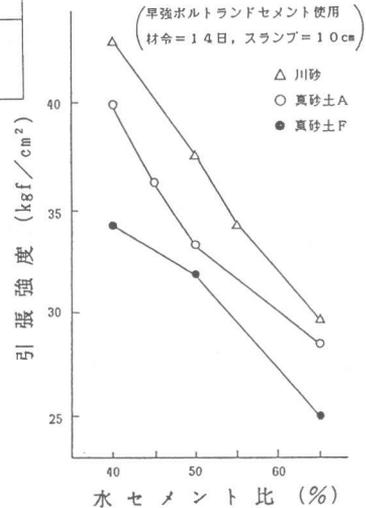


図-5 水セメント比と引張強度の関係

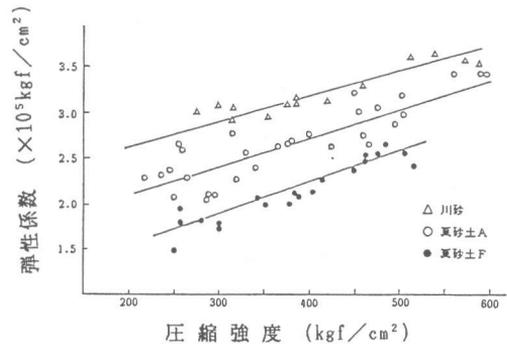


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

コンクリートの付着強度を調べた結果である。この表より、1) 自由端のすべり量が0.1mm以上となるといずれの圧縮強度においても、真砂土コンクリートの付着応力度は、川砂コンクリートより小さいこと、2) いずれの圧縮強度の場合にも、真砂土コンクリートの付着強度は、川砂コンクリートより小さいこと、3) 自由端すべり量が0.05mm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がわかる。すべり量が大きい範囲で、真砂土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、鉄筋のフシに対する支圧抵抗力が川砂に比べて小さいことに起因すると思われる。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、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、鉄筋表面におけるコンクリートの粘着力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。図-7は、真砂土コンクリートの乾燥材令4週までの乾燥収縮率を調べた結果を示したものである。これによると、真砂土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なり、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く、真砂土Fを用いたコンクリートでは、乾燥材令4週程度で乾燥収縮ひ割れも生じた。一方、図-8は水セメント比、単位水量および細骨材率などの配合条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。なお、真砂土コンクリートと川砂コンクリートのスランブを同程度と

するために、真砂土コンクリートでは高流動化剤を用いた。この図より、配合条件を同じとしても、真砂土コンクリートは川砂コンクリートより乾燥収縮が大きく、図-7と同様な傾向であることがわかる。真砂土コンクリートにおいて、骨材の風化程度により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、微粒含有量および骨材の弾性係数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。

図-9は、ブレ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-10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コンクリートの抵抗性は、川砂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、1)相当に風化の進んでいる真砂土を細骨材として用いても、強度面では実用に即するコンクリートを製造することができること、2)凍結融解に対する抵抗性は連行空気量を増すことにより改善できること、3)風化の程度が進んでいる真砂土を用いた場合には、乾燥収縮が大きくなり乾燥収縮ひび割れの懸念があること、4)鉄筋に対する付着強度が小さいことなどが明らかとなった。従って、真砂土コンクリートはこれらのことを考慮し、構造物の種類、用途を限って適用すれば利用可能であると考えられる。なお、鉄筋コンクリートに用いた場合の諸特性および気象作用以外の耐久性については、今後の検討課題である。

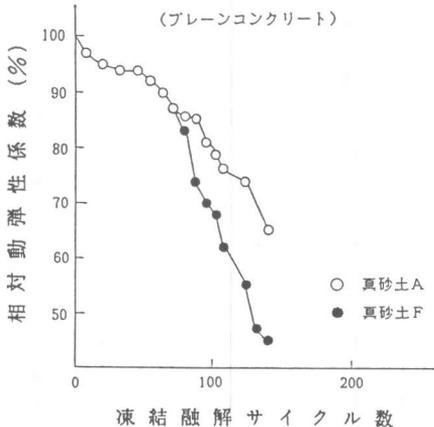


図-9 凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係

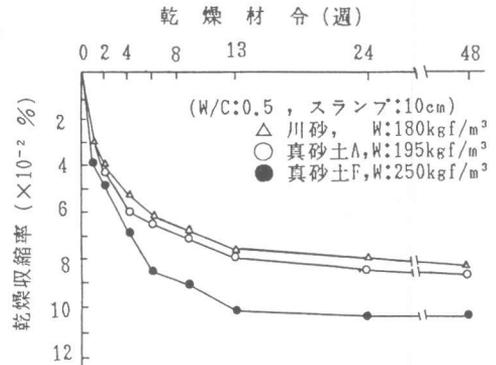


図-7 乾燥材令と乾燥収縮率の関係

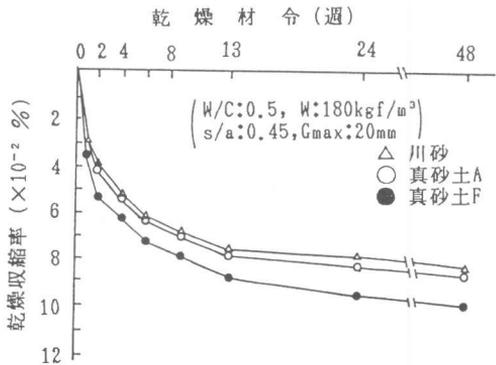


図-8 乾燥材令と乾燥収縮率の関係

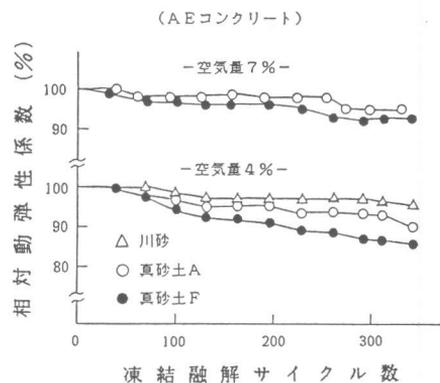


図-10 凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係