

論文 真砂土のコンクリート用細骨材への適用

松井 信作*¹・井上 正一*²・吉野 公*³・黒田 保*⁴

要旨: 海砂の全面採取規制,さらにはコンクリート用骨材そのものの資源が不足している中で,ここではその対応として鳥取県内に広く分布する真砂土をコンクリート用細骨材として使用できる可能性を検討した。その結果,遅延形の高性能 AE 減水剤を添加することによって通常のコンクリートと同程度の強度,耐久性,施工性をもったコンクリートを製造できる可能性があることが明らかになった。

キーワード: 風化花崗岩, 高性能 AE 減水剤, 細骨材, フレッシュコンクリート

1. はじめに

最近のコンクリートは高品質化・高耐久化・多機能化が要望される一方で,骨材の不足に加え骨材の低品質化がすすんでいる。このような状況においては,低・高品質骨材の中から所要の性能を有するコンクリートを製造する技術とその適材適所の使用法を確立しておくことが必要となる。

特に,中国地方では海砂の全面採取禁止に伴う細骨材不足が深刻化しており,海砂に替わる代替細骨材の確保が急務となっている。

このような観点から,本研究では,コンクリート用骨材資源の有効利用,建設コストおよび環境負荷の低減から,建設材料として鳥取県で多量に採取可能な真砂土を対象として,先ず真砂土の物理的性質を調査した。次に,鳥取県のダム現場で排出される比較的高品質の真砂土をそのまま(ただし 10 mm フルイで篩う)用いて,コンクリートの配合設計上の問題点とフレッシュ性状および強度,耐久性,乾燥収縮について検討を行い,併せて実機プラントおよび現場擁壁の作製を通して得られた真砂土コンクリートの性状についても述べる。

2. 実験概要

2.1 真砂土の物理試験

県内に分布する真砂土は,粗粒花崗岩を主岩相とし,石英が多く有色鉱物が少ないのが特徴であるといわれている。そこで,真砂土がかなり多量にあることを条件に県内全域の 14 カ所より採取した真砂土に対し,JIS¹⁾に基づいてふるい分け(JISA 1102),密度・吸水率(JISA 1110),微粒分量(JIS A 1103),単位容積質量(JIS A 1104),および強熱減量試験²⁾(JSF T 221)等の物理試験を行った。

2.2 真砂土を用いたコンクリート試験

コンクリートに用いる真砂土には,現在建設中の東郷ダムの残土(排出真砂土 20 万 m³:表-1,図-1の E1)を用いることとした。

セメントには高炉 B 種を,粗骨材には骨材最大寸法 40 mm(碎石 4020 と 2005 を質量で 1:1 混合)を使用した。なお,比較のために普通砂を用いた試験も行うが,混和剤は,普通砂を使用する場合には AE 減水剤を,真砂土を使用する場合にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤(標準形 or 遅延形)を使用し,空気量は AE 助剤によって調整した。

*1 (財)鳥取県建設技術センター業務課課長補佐 工修(正会員)

*2 鳥取大学教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*3 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*4 鳥取大学助手 工学部土木工学科 工修(正会員)

コンクリートの配合条件は、無筋コンクリートとして広く県内で用いられている配合（普通-18-8-40-BB： $W=150 \text{ kg/m}^3$ ， $W/C=60 \%$ ）を参考に，スランプ $8 \pm 1.5 \text{ cm}$ ，空気量 $5 \pm 1 \%$ ， $W=150 \text{ kg/m}^3$ とし，最適 s/a において水セメント比を $W/C=40 \sim 70 \%$ の範囲内で 3～5 水準を選定した。

フレッシュコンクリートにおける試験項目は，スランプ（JIS A 1101），空気量（JIS A 1128）である。硬化コンクリートでは圧縮強度試験（JIS A 1108），乾燥収縮試験および凍結融解試験（JSCE-G-501）である。なお，強度試験には $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の円柱を，その他の試験では角柱供試体を用い，それぞれ 3 体ずつ作製した。

全ての供試体は，コンクリート打設後，恒温室（ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ， $R.H.60 \pm 10 \%$ ）に搬入し，材齢 1 日で脱型，その後 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ の水中養生を施した。円柱供試体は材齢 28 日に圧縮強度試験を，乾燥収縮は材齢 7 日から，凍結融解試験は材齢 14 日で，試験を開始した。

2.3 現場施工試験

コンクリートの練上がり条件として，スランプ $8 \pm 1.5 \text{ cm}$ ，空気量 $6 \pm 1.5 \%$ ， $W=150 \text{ kg/m}^3$ ， $W/C=60 \%$ とし，生コン工場において最適 s/a のもとで普通砂と真砂土コンクリートを製造し，現場までの運搬時間約 90 分の場所（鳥取県中部の山間地）に無筋擁壁（高さ 1 m，幅 60 cm，長さ 12 m）を作製した。なお，真砂土コンクリートでは遅延形の高性能 AE 減水剤を用いた。この擁壁の施工で計測したコンクリートのフレッシュ性状と擁壁の乾燥収縮の測定とひび割れを含めた表面性状の観察を行った。なお，乾燥収縮の測定はホイットモア型ひずみ計（基長 25 cm，最小目盛 0.001 mm ）を用いた。

3. 結果と考察

3.1 真砂土の物理的性質

真砂土は，採取場所の違い，同一場所であってもその採取位置によって粒度や密度，微粒分量，等の物理的性質はかなり異なることが知ら

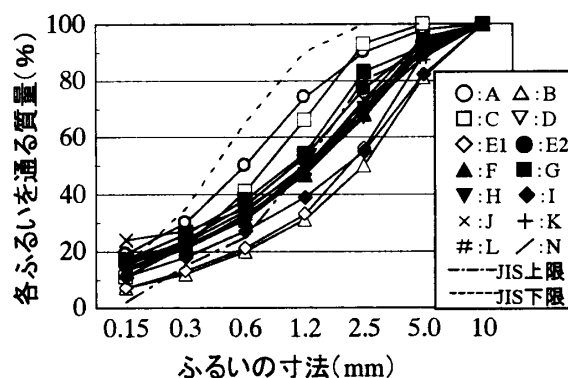


図-1 真砂土の粒度分布

表-1 真砂土の物理試験結果

試料記号	採取地域	粗粒率	表乾密度 g/cm^3	絶乾密度 g/cm^3	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	単位容積質量 kg/l	強熱減量 (%)
A	東	2.39	2.45	2.34	4.88	15.5	1.42	2.68
B	東	3.99	2.56	2.50	2.35	5.1	1.60	1.36
C	東	2.67	2.50	2.40	3.98	8.5	1.43	1.84
J	東	2.97	2.53	2.47	2.09	16.3	1.62	2.91
D	中	3.28	2.55	2.50	1.94	11.3	1.58	1.73
E1	中	3.79	2.52	2.45	2.67	5.6	1.54	1.20
E2	中	3.02	2.49	2.41	3.49	10.5	1.66	0.96
F	中	3.28	2.49	2.40	3.60	9.3	1.61	1.47
K	中	3.17	2.51	2.44	2.65	12.2	1.69	3.21
N	中	3.16	2.54	2.49	1.81	11.3	1.69	1.37
G	西	3.00	2.56	2.51	2.04	12.5	1.74	1.31
H	西	3.21	2.54	2.48	2.60	8.2	1.67	1.20
I	西	3.68	2.50	2.42	3.47	6.2	1.54	1.81
L	西	3.25	2.53	2.48	1.84	15.1	1.74	1.24
普通砂		2.72	2.67	2.63	1.63	3.6	1.82	
JIS A 5005の規格値				>2.5	<3.0	<7.0		

注) 表中網掛け部はJIS A 5005 の規格値を満たさないもの

れている。

図-1に採取した真砂土の粒度分布を，表-1には真砂土および普通砂の物理試験結果を示す。また，参考のために，図-1にはコンクリート標準示方書³⁾に規定されている細骨材の粒度範囲を，表-1には，JIS A 5005 のコンクリート用砕砂の規格値を示している。

表-1より，真砂土の物理的性質は，採取場所によって試料Bのように JIS の砕砂の基準を満たすものもあるが，ほとんどのものがいず

れかの物性で規格値を満足していない。なお、高倉ら⁴⁾は、真砂土は風化の進行に伴って結晶水を多く含む粘土鉱物が増えるために、風化度を判定する方法として強熱減量の測定を提案し強熱減量1.7 %以下の真砂土であれば、その真砂土はコンクリート用細骨材として使用できる可能性があるとして報告している。

また、今回採取した試料に対してレーザー回折式粒度分布測定装置で測定した結果より、真砂土の微粒分(<75 μm)は、5 μm 以下の粘土・シルト質が少なく、大部分が5 μm 以上であり、風化中の長石等が粘土、シルト質に移行する前段階の状態であると推察された。

いずれにしても、真砂土の絶対密度は2.51~2.34、強熱減量は0.9~3.2%の範囲にある。一般に、粒径(粗粒率)が大きいほど密度、単位容積質量は大きく、吸水率、微粒分量、強熱減量が小さい真砂土であるといえる。その結果、一般に、真砂土B、E1を含め比較的良好品質の真砂土の粒度分布の特徴は、土木学会の下限値よりも下方にあり、コンクリート用細骨材としては粗いものであることがわかる(図-1参照)。なお、コンクリート用細骨材に使用するE1真砂土の微粒分を、粉末X線回折した結果によれば、微粒分は石英、斜長石、カリ長石からなり、有害鉱物は検出されなかった。また、有機不純物試験は合格であった。

3.2 真砂土コンクリートの配合とフレッシュ性状

(1) 配合条件の設定と最適 s/a

鳥取県において広く用いられている強度18 N/mm^2 、スランプ8 cmの無筋用の生コン(普通-18-8-40-BB)に対して、 $W=150 \text{ kg/m}^3$ 、 $W/C=60\%$ 、 $s/a=41\%$ で配合設計されている。そこで、細骨材に真砂土と普通砂を用いたコンクリートの物性を比較するため、ここでは、 W と W/C を同一とし、 s/a のみを変化させて最適 s/a を決定する試験を行った。

図-2に、スランプと s/a との関係を示す。普通砂(F.M.=2.72)を使用したコンクリートの最適 s/a が41.5%に対して、真砂土(F.M.=

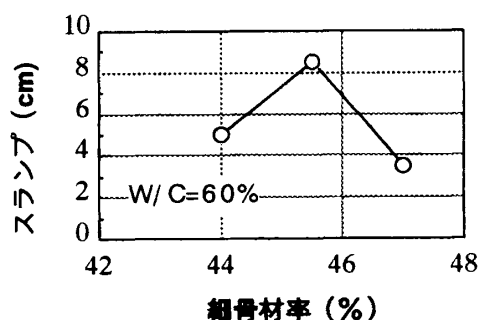


図-2 細骨材率とスランプとの関係

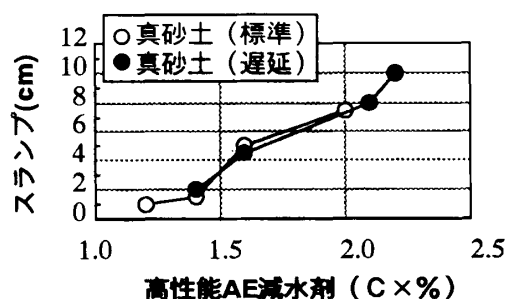


図-3 高性能AE減水剤添加量とスランプとの関係

3.79)を使用したコンクリートのそれは45.5%に増加した。その原因として、真砂土の粗粒率が1程度大きく、しかも5~10 mm以上の粒子が11%程度含まれていることも一因している。なお、 $W=150 \text{ kg/m}^3$ でスランプ8 cmの真砂土コンクリートは、高性能AE減水剤を用いることによつてのみ達成できた。

図-3に、スランプと高性能AE減水剤の添加量との関係を示す。目標スランプ8 cmを得るには、普通砂では、AE減水剤を0.25%添加すればよいのに対し、真砂土の場合、高性能AE減水剤は2%前後の添加量が必要であった。なお、高性能AE減水剤の添加量は、標準形と遅延形で差異はない。

(2) フレッシュコンクリートの物性

図-4に、 $W=150 \text{ kg/m}^3$ 、 $W/C=60\%$ におけるコンクリートのスランプの経時変化を示す。図より、真砂土コンクリートにおいては、標準形の高性能AE減水剤を使用するとスランプロスが大きく、かつ練混ぜ30分後までに大きなスランプロスが生じる。これは、遅延形の高性能AE

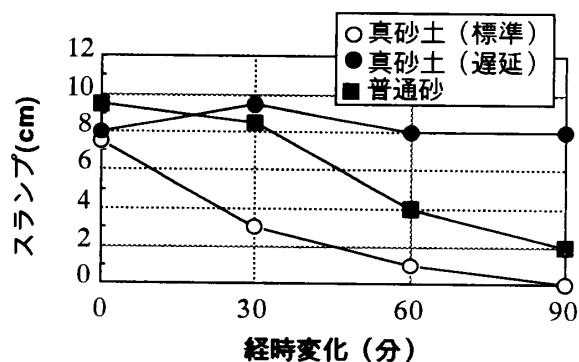


図-4 スランプの経時変化 (W/C=60%)

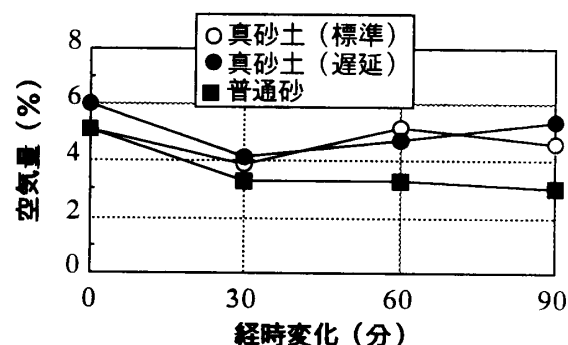


図-5 空気量の経時変化 (W/C=60%)

減水剤を使用することによってスランプロスを小さくし、90分後においても良好なスランプ保持性能を発揮できる。

図-5に、空気量の経時変化を示す。普通砂を用いたコンクリートでは、時間の経過とともに空気量は減少するのに対し、真砂土コンクリートでは 90分後においても目標空気量を保持している。なお、標準形と遅延形の高性能AE減水剤が空気量の経時変化に及ぼす影響には差異がない。この結果、真砂土コンクリートの空気量に関しては、AE助剤によって目標空気を容易に連行できるといえる。

(3) W/C と高性能AE減水剤添加量および W/C と AE助剤添加量との関係

スランプ 8 ± 1.5 cm, 空気量 5 ± 1 %, の条件で, $W=150 \text{ kg/m}^3$ と一定とし, W/C のみを $W/C=50 \sim 70$ % の範囲で3~5 水準変化させ, 最適 s/a のもとで, W/C の値が高性能AE減水剤の添加量に及ぼす影響を検討した。なお, 各 W/C における最適 s/a は, $W/C=60$ % における最適

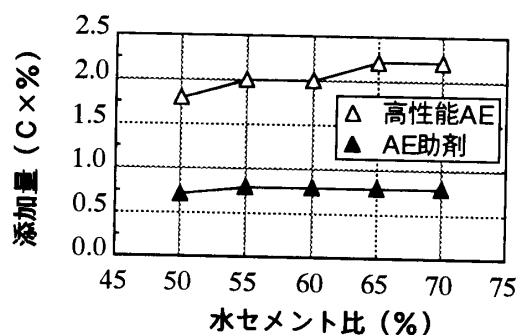


図-6 水セメント比と混和剤添加量との関係

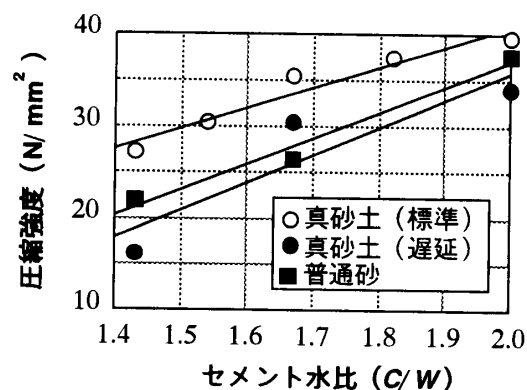


図-7 セメント水比と圧縮強度との関係

$s/a=(s/a)_0=45.5$ % を基準に, 土木学会の方法に従って, 式(1)に基づいて決定した。

$$\text{最適 } s/a = (s/a)_0 + (W/C - 60) / 5 \quad (1)$$

図-6に、真砂土を使用したコンクリートにおける高性能AE減水剤の添加量と W/C , および AE助剤の添加量と W/C との関係を示す。図より、同一スランプを得るために必要な高性能AE減水剤の添加量は, W/C の増加とともに微増させる必要がある。

一方、同一空気量を得るために必要なAE助剤の添加量 (セメント量に対する使用量) は, W/C の大小にかかわらず, ほぼ一定と見なしてよい。

(4) 硬化コンクリートの C/W と圧縮強度との関係

図-7に, C/W ($W=150 \text{ kg/m}^3$) と28日圧縮強度 f'_{c28} との関係を示す。図より, 普通砂および真砂土を用いたコンクリートの C/W と f'_{c28} との間には, 明瞭な直線関係が認められる。なお, 同一の C/W においては, 真砂土コンクリートの圧縮強度, 特に標準形の高性能AE減

水剤を添加した真砂土コンクリートの圧縮強度は、普通砂コンクリートのそれよりも 2～5 N/mm² 大きかった。真砂土コンクリートの圧縮強度が普通コンクリートよりも高いという結果は、岡村ら⁵⁾、高倉らの既往の研究結果と逆の結果が得られたが、これは本研究に使用した真砂土が比較的高品質であったことも一因していると考えられる。

(5) 凍結融解抵抗性

図-8に、粗骨材最大寸法を 40 mm から 20 mm に変え、 $W/C = 40, 50, 60 \%$ の3水準を設定した普通砂および真砂土を使用したコンクリートに対して、凍結融解試験を行った結果を示す。図より、いずれのコンクリートにおいても、凍結融解300サイクル後の相対動弾性係数は、80 %程度以上あること、同一 W/C においては、真砂土コンクリートの方が普通コンクリートより相対動弾性係数の低下は小さいことがわかる。このことは、真砂土コンクリートでも十分耐久的なコンクリートを製造できる可能性を示している。

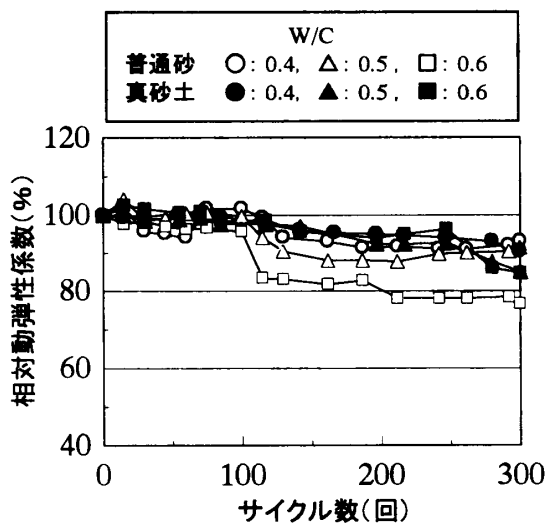


図-8 凍結融解試験結果

3.3 現場施工試験結果

3.2 に基づいて決定したコンクリート配合（スランプ 8 ± 1.5 cm, 空気量 $6 \pm 1.5 \%$, $W = 150$ kg/m³, $W/C = 60 \%$, 最適 $s/a = 45.5 \%$ （真砂土）, $= 41.5 \%$ （普通砂））に対して真砂土

および普通砂を使用したコンクリートを生コンプラントで製造し、擁壁を作製した。

表-2に、練混ぜ直後と現場到着時（練混ぜ90分後）のスランプと空気量を示す。現場施工時の外気温は10～14 °C、コンクリート温度は13～14 °Cであった。施工は3月であったが、真砂土コンクリートには遅延形の高性能AE減水剤を用いた。スランプおよび空気量の経時変化は小さく、両コンクリートの施工性の良否に差異がなかった。

図-9に、恒温室と現場環境（月平均気温26.5～3.0°C、年平均湿度80 %）に置いた角柱供試体、および擁壁の長さ変化を示す。なお、長さ変化測定開始時の材齢は7日で、擁壁（高さ1 m, 長さ12 m）の長さ変化の測定は図-10 に示す位

表-2 スランプと空気量の実測値
(現場施工試験)

コンクリートの種類	台数	練混ぜ直後 スランプ (cm) 空気量 (%)	現場到着後 スランプ (cm) 空気量 (%)
真砂土 コンクリート	1台目	10.0 5.6	9.2 6.0
	2台目	11.0 5.4	* *
	3台目	9.0 6.0	8.5 5.9
	4台目	8.0 5.9	9.0 6.6
	5台目	11.0 5.9	7.0 7.7
	6台目	10.0 5.8	7.0 7.8
	7台目	8.0 5.1	7.0 7.5
	8台目	8.0 7.2	8.5 7.8
普通 コンクリート	1台目	9.5 6.0	6.0 5.9
	2台目	8.5 5.5	7.0 6.2

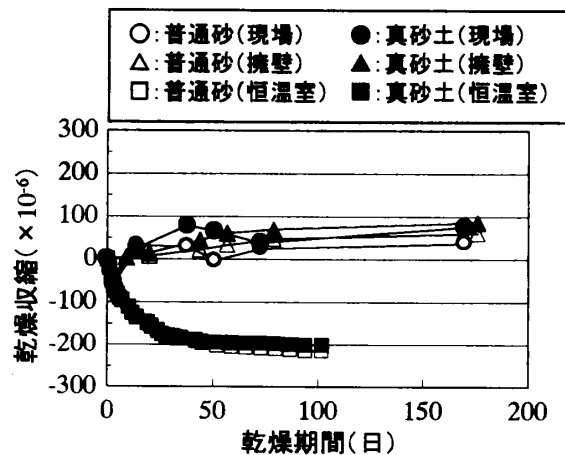


図-9 乾燥収縮試験結果

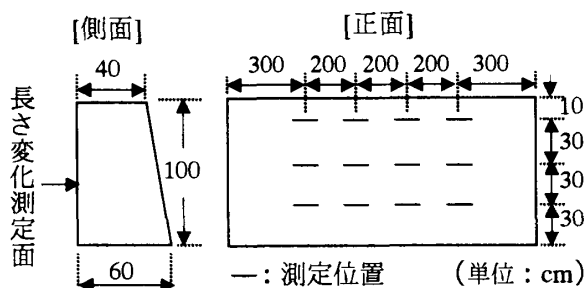


図-10 擁壁の長さ変化測定位置

置で行った。図-10に示す各測定位置における高さレベルでの長さ変化には差異がなかったで、図-9には全12点の長さ変化の平均値をプロットしている。図より、同一環境条件における角柱供試体および擁壁の長さ変化は、真砂土コンクリートと普通コンクリートでほとんど差異がないこと、恒温室の角柱供試体では収縮しているのに対し、現場の角柱供試体と擁壁ではやや膨張している、ことがわかる。なお、現場環境で膨張を示しているのは、現場が山間部にあり、日照が少なく乾燥が厳しくないこと（年平均湿度80%）に起因すると推察される。

4. 結論

真砂土をそのまま用いて、コンクリートの配合設計上の問題点とフレッシュ性状および強度、耐久性、乾燥収縮について検討を行い、併せて実機プラントおよび現場擁壁の製作を通して、真砂土のコンクリート用細骨材としての適用性について検討を行った。ここでは、本研究の範囲内で明らかになった点をあげ、結論とする。

(1)真砂土の物理的性質は、採取場所によってJISの砕砂の基準を満たすものもあるが、ほとんどのものがいずれかの物性で規格値を満足していない。

(2)一般に、真砂土は、粗粒率が大きいほど密度、単位容積質量は大きく、吸水率、微粒分量、強熱減量は小さいといえる。

(3) $W=150 \text{ kg/m}^3$ でスランプ8 cm の真砂土コンクリートは、高性能AE減水剤を用いることによってのみ達成できた。その添加量は2 %前

後が必要であった。そして、標準形と遅延形で差異はない。遅延形の高性能AE減水剤は、スランプロスを改善し、90分後においても良好なスランプ保持性能を発揮できる。なお、空気量については、AE助剤を併用することで対応できる。

(4)真砂土を用いたコンクリートの C/W と f'_{c28} との間には、明瞭な直線関係が認められる。なお、同一の C/W においては、標準形の高性能AE減水剤を添加した真砂土コンクリートの圧縮強度は普通砂のコンクリートのそれよりも $2 \sim 5 \text{ N/mm}^2$ 大きかった。

(5)真砂土コンクリートの凍結融解300サイクル後の相対動弾性係数は、80 %程度以上あり、真砂土コンクリートでも十分耐久的なコンクリートを製造できる可能性を示している。

(6)現場施工試験の結果、遅延形の高性能AE減水剤を用いた真砂土コンクリートには、スランプおよび 空気量の経時変化は小さく、両コンクリートの施工性の良否に差異がなかった。また乾燥収縮も、通常の生コンと比べても、差異はない。

今後、真砂土をコンクリート用の細骨材として適用できるためには、問題点と課題もあるが、そのままの真砂土であっても、通常のコンクリートと同程度の性能を持ったコンクリートを製造できる可能性があるといえる。

参考文献

- 1) 日本規格協会, 生コンクリートJISハンドブック, 25, 1998
- 2) 土質工学会, 土質試験の方法と解説, 土質工学会, pp.133, 1987
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書, 1966
- 4) 高倉寅喜, 吉野良明, マサ土コンクリートの開発, 建設マネジメント技術, pp.73, 1998.10
- 5) 岡村雄樹, 檜貝 勇, 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, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.8, pp.241-244, 1986