

正会員 長滝 重義 (東京工業大学)

〃 米山 紘一 (新潟大学)

〃 〇高田 誠 (東京工業大学)

1. まえがき

高炉スラグ水砕砂(以下水砕砂という)のコンクリート用細骨材としての適用性に関する調査研究は、河川産骨材の枯渇に伴ない良質の川砂が払底していること、また副産過多となっている高炉スラグを有効に利用しようという観点から、4~5年前より各方面の研究機関において活発になされており、それらの実験資料に基づいて、水砕砂の品質規準、あるいは使用規準が作成されるまでに至っている<sup>1)</sup>。しかしながら、研究に着手してから年月が浅いため、長期材令におけるコンクリートの力学的性状、耐久性等、未だ明確にされていない点も多い。筆者等も数年来、水砕砂の細骨材としての適用性に関する研究の一環として、水砕砂を用いたコンクリートの力学的性状および体積変化等について実験的に検討を加えてきた<sup>2,3)</sup>。本報告は、それらの研究成果に基づいて、長期材令(2年)における水砕砂を用いたモルタルおよびコンクリートの諸性状を川砂を用いた場合と比較検討したものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料 使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。細骨材はモルタル試験では、水砕砂3種類(C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, E)と比較のための富土川産川砂(A)であり、コンクリート試験では、水砕砂2種類(C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>)と信濃川産川砂(B)を用い、粗骨材には信濃川産砂利を使用した。なお、表-1にその物理的性質を示すが、C<sub>1</sub>とC<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>とD<sub>2</sub>は同一銘柄であり納入時期が相違している。

(2) 実験方法 (i)配合の決定 実験に用いたモルタルの配合は、水セメント比を40, 50, 65%の3段階とし、フロー値は190±5mmとなるように細骨材量を決定した。また、コンクリートの配合は水セメント比40, 50, 65%, スランプ8cmで同一のワーカビリティとなるようにした。(ii)強度試験 モルタルの強度試験は表-2に示す各条件で養生した供試体(φ10×20cm)で実施した。コンクリートはφ10×20cmの供試体を用いて、水中養生を継続したもの(材令28日, 67日, 2年)および材令28日まで水中養生し、以後気乾養生(20°C, 50~55%RH)したものを(材令91日, 67日, 1年, 2年)について強度試験を行なった。(iii)モルタルの乾燥収縮およびクリープ試験 乾燥収縮試験に用いた供試体は10×10×50cmで、クリープ試験に用いた供試体は図-1に示すようである。乾燥収縮およびクリープによる収縮量はダイヤルゲージ法によって測定した。

試験条件は表-3に示すようであり、甚長時期は乾燥収縮試験にあっては乾燥開始時、クリープ試験にあっては応力導入直後とした。なお、試験条件は20°C, 50%RHである。

3. 試験結果と考察

(1) 強度特性 図-2は表-2に示す養生条件でモルタルの圧縮強度試験を実施した結果を示したものである。既報<sup>2)</sup>において明らかにしているように、一般に水砕砂は潜在水硬性を有していることから、これを用いたモルタル、コンクリートは長期材令においても強度の増進が著しいが、特に水中養生の場合には水砕砂を用いたモルタルは水セメント比の

表-1 細骨材の物理的性質

	略記	表観比重	吸水率(%)	粗粒率
川砂	A ●	2.62	1.81	2.84
	B ○	2.62	1.74	2.50
水砕砂	C <sub>1</sub> ▲	2.67	3.82	2.65
	C <sub>2</sub> △	2.69	2.76	2.28
	D <sub>1</sub> ■	2.68	1.05	2.55
	D <sub>2</sub> □	2.62	2.34	2.48
	E X	2.57	4.92	2.09

表-3 養生条件および応力導入時期

試験	乾燥収縮試験		クリープ試験	
	材令7日まで水中養生の後の気乾養生		材令7日に応力導入後の気乾養生	
乾燥収縮試験	28	〃	28	〃
	91	〃	91	〃
クリープ試験	28	〃	28	〃
	91	〃	91	〃

表-2 モルタル強度試験の養生条件

	養生条件
N-7	水中養生(20°C)7日
N-28	〃 28日
N-91	〃 91日
S-7	蒸気養生(65°C, 3hr)直後
S-28	蒸気養生後28日同水中養生
A.C	蒸気養生十オートクレープ養生(180°C, 5hr)

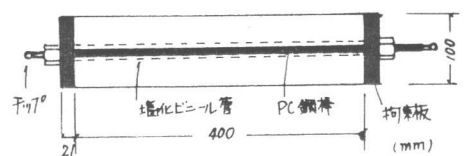


図-1 クリープ試験体

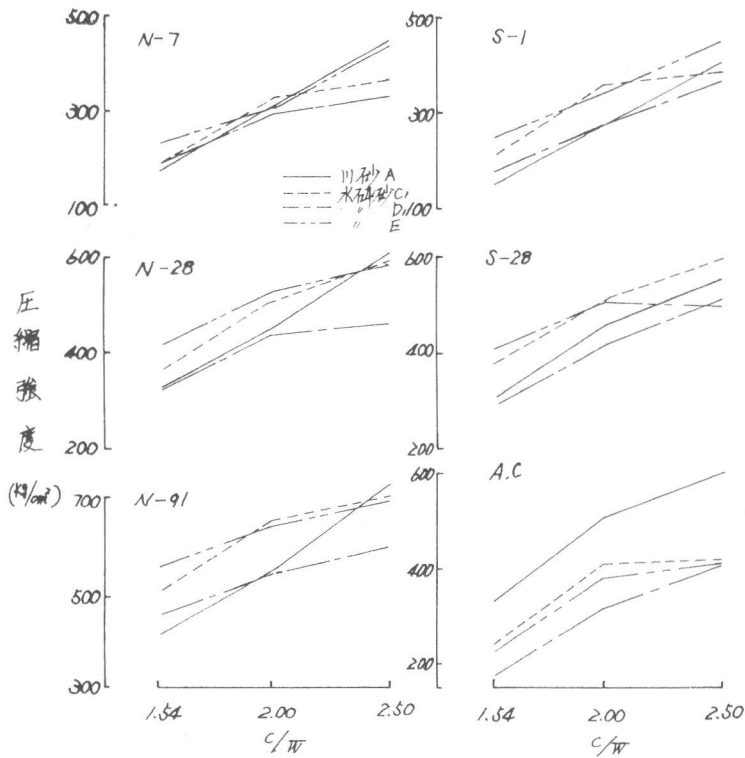


図-2 各種養生条件におけるモルタルの強度発現性状。

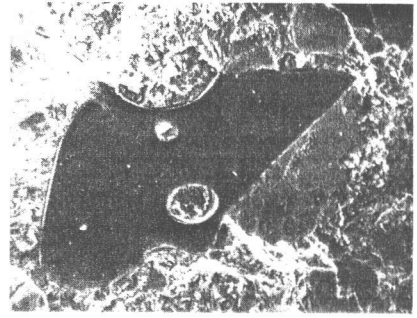


図-3 モルタル中の水砕砂 (倍率 198)

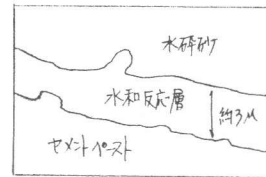
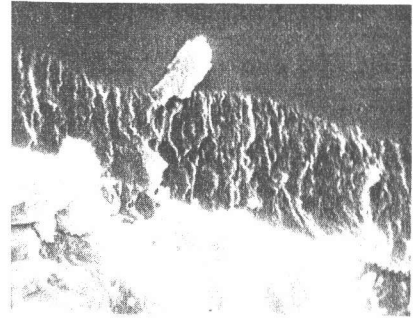


図-4 水砕砂の水和反応層 (倍率 6550)

大きいところで、材令の経過に伴う強度の増進が著しいという傾向が認められた。

図-3、図-4は走査型電子顕微鏡によってモルタル中の水砕砂の形状および水砕砂の潜在水硬性によって生成された水和反応層を観察したものである。この試料は水セメント比50%で水中養生材令2年を経過しているが、水砕砂とそれを取り囲むセメントペーストとの界面に沿って約3μmの水和層が生成している。この水和層はアルカリ刺激により水砕砂表面に新たに水和物が材令の経過とともに徐々に生成し、この生成が水砕砂を用いたモルタルの強度増進に大きく影響したものと考えられる。一方、促進養生を行なった場合の強度性状は、図-2の右図に示されるように蒸気養生した場合には川砂を用いたモルタルと同程度の強度を示すが、オートクレーブ養生では既往の研究結果と同様に、水砕砂を用いた場合にはその養生効果はほとんど皆無<sup>4)</sup>いようである。

次に、コンフリートについて水中養生と気乾養生した場合の強度と比較検討した。図-5は一例として水セメント比50%の場合について、材令28日まで水中養生した後気乾養生した場合と、引き続き水中養生した場合の圧縮強度を材令との関係で示したものである。水中養生を継続した場合の強度性状は図-2で示したモルタルの試験結果と同様に水砕砂を用いたコンフリートは強度増進が著しい。一方、気乾養生をした場合は、いずれの細骨材を用いた場合とも材令91日の強度は一時的に高くなる傾向を示すが、その後は次第に強度は低下している。その低下の程度を材令2年における水中養生強度と気乾養生強度で比較すると、水砕砂を用いたコンフリートはその強度差が川砂の場合よりも40~50%程度大きく生じている。図-6は圧縮強度試験と併行して行なった静弾性係数の測定結果である。静弾性係数は圧縮強度におけるよりもさらに乾燥による影響を強く受け、低下率が川砂

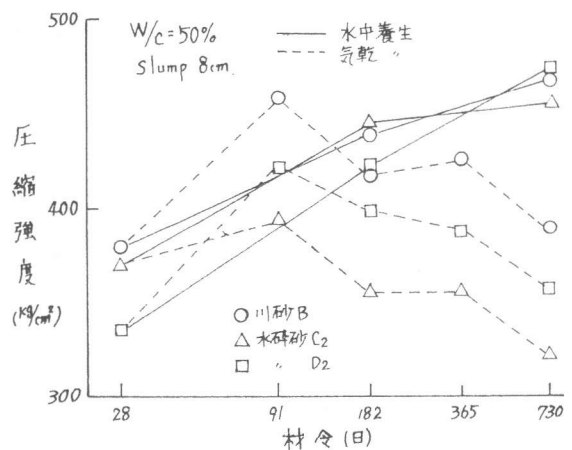


図-5 圧縮強度と材令の関係

の場合よりも著しく大きく持っている。図-7はこのように傾向を水セメント比別に材令2年における水中養生と気乾養生した場合の圧縮強度差を、図-8は弾性係数の差を示したものである。これらの図より、乾燥による影響を水砕砂と川砂を用いた場合で比較すると、水セメント比

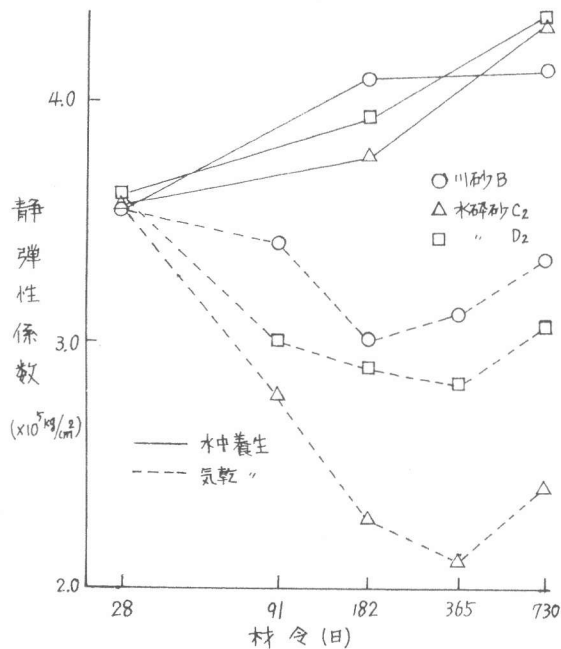


図-6 静弾性係数と材令の関係

が40%の場合では同程度であるが、水セメント比が増大するに従い、両者の間に明らかに差異が認められる。また、乾燥による影響を図-9に示すように圧縮強度と弾性係数の関係で見ると、水砕砂を用いたコンクリートは乾燥によって弾性係数が著しく低下している。

以上の結果は水砕砂を細骨材として用いたコンクリートは湿潤状態に保たれた場合には良質の川砂に匹敵する力学的性状を示し、特に潜在水硬性による力学的性状の改善は水セメント比の大きいところで効果的であることを示している。しかし、水中養生後かたまり苛酷な気乾状態にさらされた場合には力学的性状の劣化が認められ、特に水セメント比が大きい場合に顕著であることを明瞭に示している。このように乾燥によりコンクリートの力学的性状が劣化する原因として、推測の域を出ないが、同一ワーカビリティを得るために川砂の場合より単位ペースト量が増大していることから乾燥によって微細なひびわれが多数発生した、水砕砂粒子とセメントペーストとの界面に生成された水和層が乾燥によって脆弱なものになった、あるいは水和層とセメントペーストの収縮量が異なり水砕砂粒子の周辺に微細なひびわれが生じた、ことなどが原因として考えられる。

(2) 乾燥収縮とクリープ

図-10は各々の細骨材を用い、水セメント比、水中養生期間と相違させて実験したモルタル供試体の乾燥収縮試験結果であり、乾燥材令2年の乾燥収縮率と各々のモルタルの単位水量の関係を示したものである。水砕砂を用いたモルタルは水砕砂の形状が川砂よりも劣るため、同一のコンシステンシーを得るに必要な単位水量が増大しているにも拘らず、収縮率は小さく持っている。但し、同一の細骨材を用いた範囲では単位水量の増大に比例して収縮率は大きく持

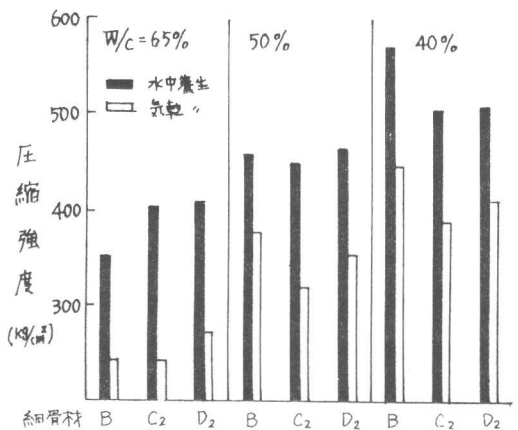


図-7 圧縮強度に及ぼす影響

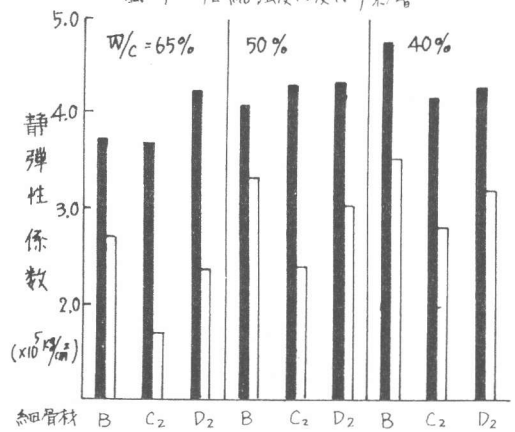


図-8 静弾性係数に及ぼす影響

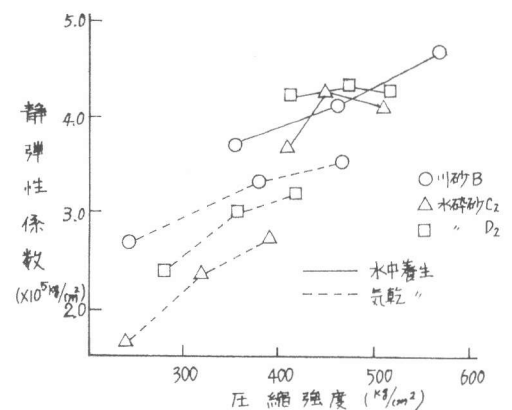


図-9 圧縮強度と静弾性係数の関係

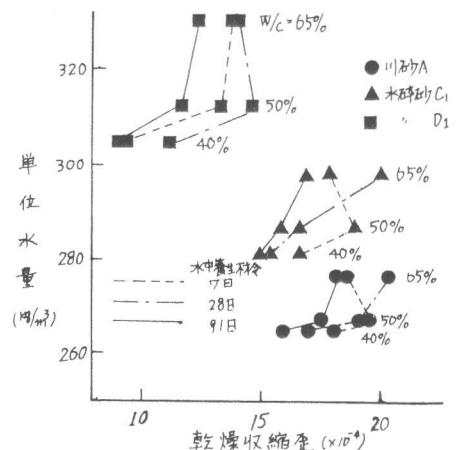


図-10 乾燥収縮率と単位水量の関係

っている。

図-11は乾燥材令2年における乾燥収縮率とモルタルの重量減少率を示したものである。乾燥材令6ヶ月程度では重量減少率は水砕モルタルのほうが小さい傾向にあったが、材令2年においては川砂と同程度であり、徐々に水分が逸散されているようである。

乾燥条件下でのフリーブ性状は、載荷材令6ヶ月であるが図-12に示すように川砂モルタルよりも乾燥収縮が小さいにも拘らず、単位フリーブ率は同等もしくは若干大きいようである。

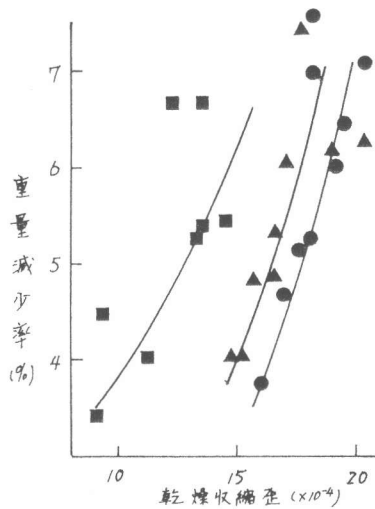


図-11 乾燥収縮率と重量減少率

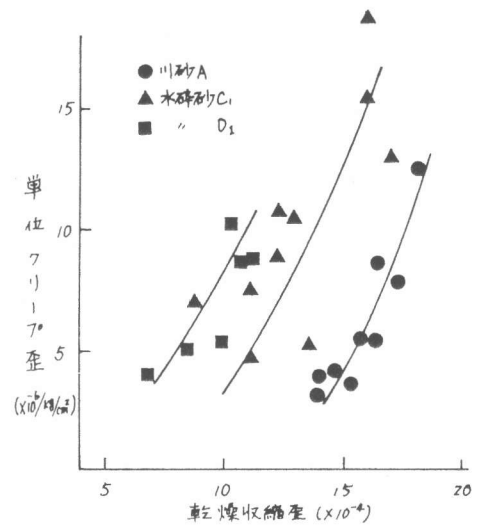


図-12 乾燥収縮率と単位フリーブ率

以上、図-10,11,12に示された結果、すなわち、水砕砂を用いたモルタルは、川砂を用いたモルタルよりも単位水量、単位セメント量が大いにも拘らず乾燥収縮が小さいこと、乾燥収縮は小さいが、単位フリーブ率は水砕砂と川砂モルタルと同程度であること、重量減少率の経時変化が水砕砂を用いた場合には川砂モルタルよりも遅れること、などの現象はいずれも水砕砂の潜在水硬性による特性を示すものであろうが、これらを説明するには水砕砂モルタルの内部に微細なひびわれの発生を仮定して考えるのが妥当ではないかと思われる。乾燥条件下における力学的特性の低下においても、幾つかの原因が推測されたが、乾燥収縮、フリーブ試験の結果からほぼ同一原因が推察されたことは、この推測の正しいことを裏付けていると思われる。

#### 4. あとがき

水砕砂を用いたコンクリートの諸性状として、特に長期材令における強度特性、体積変化率について実験的に検討した結果、水砕砂に有利な条件、つまり潜在水硬性が発揮されやすい湿润状態では、川砂を用いたコンクリートに匹敵する力学的性状が得られるが、長期間の乾燥をうけるとその品質が損なわれることが認められ、また、その原因は水砕砂とセメントペーストとの界面に生じる水和層の性状にあると推定された。

今後、水砕砂の潜在水硬性によって生じる水和層の安定性に着目し、微視的観察からコンクリートの品質との関連性を明確にしたいと考えている。

#### (参考文献)

- 1) (財)建材試験センター、高炉スラグ骨材標準化研究会、細骨材WG、：コンクリート用高炉スラグ砕砂JIS原案同解説、S.52.3
- 2) 長滝、高田：高炉水滓を用いたモルタルの強度特性、第31回土木学会年次講演要集、1976
- 3) 長滝、高田、河野：高炉スラグ骨材を用いたコンクリートの体積変化、セメント技術年報XXXI、S.52
- 4) 杉本、他：高炉スラグ砕砂を用いたコンクリートの高圧高温養生効果、セメント技術年報XXXI、S.52