

[11] ブラックサンドを用いたコンクリートの性質について

正会員 畑中 裕 (北海道工業大学工学部)

1. まえがき

アルミナ製造過程においてボーキサイトからアルミナを抽出した残さいとして発生する赤泥 およびブラックサンドは、従来、いわゆる産業廃棄物としてその処理を主に埋立にたより、多くの労力と多大な経費を要している。しかも、この鉱物は工場から排出された状態では多量の水分を含み（赤泥の含水比約 30%、ブラックサンドの含水比 15~20%）、この水分の処理が再利用の際の障害となつている。例えばこれを乾粉とし、その主成分である酸化鉄（表-1）の錆色を利用して顔料としたり、あるいは、焼成して骨材状にしたものをカラー舗装用の骨材として利用した例があるが、これらはいずれもこの水分を処理するのに大量の熱エネルギーを要する方法である。最近、赤泥についてはセメントを混入する事により一軸圧縮強度の向上をはかり、赤土として路盤・路床の材料に利用する方法が考えられている。ブラックサンドについてはその発生率が赤泥の約¹⁾1/10と少ない事、およびポルトランドセメントの鉄分補給材料としての利用が可能である事等でこれを他の材料へ有効利用する方法はまだないようである。しかし、この鉱物は粒度分布がコンクリート用細骨材に近いものである事、およびその自然含水比が 15~20%程度である事から、もし、これを自然含水状態のままモルタル・コンクリートの細骨材の一部として利用する事が可能であれば、その特有のレンガ色を利用したカラー化と言う付加価値を有する省エネルギー的な産業廃棄物の再利用となるものと思われる。しかし、この鉱物は細粒分が多い事、吸水率が高い比較的ポーラスなものである事等、コンクリート用骨材として使用するには不利な点を有している。このため、施工性、強度、耐久性等の低下が予想され、これらの度

表-1 ブラックサンドの組成⁴⁾

Al ₂ O ₃	Total SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O ₃	TiO ₂	Ig loss
23%	13%	50%	2%	3%	9%

合がどの程度であるかを解明する必要があり、筆者はすでにその一部として圧縮強度に関して検討し、その有効性を確かめ、概要を発表した。²⁾本研究は、水セ

メント比、混和剤によるコンシステンシーおよび圧縮強度の変化、さらに、凍結融解に対する耐久性を実験的に検討し、コンクリート化の可能性を調べたものである。

2. 実験概要

細骨材として使用した川砂およびブラックサンドのふるい分け試験結果は表-2に示した通りである。また粗骨材（最大粒径 15 mm, 5 mm 以下カット）、川砂（5 mm 以上カット）およびブラックサンドの比重・吸水率は表-3の通りである。なお粗骨材は川砂利である。セメントは普通セメントを使用した。

コンクリートの配合はコンシステンシーの変化を調らるため、全供試体について単位水量を一定とし、その値は基準となる細骨材が川砂のみのものでスランプが 8^{cm}±1.5^{cm} となる単位水量とした。細骨材中の川砂とブラックサンドの混合比（以下 S : B で示す）は 1 : 0, 3 : 1, 1 : 1, 1 : 3 の四種とし、水セメント比を 50%, 45%, 40% の三段階に変化させ、計十二種類の配合を採用した。なお、細骨材の混合比は絶対容積比である。さらに混和剤として減水剤および A E 剤を使用した。その使用量は混和剤なしの場合の S : B = 1 : 0 の配合のセメント量に対して減水剤の場合 1.0%、A E 剤の場合 0.1% とし、スラ

表-2 ふるい分け試験結果

ふるい目の呼び寸法	各ふるいととまる重量の累計	
	川砂 (%)	ブラックサンド (%)
5	0	0
2.5	19	0
1.2	58	8
0.6	81	35
0.3	91	76
0.15	97	93
F M	3.46	3.07

表-3 使用骨材の比重 吸水率

	表乾比重	吸水率 (%)
粗骨材	2.69	1.40
川砂	2.60	1.90
ブラックサンド	2.81	10.18

ンプが $8\text{ cm} \pm 1.5\text{ cm}$ となる単位水量を求め、他の細骨材についてもこの値を一定として配合した。材料の計量は粗骨材および川砂は表面乾燥飽水状態とし、ブラックサンドは含水率を測定し湿潤状態のまま使用した。これは工場から排出されたブラックサンドをそのまま使用する事を考慮したためである。

圧縮強度試験用供試体は $\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ を使用し、練りませはオムニ型ミキサーにて3分間行い、以下コンクリートの強度試験用供試体の作り方 (JISA1132) にしたがひ、突き棒にて所要回数突き固めた後、24時間恒温室 (温度 20°C 湿度 80%) にて養生後脱型し、 20°C の水中にて所要日数養生した。

凍結融解試験については混和剤なしの場合の $W/C=45\%$ および AE 剤入りの場合の $W/C=43\%$ について行い、供試体寸法は $7.5\text{ cm} \times 7.5\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ のものを採用した。供試体は打設後一週間水中にて標準養生を行い、一日6サイクルの水中凍結融解法にて行つた。³⁾ たゞし今回は細骨材が川砂のみのものと、ブラックサンド混入のものとを比較して検討する事を主目的

としたため、耐久性指数による試験は省略し、質量減少率と長さ増加率を測定する方法を採用した。

3. 実験結果および考察

ブラックサンドを細骨材として使用し、川砂と混合した事によるコンシステンシーへの影響を調らべるために混和剤なしのもの、減水剤入りのもの、および AE 剤入りのものについてスランプを測定した結果を図-1

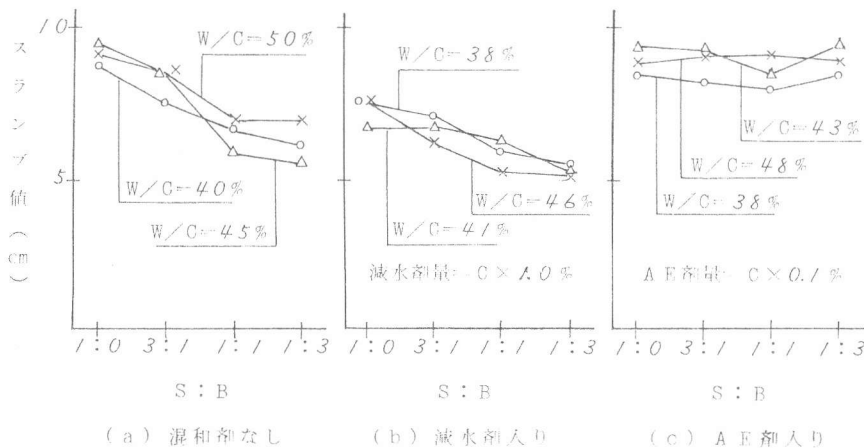


図-1 ブラックサンド混合比によるスランプの変化

に示した。これによれば混和剤なしの場合には細骨材にしめるブラックサンドの割合が多いほどスランプ値が小さくなる傾向が示され、同一単位水量にて配合したにもかかわらず $S:B=1:1$ では川砂のみの場合の約 70% 減少した。これはブラックサンドは細粒分が多い事、しかもこの細粒分は比較的粘性の高いものである事から頭初から想定されていた通りである。しかし、この点に関しては図-1 (b), (c) に示した通り混和剤を使用する事によつて解決出来る事が判明した。特に AE 剤を使用した場合はほとんど同一のスランプ値を示し、ブラックサンドによる影響は認められない。

各種配合各材令における3本の供試体の平均値から求めた圧縮強度の試験結果をセメント水比との関係にて整理したものを図-2 に示した。この図は配合に関係なく各材令の値を C/W 別にプロットしたものであり、また図中の材令別の直線はこれらの値を C/W の関数として一次

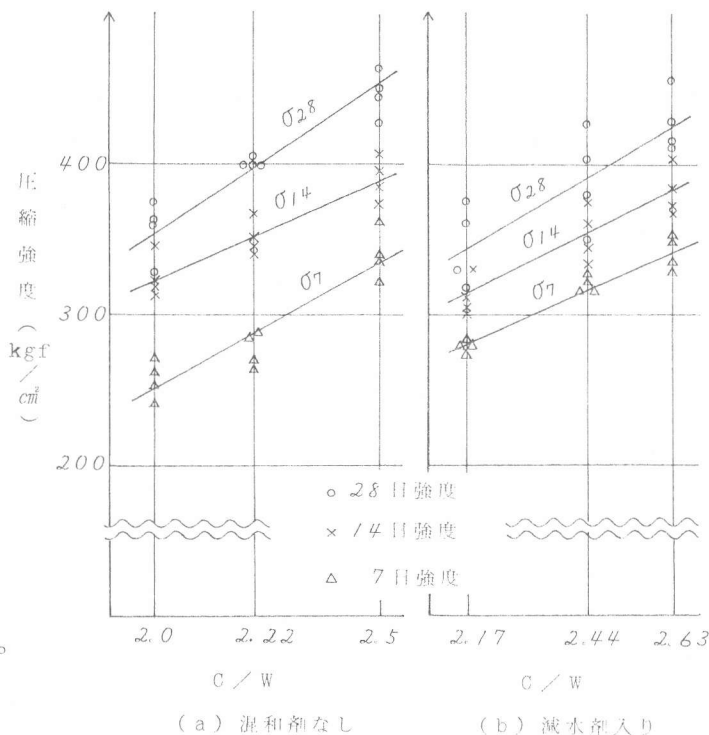


図-2 圧縮強度とセメント水比の関係

回帰解析したものである。回帰式は次の通りである。

混和剤なし

$$\sigma_7 = 1630/W - 75 \quad r = 0.933$$

$$\sigma_{14} = 1330/W + 56 \quad r = 0.917$$

$$\sigma_{28} = 1900/W - 23 \quad r = 0.945$$

減水剤入り

$$\sigma_7 = 1380/W - 19 \quad r = 0.966$$

$$\sigma_{14} = 1540/W - 21 \quad r = 0.901$$

$$\sigma_{28} = 1770/W - 40 \quad r = 0.820$$

ここに σ ; kgf/cm^2

r ; 相関係数

以上の様に相関係数が高い回帰式が求められ、ブラックサンドを使用してもこの実験の範囲内ではセメント水比論は成立するものと考えてよいようである。

次にブラックサンド混合比による影響を調らべるため、横軸に S : B

をとつて整理したものを図-3に示した。(a)図から判断出来る第一の点は、S : B = 1 : 3のものを除き材令28日ではほぼ同等の強度が得られた事である。したがつて細骨材中にしめるブラックサンドの量が $1/2$ をこえない範囲では強度的には普通コンクリートと充分対抗出来るものであると言える。カラー化の面から言えばブラックサンドの混合比を大きくする方が有利であるから、多少強度を犠牲にするかあるいはセメント量を増す必要があり、この点では不利な条件である。ついで注目する点は S : B = 3 : 1 および 1 : 1 のものが若材令において他のものより多少強度が高く出る傾向にある事である。この傾向はモルタルの圧縮および引張の一週強度においても確認された事である。²⁾ この事は工場製品を対象とした場合有利な条件であると思われる。減水剤を使用した場合(b)図に示した通り上記の傾向は認められず、材令28日ではブラックサンド混合比が高いほど強度が低下している。この理由としてブラックサンド中に含まれている赤泥分の微粒子が減水材によつて分散し、セメント粒子間に取り込まれたためとも考えられるが、一週強度においてはどの細骨材でも同じ強度を示している事、および減水剤入りの σ_{28} の回帰式における相関係数が低い事等で実験誤差の可能性もあり、今後の研究課題である。なお使用した減水剤はポリアルキルアリルスルホン酸塩系の高強度用、二次製品用のものである。

凍結融解試験の結果については図-4に示した通りである。この図は混和剤なしの場合 $W/C = 45\%$ 、A E 剤入りの場合 $W/C = 43\%$ で空気量 6.0% のものについて S : B を変化させ、それぞれにつき3本の供試体の平均値をプロットしたものである。これによれば A E 剤を使用しない場合は S : B のいかんにかかわらず60サイクル以下の凍結融解回数にて縦方向にきれつを生じ崩壊し、耐久性がきわめて低いが、A E 剤を使用する事によつてこの点はいずれの細骨材についても改善され抵抗性が増加した事を示している。しかし、ブラックサンドを使用する事による影響は圧縮強度の場合より顕著に表らわれ、ブラックサンド混合比が $1/3$ をこえた場合には急激な低下を示している。供試体の崩壊の様子は全体がゆるんだ状態であつた。したがつて吸水率の高いポーラスな材料の欠陥が大きく影響したものであると思われる。ただし、本実験はたゞ一つの配合について検討したものであり、空気量、水セメント比、養生条件等を変化させてさらに詳細な検討が必要と思われる。いずれにしても、凍結融解に対する抵抗性を求められる場所にて使用する場合は慎重な検討が必要であると言える。なお本研究では実験概

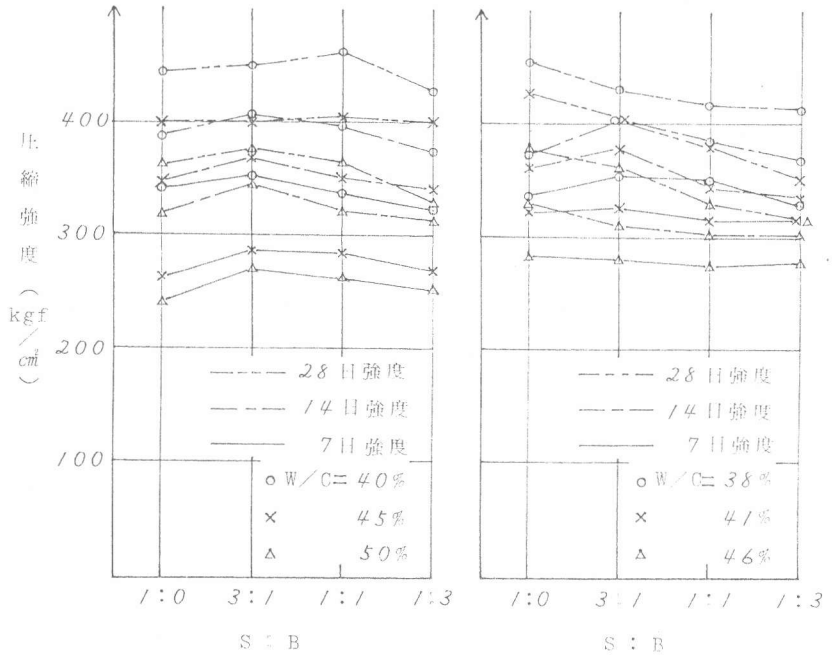


図-3 ブラックサンド混合比と圧縮強度の関係

要で述べた通り、耐久性指数の検討は省略した。したがって動弾性係数の測定は行っていない。

4. 結論

以上の実験結果および考察から次の結論が得られた。

1) 細骨材中にしめるブラックサンドの割合が多いほどコンシステンシーが低下する。しかし、減水材あるいはAE剤を使用する事によりこの欠点は改善し得る。

2) 強度を主体とする配合設計の場合は、コンシステンシーの点を除き通常のコンクリートと同様に取扱う事が出来る。すなわち、セメント水比割合が成り立つ。

3) 強度的にはブラックサンドはモルタルおよびコンクリートの細骨材として十分使用可能な材料と言える。

したがって、レンガ色のカラーモルタルおよびカラーコンクリートへの利用は強度的には可能である。ただし、 $S:B=1:3$ 以上の混合の場合は強度を約10%程度割引いて考える必要がある。

4) 凍結融解に対する抵抗性は通常のコンクリートより低い。したがってこの抵抗性を要求される場合には慎重な検討を必要とする。

5. あとがき

結論に示した通り、凍結融解に対して問題はあるが強度的には十分使用可能な材料であり、カラー化と言う付加価値を考え合わせれば、多くの利用法が期待出来るものと思われる。筆者は試験的にブロック化した供試体をほぼ二年間室外に放置し観察しているが、現在まで脱色もしていない。また今のところ凍害によつて劣化している様子もない。したがって安定した材料であると言える。しかしながら表-3に示す通り吸水率の高い材料であるから、コンクリートとして信頼性を高めるためには乾燥収縮、水密性、すりへり等への影響の解明、さらには凍結融解に対する抵抗性の対策の検討が今後の課題であると思われる。

6. 参考文献

- 1) 「赤土(脱水汚泥)の道路への利用」(赤土利用懇談会) 昭和57年3月
- 2) 「土木学会第37回年次学術講演概要集V-77」(土木学会) 昭和57年10月
- 3) 「ASTM designation C666」
- 4) 「ブラックサンドの利用について」(日本軽金属株式会社苫小牧工場) 昭和56年1月

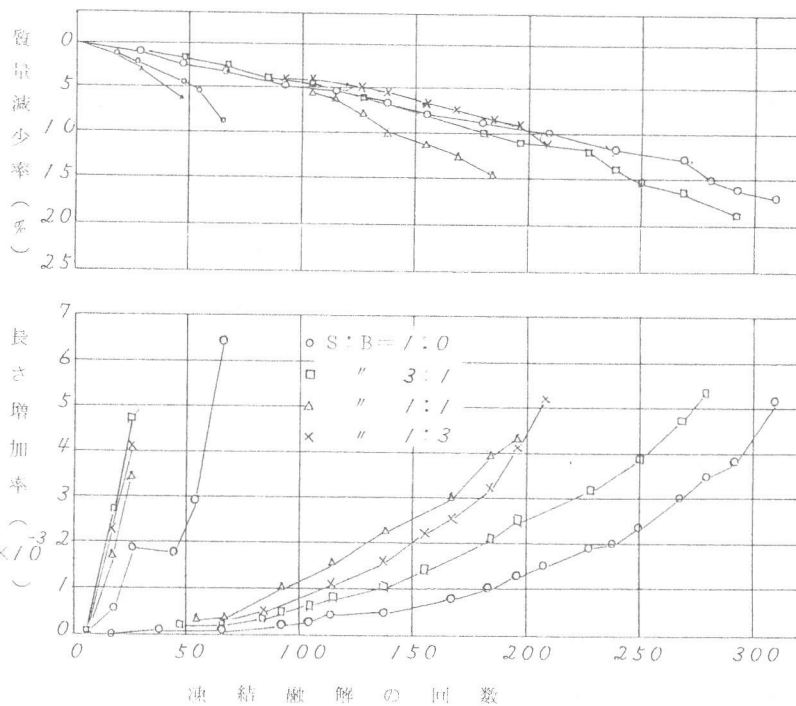


図-4 凍結融解試験結果