

石炭灰を用いた粒状路盤材のすりへり特性と強度特性に関する実験的研究

北電技術コンサルタント株式会社	正会員	○高畠 依里
富山県立大学	正会員	伊藤 始
北陸電力株式会社	正会員	橋本 徹
北電技術コンサルタント株式会社	正会員	水上 隆司

1. はじめに

石炭火力発電所などからの産業副産物である石炭灰の発生量は、石炭の質量の約 1 割であり、全国的にみて増加傾向にある¹⁾。石炭灰は、これまで主にセメントの原材料として使用されてきたが、昨今の経済低迷の影響でセメント需要が落ち込んだことを受けて、使用量が減少してきた。また、石炭灰処分場の残容量も少ない状況にあることから、他の用途に多くの石炭灰を有効利用していくことが省資源・省エネルギーの観点から重要となっている。

石炭灰の使用方法の 1 つに、セメント系の固化材と混合して造粒固化することで図-1 のような造粒物として用いる方法がある^{2),3)}。用途は、道路路盤材や人工地盤、砂杭などである^{4),5)}。新谷らは、石炭灰の固化造粒物を製造開発し、サンドコンパクションパイル工法などの砂材の代替材への適用を対象としている。新谷らの製造した造粒物は、連続式ミキサーを用いて製造した圧潰強度 1.6N/mm^2 程度のものである。

これに対して、本研究では、道路路盤材への適用を対象として、パン型造粒機を用いたものである。道路路盤材には、コンクリート塊を用いた再生路盤材などが用いられており、高いすりへり抵抗性や強度が求められる。プラント再生舗装技術指針⁵⁾では再生クラッシュランに用いるセメントコンクリート再生骨材のすりへり減量は 50%以下と記されている。著者らがこれまで製造してきた造粒物のすりへり減量は 50%弱であり、同指針は満たしている。しかしながら、JIS A 5001⁶⁾に記された道路用碎石(1 種)のすりへり減量は 35%以下とされているとともに、一般に使用されている再生路盤材の値は 35%程度であるため、製造する造粒物には、これらと同程度のすりへり減量が求められている。加えて、環境面で微粒子が出にくいこともニーズがあり、表面が強固である必要がある。

一方、造粒物は混和するセメントや混和材料の使用量が多くなると、強度が高くなることは想像できるが、その反面、材料費が多くなりコスト面で競争力が弱くなる。そのため、造粒物が路盤材の要求性能を満たす範囲で、最小限の使用量とすることが求められている。

本研究では、すりへり減量が再生路盤材と同程度であり、強度面と経済面を両立した石炭灰造粒物の開発を目的に、セメント量や混和材料の使用の有無、養生方法を変化させて製造した造粒物のすりへり試験を実施した。加えて、造粒物の品質管理を目的に、簡易に測定が可能な圧潰強度を求め、すりへり減量との相関性を検討した。なお、本研究の実験では、富山新港火力発電所(富山県射水市)で発生した石炭灰(以下、フライアッシュとも呼ぶ)を使用した。

2. 実験方法

(1) 実験の流れ

実験は、図-2 にフロー図を示すように、まず試験機での検討として直径 $\phi 1.0\text{m}$ の試験用の造粒機(試験機)を用い、次に実機での検討として図-3 に示す実際の製造で使用する $\phi 3.5\text{m}$ の造粒機(実機)を用いた検討を行



図-1 石炭灰造粒物

キーワード フライアッシュ、圧潰強度、すりへり減量、造粒物

連絡先 〒930-0858 富山市牛島町 13-15 TEL 076-432-4899

った。試験機と実機での運転条件の比較を表-1に示す。

試験機での検討では、セメント量、混和材料の使用の有無、および養生方法をパラメータに実験を行い、セメント量と混和材料の使用を選定した。実機での検討では、養生方法およびすりへり試験方法をパラメータに実験を行い、造粒機の運転条件と養生期間を選定した。

(2) 造粒物の製造方法

石炭灰造粒物は、フライアッシュ (F) とセメント (C)、水 (W) を混練し、造粒することで製造した。製造フローを図-4に示す。試験機での検討では、配合に従って各材料を計量し、まずセメントとフライアッシュと混練水を傾動式ミキサー (容量 50L) に投入し、練り混ぜを行った。次にセメントとフライアッシュの混練物をφ1.0mのパン型造粒機に投入し、水分調整を行うための調湿水を加えながら、造粒機を10分間回転させて造粒した。混練物をミキサーから造粒機に移す際に、均質な造粒物の製造のために、混練物のダマを潰すこととした。

一方、実機での検討では、まず生コンプラント用パン型ミキサー (容量 1.5m³) に所要量の材料を投入して練り混ぜることで、セメントとフライアッシュの混練物を製造した。次に混練物をφ3.5mのパン型造粒機に投入し、スプレー (図-3) から調湿水を加えながら造粒した。図-3のスクレーパは造粒時に回転させることで、パン底への混練物の付着を防止する役割を果たす。今回の実験ではバッチ製造として、製造量は1バッチあたり0.3m³とした。

造粒物の配合は、フライアッシュ量1000kgを基本にして、セメント量を0~280kgの範囲で変化させることとした。そして、水量は、水粉体比 W/(C+F) が25%となるように設定した。水量の内訳は、混練水15%と調湿水10%とした。

(3) 実験ケース

実験は、表-2に示すように、①造粒機の種類、②ベントナイト混入量、③養生方法、④フライアッシュ1000kg当たりのセメント量 (以下、単にセメント量とも記す) をパラメータとした3シリーズ、26ケースについて実施した。①造粒機の種類については、前述のとおりである。②ベントナイト混入量は、0%と3%の2水準とした。ベントナイトの混入は、造粒促進のための粘着性と造粒物の保水性を目的としている。

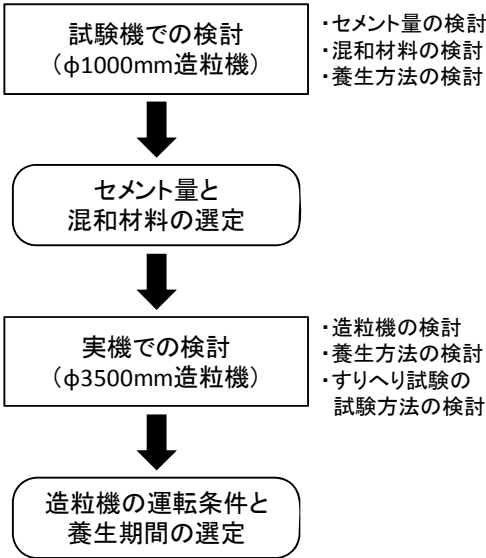


図-2 実験フロー

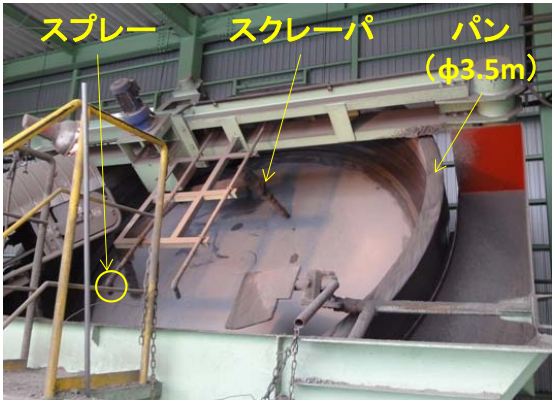


図-3 パン型造粒機 (実機)

表-1 試験機と実機の運転条件の比較

	パン傾斜 角度	回転速度 (回転/分)	遠心力 (N)
試験機	55°	12.8	0.002
実機	53°	8	0.004

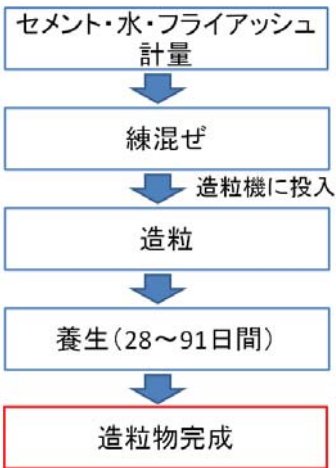


図-4 製造フロー

表-2 実験ケース

シリーズ	造粒機	ベントナイト 混入量	養生方法	フライアッシュ1000kg当たりの セメント量(kg)	圧潰強度 実施材齢	すりへり 試験方法
A	試験機 φ 1.0m	0%	自然 N	0,100,120,140,160,180, 200,220,250,280	28日,91日	JIS A 5005
			恒温 H	220,250,280	7日,28日,56日,91日	
			水中 W	220,250,280	7日,28日,56日,91日	
A'	3%	自然 N	180,220,250,280	7日,28日,56日,91日 (一部28日,91日のみ)		
		恒温 H	220,250,280	7日,28日		
B	実機 φ 3.5m	0%	自然 N	220	7日,28日,56日,91日	JIS A 5005 JIS A 5001
			恒温 H	220		JIS A 5001
			水中 W	220		

実験ケース名は，以下のように表すこととする.

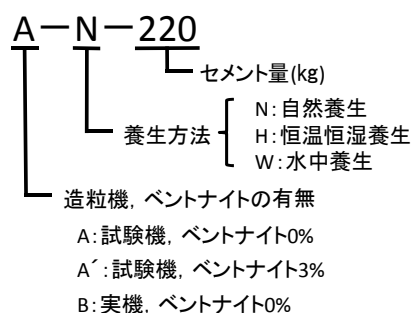


表-3 材齢 28 日までの積算温度

		養生方法		
		N	H	W
シリーズ	A	627,660	840	840
	A'	435	840	—
	B	559	840	840

単位 (°C・日)

をビニールで覆い、試験実施材齢まで養生した。

本実験では、養生方法を変えたことで養生中の温度条件が異なることから、材齢を積算温度に換算して検討を進めることとした。積算温度とは、各時間の温度に 10°C を足した温度を経過時間（養生日数）で積分した値であり、単位を $^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ で表す⁷⁾。例えば、温度 20°C で 7 日間養生すると積算温度 $210^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ となる。各ケースの材齢 28 日までの積算温度を表-3 に示す。

(5) 圧潰強度試験方法

圧潰強度試験は、土木学会規準 JSCE-C 505-2001「高強度フライアッシュ人工骨材の圧かい荷重試験方法」⁸⁾を参考に実施した。試験では、造粒物の粒径と質量を計測し、図-5 のように圧縮試験機で造粒物に一軸方向の荷重を作用させ、造粒物が圧潰するまでの最大荷重を計測した。圧潰強度は、この最大荷重を粒径から求めた割裂面の断面積で割ることで算出した。

一部のケースで実施した造粒物のふるい分け試験の結果、粒径 10~15mm の造粒物が最も多かったことから、粒径が 13mm 程度の造粒物を選定して試験した。また、圧潰強度試験は、試験結果のばらつきを考慮して 1 ケースにつき 10 個を実施することとした。

(6) すりへり試験方法

すりへり試験は、JIS A 1121 に従いロサンゼルス試験機

実験ケース名として、 $\phi 1.0\text{m}$ の造粒機でベントナイトを混入しないケースを「A シリーズ」、 $\phi 1.0\text{m}$ の造粒機でベントナイトを混入したケースを「A' シリーズ」、 $\phi 3.5\text{m}$ の造粒機でベントナイトを混入しないケースを「B シリーズ」と表すこととする。

③養生方法は、自然養生(N)、恒温恒湿養生(H)、水中養生(W)の3水準とした。④フライアッシュ 1000kg 当たりのセメント量は、0kg から 280kg の範囲で与えた。

そして、それぞれのケースについて、圧潰強度試験を材齢 7 日、28 日、56 日、91 日（一部、7 日、28 日）で行い、すりへり試験を材齢 28 日で実施した。

(4) 養生方法

養生方法は、表-2の実験ケースで示したように自然養生(N)、恒温恒湿養生(H)、水中養生(W)とした。自然養生は、造粒物をプラスチック容器に入れ、実験室内に静置することで行った。恒温恒湿養生は、同様に造粒物をプラスチック容器に入れ、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室の中に静置することで行った。水中養生は、プラスチック容器の中に造粒物を入れ、容器を水で満たした状態にした上で、恒温恒湿室で静置することで行った。いずれの養生方法も水分の蒸発を防ぐために、容器の上部

を用いて実施した。試験は、造粒物と所定の鋼球をロサンゼルス試験機に入れ、毎分 30~33 回転で 500 回転させることで行った。回転終了後、1.7mm の網ふるいでふるい、網ふるいに残った試料を水で洗った後、105℃の温度で一定質量になるまで乾燥し、質量を計測した。そして、以下の計算式を使い、すりへり減量を算出した。

$$\text{すりへり減量(\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

m_1 : 試験前の試料の質量(g)

m_2 : 試験後、1.7mm の網ふるいに残った試料の質量(g)

JIS A 1121 には、コンクリート用砕石および砕砂の方法 JIS A 5005 と道路用砕石の方法 JIS A 5001 が記されている。それぞれの試験方法では、表-4 に示すように、試料の粒径の範囲と鋼球の個数（鋼球の全質量）が異なる。

本研究では、A シリーズおよび A'シリーズの試験を JIS A 5005 に準じて実施し、B シリーズの試験を JIS A 5005 と JIS A 5001 の両方で実施した。JIS A 5005 では各ケースの粒度から粒度区分を判定して A-N-160 と A-N-220 のケースを除き粒度区分 H に従い試験を実施し、A-N-160 と A-N-220 のケースで粒度区分 C に準じて試験を実施した。

3. 試験機（φ1.0m 造粒機）での検討

試験機で製造した A シリーズと A'シリーズの造粒物の圧潰強度試験とすりへり試験の結果について記述する。

(1) 造粒物の状態

製造直後の造粒物は、表面に水分がついた状態であり、手で潰すことができる硬さであった。造粒物は、時間の経過に伴い表面が乾燥した状態となり、手で潰すことができない硬さとなった。

造粒物の状態として、セメント量が多くなるにつれ、造粒物表面に粉末が多く付着する傾向が見られた。また、ベントナイトを混入した場合、造粒物の粒径が大きくなる傾向が見られた。

(2) 圧潰強度

a) 養生方法の影響

圧潰強度の強度発現曲線を図-6 に示す。横軸は、養生方法の違いによる温度条件の違いを積算温度で整理した。グラフは、セメント量(a)220kg, (b)250kg, (c)280kg のものであり、A シリーズの自然養生 (A-N)、恒温恒湿養生 (A-H)、水中養生 (A-W)、A'シリーズの自然養生

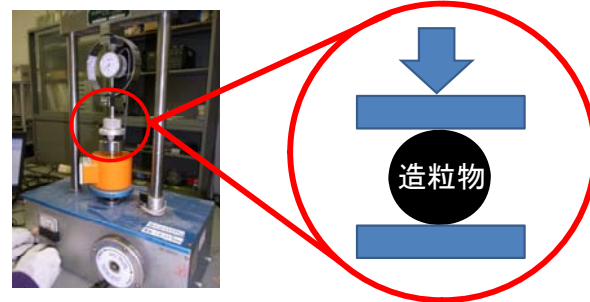


図-5 圧潰強度試験の概要

表-4 すりへり試験の方法

	JIS A 5005		JIS A 5001
粒度区分	C	H	-
粒径の範囲 (mm)	15~5	15~5	13~5
試料の質量 (g)	5000±10	5000±10	5000±10
球の数 (個)	8	10	8
球の全質量 (g)	3330±25	4160±25	3330±25

(A-N)、恒温恒湿養生 (A-H) のケースの実験結果である。この中で A'-H ケースの試験は材齢 7 日と 28 日のみ実施した。

積算温度 0~800℃・日の範囲において、いずれのセメント量でも積算温度が大きくなることに伴い圧潰強度が大きくなっており、曲線が類似した傾向を示した。この結果から養生温度の影響はおおむね積算温度で整理できることが分かった。しかしながら、自然養生の A-N ケースと恒温恒湿養生の A-H ケースを比較すると、全ての材齢で A-H ケースの圧潰強度が大きくなっており、積算温度だけではなく湿度条件や温度の安定、初期温度などが強度発現に若干の影響を与えていると考えられる。

セメント量の違いを比較すると、全ケースでセメント量が増加することに伴い圧潰強度が増加する傾向があり、積算温度 800℃・日以降の圧潰強度は、C=220kg で 1.2~1.8N/mm², C=250kg で 1.7~2.6N/mm², C=280kg で 2.0~2.8N/mm² となった。既往の研究^{3) 9)} では、圧潰強度 1.6N/mm² (材齢 28 日) であり、本研究の C=220kg の強度と同程度であった。

b) セメント量の影響

圧潰強度とセメント量の関係を図-7 に示す。

圧潰強度は、自然養生の材齢 28 日のものである。図中の◆印 (青色) が A シリーズ、■印 (赤色) が A'シリー

ズを表している。

圧潰強度は、A シリーズと A'シリーズの相違すなわちベントナイト混入量の有無に関わらず、セメント量が増加するのに伴い増加する傾向が見られ、圧潰強度とセメント量の間には高い相関関係があることが確認できた。

c) 混和材料の影響

ベントナイトの混入について、図-7 を見るとセメント量 250kg のケースを除き、A'シリーズの圧潰強度は、A シリーズの値に比べて 40~50%大きくなり、粘着性と保水性の改善による効果が見られた。

A シリーズの積算温度は $627^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ または $660^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ であったことに対して、A'シリーズの積算温度は $435^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ であった。A'シリーズの積算温度が A シリーズの 7 割程度である場合でも、A'シリーズの圧潰強度は A シリーズに比べて大きくなり、ベントナイト混入が圧潰強度に与える効果が大いことが確認された。

(3) すりへり減量

a) 養生方法の影響

すりへり減量とセメント量の関係を図-8 に示す。すりへり減量は、細粒化されずに残った試料の質量割合であり、値が小さくなるほどすりへりに対する抵抗性が高いことを表す指標である。すりへり減量は材齢 28 日の結果であり、自然養生の A-N ケースで積算温度 $627^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ 、恒温恒湿養生の A-H ケースで積算温度 $840^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ であった。

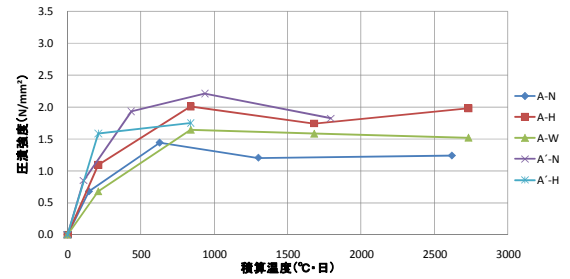
セメント量 220~280kg の自然養生の A-N ケースと恒温恒湿養生の A-H ケースを比較すると、A-H のすりへり減量が 5~7 ポイント小さくなった。養生方法ですりへり減量が減少したのは、積算温度の影響が大いと考えられる。

b) セメント量の影響

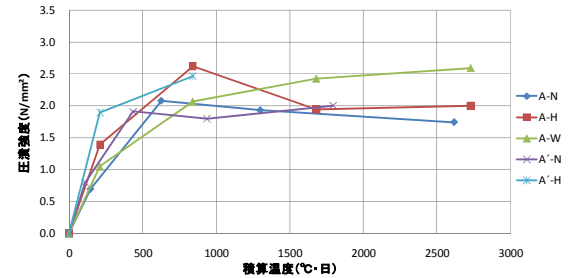
すりへり減量は、図-8 に示すように、造粒物のセメント量が増加するのに伴い減少する傾向が見られた。A-N ケースのセメント量 200kg (A-N-200) のすりへり減量は、すりへり試験を試料量 4.3kg で実施したため、セメント量が少ないケースの値より大きくなったと考えられる。この A-N-200 を除いて考えると、すりへり減量とセメント量の間には高い相関関係が見られた。

c) 混和材料の使用の影響

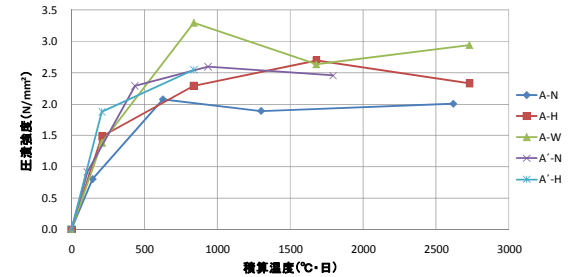
図-8 よりベントナイト混入量を変化させた A-N と A'-N, A-H と A'-H を比較した。どちらの養生方法も、A'シリーズのすりへり減量が 2~5 ポイント減少し、ベント



(a) セメント量 220kg



(b) セメント量 250kg



(c) セメント量 280kg

図-6 圧潰強度の強度発現曲線

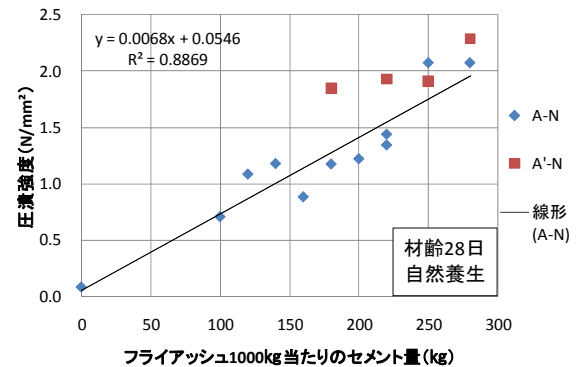


図-7 圧潰強度とセメント量の関係

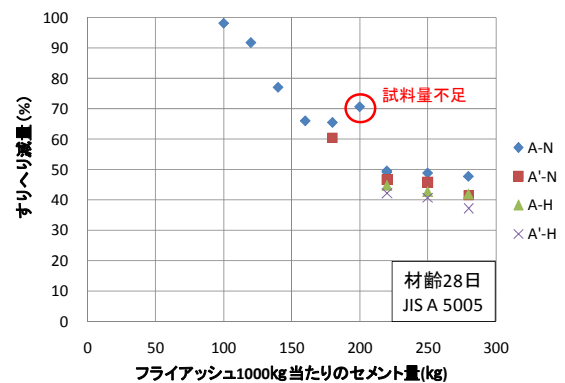


図-8 すりへり減量とセメント量の関係

ナイトによる粘着性と保水性の向上の効果が見られた。

(4) 試験機での検討のまとめ

試験機での検討で、セメント量が増加するのに伴い、すりへり減量が減少し、圧潰強度が増加することが確認できた。また、混和材料の混入により、すりへり減量と圧潰強度がある程度改善できることを確認した。

これらの結果および経済性を踏まえて、実機ではセメント量 220kg に固定し、混和材料を混入しない条件で検討を行うこととした。

4. 実機（φ3.5m 造粒機）での検討

実機で製造した B シリーズの造粒物の圧潰強度試験とすりへり試験の結果について検討した。また、A シリーズおよび A' シリーズとの比較もあわせて示す。

実験ケースは、養生方法を自然養生 (B-N)、恒温恒湿養生 (B-H)、水中養生 (B-W) に変化させた 3 ケースとした。セメント量は 220 kg に固定し、ベントナイトは混入していない。

(1) 造粒物の状態

製造時の B シリーズの造粒物は、A シリーズのものに比べ、造粒物表面の水分が多く、造粒物同士が付着して大きくなる傾向があった。反面、セメントとフライアッシュの混練物が造粒物表面に付着しやすいため、造粒機のパン底に残留する混練物が少なくなった。この表面の水分は、後述する造粒物の密度でも分かるように、実機において造粒物の受ける遠心力が大きく、造粒物が転動圧密され、表面に水分が滲出したためと考えられる。

(2) 圧潰強度

圧潰強度の強度発現曲線を図-9 に示す。圧潰強度は、セメント量 220kg のものである。B シリーズの圧潰強度は、A シリーズと同様に、積算温度が大きくなることに伴い大きくなった。B シリーズの圧潰強度が A シリーズの値に比べ大きくなった要因は、造粒物の状態でも述べたように、遠心力が大きいくことで造粒物が密実になったことが考えられた。また、保水による強度発現を期待し、水中養生を行ったが、恒温恒湿養生とあまり大差は見られなかった。

図-10 に圧潰強度と湿潤密度の関係を示す。湿潤密度は、間隙に水分や空気を含む密度であり、造粒物の質量を造粒物の平均直径から算出した体積で除すことで算定した。圧潰強度は、湿潤密度が増加するのに伴い増加す

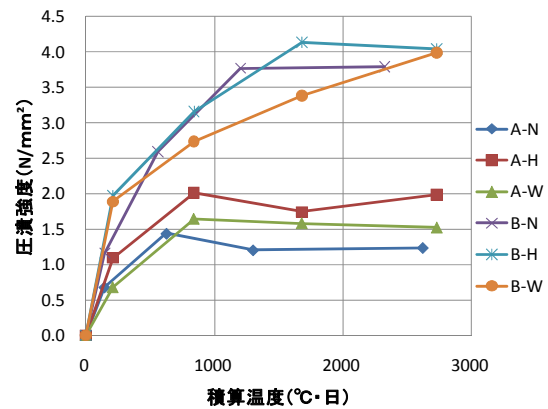


図-9 圧潰強度の強度発現

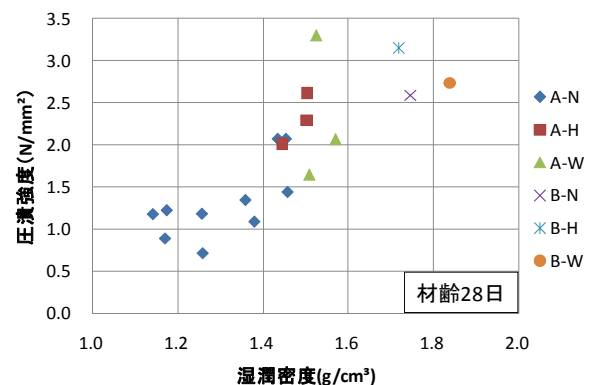


図-10 圧潰強度と湿潤密度の関係

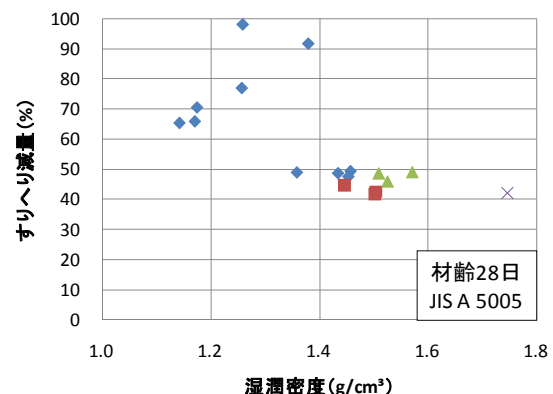


図-11 すりへり減量と湿潤密度の関係

る傾向が見られ、両者には相関性が見られた。この結果から、実機を用いることで、造粒物の密実性が高まり、圧潰強度が大きくなったと判断できた。B-N-220 の圧潰強度は 2.59N/mm^2 で、A-N-220 の値 1.35N/mm^2 及び 1.44N/mm^2 の約 1.8 倍となった。

(3) すりへり減量

a) 造粒機の影響

A シリーズと B シリーズのすりへり減量と湿潤密度の関係を図-11 に示す。すりへり減量は、材齢 28 日の造粒物について試験規格 JIS A 5005 に準じて行ったものである。すりへり減量は、圧潰強度と同様に湿潤密度が増加

するのに伴い減少する傾向が見られ、両者には相関関係が見られた。B-N-220 では、湿潤密度が約 1.8g/cm^3 ですりへり減量が 42%程度となった。

b) 試験方法の影響

すりへり試験 JIS A 1121 において、コンクリート用砕石および砕砂に用いる規格 JIS A 5005 と道路用砕石に用いる規格 JIS A 5001 の 2 種類があり、それぞれの規格で試験に用いる鋼球数が異なる。この規格の違いによるすりへり減量の違いについて B-N-220 ケースを対象に検討した。規格ごとのすりへり減量を図-12 に示す。JIS A 5001 でのすりへり減量は JIS A 5005（粒度区分 H）の値に比べ、約 9 ポイント減少することが分かった。これは、前者の鋼球数が 8 個であることに対して後者の鋼球数が 10 個であり、造粒物を細粒化するエネルギーが大きいことが要因と考えられる。

造粒機を実機とし、規格を JIS A 5001 に従った場合、すりへり減量は、図-12 のように自然養生(B-N)で 33.3%、恒温恒湿養生(B-H)で 27.5%、水中養生(B-W)で 29.5%となった。そのため、配合をセメント量 220kg とし、積算温度が $550^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ 程度以上であれば、すりへり減量 35%以下を満足することが確認できた。

(4) 実機での検討のまとめ

実機での検討で、試験機より造粒物の湿潤密度が大きくなり、すりへり減量が減少し、圧潰強度が増加することが分かった。実機において造粒物の湿潤密度が大きくなることは、造粒物の受ける遠心力が大きく、造粒物が転動圧密されたことが要因と考えられた。

また、実機を用い規格 JIS A 5001 に従えば、セメント量 220kg、積算温度 $550^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ 程度以上で、造粒物のすりへり減量が 35%を満たすことが分かった。

5. 造粒物の品質管理に関する検討

試験機と実機による検討を通して、セメント量の増加に伴い、すりへり減量が減少し、圧潰強度が増加することが確認できた。また、混和材料を入れることや養生温度を高くすることによって、すりへり減量が減少し、圧潰強度が増加することが分かった。これらの結果を考察することで、造粒物を実際に製造する際の品質管理として、力学性能の管理値および季節ごとの養生管理方法を検討した。

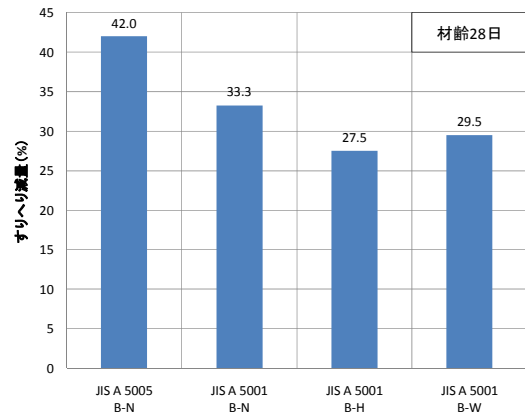


図-12 試験方法の違いによるすりへり減量

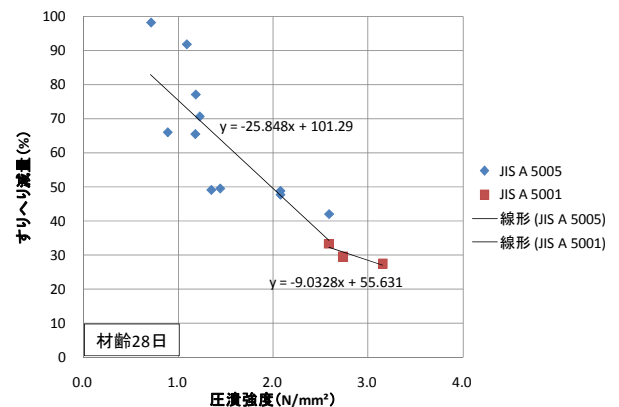


図-13 すりへり減量と圧潰強度の関係

(1) 力学性能の管理値

今回の実験では、造粒物の力学性能の検討に、圧潰強度とすりへり減量を用いた。JIS A 5001 の道路用砕石（1種）等の指針では、力学性能をすりへり減量により判定することとなっており、定期的な管理はすりへり試験で行うことが必要である。しかし、日常的な強度管理にすりへり試験を行う場合には、多大な労力を要する。そのため、圧潰試験による造粒物の強度管理を検討した。

試験機および実機での検討におけるすりへり減量と圧潰強度の関係を図-13 に示す。両者には、ある程度の相関関係が見られ、通常の使用範囲であるすりへり減量 50%以下では、特に高い相関関係が見られた。この結果から、造粒物の日常的な力学性能の管理値に圧潰強度が使えることが確認できた。

(2) 季節ごとの養生管理方法の検討

力学性能の指標である圧潰強度は、積算温度に依存することが確認されたため、季節ごとの気温の変化に応じて養生日数を変えることを検討する必要があった。

すりへり減量の目標値が 35%であり、図-13 のそれぞれの近似直線をすりへり減量 35%まで外挿すると、JIS A

5005 は圧潰強度 2.56N/mm^2 ，JIS A 5001 は圧潰強度 2.28N/mm^2 となる。図-14 に示す B-N-220 の圧潰強度と積算温度の関係を対数近似し¹⁰⁾，それぞれの標準偏差 σ を差し引いた曲線を見ると，圧潰強度が 2.56N/mm^2 となるのは積算温度が約 $1000^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ ，圧潰強度が 2.28N/mm^2 となるのは積算温度が約 $670^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ の場合である。

これらの値のうち，安全側の積算温度 $1000^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ を用い，富山県（伏木）の平均気温^{10),11)} を用いると，必要な日数は，夏期 35 日間，春期・秋期 50 日間，冬期 80 日間となり，表-5 の養生日数の試案とした。この日数を養生することで，間接的に造粒物のすりへり減量が目標値を満たすと考えて管理することとした。

6. まとめ

本研究では，石炭灰から製造した造粒物のすりへり特性と強度特性を調査するために，すりへり試験と圧潰強度試験を行った。そこで得られた知見を以下に示す。

- ① 試験機での検討で，セメント量が増加するのに伴い，すりへり減量が減少し，圧潰強度が増加することが確認できた。また，混和材料の混入により，すりへり減量と圧潰強度がある程度改善できることを確認した。
- ② 実際に使用する造粒機を用いたとき，セメント量 220kg ，積算温度 $550^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ 程度以上で，造粒物がすりへり減量 35%（規格 JIS A 5001）を満たし，道路路盤材として十分な力学性能を有することが確認できた。
- ③ 安全側の積算温度 $1000^\circ\text{C}\cdot\text{日}$ を用いると，すりへり減量が 35%を満たす必要な養生日数は，夏期 35 日間，春期・秋期 50 日間，冬期 80 日間となることが分かった。

今後の課題として，今回の検討は 1 種類の炭種に絞って行ったが，富山新港火力発電所でも 3～4 種類の炭種を使用しており，石炭灰の性状によるすりへり減量や圧潰強度の違いを検討することが必要である。

謝辞：本研究の実施にあたり，ご協力を頂きました富山交易（株）の方々に感謝申し上げます。

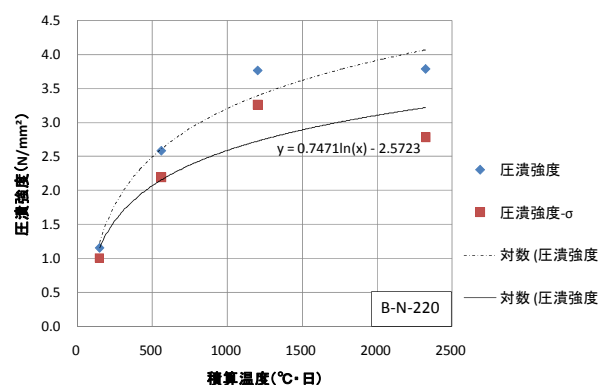


図-14 圧潰強度と積算温度の関係

表-5 季節ごとの管理方法の試案

季節		平均気温 ($^\circ\text{C}$)	最低 養生条件 ($^\circ\text{C}$)	品質要求条件 ($\text{C}=220\text{kg}$)
夏	6～9月	20	20以上	35日自然養生
春秋	4,5,10,11月	10～20	10以上	50日自然養生
冬	1～3,12月	2.5～10	2.5以上	80日自然養生

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー132，循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術，2009
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，規準編，2007
- 3) 新谷 登，齊藤 直，樋野 和俊：石炭灰を活用した海砂代替材の開発とその特性，土木学会第 54 回年次学術講演会 pp.524-525，1999
- 4) 日本フライアッシュ協会：フライアッシュ・クリンカアッシュの用途
- 5) 日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，pp.7
- 6) 日本規格協会：JIS ハンドブック土木Ⅱ，2010
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書，施工編，pp.210，2007
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書，規準編，pp.17，2007
- 9) （株）エネルギー・エコ・マテリア，石炭灰造粒物の性状
http://www.energia-eco-materia.co.jp/ash/ash_c1a.html
- 10) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会 報告書，1985
- 11) 気象庁：過去の気象データ，2010