

# SG（自硬性安定液）工法に関する研究（その12）

—石炭灰を利用した SG の開発—

久保 博 川地 武  
須川 廣一 山田 秀平  
(札幌支店) (札幌支店)

## Studies on SG (Self-hardening Slurry) Method (Part 12)

—Development of SG-using Coal Ash—

Hiroshi Kubo Takeshi Kawachi  
Koichi Sukawa Shuhei Yamada

### Abstract

Self-hardening Slurry (SG), one of the slurries used in the diaphragm wall method, is currently prepared by the mixing of water, bentonite, cement and additives. Meanwhile, coal ash from thermal power plants and other facilities has increased year by year, resulting in an increase in the volume of coal ash dumped. Therefore, the expansion of coal ash use is required. For the purpose of coal ash reuse, and the improvement and cost reduction of SG, SG containing large quantities of coal ash was researched.

Coal ash-SG, containing 600 kg to 850 kg of ash per cubic meter of SG, achieved a reduction in the quantity of bentonite and cement used, and a heightened stability in trench excavation because of its increased density. In addition, a convenient and fast test was established for the mix-proportion design corresponding to varieties of coal ash. On the basis of these results, coal ash-SG was applied to 19,000 m<sup>2</sup> of water cutoff wall in the construction of the coal ash dumping site. The workability and quality of coal ash-SG were found to be satisfactory.

### 概 要

地中連続壁工法で用いられる材料の一つである自硬性安定液 (SG) は、従来、水とベントナイト・セメント・その他添加剤を混合して作製される。一方、火力発電所などから発生する石炭灰は、年々増加し、捨場処分量が増え、用途の拡大が切望されている。そこで、石炭灰の有効利用と SG の品質向上・コストダウンを目指し、石炭灰を多量使用する SG の研究を行った。その結果、SG 1 m<sup>3</sup> 当りに石炭灰を 600~850 kg 配合して得られる石炭灰 SG は、従来の SG よりもベントナイト量・セメント量を低減でき、また密度が大きいため掘削溝の安定性を高めることが分かった。また、石炭灰の種類に対応できる配合設計のための簡易・迅速試験法を確立した。これらを受けて、石炭灰 SG が石炭灰捨場の周囲の遮水壁工事 (19,000 m<sup>2</sup>) に適用され、施工性、品質とも良好な結果であった。

### 1. はじめに

石炭灰は、石炭 1 tf 燃焼当り平均で約 170 kg 発生し、日本では石炭火力発電所を主体に現在、年間約 600 万 tf 発生している。石炭灰の最大の用途は、セメント原料である<sup>1)</sup>。また、灰の有効利用は、建設分野でも積極的に研究され、一部が工事に適用されている<sup>2,3)</sup>。しかし、石炭灰の有効利用率は約 40% で、残りは灰捨場に埋立て処分されている。エネルギー源として石炭への依存が今後さらに高まると予想され、それに対応する灰捨場の確保は、ますます困難になると思われる。このため、石炭灰の用途拡大・利用促進は、重要な課題である。

他方、当社では、地中連続壁工法の一つとしての自硬性安定液 (以下、SG という) 工法の開発・改善を継続し

てきた<sup>4)</sup>。SG は、基本的に水・ベントナイト・セメントで構成され、必要に応じて添加剤が追加される。SG のコスト低減と石炭灰の利用促進を目指して、石炭灰 (ここでは灰の主体であるフライアッシュを指す) が品質の比較的安定な微粒子材料であることに着目し、石炭灰を多量利用する SG (以下、石炭灰 SG という) について、北海道電力<sup>5)</sup>と当社で共同研究を行い、貴重な成果を得たので、以下に報告する。

### 2. 使用材料と試験方法

#### 2.1 石炭灰

室内試験では、WA, MQ, 大同, 平朔, OP/BA, SR の 6 種を用いた。これらは、微粉炭燃焼炉 (約 1,300°C) から生じたフライアッシュ乾灰である。原料炭は、大同

と平朔が中国産、その他がオーストラリア産である。

灰の物理的性状を表-1に示す。粒子密度は、2.1~2.3 g/cm<sup>3</sup>で土粒子の80~85%である。粒度は、シルト相当分が多い。また、図-1のように、比表面積(ブレン値)とメチレンブルー吸着量の間、比較的高い相関が認められた。なお、単位水量比は、灰を所定量加えたモルタル試験における必要水量の相対比を示す。

つぎに、化学的性状を表-2に示す。灰・水懸濁液(1:2)のpHの経時変化を図-2に示す。pHは、経時的に増大し、大同・平朔が高く、MQが弱アルカリに留まったが、表-2の各化学成分値との間に明瞭な相関を示さなかった。なお、川上ら<sup>9)</sup>は、12種のフライアッシュについて強熱減量とブレン値、および強熱減量と単位水量比の間にそれぞれ比較的高い相関を報告しているが、筆者らの試験では認められなかった。

石炭灰は、SEM観察でいずれも数~数十μmの球状粒子を主とし、灰種による差がなかった。また、いずれの灰も「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」(環告13号)で、有害物質の溶出量が基準値以下であった。

2.2 ベントナイト・セメント

ベントナイトは、山形産 (w<sub>n</sub>=10.1%, w<sub>t</sub>=462%, w<sub>p</sub>=18%, 膨潤度=19 cm<sup>3</sup>/2 g, pH=9.8)を用いた。また、セメントとして高炉セメントB種を用いた。

2.3 試験方法

4ℓ高速ミキサーで、水とベントナイトを30秒間混合し、5分間静置後、石炭灰とセメントを加えてさらに1分間混合することによって石炭灰SGを作製した。

石炭灰SGの固化前の性状として、フロー値をPロート(1,725 cm<sup>3</sup>)流下時間によって測定し、ブリーディング率をφ5 cm・h30 cm透明アクリル円筒に試料を約20 cmまで流し込み24時間後の分離水量/全体量の百分率

表-1 石炭灰の物理的性状

	粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> ) JIS A 5201	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	単位水量比 (%) JIS A 6201	MB吸着量 (mg/g) CAJS 1-61	粒度分布 (%) JIS A 1204		
					<5 μm	5~75 μm	75 μm ~2mm
WA	2.20	2,900	95.3	0.46	23	74	3
MQ	2.08	2,560	95.3	0.25	19	77	4
大同	2.37	2,970	96.2	0.46	15	81	4
平朔	2.30	2,840	97.6	0.40	15	81	4
OP/BA	2.25	3,230	97.6	0.71	15	83	2
SR	2.05	2,640	96.6	0.44	10	83	7

表-2 石炭灰の化学的性状

	pH	電導度	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	計
WA	11.2	0.18	65.7	17.5	7.4	1.3	0.96	1.7	1.1	0.17	1.5	97.3
MQ	6.7	0.10	63.3	22.8	3.6	1.1	0.64	1.4	1.1	0.05	1.4	95.4
大同	12.3	0.58	51.6	20.2	18.2	2.1	0.71	2.7	0.42	0.34	2.1	98.4
平朔	11.2	0.16	44.8	41.8	5.4	2.9	0.37	0.76	0.20	0.42	1.4	98.1
OP/BA	11.3	0.13	59.9	29.3	2.8	3.2	0.97	0.65	0.13	0.14	1.9	99.0
SR	11.2	0.09	63.4	27.7	2.8	2.1	1.00	0.61	0.42	0.18	0.8	99.0

(pHは30分後の値、電導度:mS/cm、化学成分:%)

によって求めた。つぎに、固化後の性状として、一軸圧縮強度は、φ5 cm・h10 cm モールドに入れて20°C水中養生した供試体を用いて、また透水係数は、φ5 cm・h10 cmの中心にφ1 cmの穴をあけた中空円筒供試体を用いて外水圧(0.5~2 kgf/cm<sup>2</sup>)法で測定した。

3. SGの機能と目標性状

SGによる地中連続壁の築造では、図-3のように、SGに掘削時の溝壁安定、逸泥防止、土砂分離性、および掘削後の遮水壁としての機能が求められる。これらのために、SGの密度、粘性、ブリーディング率、固化強度、透水係数などが重要である。

密度は、従来のSGの約1.2 g/cm<sup>3</sup>に比べて、石炭灰SGでは固形分量の増大のため、より大きくなる。粘性は、逸泥防止には高い方が望ましいが、高すぎると土砂分離および掘削能率に悪影響を及ぼす。ここでは、掘削深さが10 mと浅く、掘削が比較的容易なことから、従来のSGよりも大きい基準、すなわちPロート流下時間13秒以下を目標とした。ブリーディング率は、大きいと遮水壁の品質を低下させるため、ここでは従来のSGと同程度の3%以下を目標とした。また、ここでの遮水壁の設計面から、固化強度(28日)を6 kgf/cm<sup>2</sup>以上、透水係数を10<sup>-5</sup> cm/s以下に設定した。このようにSGは、一般に埋立・充填などに用いるスラリーよりも厳しい品質管理を要し、このことは石炭灰SGでも同じである。

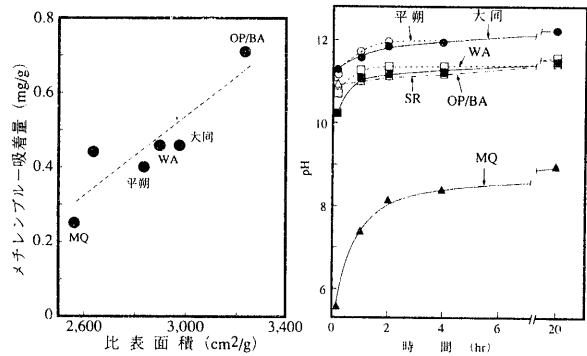


図-1 灰の比表面積とMB吸着量の関係

図-2 灰のpHの経時変化

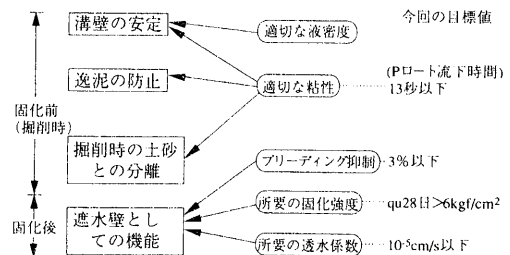


図-3 SGの機能と目標性状

#### 4. 石炭灰 SG 性状と配合設計法の検討

##### 4.1 配合の表示方法

石炭灰 SG の配合は、ここでは練上り 1 m<sup>3</sup> 当りの各材料の質量で表示する。その配合計算は、通常、まずベントナイト量、つぎにセメント量・灰量を決め、最後に全体が 1 m<sup>3</sup> になるように水量を決める手順で行う。

##### 4.2 石炭灰 SG の性状例 (WA 灰の場合)

WA 灰を用いた石炭灰 SG を例に、「灰+セメント」量と性状の関係を図-4に示す。同図の横軸を「灰+セメント」量とした理由は、石炭灰 SG のフロー値がセメント量 100~200 kg/m<sup>3</sup> の範囲で「灰+セメント」量と高い相関を示すことによる<sup>9)</sup>。横軸に補助的に示す水量は、当然、「灰+セメント」量と伴に減少する。ここでセメント量は 175 kg/m<sup>3</sup> (一定)とした。また、ベントナイト量は、無添加では予備試験において透水係数の目標値達成が困難であったので、10および 20 kg/m<sup>3</sup> とした。

同図から「灰+セメント」量に伴うフロー値増大とブリーディング率減少が明瞭である。そして、目標の固化前性状 (フロー値13秒以下・ブリーディング率3%以下) を得る「灰+セメント」量は、ベントナイト 10 kg/m<sup>3</sup> では 910~1,070 kg/m<sup>3</sup>, 20 kg/m<sup>3</sup> では 780~930 kg/m<sup>3</sup> で、ベントナイト量に影響された。「灰+セメント」量の設計値は、灰性状や施工のばらつきに配慮し、これらの適合範囲の中間値とするのが妥当と考える。また、適切な「灰+セメント」量において、密度は1.47~1.62 g/cm<sup>3</sup>, 28日強度は 15~37 kgf/cm<sup>2</sup> であった。石炭灰 SG は、ベントナイト量が従来の SG の 50~60 kg/m<sup>3</sup> の 1/3~1/6 と少なく、粘性が従来の SG よりも高く、ブリーディング率が同程度、また密度・強度が同じセメント量の下で従来 SG よりもかなり大きいことが特徴である。強度が大きいことは、セメント量の節減につながる。

「灰+セメント」量が一定 (図-4の適合範囲の中間値) の下でのセメント量と強度・透水係数の関係を図-5に示す。強度は、「灰+セメント」量一定でセメント量に伴い増大し、透水係数は逆に減少した。また、強度と透水係数は、ベントナイト量が 10 kg/m<sup>3</sup> から 20 kg/m<sup>3</sup> へ増大するとやや減少した。以上のように「灰+セメント」量を図-4の方法で決め、次に目標の強度・透水係数を得るセメント量を図-5のようにして決定できる。なお、石炭灰 SG は、透水係数が従来 SG の 10<sup>-8</sup>~10<sup>-10</sup> cm/s よりも 2~3 オーダー大きいことも特徴である。

##### 4.3 灰種による SG 配合の差異と配合設計法

灰種が石炭灰 SG に及ぼす影響は、目標性状を達成する SG 配合の灰種間の差異でもある。予備試験において SG 配合が灰種で異なることが明らかになった。工事では、各種の灰が次々に搬入され、貯留場で灰種の境界が不明瞭になり、また事前の室内試験に無い灰が搬入される場合もあるので、現場における灰種別の配合の簡易迅速決定法の開発が望まれる。そこで、SG 配合に関与すると考えられる灰の性状との関連性を検討した。

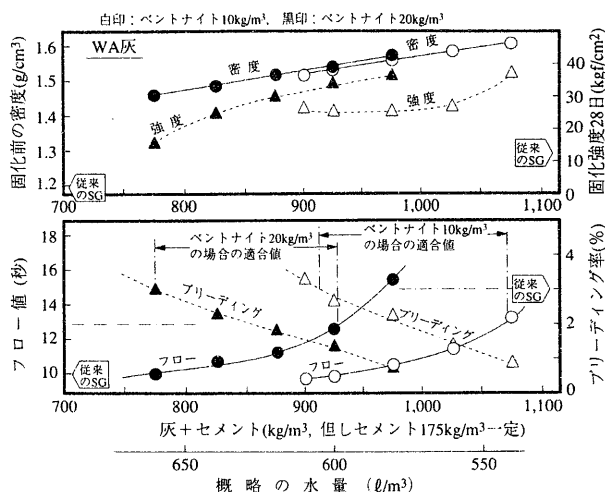


図-4 石炭灰 SG の灰+セメント量と性状の関係例

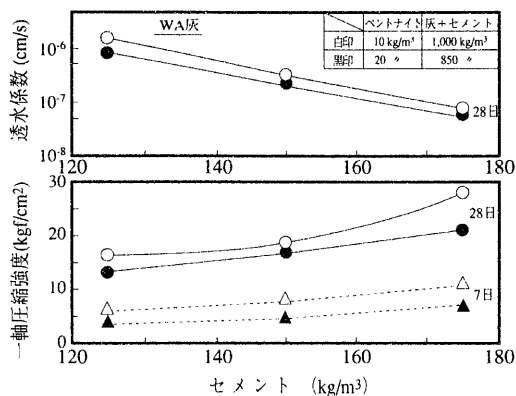


図-5 石炭灰 SG のセメント量と性状の関係例

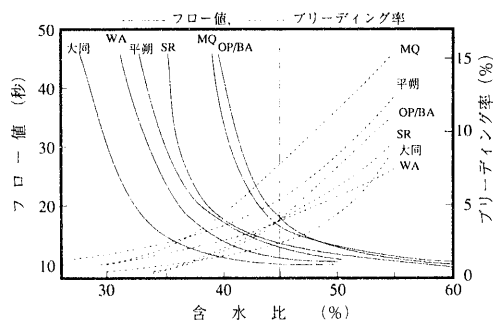


図-6 「灰+水」スラリーの含水比とフロー値・ブリーディング率の関係

まず、灰種による SG 配合の差異と、表-1, 2の物理的・化学的性状との間に明瞭な関連はなかった。つぎに、灰の性状のうち保水性・吸水性・流動性に着目し、「灰+水」スラリーの含水比とフロー値・ブリーディング率の関係性を調べた。結果を図-6に示す。

図-6は、含水比の増大に伴うフロー値減少曲線とブリーディング率増大曲線を示し、それぞれの灰に特徴的

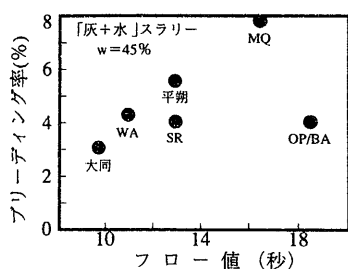


図-7 「灰+水」スラリーの w=45%におけるフロー値とブリーディング率の関係

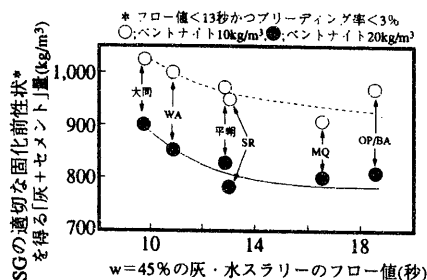


図-8 灰・水スラリーのフロー値とSGの適切な固化前性状を得る「灰+セメント」量の関係

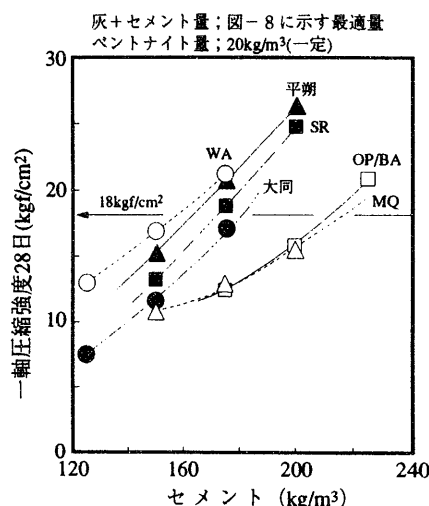


図-9 適切「灰+セメント」量の下でのセメント量と固化強度の関係

あった。この特性を一定含水比でのフロー値とブリーディング率として表すことを検討した結果、含水比45%が各灰のフロー試験に適し、かつ灰種間の差を比較的良く表した。なお、同含水比でのフロー値とブリーディング率の相関は、図-7のように高くなかった。

そこで、含水比45%の「灰+水」スラリーのフロー値と、SGの適切な固化前性状を得る「灰+セメント」量の関係を調べた結果を図-8に示す。なお、SGの固化前性状を適切に維持する「灰+セメント」量は、図-4の例のようにして求めたそれぞれの中間で、灰種によって異なることがわかる。最適「灰+セメント」量は、「灰+水」スラリーのフロー値と伴に減少し、両者に比較的高い相関が認められる。したがって、含水比45%に調整した「灰+水」スラリーのフロー試験という比較的簡易で迅速な試験によって、灰種ごとの最適「灰+セメント」量の概略設計が可能と考えられる。

このようにして「灰+セメント」量を設計し、次に目標強度を得るためのセメント量を決める必要がある。各灰について「灰+セメント」量が一定(図-8に示した値)で、ベントナイト量が20 kg/m<sup>3</sup>である場合のセメント量と固化強度の関係を図-9に示す。なお、図中の試験は、セメント量が異なるが、いずれの灰も固化前性状(フロー値・ブリーディング率)の目標値に適合した。図-9のように、固化強度は、セメント量と伴に増大するが、灰種によって異なった。すなわち、同一セメント量ではWA灰・平朔灰が比較的高い強度、またOP/BA灰・MQ灰が比較的低い強度を示し、強度がセメント量のみでは決まらないことがわかる。このような灰種による強度差の原因を検討するため、灰の物理的・化学的性状(表-1, 2)との関連を調査したが、いずれの項目に対しても明瞭な相関を認めなかった。

そこで、前述の「灰+水」スラリー(含水比45%)のフロー値と、図-9から求めた強度18 kgf/cm<sup>2</sup>を得るセメント量の関係を調べた結果を図-10に示す。同図にはベントナイト10 kg/m<sup>3</sup>の場合も併記する。ここで強度を18 kgf/cm<sup>2</sup>にした理由は、目標強度6 kgf/cm<sup>2</sup>を現地固化壁で得るために、室内と比較した現地の強度低下要因(養生温度の低下、掘削土としての泥炭の混入、

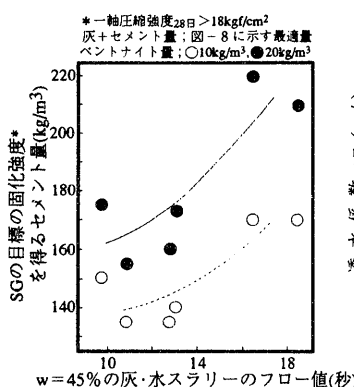


図-10 灰・水スラリーのフロー値とSGの目標強度を得るセメント量の関係

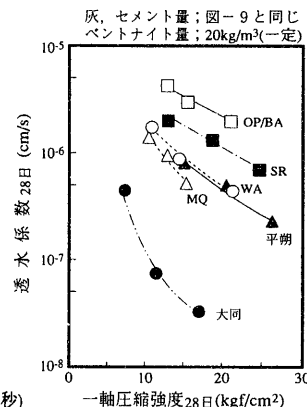


図-11 最適「灰+セメント」量の下でのセメント量と強度の関係

施工・灰性状のばらつきなど)を考慮して3倍の安全率を設けたことによる。図-10から、必要セメント量は、多少ばらつくが、「灰+水」スラリーのフロー値に伴って増大する傾向が認められる。この原因として、同フロー値が大きいと、石炭灰SGの固化前性状を適切にするために水量を多く要することが考えられる。したがって、灰種に応じたセメント量の設計にも、「灰+セメント」スラリー(含水比45%)のフロー値が有効で、それによるセメント量の概略設計が可能と認められた。

図-11は、最適「灰+セメント」量でセメント量の変化による強度と透水係数の関係を示す。透水係数は、強度と伴に減少したが、同一強度では灰種によって異なった。大きい透水係数は、最適「灰+セメント」量が比較的少ない灰にみられるので、SG中の固形分量が少ないことが主原因と考える。なお、透水係数は、ベントナイト量を10 kg/m<sup>3</sup>から20 kg/m<sup>3</sup>に増すと減少した。

## 5. 石炭灰 SG による遮水壁の施工例

### 5.1 工事概要

石炭灰 SG は、以上のような室内試験で優位性が確認され、灰有効利用の推進の一環として、北海道電力(株)の苫東厚真火力発電所 3 号機の増設に伴う灰捨場造成工事における鉛直遮水壁の築造に採用された。

灰捨場は、現地の表土を 0.8 m 剥ぎ取り、その土で周囲を築堤する方式が採用された。築堤の断面図と土質を図-12に示す。現地は、河川に近く後背湿地に位置し、火山灰層(砂質)・泥炭層・粘土層からなる。透水係数は、火山灰層と泥炭層が  $10^{-3}$  cm/s と大きく、粘土層が  $10^{-6}$  cm/s のオーダーで実際上、不透水層であった。

施工順序として、まず表層土を均等に剥ぎ取り、一方で築堤による沈下が問題になる泥炭層までペーパードレインを打設した。つぎに、5 m 高さの一次盛土(築堤)を行い圧密促進をはかった。泥炭層の圧密沈下は、数か月で終了した。引き続き、築堤上に重機足場として 22 mm 厚の鋼板を敷き、ケリー 40 M 掘削機を入れ、遮水壁を 10 m 深さ(粘土層に 1 m 根入れ)まで掘削した。そして、築堤上に 0.5 m 厚で二次盛土して設計高さを確保し、さらに法面の成形・保護や排水路などの工事を行った。

灰捨場の規模は、面積約 25 ha、築堤延長 1,900 m、灰捨容量約 76 万  $m^3$ 、また遮水壁は、深さ 10 m、厚さ 0.4 m、面積 19,000  $m^2$  であった。

### 5.2 石炭灰 SG による遮水壁の施工

石炭灰 SG の施工フローを図-13に示す。石炭灰(苫東厚真発電所 2 号機発生灰)は、湿灰としてダンプトラックで写真-1の屋根付きストックヤード(約 600  $m^3$ )に搬入され、ホイールショベルでホッパーに投入され、ベルトコンベヤで SG 製造プラントへ供給された。また、ペントナイト(山形産)は、従来の SG と同様にペントナイトミキサーで水と混合してスラリー化され、水槽に貯留された。そして、石炭灰・ペントナイトスラリー・高炉セメント B 種・硬化遅延剤(FO-1)がそれぞれ計量器を経て、ミキサーに供給された。このミキサーとしては、従来の SG よりも密度・粘性が高いことから、0.5  $m^3$  強制練りミキサーが使用された。石炭灰 SG は、混練時間 90~100 秒間で製造され、10  $m^3$  アジテーターに貯留され

た。SG 製造プラントの全景を写真-2に示す。

SG をプラント位置から遮水壁掘削場所まで輸送する方法は、一般に配管によるポンプ圧送で行われる。しかし、この方法は、ここでは施工場所が非常に広いため、配管が長くなり、管の閉塞が危惧されたこと、またプラントを掘削場所近くに順次移すのも大きな手間を要することから、適切でなかった。そこで、ここでは、6  $m^3$  槽搭載トラックによるピストン輸送が採用された。

遮水壁の掘削は、掘削溝に石炭灰 SG を満たしながらバケットタイプ(角形シェル)の掘削機ケリー 40 M を 2 台配置して行われた。その状況を写真-3に示す。

灰は、9 種類が使用され、大部分が前述の室内配合試験にない灰であった。石炭灰 SG の配合は、前述のように「灰+水」スラリー(含水比 45%)のフロー値を基に設計された。配合は、灰種で異なり、1  $m^3$  当りに石炭灰 610~690 kg、ペントナイト 20 kg、セメント 160~210 kg、水 617~652  $l$ 、遅延剤 0~2 kg であった。

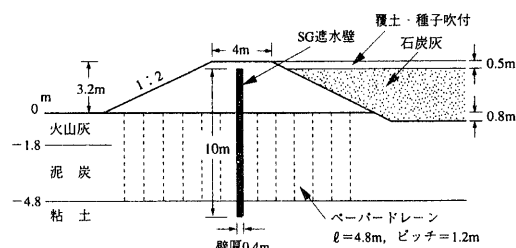


図-12 灰捨場の築堤・遮水壁の断面図

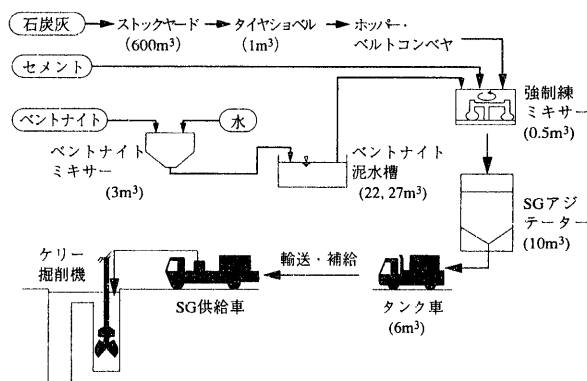


図-13 石炭灰 SG 施工フロー



写真-1 石炭灰ストックヤード

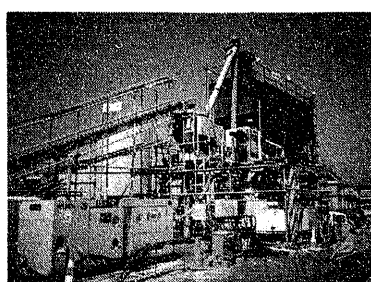


写真-2 石炭 SG 作製プラント

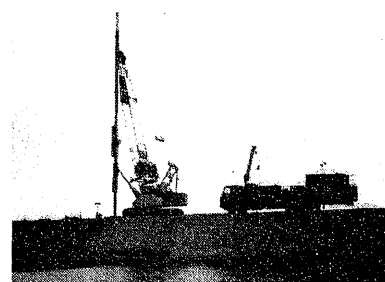


写真-3 ケリー掘削機と石炭灰 SG 供給車

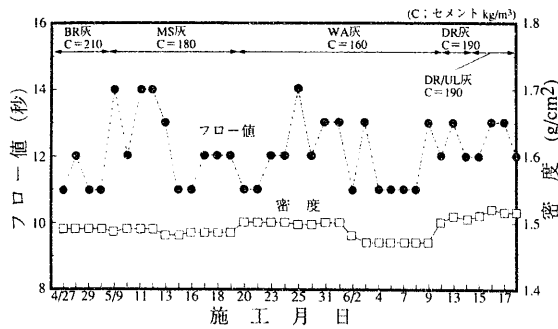


図-14 固化前性状の品質管理例

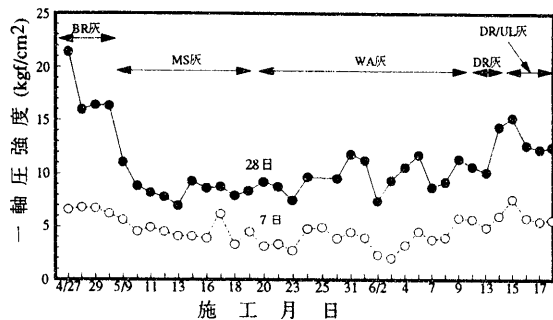


図-15 固化強度の管理例

### 5.3 施工状況と石炭灰 SG の品質

工事は、昼夜で行われ、順調な施工になってからの掘削能力は、約 80 m<sup>2</sup>/日・台になった。遮水壁の掘削は、平成 6 年 4 月 27 日～7 月 25 日に行われた。また、SG の割増は、先行・後行パネルとも、計画よりもやや多くなった。このことは、泥炭層と粘土層の境目付近で逸泥が予想よりも大きかったためと考えられる。

品質管理の例として、石炭灰 SG の製造直後のフロー値と密度の結果を図-14 に示す。フロー値が 11～14 秒、密度が 1.47～1.52 g/cm<sup>3</sup> であり、施工性と溝壁の安定に支障のない性状であった。なお、ばらつきの原因として、灰種の変化と、湿灰で用いられたことによる含水比の変動などが考えられる。また、固化強度は、図-15 の例のように、いずれも目標の 6 kgf/cm<sup>2</sup> 以上であった。なお、同種の灰でも強度がばらついたのは、湿灰の含水比 (3～4 回/日測定) を配合設計に入れる際の誤差などによると思われる。図-16 は、掘削溝内から採取した石炭灰 SG の 28 日養生後の強度と透水係数の関係を示す。透水係数も目標値 10<sup>-6</sup> cm/s 以下を満足できた。

## 6. まとめ

石炭灰の用途拡大と自硬性安定液 (SG) のコスト低減などを目的として、石炭灰を多量使用する SG の開発研究を行った。以下に、結果を要約する。

① 石炭灰を 600～850 kg/m<sup>3</sup> 含有し、適切な固化前・後の性状を保持する SG を開発できた。この石炭灰 SG は、従来の SG に比べセメント量を 1/3～1/6 に低減できる。また、石炭灰 SG は、従来の SG に比べて、同程

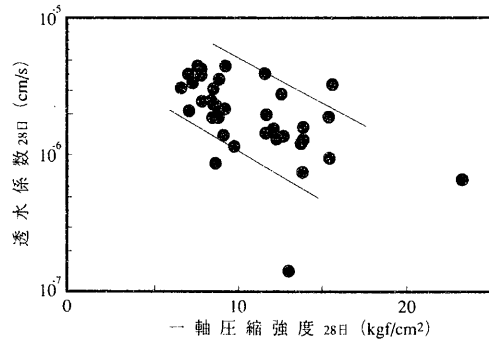


図-16 固化強度と透水係数の関係

度のセメント量で粘性・密度・強度および透水係数が大きいことが特徴である。密度が大きいことは、掘削溝壁の安定性が向上、また強度が大きいことは、セメント量の節減につながり、一般にそれぞれ利点である。

② 灰種に応じた SG 配合設計のための簡易・迅速試験法として、石炭灰と水を含水比 45% で混合したスラリーのフロー値 (P ロート試験) が有効で、それによる石炭灰量・セメント量を概略設計が可能である。

③ 石炭灰 SG による地中連続壁の施工が苫東厚真火力発電所の灰捨場の遮水壁工事で実施された。石炭灰 SG は、固化前の性状としての粘性・ブリーディング率・密度が目標値を満して良好な施工性を示し、また固化後 (28 日) の強度が 6 kgf/cm<sup>2</sup> 以上、透水係数が 10<sup>-6</sup> cm/s 以下で目標の品質を得ることができた。

以上、石炭灰は、その発生場所の近辺での地中連続壁工事で、自硬性安定液の主要材料としてコスト・品質の両面で有効な材料、貴重な資源であると考えられる。

## 謝 辞

この研究ならびに工事に際して、ご指導・ご協力を頂いた北海道電力 (株) の阿曾康夫氏、高野 準氏、松村瑞哉氏、他各位に厚く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 石炭利用総合センター：石炭灰関連全国実態調査報告書，p. 21～33，(1991)
- 2) 川地，久保，漆原：スラリー化ソイルセメント工法における掘削残土および石炭灰の利用，第 2 回廃棄物学会発表講演集，p. 141～144，(1991)
- 3) 野坂，川崎，田口，本田：白鳥大橋主塔下部工の石炭灰スラリー打設，道路とコンクリート，No. 85，p. 13～21，(1989)
- 4) 例えば，久保，川地，吉岡，宮崎：SG 工法に関する研究 (その 11)，大林組技術研究所報，No. 44，p. 89～94，(1992)
- 5) 川上，原，自閑，日野：フライアッシュの品質とダムコンクリート，セメント・コンクリート，No. 538，p. 50～58，(1991)
- 6) 川地，坂下，高杉，阿曾，松村，安達，林：石炭灰を利用した自硬性安定液の研究 (その 1)，土木学会第 48 回年次講演会，p. 616～617，(1993)