

V-17

石炭灰を用いた固化盤工法の配合設計と施工

北電興業(株) ○ 正会員 安藤 睦
苦東コ-ルセ-タ- (株) 林 透
鹿島建設(株) 正会員 朝倉 弘行

1. はじめに

石炭の受入れ・保管・払出し業務を行っている苦東コールセンター(株)では、北海道電力(株)苦東厚真発電所4号機の増設に対応するため、貯炭場の増設工事を進めている。

今回、「石炭の積み付け払い出し機械の基礎(道床固化盤)」と「石炭保管場所の基盤(貯炭場固化盤)」に石炭灰を主材料とした固化盤工法を採用した。

現在、固化盤工事は全体の約59%の打設を終了し、残りは平成12年6月迄に完了させる予定である。
本報告は、石炭灰の利用形態としては初めての試みである「団子状」の練り上がり形態を採用した固化盤工事における配合設計や施工結果について述べる。

2. 工事概要

苦東コールセンター増設工事における石炭灰の利用計画を表-1、図-1に示す。

表-1 石炭灰の利用計画

	設計強度	材齢	施工断面 (幅×延長×高さ)	施工量 (全体数量)	施工量 (今年度施工分)
道床固化盤	1.47N/mm ²	91日	12m×500m×1.5m×2列	19,215m ³	16,862m ³ (88%)
貯炭場固化盤	0.59N/mm ²	91日	60m×520m×0.25m×2面	14,157m ³	2,879m ³ (20%)

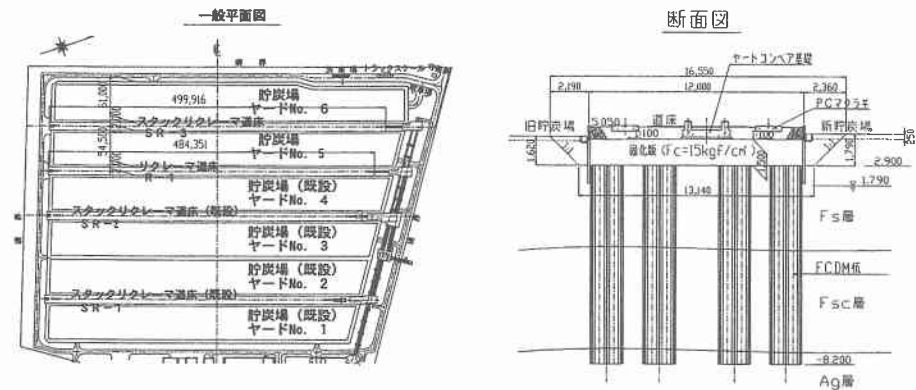


図-1 石炭灰の利用箇所

3. 練り上がり形態が強度に与える影響の調査

石炭灰の含水比を徐々に高くしていくと、練り上がり形態は「粉体状」→「団子状」→「スラリー状」と変化していく。これらの練り上がり形態が強度に与える影響を、室内と現場において調査しており、その結果の概要を次に述べる。¹⁾

Mix Design and Execution Method of Hard Plate Using Coal Ash
by Mutumi Ando, Tooru Hayashi, Hiroyuki Asakura



(室内試験の結果)

- ・ 団子状の形態において強度的に有利な含水比は、最適含水比の1.2～1.3倍の含水比であり、形態の管理値は現場におけるバラツキを考慮してテーブルフロー値で $14\text{cm} \pm 1\text{cm}$ と設定した
- ・ 練り上がり形態と強度の関係は、図-2に示したように粉体状>団子状>スラリー状の順に小さくなる
- ・ 団子状は粉体状より混合性が良い

(現場試験の結果)

- ・ 現場強度は、締固め密度の影響から室内の傾向と異なり、団子状>粉体状の順に小さくなる

これらのことから現場施工においては、団子状の形態が有利であることを確認した。

ただし、現場試験で得た一軸圧縮強度が全体的に低く、そのバラツキも大きいことから、「石炭灰の一定容量の切り出し」や「混合性の向上」など、プラントの一部改良の必要性が認められた。

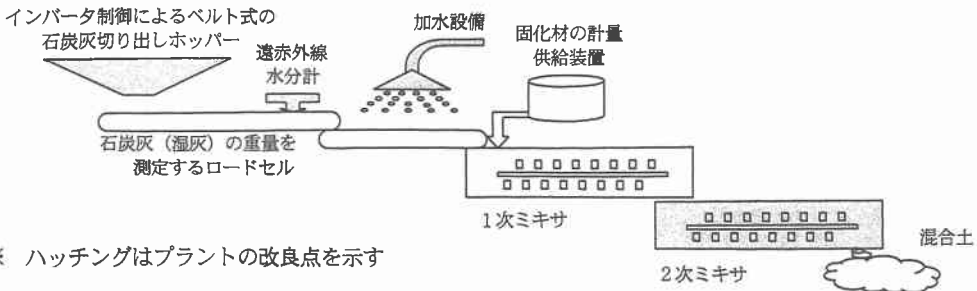
4. 固化盤の配合設計

前章の調査結果を踏まえて、安定した改良効果を得るためにプラントを一部改良し、配合設計に必要な各係数を設定するための試験施工を実施した。

4.1. プラントの改良

本施工で使用したプラント設備の主な改良点を次に示す。

- ・ 加水設備 (40t/h) の設置 (調査時の改良)
- ・ 湿灰の水分量を測定するための赤外線水分計の設置 (調査時の改良)
- ・ 石炭灰 (湿灰) を一定容量で切り出すためのインバータ制御式ホッパーの設置 (本施工の改良)
- ・ 攪拌効率を向上するための2次ミキサの設置 (本施工の改良)



4.2. 試験施工

試験施工は、次に示す本施工と同様の条件で実施した。

- ・ 石炭灰は苫東厚真発電所の1号灰 (JIS規格外) と2号灰 (JISⅡ種) の2種類を使用した
- ・ セメント量 (高炉B種) は、道床固化盤を 175kg/m^3 、貯炭場を 85kg/m^3 と仮定した
- ・ 施工厚は設計断面と同様に、道床固化盤を1.5m、貯炭場固化盤を25cmで施工した
- ・ 強度試験は材齢7,28日とした

試験施工によって得られた材齢 7,28 日の一軸圧縮強度を表－2 に示す。

試験施工の結果は、調査時の現場強度と大きく異なり、(現場/室内)強度比で比較すると、調査時¹⁾の 0.3 に対して、セメント 175kg/m³は 1.6、セメント 85kg/m³でも 1.1 と室内強度より現場強度の方が大きかった。

表－2 試験施工の結果

灰種	セメント kg/m ³	一軸圧縮強度 (N/mm ²)				強度比		変動係数			
		室内		現場		現場/室内		変動係数		データ数	
		σ ₇	σ ₂₈	σ ₇	σ ₂₈	σ ₇	σ ₂₈	σ ₇	σ ₂₈	σ ₇	σ ₂₈
1号	85	0.77	1.33	0.74	1.53	0.96	1.15	—	0.18	—	6
	175	1.96	4.43	4.56	7.61	2.33	1.72	0.27	0.35	5	14
2号	85	1.04	2.49	1.50	2.7	1.44	1.08	—	0.1	—	6
	175	2.33	5.99	5.31	8.81	2.28	1.47	0.27	0.31	5	15

これらの結果や調査時の傾向を踏まえて、次に示す考え方で各係数を設定した。

- 絶対強度が大きくなると強度のバラツキも大きくなると考え、設計強度の異なる道床固化盤と貯炭場固化盤では別々の変動係数を設定した。
- 施工断面やセメント量が異なると、水和熱による養生効果が異なると考え、施工断面や設計強度の異なる道床固化盤と貯炭場固化盤では別々の(現場/室内)強度比を設定した。

4.3. 配合強度の設定

「団子状」の形態では施工実績が無く、配合および評価の方法が確立されていないため、本施工における「配合設計と固化盤検査」は、「改良地盤の設計及び品質管理指針・日本建築センター」を参考にした。室内配合強度は、次の条件を考慮して安全側になるように配慮した。

- 施工実績のない新しい形態であること
- 配合試験を実施していない灰種を本施工に使用する可能性があること
- 石炭灰の種類によって強度発現が異なる可能性があること

指針²⁾に基づき室内配合強度を算出し、結果を表－3 に示す。

表－3 配合強度

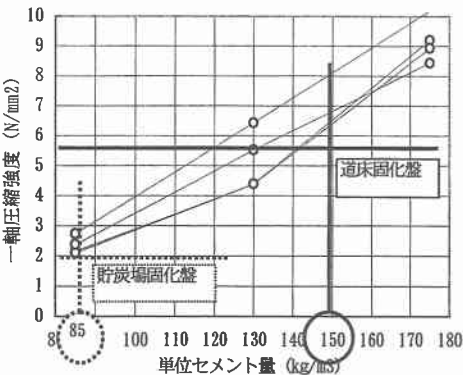
	道床基礎	貯炭場	備考
設計強度 (F c)	1.47N/mm ²	0.59N/mm ²	材齢 91 日
設計における変動係数 (V d)	0.4	0.25	試験施工の結果から設定した
配合管理における変動係数 (V c)	0.5	0.35	配合管理での目標値
割増係数 (α t)	2.874	1.835	合格確率を 95%とした
現場配合強度 (X f)	4.3N/mm ²	1.1N/mm ²	X f = F c × α t
(現場/室内) 強度比	0.8	0.6	試験施工の結果から設定した
室内配合強度 (q u l)	5.4N/mm ²	1.9N/mm ²	q u l = q u f / (現場/室内) 強度比

4.4. 配合セメント量の設定

室内試験の灰種は、本施工で使用する予定の 1 号(4 灰種)2 号(6 灰種)の計 10 灰種を使用し、セメントは高炉 B 種で 85、130、175kg/m³の 3 水準として、灰種別の各材料の配合(石炭灰、セメント、水)を決定した。併せて強度試験も実施し、4 灰種の材齢 28 日の室内強度から 91 日の強度を推定した。一軸圧縮強度とセメント量の関係を図－3 に示す。

セメント量の設定は、最も強度発現の小さい灰種を対象にして、図－3 の関係から室内配合強度を満足する次の値で設定した。

- 道床固化盤のセメント量は 150kg/m³とした。
- 貯炭場固化盤のセメント量は 85kg/m³とした。



図－3 単位セメント量と強度の関係

5. 本施工

5.1. 石炭灰の物性

本施工に用いた石炭灰の物性値の一例を表－4に示す。

1号機から発生する石炭灰は強熱減量が多く、J I S規格を満足しないのに対して、2号機は、ほぼ全ての灰種でJ I S II種の規格を満足する石炭灰である。

5.2. 配合

本施工に用いた配合の一例を表－5に示す。

1号と2号と比較すると、1号は団子状の形態を示すための水量が多く、乾燥密度が小さい。

5.3. プラント設備

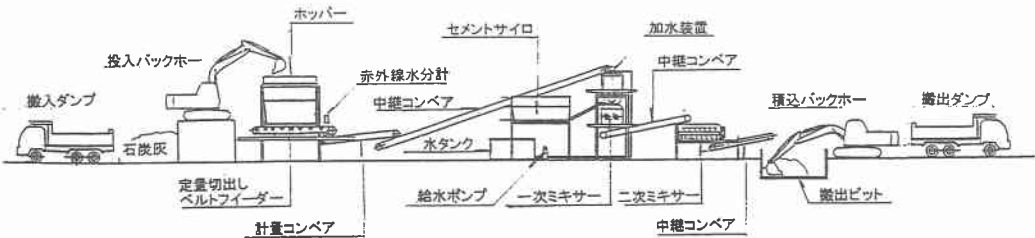
プラント設備の模式図を図－4に示す。

表－4 石炭灰の物性値

名 称	単位	1号灰	2号灰	J I S II種の規格
湿分	%	0.14	0.07	<1.0
強熱減量	%	11.6	1.7	<5.0
密度	g/cm ³	2.15	2.32	>1.95
45μmふるい残分	%	37	11	<40
ブレーン比表面積	cm ² /g	4,600	3,690	>2,500
フロー値比	%	87	105	>95
備 考		規格外	II種	

表－5 配合表

灰種	比重		配合割合(1m ³ 当たり)			目標配合		
	灰	セメント	灰	セメント	水	W	ρ _t	ρ _d
	g/cm ³	g/cm ³	kg	kg	kg	%	g/cm ³	g/cm ³
1号	2.15	3.05	994	85	470	43.6	1.549	1.079
			972	130	465	42.2	1.567	1.102
2号	2.11	3.05	1070	85	425	36.8	1.580	1.155
			1040	130	425	36.3	1.595	1.170



図－4 プラント模式図

5.4. 道床の施工

道床の施工状況を写真－1に示す。

施工は、幅16mの両側からバックホウ(0.7m³)4台で打設し、1打設の延長は21m、打設高は75cmの2層、日施工量は420m³とした。

形態は、テーブルフロー試験で14cm±1cmとした。表面の仕上げは、バックホウのバケットで団子状の表面を上下に揺らして波立たせることで平坦性を確保した。打設当日は、乾燥を防ぐためにブルーシートで養生し、翌日から養生シートで3日間の散水養生をした。



写真－1

5.5. 貯炭場の施工

貯炭場の施工状況を写真－２に示す。

団子状の形態は半流動性であることから、貯炭場の２％横断勾配を確保するために、施工性や平坦性の優れているアスファルトフィニッシャ（数幅３～６ｍ）を選定し、スクリュウフィーダ（横送り）を延長する改造をした。

形態は、ダンプアップが出来るようにテーブルフロー試験で $18\text{cm} \pm 2\text{cm}$ と道床より柔らかめの設定とした。

施工は、高さ 0.25m の１層、幅は１区画の半分で５～６ｍ、施工延長は平均で 120m を確保した。

打設当日は、乾燥を防ぐためにブルーシートで養生した。



写真－２

5.6. 設計強度に対する石炭灰固化盤の検査

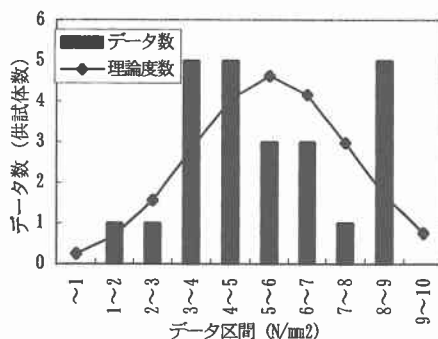
セメント $150\text{kg}/\text{m}^3$ で延長 400m 分の施工を行ったところ、材齢 28 日の現場強度が最低で $6.3\text{N}/\text{mm}^2$ と、材齢 91 日の現場配合強度の $4.3\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っていた。よって、セメント量を $130\text{kg}/\text{m}^3$ に見直して、残りの 450m の施工を実施した。

検査は、現場強度の小さいセメント量 $130\text{kg}/\text{m}^3$ で施工した固化盤を対象にした。

材齢 91 日の現場強度を図－５に示す。

現場固化盤の平均強度は $5.55\text{N}/\text{mm}^2$ であり現場配合強度の $4.3\text{N}/\text{mm}^2$ を満足していた。

現時点で得られている現場強度の 24 データ（５灰種）で検査を実施すると合格である。



図－５ 現場強度 (σ91)

6. 石炭灰固化盤の強度特性に関する考察

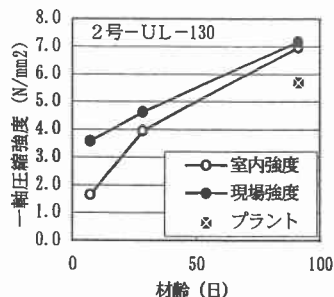
練り上がり形態が強度に与える影響の調査¹⁾で得られた現場強度と、本施工を通じて得られた現場強度に大きな違いが生じていることが確認された。これらのことは、プラントの改良効果や夏期の施工による養生効果などの影響が大きかったものと考え、それぞれの効果を確認できる試験を実施し、現場強度と室内強度の材齢 91 日の結果と併せて以下に考察する。

6.1. 石炭灰固化盤の現場強度

現場、プラント、室内の各条件における一軸圧縮強度を材齢で整理して図－６に示す。

調査時¹⁾と比較して（プラント／室内）強度比が大きいたことから、２次ミキサの効果が大きかったと考えられる。

また、現場強度が材齢 91 日まで室内強度やプラント強度を上回っており、現場の養生温度が高かったと考えられる。



図－６ 材齢と強度の関係

6.2. 2次ミキサの効果

セメント量 130kg/m^3 の施工中に、1次ミキサと2次ミキサの出口でそれぞれ10試料（5分間隔）を採取し、室内で28日間養生した圧縮強度を表-6に示す。

同じセメント量で比較すると、2次ミキサは1次ミキサの2.7倍の平均強度があり、2次ミキサの最低値は1次ミキサの最大値より大きかった。また、変動係数も0.16と1次ミキサの0.27に対して小さい。

これらのことから、2次ミキサの増設はバラツキの抑制や強度増加に極めて効果的であったと言える。

6.3. 道床固化盤の温度測定

固化盤のセメント 150kg/m^3 のケースで養生温度を確認するため、高さ1.5mの断面に、上面から10cm、中央、下面から10cmの3深度に計器を埋設し、外気温度と併せて測定した。結果を図-7に示す。

固化盤の打設から3～4日目に固化盤の中心部が最大 63°C まで上昇し、固化盤の上面でも6週間は 30°C を越えていた。

これらのことから、水和熱で養生効果が促進されていたものと言える。

6.4. 室内における強度特性

セメント 130kg/m^3 における一軸圧縮強度と材齢の関係を図-8に示す。

一軸圧縮強度の伸び率を「団子状」と「普通コンクリート」で比較すると、91/28の伸び率が普通コンクリートの約1.2倍³⁾に対して団子状は平均で2.0倍と大きく、非JIS灰でも灰種に係わらず同様の傾向である。

これは人工ポゾラン材である石炭灰を母材料としているため、セメントの水和反応より遅く始まるポゾラン反応によって、材齢28日以降の強度が大きく伸びたと考えられる。

これらのことより、団子状の練り上がり形態で石炭灰を利用する場合は、設計材齢を28日より長期に設定したほうが経済的に有利になると言える。

7. おわりに

貯炭場固化盤の材齢が91日に達していないため強度結果を報告出来なかったが、平成12年4月から残りの施工を行う予定になっており、施工が全て終了した時点で最終報告をしたいと考えている。

最後に、団子状の形態を用いた石炭灰固化盤を施工するにあたって、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 田中 則和、小林 仁、安藤 陸、下田 哲司：石炭灰を使用したセメント安定処理材の練り上がり形態が強度に及ぼす影響、土木学会北海道支部論文報告集第56号、1999、投稿中
- (2) (財) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、1998、3
- (3) (財) 日本コンクリート協会：コンクリート便覧（第2版）、1996、2

表-6 プラント強度

	単位	1次 ミキサ	2次 ミキサ	2次/1次
平均値	N/mm^2	1.98	5.46	2.76
最大値	N/mm^2	2.81	6.64	2.36
最少値	N/mm^2	1.26	3.64	2.89
標準偏差		0.54	0.86	1.59
変動係数		0.27	0.16	0.59

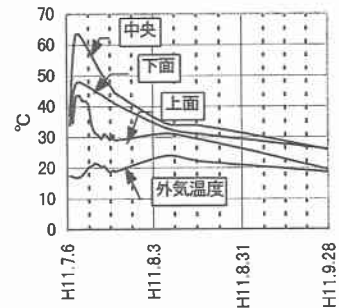


図-7 固化盤温度

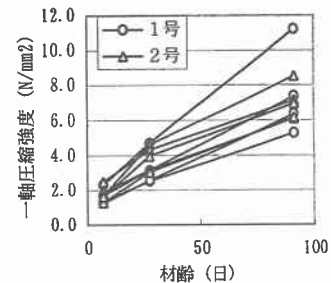


図-8 室内強度