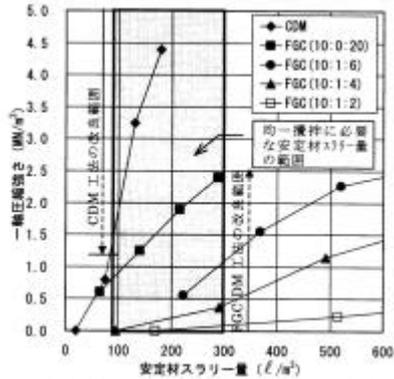


FGC 深層混合処理工法
(FGC - DM 工法: Fly ash Gypsum Cement Deep Mixing)
- 平成 1 1 年度地盤工学会技術開発賞受賞 -

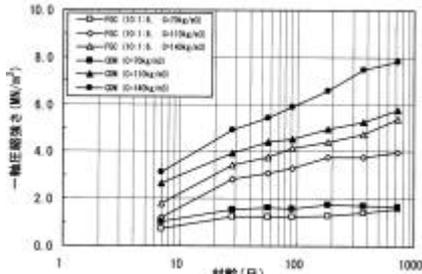
FGC - DM工法とは、フライアッシュと石こうとセメントを安定材とした軟弱地盤改良工法です。止水壁、土留め壁等の仮設構造物に加えて、各種構造物の基礎地盤として利用できます。

特 徴

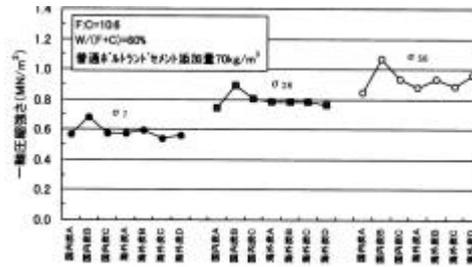
1. 従来のセメント系深層混合処理工法に比べ、より低強度で均一な地盤改良が可能です。
2. 配合により低強度から 2.5MN/m² 程度までの幅広い改良地盤が得られます。
3. FGC 改良地盤には、鋼杭や鋼矢板を直接打設することができるため、高圧噴射工法等の補助工法が不要となり、施工性・経済性が向上します。



安定材スラリー量と一軸圧縮強度



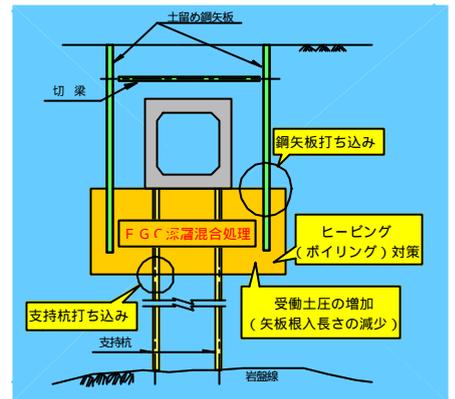
長期材令試験結果



フライアッシュ別強度発現状況

産地や化学成分が異なるフライアッシュを用いても、FGC改良土の一軸圧縮強度に与える影響は小さいです。

γ が 1.0MN/m² 程度の低強度改良の場合、材令 28 日以降の強度の伸びはほとんどないため、改良後長期間日数が経過しても再掘削や杭の打ち込みが可能です。



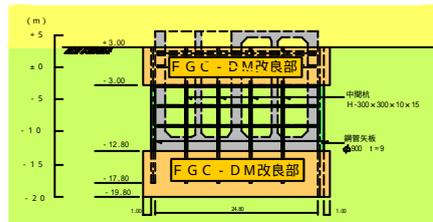
FGC - DM工法の適用と効果

施工事例

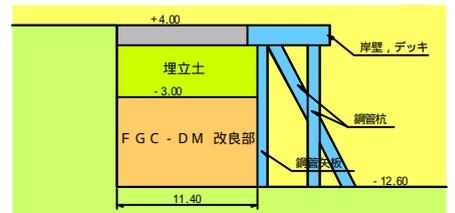
- ・ 橋湾火力発電所建設工事ポンプ場土留め : FGC - DM 数量 68,000m³ フライアッシュ使用量 4,000 t
- ・ 磯子火力発電所更新工事ポンプ場土留め : FGC - DM 数量 19,000m³ フライアッシュ使用量 4,000 t
- ・ 横浜大榎橋ふ頭整備工事既設岸壁背面改良 : FGC - DM 数量 76,000m³ フライアッシュ使用量 4,000 t



土留め状況



適用断面
(矢板土留め、地中切梁)



適用断面
(土圧低減対策)

(財)沿岸開発技術研究センターより『FGC 深層混合処理工法技術マニュアル』が発刊されました。

(資料提供: J-power)

6. 深層混合処理工法 - Geo Seed -

「特徴」

- ・ 高炉セメントにフライアッシュを混合した固化材を用いて均一な品質の改良杭を造ることができます。
- ・ 低強度の地盤改良の場合、必要粉体量あるいは必要スラリー量を確保するため、フライアッシュを増量材として利用し、セメント量の低減を図ることができます。
- ・ 高性能分散剤を添加することにより、高濃度スラリー（水改良材比 50%）が製造可能となり、高強度領域までの改良が可能です。

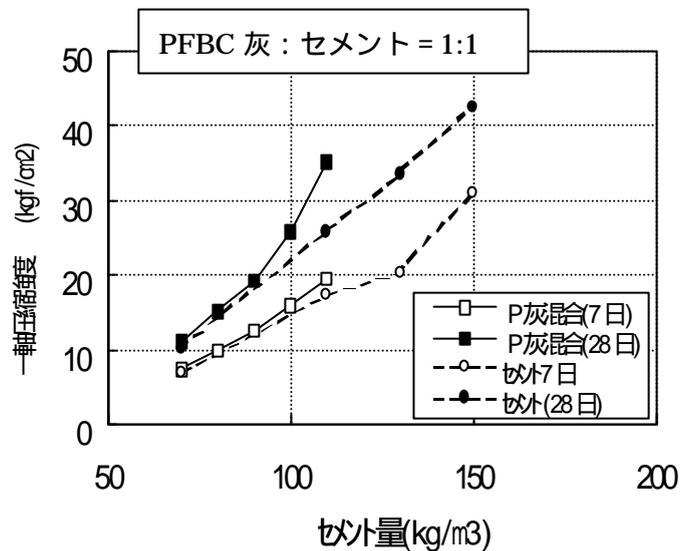
粉体噴射攪拌工法（DJM 工法）での実施工結果は以下に示すとおりです。（PFBC 灰を活用した 1 例）

原土の性状

自然含水比	%	64.6
湿潤密度	g/cm ²	1.559
乾燥密度	g/cm ²	0.947
粒度	礫分 %	0.2
	砂分 %	2.8
	砕粒分%	97
土質名		粘性土
土質分類		C
強熱減量	%	9.0

改良後の目標強度

現場目標強度	q _{uf} = 8.0kgf/cm ² (28日材令)
室内試験目標改良強度	q _{uf} =32.0kgf/cm ² (28日材令)
	【強度比(現場/室内)=1/4】



セメント量と一軸圧縮強度の関係



DJM 全景



改良状況

- ・ セメント単体の結果と比べて、セメント添加量が多くなれば、PFBC 灰改良材の 28 日強度は増加する。
- ・ 原土が高含水比であるためセメント量 100kg/m³ 以上の場合、石灰灰改良材の吸水効果により強度が大きくなると考えられる。
- ・ セメント単体に比べ高い強度増加（7 日 28 日）が期待できるものである。

「施工実績」

下松石炭中継基地基礎工事（スラリー）	17,000t
笠岡バイパス改良工事（粉体）	1,000t 他
合計	22,000t

「特許」

- ・ 地盤改良工法用スラリー、該スラリーによって形成された地盤改良体及び地盤改良工法用スラリー分散剤

深層混合処理工法
- Q フラッシュ -

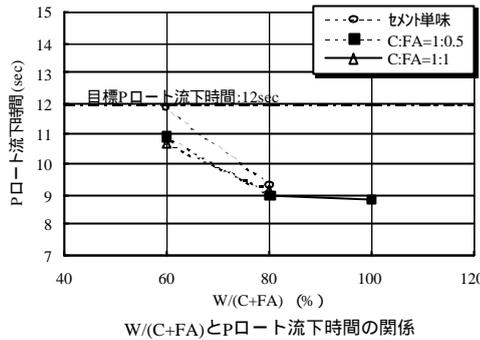
「特徴」

- ・ 高炉セメントにフライアッシュを混合した固化材を用いて均一な品質の改良杭を造ることができます。
- ・ フライアッシュを混合することで、スラリーの流動性が向上します。
- ・ 低強度の地盤改良の場合、必要スラリー量を確保するため、フライアッシュを増量材として利用し、セメント量の低減を図ることができます。

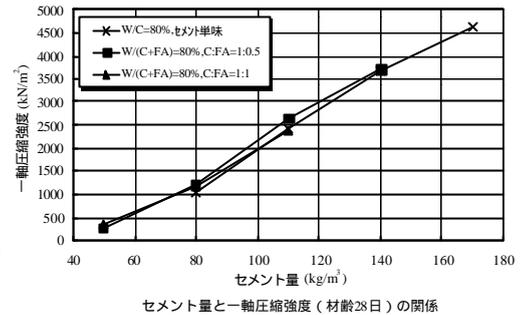
室内配合試験

改良対象土の物理性状

項目	単位	測定値
土粒子密度	g/cm ³	2.612
湿潤密度		1.416
自然含水比		121.5
液性限界		84.5
塑性限界		43.5
粒度区分	礫分	0.0
	砂分	8.2
	シルト分	41.4
	粘土分	50.4



FA の粒子形状が球形に近いことから、スラリーの流動性は向上します。



FA を混合した方が、セメント単味に比べて一軸圧縮強度は大きくなります。

現地配合試験

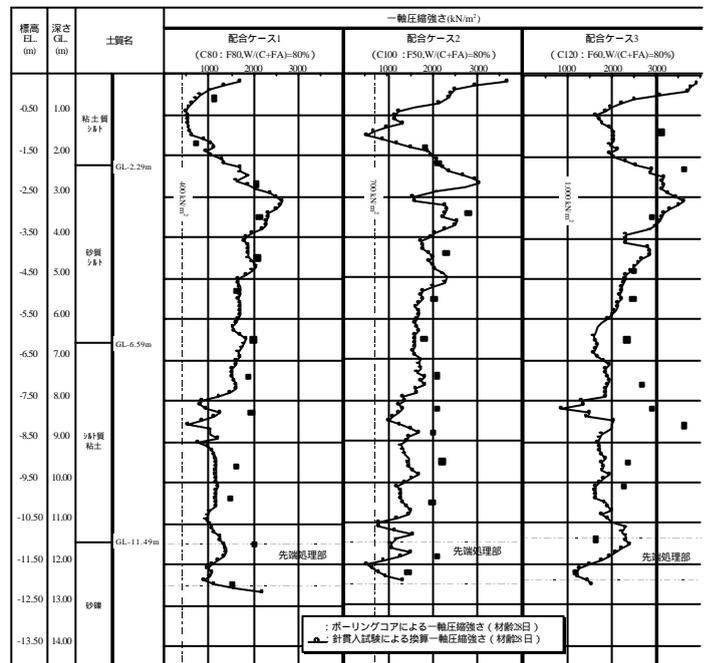
現地配合試験結果

現場 目標強度 (kN/m ²)	水粉体比 W/(C+FA) (%)	配合量(kg/m ³)			一軸圧縮強度試験(kN/m ²)	
		セメント C	フライ アッシュ FA	水 W	最低値	平均値
400	80	80	80	128	727	1693
700		100	50	120	1814	2119
1000		120	60	144	2276	2794

現地においても、深度方向全般に渡って目標強度を満足する改良体が造成できます。



施工状況



一軸圧縮強度試験及び針貫入試験結果

F-CDM - 深層混合処理工法 -

特 徴

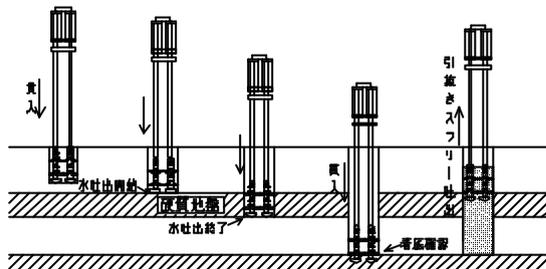
- ・ボゾラン反応による長期耐久性の向上が図れます。
- ・スラリーの増量による現地盤との攪拌効率向上に伴う改良体品質の均一化が図れます。
- ・セメントの一部代替に伴うコスト縮減を図ることができます。

用 途

- ・軟弱地盤上に荷重強度の高い構造物を構築する場合に、現地盤を改良する工法としてご利用いただけます。

工 法

- ・N 値 3 0 以上の硬質地盤が介在している場合、「水吐出併用貫入 + 引抜きスラリー吐出」の打設方法が採用できます。



施工模式図

配 合 例

設計基準強度 (91日)	セメントの種類	水結合材比 W/(C+F) (%)	フライアッシュ置換率 F/(C+F) (%)	対象土 1 m ³ 当たりの配合量			
				C (kg)	F (kg)	W (kg)	スラリー量 (リットル)
1.77	高炉B種	60	37.5	155	93	149	240

施 工 実 績

- ・苫東厚真発電所 4 号機増設工事の貯炭サイロ基礎工事
改良方式 ~ 接円ブロック方式 (径 1m × 2 軸、改良率 78.5%)
平均改良長 20.3m 施工数量 1275 セット 改良体積 約 40700m³



施工状況



改良体

(資料提供：北海道電力)

1. サンドコンパクションパイル工法
- Hi ピーズ -

- ・ Hi ピーズは SCP 工法で通常用いられる海砂の代替材であり、低コストで製造可能です。
- ・ Hi ピーズは、海砂と同様の締固め効果、及び施工性が期待できます。
- ・ 海砂等の天然資源の枯渇・環境問題に貢献できます。
- ・ サンドドレーン材としても活用できます。

Hi ピーズの完成写真



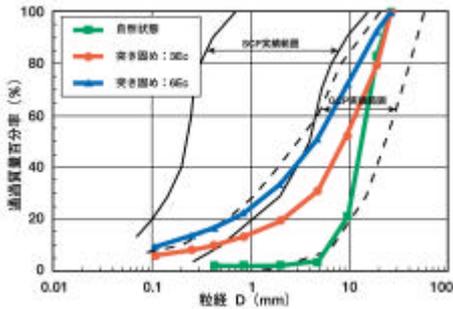
Hi ピーズの基本配合

フアイツシ(FA)	セメント(C)	ペントナイト(B)	水
90%	10%	3%	23.5%

Hi ピーズの物理特性

形 状	ほぼ球形	
圧潰強度 (28日)	1.2~1.6MPa	
内部摩擦角(φ)	OEc	38.7°
	6Ec	47.6°
突固密度 (6Ec)	1.70~1.75t/m ³	
透水係数	OEc	1.46×10 ⁻² cm/sec
	6Ec	1.34×10 ⁻³ cm/sec
環境負荷	環境改善効果	
長期品質	強度	1年経過後増進
	透水性	1年経過後無変化

Hi ピーズの粒度分布

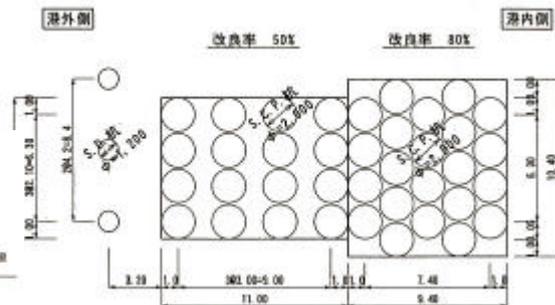
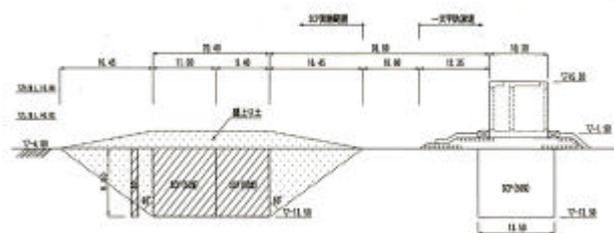


試験施工

Hi ピーズの適用性を確認する目的で、試験打設を行い、改良率を変化させ、杭間N値、杭強度、施工性、環境に対する影響を調査した。

【小野田沖海上打設】

仕様	本数	改良長	備考
2,000	改良率80%	22本	9.5 m
2,000	改良率50%	16本	9.5 m



改良効果は、通常海砂と同等の改良効果が得られ、環境への影響もないことを確認した。
 杭間のN値は、海砂と同等の値を示す。
 杭の強度は、海砂の通常設計値に対して同等以上の強度を持っている。
 杭の打設時間(造成時間)は、海砂に比べて減少傾向であり、施工性も同等以上である。
 石炭灰造粒物打設後の海域のpH変動は、自然界の変動範囲内であり、環境への影響はない。
 海生生物への影響も見られなかった。

「特許」

- ・ 石炭灰を活用した「地盤改良材及びその製造方法」

「施工実績」

小野田港防波堤工事	7,000 m ³
大竹埋立地SD工事	54,000 m ³ 他
合 計	68,000 m ³

石炭灰を用いた土木材料
石炭灰固化物

石炭灰固化物とは、石炭灰にセメントと水を加えて造粒・固化したものです。

粒状材とは、造粒後、固化したものであり、粒状材を破碎して碎石状にしたものが破碎材と呼ばれるものです。さらに、破碎材に結合材（石炭灰・セメント・石膏）と水を添加したものが安定処理材と呼ばれるものです。

特 性

1. 軽量であり、セメント添加量により強度が調整できる。
2. 粒度調整により砂と同程度の透水性を有する。
3. ポソラン反応により長期的な強度が増加する。
4. 固化物であり、粉塵発生の恐れが少なく取り扱いが容易である。

用 途

地盤改良材（SCP 工法）として

SCP（サンドコンパクション）工法の砂代替材としての利用が可能であり、従来の砂と同等の地盤改良効果があります。

擁壁裏込材として

石炭灰固化物は軽量であり、擁壁裏込材として活用した場合、擁壁に作用する土圧を軽減することが出来ます。

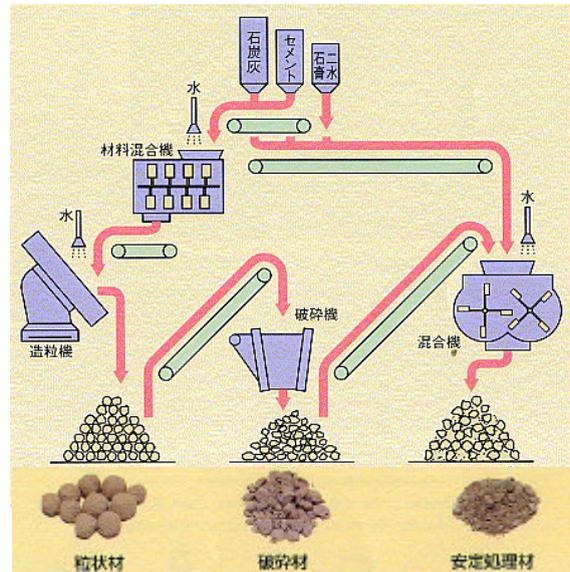
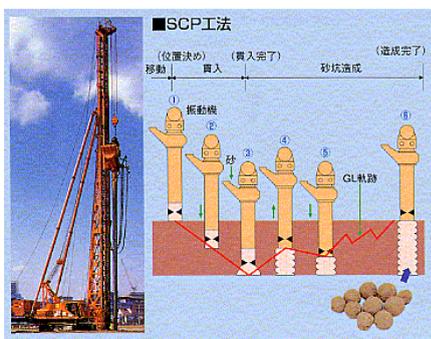


図 石炭灰固化物の製造方法



地盤改良材としての利用



擁壁裏込材としての利用

石炭灰スラリー固化板築造工法

石炭灰スラリー固化板築造工法は、軟弱地盤上で建設機械のトラフィカビリティを確保することを目的として、石炭灰スラリーを利用して軽量かつ強度を有する固化板を築造する仮設工法です。

特 徴

1. 石炭灰を使用することで軽量の固化板を築造できます。
2. セメントを添加した配合により改良層の強度を自由に設定できます。
3. スラリー方式を採用することにより、フレッシュな石炭灰だけでなく、灰捨場に一度置きした石炭灰（既成灰）を利用できるため、石炭灰の量を確実に確保でき、工事のピークに合せた施工が可能となります。

施工事例

沖縄県中城港湾新港地区において、埋立浚渫土等の軟弱地盤上に石炭灰を利用した軽量かつ強度を有する固化板を築造し、その後施工される圧密促進工事（ペーパードレーン工法）に用いる建設機械のトラフィカビリティを確保することを目的として、試験工事を行ない、改良地盤の強度・溶出特性等について調査・検討を実施しました。

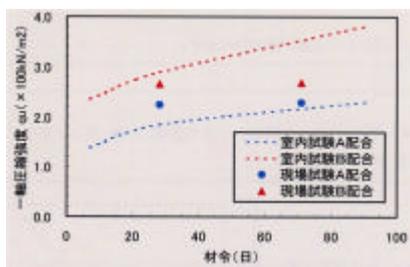
強 度：約 200kN/m²（28 日強度）

建設機械のトラフィカビリティ確保およびペーパードレーン施工における先行掘削不要条件より決定。

標準配合：

名 称	水粉体比 W/(C+F+B) (%)	セメント C (kg/m ³)	石炭灰 F (kg/m ³)	水 W (kg/m ³)	ヘントナイト B (kg/m ³)
A 配合	55	30	941	548	25
B 配合	55	30	966	548	-

施工数量：施工数量（スラリー打設数量） 約 400m³（20m × 10m × 1m × 2 ヤード）
フライッシュ使用数量 約 400 t

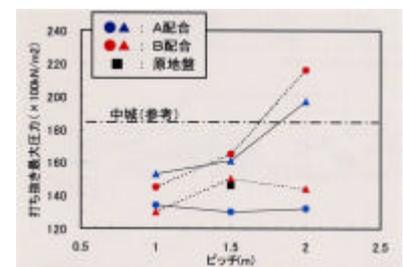


材令と一軸圧縮強度の関係
A 配合はヘントナイトの保水効果により
B 配合より強度が低かった。
また、両配合とも材令による強度増進は少なかった。

配 合	六価クロム	砒 素	セレン
A	ND ^①	0.005~0.008	ND
B	ND	0.005~0.008	ND~0.009
基準値 ^②	0.05	0.01	0.01

(1)定量下限値未満 (2)土壌環境基準

重金属類溶出試験
土壌環境基準を満たしていた。



ペーパードレーン打設試験
中城周辺工事で行なわれていた
従来工法（シート+覆砂）に比べ、
ペーパードレーンの貫入圧力は
概ね低減でき、作業効率が向上
することを確認した。



石炭灰スラリー製造設備



石炭灰スラリー打設状況

（資料提供：J-power）

固化盤

特 徴

- ・固化盤の材料は、味噌状（固練りスラリー状）で使用しています。
- ・粉体状で施工する場合に比べて約 40% のセメント量の節約になります。
- ・粉体状の施工では、1 回の施工は 30cm 厚が標準ですが、一般に 75cm 厚の施工が可能です。
- ・25cm 厚以下の施工では、アスファルトフィニッシャーを使った効率的な施工が可能です。

施工例

苫東コールセンター貯炭場増設工事

(1) 道床固化盤

施工は、バックホウで施工し、打設高は 75cm の 2 層です。形態は、テーブルフロー試験で $14 \pm 1\text{cm}$ で管理し、表面の仕上げはバックホウのバケットで味噌状の表面を上下に揺らして波立たせることで平坦性が確保されます。

(2) 貯炭場固化盤

施工は、材料の形態が味噌状（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ーを選定し、スクリーフィーダを延長する改造をして使用しました。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 $18 \pm 2\text{cm}$ と道床固化盤より柔らかめに管理し、打設は、高さ 0.25m の 1 層で行ないました。

設計条件

道床固化盤 一軸圧縮強度： 1.47N/mm^2 （材齢 91 日） 貯炭場固化盤 一軸圧縮強度： 0.59N/mm^2 （材齢 91 日）

配 合 例

味噌状の形態では施工実績が無く、配合及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」を参考にしました。室内配合強度は、施工実績のない新しい形態であること、フライアッシュの種類によって強度発現が多少変化することを考慮して安全側になるように配慮しました。

灰種	密度		配合割合 (1m ³ 当たり)			目標配合		
	フライアッシュ	セメント	フライアッシュ	セメント	水	W	t	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	1.58	1.155
			1040	130	425	36.3	1.595	1.17

施 工 実 績

道床固化盤 (12m × 500m × 1.5m × 2 条) 19,215 m³

貯炭場固化盤 (60m × 520m × 0.25m × 2 面) 14,157 m³



施工状況

(資料提供：北海道電力)