

# 制御型低強度材料 (CLSM) を用いた新しい埋戻し工法の開発

## — その2 : 試験施工 —

Development of New CLSM Flowable Fill Construction Method - Part 2: Pilot construction -

北海道電力㈱	○ 正 員	水口 洋(Hiroshi Mizuguchi)
北海道電力㈱	正 員	小野寺収(Osamu Onodera)
札幌市下水道局		金田純平(Junpei Kaneda)
會澤高圧コンクリート㈱		田辺治樹(Haruki Tanabe)
北海道大学大学院	正 員	堀口 敬(Horiguchi Takashi)

### 1. はじめに

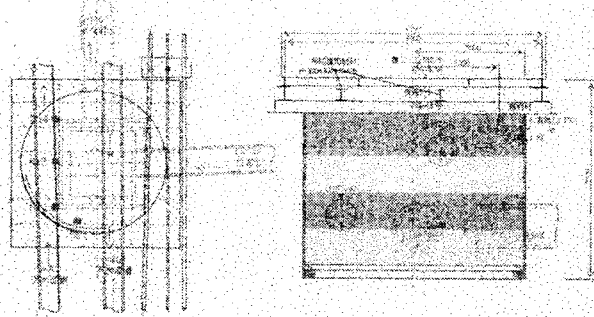
北海道電力㈱では、年間約67万tの石炭灰が発生し、有効利用率は約89%となっている(平成14年度)。しかしながら、有効利用の大半をセメント原料(粘土代替)に依存しているのが実績であり、土木材料としての利用拡大を目指した種々の取組みを行っているところである。流動化埋戻し材の一種であるCLSM(Controlled Low-Strength Material)は、米国で開発され普及しているスラリー状の材料であり、砂に粘性を付与してスラリー化するための粉体としてフライアッシュが一般に使用されている。国内では北海道電力㈱苫東厚真火力発電所建設工事においてCLSMを初めて採用し、現在、北海道土木技術会CLSM普及検討小委員会でも国内での普及を目指した活動を進めている。本稿では小委員会の活動の中で今年度、札幌市下水道局の協力を得て試験施工を実施したので、その結果について報告する。

### 2. 施工概要

工事は、札幌市下水道の到達立坑の埋戻しであり、従来は改良砂で施工する箇所を、今回はCLSMで施工したものである。関係分の概要を以下に記す。

- (1) 工事名: 国庫債務負担行為 豊平川処理区I-02300 下水道新設工事
- (2) 場所: 札幌市白石区東札幌4条2丁目
- (3) 工期: 平成15年8月20日~25日

到達立坑、平面図 到達立坑、断面図



図一1 到達立坑平面図(左)、断面図(右)

施工箇所の平面図および断面図を図一に示す。現場は円形の立坑に、矩形のマンホールを建てこみその周囲を充填するものであるが、既設の下水管(φ700×2本)や下水管推進管(φ1000、1100)の他にNTT管(φ75×3本)、ガス管(φ50)、水道管(φ150)が敷設されており、管が輻輳し狭隘箇所になっている。このため、締固めが必要な砂で埋め戻すより、自己充填性に優れたCLSMを使用することで、作業性が向上することが期待される。

打設状況を表一に示す。打設は4日間で生コンプラントによる生コン車(4m<sup>3</sup>)で供給し、打設高さは1m/日を標準とし、打設数量は73m<sup>3</sup>であった。施工は、打設前に型枠(ライナープレート50cm×2枚)をはずし、打設終了後、硬化を確認してから、翌日以降に打設する方法を4サイクル繰り返した。

表一 打設状況

打設日	打設数量 (m <sup>3</sup> )	打設高さ (m)
8月20日	16	1.0
8月21日	13	1.0
8月22日	16	0.9
8月25日	28	1.4
合計	73	4.3

### 3. 試験概要

#### 3.1 設計条件

表二に設計条件を示す。

表二 設計条件

項目	品質
一軸圧縮強さ	$\sigma_{28} \geq 500$ (kN/m <sup>2</sup> ) $\sigma_1 \geq 60$ (kN/m <sup>2</sup> )
フロー値	200±20 (mm)
空気量	5±1.5 (%)
ブリーディング率	3%未満

一軸圧縮強さについては明確な基準がなく、通常の改

良砂の埋戻しと同程度の強度が必要になることから、材齢 28 日で 500 (kN/m<sup>2</sup>) 以上とした。この強度は、将来的には再掘削ができる強度である。また、フレッシュ性状（フロー値、空気量、ブリーディング率）については、「流動化処理土マニュアル」<sup>1)</sup> や既往の実績を参考にして、設定した。

### 3.2 使用材料

使用材料を表-3 に示す。

表-3 使用材料

種類	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント
フライアッシュ	苫東厚真発電所 4 号機 WA 密度 2.24g/cm <sup>3</sup> 、強熱減量 1.2% プレーン比表面積 4,110 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	陸砂、栗丘産 密度 2.24g/cm <sup>3</sup> 、強熱減量 1.2%
混和剤	マイクロエア 101
練混ぜ水	上水道水

### 3.3 示方配合

室内試験で決定した示方配合を表-4 に示す。材料投入では初めにセメント、フライアッシュ、細骨材と水を半分ほど投入し、その後、残りの水と混和剤を投入した。

表-4 示方配合

フライアッシュ容積比 f/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
	水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	混和剤 MA101 (%)
30	276	25	438	1,222	0.361

### 3.4 現場試験項目

現場で実施した試験項目を表-5 に示す。

表-5 試験方法

試験項目	試験方法
フロー値	JHS A 313 (シリンダー法)
空気量	JIS A 1128
単位容積質量	JIS A 1116 (プラントのみ)
ブリーディング率	JSCE-F 522 (プラントのみ)
一軸圧縮強さ	JGS 0511
打設深さ	スタッフ
沈下量	沈下測定棒

## 4. 試験施工結果

### 4.1 フレッシュ性状試験（フロー値、空気量）

生コンプラントと現場で各々、フロー値と空気量を測定しているが、その結果を表-6 に示す。生コンプラントと現場の運搬時間は、約 35 分間であり、フロー値は現場の方が大きくなる傾向にあり、空気量は現場の方が小さくなる傾向にあるが（図-1、2 参照）、その差は顕

著ではない。フロー値は、生コン車による 30 分程度の運搬であれば、性状がそれほど変化しないことを示している。空気量は、練り混ぜにより、エントレインドエアが減少したと推定できる。

また、品質管理の面では、図-3、4 に示すとおり現場のフレッシュ性状は、全て品質管理基準を満たしている。品質変動を考慮しても、生コンプラントで平均的な値を設定しておけば、打設現場で品質管理基準を満たすことから特に問題はない。また、生コンプラントにおける単位容積質量の平均は 1.96g/cm<sup>3</sup>であった。

表-6 フレッシュ性状

打設日	配車	経過時間 (分)	フロー値 (プラント)	フロー値 (現場)	差	空気量 (プラント)	空気量 (現場)	差
1日目	1	20	217	213	-4	4.4	5	0.6
	2	40	211	219	8	1.7	4.5	2.8
	3	35	205	211	6	4.7	4.6	-0.1
	4	40	208	210	2	3.4	4.2	0.8
2日目	1	45	195	204	9	4.6	3.8	-0.8
	2	35	193	200	7	4.4	4.7	0.3
	3	35	200	202	2	6.3	5.7	-0.6
	4	40	190	198	8	5	4.8	-0.2
3日目	1	35	180	183	3	5.5	4	-1.5
	2	35	183	185	2	5.5	5.1	-0.4
	3	35	190	193	3	6.1	4.9	-1.2
	4	30	195	204	9	5.5	6.1	0.6
4日目	1	30	190	197	7	6	5.6	-0.4
	2	35	193	189	-4	5.7	5	-0.7
	3	35	185	186	1	6.4	5.4	-1
	4	35	190	190	0	6.3	5.5	-0.8
	5	35	188	194	6	6.3	5.4	-0.9
	6	30	200	198	-2	5.3	5.9	0.6
	7	35	203	205	2	6.6	5.9	-0.7
全体	平均	34.7	195.6	199.0	3.4	5.25	5.06	-0.2

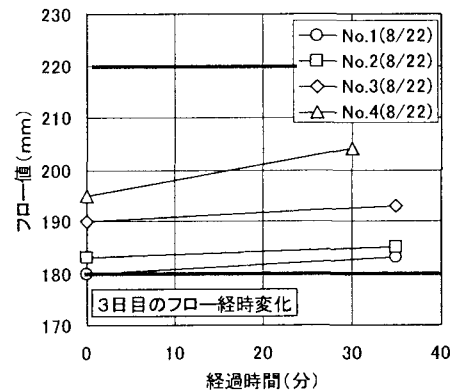


図-1 フロー値経時変化

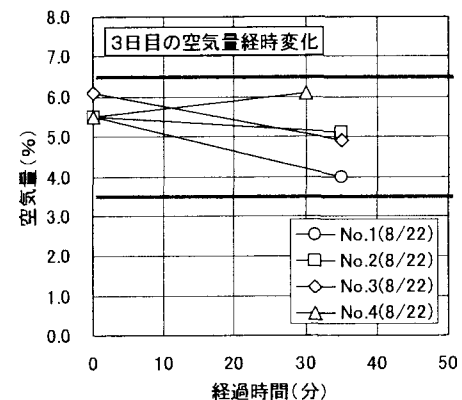


図-2 空気量経時変化

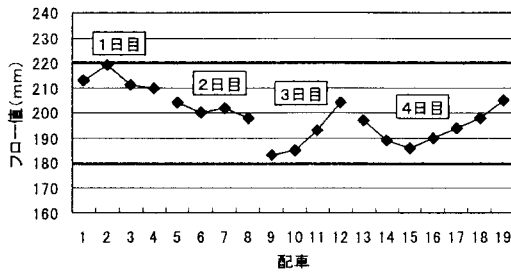


図-3 フロー値品質管理

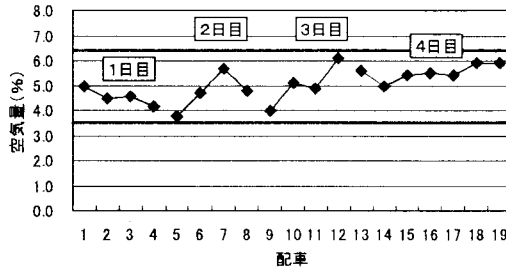


図-4 空気量品質管理

#### 4.2 強度試験（一軸圧縮強さ）

強度試験は、プラントで採取して作製した供試体（ $\phi 10 \times h20$ 、材齢 1,3,7,28,91 日）と現場で採取して作製した供試体（ $\phi 5 \times h10$ 、材齢 7,28 日）と室内で作製した供試体（ $\phi 10 \times h20$ 、材齢 1,7,28,91 日）を用いて、一軸圧縮試験を実施した。結果を図-5 に示す。室内強度は  $\sigma_{28} = 760 \text{ kN/m}^2$ 、現場強度は  $\sigma_{28} = 582 \text{ kN/m}^2$  と目標強度を満たしており、その後も強度が伸びている。室内強度と現場強度を比較すると、材齢 28 日で室内強度は現場強度の 1.31 倍となるが、これは養生条件や供試体のサイズの違い等によると考えられる。また、プラント強度と室内強度を比較すると、プラント強度は  $\sigma_{28} = 788 \text{ kN/m}^2$  と室内強度とはほぼ同等の強度発現となっている。

施工上材齢 1 日の強度も必要となるが、供試体と現場の強度の比較をするために、2 日間打設後（17,22 時間後）の強度として現位置で山中式硬度計で測定した。2 日間共平均 16mm であり、既往文献の相関式にあてはめると<sup>2)</sup>、 $67 \text{ kN/m}^2$  相当で  $\sigma_1 = 60 \text{ kN/m}^2$  を満足し、現場でも強度が出ている。プラント強度は  $\sigma_1 = 174 \text{ kN/m}^2$ 、室内強度は  $\sigma_1 = 138 \text{ kN/m}^2$  であり、これは現場硬度は打設表面のブリーディングの影響を受けた部分で測定したために、供試体強度の方が高強度となったと考えられる。

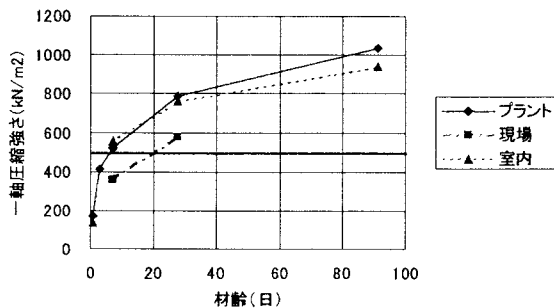


図-5 材齢と圧縮強さの関係

#### 4.3 ブリーディング、沈下

現場では 4 地点で毎日打設後、打設完了深さを測定し、翌日打設 1 日後のブリーディング後の深さを測定し、ブリーディング率（体積収縮率）を求めた。図-6 に打設箇所と測定箇所を示す。

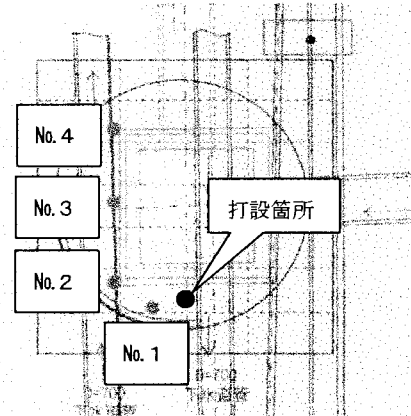


図-6 打設深さ測定箇所

表-7 に測定結果を示す。ブリーディング率は、室内試験で 2.4%、プラント試験で 1.8% に対し、現場の測定では 1 日目の No.3、4 以外はいずれも設計条件の 3% 未満であり、平均で 1.8% であった。打設日毎では、1 日目はブリーディング率が多かったもののその後、小さくなっていることがわかる。これは図-3 および図-4 に示したとおり、1 日目のフレッシュ性がフロー値が大きく、空気量が少なめであり、若干材料分離しやすい傾向にあったためと考えられる。

表-7 打設深さ測定結果

測定箇所	1日目	2日目	3日目	4日目
No.1 1.0m	2.34%	0.50%	1.09%	0.36%
No.2 1.7m	1.90%	1.96%	2.22%	0.71%
No.3 3.4m	3.56%	1.46%	1.10%	1.04%
No.4 5.1m	4.59%	1.90%	1.66%	1.73%

図-7 に流動距離とブリーディング率の関係を示す。流動距離はマンホールや推進管があり必ずしも正確なものではないが、流動距離が一番近い No.1 がブリーディング率が小さく、一番遠い No.4 がブリーディング率が大きくなっている傾向にあり、打設箇所から遠いほどブリーディング率が大きくなる。しかし、1 日目を除いて流動距離による影響は少なく、材料分離はほとんどせず流動性が良く充填性は良好であると考えられる。

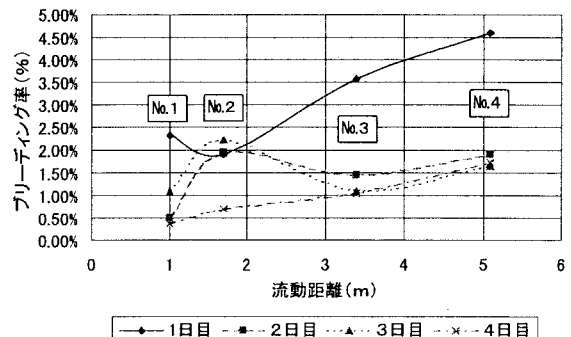


図-7 流動距離とブリーディング率の関係

施工後、沈下棒により CLSM 硬化後の沈下測定を実施した結果を表一8に示す。打設2日後から19日後までの総沈下量は2mmであり、硬化後の体積収縮は無視できるものと考えられる。

表一8 沈下測定管理

測定月日	測定高さ (m)	備考
8/27	18.496	沈下測定棒設置
8/28,29,30	18.495	
9/6,13	18.494	

#### 4.4 生コンプラントの状況

今回、一般的な生コンプラントを使用して CLSM を製造したが、単位量の少ないセメントの計量精度が強度に影響することが懸念されたため、慎重を期しセメントを手動計量とした。このため、一般コンクリートの配合で自動計量する場合と比べ、練混ぜ時間が長くなった。また、フロー値、空気量試験を出荷台数毎に実施したため、生コン車1台分(4m<sup>3</sup>)の製造時間は15分程度を要した。今後、CLSMの汎用性を目指していくうえで、CLSMに対応した設備の検討等、製造時間短縮が課題である。

#### 4.5 打設時間

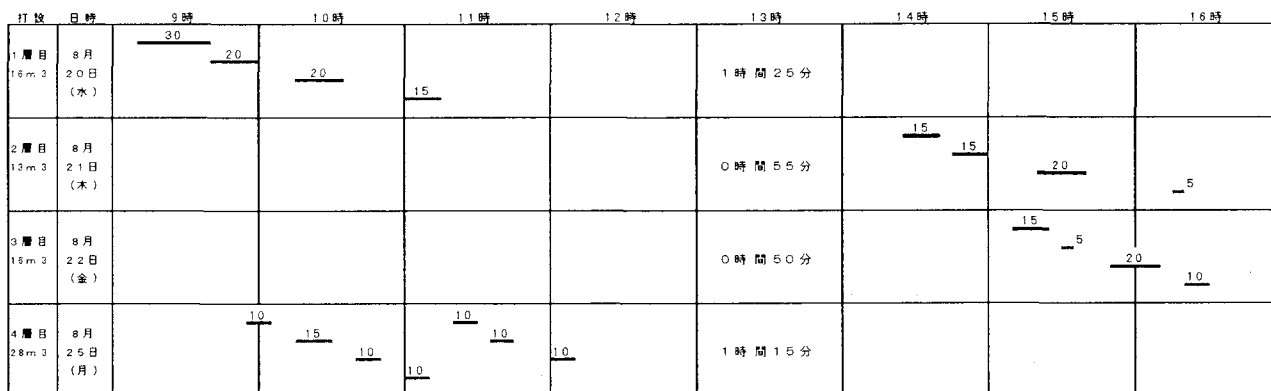
4日間の1車(4m<sup>3</sup>)当たり打設時間の平均は、14.44分であった。(表一9)打設1日目は施工当初であったことから、平均21.25分かかったが、2日目16.67分、3日目12.5分、4日目10.71分となり、施工に習熟するに従い、打設時間が短縮している。

表一9 打設時間(分)

	1車目	2車目	3車目	4車目	平均
8/20	30	20	20	15	21.25
8/21	15	15	20	5*	16.67
8/22	15	5	20	10	12.5
8/25	10	15	10	10	10.71
	10	10	10		
全体	18車				14.44

\*) 8/21の4車目は1m<sup>3</sup>の打設であるため、3車の平均とした。

現場における施工サイクルは、図一8に示すとおりで



図一8 施工サイクル

ある。実打設時間は、4日間合計で4時間25分、また待ち時間を含めた総施工時間は7時間35分となった。打設量73m<sup>3</sup>から時間あたり打設量を計算すると、実打設時間あたり16.5m<sup>3</sup>/h、総打設時間あたり9.6m<sup>3</sup>/hとなり、待ち時間の短縮が施工性向上の重要な要因と考えられる。

#### 5. まとめ

今回、札幌市下水道局の立坑埋戻し箇所に、CLSMで試験施工した結果、以下の知見が得られた。

- (1)生コンプラントと現場でフレッシュ性状(フロー値、空気量)を測定した結果、運搬時間35分の範囲ではほとんど変化はなく、また、現場でのフレッシュ性状は全て品質管理基準値内であることを確認した。
- (2)材齢28日の一軸圧縮強さは、プラント強度は室内強度と同等となり、また、室内強度は現場強度の約1.3倍となった。また、原位置で材齢1日の必要強度が出ることを確認した。
- (3)現場におけるブリーディング率は平均で1.8%であり、室内試験と同様、設計条件を満足した。また、CLSM硬化後の沈下もほとんど認められなかった。
- (4)一般的な生コンプラントで製造可能であることを確認できたが、汎用性を目指すためには製造時間の短縮化が課題である。
- (5)1車当たりの打設時間は平均14分であったが、最終日は10分程度になった。待ち時間を少なくし、連続的に出荷することが、施工性向上のために重要と考えられる。

今後は更に施工を積み重ね、プラントや現場の施工性の課題を検討することおよび普及に向けて低コスト化や汎用性、耐久性を考慮しながら、この技術の確立を目指していく所存である。最後に本検討にあたり、御指導・御協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1)建設省土木研究所ほか：流動化処理土の利用技術に関する共同研究報告書—流動化処理土利用技術マニュアル—、pp42、1997。
- 2)佐藤賢次、白戸伸明、工藤雄一：スリップフォーム工法による貯炭サイロの施工、電力土木No.294、pp39-43、2001。