

北海道電力苫東厚真発電所4号機 増設工事における貯炭サイロの施工

白戸 伸明・寺田 卓雄・渡部 貢

北海道電力株式会社^{とまとうあつま}苫東厚真発電所4号機の貯炭サイロは、外径23.4m、高さ35.6mで、貯炭容量は7,000t/基×3基である。その基礎に深層混合処理工法を採用したが、処理機への電力供給は、環境対策としてディーゼル発電機の代わりにCO₂削減を考慮した乾式トランス方式とした。また、筒体の施工にはスリップフォーム工法を採用し、さらに、工期短縮、コストダウン及び安全性向上を目的として、79tの屋根鉄骨を同時リフトアップする工法を採用した。

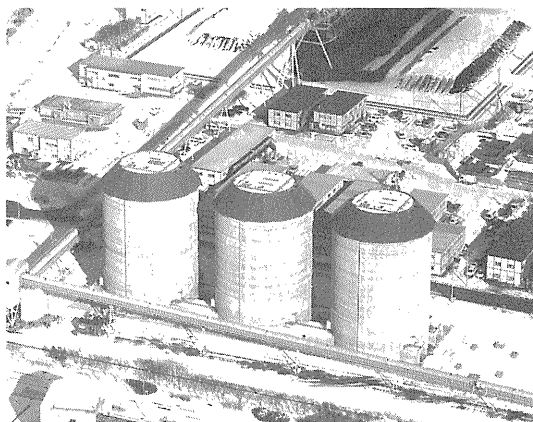
キーワード：貯炭サイロ、深層混合処理、CO₂削減、スリップフォーム、リフトアップ

1. はじめに

北海道電力株式会社^{とまとうあつま}苫東厚真発電所4号機（最大出力70万kW、微粉炭燃焼）は、運転稼働中の既設ユニットに隣接して建設するもので、現在、機械電気工事の最盛期で、平成14年6月の運転開始を目指している。

4号機増設工事のうち貯炭サイロの施工は、熊谷・三井・地崎共同企業体が担当し、平成11年2月10日から平成12年12月20日の22ヵ月の工期で実施した（写真—1参照）。

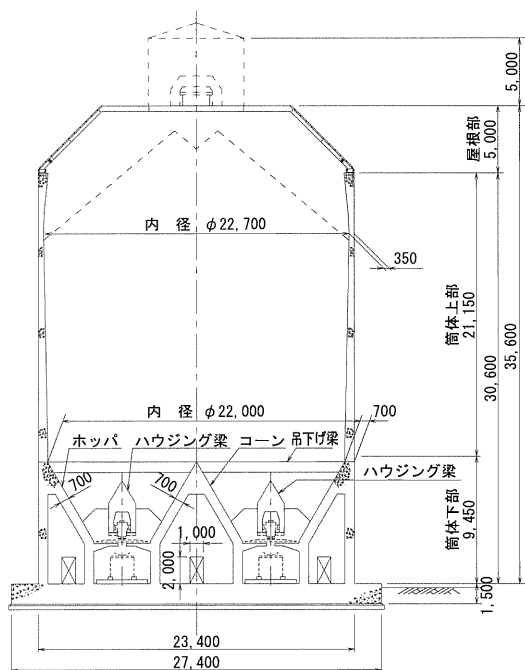
貯炭サイロは、外径23.4m、高さ35.6m、貯炭容量7,000t/基×3基で、石炭を払出す筒体下部はRC構造、石炭を貯蔵する筒体上部は、PRC



写真—1 貯炭サイロ完成状況

(Prestressed Reinforced Concrete) 構造である。筒体の施工方法は、筒体下部をプレキャストコンクリートを併用した在来工法、筒体上部をスリップフォーム工法¹⁾で施工した。また、スリップフォームの上昇と同時に屋根鉄骨をリフトアップする工法を採用した。

基礎工法は、深度23m付近の砂礫層を支持層としたセメントにフライアッシュを混合した深層混合処理工法²⁾ (FCDM: Fly-ash Cement Deep



図—1 貯炭サイロ断面図

Mixing)を施工し、基礎スラブは、厚さ1.5m幅27.4m×長さ89.7mで、3基一体型の長方形スラブである。

FCDMの重要構造物基礎への採用は国内初の試みである。貯炭サイロの断面図を図-1に示す。

2. 深層混合処理工

(1) 概要

深層混合処理の改良形式は、接円ブロック方式(径1.0m×2軸,改良率78.5%)で、平均改良長は20.3m、施工数量は1,275セット、改良体積は約40,700m³である。

施工は、後工程の制約から深層混合処理機3台による昼夜施工を実施した。

深層混合処理機は、改良地盤に層厚1~2mの硬質地盤(砂礫層, N値30~50)が介在するため、貫入力および回転力の増加を図る目的で、50t級ベースマシン, 90kWモータを採用した。また、ビットについては、硬質型とし、最下段の攪拌翼には、硬質特殊鋼を取付けた。

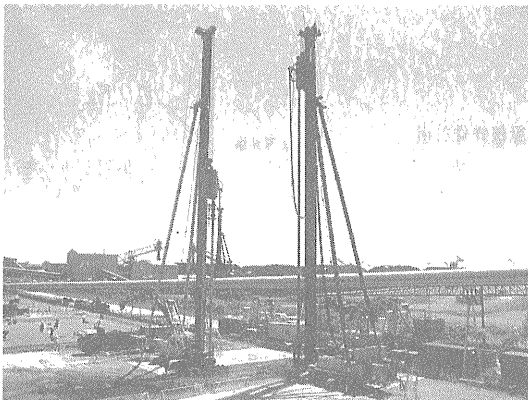


写真-2 深層混合処理施工状況

(2) 環境対策

環境負荷低減への取組みとして、CO₂削減のために、深層混合処理工において、オーガモータの動力源として乾式トランスを深層混合処理機に搭載し、当発電所からの供給電力により施工した。その結果、従来の化石燃料(軽油)を消費する発動発電機(ディーゼルエンジン駆動)使用による方法と比較して、CO₂排出量を大幅に削減した。

また、電力を3,300Vで供給することにより、電源ケーブルのサイズ縮小が可能となり、良好な作業性も確保することができた。

CO₂排出量の比較のための算出期間としては、使用電力が深層混合処理工に限定された平成11年6月1日から平成11年9月6日とした。対象改良体積は、17,726m³である。

(a) 供給電力(乾式トランス方式)によるCO₂排出量

① 算出期間の使用電力量(積算電力計による) 136,650(kWh)

② CO₂排出量原単位(電力)(北海道電力1999年実績値) 0.46(kg-CO₂/kWh)

①, ②により, CO₂排出量
=136,650(kWh)×0.46(kg-CO₂/kWh)
=62,859(kg-CO₂)

(b) 発電機方式によるCO₂排出量

① 化石燃料(軽油)消費量

- 発動発電機(450kVA)運転1日(8時間)あたりの燃料消費量(CDM研究会「設計と施工マニュアル」より) 398(ℓ/8h)

- 一方での消費量(一方は, 7:00~19:00)
398(ℓ/8h)×11h/8h=547.25(ℓ/方)

- 延施工方数 159(方)

以上より

化石燃料(軽油)消費量

=547.25(ℓ/方)×159(方)

=87,013(ℓ)

② CO₂排出量原単位(軽油) 2.7(kg-CO₂/ℓ)

①, ②により, CO₂排出量

=87,013(ℓ)×2.7(kg-CO₂/ℓ)

=234,935(kg-CO₂)

(a), (b)の比較により図-2に示すように,

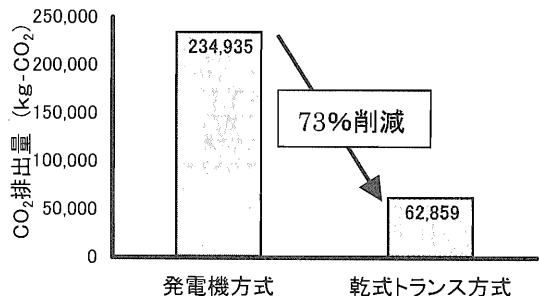
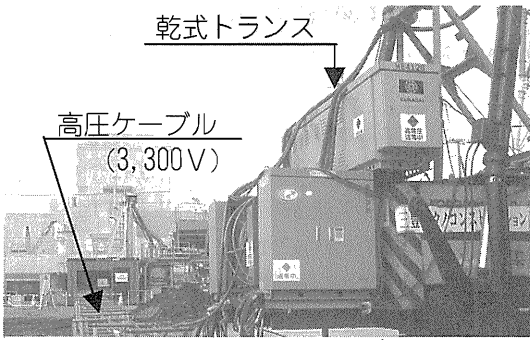


図-2 CO₂排出量



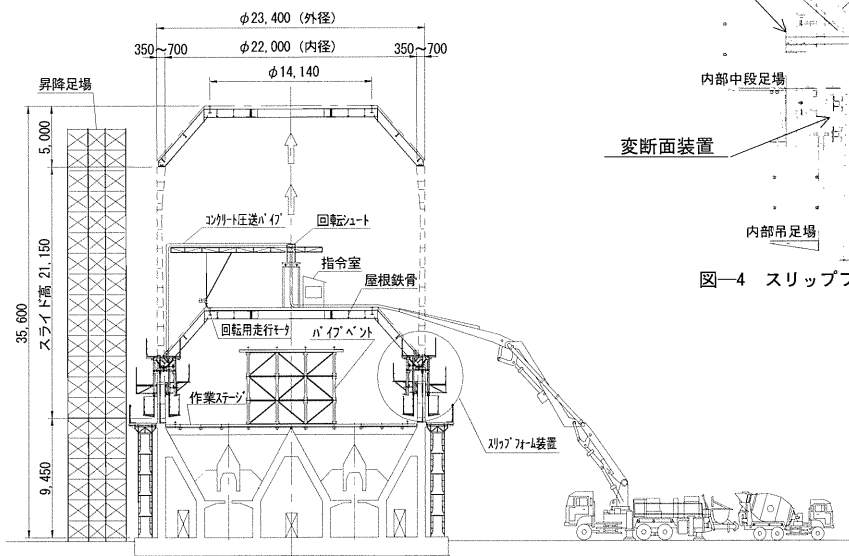
写真—3 乾式トラス搭載状況

乾式トラス方式により CO₂ 排出量を 73%削減することができた。

3. スリップフォーム工

(1) 施工概要

筒体上部の施工に、スリップフォーム工法を採用した。また、筒体下部上で屋根鉄骨を組立て、スリップフォームの上昇と同時に屋根鉄骨をリフトアップする工法を採用し、コストダウン、工程の短縮および高所(約 36 m)における鉄骨架設作業を省略し、安全性を向上させた。なお、同時リフトアップした鉄骨重量は 79 t で、当時国内の最大重量であり高度な施工技術を要した。スリップフォームの設計荷重を表—1 に示す。



図—3 スリップフォーム概要図

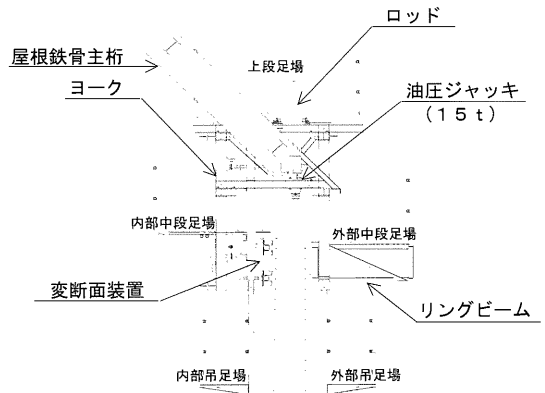
表—1 スリップフォームの設計荷重

設計荷重	ジャッキ能力		
	装置重量	15 t×16 台	240 t
屋根鉄骨重量	79 t	10 t×32 台	320 t
周面摩擦力	42 t	—	—
上載荷重	80 t	—	—
計	309 t	計	560 t

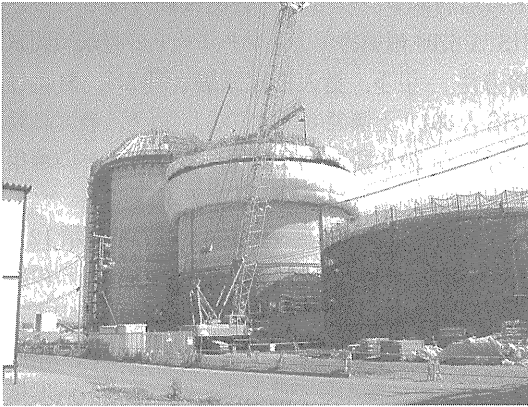
スリップフォームの施工寸法は、外径 23.4 m、壁厚下部 70 cm～上部 35 cm、高さ 21.15 m (GL +9.75～30.9) で、3 基合計の施工高さは 63.45 m である。スリップフォーム概要図を図—3、装置断面図を図—4、主要設備を表—2 に示す。非常用電源としてスリップ時の停電に対処するため、停電を感知し、自動的に運転する発電機を設置した。

表—2 スリップフォームの主要設備

名称	仕様・数量
ヨーク	48 基、型枠高さ 1.2 m
上昇装置	油圧ジャッキ 15 t×16 台, 10 t×32 台, 操作盤 1 式
ロード	φ76.3×16 本, φ48.6×32 本
レベル制御装置	タンク 1 箇所, 電極水準器 48 本
変断面装置	可動型枠 48 箇所
偏心計測装置	レーザ発振器 2 台, CCD カメラ 2 台, パソコン 1 台
打設装置	回転シャフト 1 台, ホッパ 32 箇所
非常用電源	発電機 50 kVA



図—4 スリップフォーム装置断面図



写真—4 スリップフォーム施工状況

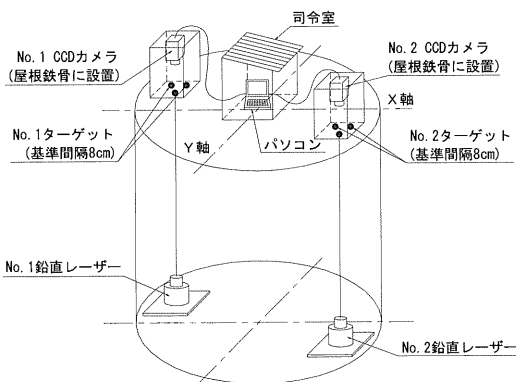
(2) 屋根鉄骨リフトアップ

筒体下部コンクリートの終了後、筒体下部上に作業ステージおよびパイプベントを設置し、屋根鉄骨を組立て、鉄骨の主桁を、筒体壁を跨いで設置する門型のフレーム（ヨーク）に連結させ、スリップフォームの上昇と共に同時リフトアップした。重量鉄骨の同時リフトアップのため、ヨークの筒体外側をリングビームで補強し、また、主桁部分には 15 t ジャッキを配置した。

(3) 筒体精度

屋根鉄骨同時リフトアップ工法の採用により、スリップフォームによる筒体の精度が、そのまま、屋根鉄骨上に架設される運炭設備の精度に影響を及ぼすこと、さらに、同時リフトアップされる屋根鉄骨が国内最大級重量であることから、厳しい精度管理が求められた。

精度管理は、2組の鉛直レーザと CCD カメラ



図—5 筒体の計測システム

表—3 筒体精度の実績

サイロ	偏心 X 方向	偏心 Y 方向	回 転 (度)
A	-1.0 mm	0.6 mm	0° 4' 38"
B	-11.1 mm	11.2 mm	0° 5' 23"
C	1.2 mm	17.2 mm	0° 0' 09"
管理値	±20 mm	±20 mm	—

X: コンベヤ軸方向, Y コンベヤ軸直角方向

により偏心を計測し、その座標位置を司令室のパソコンに表示するシステムとした。

筒体の計測システムを図—5、筒体精度の実績を表—3 に示す。

筒体位置をリアルタイムにモニタリングし、ロッドの勾配および水準器の調整等による修正により筒体完成後の偏心量は、20 mm 以内で、貯炭サイロの機能上の精度を満足するものであった。

(4) コンクリートの打設方法

スリップフォーム工法は、コンクリートの打設および型枠の上昇を連続的に繰返すもので、コンクリートは数時間で脱型されるため、この時点において、コンクリートの自立する強度が必要となる。このためスリップフォーム工法に採用するコンクリートにおいては、打設数時間後の強度の発現性とその品質管理が重要である。また、コンクリート打設と平行して鉄筋の組立ておよび PC のシース管設置等の作業を行うので、施工速度の管理は工程の確保からも重要である。

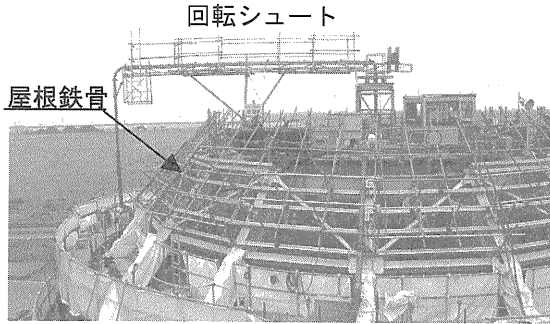
コンクリートは、地上のポンプ車により圧送し、同時リフトアップされる屋根鉄骨上に設置した回転シュートにより打設した。

コンクリートの打設は全体工事工程および経済性を検討のうえ昼夜連続打設とせず毎日昼間打設とした。

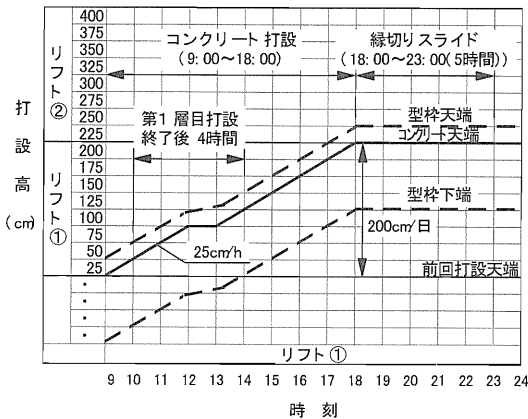
スリップフォームコンクリートの標準打設工程を図—6 に示す。

打設工程は、1層目のコンクリート打設終了後1層厚分の型枠をスライド (5 cm/回×5 ストロークのジャッキアップ) し、以降次層の打設および型枠スライドを1時間 25 cm/層の速度で繰返すと、1層目打設終了後4時間後に当日打設したコンクリートが脱型され (型枠高は 1.2 m) 露出する。

コンクリートの打設終了後、以降 23 時まで (5 時間) 10 分間隔の自動運転で上昇下降 (3 cm) を



写真—5 コンクリート打設状況



図—6 標準打設工程

繰返し縁切りのスライドを行う。また、型枠スライドごとに変断面調整装置を手動操作し壁厚を変更する。なお、打設速度は、当日の平均養生温度から脱型可能時間を推定し決定するものである。

(5) 品質管理

(a) 試験方法

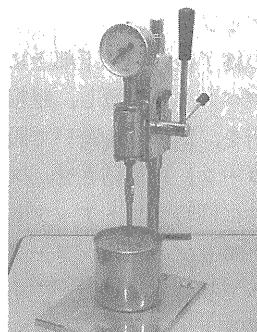
スリップフォーム工法の型枠上昇時の若材齢のコンクリート強度試験としては、通常、圧縮強度試験および鉄筋棒貫入試験が用いられているが、圧縮強度試験は強度を直接的に評価できるがコストが高く、一方、鉄筋棒貫入試験はコストは低いが主観的要素のある試験という特長がある。

鉄筋棒貫入試験は、打設したコンクリートの上端から直径 16 mm の丸鋼鉄筋を人力で貫入し、鉄筋の先端が止まる高さ（硬化高さ）を測定する試験で、この硬化高さと圧縮強度の相関からコンクリートの自立強度を判断するものである。

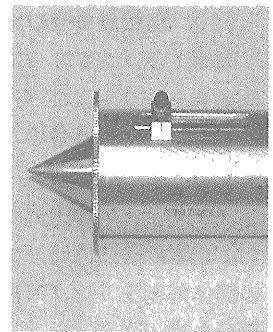
本施工においては、定量的、簡易かつ低コスト

な若材齢コンクリート強度試験方法として、JIS A 6204 附属書 1「コンクリートの凝結時間試験方法」（以下、貫入抵抗試験と呼ぶ）、および JIS A 601「土壌硬度試験方法」（以下、硬度試験と呼ぶ）、の 2 種類の試験法に準拠してその適用性を検討した。

貫入抵抗試験（写真—6 参照）は、断面積 12.5 ~ 100 mm² の貫入針を 25 mm 貫入させた時の貫入に要する力、貫入抵抗値 (N/mm²) を測定するもので、硬度試験（写真—7 参照）は山中式土壌硬度計を鉛直に貫入して貫入時の抵抗による硬度指数 (mm) を測定するものである。



写真—6 貫入抵抗試験装置



写真—7 硬度試験装置

なお、試験料は、5 mm ふるいでウェットスクリーニングしたもので、試験値は 3 回の平均値、試験容器はいずれもコンクリート凝結時間試験で規定されているものを使用した。

フレッシュコンクリートおよび若材齢の品質管理試験項目を表—4 に示す。若材齢強度試験として圧縮強度、貫入抵抗、硬度および硬化高さ試験を実施し、各試験値の相関性を検討した。なお、供試体は、1 層目で最も遅く打込むコンクリートより採取し、現場と極力同一条件になるように養生した。

表—4 品質管理試験

試験項目	試験方法	試験頻度
スランプ	JIS A 1101	打設日毎
空気量	JIS A 1128	打設日毎
練上り温度	棒状温度計	打設日毎
筒体温度	熱電対	打設日毎
圧縮強度	JIS A 1216	各筒体 3 打設日
貫入抵抗	JIS A 6204 附属書 1 に準拠	打設日毎
硬度	JIS A 601 に準拠	打設日毎
硬化高さ	鉄筋棒貫入	打設日毎

(b) 試験結果

鉄筋棒貫入による同一時刻の硬化高さと同圧縮強度の関係を図-7に示す。硬化高さと同圧縮強度に相関性 ($R^2=0.678$) があるが、ややばらつきが見られる。

貫入抵抗値および硬度指数と同圧縮強度の関係を図-8、図-9に示す。貫入抵抗値および硬度指数と同圧縮強度の関係 (貫入抵抗値 $R^2=0.860$, 硬度指数 $R^2=0.905$) は、硬化高さと同圧縮強度の関係に比べ相関性が高く、これらの測定値から若材齢のコンクリート同圧縮強度の推定ができ、型枠脱型時間の判定が可能であると判断された。

打設後3~6時間程度のコンクリートは、セメントの水和反応による凝結が終結していない状態

の硬化前のコンクリートであるため、5mmふるいでウェットスクリーニングしたモルタルの貫入抵抗値および硬度指数を測定することにより、コンクリートの強度としての評価に適用が可能で、よって同圧縮強度との相関性が高いと考えられた。

なお、脱型強度に必要なコンクリートの同圧縮強度 0.06 N/mm^2 に相当する貫入抵抗値は 1.0 N/mm^2 , 硬度指数は 14 mm であった。

本施工は、平均養生温度と同型枠脱型可能時間との関係により脱型時間を推定し、さらに若材齢のコンクリート強度試験として、貫入抵抗および硬度試験を実施し、脱型可能であることを確認のうえ、型枠の上昇を実施した。

(6) スリップフォームの施工実績

スリップフォームは、平成12年4月17日にAサイロ(1基目)のコンクリート打設を開始し、平成12年8月31日にCサイロ(3基目)のコンクリート打設を終了した。

スリップフォームの施工期間が4月中旬~8月下旬の4.5ヵ月にわたり、施工期間の外気温が $4\sim 29^\circ\text{C}$ で気温差が 25°C に及び、気温の上昇に伴い若材齢強度が増加し日上昇高も増加した。

1基あたりの施工日数は、暦日でAサイロが33日、Bサイロが23日、Cサイロが25日であった。スリップフォーム装置の移動に暦日で平均28日の計56日を要し、3基合計で137日にわたり順次施工した。なお、各サイロスリップフォーム期間には5日/基の屋根鉄骨の盛替えおよびアンカーボルト設置期間が含まれている。スリップフォームコンクリートの総打設量は約 $2,610 \text{ m}^3$, 日最大打設量は 140 m^3 , 日最大上昇高は 3.00 m であった。

低温期 ($4\sim 18^\circ\text{C}$) の施工となったAサイロについては、対策としてコンクリート練混ぜ水に温水使用、型枠背面に硬質発泡ウレタン (20 mm) の吹付け、防寒シートの設置および気温 10°C 以下の場合にはヒータによる給熱養生を実施した。

4. おわりに

苫東厚真発電所4号機増設工事のうち貯炭サイロ工事は、平成12年12月に無事竣工した。

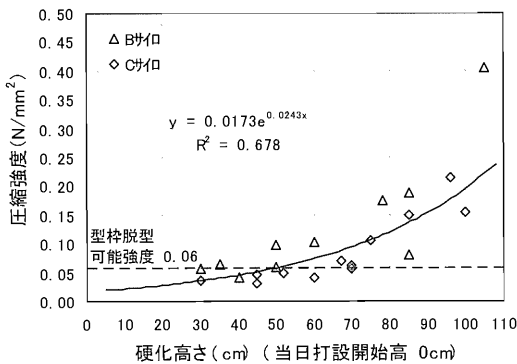


図-7 硬化高さと同圧縮強度の関係

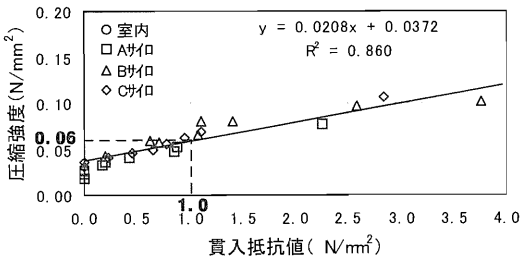


図-8 貫入抵抗値と同圧縮強度の関係

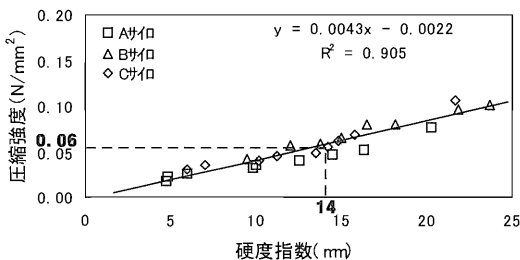


図-9 硬度指数と同圧縮強度の関係

深層混合処理工においては、乾式トランス方式により CO₂ 排出量を大幅に削減できたが、今後、同種工事に適用され地球環境保全の一助となれば幸いである。また、国内最大級重量の屋根鉄骨を同時リフトアップしたスリップフォーム工法においては、施工期間の気温差が 25℃ に及んだが、適切な施工管理により十分な品質および施工精度を確保できた。

最後に、本施工にあたって、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。

J C M A

《参考文献》

- 1) 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, pp.39-43 (2001.7)
- 2) 白戸伸明, 松浦正典, 工藤雄一: 深層混合処理工法による貯炭サイロ基礎の設計と施工について, 電力土木, No. 291, pp.51-55 (2001.1)

〔筆者紹介〕

白戸 伸明 (しらと のぶあき)
北海道電力株式会社
苫東厚真火力発電所建設所
土木課
総括主任



寺田 卓雄 (てらだ たくお)
株式会社熊谷組
本社土木本部
土木部課長
(元, 苫東厚真 4 号機増設工事土木本工事
4 工区 JV 所長)



渡部 貢 (わたなべ みつぐ)
株式会社熊谷組
北海道支店
土木事業部工事グループ
(元, 苫東厚真 4 号機増設工事土木本工事
4 工区 JV 副所長)



絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、とても解いやすく表現している、新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5版 70頁 定価650円(消費税込) 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289