

パンタドーム・プッシュアップ工法による 大規模石炭中継施設の鉄骨屋根建設

貞 永 誠

日石三菱下松石炭基地は、海外より大型外航船で輸送された石炭を一時貯蔵し、小型内航船で瀬戸内沿岸に位置する発電所へ小分け輸送するための中継基地（貯炭容量 30 万 t）である。その貯炭サイロは、山形断面架構で構成されるリング状変則七角形の大屋根であった。この屋根架構の構築に当たり、安全性向上・施工効率向上、工期短縮などに効果のあるパンタドーム・プッシュアップ工法を採用した。このような架構形状への適用は世界初であり、プッシュアップ重量、面積、揚程とも最大級の実施となった。

キーワード：貯炭施設，パンタドーム構法，プッシュアップ工法，ベアロック

1. はじめに

石炭貯炭施設が市街地から比較的近くに建設される場合、炭塵飛散対策、景観確保などの要求により屋内形式サイロが必要とされる。このような場合、用途を考慮すると安全で経済的な形態が必要である。

そこで野積み状態の石炭山を覆う機能を考えると簡易な屋根が経済的であり貯炭容量を確保するためには大空間屋根が効率的である。日石三菱下松石炭中継基地の貯炭サイロは単純な山形架構で構成する大屋根で計画された。

本報文は、この大屋根状サイロの建設に際して、大空間を合理的に構築できるパンタドーム・プッシュアップ工法を適用した概要を述べるものである。

2. パンタドーム構法の概要

パンタドーム構法は法政大学の川口衛先生が1981年に考案された。この構法は電車のパンタグラフのように、折畳んだ形で鉄骨を地組みした後、押上げることにより折畳み形状を開き、完成形を構築する構法である（図-1参照）。これにより高所作業の低減が図れ安全性が向上し、揚重作業等の低減により頂部の作業効率の向上を図れる。さらに押上げ施工中の風や地震のような水平

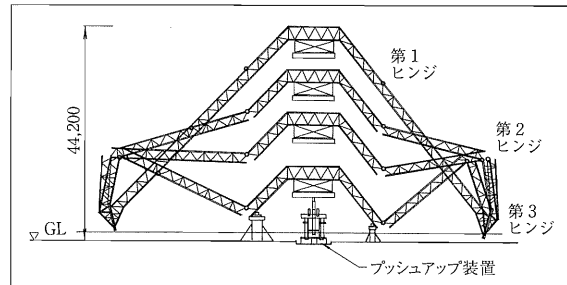


図-1 構工法概要図

表-1 パンタドーム構法実績一覧

建物名	竣工年	プッシュアップ面積 (m ²)	プッシュアップ重量 (t)	揚程 (m)
ワールド記念ホール	1984	11,900	1,500	20.0
シンガポール・インドアスタジアム	1989	13,000	1,200	20.3
パラウ・サン・ジョルディ	1990	13,000	2,000	28.6
サドーム福井	1995	10,400	4,300	25.3
なみはやドーム	1996	12,602	1,607	28.7
奈良市民ホール	1998	6,813	4,660	13.5
日石三菱下松石炭中継基地	2001	60,000	6,500	30.1

表-2 日石三菱下松石炭中継基地

建設地	山口県下松市東海岸通り
用途	石炭サイロ（貯炭量 30 万 t）
最高高さ	45 m（塔屋 51 m）
屋根面積	60,000
総合エンジニアリング	中国電力
建築主	日石三菱
設計施工	日石三菱油エンジニアリング 竹中工務店・三井建設・竹中土木 JV
工期	1999年7月～2001年4月（22ヵ月）

力に対して、架構部材が有効に作用すること、そして一般に上昇に伴い押し上げ反力が減少してゆき、架構が安定していくなどの特徴を持っており、施工安定性が高く合理的な構法である。

パンタドーム構法の実績(表—1参照)は、神戸ワールド記念ホールを始め、国内では4件、また海外の2件と合せ、当プロジェクトで7件目となる。中でも当プロジェクト(表—2参照)はプッシュアップ面積、重量、揚程とも最大級であり、平面トラスの山形架構で構成される変則七角形のリング状構造物へ適用することは世界でも初めてであった。

3. 石炭中継基地の概要

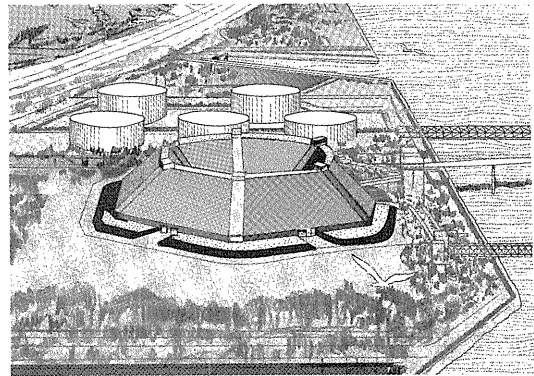
日石三菱下松石炭中継基地は、海外より大型外航船(10万t級)で輸送された石炭を一時貯蔵し、小型内航船(5,000t級)で瀬戸内沿岸に位置する中国電力の新小野田発電所や下関発電所へ小分け輸送するための中継基地(貯炭容量30万t)である(図—2参照)。

石炭の輸送経路(図—3参照)は、自動石炭荷揚げ設備(セルフ・アンローダ)を装備した大型船よりジャンクションタワー(JT)を経由したコンベヤで建屋内まで搬送され、サイロ建屋頂部のコンベヤで、環状に6個配置された積上げ位置まで運び、落下させることにより積上げ、円錐状の5万tの石炭山を積上げる。

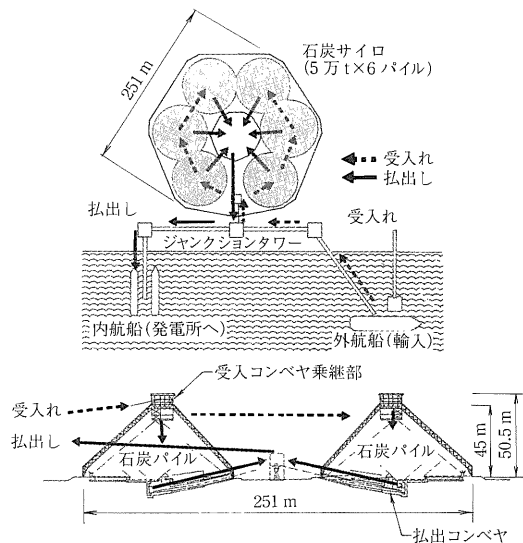
また払出し経路は、積上げ下部の地下洞道の落とし口からコンベヤに落とし、コンベヤに落ちた石炭は、施設中央部を經由しジャンクションタワーで接続されたコンベヤで搬送され小型の内航船へ積み込まれる。なお石炭山を地下洞道内のコンベヤに自動で効率的に載せるために、積上げ部の下で振動を与え、落とし口から地下コンベヤに落とし、自動的に払出す石炭自動払出し装置(SPD; Storage Pile Discharger)や、長さ22.5mの巨大スクリュウが回転すると同時に旋回し大量の石炭を集積する集積装置(RFR; Rota Rec All Fuel Reclaimer)など最新の設備が導入されている。取扱い量は年間約270万tで国内22箇所の石炭基地の中で3番目の規模である。

建屋の外形寸法は251m、建設面積は約40,000

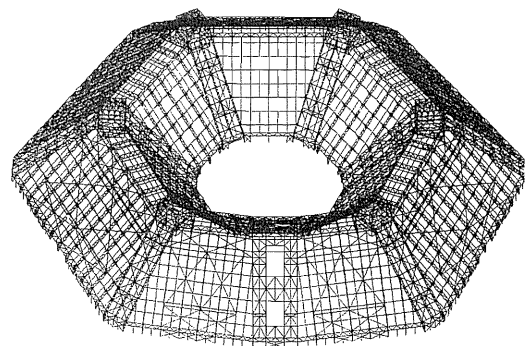
m²、建屋高さは45mである。また石炭積上げ部地盤は変形を抑制するため石炭灰を利用した地盤改良を行っている。



図—2 完成パース



図—3 運用フロー(平面・断面)



図—4 屋根架構アクソメ

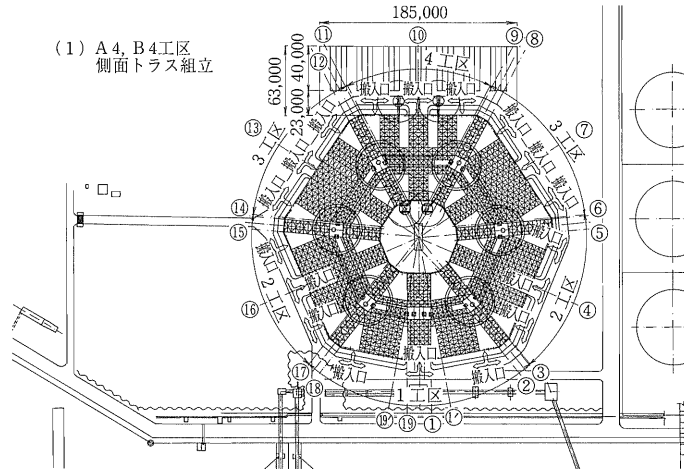


図-5 平面計画図

4. サイロ屋根の概要

屋根の目的は主に炭塵飛散対策である。屋根は、リング状に配置された6つの高さ約35mの石炭山（パイル）を覆うために山形断面架構が、平面的にリング状変則七角形を形成している大規模な計画である（図-4参照）。

屋根構造は鉄骨造、仕上げは膜（C種膜：PVCコーティングポリエステル膜）である。また屋根頂部はアルミ亜鉛めっき鋼板の折板で、塔屋の開口部は電動ガラリとなっている。屋根の面積は約60,000m²である。

5. 工法計画の概要

プッシュアップ時の重量は、鉄骨重量と先行で取付けた搬送設備や仕上げ材などで約64,000kN（6,500tf）で揚程は30.1mであった。

施工手順は、まず仮受け構台（ベント構台）と

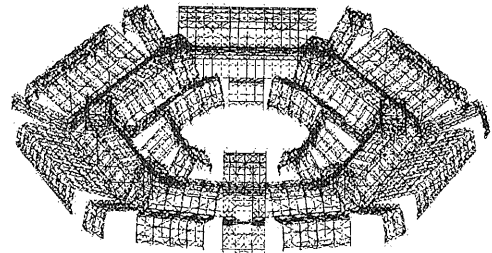


図-7 地組み時架構図

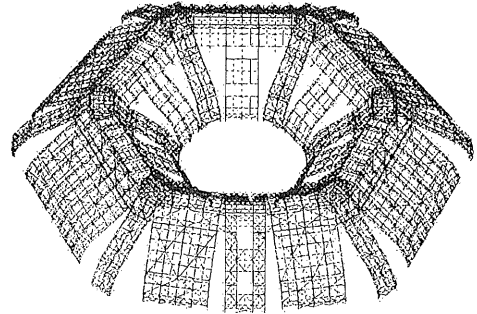


図-8 プッシュアップ完了架構図

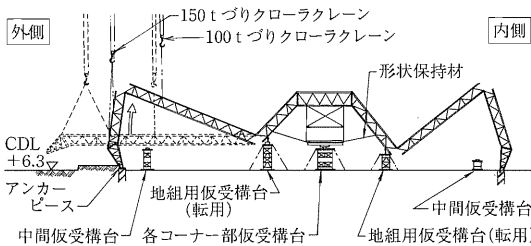
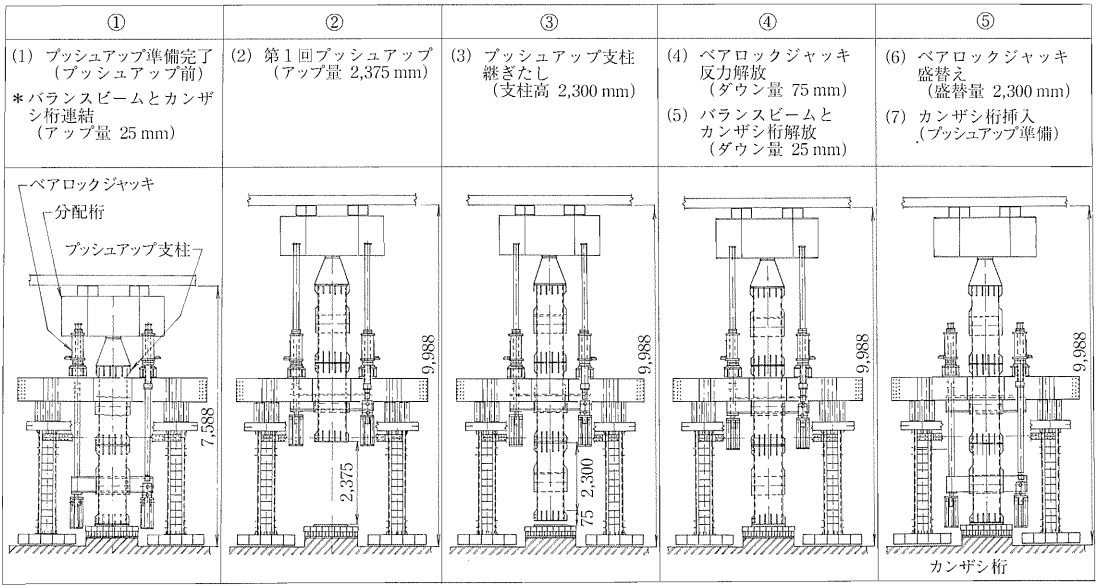


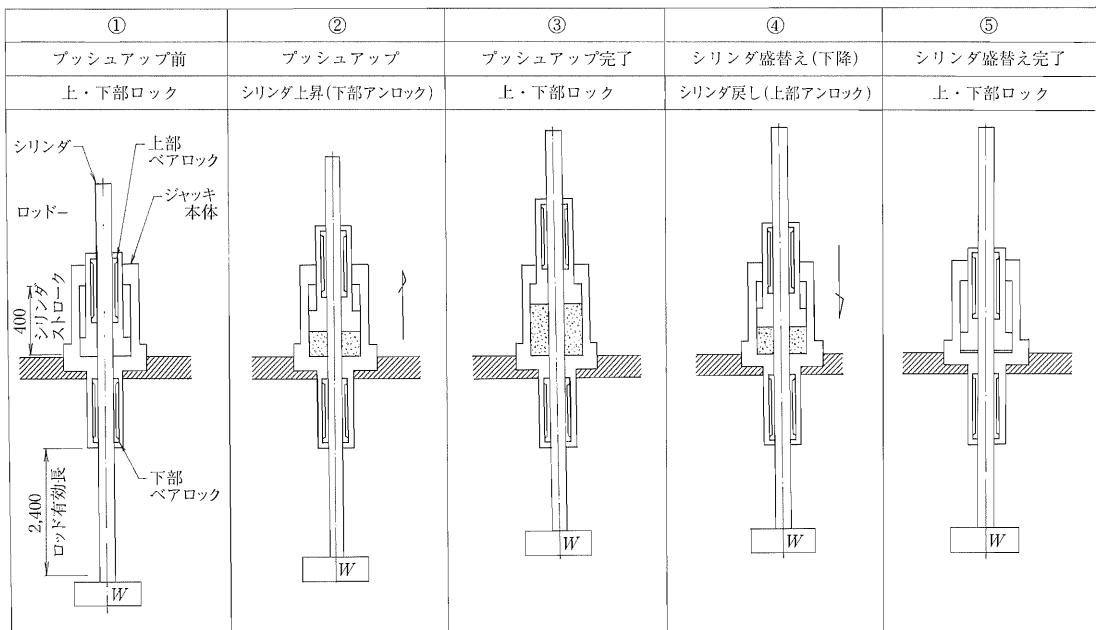
図-6 地組み断面計画図

プッシュアップ装置を設置後、あらかじめ部材地組みヤードで組立てた部材を低い位置で組立て、パンタの折畳んだ地組み形状を作る低位置地組みを行う。低位置地組みと同時に膜下地金物、頂部の搬送設備及び仕上げは先行取付けする（図-6参照）。

低位置地組み完了後、架構重量を仮受け構台からプッシュアップ装置に移す地切りを行う。続いて全揚程30.1mのプッシュアップ作業を行う（図-7、図-8参照）。



図—9 支柱継足しフロー



図—10 ベアロックジャッキフロー図

プッシュアップ完了後にヒンジ部取合い部材や閉合部材の後付け部材を取付け、本締め、溶接を行いプッシュアップ装置、仮受け構台を撤去し鉄骨工事を完了する。その後、膜張り工事を行い大屋根の施工完了となる。

プッシュアップ装置セット数は14セットで、ジャッキはベアロックジャッキ、支柱は継足し方

式を選定した(図—9参照)。装置の構成は、継足し支柱、かんざし桁、荷重分配用バランスビーム、ベアロックジャッキ(4台/セット)からなり、予想荷重2,450~3,240kN(250~330tf)に対し、2,940kN(300t)耐力(8組)と3,920kN(400t)耐力(6組)のタイプの装置を併用し、14セットの同調システムを新たに開発して、自動集中制

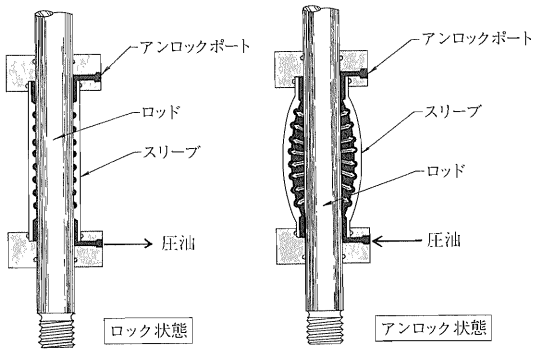


図-11 ベアロック作動原理

御操作方式でプッシュアップ作業を行った。

ベアロックジャッキは、センターホール型ジャッキシリンダとロングロッド、上部下部各一組のベアロックで構成されており、400 mm ストロークのジャッキシリンダと上・下のベアロックを連動して、「ロック」「アンロック」操作を繰返し、ロングロッドを上昇または下降させる（図-10 参照）。

ロッドの長さは2.4 m でジャッキ（ストローク 400 mm）の上昇盛替えを6回繰返す事で1ステップのプッシュアップとしている。

またベアロックは、スリーブより外径の太いロッドを組込み、常時締めりばめの状態（ロック）にあり、スリーブとロッドの間に圧油が流入すると、スリーブは円周方向に拡大され、スリーブとロッドの干渉を解きロッドが最小の抵抗でストロークするクリアランス（1/100 mm）が与えられる作動原理である（図-11 参照）。

アンロックポートを通して圧力を除去すれば、ベアロックは再びロック機能を回復する。したがって油圧制御系の圧力降下等の事故に対して、ベアロックのスリーブ内圧が低下し自動的にロック力を回復し、任意の位置で停止する。また上下2台のベアロックが同時に作動し、ロック力は2倍になり長期間安全に保持できる大きな特徴がある。

またプッシュアップ制御システムは安全性を確保し、各部材に有害な応力が発生しないことを目的とした。各計測位置でのジャッキ反力、ジャッキ上昇量、架構の揚程量、水平変位、部材応力、風速などの計測結果に基づき、ジャッキ反力、揚程差などを管理値以下に制御するシステムとし

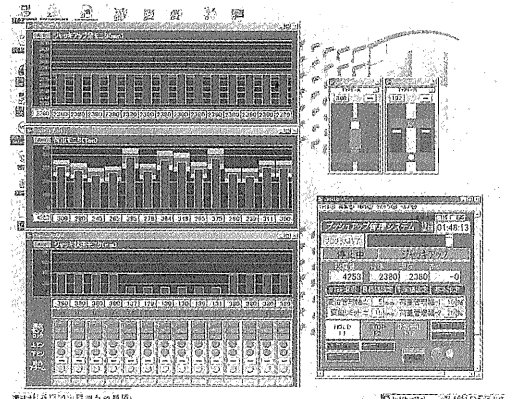


図-12 制御モニタ

た。特に14セットのプッシュアップ装置は1セット当たり4台のジャッキで構成され、全ジャッキ制御システムは、各荷重及び変位に対する管理幅に基づく自動制御とした（図-12 参照）。

プッシュアップ計画は、上昇に伴い変化する架構形状を施工時 STEP モデルとして、それに対する解析の結果に基づき進めた。その解析モデルは3次元モデル（節点数約9,000、部材数約22,000）で、解析には MSC/NASTRAN for Windows を使用して行った。また本工事では架構形状、ヒンジの相互位置関係により、プッシュアップ最終段階で構造系が軸力系から曲げ系に急激に変化する遷移現象が伴った（図-13 参照）。

遷移現象に対しては、第2ヒンジに開発した緩衝装置を設置することにより系の移行時の安定性を確保した。

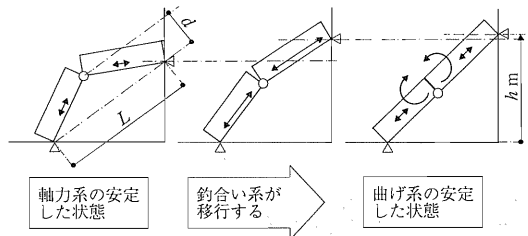


図-13 遷移現象

6. 施工結果

地組み期間は5ヵ月、プッシュアップ期間は6日間、閉合・装置解体期間1ヵ月で完了し、ベン

ト工法に比べ1.5ヵ月の短縮ができた。押上げ反力合計は約41,200 kN (4,200 tf) で推移し、最終段階で約14,700 kN (1,500 tf) まで減少した(図-14 参照)。

プッシュアップ中の押上げ位置での隣接揚程差は27 mm 以下を確保した。なおプッシュアップ作業は宮地建設工業株式会社が担当した。

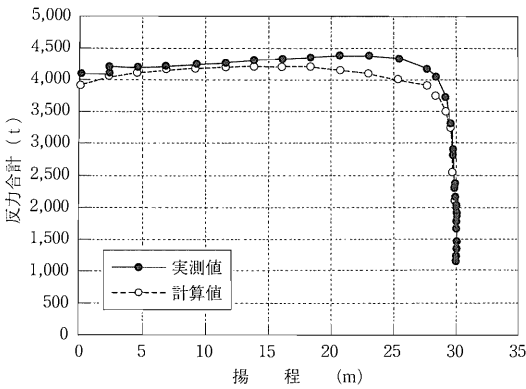


図-14 予測値と実測値

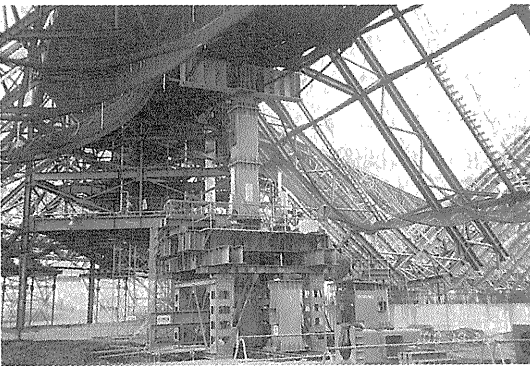


写真-1 プッシュアップ装置

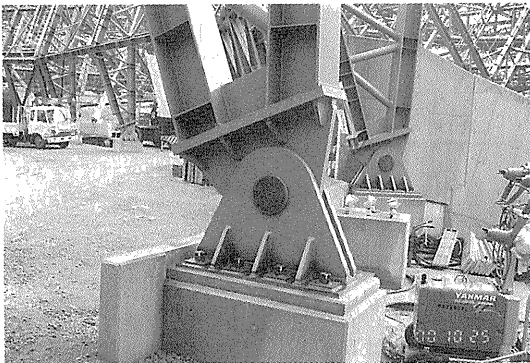


写真-2 第3ヒンジ

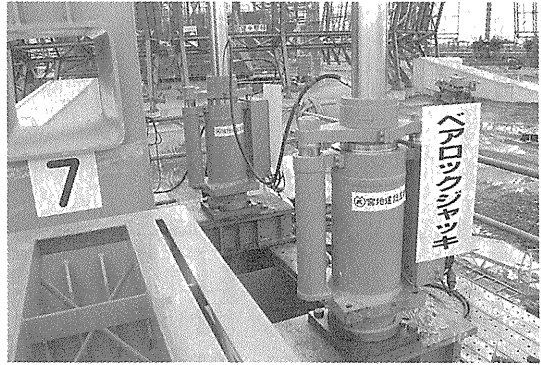


写真-3 ベアロックジャッキ



写真-4 プッシュアップ中内観



写真-5 地切り完了外観

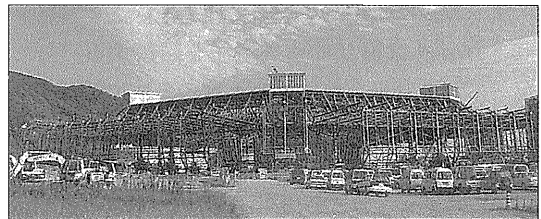


写真-6 プッシュアップ途中外観

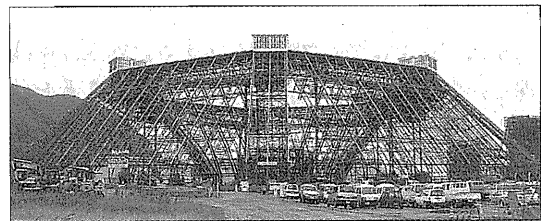
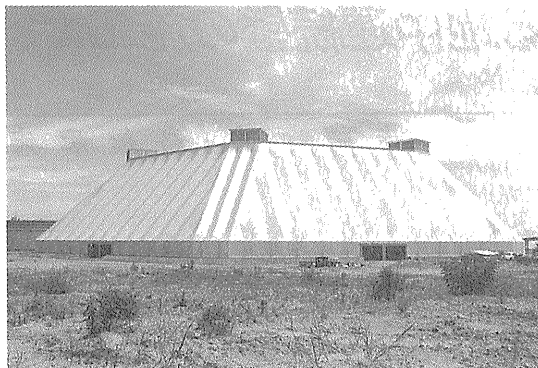
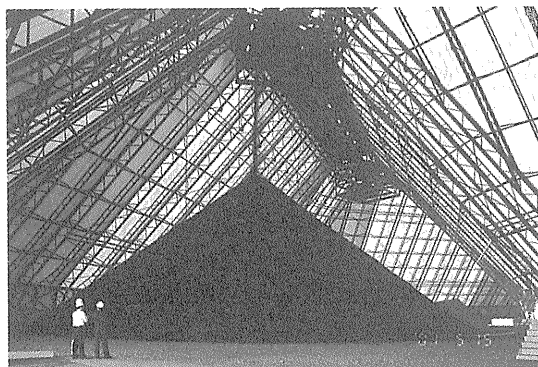


写真-7 プッシュアップ完了外観



写真—8 膜完了写真



写真—9 石炭積付け中

7. おわりに

パンタドーム・プッシュアップ工法は、本建設の経済性・工期厳守などのニーズに対して、安全確保、工期短縮、作業効率向上を実現化しニーズを支える大きな役割を果たした。

本構工法の合理的で施工安定性が高い特徴は、今後も大空間を構築するに当り、安全性、経済性、短工期を果たす技術として寄与するものと考え

る。最後に、本建設の計画及び実施に当り、ご指導、ご協力頂いた関係各位に深く感謝申し上げます。

【筆者紹介】

貞永 誠 (さだなが まこと)
株式会社竹中工務店
広島支店
技術部技術グループ



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々そして一般の方々に、建設事業に関心のある方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) Tel.03-3433-1501 Fax.03-3432-0289