

マレーシア ジマイースト石炭火力発電所敷地の 浚渫埋立工事を完了

Completion of Dredging and Reclamation Work for Jimah East Coal-Fired Power Plant, Malaysia

余語 雄司

■YOGO Yuji

東芝は、マレーシア ジマイースト石炭火力発電所（1,000 MW×2台）の建設工事をEPC（設計、調達、建設）契約に基づいて進めており、超々臨界蒸気タービン、発電機、及びそれらの補機類を納入する他、変電設備の納入や海洋土木工事も担当している。海洋土木工事には、発電所敷地全体の浚渫（しゅんせつ）埋立工事が含まれる。埋立ては、TSHD（Trailing Suction Hopper Dredger）により発電所沖合いの海底から浚渫した海砂を用い、5か月にわたり実施した。その間に敷地全体から地下水をくみ上げる工事も行い、敷地全体の埋立工事を2015年12月に完了した。

埋立て終了後は約3か月間掛けて敷地全体を沈下させ圧密させることで、仕様書の圧密基準を満足させた。2016年4月には陸上土木工事を担当する韓国の現代エンジニアリング社と現代建設社のJV（以下、現代JVと略記。JV：ジョイントベンチャー）へ、発電所敷地の主要部分である発電エリアを予定より2週間早く引き渡して、その後の工程に余裕を持たせることができた。

Under an engineering, procurement, and construction (EPC) contract, Toshiba is engaged in not only the manufacturing of ultra-supercritical steam turbine generators, their auxiliary equipment, and power transformation systems but also marine civil engineering operations including dredging and reclamation work at the Jimah East Coal-Fired Power Plant (1,000 MW x 2 units) in Malaysia. This site is located near the sea and the plant is being constructed on a reclaimed area created using sea sand obtained by dredging of the offshore seabed. We performed the dredging and reclamation work using a trailing suction hopper dredger (TSHD) over a period of five months, as well as dewatering work by pumping up groundwater at the site during the same period.

After completion of the dredging and reclamation work in December 2015, the site was settled and consolidated for about three months to satisfy the required specifications. As a result, we were able to transfer the main plant area to Hyundai Engineering Co., Ltd. and Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd., which are in charge of the onshore civil engineering work, in April 2016, two weeks ahead of schedule, thereby leaving time available in the construction schedule.

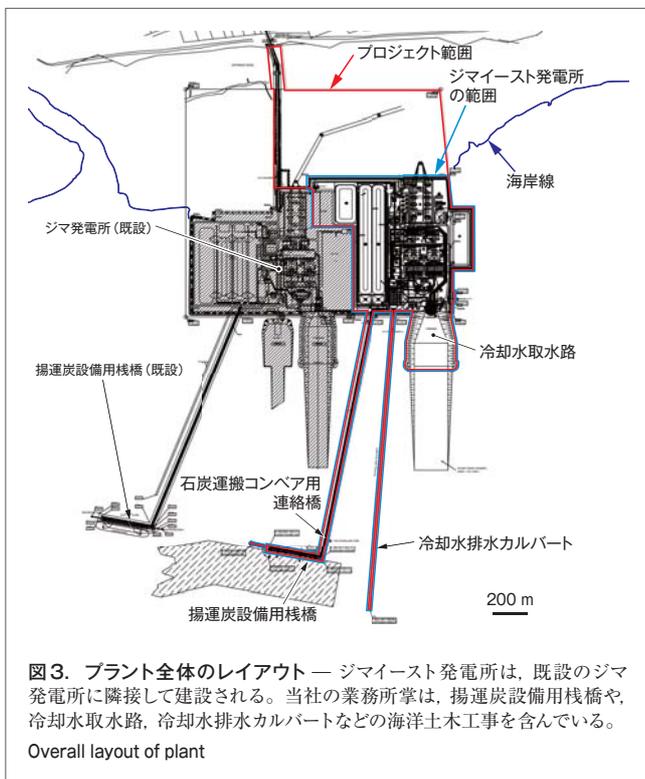
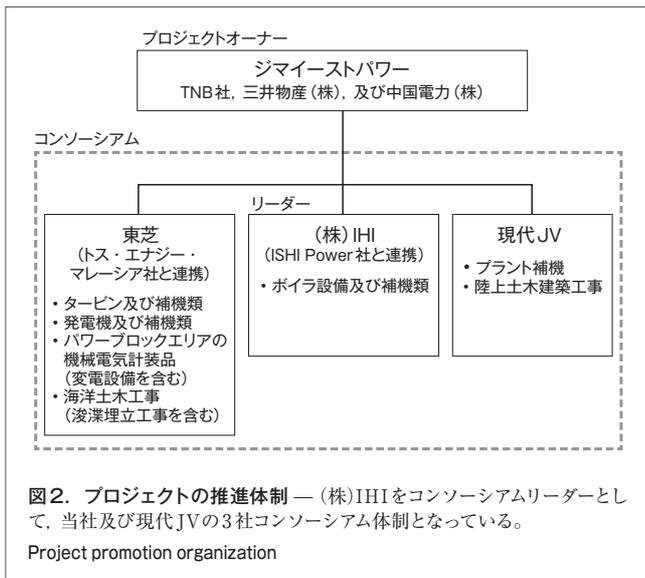
1 まえがき

マレーシア ジマイースト石炭火力発電所（以下、ジマイースト発電所と略記）は発電容量1,000 MW×2台の超々臨界石炭火力発電所で、東芝が2009年に700 MWタービン発電機2台を納めた同国 ジマ石炭火力発電所（以下、ジマ発電所と略記）に隣接し、海の部分を埋め立てて建設される。サイトの位置を図1に示す。商業運転は、1号機が2019年6月15日、2号機が2019年12月15日に開始される計画（契約納期）である。

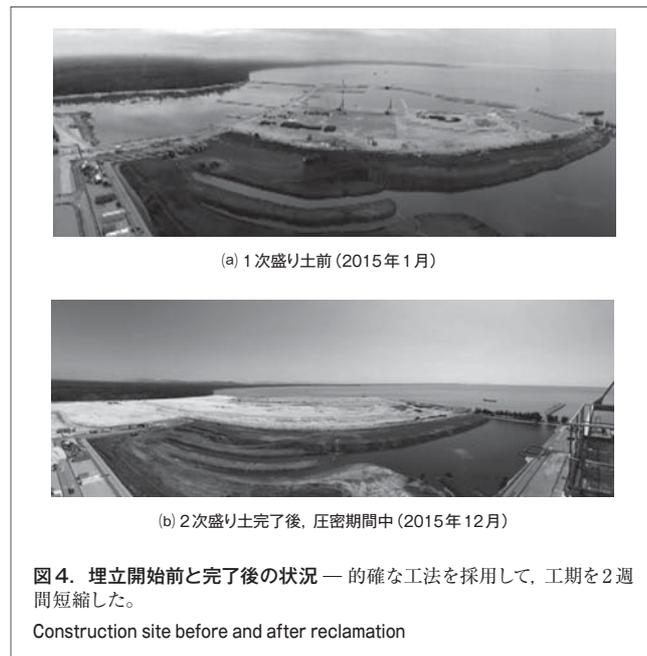
当社はトス・エナジー・マレーシア社と連携して、現代JV及び（株）IHI（ISHI Power社と連携）の3社でコンソーシアムを組み、プロジェクトオーナーであるTenaga Nasional Berhad（TNB）社及び三井物産（株）と2015年7月15日に契約を締結した^{（注1）}。現在のプロジェクト推進体制を図2に示す。このプロジェクトでの当社の業務所掌は、超々臨界蒸気タービン、発電機、及びそれらの補機類の供給に加え、機械電気計装品の変電設備を含むパワーブロックエリアへの供給、そして供給した機器の据付工事及び海洋土木工事である。



（注1） このプロジェクトでは、マレーシア政府系投資企業である1マレーシア・デベロップメント（1MDB）社と三井物産（株）が設立した共同IPP（Independent Power Producer：独立系発電事業者）と2014年6月にいったん契約を結んだが、1MDB社がまもなく撤退した。半年の中断期間を経てTNB社及び三井物産（株）との契約となり、その後中国電力（株）もプロジェクトオーナーに加わった。



海洋土木工事は、ジマイースト発電所敷地の浚渫、埋立て、及び造成の他、揚運炭設備用棧橋周りの浚渫作業及び棧橋の土木工事、並びに冷却水取水路、冷却水排水カルバート(暗きょ)、及び石炭運搬コンベア用連絡橋の土木工事である(図3)。既設のジマ発電所では海洋土木工事を含めた土木建築工事は当社の業務所掌ではなかったが、今回はこの海洋土木工事も当社の業務所掌になっている。また海洋土木工事のうち、浚渫埋立工事は当社EPC事業では初めての契約業務である。



このたび、契約後最初のコンソーシアム内のマイルストーンである発電エリア引渡しが、陸上土木建築工事を担当する現代JVに対して、2016年4月15日の予定期日より2週間前倒しで完了した。

埋立て開始前と完了後の状況を図4に示す。

ここでは、今回のプロジェクトに採用して工期短縮を実現した技術について述べる。

2 敷地造成の方法

敷地の造成は、海から船で海砂を採取しジマイースト発電所の沖まで運び、船に積載されているポンプで圧送し埋め立てる方式を採用している。

埋立用砂の採取場所は、ジマイースト発電所から10 km沖の海底で、TSHDと呼ばれる海砂を採取する専用の浚渫船を使い海底の砂を採取し、ジマイースト発電所の沖合い1.8 kmまで運ぶ。その後、海底管でTSHDとジマイースト発電所を接続し、TSHDに備わっているポンプで砂を海水ごと圧送する。今回は、一度に31,500 m³積載できるオランダの浚渫会社 Van Oord社のTSHDを使用し、原則24時間操業で工事を行った。埋立総量は3,700,000 m³で、2回に分けて約5か月間掛けて埋め立てた。まず、1次盛り土として1層目を海抜3.5 mまで盛り土し、圧密促進のためのPVD (Pre-Fabricated Vertical Drain) 工事を行った。その後、再度TSHDを用いて2層目の埋立作業を行い、海抜7.7 mまで盛り土した(2次盛り土)。更に圧密促進のため、先のPVD工法に加え、ウェルポイント工法も併用した(3章参照)。今回の埋立ての順序及び作業状況を図5に示す。



敷地の最終仕上げレベルは海拔5.4 mであるが、圧密沈下予測量が2 mであるため余裕を持って7.7 mまで盛り上げた。現場で発生する実際の沈下量については、沈下板を地中に埋め込み定期的に計測し、その結果に基づき、最終予想沈下量を推測した。その最終予想沈下量に対し90%以上の沈下が達成された後、余剰分の砂を撤去して、最終仕上げレベルの海拔5.4 mに整地した。

3 PVD及びウェルポイントによる圧密促進技術

PVD工法は地盤改良工法の一つであり、透水性の高い素材を用いたドレン (PVD) を軟弱な地盤の地中深く、垂直に打ち込み、土中の水分を効率良く排出する。1次盛り土の後、PVDを1 mの間隔で敷地全体に打ち込み、1次盛り土した部分の軟弱粘土層に含まれる地下水をそのPVDを伝わらせて排出し、1次盛り土の下の軟弱粘土層を圧密させた。通常は、PVDを1辺1 mの四角形の頂点に対応する配置で打ち込むが、今回は1辺1 mの三角形の頂点に対応する配置で打ち込むことで、地下水の排出箇所を増やして圧密速度を向上させた。

更に取り組んだのがウェルポイント工法である。ウェルポイントとは地下水をくみ上げる井戸のことで、敷地を分割しその回りに配水管やポンプなどを設置する。今回はPVD工事に引き続いて2次埋立てをした直後にウェルポイントを設置して稼働させた。圧密はウェルポイントを設置しなくても進行するが、地下水の排出を促進することを目的としてウェルポイントを設置して稼働させたことで、圧密速度が速くなった。この措置が、敷地を引き渡す時期を前倒してきた主要因となった。

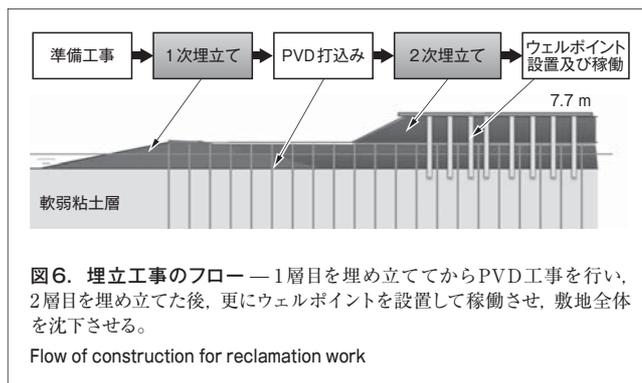


図6. 埋立工事のフロー — 1層目を埋め立ててからPVD工事をを行い、2層目を埋め立てた後、更にウェルポイントを設置して稼働させ、敷地全体を沈下させる。

Flow of construction for reclamation work

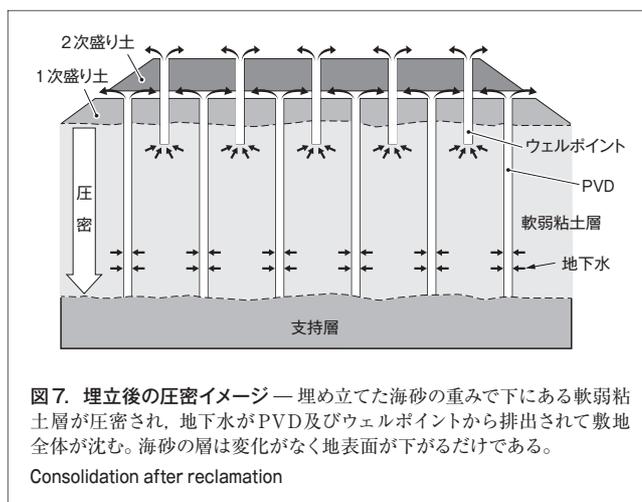


図7. 埋立後の圧密イメージ — 埋め立てた海砂の重みで下にある軟弱粘土層が圧密され、地下水がPVD及びウェルポイントから排出されて敷地全体が沈む。海砂の層は変化がなく地表面が下がるだけである。

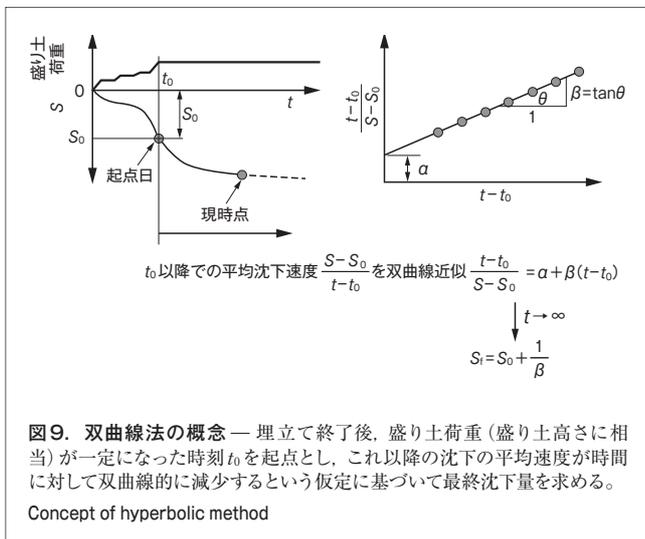
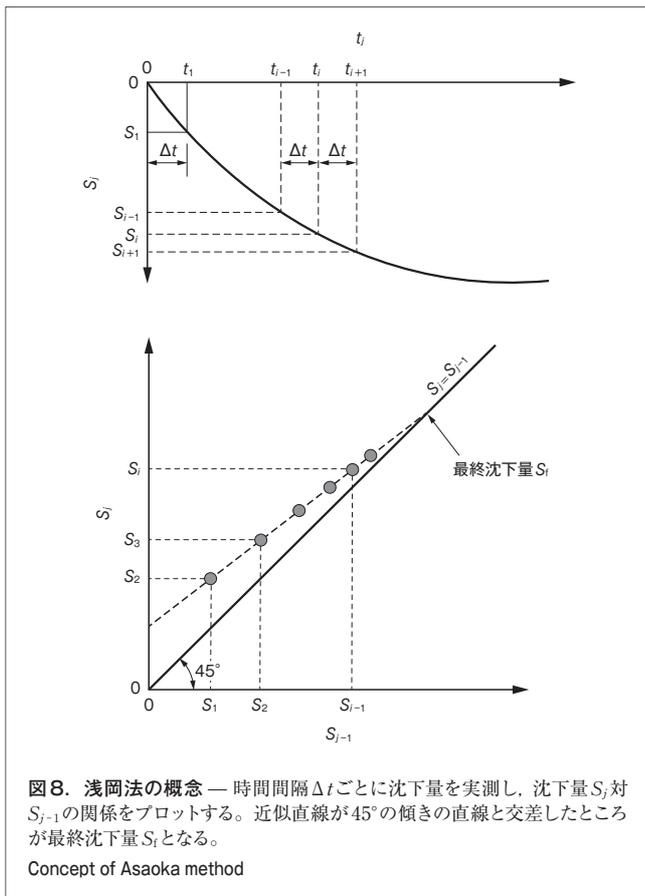
Consolidation after reclamation

埋立工事のフローと圧密沈下のイメージを図6及び図7に示す。圧密沈下は、軟弱粘土層の原地盤上に砂で盛り土をし、地下水がPVD及びウェルポイントを通して排出されることで、その軟弱粘土層が圧縮されて地盤表面全体が沈下する。新たに盛った砂の部分が縮小して沈むことはない。

4 埋立地盤の圧密度確認方法

仕様書では、圧密は最終沈下量に対して少なくとも90%の沈下を達成することと規定されているが、その評価方法に関しては記載がない。最終沈下量の予測手法には様々なものがあるが、既設プラントに倣い、まず代表的な評価方法の一つである浅岡法で評価した。浅岡法による評価の概念を図8に示す。時間間隔 Δt ごとに沈下量を実測し、時刻 t_j ($j=1, 2, \dots, i, \dots$)における沈下量 S_j 対1ステップ前の時刻 t_{j-1} における沈下量 S_{j-1} の関係をプロットする。プロットされた点を直線で近似し、その近似直線が45°線 ($S_j=S_{j-1}$ に相当) と交差する点を最終沈下量 S_f として評価する。

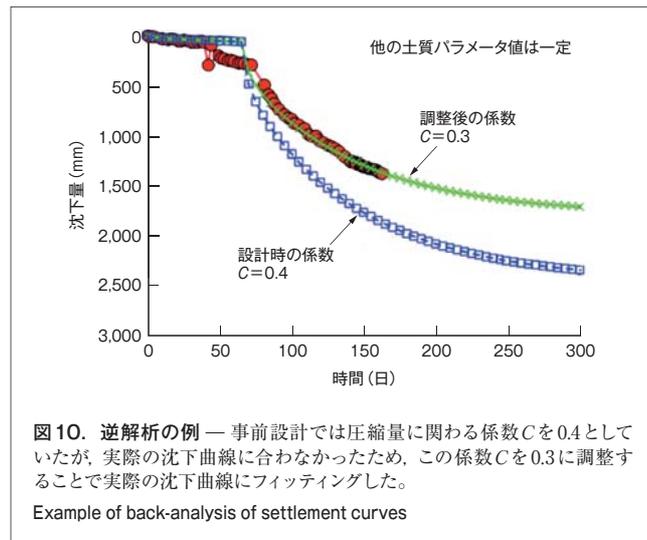
今回は、事前設計として、地質調査の結果を用いて最終沈下量を推定し、埋立高さを決めて施工を行った。埋立完了後、沈下量を定期的に計測し、浅岡法によって実際の最終沈下量



を評価し、90%以上の沈下の達成を確認した。

浅岡法はマレーシア国内で既に広く認識されているが、信頼性をより高めるため、今回の工事では浅岡法だけでなく双曲線法と逆解析の二つの手法も追加し、最終的に3手法全てで沈下が90%以上達成されていることを確認した。

双曲線法は、浅岡法と同様に広く各国で用いられている手法であり、その概念を図9に示す。沈下の平均速度 $(S-S_0)/$



$(t-t_0)$ が時間 $(t-t_0)$ に対して双曲線的に減少するという仮定に基づいて経験的に導かれた近似的手法である。ここで S は時刻 t における沈下量であり、 S_0 は盛り土荷重が一定になった時刻 t_0 における沈下量である。平均沈下速度の逆数 $(t-t_0)/(S-S_0)$ 対 $(t-t_0)$ の関係をプロットして直線近似し、その近似直線の傾きを用いて S_f を求める。

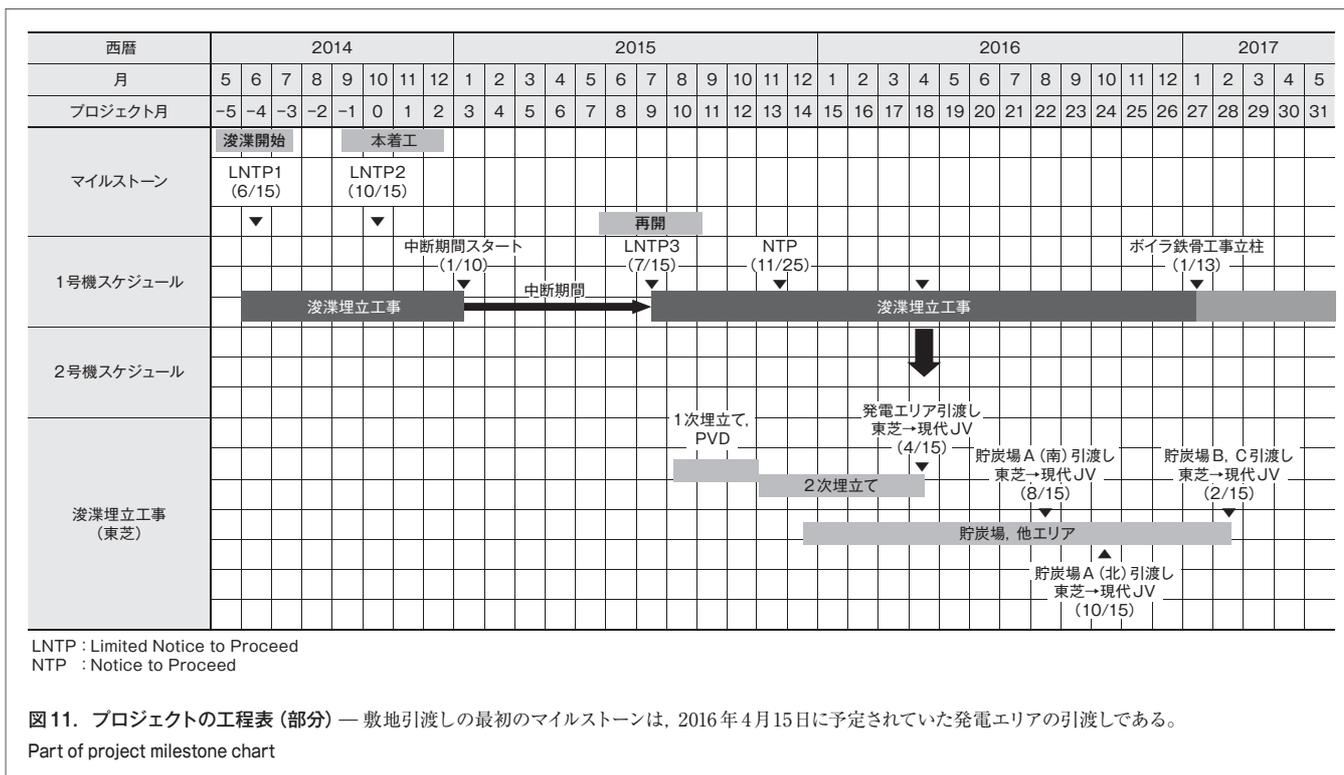
逆解析は、事前設計で設定した土質パラメータを調整し、沈下量解析値を実際の沈下量計測値にフィッティングすることで最終沈下量を予測する手法である。逆解析の例を図10に示す。事前設計においては圧縮量に関わる係数 C を0.4としていたが、実際の沈下曲線に合わなかった。そのため、この係数 C を0.3に調整することで、実際の沈下曲線にフィッティングした。係数 C が定まれば最終沈下量は事前設計と同様の計算で求められる。浅岡法以外の2手法のほうが、大き目の最終沈下量になる傾向があった。

敷地面積が550,000 m^2 と広大であることから、それを70分割し、そのうち51のブロック（1ブロック10,000 m^2 ）に沈下板を設置し日々計測して、圧密度を評価した。

5 コンソーシアムメンバーへの引渡しスケジュール

コンソーシアムアグリーメントでは当社から現代JVへの発電エリアの引渡期日は2016年4月15日である。

この引渡日は4章に述べた51ブロックのうち32ブロックが対象である。ブロックごとに三つの手法全てで90%以上の沈下が達成されたことを確認した後、沈下促進のための上載荷重であった海砂を撤去する。今回圧密沈下を促進させるためのPVD、ウェルポイント、及び砂の余盛りが効果的に作用し、沈下が予想より速く進み、最後のブロックは3月30日に整地作業が完成し、4月1日に現代JVに32ブロックの敷地を引き渡すことができた。引き渡し際は、現代JV立会いのもと、引渡



敷地境界線と引渡整地レベルの確認を行った。2週間前倒しで引き渡せたことで、現代JVの工事が予定より先行して開始された。プロジェクト工程上、プラント敷地完成引渡しは最初のクリティカルパスになっており、2週間とはいえその後の工事工程に余裕を生むことができた。

6 あとがき

当社にとって初めてとなる、発電所の敷地を海砂とTSHDを用いて埋め立てるプロジェクトとなったが、PVDとウェルポイントを的確に施工したことで、工程の前倒しに寄与できた。今回引渡しができた部分はメインの発電エリアであるが、今後も貯炭場の引渡しが区分けごとに続いていく(図11)。今後の引渡しも今回の発電エリアの引渡しと同じ条件となり、可能な状況に達すれば前倒しで引き渡していく。

発電所は陸地に建設されるケースが多いが、敷地が広大になるため、今回と同様に陸地ではなく海岸を埋め立てるプロジェクトが今後も出てくるものと予想される。今回の経験を生かして、発電所建設の工期短縮に貢献していきたい。

文献

- (1) 国土地理院. “地理院地図”. 国土地理院. <<http://maps.gsi.go.jp/#8/1.911267/102.730408/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0i0u0f0>>, (参照 2016-08-23).



余語 雄司 YOGO Yuji

エネルギーシステムソリューション社 火力・水力事業部 火力フィールド技術部主幹。火力発電システムの土木建築エンジニアリング業務及びフィールド管理に従事。土木学会会員。Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.