立坑掘削土揚重の改善に向けたローラ付き底開きベッセル および円形架台の開発と使用実績

島根原子力発電所2号機地下連絡ダクト設置工事に係る作業立坑掘削工事

鹿島建設株式会社 東原 秀明 鹿島建設株式会社 〇安彦 柳一

1. はじめに

本工事は中国電力株式会社島根原子力発電所構内において、東西 2 か所の立坑とそれらを繋ぐトンネルである地下連絡ダクトを構築するもので、トンネルの坑口となる作業立坑を先行して掘削した。施工位置を図-1 に示す。

従来の立坑掘削揚土設備としては「底開きベッセル」と「矩形架台」の組合せが一般的であるが、人の介錯などが必要で施工性が悪い。そこで「ローラ付き底開きベッセル」および「円形架台」を開発し、揚土作業における安全性向上と効率化を目指した。

開発にあたっては、事前に想定される不具合を 洗い出し対策を施したので、施工に際しては大き なトラブルもなく円滑に作業することができ、安 全性と施工性の大幅な向上を図ることができた。

本稿では開発の経緯、設備の特徴、開発時の検 討内容、使用実績、不具合と対策等について報告 する。



図-1 施工位置

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工事名:島根原子力発電所2号機地下連絡ダクト

設置工事に係る作業立坑掘削工事

発注者:中国電力株式会社 施工者:鹿島建設株式会社

場 所:島根県松江市鹿島町片句 工 期:2018.4.27~2019.9.30 立坑平面を図-2、立坑断面を図-3、施工数量を表-1にそれぞれ示す。

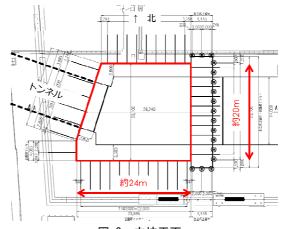


図-2 立坑平面

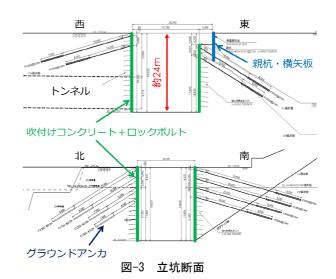


表-1 施工数量

工種	数量	単 位
掘削	11,005	m³
親 杭	17	本
吹付けコンクリート	1,820	m²
ロックボルト	734	本
グラウンドアンカ	112	本

2.2 仮設配置・施工条件

所定のヤード条件から、図-4に示すように立坑 南側に 200t クローラクレーン、立坑東側にずり仮 置き場を配置し、円形架台およびローラ付き底開 きベッセルにて掘削ずりの揚重および放出を行っ た。立坑の施工方法として、立坑内を南北半分ず つに区切り、南北各エリアにて掘削工およびグラ ウンドアンカ工を交互に並行して行う方法を取っ た。従って立坑内の重機配置やずり積込み場所は 施工状況に応じて日々変化したため、揚土作業に おけるベッセルの揚重旋回ルートについては、ベ ッセル直下に重機が入らないルートを都度選択す る必要があった。また立坑外においても、他業者 が本工事ヤード内にて作業を行うことが度々あっ たため、揚土作業におけるクレーンの旋回方向は 固定することができず、立坑内外の作業状況や重 機配置によって日毎に決定する必要があった。

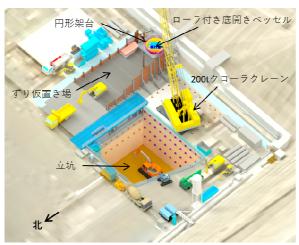


図-4 仮設配置

3. 揚土設備

3.1 開発の経緯

立坑掘削土の揚重計画において、表-2に示すよ うに舟型、底開き型、転倒型の3種類のベッセル の比較検討を行った。必要ヤード広さを抑えられ ることや排土時の安全性を確保できること、手元 作業員を削減できることから、本工事では底開き 型ベッセルを選定した。従来の底開きベッセルは 写真-1 に示すようにベッセル本体を矩形架台の所 定の位置に向きを合わせて接地させた後、クレー ンの巻下げ操作を行うことで底のゲートが開く構 造である。そのため人力での介錯または矩形架台 に位置合わせ用の当て壁が必要である。人力での 介錯は安全性に欠け、壁当てによる位置合わせで は若干の時間ロスが生じるという懸念があった。 そこで揚土作業の安全性と効率性を向上させるこ とを目的として、従来の底開きベッセルおよび矩 形架台を改良した、ローラ付き底開きベッセルお よび円形架台を開発した。

表-2 ベッセル選定表

	舟 型	底開き型	転倒型
①必要ヤード広さ	0	0	Δ
②任意箇所での排土	0	×	×
③排土時の安全性	×	0	0
④手元作業員の削減	×	0	0
⑤価 格	0	Δ	Δ
総評	Δ	0	Δ





写真-1 従来の底開きベッセルと矩形架台

3.2 設備の特徴

開発した揚土設備の概要を表-3に示す。円形架台は図-5に示すように間口の広いすり鉢状の構造とし、内側円周にベッセル受け部を設けた。ベッセルは図-6に示すように側面下部にローラを取り付け、ローラが円形架台のすり鉢面を転がりベッセル受け部に接地した後、クレーンの巻下げ操作を行うことでワイヤの緩みに連動して底のゲートが開く構造とした。これらにより排土時に人が介在せずに済むため安全性を確保することができる上、ベッセルの細かい位置や向き合わせが不要となり、ベッセル本体が360度どの向きであってもスムーズに円形架台中央へ降下することが可能となることで作業性が向上すると考えた。

表-3 揚土設備

名 称	仕 様	重量
円形架台	上部径 ø 5,200、下部径 ø 4,250、全高2,850	5.5t
ローラ付き底開きベッセル	8㎡、全長4,250、全幅2,218、全高1,564	3.9t
吊治具	全長3,624、全幅650、全高981	0.8t

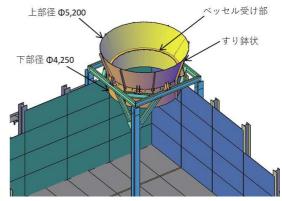


図-5 円形架台

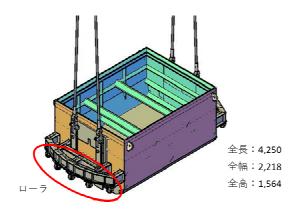


図-6 ローラ付き底開きベッセル

3.3 開発時の検討内容

(1) ベッセル容量

ベッセル容量の選定においては、下記事項につ いて検討を行った。

- ① 揚土サイクルタイム
- ② クレーン最大作業半径
- ③ 立坑内重機配置
- ④ 機械掘削能力
- ⑤ 製作費用

計画時点では、1回の揚土サイクルにおけるずり 積込み後のクレーン操作にかかる時間はベッセル 容量に関係なくクレーンの性能によって一定とし て考えた。揚土1回あたりではベッセル容量が大 きいほど積込みに時間がかかりサイクルタイムは 遅くなるが、揚土作業全体での総揚土量は定量で あり、総積込み時間は一定であるため、ベッセル 容量が大きいほど揚土回数が減りサイクルタイム は向上すると考えた。しかしクレーン最大作業半 径や立坑内重機配置 (ベッセル定置可能範囲) を 考慮すると、容量が大きいほど作業性が悪くなる ことが懸念された(図-7参照)。そこで掘削能力(時 間あたりのずり発生量)に主眼を置いて検討する こととした。本工事では掘削方法として機械掘削 を計画していたため、機械掘削能力を考慮し上記 ①~⑤を総合的に検討した結果、ベッセル容量は8 ㎡が妥当と判断した。

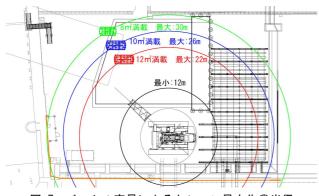
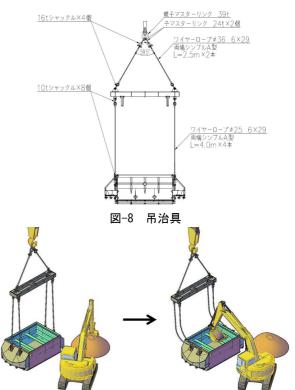


図-7 ベッセル容量によるクレーン最大作業半径

(2) ベッセル吊治具ワイヤ長さ

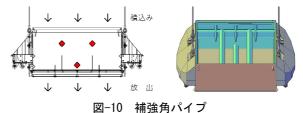
揚土サイクルタイムの向上と安全性を考慮し、 ずり積込み時のベッセルの玉外しおよび積込み後 の玉掛け作業を無くすように計画した。吊治具上 部ワイヤは2点吊りで吊り角度によるワイヤ強度 低下を考慮し、吊り角度60度以内となるように長 さを 2.5m とした。吊治具下部ワイヤはバックホウ による積込み作業の支障とならないように長さを 4m とした。吊治具の概要を図-8、ずり積込み状況 を図-9にそれぞれ示す。



(3) ベッセル損傷・変形・ずり堆積防止

ずり積込みによるベッセルの損傷や変形を防止 するため、図-10に示すようにベッセル内部に補強 角パイプを取り付けた。排土時にずりが堆積して 残らないように上部に2本、下部に1本をひし形 状に取り付けた。ローラを取り付けたベッセル側 部は図-11に示すように、積込み時にずりが堆積し たり、ローラやゲート稼動部にずりが噛み込むの を防止するため、ゲート開閉の機構に必要な最低 限の開口を除いた全範囲を鉄板で覆った。

図-9 ずり積込み



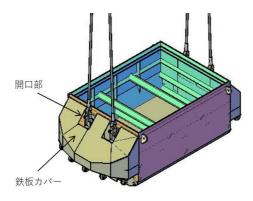
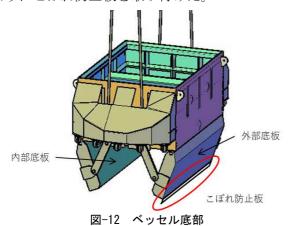


図-11 ローラ部カバー

(4) ベッセル底部

ベッセル底部の構造を図-12に示す。ベッセル内部の底板は摩耗時に交換できるように溶接ではなくボルトで固定することとし、ずり積込み時や放出時の摩耗を軽減するため、普通ボルトではなくボルト頭が飛び出ない皿ボルトを使用した。ベッセル外部の底板は立坑下着底時のずり噛み込みを防止するためフラットな構造とした。またゲートが完全に閉まり切らず僅かに隙間が生じることを想定し、ベッセル揚重中のずり落下を防止するため、片側のゲート底に左右のゲートがラップするようにこぼれ防止板を取り付けた。



(5)ローラ仕様・取付位置

ローラの選定において、当初はベアリング仕様を考えたが下記①~④の懸念があった。

- ① オイルを切らすことができない
- ② オイルを注入するためにフランジを設ける等のスペースを確保する必要があり構造が大き くなる
- ③ オイルシールが破損すると交換が必要となる
- ④ 構造が大きくなることで損傷リスクが上がる そこでベアリング仕様ではなくメンテナンス手間 の少ないオイレス仕様のローラを選定することと した。ローラは円形架台のすり鉢面をスムーズに 転がるように、可能な限り外側に配置した。選定 したローラを写真-2に示す。





写真-2 ローラ

(6) 円形架台上部径

すり鉢状円形架台の上部径の設定にあたり、ローラ付き底開きベッセルをスムーズに吊り下ろすにはベッセルとのクリアランスがどの程度であれば適切であるかを考え、クレーンオペレータにもヒアリングを行い、クリアランスを 500mm に決定した(図-13 参照)。

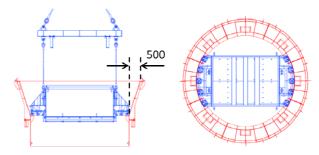


図-13 円形架台上部径

(7)模型製作・動作確認

考案した設備の動作機構の確認と実製作、実運用に向けたその他懸念事項を漏れなく洗い出すため、事前に 1/10 スケールの模型を製作した。これによりローラがすり鉢面を転がることでベッセルが自然に円形架台中央へ降下する状況や、吊治具ワイヤの張力に連動してゲートが開閉する状況を確認した(写真-3 参照)。





写真-3 模型による動作確認

4. 使用実績

4.1 事前検討内容に対する評価

(1)ベッセル容量

計画時点において、揚土作業全体ではベッセル容量が大きいほど揚土回数が減るため、揚土サイクルタイムは向上することが見込まれた。しかし重量が増えることでクレーン最大作業半径が小さくなり、サイズが大きくなることで定置可能範囲

に制限が生じる懸念があった。前述の通り本工事では立坑内でのずり積込み場所は施工状況に応じて日々変化することを想定していたため、立坑内の全範囲で揚重が可能となる8㎡を選択したことで揚土作業に支障が生じることはなかった。掘削作業全体で考えても揚土作業がクリィティカルになることはなかったので、選定したベッセル容量は適切であったと考える。ベッセル揚重状況を写真-4に示す。



写真-4 ベッセル揚重状況

(2) ベッセル吊治具ワイヤ長さ

バックホウによるずり積込みにおいて、吊治具 ワイヤが積込み作業の支障となることはなく、円 滑な積込みを実施することができた(写真-5参照)。



写真-5 実際のずり積込み状況

(3) ベッセル損傷・変形・ずり堆積防止

ベッセル内部に補強角パイプを取り付けたことで立坑掘削完了まで大きな損傷や変形もなく運用することができた(写真-6 参照)。ベッセル側部については、ほぼ全範囲を鉄板で覆ったことでゲート開閉機構の点検が実施しづらくなってしまったため、写真-7,8に示すように現場で開閉式の点検窓を設置した。これにより開口部から進入した細かいずりの清掃も容易となった。



写真-6 使用後のベッセル内部



写真-7 点検窓



写真-8 点検窓内部

(4)ベッセル底部

内部底板は摩耗が少なく交換することはなかった。外部底板については、排土後にゲート間に20mm程度の隙間が見受けられることがあった(写真-9,10参照)。計画当初より各部の僅かな製作誤差や駆動上必要な余裕代などの要因から、ゲートが完全に閉まり切らず隙間が生じることを想定しこぼれ防止板を取付けていたため、ベッセル揚重中に隙間からずりが落下することはなかった。隙間が広くなっていないか都度確認を行っていたので、追加の対策を施すことなく運用することができた。



写真-9 正常なゲート



写真-10 ゲート間隙間

(5)ローラ仕様・取付位置

使用後のローラを写真-11 に示す。オイレス仕様のローラを選定したことで日々の点検と清掃を確実に実施する程度で修理や交換を行うことなく比較的容易に維持管理を行うことができた。円形架台へのベッセル吊り下ろしにおいて、すり鉢面の途中で競るようなことは発生しなかったため、ローラの取付位置も適切であったと考える。



写真-11 使用後のローラ

(6) 円形架台上部径

円形架台へのベッセル吊り下ろし作業において クレーンオペレータは目視とブーム先端カメラの 映像によって操作を行った(写真-12 参照)。設定 した円形架台上部径は状況を確認しながらベッセ ルを吊り下ろすのに十分な広さであった。

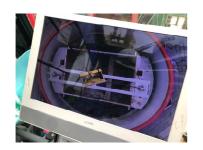


写真-12 クレーン運転席モニタ

4.2 揚土実績

今回開発した設備を使用し、累計 1,753 回にわたり約8,970 mの地山土量を揚重した。

開発した設備の効率性を評価する上で、ベッセル容量、積込み機械、クレーン仕様、揚程、旋回角度など同一条件下における従来設備の使用実績がないため、従来設備と揚土作業全体のサイクルタイムを比較することはできない。そこで揚土作業全体のサイクルのうち、従来設備と異なる点として「架台へのベッセル吊り下ろし・接地」が挙げられるため、その作業に要する時間のみに絞って考える。社内の過去の類似工事における従来式底開きベッセル(10 ㎡)および矩形架台の使用実績と比較すると、上記作業に要する時間はほぼ同等であったが、これについてもクレーンの仕様やオペレータが異なるため厳密には比較することができない。

本工事における立坑深さ 17.5m 地点での揚土サイクルタイムの内訳を表-4 に示す。揚土作業の効率性の評価において、上記の理由から従来設備との比較は難しいが、1 回あたりのサイクルタイム10分6秒のうち、③円形架台へのベッセル吊り下ろし・接地に要する 21 秒の作業を、より安全に、容易に行うことが可能となったため、安全性と施工性が向上したと言える。架台を円形にしたことで排土時のベッセルの向きを気にする必要がなくなり、ベッセルを円形架台上の大体の位置にさえ持っていけばローラによって自然に架台中央へ誘導されるため、慎重を要する揚土・排土作業においてクレーンオペレータの負担を軽減することができた。

従来式底開きベッセルの矩形架台への位置合わせにおいては、人力での介錯は安全性の面から現実的ではないため壁当てによる位置合わせが一般的と考えられるが、壁とベッセル接地位置の関係からクレーンの旋回方向は必然的に一方向に限定される。前述の通り本工事では旋回方向を限定することができなかったため、円形架台およびローラ付き底開きベッセルを採用したことで左右どちらの旋回方向からでも排土が可能になったことも大きな利点であった。

表-4 揚土サイクルタイム内訳

No.	内 訳	時間
1	ずり積込み	6分06秒
2	巻上げ・起伏・旋回	1分39秒
3	円形架台へのベッセル吊り下ろし・接地	21秒
4	ゲート開放・ずり放出	8秒
(5)	巻上げ・起伏・旋回・巻下げ	1分40秒
6	立坑下でのベッセル位置決め・着底	12秒
7	승 計	10分06秒

5. 不具合と対策

図-14 に示すようにベッセルのゲート側面部にずりが噛み込むことがあった。これは排土時にずりがゲート側面部に噛み込み、そのままゲートが閉じたことで発生したと考えられる。ずりが噛み込むことでゲート開閉機構に支障が生じたり、揚重中に噛み込んだずりが落下する恐れがあったため、対策として図-15 に示すようにベッセル内部に鉄板を設置し、側面部へのずりの噛み込みを防止した。これによりずりの噛み込みは発生しなくなり、安全に運用することができた。





図-14 ずり噛み込み状況

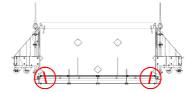




図-15 ずり噛み込み対策

6. おわりに

設備の開発に当たり、排土方法として電気制御による仕様も検討したが、不具合発生時の対応軽減を考慮し、機械的でシンプルな構造とした。従来設備を改良したことにより、揚土作業全体のサイクルのうち「架台へのベッセル吊り下ろし・接地」作業をより安全に容易に行うことが可能となった。またクレーンの旋回方向に制限を受けずるとなった。またクレーンの旋回方向に制限を受けずるとが可能となったことも大きな利点であり、今後の類似工事への適用に有効であると考えられる。今後、クローラクレーンの運転自動化やオペレータの運転を補助するような機能を実用化すること考えられる。