

9. 完全無人化を目指したNew DREAM工法のトラベリングシステムの開発

大豊建設(株)：*上月 直昭、小林 隆治、今村 秀雄

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は、高気圧作業の無人化が進められ、掘削作業は地上からの遠隔操作で行うため高気圧作業は発生しない。しかし、掘削機の日常点検や修理・回収作業は高気圧作業となり、現在実施されている高気圧作業の殆どの部分を占めている。

また、大深度においてはヘリウム混合ガスも使用され、今なお厳しい作業環境となっている。

本稿では、完全無人化を目指した New DREAM 工法の概要と掘削機トラベリングシステムの試験概要と結果について述べる。

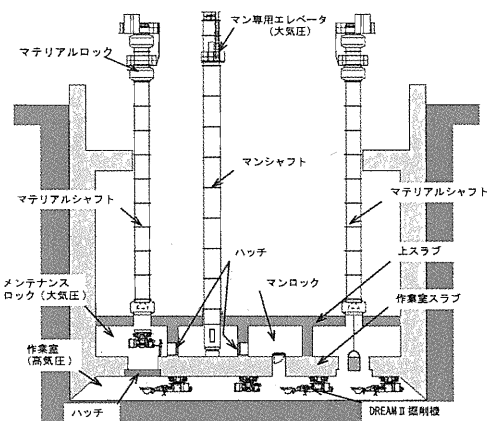


図-1 New DREAM 工法概念図

2. New DREAM 工法の概要

New DREAM 工法は、二重スラブ、高能力 DREAM 掘削機、大気圧エレベータ、広いマンロック（非常用）、メンテナンスロック、ヘリウム混合ガスシステム（非常用）を組み合わせて使用することで、大深度（水深70m）の施工や完全無人化を目指した人に優しい究極の無人化ニューマチックケーソン工法であるほかコストの縮減も目的としている。

トラベリングシステムは、本工法の要素技術の一つであり、掘削機の日常点検や修理・回収作業を大気圧下のメンテナンスロック内で行うために必要な掘削機の3次元移動システムである。

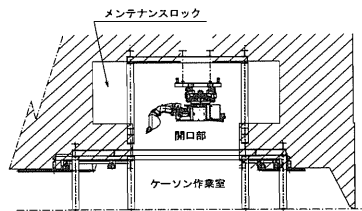


図-2 ケーソンイメージ図

3. 試験概要

本試験は、作業室内の掘削機をメンテナンスロックに回収するためのトラベリングシステムの性能および耐久性の確認試験であり、本システムの確実性を実証する。

本試験は、実物大の作業室やメンテナンスロックを想定した空

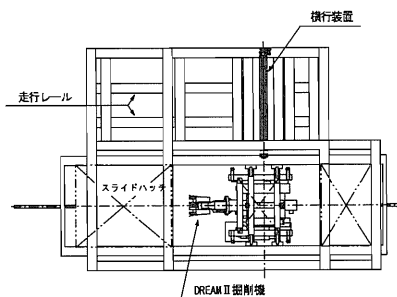


図-3 試験装置平面図

間を山留め材で構築し、大気圧下でトラベリングシステムの稼働試験を行った。

トラベリングシステムは、吊り上げ装置、スライドハッチ、横行装置、電線脱着装置、遠隔操作装置から構成される。

吊り上げ装置は電動式チェンブロック（5 t）を4台使用した。

スライドハッチは鋼製で、油圧ジャッキにより開閉する構造としているが、今回は大気圧で使用するため、耐圧構造とはしなかった。

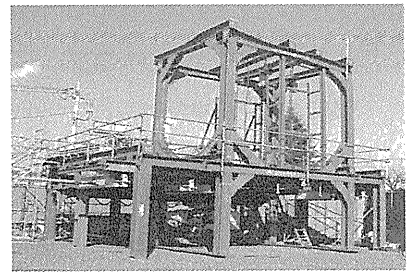


写真-1 試験装置全景

横行装置は駆動装置、横行レール、横行架台からなっており、油圧モータにより稼働する。

電線脱着装置は、掘削機の動力や制御ケーブルの脱着を遠隔操作で行うもので、本装置を使用することで、複数の掘削機がメンテナンスロックに回収可能となる。

耐久試験に使用する掘削機（DREAM II）は、出力37kw、バケット容量0.3m³の多機能型ケーソン掘削機で普通土から岩盤（160MPa）まで掘削可能である。

上記設備のうち、スライドハッチ以外は全て実際の現場で使用可能な機器である。

4. 実施内容

DREAM II 掘削機を作業室内の走行レールから、一連のトラベリング（移動）でメンテナンスロックに回収し、その後、元の位置に戻す動作を遠隔操作で500回（掘削深さ100m相当）実施する。

DREAM II 掘削機の一連のトラベリングは、次の順序で行われる。

- ① 掘削ラインを走行し横行装置位置で停止 →
- ② 動力・制御等の電線切り離し →
- ③ 掘削機横行 →
- ④ 掘削機の吊り上げ架台乗り移り →
- ⑤ 掘削機吊り上げ →
- ⑥ スライドハッチ閉 →
- ⑦ 掘削機回収完了 →
- ⑧ スライドハッチ開 →
- ⑨ 掘削機吊り下げ →
- ⑩ 掘削機の横行装置へ乗り移り →
- ⑪ 掘削機横行 →
- ⑫ 掘削機の掘削ライン乗り移り箇所停止 →
- ⑬ 動力・制御等の電線接続 →
- ⑭ 掘削ラインを走行し元の位置に停止

実際にトラベリングシステムを使用して、掘削機をメンテナンスロックに回収し、点検・修理する手順の概念を図-4に示す。

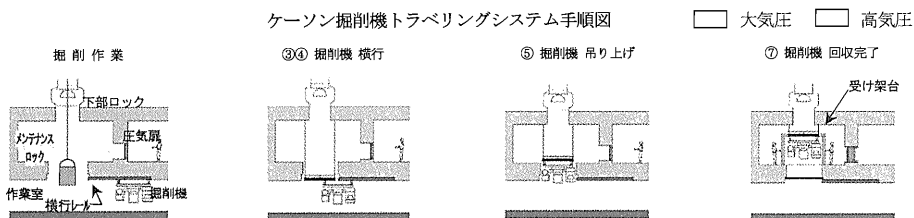


図-4 DREAM 掘削機回収要領概念図

5. 試験結果

トラベリングシステム耐久試験で、以下の内容が確認された。

1) トラベリングシステムの動作および耐久性確認

① 掘削ラインから横行装置への乗り移り

掘削ラインの掘削機走行レールは、掘削機の横行箇所では切断されており、レールが不連続となっているが、掘削機の乗り移りは影響を全く受けず円滑であった。

② 電線等の遠隔脱着

電線脱着は掘削機の動力、制御、映像用の複数のケーブルを同時に脱着するものであるが、円滑に行われた。遠隔操作による電線脱着装置は、高湿度・高圧下（0.7MPa）で200回及びトラベリングシステム耐久試験時に500回の脱着操作をトラブルなしで完了した。

脱着の所要時間は約5分であり、短縮は可能であるが、今回は現実性を第一として、時間短縮の改良は行わなかった。（表-1参照）

③ 掘削機の横行（往復）

横行距離が長いので、1サイクル合計タイムの約1/3以上を要したが、円滑な動きで横行用機器の摩耗は殆ど発生しなかった。

また、掘削機横行の始終点はセンサーにより正確に停止した。

④ 掘削機の吊り上げ架台への乗り移り

横行レールと吊り上げ架台の間には、スライドハッチの走行レールとの関係で大きな不連続部が発生したが円滑に乗り移ることが出来た。

⑤ 掘削機の吊り上げ、吊り下げ

掘削機の吊り上げ吊り下げ時、掘削機の横行装置からの切り離し結合は、遠隔操作で円滑に行われた。また、ケーソン躯体が約3°傾斜しても掘削機は吊り下げ時に元の位置に戻る構造となっているほか、つり吊り上げ装置に4台のチェンブロックを用いたため、掘削機の水平調整が容易であった。

吊り上げ架台には、巻上げ、巻下げ及び固定による繰り返し荷重が連続的に作用したが、全ての部材や部材接合部等の損傷は皆無であったほか、掘削機と横行装置の接続部の摩耗や損傷は殆ど発生しなかった。

⑥ スライドハッチの開閉

スライドハッチは、DREAM II 掘削機のブームがほぼ水平状態で回収するため、土砂搬出用のハッチに比べて大型であり、2分割構造となっている。

スライドハッチの開閉は、各々のハッチの水平移動と垂直移動によって行われるが、円滑に作動することと、ハッチの受け金物に密着できることが確認できた。

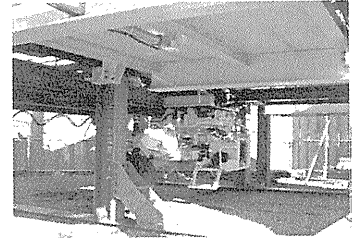


写真-3 掘削機横行状況

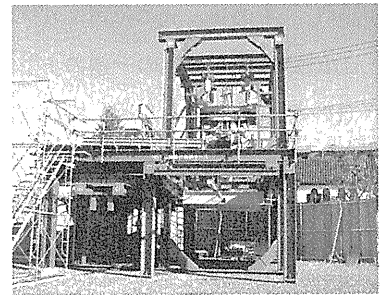


写真-4 掘削機吊り上げ状況

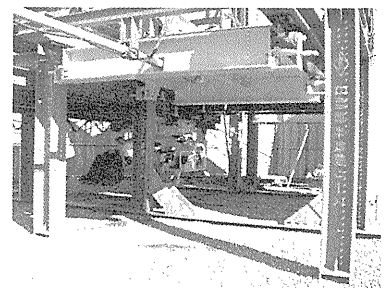


写真-5 スライドハッチ

また、気密保持のためのシール構造は別途実証試験により確認されている。

⑦ 遠隔操作室より各項目の状況確認

各動作は、監視カメラにより明確に確認でき、支障は発生しなかった。



写真-6 遠隔操作室

3) トラベリングシステムのサイクルタイムの確認

一連動作のサイクルタイム計測結果は、表-1の通りであった。 表-1 トラベリングシステムのサイクル

これは、当初予定した30分/回を満足する値となった。

また、今後機器の改善によりサイクルタイムの短縮は可能と思われる。

設備名	動作	所要タイム
1. スライドハッチ	開・閉(2往復)	5' 45"
2. 吊り上げ架台	巻上げ・巻下げ	5' 1"
3. 掘削機	走行(1往復)	1' 18"
	巻上げ・巻下げ	3' 17"
4. 電線脱着装置	開放・接合	5' 21"
5. 横行装置	横行(1往復)	10' 27"
6. ロスタイム		23"
合計タイム		27' 22"

6. ニューマチックケーソン工事想定事例検討

試験結果をもとに、ニューマチックケーソン工事にトラベリングシステムを使用した場合の効果について、事例検討の結果を次に示す。

検討条件 ・ケーソン規模：縦×横×高さ・45m×50m×45m・最大気圧：0.42MPa・土質：普通土
 ・掘削方法：遠隔操作のDREAM II掘削機(37kw, 0.3m³)16台により掘削

掘削機の日常点検に要する作業時間を、New DREAM M工法と従来工法と比較すると、表-2の結果のようにNew DREAM工法の掘削機の日常点検に要する時間は、短時間の大気圧作業となる。従来工法は、作業時間が長くなるだけでなく、常に高気圧作業が発生し厳しい作業環境となる。大深度では高気圧障害を抑制するため、ヘリウム混合ガスを日常的に使用するが高コストとなる。

表-2 日常点検サイクルタイム比較表 単位：分

作業項目	New DREAM工法		従来工法	
	1台の場合	3台の場合	1台の場合	3台の場合
加圧作業	6(2/回)	18	5	5
点検作業	30	90	30	90
減圧作業	3(1/回)	9	36	154
回収作業	30	90	0	0
計	69	207	71	249

表-3 高気圧作業量の比較

また、高気圧作業量を比較した表-3より、New DREAM工法は、従来工法より高気圧作業を約98%削減でき、本システムは高気圧作業削減に大きな効果があることが明らかである。

項目	New DREAM工法①			従来工法②			差(①-②)
	人数/回	回数	合計人数	人数/回	回数	合計人数	
日常点検	4	9	0	12	190	2280	-2280
整備・修理	4	10	40	4	101	404	-364
回収作業	4	0	0	10	33	330	-330
地耐力試験	2	8	16	2	8	32	-16
計		18	56		332	3046	-2990

7. おわりに

トラベリングシステムの試験により、本システムは掘削深さ100m相当の掘削機回収を実施した場合でも、十分な耐久性のあることが確認されたことで、完全無人化を達成する見通しがついた。また、大深度においてもヘリウム混合ガスシステムは非常用で良いため、コスト縮減も可能となる。今後は、実現場で本工法を実証し普及に努める所存である。