

32. インバート支保工設置ロボットの開発と導入

清水建設(株)土木技術本部機械技術部 ○藤内 隆
清水建設(株)土木技術本部機械技術部 藤井 攻

1. はじめに

NATM 工法において不良地山に遭遇した場合、地山の安定を図るため、切羽近傍でインバート支保工を設置してトンネルを早期に閉合することが有効となる。

このインバート支保工の設置作業は、切羽面から深部を掘削した所での作業となるため、安全の確保が課題となっている。

この度、このインバート支保工の設置を人が立ち入ることなく施工できる機械を開発したので、機械の開発目的、設計上の課題、開発の効果について報告する。

2. 開発の目的

従来のインバート支保工の設置作業では、2分割したインバート支保工をバックホウで揚重し、左右の下半支保工と接合する。(写真-1)



写真-1 インバート支保工と
下半支保工接合作業状況

その後、左右のインバート支保工をほぼ中央で接合する。

この作業では、揚重した支保工を下半支保工と接合する際に、人力で接合面を調整するため非常に労力のいる作業となっている。

また、揚重機の揚重能力の関係から作業半径を小さくする必要がある。

そのため、深く掘削したインバート部近傍の地盤の不安定な場所に揚重機を設置しなければなら

ず地山の崩壊や揚重機の転倒の恐れがあった。

さらに、深く掘削したインバート部に人が立ち入り接合作業を行うため、切羽崩壊の恐れのある危険な作業となっていた。(写真-2)



写真-2 インバート支保工接合状況

そこで本技術開発では、左右2分割したインバート支保工を地上で組立一本化し、インバート支保工設置ロボットのアームでインバート支保工を把持し、インバート底部に設置、その後、下半の支保工と接合する施工するシステムを考案した。(図-1)



図-1 インバート支保工組立施工イメージ

この施工システムでは、2分割したインバート支保工を地上で組立を行うことで、従来のインバート底部での人が立ち入って接合する作業がなく

なるため安全性が向上する。

また、揚重機を使用せず、作業能力に余裕のある専用のロボットでインバート支保工を把持して作業を行うため、安全かつ省力化を図ることができる。

3. 設計上の課題

従来の上半用エレクタと兼用したインバート支保工設置ロボットの開発にあたり、以下項目が設計時の課題となった。

- ①深く掘削したインバート底部まで到達可能なエレクターブームの開発
- ②インバート支保工を一括化するための把持機構
- ③一括化したインバート支保工と下半支保工との接合を容易にする機構

3. 1 垂直伸縮エレクターブームの開発

本開発では、従来の上半用エレクタにインバート支保工の設置が可能な兼用型とした。

そのため、上半支保工建込み用のブームでインバート支保工の設置をするとブームが斜めに伸縮するため、ブームと地盤が干渉して建込みができない。(図-2)

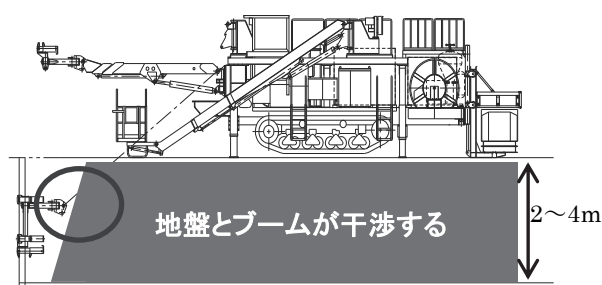


図-2 上半用ブームを使用した建込図
(ブームと地盤の干渉により建込みできない)

そこで、左右の2ブームに中ブームを加えた3ブーム構造とした。(図-3)

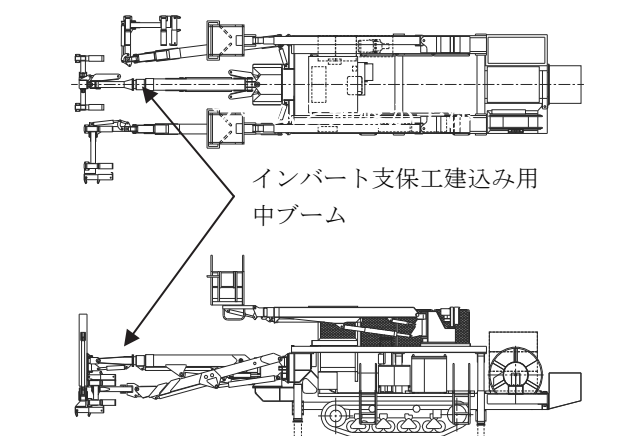


図-3 3ブームインバート支保工建込兼用エレクタ

そして中ブームには垂直に伸縮する機構を加えることにより、深さ2~4mあるインバート底部に地盤と干渉することなくブームが届くようにした。(図-4)

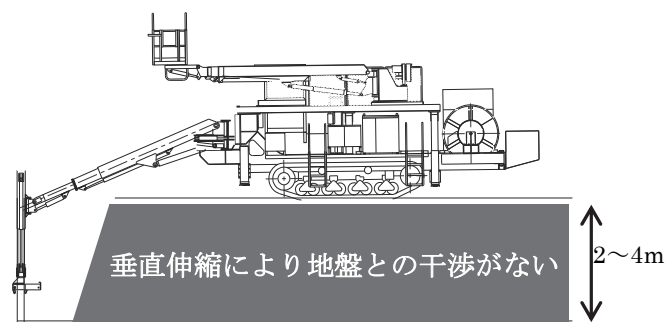


図-4 中ブーム垂直伸縮による建込図

また、垂直に伸縮することで斜め伸縮する場合と比較して作業範囲が大きくとれるため、地盤の悪いインバート掘削箇所より離れた場所にエレクタの設置が可能となる。

3. 2 インバート支保工把持機構

分割したインバート支保工を地上で組立てするには、左右のブームでインバート支保工を各々掴み、ほぼ中央の部分でボルト連結を行う必要がある。

そのためには、インバート支保工を回転させ中央の接合面を合わせることが必要となる。

しかし、左右の上半支保工建込用ブームについている把持機構では、下方向に回転できないため、インバート支保工の接合ができない。

そのため、分割支保工の地上接合方法が課題となった。(図-5)

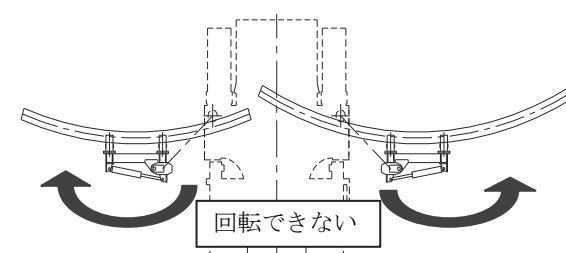


図-5 上半用キャッチング作動範囲

そこで、左右のブームに下向きのインバート支保工把持装置を追加することで、インバート支保工の接合を可能にした。

(図-6)

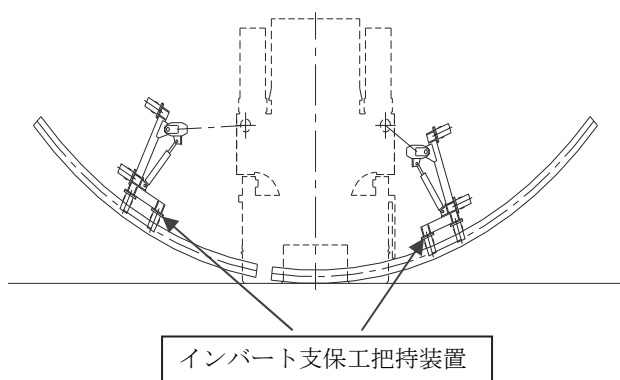


図-6 インバート支保工把持用装置による接合

3. 3 下半支保工との接合容易な機構

インバート支保工を一括化した後、下半支保工と接合する。

この下半支保工と接合する際は、ボルト接合となるため、精度よくインバート支保工の設置および調整が必要となる。

そのため、中ブームおよび把持装置には位置調整が容易にできるように、左右、前後、回転ができる機構とした。

さらに、その把持装置には2本のツメを装備して長く湾曲したインバート支保工を確実に把持できる構造とした。(図-7)

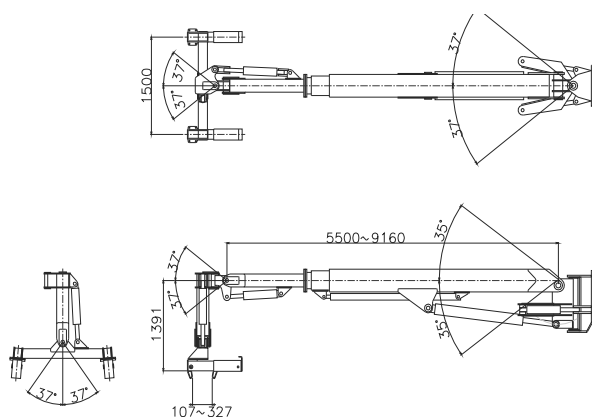


図-7 中ブーム動作機構

表-1 に中ブームの仕様を示す。

表-1 中ブーム仕様

装置名称	仕様
ブームリフト角	上 35度 下 35度
ブームスイング角	右 37度 左 37度
アーム伸縮長	1200mm
アーム最長(垂直最伸長時)	2791mm
アームスイング角	上 37度 下 37度
キャッチャー スイング角	右 37度 左 37度
キャッチャー 回転角	74度
キャッチャーエクステンション	107~327mm
最大把持荷重	1000kg

4. 実証実験

(1)インバート支保工一括化実験

インバート支保工把持装置を取り付けた左右のブームにより、分割したインバート支保工の接合実験を行い、問題なく一括化できることを確認した。(写真-3)



写真-3 インバート支保工接合実験

(2)アーム伸縮動作実験

地上で組み立てた一括化したインバート支保工を把持した状態でブームを最大に伸ばし、アームを垂直に1.2m 降下させて、アームの動作、機体の安定性に問題ないことを確認した。(写真-4)





写真-4 アーム伸縮実験

また、把持装置の位置調整が可能な左右、前後、回転機構の動作を確認し、問題なく下半支保工との接合ができることを確認した。

5. 現場適用

5.1 施工状況

前述のインバート支保工設置ロボットを現在稼働している山岳トンネル現場に導入し、実際のインバート建込作業を行った。

以下に建込作業のフロー図を示す。

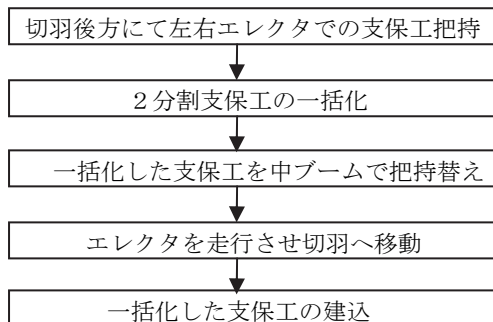


図-8 建込作業フロー

切羽後方にて左右のブームで2分割したインバート支保工を各々把持し、キャッチングの回転機構及びスイング機構を使用して一括化する。(写真-5)。



写真-5 支保工仮組

その後、インバート建込み専用の中ブームに把持替えを行う。(写真-6)



写真-6 支保工把持

そして、切羽までエレクタを前進させ一括化したインバート支保工を下半支保工の接合を行った。(写真-7)



写真-7 支保工建込

現場での適用結果からインバート底部まで人が立ち入ることなくインバート支保工の設置が可能となり安全性が向上した。

また、建込に必要な作業員は従来5人必要であったが、エレクタでの建込作業ではオペレータ1人と組立作業員2名の合計3名での建込作業が可能となり、建込作業の省力化も可能となった。

5.2 作業サイクル

実際に建込作業を行ったときのサイクルタイムを計測し、従来方式（バックハウを使用しての建込）との比較を行った結果を次に示す。

支保工の仮組立から建込の完了までの時間を比較し、従来の方式では1基当たりの平均組立時間は約11分、エレクタを使用しての建込については約14分という結果になった。

これは、一括化した長尺の支保工を設置する際に下半支保工との干渉があるため、位置決めする時間がかかっているのが要因の一つである。

表-2 建込サイクル時間比較表

従来方式	1.左支保工仮取付	2基	2基	2基	合計66分 11分/基
	2.右支保工仮取付				
	3.調整ピースの取付				
	4.ストラッド高さ確認				
	5.インバート支保工本組				
		21分	21分	24分	
エレクトラでの一括建込	1.支保工を仮組立	1基	1基	1基	合計56分 14分/基
	2.建込位置へ移動				
	3.支保工建込				
		15分	16分	12分	13分

5.3 調整ピース取付工程の短縮

従来方式での建込手順を次に示す。(図-9)

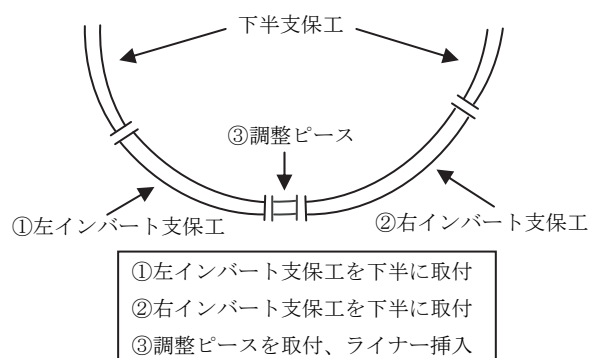


図-9 従来方式での建込手順

従来は左右の支保工の隙間を調整する調整ピース取付けを組立工程の最後で行っていたため調整が容易であった。

一方、エレクトラでの設置方法では、一括化した支保工を建込み、下半支保工との接合部に、調整ピース・調整ライナーの取付けを行っていた。

(図-10) しかし、作業足場が悪い中での、調整ピース・調整プレートの設置作業は、従来の方法にくらべて、作業時間がかかった。

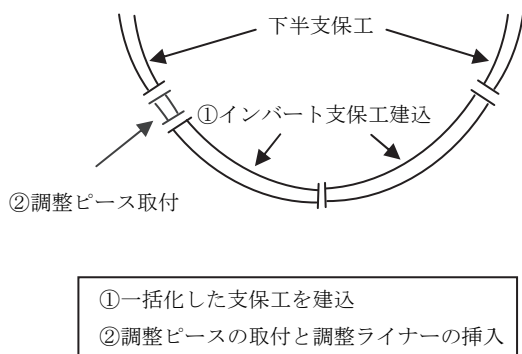


図-10 調整ピース取付位置と建込順序

そこで、建込前に下半支保工の左右接合面の幅を計測し、一括化する支保工の周長を把握することによって調整ピースの大きさを決定することにした。(図-11) 計測には利便性を考慮し、市販のレーザーポインター型の距離計を使用した。

その後、一括化した支保工にあらかじめ大きさを決めた調整ピースを取付けた結果、支保工の建込時間を短縮することができた。(図-12)

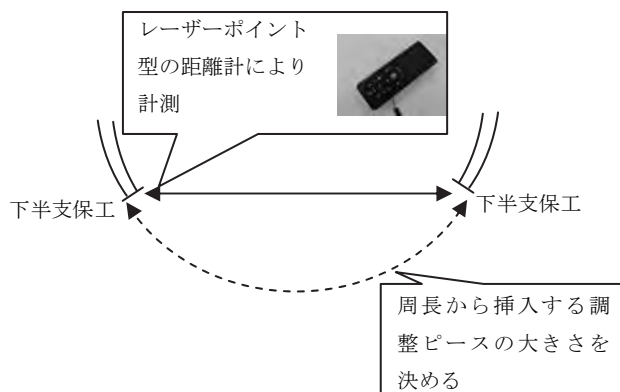


図-11 計測方法

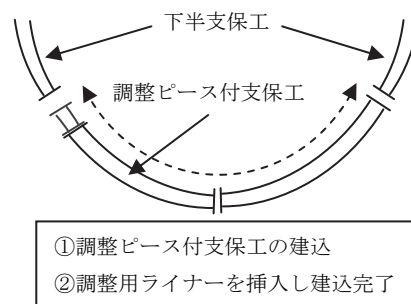


図-12 建込手順

6. おわりに

インバート支保工設置ロボットの導入により、人が立ち入らないことによる安全性の向上、専用の把持装置を装備したロボットによる省力化や省人化が可能となった。

以上に示したような切羽に近い位置でのインバート支保工の設置を行うことにより、安全性と地山の安定化に貢献するより効果的な早期閉合が可能となった。

今後は施工を重ね更なる改善を行い、安全性の向上および生産性の向上に努めていきたい。