

1

HEP&JES 工法 広幅バケット掘削機の現場適用

西村 知晃*1・泉 宏和*1・栗栖 基彰*2・岩瀬 隆*3・長尾 達児*4

概 要

HEP&JES 工法における施工の機械化は、現在までにオーガー式掘削機、バケット式掘削機が開発され、既に実施工に適用されている。オーガー式掘削機の場合、施工速度が優れているが、適用可能な土質条件が限られている。逆にバケット式掘削機は、適用可能な土質条件の範囲は広いが施工速度に劣る、と一長一短であるのが実状であった。そこで、バケット式掘削機の施工速度向上を目的に、広幅バケット掘削機を開発し、実工事に適用して有用性を確認した。

キーワード：非開削工法，HEP & JES 工法，機械施工，広幅エレメント，工期短縮

APPLICATION OF AN EXCAVATOR WITH A LARGE WIDTH BUCKET TO AN ACTUAL CONSTRUCTION SITE, USING THE HEP AND JES METHOD

Tomoaki Nishimura*1, Hirokazu Izumi*1, Motoaki Kurisu*2, Takashi Iwase*3, Tatsuji Nagao*4

Abstract

In the field of mechanized excavation with the HEP & JES method, the auger type excavator and bucket type excavator have already been developed and employed on actual sites for construction. The auger type excavator has excellent excavation speed, but limited in geological applicability, while the bucket type excavator has a wide range of applicability to soil geological conditions, but cannot operate at a high speed during construction. In order to compensate for the weak point of the latter, we developed an excavator with wide bucket, and used it at an actual construction site and confirmed its validity.

Keywords: non-open cut method, HEP & JES method, mechanized construction, large width elements, shortening of construction period

*1 Under Ground Structure Engineering Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

*2 Manager, Under Ground Structure Engineering Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

*3 Construction Technology Research and Development Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

*4 Manager, Construction Technology Research and Development Group, Engineering Department, Civil Engineering Division

HEP&JES 工法 広幅バケット掘削機の現場適用

西村 知晃*1・泉 宏和*1・栗栖 基彰*2・岩瀬 隆*3・長尾 達児*4

1. はじめに

線路下を横断する道路や水路などの構造物を施工する場合、列車運行に支障を与えないために、軌道変状を抑えることが必要である。このようななか、軌道影響を抑制した線路下横断工法として、HEP&JES 工法¹⁾を開発し、多くの施工実績を積み重ねてきた。HEP 工法 (Highspeed Element Pull method) とは、到達側に設置したけん引装置で、エレメントとその先端に直結した掘削装置を PC 鋼より線にて到達側に引き込む工法である。また、JES 工法 (Jointed Element Structure method) とは、軸直角方向に力の伝達可能な継手を有する鋼製エレメントを嵌合させ本体利用することで、線路下横断構造物を短期間に安全に構築する工法である。工法概要図を図-1に示す。

これまで、施工速度向上、コスト低減を目的とし、施工機械の開発を行い、実施工に導入してきた。写真-1, 2にオーガー式掘削機、従来のバケット式掘削機を示す。この度、機械化施工による掘進のさらなる高速化および無人化掘削による作業環境の改善を図ることを目的として、広幅断面バケット式掘削機を開発した。

本稿では、広幅断面バケット式掘削機(以下、本掘削機という。)の概要と実施工への適用事例について報告する。

2. 広幅断面バケット式掘削機の概要

2. 1 開発の要点

本掘削機の開発要点は以下の3点である。

- ① バケット式掘削機の広幅断面への対応

- ② 掘削機構と排土機構の分離および並行処理による施工速度の向上
- ③ 掘削機の姿勢管理・制御方法

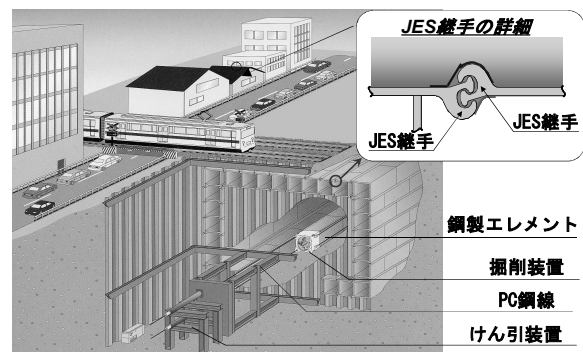


図-1 HEP&JES 工法の概要図

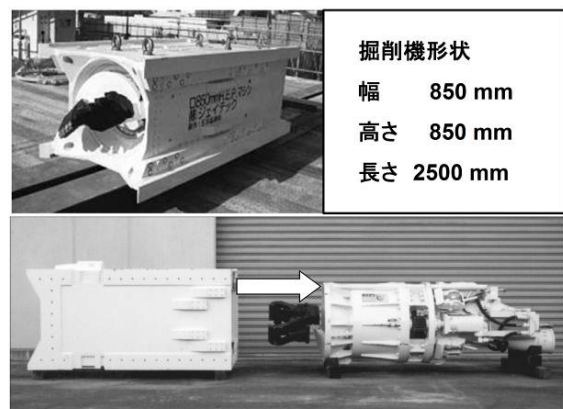


写真-1 オーガー式掘削機

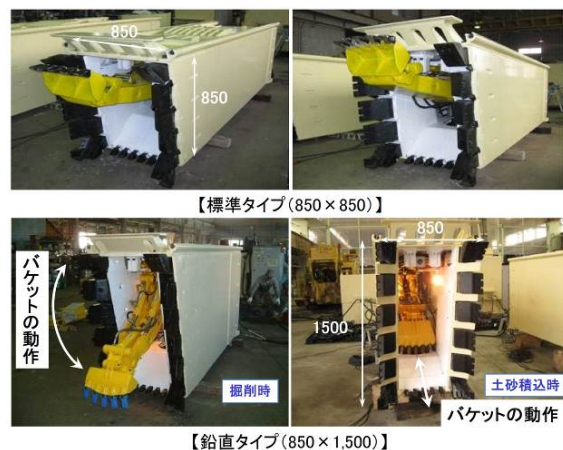


写真-2 従来のバケット式掘削機

*1 土木本部 エンジニアリング部 地下構造技術グループ

*2 土木本部 エンジニアリング部 地下構造技術グループ グループリーダー

*3 土木本部 エンジニアリング部 施工技術研究開発グループ

*4 土木本部 エンジニアリング部 施工技術研究開発グループ グループリーダー

本掘削機のイメージを図－２に示し、特徴を以下に記述する。

2. 2 仕様

本掘削機の仕様を表－１に示す。なお、地盤条件はオーガー式掘削機の適用範囲を除外した範囲としている。

2. 3 鋼製エレメント形状

本掘削機でけん引・設置する鋼製エレメントは、標準エレメント（1,035mm）2本分の幅を有する広幅エレメント（1,035mm×2＝2,070mm）を基本とする（図－３）。従来のバケット式掘削機は標準エレメントを使用していたが、広幅エレメントを用いることで、エレメント施工本数を減らすことが可能となり、工期短縮およびコスト低減を可能としている。

2. 4 掘削機構と排土機構

従来のバケット式掘削機は、バケットで掘削した土砂を直接後方のベルトコンベアへ積み込む構造としていた。本掘削機は、バケットが土砂を掘削し、ギャザリング装置がその土砂を集積し、ベルトコンベアに積み込むように、作業を分担するように改良を加えた。この改良により、掘削と排土を並行して行うことで、施工速度の向上を図っている（図－４）。

広幅断面に対応して、バケットは、スイングおよび旋回機構を搭載し、可動範囲を広くした。また、ギャザリング装置は、油圧モータによる回転運動をリンク機構で、大きな半円状の爪の動きを実現している。そして、バケットとギャザリングの干渉防止として、ギャザリングの自動停止および運転再開ラインを設定することを可能としている（図－５）。

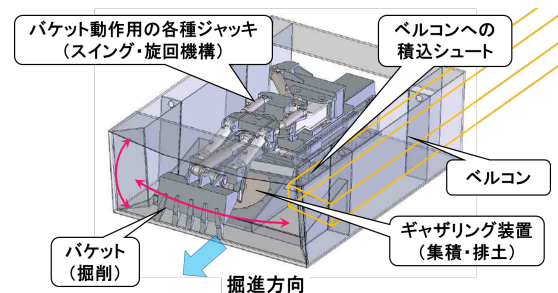
2. 5 掘進時の姿勢制御機構

本掘削機は、幅が広いので、掘進に伴い継手が嵌合していない側が沈む（ローリング）ことが懸念された。このため、既往の開発である刃口姿勢制御手法²⁾を採用した。具体的にはアウ

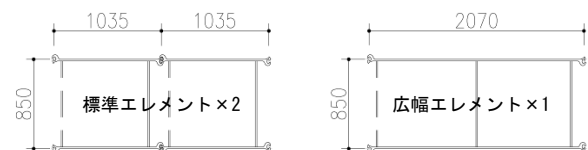
トケーシングの下面にテーパーを設け（図－６）、下面の掘削量の調整を行うことにより姿勢制御

表－１ 機械仕様

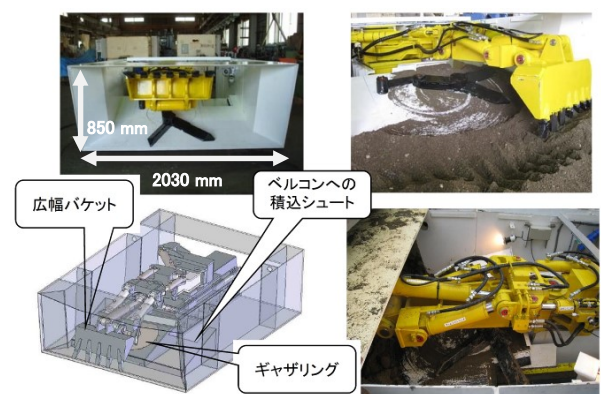
名 称	広幅断面バケット式掘削機
仕 様	油圧バケット式
寸 法	W 2030 mm × L 4650 mm × H 850 mm
能 力	ギャザリング排土機構 11.7 m ³ /h
本体重量	5.85 tf
適用地盤	・玉石混じり地盤 玉石径 200～400mm 程度 ・N値≥20 砂質土 ・N値≥8 粘性土 ※本掘削機を選定する際の地盤条件



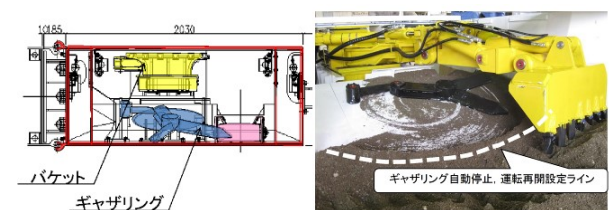
図－２ 広幅断面バケット式掘削機の概要図



図－３ 鋼製エレメント断面図



図－４ 広幅断面バケット式掘削機



図－５ バケットとギャザリングの干渉防止

を行う。本掘削機の高さ、ローリングは電子レベルにより、ピッチングは傾斜計により常時計測およびモニタリングを行う。電子レベルは背面の立坑内に設置し、受光部（電子スタッフ）を本掘削機内に設置することで、高さを計測する（図－7）。

2. 6 掘削範囲制御機構

本掘削機では、バケット可動範囲を制御することにより、掘削範囲を制限することができる。また、掘削バケットツースの本掘削機端部からの突出量の制限値の設定は、全範囲（上下左右）遠隔制御が可能であり、切羽の地山状況により中央管理室の制御盤にて変更することができる。バケットの最大可動範囲を図－8に示す。

切羽全面の土質状況および掘削状況は、刃口先端に配置した監視カメラ4台(LED 照明付)にて中央管理室のテレビモニターで管理する。監視カメラ配置図を図－9に示す。死角の無い配置により切羽全域の監視を行う。

2. 7 掘進管理

本掘削機およびエレメントけん引装置の操作は、作業ヤード内に設置する中央管理室にて行う。中央管理室内の状況を写真－3に示す。全体管理 PC では、けん引距離、けん引速度、けん引力、補助推進力、ピッチング、ローリング等のデータを監視する。

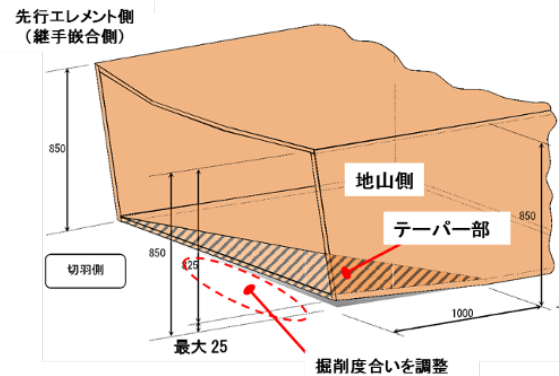
2. 8 けん引および補助推進

エレメント掘進は、継手を嵌合させる側3本のPC 鋼より線によるけん引、および継手がフリーとなっている地山側の補助推進を行っている。けん引設備は、到達立坑に設置する。補助推進は、発進立坑の反力設備を設置しジャッキにて行う。

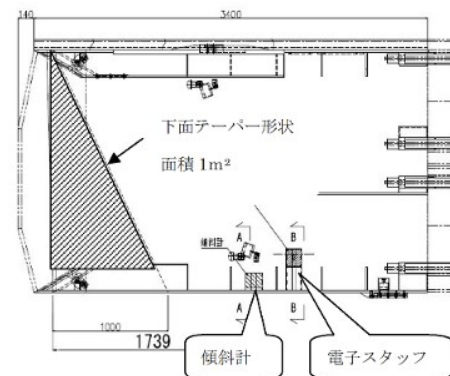
3. 実施工への適用事例

3. 1 工事概要

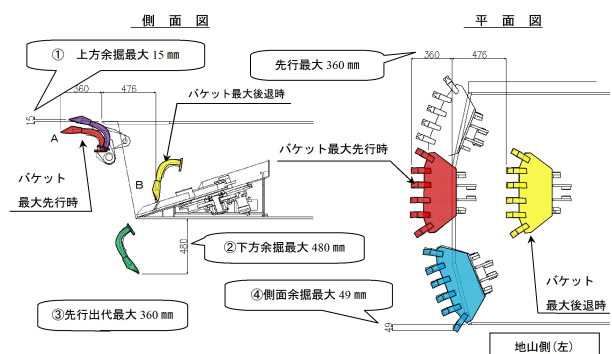
本掘削機を採用した高崎線桶川・北本間二ツ家



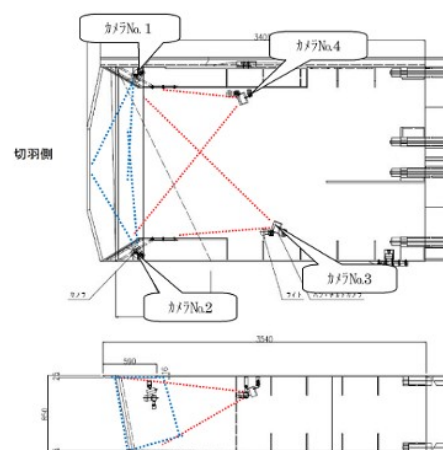
図－6 下面テーパイメージ図



図－7 刃口計測器配置図



図－8 バケット最大可動範囲



図－9 切羽監視カメラ配置図

こ道橋新設工事³⁾（以下、二ツ家 Bv という。）は、JR 高崎線と一般国道 468 号線首都圏中央連絡自動車道（圏央道）および、主要地方道東松山桶川線（県道）の立体交差工事であり、JR 高崎線下に 1 層 4 径間のボックスカルバート（幅 49m、高さ 8.9m、延長 14m）を構築するものである（図-10～12）。試験ヤードでの施工試験を経て、二ツ家 Bv の下床エレメントの施工（8 エLEMENT：図-11 に①～⑧と記載）を本掘削機にて行った。なお本件においては、標準エレメント（幅 1035mm）を製作済みであったことから、標準エレメント 2 つを連結し広幅エレメントと同じ幅にして施工した。

3.2 土質条件

対象地盤は、設計時の土質柱状図ではシルトが介在する砂層（N 値 6～20）と想定されていた。そのため、掘削機は、オーガー式を採用する計画であった。しかし、下床エレメント施工地盤は、立坑掘削時に N 値 30 以上の硬質砂質土であることを確認したため、N 値 20 以上の地盤に適用可能な本掘削機を採用することとなった。

3.3 施工結果

(1) 施工精度

本掘削機による下床 8 エLEMENTの施工順序を図-11 に示す。二ツ家 Bv は 4 径間の割付であり、径間ごとに施工誤差を吸収する調整エレメントを施工して閉合する。そのため、施工目標高は、先行して施工した調整エレメントの隣

のエLEMENTの高さに向けて徐々に近づけることとした。例えば、高崎方 1 径間では、①KK1&3、②KK4&6、KK5、L の 4 エLEMENTの施工で施工済の M6 に徐々に近づけるようエレメントごとに施工目標高を設定した。その際の掘進完了後のエレメント高さを図-13 に示す。施工目標高に向けて、徐々に近づけることができおり、姿勢制御および掘進管理により、所定の施工精度内でエレメント掘進が完了した。他の径間についても同様な結果であった。



写真-3 中央管理室内状況

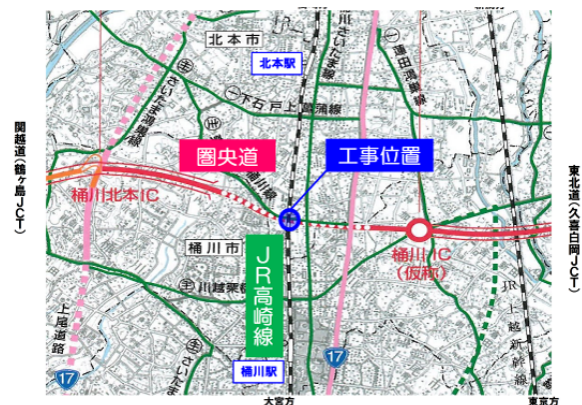


図-10 施工位置図

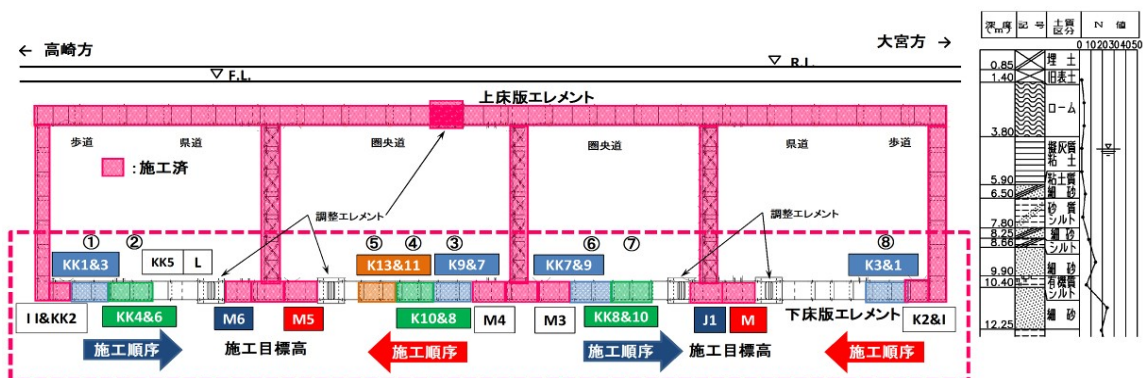


図-11 横断図（二ツ家 Bv）

(2) 掘進速度

掘進速度については、本掘削機による1方(作業時間 420 分)の最大掘進量は 4.4m/方であり、1 エレメント(14m)を3 日程度で掘進した。

同時期に施工した人力掘削では、標準サイズエレメントの最大掘進量が 3.7m/方であったことから、エレメントサイズが広幅になり、1 回のけん引で標準エレメント 2 本分の掘削が可能となることから、本掘削機の適用は非常に有効であったと言える。なお、施工体制は、人力施工の1 班 6 人に対し、機械施工により 1 班 4 人で実施した。

(3) けん引力

図-14 に①KK1&3、②KK4&6 のけん引力管理図を示す。縦軸は PC 鋼より線 3 本のけん引力および後方からの補助推進力の和を表している。

掘削機高さを修正するため、姿勢制御を実施した②KK4&6 は二次管理値付近と高い値であったが、けん引力と補助推進力の和は、全エレメントにおいて所定の管理値内であった。

4. まとめ

広幅断面バケット式掘削機を開発し、試験ヤードでの施工試験を経て、実施工へ適用した。

実施工により、本掘削機が N 値 30 以上の硬質砂質土に対して有効であることを確認した。

本掘削機の採用により、従来のバケット掘削機や人力掘削と比較して、施工速度の向上による工程短縮、および作業人員削減によるコスト縮減に繋がると考える。定量的な評価については、今後、同様のプロジェクトへの展開を図り、施工実績を積み重ねて整理していく。

参考文献

- 1) (財) 先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明 報告書 HEP&JES 工法(更新)，2005.11
- 2) 泉宏和，岩瀬隆，中井寛，齋藤貴，藤本幸夫：地盤切削 JES 工法における刃口姿勢制御手

法の施工確認試験，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.1489-1490，2013

- 3) 西村知晃，中山泰成，尾関聡司：地盤切削 JES 工法による立体交差工事－高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事－，土木施工，vol.54，No.8，pp.32-35，2013.8

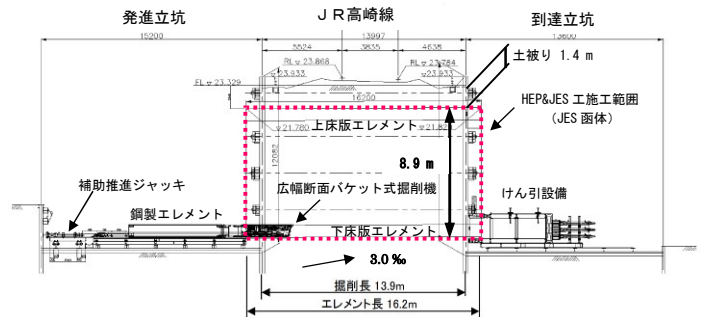


図-12 縦断面図 (二ツ家 Bv)

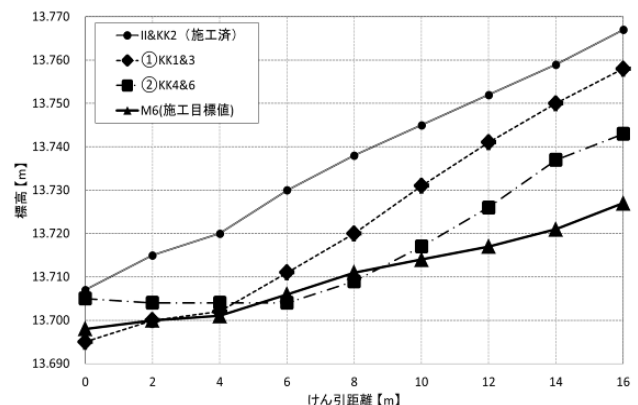


図-13 施工目標高とエレメント高さ

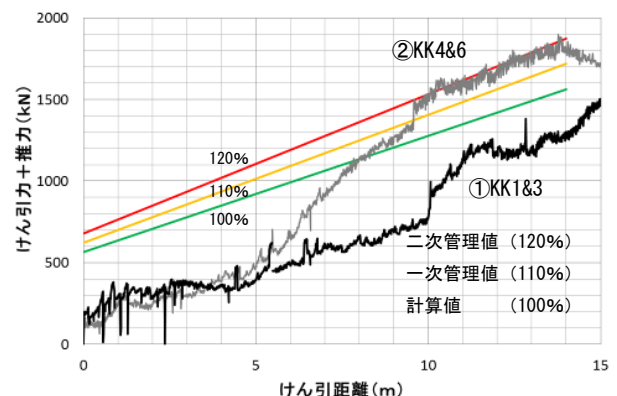


図-14 けん引力管理図