

H E P & J E S 工法における半機械式掘削方法の開発

鈴木 唯夫^{*1}千々岩 三夫^{*2}

概 要

「H E P & J E S 工法」において礫層の施工は、機械式掘削では条件が厳しく、現状は人力掘削を強いられている。この課題の改善にあたり、人力掘削に替わる方法として礫対応掘削装置による半機械式掘削方法の開発にあたった。

当研究所では、試作機による性能確認試験を、礫を混入した模擬地盤で実施し、掘削に伴うけん引力、けん引速度、地盤への影響などの確認と、実用化に向けた改良を行った。

本論文では、この性能確認試験の内容と結果について報告する。

キーワード：人力掘削，半機械式掘削方法，礫対応掘削装置

DEVELOPMENT OF A SEMI-MECHANICAL EXCAVATION METHOD "HEP & JES"

Tadao SUZUKI^{*1}Mitsuo CHIDIWA^{*2}

Abstract

When employing HEP & JES (High Speed Element Pull & Jointed Element Structure), mechanical excavation in gravel layers is so difficult that manual excavation must be employed. In order to find a solution for this problem, we developed a semi-mechanical excavation method with the use of a gravel excavating machine that will replace manual excavation.

Tekken's research institute performed tests with a prototype model to assess its performance in a simulation ground mixed with gravel. Though these tests, the authors confirmed the traction force and speed of excavation and its impact on the ground. In addition, improvement was made for practical application.

This paper reports the details and the results of the performance validation tests.

Keywords: manual excavation, semi-mechanical excavation, excavator applicable to gravel layer

* 1 Construction Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

* 2 Manager, Construction Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

H E P & J E S 工法における半機械式掘削方法の開発

鈴木 唯夫^{*1}・千々岩 三夫^{*2}

1. はじめに

現在、H E P & J E S 工法において砂礫層の掘削は、機械施工が困難で人力掘削に依存しているのが現状である。人力掘削では、掘削速度が遅く切羽での重労働、頻繁なトロの出入りなど安全面での課題もあり改善が望まれている。今回開発した礫対応掘削装置による半機械式掘削方法は、従来の狭隘な空間での苦渋作業から解放されるとともに、工期短縮が図れ、H E P & J E S 工法の機械式施工の適用範囲の拡大を目指すものである。

2. 礫対応掘削装置の概要

2. 1 開発のコンセプト

掘削装置の開発に当たっては、人力掘削での作業の機械化に重点を置き、複雑な機構を避けシンプルな構造で軽量かつ耐久性を有し、製作コストも抑えることとした。

けん引掘削において、この装置で取り込めないような玉石あるいは支障物に対して、人力作業ができるように内部装置の取り外し・撤去を可能とする構造の検討を行った。

2. 2 基本仕様

人力による作業を機械化する方法としては、刃口周辺部の土砂、礫の突き崩しを、人がピック、スコップで行う作業に替わり、油圧ハンマと周辺ビットによって行い、中央部の掘削と掘削土砂の掻き込みを、油圧バケットで、土砂の搬出を、ズリトロに替えてベルトコンベア（特に大容量搬送を必要とするためユニットベルコンを採用し効率化を図る）を使う仕様とした。礫対応掘削装置を図-1と写真-1に示す。また、油圧バケットと、油圧ハンマの仕様を表-1と表-2に示す。

表-1 油圧バケットの仕様

	項目	単位	出力
1	バケット旋回力	k N	2. 7
2	バケット下げ力	k N	2 0
3	バケット刃先力 (掻き込み力)	k N	2 2
4	ブーム伸縮力	k N	2 0
5	バケット幅	mm	5 1 6
6	バケット長さ	mm	2 5 8
7	掻き込み能力	m ³ /h	6. 5

表-2 油圧ハンマの仕様

	項目	単位	数 量
1	油圧ハンマー台数	台	6
2	油圧ハンマー打撃力	N-m	1 6 0
3	打撃数	回/分	1 3 5 0
4	使用油量	L/min/台	2 2
5	使用油圧	M P a	1 8
6	6 台作動時必要油量	L/min/6 台	1 3 2
7	油圧ユニット出力約	k w	3 0



写真-1 礫対応掘削装置

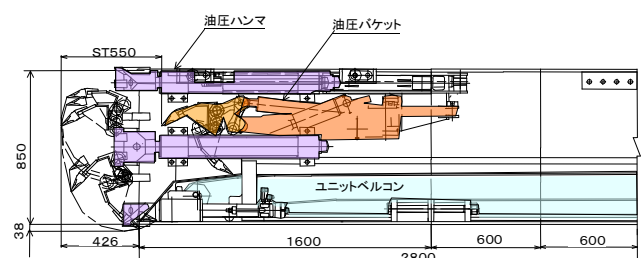


図-1 礫対応掘削装置

* 1 エンジニアリング本部 技術研究所 施工技術開発グループ

* 2 エンジニアリング本部 技術研究所 施工技術開発グループリーダー

2. 3 改良について

初回の礫対応掘削装置の性能確認試験において、油圧ハンマが有効であることは実証されたが、けん引速度に対する掻き込み能力不足などの課題が発生した。よって、けん引速度 50mm/min 以上を保持しながら掘削・排土できる性能を確保するために以下に示す改良を行った。

- ①バケットの走行機構を門型形式から吊下げ形式にすることで、バケット下部のスペースを確保し、大型の排土設備（ユニットバルコン）を装備できる構造とし排土搬送能力を向上させる。
- ②バケット幅を拡大することでバケット容量を増加させ、バケットひと掻きの掻き込み能力を向上させる。
- ③油圧ポンプを増設し油量を増やすことで、掻き込み速度を上げ、時間あたりの掻き込み能力を向上させる。

改良前後の性能比較を表－3に示す。この改良により、けん引速度は4.5倍、掻き込み能力は3倍に向上し、地盤に与える影響も改善され、実用化への可能性を確認した。以降は、改良した掘削装置による性能確認試験について記述する。

3. 性能確認試験

3. 1 概要

性能確認試験は、当研究所のフィールドにて、実際の施工を想定した模擬地盤の中で、けん引掘削し、掘削・排土状況からその性能を確認した。

表－3 性能比較

項 目	改良前	改良後
バケットの支持	門型形式	吊下形式
バケット幅 (mm)	385	516
バケット容量 (m³)	0.021	0.028
掻き込み時間(実測値) (SEC/1 ㎡)	35.4	16.75
掻き込み能力 (m³/h)	2.16	6.5
理論最大けん引速度 (mm/min)	33.0	150
排土能力 (m³/h)	12	15
排土設備	バルコン継ぎ足し式	ユニットバルコン式

3. 2 試験方法

模擬地盤は、図－2の試験概要に示す様に上床版での低土被り、砂礫層・粘性土層などの互層を模擬した地盤とした。砂礫層には、写真－2に示す礫径 300mm 程度の栗石を混入した。

けん引設備は、連続的なけん引を目指すことから、連続けん引ジャッキを使用し、排土設備には、ユニットバルコンを採用した。また、中央管理室での集中一括管理による施工の一元化を模したもののとした。

- (1) 模擬地盤：模擬地盤は、土被り 1.0m で表－4に示す互層とした。
- (2) 計測項目：性能を確認するために、表－5に示す計測を実施した。

表－4 模擬地盤

	延長(m)	地質性状
粘性土層	1.0	砂質粘土 (購入)
砂 礫 層	2.0	礫混入率 50% 最大礫径 300mm 地盤強度 ^(注) コーン指数 1.76 N/mm² N値換算で 50 以上

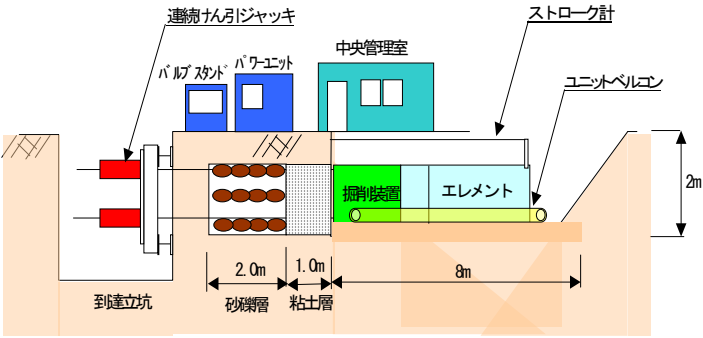
注) 砂礫層の地盤は、セメント 50 kg/m³ を加えた。



写真－2 模擬地盤に混入した礫

表－5 計測項目

計測項目	計測方法	単位	備考
けん引力	連続けん引ジャッキ作動油圧からの換算値を伝送	kN	連続けん引ジャッキ 4 台の総和
けん引速度	ストローク計でけん引距離を計測	mm/min	ワイヤ式ストローク計
地盤変状	試験前後で定点測量	mm	測定箇所 15 点
振動・騒音	振動計・騒音計で計測	dB	測定箇所 3 点 直上部、5m、10m



図－2 試験概要

3. 3 試験結果

試験結果について、各項目毎に報告する。

(1) けん引力、けん引速度

表－6、図－3にけん引力とけん引速度を示す。

粘性土層では、礫などの反力を受けるものがないためにハンマは作動せず、けん引により地山に貫入する状態であった。

砂礫層では、ハンマは頻繁に作動し、破碎・突き崩し能力を発揮した。バケットは自動運転を基本としたが、自動運転で掻き落とせない程地山が固く締まった状態の時と、けん引速度が速く掻き込みが間に合わない時に、手動運転に切り替え操作を行った。

(2) 路盤変状

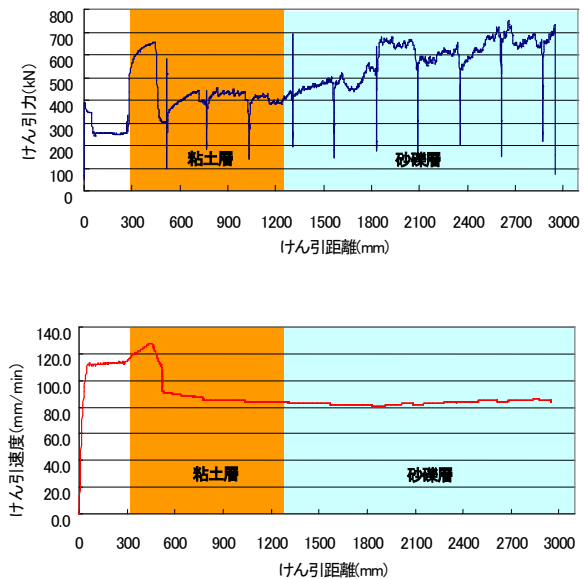
路盤変状は、試験前後で掘削部の地上ポイント（750mm間隔3測線、1mピッチの15ポイント）を計測した。結果を図－4に示す。

粘性土層の掘削は、発進部のすぐ近くであったことも影響したが、最大8mmの沈下で収まり、砂礫層では、改良前の最大隆起25mmに対して最大5mmの隆起で収まっており、大きく改善された。

この理由として、ハンマヘッド先端とケーシング外周に増設した周辺ビットの効果によるものと、

表－6 けん引力とけん引速度

地質	けん引長(mm)	けん引速度(mm/min)	けん引力(kN)
粘性土層	1000	82～128	421～646
砂礫層	2000	80～85	400～750



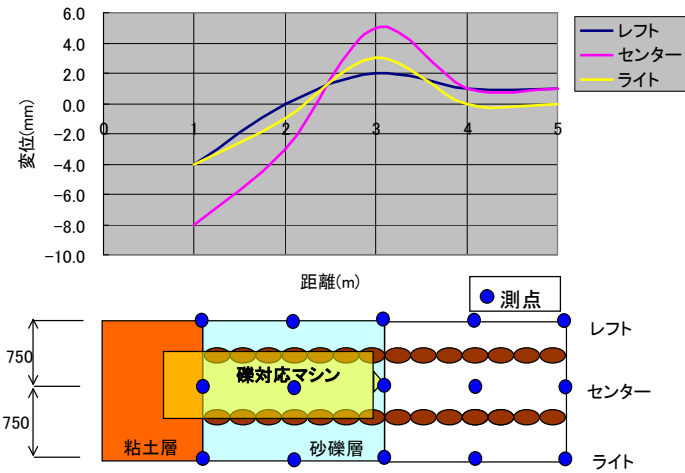
図－3 けん引力とけん引速度

バケットの掻き込み・掘削能力向上に伴う自由空間の確保に伴う貫入抵抗の低減が要因と考える。

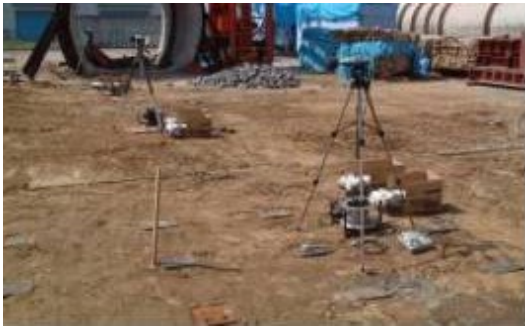
(3) 振動・騒音

振動・騒音は、同じ測点で同時に計測を実施した。振動・騒音測定状況を写真－3に示す。

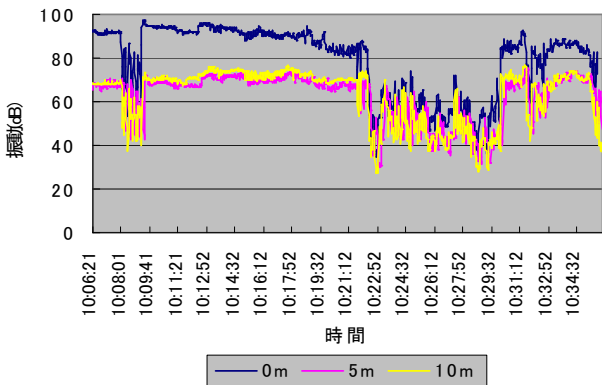
振動の発生レベルは、地山の条件により変化すると考えられるが、今回の試験結果（図－5参照）では、ハンマ6基作動時、掘削装置直上地点で最大93dBであり、そこから5mおよび10mの地点では、68～70dBの数値を示し、2.5dB/mの減衰特性を示した。



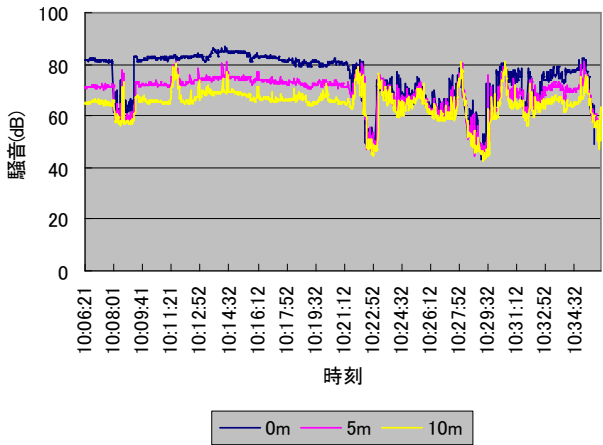
図－4 路盤変状測定結果



写真－3 振動・騒音測定



図－5 振動測定結果



注) 測定環境：気温 13.8℃, 湿度 72.8%,
風速 1～3m/s

図－6 騒音測定結果

騒音の発生レベルは、ハンマ 6 基作動時、掘削装置直上地点で最大 87dB であり、そこから 5m 地点で 75dB および 10m 地点で、69dB の数値を示し、1.8dB/m の減衰特性であった（図－6 参照）。この時の暗騒音は、52～59dB であった。

騒音源から 10m の地点での値 69dB は、音の目安では、騒がしい事務所程度の騒音レベルであった。

4. 考察

試験結果より、能力・適用性・安全性・機能性について考察する。試験結果のまとめとして、掘削装置の改良前と改良後の比較を表－7 に示す。

(1) 能力

①掘削能力

当初（改良前）は、排土能力不足であったため、けん引距離 0.3m 毎に、けん引を一時中断して切羽前面の土砂をバケットで掻き込み、再度、けん引を行う間欠施工であった。

改良後は、バケット容量・動作速度の向上により、平均けん引速度 85mm/min で、連続的にけん引掘削を行うことができた。バケット運転は、自動・手動の切り替えができる構造に改良し自動運転の連続的けん引施工が可能であることを確認した。

表－7 改良前と改良後の比較

項目	単位	改良前	改良後
けん引状況		断続的 (300mm 毎に中断)	連続的
最大けん引力	kN	907	750
平均けん引速度	mm/min	55	85
振動 (マシン直上部)	dB	85	93
振動 (マシンより 10m 地点)	dB	50	68
騒音 (マシン直上部)	dB	81	87
騒音 (マシンより 10m 地点)	dB	69	69
最大隆起	mm	25	5
最大沈下	mm	0	8

このことから、油圧ハンマ、油圧バケットによる掘削の有効性を確認することができた。

②排土能力

排土は、バケットの走行機構を門型式から吊り下げ式に改良したことで、大型の排土設備を設置することができるようになり、排土設備としてユニットベルコンを採用したことで、排土能力は 15m³/h となり、当初から 25%向上した。

油圧バケットは、幅 385mm から 516mm に拡幅し、掻き込み時間を 16.75sec/サイクルと改造前の 1/2 以下に短縮できたことから、掻き込み能力は、6.5m³/h と改良前の 3 倍の能力となった。この油圧バケットとユニットベルコンの組み合わせにより、連続的なけん引掘削を可能にした。

③けん引速度・けん引力

初回は、けん引を中断しながらの施工でけん引速度は 20～40mm/min であったが、改良後はけん引速度が 80～85mm/min で、連続的にけん引を行うことができ改善された。

けん引速度は、掘削状況、排土能力、けん引力、方向性など総合的判断から最適の速度に調整して施工管理するものである。結果として、80～85mm/min という高速で砂礫層をけん引掘削することができたが、けん引距離が微かな実験レベルのものであることから、今後の試験施工、実施工での検証が必要である。

けん引速度にも影響されるけん引力は、貫入抵抗、周辺摩擦抵抗、継手嵌合抵抗から構成され、計画上の計算基準値から管理許容値あるいは、限界値を決定する。

礫対応掘削装置では、砂礫層における芯抜き掘削時の貫入抵抗、油圧ハンマの振動による摩擦抵

抗の低減効果など不確定な要素があり、実績を積み途中で従来のけん引力算定計算との整合性を検証していく必要がある。

(2) 適用性

①礫径

今回の礫対応掘削装置で、搬出可能な最大礫径については、排土設備の能力と通過断面の大きさによるが、この装置では、バケット本体の下部からユニットベルコンのベルト上までの距離により制限され、最大礫径で 300mm 程度の計画であった。実際、長手方向で 300mm 以上の礫を搬出したが、空間制限上諸元としては 300mm が最大である。

②礫率

今回の試験では、礫率を 50～70%として実施したが、高い礫率に対して油圧ハンマは有効性を示し油圧ハンマにあたった礫は、破碎および突き崩された。

③粘性土質等他の地質

粘性土質の掘削の場合、けん引に伴う貫入抵抗は、礫層に比べ低いため、ハンマは作動しないで、バケットで切羽の掘削、掻き込みを行うけん引スタイルとなった。この時、バケット内側に、土砂が付着する状況が発生し、バケットを手動運転に切り替え、土砂を振り落とす処置を必要とした。N値の低い砂質層を掘削する場合、切羽の崩壊、土砂の取り込み過ぎなどの状況が予想されるが、装置上部にフードを取り付ける方法や、バケット動作範囲の調整を行うことで対応可能と考える。

(3) 安全性

①地盤への影響

掘削における地盤変状の間接的要因として、土被り、地盤強度、地質などが挙げられるが、礫層施工における直接的要因としては、貫入による圧密が大ききものである。

掘削方法は芯抜き・取り込み方式で、地山を圧密する大きな要因としては、刃口端面の貫入抵抗が大ききものと考えられる。

改良により取り付けた周辺ビットは、この端面の貫入抵抗を低減し、地山に与える影響を減らす

効果を示した。

②大径礫、支障物対応

径 300mm を超える大礫や支障物が出現した際には、油圧バケットおよび掘削装置先端に設置したシュートを取り外し人力掘削に対応できる構造となっている。

③振動・騒音

振動測定の結果は、発信源より 10m 離れた地点で 68dB は振動規制法に基づく特定建設作業に係わる振動基準値 75dB 以下の値であった。

また、騒音測定の結果は、発信源より 10m 離れた地点で 69dB は騒音規制法に基づく特定建設作業に係わる騒音の基準値 85dB 以下の値であった。防音対策として、エレメントの開口部からの騒音が最も顕著であるため、防音シート等で覆うことでより一層の低減を図ることができると考える。

これらのことから、特別な条件がない限り夜間施工にも適応可能と考える。

5. まとめ

今回開発した礫対応掘削装置は、礫混入率 50% 最大礫径 300mm の模擬地盤の掘削において、けん引速度 80～85mm/min で連続的に掘削を行うことができた。

よって、HEP & JES 工法における礫層の掘削には、人力掘削に替わり半機械式掘削方法の有効性が証明された。

今後の展開として、実際の施工現場において、玉石混じりの地山で試験施工し、課題抽出、検討改善により、実施工への適用を目指すものである。