

21. 端面掘削方式を用いた多段型掘削機の掘削効率に関する研究

呉工業高等専門学校
愛媛大学
(株) スターロイ

○ 重松 尚久
室 達朗
小田 登

1. はじめに

現在、日本では高度経済成長期に作られた多くの構造物が老朽化し、解体の必要性があるものも多数存在する。解体の際、現在使われている主な工法である油圧ブレーカー等での打撃工法等では、都市部などにおいて、騒音や振動の問題により使用が制限される場合も少なくない。そこで、環境に配慮した新しい解体工法の開発が必要とされている。本研究では、油圧アームの先のアタッチメントを取り替えることにより、多様な作業を行うことができる機械であるバックホウに着目した。このバックホウのアタッチメントとして使用できる掘削装置を開発することで既存の建設機械を使用することができ、経済性のよい掘削機械となることが考えられる。そこで、バックホウの先端に取り付けるアタッチメントに適した掘削方式として端面掘削方式を用いた多段型端面掘削機の開発を考案した。2自由面を有する岩石の端部を掘削する端面掘削方式では、平面掘削方式との比較実験により比エネルギーが約 1/10 に減少する¹⁾ことが明らかになっている。

本研究は、段階的に端面掘削を行える形状のモデル掘削機を製作し、実験を行うことでバックホウの先端に取り付ける端面掘削方式を用いたコンクリート掘削機を設計する際の指針を提供することを目的とする。過去の実験でモデル掘削機を使用した実験を行ったが、水平面を垂直に掘削する実験であったため、掘削土が供試体中に残り、効率的な掘削土の排出が出来なかった。そのため、排出されなかった掘削土が実験結果に大きく影響した可能性が高い^{2),3)}。本研究では掘削土の排出効率を改善するために、モデル掘削機の改良に加え、実験機を 90°横に倒して垂直面を水平に掘削するし、実験を行った。実験により各掘削段階におけるモデル掘削機に作用する垂直力 F_z 、回転トルク T 、掘削深さ z の測定を行い、比エネルギー E_s を求め掘削効率などの検討を行った。また、掘削土の排出効率の改善を行っていない実験データとの比較を行った。

2. 実験概要

2.1 モデル掘削機

図-1 にモデル掘削機の断面図を示す。この掘削機は1段目である先端部に $\phi 12\text{mm}$ 、長さ 28mm のポイントアタックビットが 2 本ついており、このビットで先行掘削することによってディスクカッタビットで端面掘削を行うための先進孔を掘削する。なお、ポイントアタックビットで掘削を行う際中心に残るモルタルが掘削の妨げとなってしまうため、そのモルタルを壊すためのフィッシュテールをモデル掘削機の中心部に設置する。2段目は、ポイントアタックビットから 30mm 広がったところに刃が当たるように 2 枚のディスクカッタビットを設置する。3段目は、2段目から 30mm 広がった位置に刃が当たるように 2 枚のディスクカッタビットを設置する。このような構造によりに段階的に端面掘削を行っていく。なお、このディスクカッタビットは $\phi 60\text{mm}$ であり、周面摩擦を低減させるためモデル掘削機に 10度の角度をつけて配置してある。過去の実験では掘削土の排出に対する対策をしておらず、掘削土の排出が不十分であったため、今回のモデル掘削機はモデル掘削機先端部に $\phi 17\text{mm}$ の吸い込み口を設け、掘削土の吸引を行い、さらにモデル掘削機の 2 段目の角を取ることによって掘削土の排出の改善を行った。

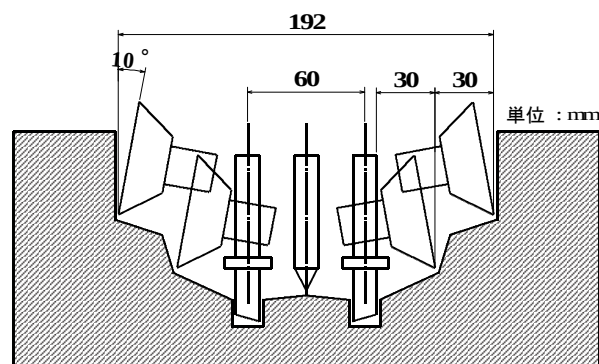


図-1 モデル掘削機断面図

2.2 実験装置

図-2 にモデル掘削機を取り付けた実験装置の概略図を示す。実験装置は高さ 1,750mm、幅 700mm、奥行き 700mm である。ターンテーブル、供試体、下部に設置したターンテーブルを回転させるためのモータと駆動伝達装置、上部フレームに設置した応力制御用油圧シリンダ、および推進力とトルクを測定するロードセル、モデル掘削機の掘削深さを測定する変位計、掘削土の排出のために実験装置を倒す排土改善用油圧シリンダで構成される。ターンテーブルは、下部に設置した電動モータにより 2r.p.m. で回転させる。上部フレームには応力制御用油圧シリンダを設置し、油圧モータで荷重を制御する。なお、実験装置は幅 1,370mm、奥行き 1,100mm の鋼板の上に乗っており、側面に設置されている排土改善用油圧シリンダを伸縮させることによって実験装置を横転させることが可能である。

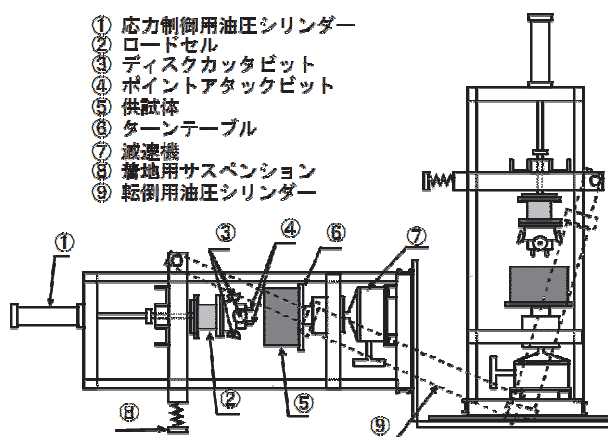


図-2 実験機概略図

2.3 供試体

本実験には水セメント比 $W/C=50\%$ のモルタル供試体を使用した。供試体の形状は外形 270mm、高さ 183mm の円柱状で、周りを鋼製型枠で覆っている。供試体は一軸圧縮強度 40N/mm^2 以上を目標とした配合設計により製作した。

2.4 実験方法

モデル掘削機に作用する垂直力 F_z を一定に制御して掘削を行う荷重制御による実験を行った。今回の実験では、掘削土をスムーズに排出するため実験機を 90° 倒し、鉛直面を掘削するようにして掘削土の排出を容易にした。さらに、吸塵機を用いることで吸い込み口より掘削土を吸引できるようにした。供試体をターンテーブルに乗せ四隅をボルトで固定して 2r.p.m. で回転させ、設定した垂直力でモデル掘削機を押し当てて掘削を行い、垂直力 F_z 、トルク T 、掘削深さ z を測定した。モデル掘削機は全部で 3 段の構成となっており、各段階に応じた垂直力を設定した。過去の変位制御実

験で供試体に作用した垂直力⁴⁾を参考にして、各掘削段階で 3 つの垂直力を設定した。ポイントアタックビットのみで掘削を行う 1 段目は 7.5kN、8.5kN、10kN の 3 種類、ポイントアタックビットとディスクカッタービット 1 段目で掘削を行う 2 段目は 20kN、22.5kN、25kN の 3 種類、全ビットで掘削を行った 3 段目は 30kN、35kN、40kN の 3 種類の垂直力で、各々に対し 2 回ずつ実験を行った。なお、設定垂直力の変更は次の段階のビットが当たり始めた直後に一度掘削を止めてから行った。

4. 実験結果

4.1 掘削時間 t と垂直力 F_z の関係

一例として、図-3 に 3 段目を設定垂直力 30kN で掘削した際の掘削時間 t と垂直力 F_z の関係を示す。垂直力 F_z は設定垂直力を中心に増減を繰り返していることがわかる。これは、掘削面に存在する凹凸により、実際に作用している油圧の値と制御している油圧の値との間に時間差が生じることに起因すると考えられる。また、全ての実験において垂直力 F_z が設定垂直力を中心に増減を繰り返していた。段数が増えるとともに垂直力 F_z の振れ幅が大きくなる傾向が見られた。これは、段数増加に伴うビットの接触面積の増加によるものと考えられる。今回の実験では垂直力 F_z が増減を繰り返す結果となったが、実際の掘削機で油圧を用いて掘削する際にも同様の傾向が見られるものと考えられる。

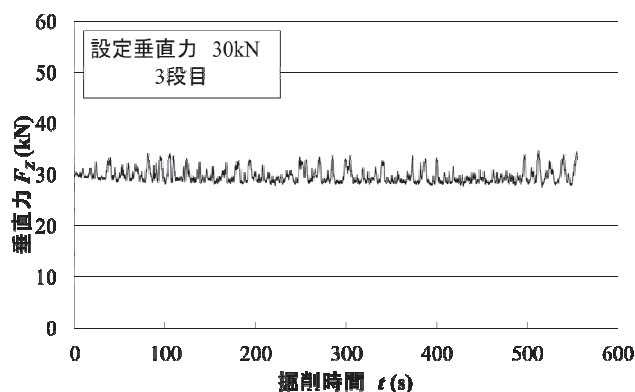


図-3 掘削時間 t と垂直力 F_z

4.1 掘削時間 t とトルク T の関係

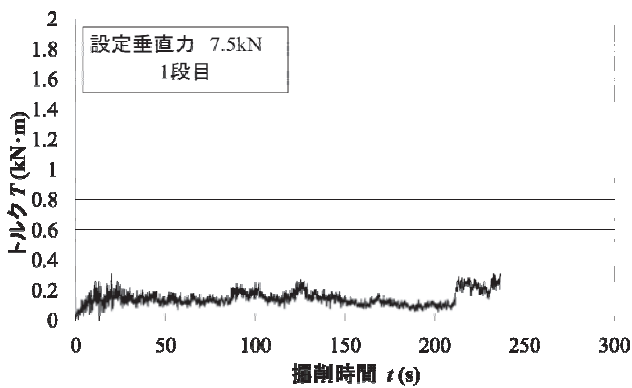
図-4(a)に 1 段目を設定垂直力 7.5kN、(b)に 2 段目を設定垂直力 20kN、3 段目を設定垂直力 30kN で掘削した際の掘削時間 t とトルク T の関係を示す。一段目は、最初はトルク T が小さな値を示しながら掘削が進んでいる。これは、モルタル上面部の強度が内部の強度に比べて低い事が原因であると考えられる。その後、トルク T はある値を中心にほぼ一定のふれ幅で掘削が進行している。一時的にトルク T の値が不安定なところも見られる

が、これはモルタルの掘削面の凹凸にビットが引っかかることが原因であると考えられる。また、掘削段階が進行するとともにトルク T のふれ幅は大きくなっていった。これは、段数増加に伴う垂直力 F_z の振幅の増大と、ビットの接触面積の増加の二つの要因によるものと考えられる。すべての実験においてトルク T は、1 段目の初期を除いてある値を中心に一定のふれ幅で推移する傾向が見られた。

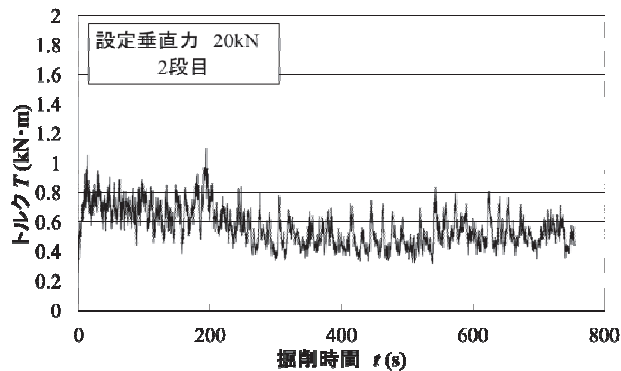
4.2 掘削時間 t と掘削深さ z の関係

一例として、図-5 に 1 段目を設定垂直力 7.5kN で掘削した際の掘削時間 t と掘削深さ z の関係を示す。掘削深さ z は、掘削時間が 30 秒あたりまでは急激

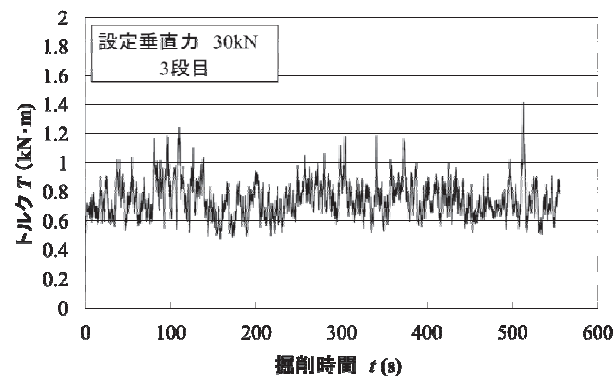
に増加し、その後一定の割合で増加している。これはモルタル上面部の強度が内部の強度に比べて低い事が原因であると考えられる。そして、その後はほぼ一定の傾きで掘削が進行している。また、掘削深さ z は増減を繰り返しながら掘削が進んでいるが、これは掘削面に凹凸があることが原因であると考えられる。また、2 段目、3 段目で掘削した際は、ほぼ一定の傾きで掘削が進行していた。すべての実験において、1 段目の最初の部分を除き、すべての掘削段階で掘削時間 t と掘削深さ z は比例しており、掘削深さ z の傾きを掘削速度 V とした。



(a) 1 段目



(b) 2 段目



(c) 3 段目

図-3 掘削時間 t とトルク T

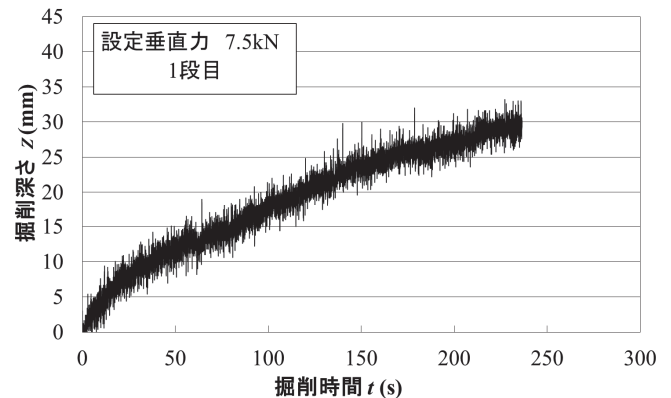


図-4 掘削時間 t と掘削深さ z

4.3 過去の研究^{2),3)}との比較

(1) トルク T

図-5 に各掘削段階におけるトルク T の比較を示す。参考のため、掘削土の排出改善を行っていない実験結果も同時に示す。各掘削段階でそれぞれ垂直力 F_z とトルク T が比例していることがわかる。また、全ての掘削段階を通してみても垂直力 F_z とトルク T が比例する傾向があることがわかる。垂直力 F_z とトルク T に相関が見られるため、実際の掘削機でも垂直力 F_z を制御することにより掘削機に作用するトルク T を把握できると考えられる。次に、掘削土排出の改良前と比較すると、掘削土の堆積しにくい 1 段目は大きな差は見られなかつ

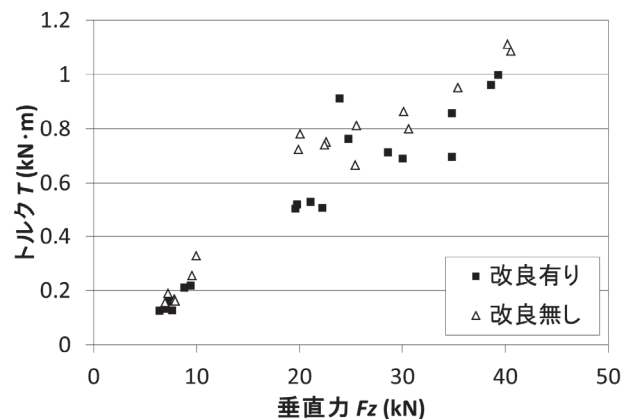


図-5 各掘削段階におけるトルク T の比較

たが、2 段目と 3 段目では掘削時に作用するトルク T が低減されていることがわかる。掘削土の今回の改良により、トルク T が減少していることから、掘削土の排出の効率が掘削機に作用するトルク T に影響を与えていると考えられる。

(2) 掘削速度 V

図-6 に垂直力 F_z と掘削速度 V のグラフを示す。参考のため、掘削土の排出改善を行っていない実験結果も同時に示す。全ての掘削段階で、垂直力 F_z に比例して掘削速度 V が増加する傾向が見られた。また、段数が増加するに従い、掘削速度 V の傾きが緩やかになる傾向が見られた。以上のことから、実際の掘削機械で端面掘削を行った際にも垂直力 F_z による掘削速度 V の推測が可能であると考えられる。次に、掘削土排出の改良前と比較すると、掘削土の堆積しにくい 1 段目は大きな差は見られなかったが、2 段目と 3 段目では掘削速度 V が増加していることがわかる。今回の改良により、掘削速度 V が上昇することから、掘削土の排出効率が掘削速度 V に影響を与えていると考えられる。

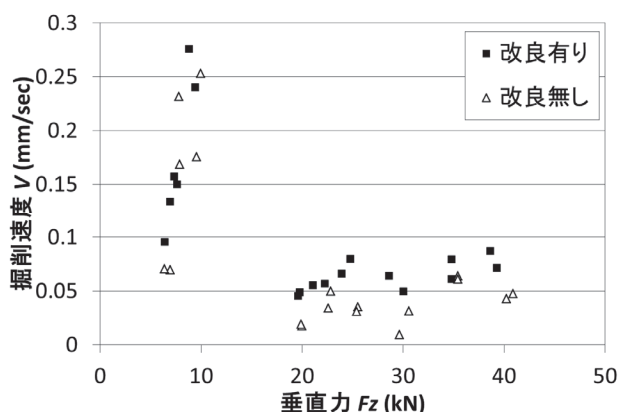


図-6 各掘削段階における掘削速度 V の比較

図-7 に各掘削段階における比エネルギー E_s のグラフを示す。参考のため、掘削土の排出改善を行っていない実験結果も同時に示す。比エネルギー E_s は掘削に必要とするエネルギーを掘削土量で除したもので、小さいほど効率が良いことを意味する⁵⁾。1 段目は比エネルギー E_s が小さく、掘削効率がよい。これは供試体上面部の強度が低いことと、掘削機中心部に近い位置にポイントアタックビットがあることで、トルク T が小さくなったことが原因だと考えられる。2 段目は 1 段目と比較すると比エネルギーが増加している。2 段目から 3 段目については比エネルギー E_s が大きく減少している。ディスクカッタービットが 2 枚から 4 枚に増え、掘削土量も増えたため、掘削効率が上昇したものと考えられる。段数を増加させることにより、掘削効率を上昇させることができると推測される。次

に、掘削土排出の改良前と比較すると、改良した実験の方が、比エネルギー E_s が減少しており、掘削効率が飛躍的に向上していることがわかる。

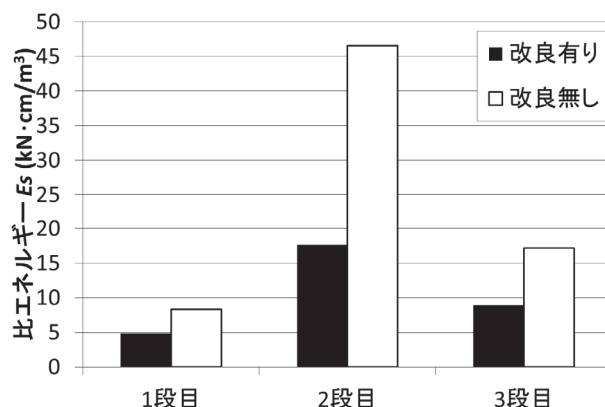


図-7 各掘削段階における比エネルギー E_s の比較

4. 結論

- (1) 実際の掘削機において、垂直力 F_z を測定することで、トルク T と掘削速度 V を予測できると考えられる。
- (2) 実際の掘削機において端面掘削を行う際には、段数を増加させることで掘削効率が上昇すると推測される。
- (3) 掘削土の排出を効率よく行うことによって掘削速度 V の上昇、トルク T の減少、掘削効率の大幅な上昇が見られたので、実際の掘削機を設計する際にも掘削土排出の効率を考慮して設計する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C) 26420446 の補助を受けて行われた。

参考文献

- 1) 室達郎, 土屋清, 河野幸一, 若林俊介: ディスクカッタービットによるモルタル端面の定常端面特性に関する実験的考察, 土木学会論文集, No.687/III-56, pp.37-47, 2001.
- 2) 北岡一成, 重松尚久, 小田登: 多段型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の応力制御実験, 平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.61-64, 2010.
- 3) 重松尚久, 北岡一成, 室達郎, 小田登, 河村進一: 多段型端面掘削方式を用いた深礎掘削機の性能に関する室内実験, 土木学会論文集F1 (トンネル工学) Vol. 69(2013) No. 2, pp.121-128, 2013.
- 4) 花岡尚, 重松尚久, 小田登: 端面掘削方式によるバックホウのアタッチメントとしてのローラーヘッダーの開発に関する基礎的研究, 平成21年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.187-190, 2009.
- 5) Snowdon, R.A. Ryley, M.D. and Temporal, J. A study of disc cutting in selected British rock. Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstrs., 19, pp.107-121, 1982.