

1 4. 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

呉工業高等専門学校
呉工業高等専門学校
株式会社スターロイ

重松 尚久
○北岡 一成
小田 登

1. はじめに

本研究はコンクリート構造物の解体を行う際にバックホウなどの先端にアタッチメントとして取り付けて使用できるような、多段型端面掘削方式を用いたコンクリート掘削機のモデルを設計し、実験を行い、実際に掘削機を製作する際の設計指針を提供することを目的とする。今回、時間当たりの掘削深さを一定にして掘削していく変位制御により、モデル掘削機に作用する垂直力とトルクを測定し、掘削に必要な推進力を得た後、一定の推進力を掘削機に与えて掘削を行っていく応力制御による実験を行い、掘削機の推進力とトルクの関係、掘削速度の関係を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 端面掘削

従来の平面掘削方式と比較すると、端面掘削方式は2自由面を作った後、引張り破壊により削孔するため、掘削効率の向上やディスクカッタビットの摩耗減少も図れる。対象物に多くの自由面を形成することで、より小さな力で剥離破壊が発生する。過去の実験により¹⁾、端面掘削方式は平面掘削との比較実験でエネルギー比が約1/10に減少することが分かっている。この技術を用いることにより、TBMのように大きな反力を確保しなくてもディスクカッタビットを用いて掘削することが出来るようになると思われる。

2.2 モデル掘削機

本実験の掘削機は2つの自由面を有する端面にディスクカッタビットと呼ばれる円盤形の剥離破砕刃を押し当てる事により、自由面の端部を効率よく剥離破砕していく端面掘削方式を採用している。まず、端面掘削を行うには2つの自由面を確保する必要がある。写真-1にモデル掘削機の下方向からの写真を、図-1にモデル掘削機の構成図を示す。今回は先端にポイントアタックビットとフィッシュテールを配置することにより1工程で端面掘削を行えるようなモデル掘削機を作成した。半径30mmの間隔で配置されたポイントアタックビットで先進抗を掘削し、そこで形成された2自

由面を利用して1段上に30mm広がった位置に配置したディスクカッタビットが端面掘削を行う。続いて、先行のディスクカッタビットが形成した2自由面を利用して次の段のディスクカッタビットが段階的に端面掘削を行っていく。なお、ディスクカッタビットは周面摩擦を軽減させるために10°傾けて設置した。

2.3 実験方法

図-2に実験装置の概略図を示す。モデル掘削機を回転速度2rpmで回転する供試体に押しつけて掘削した。時間当たりの掘削深さを一定にして掘削していく変位制御による実験では、図-2の①部分に一定の貫入量を設定出来るウォームジャッキを載せ掘削速度を0.028mm/sec, 0.058mm/secに設定し、モデル掘削機を下降させていった。

一定の推進力を与えて掘削を行っていく応力制

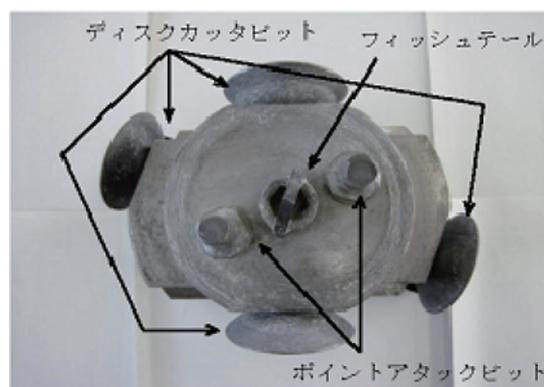


写真-1 モデル掘削機の下方向からの写真

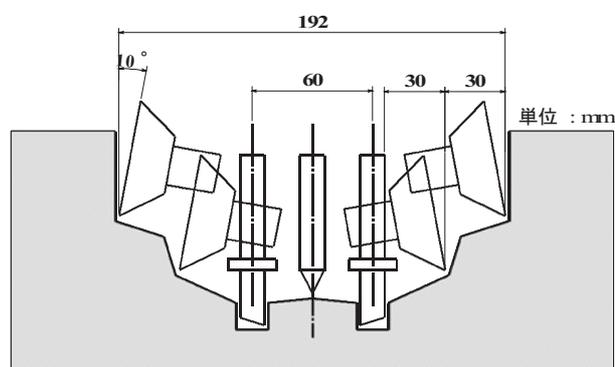


図-1 モデル掘削機の構成図

御による実験では、ウォームジャッキを油圧シリンダーに載せ替え、推進力を与えて掘削を行った。モデル掘削機が3段で構成されているので各段階に応じた推進力を設定した。推進力は、変位制御の実験で得られたデータを参考に、1段階ごとに3パターン設定した。ポイントアタックビットで先行掘削を行う1段目では7.5kN、8.5kN、10kN、ポイントアタックビットに加えディスクカッタービット1段目が作用する2段目では20kN、22.5kN、25kN、全ビットが作用する3段目では30kN、35kN、40kNに設定し実験を行った。次の段階のビットが当たり始めた直後に一旦掘削を止めてモデル掘削機を引き上げ、設定垂直力の変更を行い同時に排土処理を行った。

実験用の供試体は W/C=50%のモルタル供試体とコンクリート供試体を用いた。いずれも、一軸圧縮強度 40N/mm²以上を実現できるよう製作した。モデル掘削機に作用する垂直力 F_z と作用トルク T は、モデル掘削機の上部に取り付けられたロードセルにより測定し、掘削深さ z は変位計により測定した。

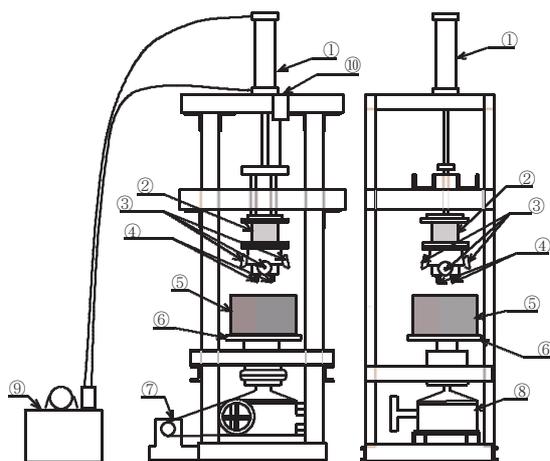
3. 実験結果と考察

3.1 変位制御

(1) 垂直力

掘削速度 0.028mm/sec の変位制御実験の際の垂直力と掘削深さの関係を示したグラフを図-3, 4 に示す。図中の I の区間がポイントアタックビットで先行掘削を行っている区間、II の区間がポイントアタックビットに加え 1 段目のディスクカッター

ビットが当たり始めて掘削を行っている区間、III の区間が 2 段目のディスクカッタービットも当たり始め、実機に付いているすべてのビットが端面掘削を行った区間である。II と III のそれぞれの (E) と (S) は、(E) 区間が初期端面掘削区間で (S) 区間が定常端面掘削区間である。ここで、初期端面掘削と通常端面掘削とは、まず大きな剥離を生じさせる段階の事を初期端面掘削と呼び、その後小さな剥離を生じさせて掘削していく事を定常端面掘削と呼ぶ²⁾。図の (E) 区間で垂直力が下がっているのは、この初期端面掘削において大きな剥離が生じ力の解放が起きたためである。コンクリート供試体のグラフの方がモルタル供試体のグラフよりも値の振幅が大きいように見える。これはモルタル供試体中には存在しないコンクリート供試体中の粗骨材の影響によるものと考えられる。I の区間はコンクリート供試体の値の方が大きな値が出ているが、II 区間はピーク値の出ている場所に違いがあるものの共に約 25kN の最大値が出ている。III 区間の値も共に約 40kN の値が出ている。速度 0.058 mm/sec で掘削した際も I の区間ではコンクリート供試体の値の方が大きな値が出ており、II 区間では共に約 30kN、III 区間では約 50kN の値が出ており骨材の粒度に関係なく同等の垂直力が作用していたことがわかった。



- | | |
|---------------|----------------|
| ① 油圧シリンダー | ⑥ ターンテーブル |
| ② ロードセル | ⑦ モーター (1.5kw) |
| ③ ディスクカッタービット | ⑧ 減速機 |
| ④ ポイントアタックビット | ⑨ 油圧モーター |
| ⑤ 供試体 | ⑩ 変位計 |

図-2 実験装置の概略図

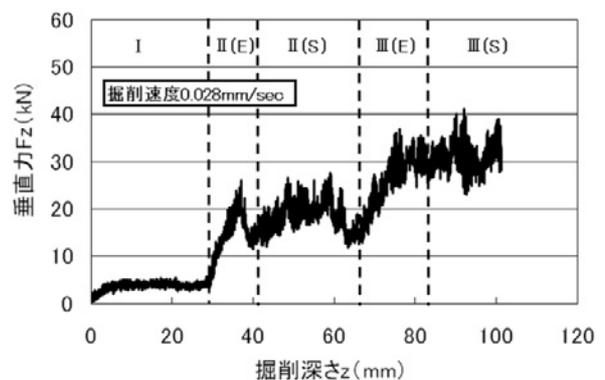


図-3 垂直力と掘削深さの関係 (モルタル)

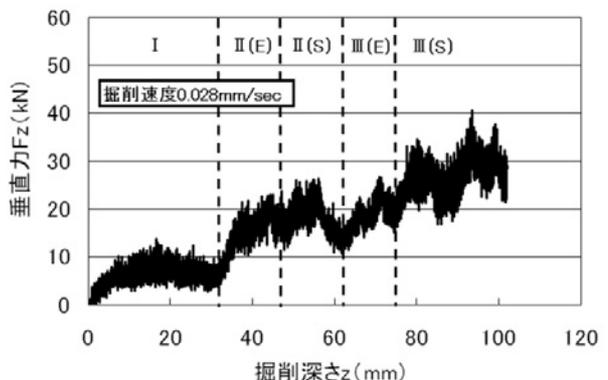


図-4 垂直力と掘削深さの関係 (コンクリート)

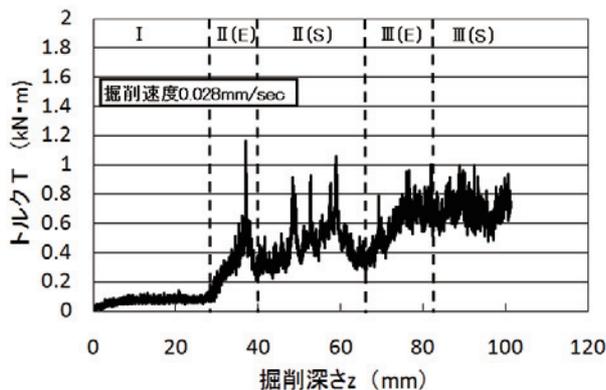


図-5 トルクと掘削深さの関係 (モルタル)

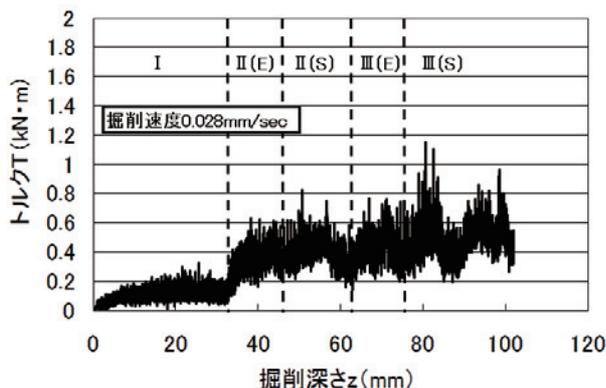


図-6 トルクと掘削深さの関係 (コンクリート)

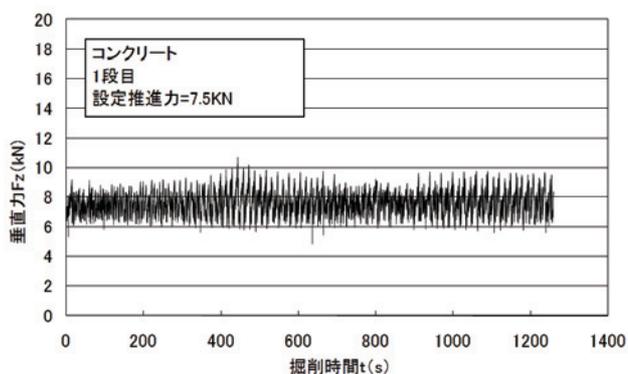


図-7 垂直力と掘削時間の関係

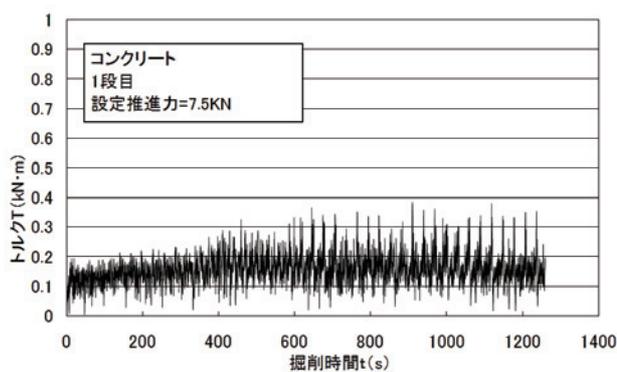


図-8 トルクと掘削時間の関係

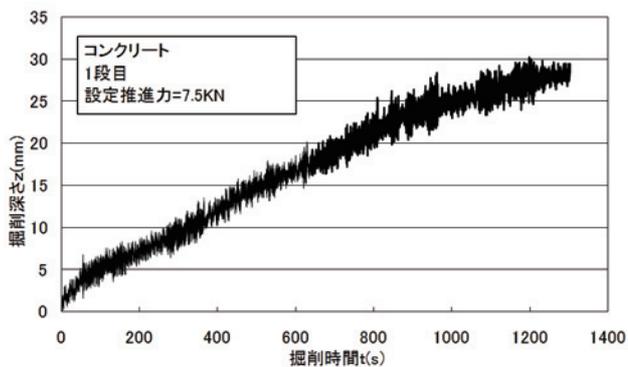


図-9 掘削深さと掘削時間の関係

(2) トルク

掘削速度 0.028mm/sec の変位制御実験の際のトルクと掘削深さの関係を示したグラフを図-5, 6に示す。2つのグラフを見比べると、トルクにおいても垂直力と同じようにコンクリートのほうが値の振幅が大きく出ている。Iの区間でコンクリートのほうが大きな値になっているが、モルタルのグラフでIIの区間で一時的に大きな値が出ている場所もあるものの、お互いにIIの区間では約 0.6kN・m、IIIの区間では約 1.0 kN・mの値が出ており、トルクにおいても骨材の大きさはあまり影響がないものと考えられる。

3.2 応力制御

図-7~9に応力制御実験の1段目設定推進力7.5kNにおける垂直力、トルク、掘削深さの実測値と掘削時間の関係をそれぞれ示す。

図-7より、垂直力は剥離を生じさせながら掘削していくため、設定した推進力より上下に振幅するものの、一定の推進力を保ったまま掘削出来ていたことが分かる。図-8より、トルクは終始大きな変化は見られないが、1段目の掘削においては掘削が進んでいくにつれ上下の振幅が大きくなるという傾向が見られた。これは、掘削が進んでいくことで生じる剥離片が比較的大きな場合、一時的に大きな値が出るためだと思われる。図-9より、掘削深さは一定の傾きで増加しており、一定の速

度で掘削出来ていたことがわかる。これらの現象はすべての掘削において見ることが出来た。

(1) トルク

図-10に1段目、2段目、3段目の推進力と作用トルクの関係を示す。図を見てみると推進力の増加に伴いトルクが増加していることが分かる。全体的に見てみると比例直線的に並んでいるように見える。変位制御の際のトルクと見比べても同じような値がでており、掘削機に作用するトルクは推進力に比例して増加していくと思われる。モルタルとコンクリートを比べてみると大きな差は見られなかった。

(2) 掘削速度

図-11に1段目、2段目、3段目の推進力と掘削

速度の関係を示す。一般に推進力が大きくなると、掘削速度は速くなっている。1 段目の掘削では他の段階に比べ推進力を上げた際の掘削速度の増加率が高かった。2 段目の掘削を見てみると、モルタルとコンクリートで速度に違いはあるものの、傾向としては直線的に上昇していた。また 3 段目のコンクリートで同様の傾向を示した。

3.3 変位制御と応力制御の比較による検討

変位制御では掘削速度 0.028mm/sec の時に 2 段目で 25kN、3 段目で 40kN の最大値が出ており、応力制御では推進力を各段階で 3 パターン設定し、そのうち大きな値を 2 段目で 25kN、3 段目で 40kN に設定した。図-12 に変位制御と応力制御の掘削速度の関係を示す。掘削速度は変位制御の時よりも速い速度で掘削出来ており、変位制御の際に作用していた垂直力と同等の推進力を与えて掘削することで、変位制御の際の掘削速度よりも速く掘削できることが分かった。また、2 段目と 3 段目ではほぼ同じ速度で掘削出来ており、モデル掘削機を設計する際にも推進力を一定の割合で増加させることで掘削速度をある程度同じにすることができると予測できる。応力制御で 2 段目では 20 kN から 2.5 kN、3 段目では 30 kN から 5 kN ずつ増やし掘削をした。図-11 から 2 段目の 20 kN から 5 kN 増やした際の速度の上がり方と、3 段目の 30 kN から 5kN、35 kN から 5 kN 増やした際の速度の上がり方に同じような傾向が見られることもあり、実験で与えていた推進力よりも大きな推進力を与えた場合同じような傾きで掘削速度が上昇する可能性があると考えられる。変位制御では掘削速度 0.028 mm/sec と 0.058 mm/sec で掘削を行い 2 段目では垂直力に 5 kN の差があり、3 段目では 10 kN の差があった。そして、2 段目で 5 kN、3 段目で 10 kN の差を持たせて掘削した結果、変位制御と同じように掘削速度が約 2 倍に増えていた。

4. 結論

今回、供試体としてコンクリートとモルタルを用いた。変位制御実験では 1 段目の掘削を除いてほぼ同じ垂直力が作用して掘削出来ており、トルクにおいても同様の傾向がみられ、骨材の大きさによる影響がなかった。応力制御実験では、作用するトルクを見るとコンクリートとモルタルで差があまり見られず、推進力が大きくなるにつれてトルクも大きくなり直線的に増加する事が分かった。掘削速度は推進力を大きくすることで掘削速度が上がる事が分かり、変位制御の際に作用していた垂直力と同等の推進力を与えると変位制御の際に与えていた掘削速度よりも速くなる事が分かった。掘削速度がある程度同じ割合で増加することが分かったが、同じような傾向が見られない場

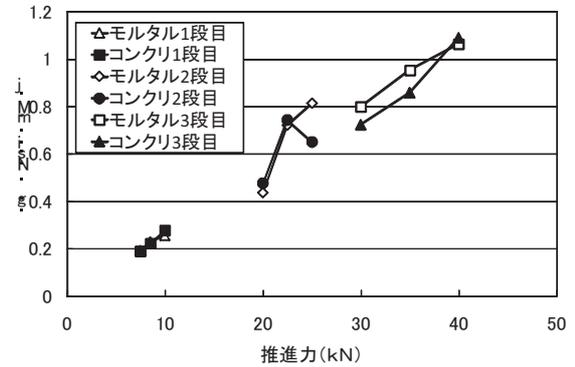


図-10 推進力とトルクの関係

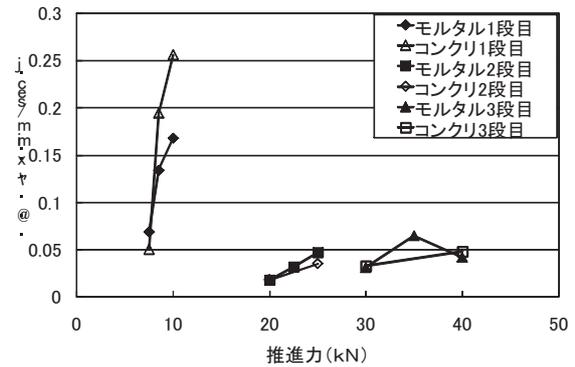


図-11 推進力と掘削速度の関係

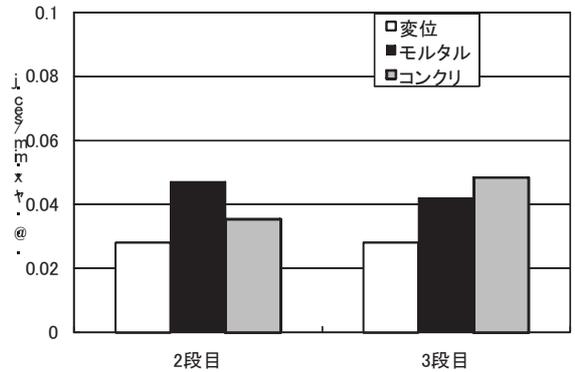


図-12 変位制御と応力制御の掘削速度の関係

合もあつたため再度検討が必要と考える。

今後の課題としては強度を変えた供試体を用いて、強度が掘削速度にどれほどの影響を与えるかを見ていきたい。

謝辞：本研究は、平成 20 年度（社）日本建設機械化協会の研究開発助成を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 室達朗：岩盤掘削・穿孔作業の合理化方策について,建設機械, No.10, Vol.39, pp.1-4, 2003
- 2) 重松尚久・花岡尚・室達朗：道路建設における環境に優しい硬質岩盤剝離掘削技術の開発, 平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.107~110, 2008