

III-366 液圧チューブによる岩盤の破碎について

鹿島建設株式会社 〇正会員 森 孝之 白石康信
 魔野幹雄 永井博史

1. はじめに

トンネルを対象とした無発破工法としては、切削、打撃、衝撃、膨張、圧碎等を使用した様々な方法があり、これらの各種工法が条件に応じて適宜選択又は併用して実施されている。筆者らはトンネル用として液圧チューブおよび加圧装置を製作し、より簡便で効率的な破碎工法の開発を目指している。

破碎を有効に行うためには、自由面のとり方や削孔ピッチや配置等を適切に設定する必要があるが現状では有用な破碎の条件式は見当たらない。そこで適切な削孔パターンを決定するために、まず破碎条件式を想定し現場実験によって検討を加えたので、それらの結果および破碎装置の概要について報告する。

2. 破碎条件について

液圧チューブによる破碎法の原理は、削孔された孔内にチューブを挿入し、孔壁に内圧を作用させ、孔の円周方向に引張応力を作用させることにより破碎させるものである。

円孔に内圧を作用させ破壊させる問題については、例えば、佐藤ら¹⁾は円筒の内圧破壊について検討し、材質パラメータを用い大理石は脆性材料の破壊条件式が適用できるとしている。また、Tepfers²⁾はコンクリート中の鉄筋がrib actionによる円周方向の引張応力による割裂ひびわれの発生・進展について実験を行い、最小かぶり厚さを肉厚とする円筒が内圧を受ける状況にモデル化し、応力状態に応じた破碎条件を示している。さらに、植田ら³⁾は発破(ガス圧)による破碎条件を示している。以上のように、円筒を対象としたものが多いが、トンネルの掘削にあたっては、破碎しようとする部分の自由面の状況などの3次元的な拘束条件によって、破碎に必要な圧力や削孔ピッチは異なると考えられる。とくに土被りの深さによっては、地圧による拘束は破碎条件を検討する上で無視できない要素であると考えられる。ここでは、地圧の作用下において、2孔間に形成される亀裂の発生条件について2次元状態で検討した。そこで、図-1に示すような地圧が作用する状態での隣接する2つの円孔の破碎条件は次式で表わされる。

$$P/\sigma_t = [(D/d)^2 \{2P_0/\sigma_t + 1\} - 1] / [(D/d)^2 + 1] \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$P/\sigma_t = 1/2 [(D/d)^2 \{1 + P_0/\sigma_t\} + P_0/\sigma_t - 1] \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

式(1)は円孔の孔壁面で初期に亀裂を発生させる条件であり、式(2)は隣接する2孔間を結ぶ亀裂を形成させるための条件である。図-2に異なる地圧、削孔ピッチに対する破碎条件の理論曲線とトンネルにおける実測結果を示す。同図における曲線はそれぞれ土被り70m、40mの地圧が作用する場合を示し、地山は一軸圧縮強度 400～800kgf/cm²の花崗岩である。同図からいずれも式(1)と式(2)の理論曲線の範囲内で破碎が発生していることがわかる。割岩という施工上の目的からみると式(1)のように孔壁面に亀裂を発生させるだけでは不十分であり、亀裂の発生は式(1)から始まり、その後亀裂は拡大・進展することによって、式(1)と式(2)の間の領域で破碎が完了すると考えられる。

破碎時の加圧履歴曲線の一例を図-3に示す。同図から加圧に伴って圧力がピークに達した後一時的な圧力降下が見られるが、その後も加圧を継続すると圧力が再度上昇していくことがわかる。ここにみられる初期のピーク後の圧力降下は主として孔壁に亀裂が発生したことによる圧力の低下を示し、その後の加圧の継続によって亀裂の開口や周辺への進展等が行われるものと考えられる。また、そのほかにピーク後に一度下

降した後、圧力はほぼ一定でチューブの膨張だけが進行するパターンもみられた。これは切掘げ掘削のように2自由面が確保されたような拘束条件が比較的小さいときに多くみられるパターンであった。

3. 破碎装置について

液圧チューブおよび加圧装置の外観を写真-1に示す。液圧チューブの構造はゴムと鋼線鋼を交互に被覆し両端を金具で固定した中空構造となっており、水圧により最高 $700\text{Kg}/\text{cm}^2$ （有効圧 $507\text{Kg}/\text{cm}^2$ 、割 岩 力 201tf ）まで加圧できる。加圧装置には液圧チューブを6本まで接続でき、複数孔を同時に加圧できるので削孔パターンを適切に選ぶことによって破碎方向の制御が可能である。

なお、破碎作業において初生的な亀裂発生後さらに加圧を継続すると液圧チューブは膨張を続け破損することがある。そこで図-3の破線の範囲内で加圧力と供給水量（膨張量）を自動的に制御する方法を考案し液圧チューブの破損を防ぐ工夫をした。

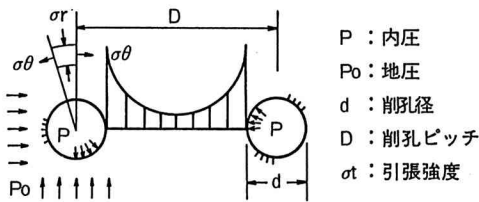


図-1 孔間の破碎

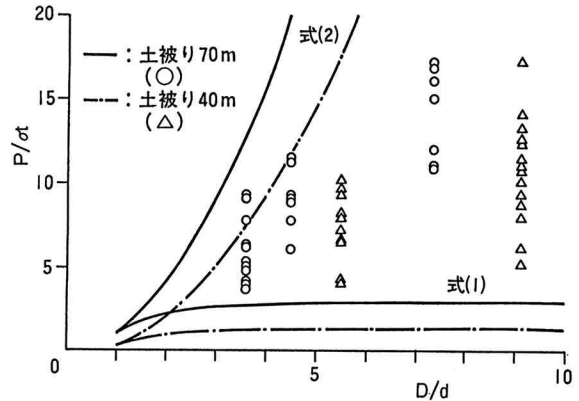


図-2 破碎条件と破碎結果

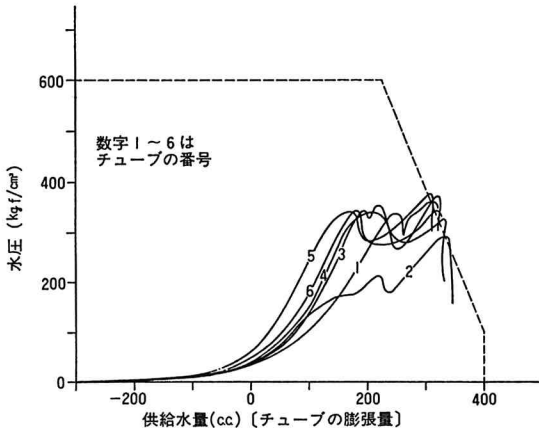


図-3 破碎時の液圧チューブの加圧曲線

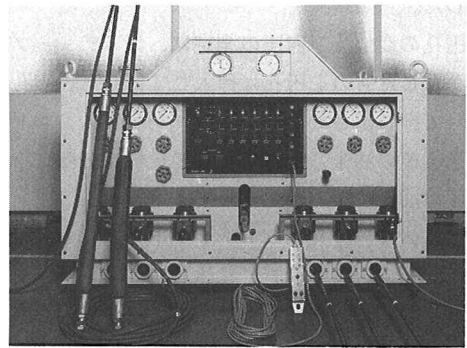


写真-1 破碎装置

4. まとめ

削孔パターンの決定のための破碎条件について基本的な検討を行った。今後は最大破碎圧力の適切な評価のために、亀裂の発生から進展において、内圧とクラック長に関して線形破壊力学による検討を実施したい。

参考文献

- 1) 佐藤、茂村、永井；日本機械学会論文集（A編）、45巻 391号、pp.220～226、昭和54年
- 2) Tepfers R. ; Magazine of Concrete Research、Vol.31、No.106、Mar.1979
- 3) 植田、酒井；工火協昭和48年秋季研究発表会講演要旨、pp.9～10、1973