

一軸載荷条件下における合理的割岩設計法の開発

西松建設(株) (正) 石山宏二、(正) 山下雅之、(正) 木村 哲
 戸田建設(株) (正) 熊谷成之、(正) 原 敏昭
 (株)地層科学研究所 (正) 里 優
 北海道大学 金子勝比古

1. はじめに

硬岩地山を低振動・低騒音で自由な断面形状に掘削可能な工法として、割岩工法が挙げられる。割岩工法とは油圧クサビ等の割岩機を用いた静的な破砕による掘削方法で、あらかじめクサビを挿入する割岩孔や破砕を補助するための連続孔（自由面）を削孔しておくことが多い。しかし、割岩孔および自由面の配置（割岩パターン）に関しては、経験に基づいて決定されることが多く、必ずしも合理的に設計されているとは言い難い。そこで、割岩孔内壁に一軸載荷し割岩を行う場合について破壊プロセス解析¹⁾を行い、その結果に基づいて割岩パターンを合理的に決定する方法を検討し、設計支援プログラムの開発を試みた。

なお、割岩機の能力と岩盤物性を考慮すると、設計条件としては荷重条件（割岩機の最大荷重が割岩に必要な荷重以上）と変形条件（割岩機のストロークが割岩に必要な孔変形量以上）の2つを満足する必要がある。しかし、本論では地山は硬岩、割岩機はビッグー等の油圧クサビ式を対象とすることで変形条件は満足しているものとし、荷重条件による設計法について検討を行っている。

2. 割岩パターン設計法の検討

2.1 前提条件

図1に示すように、割岩孔直径を $2R$ 、削孔長を L として、割岩孔内壁を一軸載荷し亀裂長 C が生成する問題として捉え、応力分布や変形を無視した極限平衡条件として考えた。その際、亀裂長 C が瞬時に生成される荷重を極限平衡荷重 P_{max} とすれば、亀裂面積 $2CL$ と岩石引張強度 St の積として表され、図2に示すように C とは線形の関係性を有す。

また、割岩孔壁に一軸的圧力 p_i が作用した場合に圧力方向と直交する孔壁近傍に生じる引張応力は p_i の2倍となる²⁾ことから、亀裂初生に要する荷重 P_i は式(1)で表され、割岩に必要な荷重の下限値を示す。なお、 a は強度補正係数である。

$$P_i = 2RL p_i = aRL St \quad (1)$$

2.2 荷重・亀裂長の関係

図3に示すようなモデルを使用して、割岩孔周辺の破壊プロセス解析を行った結果、無自由面割岩および一自由面割岩条件下では図4に代表されるような亀裂伸長過程の形態が得られ、図5のような荷重・亀裂長の関係が導かれた。図5から分かるように、無自由面単一孔載荷における亀裂長 C と荷重 P の関係は、図6(a)、式(2)のように直線で近似でき、一自由面単一孔載荷における亀裂長 C と荷重 P の関係は、図6(b)、式(3)のように折れ線で近似表現が可能である。ただし、 C_1 および P_1 は荷重・亀裂長関係の折れ曲がり点における亀裂長と荷重であり、物理的には C_1 は自由面の影響が現れ始める時の亀裂長で P_1 はその時の荷重であると解釈できる。

キーワード 割岩工法、割岩パターン、破壊プロセス解析、設計支援プログラム

連絡先 〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL.046-275-0055

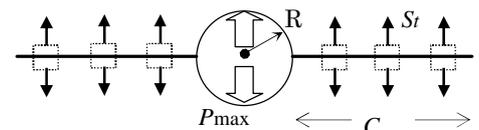


図1 極限平衡状態の模式図

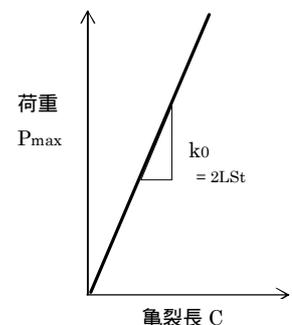


図2 極限荷重と亀裂長の関係

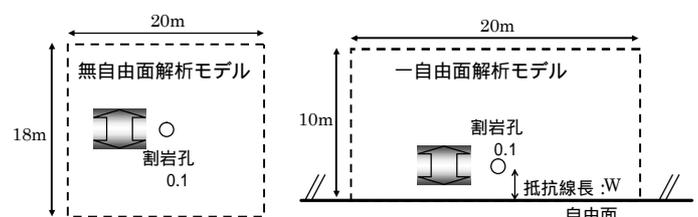


図3 解析モデル

$$P = P_1 + k_1 C \quad (2)$$

$$P = P_1 + k_1 C \quad : \quad C \quad C_1 \quad (3a)$$

$$P = k_2 (C - C_1) + P_1 \quad : \quad C \quad C_1 \quad (3b)$$



図4 解析結果例（亀裂伸長形態）

なお、最小抵抗線長 W をパラメータとした解析結果から、亀裂が伸長する際に自由面の影響

が現れ始める亀裂長 C_1 は $W/2$ 程度であることが分かったことから式(3a)より P_1 は求まる。

自由面がある場合の割岩を前提とし、上記結果を整理すると式(4)が導かれる。また、使用する割岩機が十分な割岩力 P^* を有しているならば、式(4)から限界亀裂長 C^* が求まる。ここで、 $P^* > P_1$ 条件を前提とすれば、並列複数孔载荷の場合の孔間隔 S と C^* との関係は式(5)、(6)のように導かれる。そして、最終的に削孔等の作業性を考慮した規則的な割岩孔の配置（正方形、三角形）を選定すれば合理的な割岩パターンの決定が可能となる。

$$C = (1/k_1)(P - P_1) \quad : \quad P \quad P_1 \quad (4a)$$

$$C = (1/k_2)(P - P_1) + [1 - (k_1/k_2)]W/2 \quad : \quad P \quad P_1 \quad (4b)$$

$$S - 2R = f C^* \quad (f = 1) \quad (5)$$

$$S = (f/k_2)(P^* - P_1) + [1 - (k_1/k_2)]fW/2 + 2R \quad : \quad P^* \quad P_1 \quad (6)$$

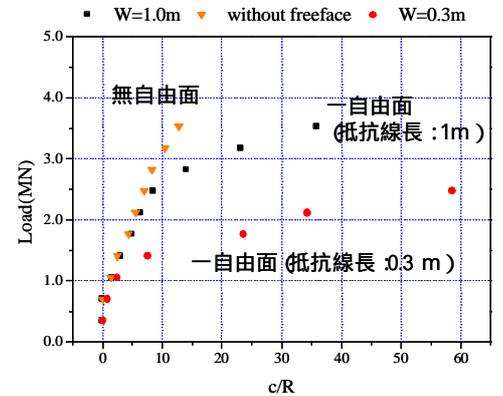


図5 解析結果例（荷重と亀裂長の関係）

3. 割岩パターン設計支援プログラム

上記破壊プロセス解析結果に基づき、割岩パターンの設計支援プログラム開発に取り組んだ。目的は、現場技術者が割岩パターンを検討する際に、使用機械（油圧式割岩機および割岩機の型式）、地山条件（岩盤強度等）、施工条件（自由面の配置、本数等）を容易に変更し、割岩パターンとその形成作業に要する概略時間を瞬時に出力・比較することで、合理的な割岩パターンの設計に寄与することを目指している。図7にプログラムのフローを示す。

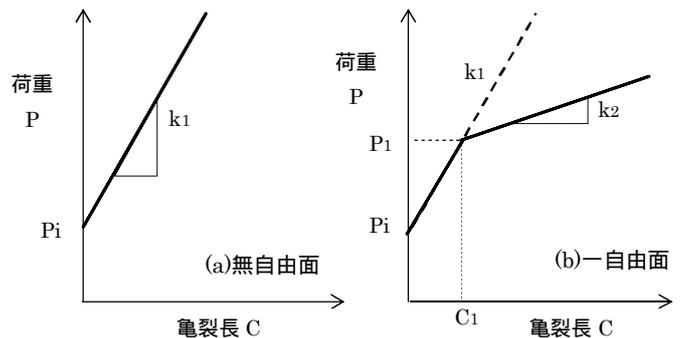


図6 荷重と亀裂長の関係のモデル化

また、割岩工法の施工時間を算出するためには自由面形成能力の把握が不可欠であることから、岩石強度と削孔速度の関係を調査中³⁾であり、本プログラムへの導入を予定している。

4. おわりに

現在、割岩パターン設計支援プログラムのプロトタイプが完成し、割岩現場で得たサイクルタイムとの比較も含めて妥当性の検証を始めたばかりである。将来的には岩盤に含まれる潜在亀裂（自由面）の影響等も考慮できるよう開発を進めたい。

【参考文献】

- 1) 金子勝比古, 松永幸徳, 山本雅昭, 松永博文: 発破における岩石破砕過程の破壊力学的解析. 火薬学会誌, No.5, Vol.56, pp.207-216, 1995
- 2) 金子勝比古, 西田稔, 稲葉力, 山内清: 形状記憶合金を圧力源とした岩石静的破砕機に関する研究. 資源と素材学会誌, 第107巻, 第13号, pp.959-964, 1991
- 3) 山下雅之, 石山宏二, 木村哲, 原敏昭, 熊谷成之, 塚田純一, 金子勝比古: 割岩工法における自由面形成装置の開発. 第60回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2005.9 (投稿中)

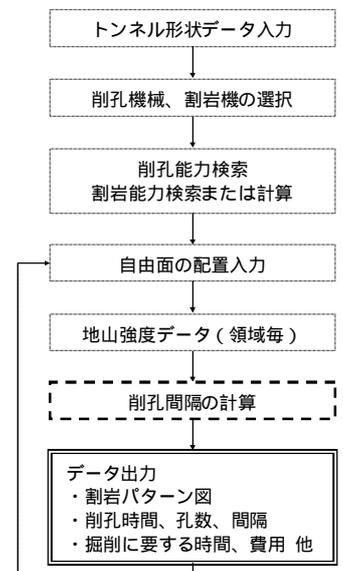


図7 プログラム・フロー