

一軸載荷条件下における合理的割岩設計法の開発（その2）

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

1. はじめに

割岩工法における割岩パターン（割岩孔および自由面の配置）の合理的な決定方法を検討し、設計支援プログラムの開発に取り組んでいる。掘削対象地山は硬岩、割岩機はビッグー等大型の油圧クサビ式と設定することで、前報¹⁾では設計条件のうち変形条件は既に満足しているものとし、荷重条件を考慮した割岩パターン設計法を提案した。本報では、本設計法に基づく割岩パターン（割岩孔間隔と最小抵抗線長）の具体的検討を試みている。

2. 割岩パターン設計法の検討

2.1 荷重に対する亀裂長・孔間隔の関係

割岩工法による岩石の破碎方法とは、図1に示すように各割岩孔の直径を $2R$ 、削孔長を L として、個別に割岩孔内壁を自由面と直交方向に荷重 P で一軸載荷し、亀裂長 C が割岩孔の両側に生成する問題として捉え、破壊プロセス解析²⁾によるシミュレーション結果を基に検討を進めている。ここで、亀裂長 C の亀裂を瞬時に生成させる載荷荷重を極限平衡荷重 P_{max} とすれば、式(1)に示すように C の線形関数として、また亀裂初生に要する荷重 P_i は岩石の引張強度 S_t の線形関数として式(2)で表される。ただし、 α は強度補正係数であり、代表的な硬岩の1つである花崗岩の解析結果から $\alpha=2$ 程度と見積もられた³⁾。

使用する割岩機が十分な割岩力 P^* （ $> P_i$ ）を有しているならば、式(3)から限界亀裂長 C^* が求まり、孔間隔 S と C^* との関係は式(4)、(5)のように導かれる。ここで、一自由面がある場合の荷重と亀裂長の関係は、図2に示すようにモデル化され、亀裂長 C_1 は $W/2$ 程度であり、係数 k_1, k_2 は式(6)、(7)に示すように係数 k_0 の定数倍（ $\beta_1=0.6$, $\beta_2=0.4$ ）となることが解析結果より判明している。

$$P_{max}=2CL S_t = k_0 C \quad (1), \quad P_i = \alpha RL S_t \quad (2)$$

$$C = (1/k_2)(P - P_i) + [1 - (k_1/k_2)] W/2 : P > P_i \quad (3)$$

$$S - 2R = f C^* \quad (f > 1) \quad (4)$$

$$S = (f/k_2)(P^* - P_i) + [1 - (k_1/k_2)] f W/2 + 2R : P^* > P_i \quad (5)$$

$$k_1 = \beta_1 k_0 \quad (6), \quad k_2 = \beta_2 k_1 \quad (7)$$

2.2 油圧クサビ式割岩機の割岩力評価

図3(a)に示すように、割岩機のクサビを推力 P_t で押し込むとウェッジ面に反力 F が生じる。ここで、ウェッジ面の摩擦角を ϕ とすると、ウェッジ面に作用する反力 F はウェッジ面の法線方向から角度 ϕ 傾いた方向に作用する。したがって、ウェッジ角度を δ とおくと、反力 F の作用方向とクサビ軸方向とのなす角度は $(\pi/2 - \phi - \delta)$ となる。

そこで、この反力 F を、図3(b)に示すように軸方向成分 F_A と軸に垂直な方向成分 F_R （割岩力）に分解すると、反力の軸方向成分 F_A の

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

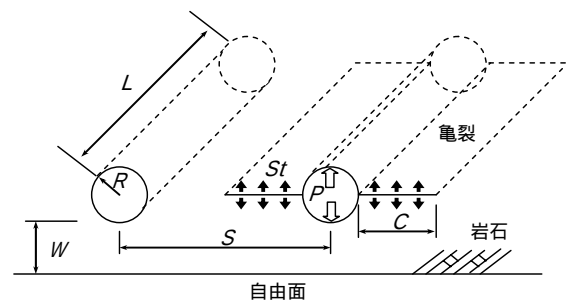


図1 割岩パターン検討モデル

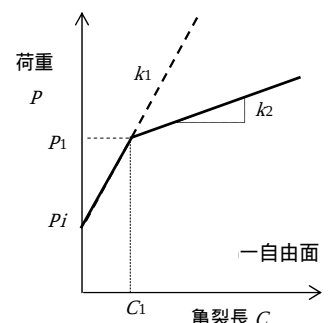


図2 モデル化した荷重・亀裂長の関係

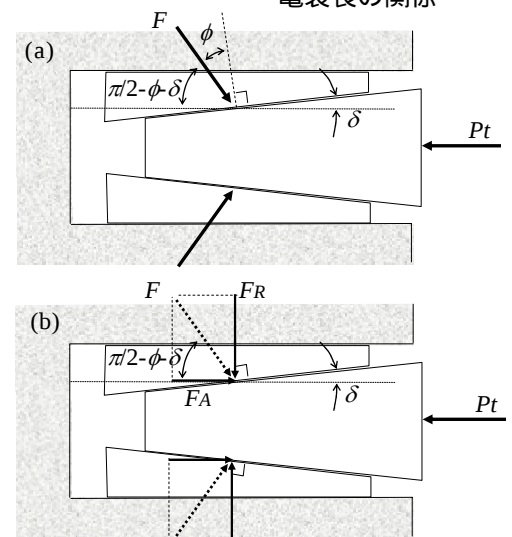


図3 クサビ推力と反力との関係模式図

2倍がクサビ推力 P_t と釣り合うことから、反力の鉛直方向成分 F_R と軸方向成分 F_A との間には式(8)の関係が成り立つ。

$$F_R = F_A \tan(\pi/2 - \phi - \delta) = \omega P_t \quad , \quad \omega = (1/2) \tan(\pi/2 - \phi - \delta) \quad (8)$$

ここで、ウェッジ角 δ は割岩機によって固定された一定値であることから、割岩力 F_R は摩擦角 ϕ によって決定され、摩擦角 ϕ が小さいほど F_R は大きくなる。

現場で割岩機が使用される条件を考えれば、連続使用によってウェッジ面ではグリースが消耗されるとともに、岩粉の混入等により摩擦角が増大し、その結果として割岩機の割岩力はメーカの公称値を下回る可能性が十分あることを考慮する必要がある。

2.3 割岩パターンの設計例

設計支援プログラムによる割岩パターンの設計では、自動設計のみならず削孔作業の容易さから、割岩孔を規則的に配置することが望ましい。ここで、孔間隔と最小抵抗線長の関係を $S = mW$ で表すと、最小抵抗線長の算出式は式(9)で表される。

$$W = [(f/k_2)(P^* - P_t) + 2R] / [m - \{1 - (k_1/k_2)\} f/2] : P^* > P_t \quad (9)$$

割岩パターンとして図4に示す水平正方形配置 ($m=1$) を選択し、図1に示す諸条件を $2R=0.102\text{m}$, $L=1.0\text{m}$, $S_t=9\text{MPa}$ とした場合、式(9)に基づき $S=W=0.54\text{m}$ と算出される。ただし、地山の3次元効果や不均一性、あるいは割岩力の実態とのズレによる影響等を内包した割岩効率 f の評価だけは解析結果から導くことができない。そこで、図5のように実施工で割岩工法が実施される一般的な岩石強度および孔間隔（網掛け部）を基に評価を試みた。図中、 S_t の範囲設定にあたっては、割岩工法の対象となる硬岩地山の圧縮強度 S_c が $100 \sim 200\text{MPa}$ 程度であり、 S_c は S_t の $16 \sim 20$ 倍である⁴⁾ ことを考慮した。施工実績が妥当であるとするならば、図から f は $0.1 \sim 0.4$ の範囲にあるので、その平均値である 0.25 を採用している。

設計支援プログラムでは、図6に示すように連続孔の配置が選択可能であり、切羽を4分割にすれば、図7に示すような割岩パターンの出力結果が得られる。また、図8に示すように使用する施工機械の特性値を入力すれば、作業時間の算出も可能となる。

3. おわりに

開発した割岩パターン設計支援プログラムの実用性を高めるために、より多くの割岩施工事例に基づくデータを集積し、サイクルタイムとの比較も含めて妥当性の検証を進めたい。

【参考文献】

- 1) 石山他：一軸載荷条件下における合理的割岩設計法の開発．第60回土木学会年次学術講演会講演概要集，2005.
- 2) 金子他：発破における岩石破碎過程の破壊力学的解析．火薬学会誌, No.5, Vol.56, pp.207-216, 1995.
- 3) 金子他：形状記憶合金を圧力源とした岩石静的破碎機に関する研究．資源と素材, 107巻, 13号, pp.959-964, 1991.
- 4) V.S.Vutukuri and K.Katsuyama: Introduction to Rock Mechanics. Industrial Publishing & Consulting, Inc., Tokyo, 1994.

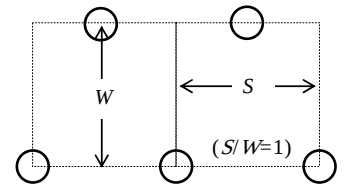


図4 割岩パターン代表例

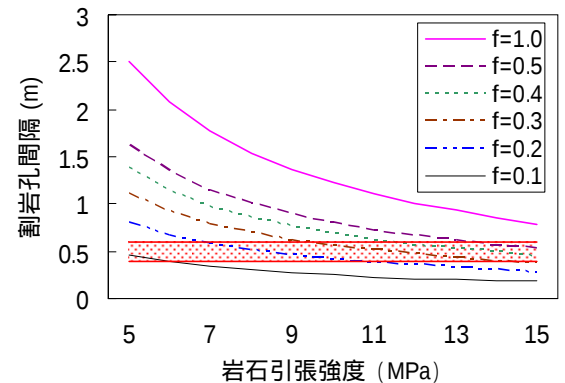


図5 孔間隔に対する f と S_t の影響

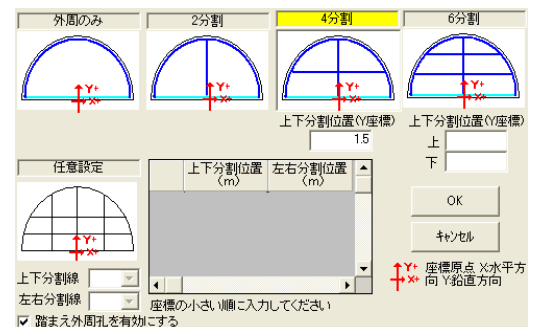


図6 連続孔の配置設定画面

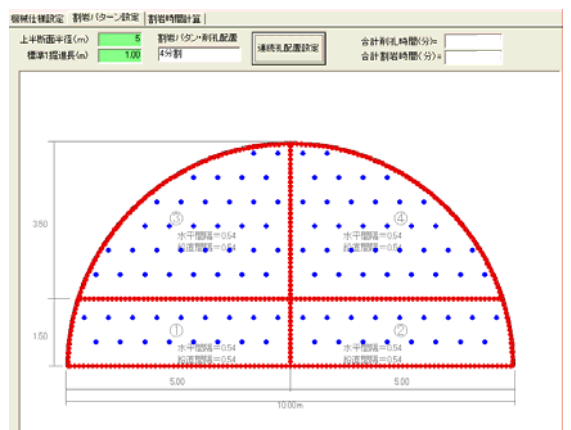


図7 割岩パターンの設計例

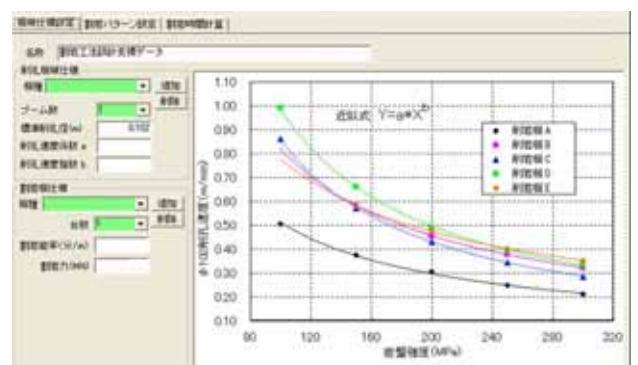


図8 施工機械の仕様入力画面