

ブロック理論とその岩盤工学への応用

Block Theory and Its Application to Rock Engineering

by Richard E. Goodman and Gen-hua Shi

Prentice Hall Inc., 1985

本書は、著者の Goodman と Shi の両氏が、硬岩からなる不連続性岩盤を対象として開発した新しい安定解析手法の『ブロック理論』を、体系的に解説した書物（A 5 判相当、338 ページ）である。

1. ブロック理論の特徴と背景

言うまでもなく岩盤には、節理、その他の割れ目（面）が分布し、本質的に不連続性である。このような岩盤の安定性を検討するために、従来から様々の手法が考案され、実際問題の解決に用いられてきた。不連続性を考慮した FEM、その他の数値解析法、特定の形状を想定した岩塊の極限平衡解析法などがそれである。しかし、不連続面の分布や不連続面群と自由表面との関係は、本来、三次元的であり、これを従来の解析法に取り込むことは容易でなく、実用上は二次元問題としての近似解で処理せざるを得ないのが実情であった。

ブロック理論は、応力-ひずみ関係から岩盤の安定性を求めるものではない。不連続面群と掘削面（自由表面）で岩盤内に形成されるさまざまな形態の岩盤ブロック（以下、ブロックと言う）の幾何学的な関係から、**安定上最も重要なブロック**を検索し、そのブロックの安定性を検討して必要な対策を立てようとする手法である。ここにいう最も重要なブロックとは、そのブロックが自由空間方向に動かない限り岩盤全体の安定性が損われることがないものを言い、これがキーブロック（Key Block）と定義されることから、この理論はキーブロック理論とも呼ばれる。例えば、図-1 は二次元を例に、キーブロックを説明したものである。斜線で示された No. 1 のブロックが移動しない限り、空洞周りの岩盤に安定を損なうような問題は生じない。

様々な方向で分布する多数の不連続面と自由表面で形成されるブロックの形状は、三次元的に非常に複雑な関係にある。ブロック理論は、この幾何学的な関係をトポロジーと集合論の概念およびステレオ投影の手法を用いて巧みに解いている。そのため用語、ステレオ投影の考え方など、これまでの地盤工学の分野に馴染みが少ない概念や手法が用いられている。

ブロック理論は、開発されたばかりであり、実際問題にどのように利用してゆくか、あるいは、利用できるかは今後の課題である。しかし、理論体系の特徴からも明らかな

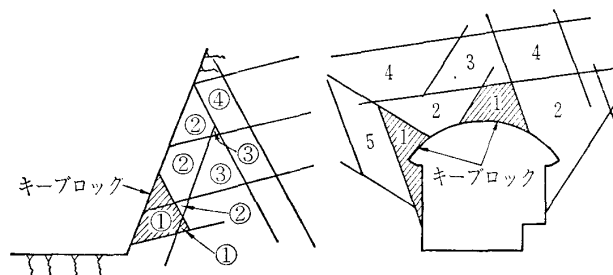


図-1 キーブロック：切取り斜面，地下空洞

ように、いわゆる詳細な力学的解析手法ではなく、節理面などの不連続面の分布と自由表面の形状から“即座”にキーブロックを抽出する手法であるので、このような特徴を生かした解析手段として活用されることが望まれる。

2. 本書の構成

本書は、9 章からなる。第 1 章は理論の仮定、他の解析手法との比較を簡単に述べている。第 2～5 章が基礎編に、第 6～9 章が応用編に相当する。

第 2 章はブロックの幾何学的な関係を表現するためのベクトル法の用い方、第 3 章は、面や線およびブロックの滑動方向を表示するためのステレオ投影法の原理、作図方法が解説されている。ステレオ投影法に関する書物は少なくないが、ここでは従来のいかなる書物よりもステレオ投影法に関する数学的基礎が、より詳細に解かれている。また、従来の方法は基準球の半球のみを平面に投影するものであるが、ブロック理論は基準球の全面を投影する方法を採用している。第 4 章と第 5 章は、ブロック理論を構成する定理が述べられており、本書の最も重要な理論的部分を構成する。

第 6 章は掘削斜面への適用、第 7 章は地下空洞への適用、第 8 章はトンネル・堅坑への適用を述べている。第 9 章は、幾何学的に移動可能と判定されたブロックの安定評価方法を述べている。

以上、9 章からなる書物であるが、以下では、ブロック理論の最も特徴的な部分・核心、すなわち、基本的な定理、および実際問題への適用の代表的例に絞って述べ、本書の紹介としたい。

3. ブロックの移動性およびジョイント・ブロック (第4～5章)

岩盤内に分布する節理面と自由表面により、岩盤は様々な形状のブロックの集合からなると考えられる。ブロック理論は、これらのブロックを図-2の五つのタイプに分類する。ブロック理論は、これらの中から、直ちにキーブロックを見つける方法である。図-2から、キーブロックの必要条件は『有限』であり、かつ『移動可能』でなければならないことが分かる。その判定に用いられるのが、次の二つの定理である。

〔有限性の定理〕：凸型ブロックは、そのブロック・ピラミッド (BP) が空集合であれば有限である。言い換えると、凸型ブロックはその BP が空集合でなければ、無限となる。

〔有限, 凸型ブロックの移動可能性に関する定理〕：凸型ブロックは、その BP が空集合で、かつ、ジョイント・ピラミッド (JP) が空集合でなければ移動可能である。言い換えると、凸型ブロックは、その BP が空集合で、かつ、JP も空集合であれば移動不可能である。

ここで、ブロック・ピラミッド (BP) とジョイント・ピラミッド (JP) の用語が用いられている。ブロックとは、1に述べたように節理面と自由表面に囲まれた岩盤部分と定義されているが、新たにピラミッドという重要な概念が登場する。この概念は、ブロック理論の独特のもので、ステレオ投影法の原理に由来する。ステレオ投影法は、表現すべきあらゆる面や線を、基準球の中心に平行移動し、これらの面や線が球面と交わる軌跡を平面に投影する。したがって、平面に関してこの操作を行うと基準球内の空間は、平面でいくつかの錐体 (ピラミッド) に分割される。ブロックに関してこの操作をしたものが BP、節理面のみで形成された岩体は JP、更に、自由表面で囲まれた岩盤側空間は掘削ピラミッド (EP)、逆に、自由空間がスペース・ピラミッド (SP) と定義される。

第4章と第5章は、これらの定理の意義と証明、上述のピラミッドの幾何学的性質およびそれらの個数について説明している。なお、これらの定理の応用は、次項で述べる。

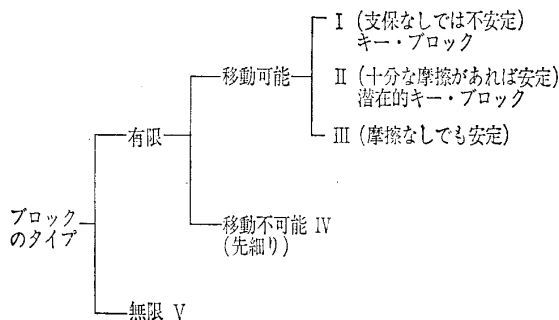


図-2 ブロック・タイプの分類

4. ブロック理論の適用 (第6～9章)

第6～8章は、斜面、地下空洞等への適用方法を述べている。以下では、本書に示された例題で、理論の適用例を紹介する。

いま、表-1の条件を持つ空洞を考える。ここでは、4方向に節理系が発達し、空洞壁面で観察された節理のトレース・マップが準備されている。

図-3は、四つの節理を表す大円と、基準円 (点線) および鉛直壁面 W_3 の大円 (鎖線) を描いたステレオ投影図である。節理の大円で分割された各領域が、4方向の節理系で形成される JP である。それぞれには、一定の基準で数字列 (コード番号) が与えられている。

表-1 節理と空洞壁面の条件

平 面	傾斜 (°)	傾斜方位 (°)	広がり (m)	間 隔 (m)
節理 1	71	163	50	8
節理 2	68	243	50	15
節理 3	45	280	20	10
節理 4	13	343	12	10
壁面 W_1, W_3	90	118	47×80	—
壁面 W_2, W_4	90	28	12×80	—
天盤 W_5	0	0	12×47	—
床盤 W_6	0	0	12×47	—

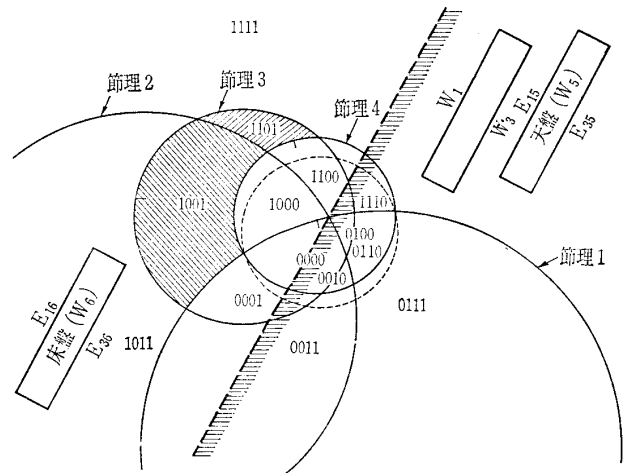


図-3 表-1の節理、壁面 W_3 のステレオ投影図とキーブロック

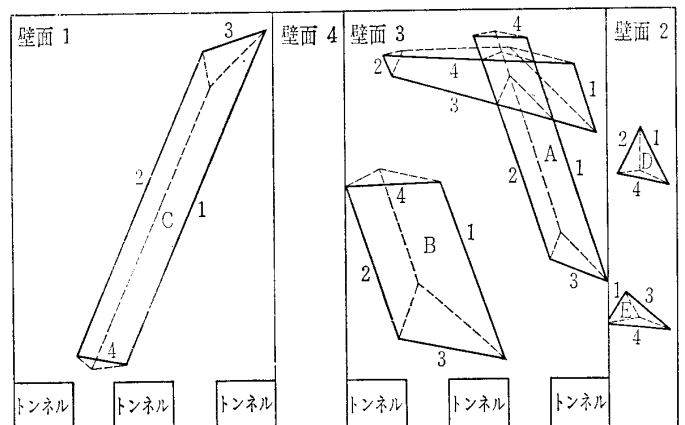


図-4 壁面のキーブロックと、その分布位置

文献抄録

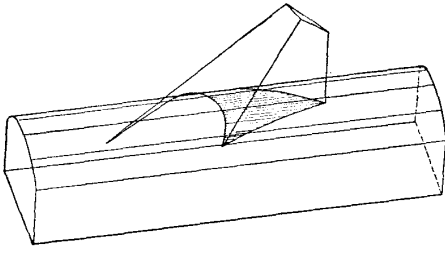


図-5 トンネル天盤の最大キーブロック (JP 1101)

有限・移動可能性の定理の解釈から、移動可能ブロックは、JP がスペース・ピラミッド(SP)に完全に含まれた JP でなければならない。鉛直壁面を表す大円(鎖線)の左側が SP であるから、この領域に完全に含まれる JP は、コード 1101 と 1001 であることが分かる。壁面調査から得た節理分布のトレース・マップ上で、これらの JP を調べた結果が図-4 である。キーブロックは 1001 のみで、1101 は節理が繋がらないためブロックができない。空洞の反対側壁面 W_1 の判定は、図-3 で SP を W_3 の反対に考えれ

ばよい。したがって、0010 と 0110 が移動可能ブロックであることが分かる。トレース・マップを用いて W_3 の場合と同様の判定をした結果が、図-4 に示されている。

表-1 と同じ節理を持つ岩盤中にトンネルを考える。ここでは、トンネル天盤に予想される最大キーブロックを求める。ブロックの最大寸法はトンネル幅で決まる。天盤を水平面とすると図-3 の基準円(点線)が天盤面となるので、その外側が SP である。したがって、キーブロックは 1011 と 1101 である。このうちの最大ブロックをトンネルの方向と寸法の関係から求めると、図-5 のような 1101 が求まる。

キーブロックの安全率の求め方は、第 9 章で説明されている。安全率の計算には、ブロックの体積、密度、摩擦係数が必要である。計算はベクトルを用いて行うが、その表示は摩擦円錐の概念でステレオ投影で行うことができる。

抄録者：吉中龍之進 埼玉大学工学部建設基礎工学科

(原稿受理 1986.9.11)

訂 正

「土と基礎」9月号および10月号に下記のような誤りがありましたのでここに訂正し、御迷惑をおかけいたしましたことをお詫び申し上げます。

9月号 奥村敏恵著：橋梁上部構造より見た橋梁基礎下部構造

6 ページ 左段 上から19行目

誤：る地下の低下工法を併用して沈下板を設置し、……

正：る地下水位の低下工法を併用し、なお沈下板を設置し、……

10月号 口絵写真-3と4

写真-3と写真-4を入れ換えて下さい。

写真の説明はそのまま。

学会発行図書案内

ロックフィル材料の試験と設計強度

B 5 判 287 ページ 送料 350 円

定価 4,200 円 会員特価 3,200 円

発行：土質工学会

東京都千代田区神田淡路町2-23(菅山ビル4階)
〒101 電話 03-251-7661(代)