

不連続部を含む岩盤のスムーズブラスティングのための模型実験

山口大学 中 川 浩 二 日本化薬 坂 本 一 徳山高専 橋 本 堅 一 山口大学 福 谷 和 史

1. はじめに

SBの考え方が我が国へ導入されてからかなりの年月を経え、岩盤掘削現場においては現場技術者の手により種々の工夫がなされているが、その統一的な検討はあまりみられないようである。その理由の一つとして実際の岩盤の力学特性が実に多種多様であることと挙げる。この岩盤特性を支配する大きな要因として岩盤中の不連続部がある。岩盤中に含まれる層理、節理といった不連続面はその厚さ、介在物、密度、発達方向とその数、構成岩質の力学特性などの要因を有している。そのために定量的な意味で不連続部を有する岩盤におけるSBの機構を明らかにすることは非常に困難である。このような状態を考慮すると層理、節理等不連続部を含む岩盤のSBを行うにあたって典型的な不連続部を含む岩盤における定量的な爆破クランクの発生、発達に関する知識とともに個々の現場においてその岩盤の特性を考慮しつつ適当な工夫を行うことが重要であろう。

本研究では上述のような考えのもとにコンクリートモデル供試体と工夫した不連続部を含む岩盤の模型を作製し、これを用いて模型実験を行う、不連続部を含む供試体の爆破断面の形成機構に関する検討を行った。

2. 不連続部を有する岩盤のSBについての模型実験

(A) 目的： 層理あるいは節理を有する岩盤のSBを考えると、SB結果に影響を与える要因は多い。しかしそのうちのどの要因について系統的に実験することは困難である。そのためここでは不連続部を含む岩盤におけるクランクの発生、発達に関する基礎的資料を得るために種々の要因のうち比較的基本的なものと認められる不連続部の種類、②不連続面と部断予定面との傾き、③爆発孔間隔 などを挙げる。そしてこれらを変化させることにより爆破による部断面の形成がどのように不連続面の影響を受けるかを検討する。

b) 実験： 供試体は57×27×10.5 cmのコンクリート製であり、その形状を図-1に示す。不連続面の状態としてA：コンクリート打ち継ぎ面、B：打ち継ぎ面に0.3 mm厚さのポリエチレンシートをはさんだもの、C：打ち継ぎ面に0.3 mm厚さのビニールシートをはさんだもの、およびD：台形部分と2個向い合わせとこの向と反対を向としたもの、の4種類をとった。ここでDの不連続面は鋼板を用いて平滑に仕上げられた2つのコンクリート面と接触させているが、実験には内面を密着させることは困難であり、不連続面は多くの場合1 mm程度の空隙を有している。そのためこの供試体では不連続面は自由面に近い位置をとり得ると思われる。また不連続面は内爆孔から等しい距離にあり、爆発孔間隔と部断予定面と22.5°、45°、67.5°、90°の傾きを有している。また用いた爆薬は導爆線である。

c) 実験結果： 写真-1 に不連続部を含む供試体の爆破例を示す。写真中の文字は不連続面の種類(A, B, C, D)、不連続面の傾き(22.5°, 45°, 67.5°, 90°)、爆発孔間隔(10, 15, 20, 25, 30 cm)を示す。爆破により生じた部断面の平滑度の尺度としてこのUnevenness と次のように考える。あるいは図-2 のように

クランクの発生がみられとある。そのとき爆発孔間の部断面に対してUnevennessは図のように地山側A、自由面側Bとして得られる。これらのUnevennessを定量的に取り扱うこととし、地山側A生じたものを正、自由

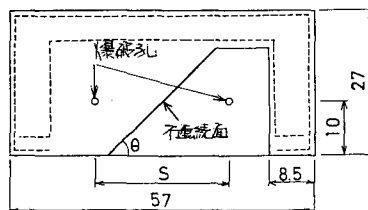


図-1 供試体の概形 (単位: cm)

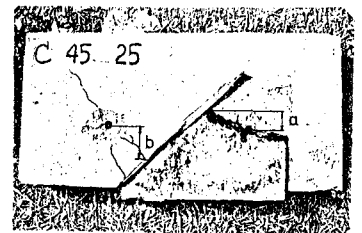


図-2 部断面の形成とUnevenness
a: 正, b: 負

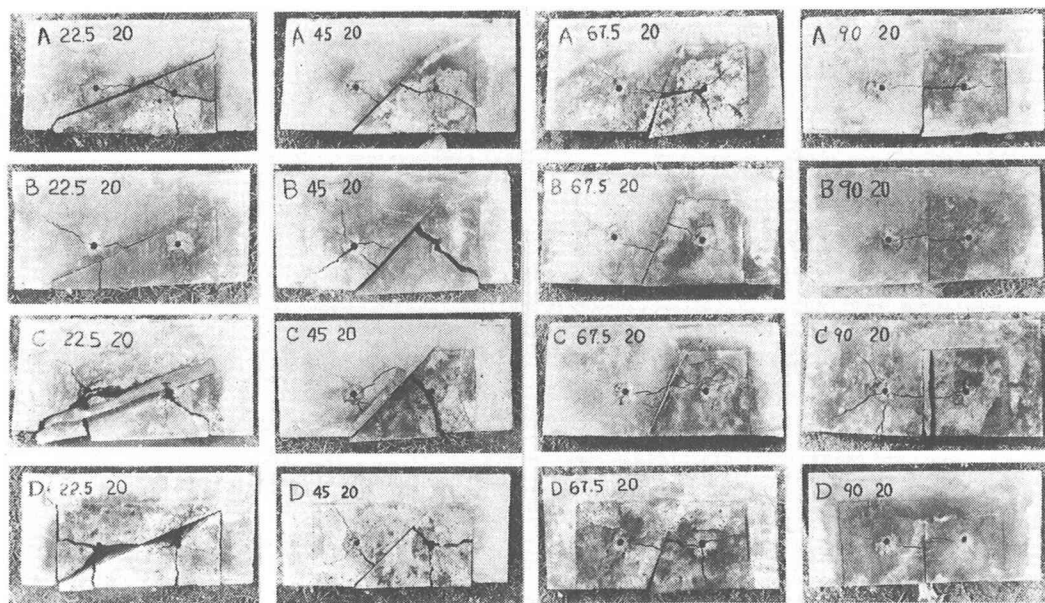


写真1 不連続部を含む供試体の爆破例

面側へ生じたものを正位とする。すなわち供試体によつては Unevenness の値は正のみのもの、負のみのも、そして正と負の両者の値を有するものがあることになる。図-3にそれぞれ供試体について得られた Unevenness と不連続面の傾き θ 、および不連続面の状態ごとに爆破孔周囲に對して示している。図中○は正の Unevenness、●は負の Unevenness として得られたものもある。

3. 不連続面近くを爆破された爆破孔からのクラックの発生について。

a) 実験の目的と実験：前節の実験において破断面の形成は爆破孔から破断面へ向つて発生するクラックと不連続面との直結によることがほとんどの供試体で認められる。従つて単一の爆破孔から不連続面へ発生するクラックの不連続面の状況および爆破孔から不連続面までの距離による変化を検討することは有用であらう。そこでこの点に実験的に着目することとし、不連続面の状態として前節の不連続面 A、とに對照してコンクリート打込継ぎ面、打込継ぎ面の間に 0.3mm 厚のビニールシートをはさんだものと、D におおして参考のために自由面と考え、3種類の不連続条件について検討することとする。以後これらの供試体の場合も不連続面の条件を A、と、D と呼ぶことにする。

b) 実験結果：爆破により発生したクラックを有する供試体の例と写真-2に示す。写真からみられるように不連続面から爆破孔までの距離 W が小さい場合はクラックの発生は放射状に認められ、不連続面に到達したクラックの位置は爆破孔から下した垂線の足の内側にある。しかし距離 W が増大するにともない爆破孔から不連続面へ発生するクラックはやがて一本となりかつ不安定となる。この爆破孔から不連続面へ到達したクラックのうち垂線の足の位置からの距離の最大のものとして符号を含めて計測し図示したものが図-4である。写真にみえる垂線の足の左側へ出たものを L_1 (正)、右側へ出たものを L_2 (負) とする。図-4 a), b), c) はそれぞれ供試体 A, C, D に對する。

4. 不連続面を含む岩盤中の爆破破断面の形成に関する考察。

a) 爆破孔から不連続面へのクラックの発生：写真-2にみられるように爆破孔から不連続面までの距離 W が比較的小さい場合はクラックは爆破孔から不連続面へ下した垂線の内側に発生する。この状況は D の供試体とほぼ同一状態となるが、A, C の供試体とは多数の放射状クラックとしてみられる。しかし W の値がある値より大きくなると不連続面に向うクラックの本数は減衰し、やがて一本となる。図-4 b), c) 2. は (供試体とおおよそ D

2. (a) この放射状のクランクから単一のクランクへの変化が L_1, L_2 の値に明確に現れぬとあり、クランクが単一になると L_1, L_2 の値が著しく小さくなる。これにくらべ2面4a) (被試件A) 2面 L_1, L_2 の値の変化は明確ではない。しかしいずれの場合にも発達するクランクの傾向をみるとその限界は明らかとなり、Wがある値より大きい場合には L_1 あるいは L_2 のみとなり、小さい場合には L_1, L_2 共に計測される。この限界となるWの値は(ここでは被試件に付くクランクの発達を連続の一方か両方か定まらぬWの値。従つて図中のデータ数が4あるいは5となる) a), b), c) によりそれぞれ5cm, 6cm, 7~8cm となる。としてこれは連続面の連続程度がA, C, Dの順に高くなることと対応している。

いまこの図に示すよう

に爆発孔からクランクが連続面に垂直に発達したとする。連続面と断面予定面との交点をA、爆発孔中心 C, C' から連続面へ下した垂線の足をB, B'とし、B, B'から断面予定面へ下した垂線の足をD, D'とする。クランクの発達がこれのみであるとすると両孔間の断面は $\triangle B'AB$ と表わされ、Unevennessは $BD = BB' = \frac{S}{\sin \theta} \cdot \cos \theta$ となり、爆発孔から連続面までの距離は $CB = C'B' = \frac{S}{\sin \theta}$ となる。ここでSは孔間隔、 θ は連続面の傾きである。このCBの値をS, θ におし図-6に示す。図-6には図-4より得られたクランク発達傾向の限界となるWの値をも記入している(ここでDに112はWが7.5cmとしていふ)。この図より各連続条件と連続面の傾きに対して隣接爆発孔からの衝撃波の影響および自由面の影響と無視すると爆発孔から連続面へ向つて発達するクランクが放射状となるが、単一となるもののSの限界値はこの直線の交点から得られる。この値を図-3中に記入したものが破線である。(以下この値と限界の孔間隔とを、 S_0 と呼ぶ。Bの被試件に112はAとCとの差が大きいことからWの値をA, Cに対する平均値として仮に記入している。) また前述のとおりあるいはBと定まられる連続面傾きに対して示したものが図中の実線である。これを予測されるUnevennessと表わし U_0 と呼ぶ。これより図-3において隣接爆発孔からの衝撃波の影響および自由面の影響と無視すれば、右図の S_0 より小さいSに対しては爆発孔からのクランクは連続面に近し放射状となり、大きいSに対しては垂直に近い単一のものとなる可能性が高いことになる。すなわち S_0

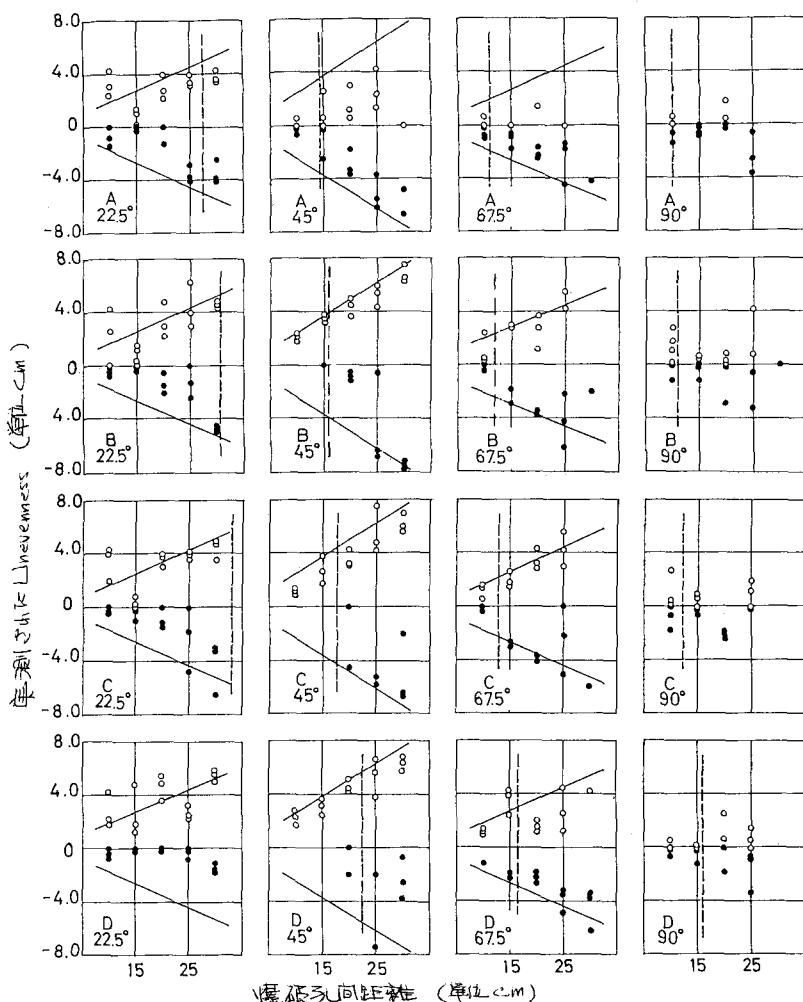


図-3 爆発孔間の距離と連続面傾きによるUnevenness

より小さいSに対しては正のUnevennessは
 実際の値より小さく、負のUnevennessは実際の
 の値より小さくなり(絶対値で; 以下同じ)、
 S。より大きいSに対しては実際の近い値と
 与えられる可能性が高いことを意味する。
 このことを参考に図-3を考察すると次のよう
 なことがいえる。

1) 全16枚の図をみると左下の9枚の図は
 比較的前述の□とSとによるUnevennessの
 傾向に関する解釈をよく表わしているよう
 である。

2) Aの供試体(クラックの発達)が不連続面
 の位置に大きく支配されるのは $\theta=22.5^\circ$ と θ
 $=45^\circ$ の孔肉脚の比較的小さい場合のみであ
 る。 $\theta=67.5^\circ, 90^\circ$ に対しては不連続面
 を有しない供試体によく似たクラックの発達
 を示す。

3) $\theta=90^\circ$ の場合□は常に0
 となる。S。はどれをその不連続
 条件に対しておおよそ10~16cmと
 なっており、実際のUneven-
 nessも $S=15\text{cm}$ を最小とする傾
 向がみられる。

4) $S=30\text{cm}$ に対しては $\theta=22.5^\circ$ 、
 45° の場合を除く孔肉の断面
 形成は困難となる。このことは
 後述の孔肉断面形成に近い方は

不連続面が存
 在する場合に
 はかなりの大き
 さで孔肉脚を
 与え、孔肉の断
 面形成が特に
 Unevennessを
 大きくすること
 なく可能である
 ことを意味する。

5. 考察

本研究は日本化学工業株式会社にあり、
 研究に使用した材料は石井工業、試験装置は予備
 的にたいてい荒木主任に感謝する。また試験に
 協力した山口大学の学生諸君に謝意を表する
 ところである。

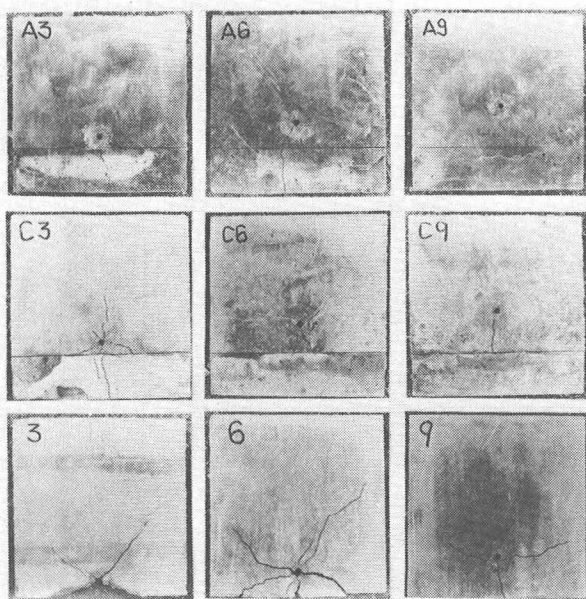


図2: 不連続面におけるクラックの発達。

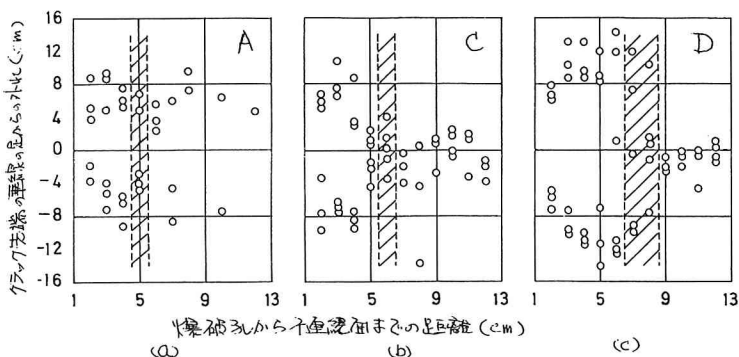


図4: 爆破孔から不連続面までの距離による爆発クラックの不連続面への広がり

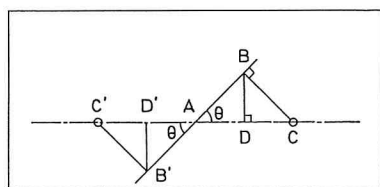


図5: 爆発孔から不連続面までの距離とUnevenness

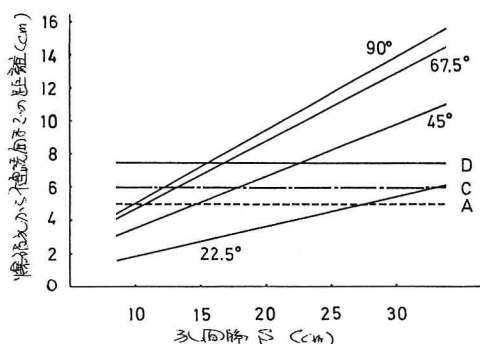


図6: 不連続面の位置とクラック発達傾向に照準を
 与える孔肉脚

Effects of discontinuities on the smooth blasting contour formation

Koji Nakagawa, Takeshi Sakamoto,
Ken-ichi Hashimoto and Kazushi Fukutani

Since rock mass contains the geological discontinuities, it is required to clarify the effects of the discontinuities on the evenness of the smooth blasting contour. In order to simulate the propagation of blast cracks and the formation of smooth blasting contour in the rocks containing discontinuities, blasting tests were conducted by using concrete specimen which contains discontinuity plane.

Throughout the blasting tests, the following conclusions are summarized.

1. The blasted contour which connects the adjacent blast holes usually consists of blast cracks and pre-existing discontinuity plane.
2. When the blast hole is adjacent to the discontinuity plane, the cracks propagate radially from the blast hole and form a crater against the plane. When the blast hole is distant from the plane, only one crack may propagate perpendicularly to it.
3. When the discontinuity plane is thin and the angle between the discontinuity plane and SB plane is nearly rectangle, the cracks joining the blast holes may be straight in spite of the presence of the discontinuity plane.
4. When the discontinuity plane is thick or the blast hole is adjacent to the plane, the blasted contour contains the pre-existing discontinuity plane.
5. The unevenness of the contour is governed not only by the thickness of the discontinuity plane and the spacing between the holes but also by the angle between the discontinuity plane and SB plane.