

Wide Space 爆破の機構に関する検討

山口大学工学部 正員 中川浩二
日本化薬厚狭工場 坂本 佐
○徳山高専 正員 橋本堅一
奥村組 正員 鎌田一郎

1. はじめに

Wide Space 爆破法はベンチカットにおける孔間隔と抵抗線との比が従来 1.0～2.0 程度であつたものを孔間隔を大きくとり、それによって生じる爆破効果の低下を抵抗線の減少によって補い、破碎性の向上を計る方法である。破碎性の向上に関してこの方法の有効性は多くの報告により認められているが、なぜ Wide Space とすることにより破碎性が向上するかについての特に力学的な立場での説明が不十分と思われる。

そこで本研究では99列の Wide Space 爆破を行なうときの孔間隔と抵抗線の変化による爆破機構の変化特性を明らかにすることを目的とし、セメントモルタルを用いた基本的な模型実験を行った。そしてこれらの実験に対応する有限要素モデルによるシミュレーション解析を行い、Wide Space 爆破の機構について力学的な解明を試みた。

2. 実験とその結果

実験には厚さ105cmのセメントモルタル供試体を用いた。縦横の寸法は爆破孔の配列によって異なり表1および図-1に示す通りである。用いた爆薬はPETNを心薬とした導爆線で一孔あたりの薬量は1.26gである。実験においては Wide Space 爆破の最大の問題点と思われる孔間隔と抵抗線の変化による破碎性の变化について検討することにした。そこで供試体の爆破孔位置を先の図-1に示すように一本の爆破孔あたりの破碎量を等しくするため $S \times W$ を80cm²と固定し、 S/W は1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0とした。孔配列は千鳥配列とし各列を同時起爆した。起爆には6号電気雷管を用い、雷管から爆破孔までの導爆線の長さを等しくした。爆破時には供試体の周囲を板枠で囲むことにより破砕片の飛散を防ぎ各爆破毎の破砕片を集めて後の検討に供した。

ふり分けにより得られた粗粒率を S/W について図示したものが図-2である。図によると粗粒率は S/W の増加とともに低下し(破碎性は向上し)また $S/W = 4$ 以上ではおよそ同程度の値となるようである。各列の爆破による粗粒率の変化を図-3に示す。この図によると $S/W = 1$ および2では列番号の増加とともに粗粒率が低下するのがわかる。また $S/W = 4$ では第1列とくらべて第2列で低下し第3, 第4列では第1列と第2列の中間程度となる。これに対し $S/W = 6$ および8では第1列で低い粗粒率を示すが第2列で若干高くなり第3, 第4列では第1列程度の値にもとる。

爆破による破断面は S/W が1および2の場合には各爆破孔を直線で連ねた形となりSBが成巧したと同様の状態となる。これに対し $S/W = 4$ の場合にはこの連結が若干あいまいとなりクラックによる爆破孔の連結は可能であっても必ずしも直線状とはいえない。そして第2列以降では時にかなり大きな凹凸を示すことがある。 $S/W = 6$ および8では第1列の爆破によってできる破断面はクレーター部分と爆破の影響が及ばずそのまま残された自由面を連

S/W	1	2	4	6	8
S	89	127	179	219	253
W	89	63	45	37	32
A	60	45	38	35	33
B	85	105	130	150	167

表-1 モルタル供試体の諸元(単位:cm)

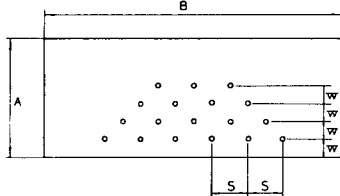


図-1 モルタル供試体の諸元

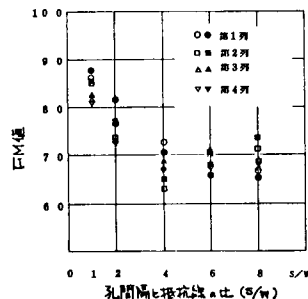


図-2 S/W の増加によるFM値の変化

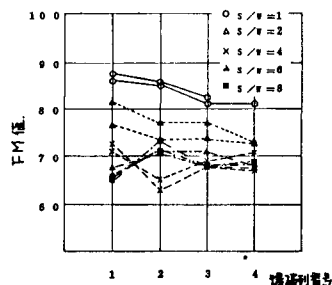


図-3 各 S/W の値における爆破列ごとのFM値変化

ねた形となるようであった。

3. 数値解析と検討

セメントモルタル供試体による Wide Space 爆破の実験結果をクラックの発生という立場から理解するためには動的有限要素法を用いた数値シミュレーションが有効であると思われる。そこで先に発表した数値シミュレーションの方法を応用してこの機構を検討した。各列に十分な数の載荷孔があるとする と解析を必要とする領域は図4～7に示す範囲のみとなる。図で黒く塗りつぶした部分が載荷孔に対応しそれぞれのモデルにおいて一孔あたりの破砕面積はほぼ等しい。また S/W の値は(A)1.15, (B)1.73, (C)3.08, (D)6.92となる。ここで(C)が孔間に直線状の破断面ができる限界とし模型実験における $S/W = 1$ および2はモデル(A), (B)に, $S/W = 4$ はモデル(C)に, $S/W = 6$ および8はモデル(D)に対応づけている。ここでは数値シミュレーションに関する詳細は省略する。

図4～7にモデルにおけるクラックの発生、発達状況を示す。図中太実線は載荷により供試体中に発生したクラックとその発生方向を示している。(A), (B)の S/W が比較的小さい場合には実験結果における破断面の直線性、破砕量が爆破列により特に大きく変動しない状態、あるいは各列の爆破で大塊が放出される状況などよりよく説明されるようである。これらの状況は孔間隔が短かくかつ同時爆破が行われるため、また抵抗線距離が大きいと生じるものと考えられる。しかし実験においてみられる列番号の増加による破砕性の向上は解析モデルからは認められなかった。(C)のように S/W が中程度となるとクラック密度はかなり高くなるがクラックパターンを検討すると第3列の載荷による破砕域の方が、第2列の載荷による破砕域よりも若干クラック未発達部分を多く含む。このことは実験の傾向と一致しているようであり興味があるところである。(D)の S/W が比較的大きい場合になると第1列の載荷でクレーターが形成され、その破砕域はほぼクラックどうめられ破砕性のよさがあがる。また第2列の載荷によりできるクラック未発達部が第3列の載荷によりできるクラック未発達部分に比べて広いことを考えれば実験結果をうまく説明しているといえるようである。

以上のことにより次のことが明らかになった。

- 1) 最小抵抗線距離の減少は自由面での反射引張波による破壊を顕著にし破砕性を向上させる。
- 2) 爆破孔間隔が大きくなると同時爆破においてはそれぞれの孔からの衝撃波が隣接孔からのクラックの放射状の発達を抑制する効果は小さくなり破砕性の向上をもたらす。
- 3) 第3列以降が現実的であること、穿孔精度、飛石などを考慮すると $S/W = 4$ 程度が現実的であると思われる。

4. 謝辞

実験に便宜をお計りいただいた日本化薬厚狭工場石井工場長ならびに実験に協力いただいた日本化薬および山口大学の諸氏に謝意を表す。

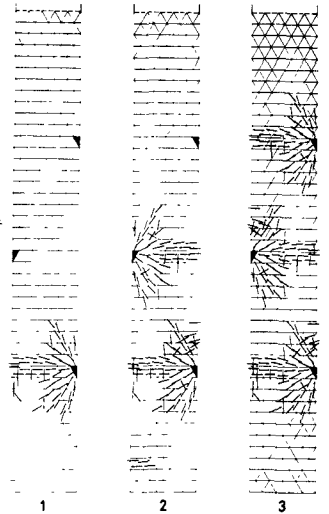


図4 モデル(A) ($S/W=1.15$)におけるクラックの発達

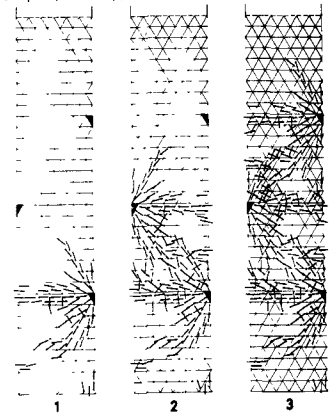


図5 モデル(B) ($S/W=1.73$)におけるクラックの発達

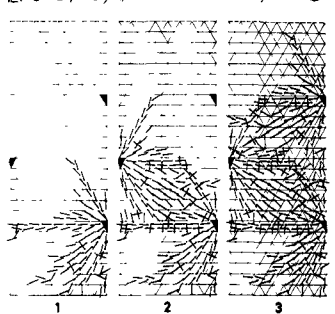


図6 モデル(C) ($S/W=3.08$)におけるクラックの発達

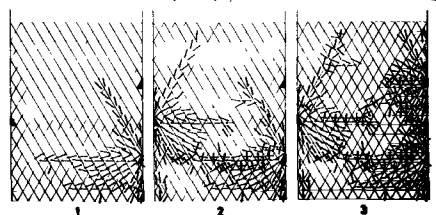


図7 モデル(D) ($S/W=6.92$)におけるクラックの発達