

高精度起爆が岩石の破壊機構に与える影響に関する基礎的研究

岩盤・開発機械システム工学研究室 修士2年 高橋良堯

1. はじめに

鉱山採掘において発破作業は、経済性・効率性の観点から極めて重要な作業である。その一方で、発破作業は火薬類の使用を伴うことから、振動・騒音・飛石などの種々災害を引き起こす可能性を有しており、他の工法に比して周辺環境に悪影響を及ぼす可能性が高い工法と言える。このため、持続可能な鉱山開発に向けた、安全かつ効果的な制御発破技術の進展が未だに求め続けられている。通常、鉱山における発破作業では DS 雷管や MS 雷管を使用し、各発破孔や列ごとに起爆秒時差を設けた発破が行われている。この起爆秒時差の変更により、起破効果の改善や振動・騒音の低減が可能であることが経験的にも理論的にも知られているものの、起爆秒時差が与える影響について未だ十分な解明がなされておらず、発破作業における起爆秒時差の明確な設計指針が確立されているとは言い難い。そこで本研究では、最適起爆秒時差の設計指針の確立に向けた基礎的知見を得るため、コンクリートブロック供試体を用いた室内発破試験を実施し、起爆秒時差が起破メカニズムに与える影響について種々検討を行った。

2. 室内発破試験の概要

2-1 室内試験概要

図 1 に実験で使用したコンクリートブロック供試体及び発破規格の概要図を示す。爆薬として、雷管及び C-4 爆薬を 1 孔当たり 1.0 g 用いた。また、供試体の前面に取り付けたひずみゲージにより、起爆中の供試体の変形挙動を計測し、同時に孔間及び供試体前面の亀裂進展の様子を高速度カメラで撮影した。

2-2 起爆秒時差の設定

実験に使用した供試体から試料を採取し、この試料で計測された P 波速度 (3,557[m/s]) を基に起爆秒時差を設定した。すなわち、起爆後、隣接孔への応力波の到達時間を (孔間隔) / (P 波速度) = 10[cm] / 3,557[m/s] ≈ 28[μs] とし、0s (斉発)、28μs、56μs、112μs の計 4 種の起爆秒時差を設け、実験を行った。

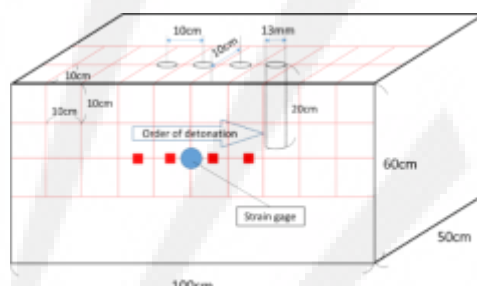


図 1 実験に使用した供試体と発破規格の概要図

3. 結果およびまとめ

亀裂進展の観察結果から、起爆秒時差 0s の場合には発破孔列の中心付近から、起爆秒時差を設けた場合には起爆方向とは逆方向からの亀裂進展が認められる。また、供試体前面では、起爆秒時差 0s において図 2 に示す様な規則的な亀裂の進展が認められる。一方、起爆秒時差の増大に伴って規則的な亀裂進展の様子が変化し、複雑な亀裂進展形態が現れた。これらの結果は、各孔から発生した応力波の干渉が亀裂進展に影響を与えていると考える。

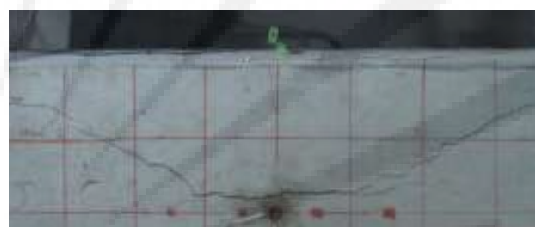


図 2 起爆秒時差 0s における供試体前面の亀裂進展

そこで、起爆秒時差 0s、28μs におけるひずみ履歴を図 3 及び図 4 に示す。この実験では、トリガー後 400μs 後に第一孔の起爆が開始するよう設定を行っている。両履歴の起爆後約 300μs の挙動に着目すると、応力波の干渉の様子を確認できる。つまり、起爆秒時差 0s のひずみ履歴においては、不規則なひずみの挙動を示しているが、起爆秒時差 28μs においてはひずみの振幅の増幅が確認できる。これらの結果は、それぞれ干渉による応力波の減衰・強め合いによるものであると推察される。

以上の実験結果から、起爆秒時差の変更により、亀裂の進展及び、応力波の減衰・強め合いを制御することが可能であることが明らかであり、適切な起爆秒時差の設定することで、周辺環境への負荷を低減した効果的な発破を行うことが可能であることが示唆される。

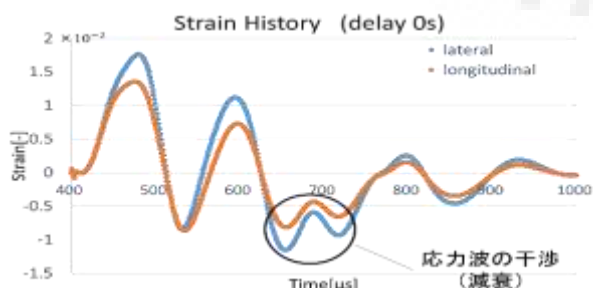


図 3 起爆秒時差 0s におけるひずみ履歴

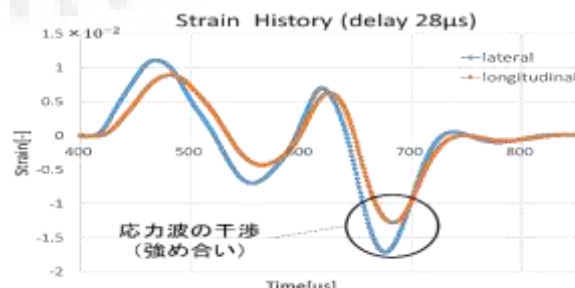


図 4 起爆秒時差 28μs におけるひずみ履歴