

相関関数を用いたミニブラスティングの振動低減

和田有可*, 馬 貴臣**, 緒方雄二*, 三宅淳巳**
 勝山邦久*, 小川輝繁**

相関関数を用いて最適起爆時間差を算出する振動低減手法を鉄筋コンクリート防爆壁のミニブラスティングに適用した。10孔同時起爆の振動を基本とした解析によって、40孔を10孔ずつ4段で起爆する際の最適起爆時間差を算出した。そして、その時間差で実際に発破した際の振動加速度の最大振幅を40孔を全て同時に起爆にした場合や25msの段発電気雷管を用いて4段で起爆したと仮定した場合の計算値の約1/3から2/3にそれぞれ低減することができた。

1. はじめに

発破作業を社会的に受け入れられ易くするための課題の1つに発破振動の低減がある。そこで、筆者らは単独の振動源からの振動波形の相関関数を基に複数の振動源からの振動を互いに干渉させ低減するための最適な起爆時間差を求める方法を提案した¹⁾。そして、種々のモデル実験によってその有用性を確認してきた^{1)~4)}。

本報告は、実際の発破における振動低減に相関関数を用いた方法を適用する可能性を検討することを目的とした。そのために、1994年5月23日から26日に東京都秋川市の細谷火工(株)旧本社工場において実施された鉄筋コンクリート壁のミニブラスティングにおける振動を相関関数を用いた方法で低減することを試みた結果を報告する。

2. 実験

2.1 発破

今回解体を行ったのはいずれも鉄筋コンクリート製の2つの防爆壁(以下、防爆壁1および防爆壁2)と危険工室の壁である。しかしながら、本報告の目的のために有効な振動計測データが得られたのは防爆壁1

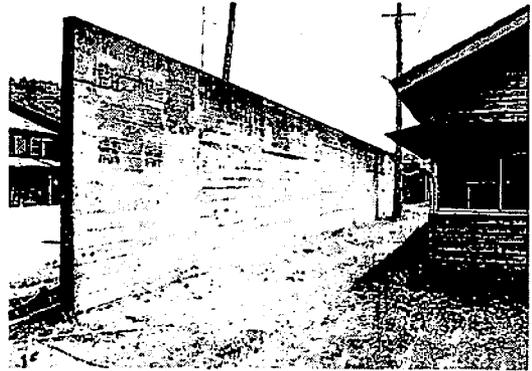


Photo 1 Reinforced concrete protection wall 1

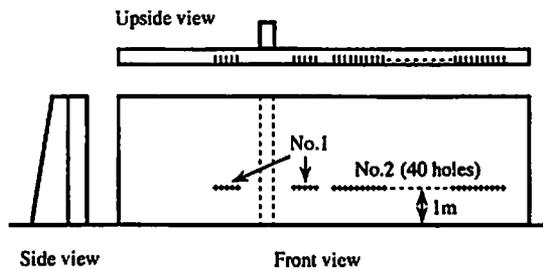


Fig. 1 Blasting point of protection wall 1.

の実験のみであった。防爆壁の発破位置の見取図をFig. 1に示す。

今回のミニブラスティングは発破解体の際の前処理の壁面のはつり作業を想定して行った。そこで、地面より高さ約1mの位置に直径36mm、深さがそれぞれの壁厚の1/2となるように発破孔を穿孔した。穿孔間隔は全て200mmとし、鉄筋にあたる場合には適宜ずらし

1994年12月14日受理

*資源環境技術総合研究所
 安全工学部破壊工学研究室
 〒305 茨城県つくば市小野川 16-3
 TEL 0298-58-8563
 FAX 0298-58-8565

**横浜国立大学工学部物質工学科
 〒240 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台156
 TEL 045-335-1451 (Ext. 2887)
 FAX 045-334-2320

た。発破孔には、日本化薬(株)製のエマルジョン爆薬(カヤマイト)を20gと雷管を装填し、日本化薬(株)製のタンピング材(カヤタンパー)でタンピングした。

発破孔には破片等の飛散防止のため砂袋に入れた砂を被せ、その上にゴムマットを被せ、さらに全体をプラスチックシートで覆った。一部の実験では砂袋の内側をさらに畳で覆った。

起爆は日本化薬(株)製の地震探鉱用雷管と同じく日本化薬(株)製の精密起爆器で行った。このシステムにより約30 μ s以内の精度で5チャンネルまで個別に起爆時間が制御できることが確認されている。

実験の詳細は次の通りである。

実験1は列状の10孔を精密に斉発させた。

実験2は相関関数により求められた振動低減のための最適起爆時間差で列状の40孔を4チャンネルに分け10孔ずつ精密に斉発させた。設定された時間差は0ms-11.8ms-21.5ms-33.3msである。

2.2 計測

振動は防爆壁1の中心から壁と垂直方向に10m, 20m, 30mの位置にそれぞれTEAC製の3軸加速度計(707Z)を設置して計測した。X軸は発破箇所に向かって右方向を正にとった水平横方向の振動加速度, Y軸は発破箇所に向かって後方を正にとった水平進行方向の振動加速度, Z軸は上方向を正にとった垂直方向の振動加速度である。

加速度計からの信号はTEAC製のアンプ(SA-6)で増幅し、TEAC製のデータレコーダー(XR-5000WB)に記録した。記録した信号はHIOKI製のメモリレコーダー(8850)でサンプリング間隔0.2msでA/D変換してパーソナルコンピュータに取り込み解析した。

2.3 解析

相関関数を用いた振動低減手法の詳細は文献¹⁾にあるので概略を述べる。

発破振動がある基本となる振動波形の合成波形として得られていると仮定する。その基本となる振動波形の相関関数から最も負の相関が高くなる時間差を求め、その時間差で次なる振動が到達すれば振動は互いに干渉し低減されることが予想される。

ここでは防爆壁1の10孔同時起爆の発破振動を基本となる振動波形とし、その振動波形の相関関数から振動低減のための最適起爆時間差を求めた。そして、10孔を単位としてその基本となる振動波形が2つ重なる場合(20孔)、さらに、その2つ重なった振動波形が2つ重なる場合(40孔)の振動低減を検討した。

相関関数の計算はかなりの時間を要するので実験現場では振動の到達から1,000点(200ms)の部分の振動

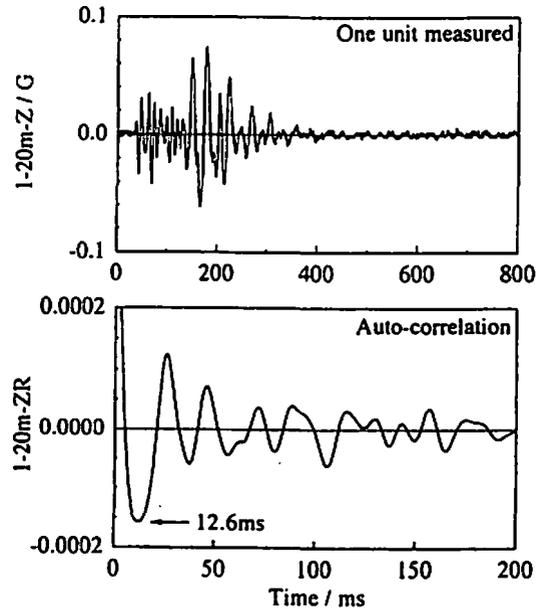


Fig. 2 Analysis of acceleration of vibration caused by one unit (10 holes at the same time) blasting.

波形と他の部分との相関を計算した。実験後の解析では起爆信号から2,000点(400ms)の部分と他の部分との相関を計算した。そのため、現場で実験に採用した時間差と実験終了後に計算した時間差が異なる場合があるが、その差は小さく、求められた時間差に対して影響はない。

3. 結果と考察

3.1 振動測定結果

振動測定結果は、薬量が少ないため振動も小さく、特に水平方向(X軸, Y軸)や30m地点では結果としてノイズが大きくなった。また、大きな振動をまず低減するという観点からも、以下の解析では主としてZ軸方向のデータ、特に20m地点の振動加速度データを用いた。

3.2 振動低減実験結果

基本となる実験1の20m地点、Z軸方向の振動波形(上段)とその自己相関関数(下段)をFig. 2に示す。ここでは起爆時間差として12.6msが求められたが、これは相関関数の計算範囲を2000点、400msにした場合である。現場での解析では前述の理由により11.8msとなり、この値で実験2を行った。

また、実験1の20m地点のZ軸方向の振動波形の周波数分析の結果をFig. 3に示す。20m地点では振幅が最大となる周波数は42.7Hzで、周期に換算すると23.4ms、半周期では11.7msとなり、先の相関関数による時間差11.8msと一致した。ただし、周波数分析で

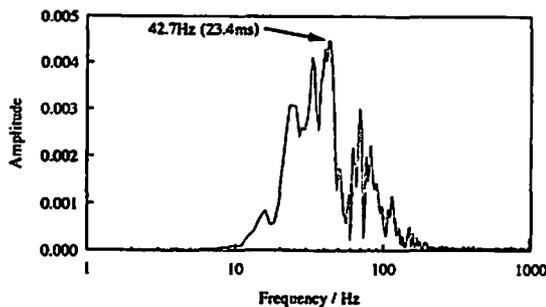


Fig. 3 Result of frequency analysis of a vibration wave caused by one unit blasting (20m-Z)

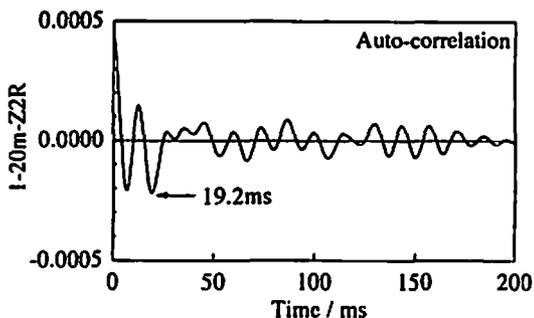
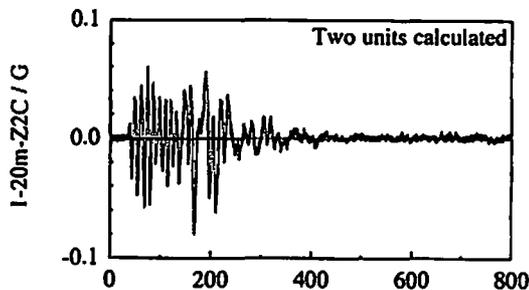


Fig. 4 Analysis of vibration of two units (20 holes) blasting.

はピークが多数出するため、最適時間差を一意的に求めるという点では相関関数の方が優れている。

求められた時間差で10孔ずつ2段で起爆した場合の20孔時間差起爆の振動の予測波形をFig. 4の上段に示す。この際、各孔から計測点までの距離による相違は考慮しておらず、すべての点が同じ距離にあると仮定した。実際に、例えば実験2を考えた場合、20m地点で40孔の列の中央にある最も近い孔までの距離を20mとすると、もっとも遠い孔までの距離は約20.4mとなるが、今回の地盤の振動の伝播速度が約1,000 m/sであるから、0.4mの距離のずれは0.4msに相当し、ほとんど無視できる。この予測波形の自己相関関数をFig. 4の下段に示した。これより求められる時間差(19.2ms)も20孔の場合と同様に実験値(21.5ms)と

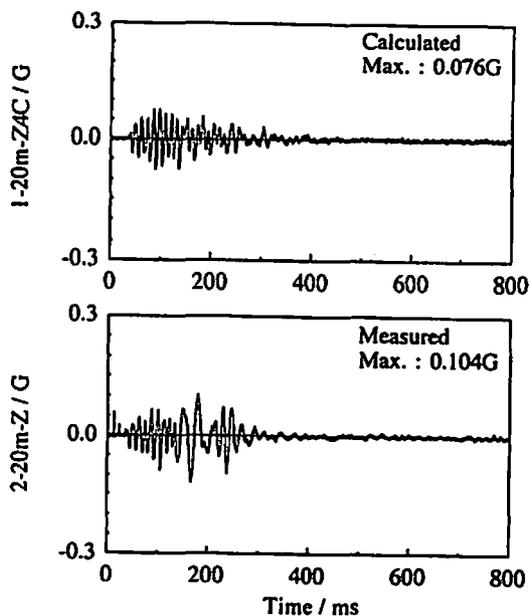


Fig. 5 Calculated and measured vibration caused by four units (40 holes) blasting on optimized delay time.

多少のずれがある。

求められた時間差で10孔ずつ4段で起爆する際の40孔時間差起爆の振動の予測波形と計算で得られた起爆時間差で起爆した実験2の20m地点のZ軸方向の実測波形をそれぞれFig. 5の上段と下段に示す。また、40孔全孔からの振動がすべて同時に測定点に到達した場合の最大となる振動の予測波形と25ms間隔の段発電気雷管を用いて10孔ずつ4段で起爆したと仮定した場合の予測波形をそれぞれFig. 6の上段と下段に示す。防壁1で20m地点、Z軸方向の場合、実験2の実測波形の最大振幅は0.104Gで、予測波形から求められた予測値0.076Gより約40%大きくなった。しかし、すべての振動が同時に測定点に到達する場合の予測値0.296Gの約1/3、段発電気雷管を用いたと仮定した場合の予測値0.154Gの約2/3となり、明らかに振動低減の効果が認められた。

3.3 実発破への適用性の検討

今回の実験によって実際の都市発破におけるミンプラスティングの際や単純な振動波形の重ね合わせの考え方が適用できる範囲の実発破においては、おそらく同じ振動低減手法が適用でき、ある特定の地点にある特に振動の影響を受けやすいような物件に対する振動を低減させることは可能であることが示された。

また、今回の実験では20m地点と30m地点の振動波形から求められた最適時間差はほぼ等しくなった。実際の発破でも距離の変化による振動波形の変化は大き

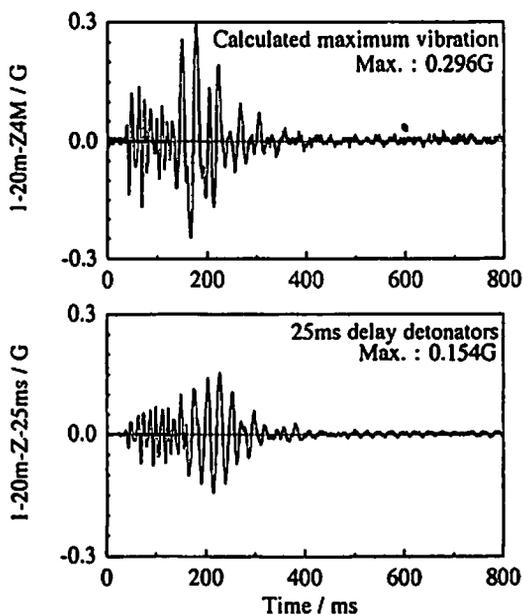


Fig. 6 Calculated vibration caused by four units blasting at the same time and using 25ms delay detonators.

くなく、計算される最適時間差も大きく異なることが予想される。したがって、相関関数を用いた振動低減手法は振動波形が類似したある範囲の地域に対して適用できる可能性がある。その際問題となるのは、距離差による振動の時間的ずれであるが、例えば、振動の伝播速度を500 m/s、設定した時間差を50msと仮定すると、その時間差を打ち消すに相当する距離は25 mとなり、都市発破やミニブラスティングではそれほど距離差のある発破は考えにくい。

4. まとめ

相関関数を用いて最適起爆時間差を算出する振動低減手法を鉄筋コンクリート防爆壁のミニブラスティングに適用した。10孔同時起爆の振動を基本とした解析によって、40孔を10孔ずつ4段で起爆する際の最適起爆時間差を算出した。そして、その時間差で実際に発破した際の振動加速度の最大振幅を40孔を全て同時に起爆にした場合や25msの段発電気雷管を用いて4段で起爆したと仮定した場合の計算値の約1/3から2/3にそれぞれ低減することができた。

謝 辞

本実験は細谷火工(株)の細谷政夫会長、細谷文夫社長の御厚意により実施することができた。また、実験の準備では、東京大学工学部の田村昌三教授、火薬学会発破専門部会の方々に御協力いただいた。さらに、実験の実施に際して、細谷火工(株)、日本化薬(株)、(株)カコーの方々や横浜国立大学工学部の小川研究室の職員、学生の方々に御協力いただいた。ここに謝意を表します。

文 献

- 1) 和田有司, 馬貴臣, 中嶋敏秀, 昔哲基, 緒方雄二, 勝山邦久, 三宅淳巳, 小川輝繁, 火薬学会誌, 55, p. 174 (1994)
- 2) 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, 中嶋敏秀, 昔哲基, 小川輝繁, 工業火薬協会1993年度春季研究発表会講演要旨集, p. 111 (1993)
- 3) 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, 昔哲基, 馬貴臣, 資源素材学会平成6年度春季大会講演予講集, p. 271 (1994)
- 4) 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, 馬貴臣, 昔哲基, 1994年度火薬学会春季研究発表会講演要旨集, p. 73 (1994)

Control of vibration using correlation function on mini-blasting

by Yuji WADA*, Gui-Chen MA**, Yuji OGATA*
Atsumi MIYAKE**, Kunihisa KATSUYAMA*
and Terushige OGAWA**

The method to control vibration by blasting at the optimized delay times, which were calculated from correlation functions, was applied to the mini-blasting on reinforced concrete protection walls. The optimized delay times to blast each ten holes by four steps were calculated by analyzing an acceleration of vibration caused by blasting a row of ten holes. As the result of the examination, the measured maximum vibration using this method was about one third and two third of the calculated maximum vibration caused by blasting 40 holes at the same time and using delay detonators, respectively.

(*Fracture Mechanics and Explosives Laboratory, Department of Safety Engineering, National Institute for Resources and Environment(NIRE), AIST, MITI, 16—3 Onogawa, Tsukuba 305, JAPAN

**Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Yokohama National University, 156 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, JAPAN)