

III-38 爆破振動の軽減法に関する検討

京都大学工学部

伊藤 一郎

二員 佐々 宏一

西松建設株式会社

二員 谷本 親伯

1. 緒 言

爆破による振動は個々の条件に応じて著しくその性状が異なってくることが多く、一律に論ずることはきわめて難しいが、香川県水東部幹線鉄道敷設工事において行なった実験では、爆破振動の軽減法について興味ある結果が得られた。特に、使用する火薬（爆薬も含む）の種類および起爆方法によって発生する振動の大きさがかなり異なることが明らかとなり、市街地やその近傍におけるような困難な条件の下での爆破に対し振動を軽減するにはどのような性質の火薬を使用すべきか、またどのような起爆方法を用いるべきかを示唆しているものと考えられる。

2. 実験内容

地表面下約50mの位置で掘削中のずい道壁面に高爆速（2号複ダイナマイト、爆速6000 m/s）、中爆速（無煙火薬、爆速2500 m/s）および低爆速（コンクリート破砕薬、爆速300 m/s）の3種類の火薬を使用し、19回の心抜き爆破を行ない、これに起因する振動を地表面の2尺するわらP点（岩盤上）およびQ点（表土上）に接地したピックアップによりそれぞれ上下、東西および南北方向の3成分について測定し、薬種と振動との関係を考察し、あわせて遅延雷管の点火精度のばらつきを利用する軽減法を検討した。爆源と振動測定場所との位置関係は、図-1に示すようである。

3. 振動の軽減方法の検討

(1) 薬種と振動との関係 火薬の爆発によって発生する振動の大きさは、たとえ爆轟圧の大きさが同じであっても、その時間的变化状態の差異によってかなり変化し、無限の粘りを持つと考えられる弾性体内に存在する球形空洞の内面に(1)式で示されるような圧力が作用した場合に発生する振動を検討してみると、爆轟圧の立ち上り時間と振動の大きさとの間には相関関係があり、圧力の立ち上り時間がある程度長くなると発生する振動の大きさが急激に減少することになる。一方、装薬孔内部に作用する圧力の立ち上り時間は爆速に関係し、爆速が遅くなるにつれ、圧力の立ち上り時間も長くなるものと考えられる。また、爆轟圧そのものも当然振動の大きさに影響を及ぼす。したがって、使用する薬種によって発生する振動の大きさはかなり変化するものと考えられる。

$$P(t) = P_0 (1 - e^{-\beta t}) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $P(t)$ は爆轟圧、 P_0 は爆轟圧最高値および β は爆轟圧の立ち上り時間を規定する定数である。

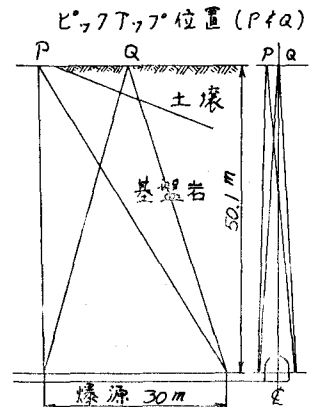


図-1 爆源と測定場所の関係

従来の研究結果によれば、爆破振動の大きさを A 、距離を d 、単一装薬を L とすると、これらの間には、

$$A = K \cdot L^{\frac{2}{3}} \cdot d^{-2} \dots\dots\dots (2)$$

という関係が存在し、 K は使用する火薬類の種類および地盤条件により定まる定数である。したがって、距離 d が定まっておれば、 A を減少させるためには K または L を減少させるなければならない。

実験においては、装薬量を $400g$ に統一して振動発破を実施し、その結果得られた高爆速、中爆速および低爆速の3種類の火薬類の K の値を対比してみると、表-1 のようである。

さて、周知のように粒子振動方向が波動の進行方向と同一である波動が縦波であり、粒子の振動方向が波動の進行方向と直角である波動が横波である。したがって、 P 点における上下振動成分は主として縦波によるものであり、水平動成分は主として横波その他によるものであると推定することができる。そこで、表-1 をみると、2号複ダイナマイトの場合 P 点の振動の大きさは、上下動成分が最も大きく、水平動成分はその $1/2$ 以下である。しかも、コンクリート破砕薬の場合の P 点の振動は3成分ともほぼ同じ大きさを示し、むしろ南北方向の水平動成分が最も大きくなる。このことは、ダイナマイトなご爆薬を用いた爆破を実施した場合に発生する波動の主要部はその爆発によって発生する縦波であるが、コンクリート破砕薬のように燃速がかなり遅い火薬類を用いた爆破を実施する場合には、その爆発によって発生する縦波の大きさはそれ程小さくなく、クレータが生成したり、タンピングが吹き飛ばされたりすることによって発生する横波に起因する振動が爆破振動の大きさにかなり関係していることを示している。

また、表-1 より明らかにようにコンクリート破砕薬を用いて発破を行なった場合に発生する振動の大きさは、2号複ダイナマイトを用いて行なった場合のほぼ $1/10$ 以下となっており、無煙火薬を用いた場合には2号複ダイナマイトの場合の $1/2 \sim 2/3$ 程度になるのではないかと推定することができる。

(2) 起爆方法と振動との関係 通常の爆破の場合には全装薬量を1箇所に集中装薬して1箇の雷管で起爆するというのではなく、多くの装薬孔内に分散して装薬し、これらが多く箇の雷管を用いて起爆されることが多い。したがって、いま、1孔あたり N 箇の爆薬を N 箇の装薬孔に装填して起爆する場合を考へみると、全装薬が厳密に全く同時に起爆するならば、この場合に発生する振動の振巾は(2)式の L の値として $L = N \cdot l$ とした場合に比較的近くなる。しかし逆に、 N 箇の装薬がすべてある時間間隔を

起爆し、それぞれ装薬の爆発に起因する振動が完全に分離したとすると、発生する振動の振巾は(2)式の L の値として $L =$

表-1 薬種の差異による K の値の変化

薬 種	爆 速 (m/s)	P 点			Q 点		
		上,下	東,西	南,北	上,下	東,西	南,北
2号複ダイナト	6000	7.2	2.9	2.1	4.7	5.3	8.1
無煙火薬	2500	2.8	0.84	1.0	3.0	4.6	7.7
コンクリート破砕薬	300	0.54	0.45	0.6	0.66	—	—

Wとした場合の値となるから、 $L = NW$ とした場合のそれの $(N)^{\frac{2}{3}}$ 分の1となり振動は小さくなる。

さて、2号複ゲイナマイトを瞬発雷管で起爆した場合の振動変位速度オシログラムをみると、その時間的変位状態は単一パルス波形の圧力作用した場合の変位速度の計算結果とかなりよく似た波形を示している。したがって、これより瞬発雷管で数個の装薬を起爆した場合に発生する振動は、単一装薬が爆発した場合とほぼ近いことがわかる。

これに対し、数個の装薬を同一段数のDS雷管で使用して起爆してもDS雷管そのものの起爆時間のばらつきのために、それぞれの装薬の爆発に起因する振動が多少程度分離し、瞬発雷管を用いて起爆した場合より発生する振動が小さくなる可能性がある。今回は、100gの2号複ゲイナマイトを4孔に装填し、これらを4個のDS-2段雷管で起爆する実験を行なった。この場合のオシログラムを参照すれば、振動波形は瞬発雷管を用いた場合と異なり、単一装薬が爆発した場合に発生する振動の波形が2〜3個連続しているような波形を示している。このことは各装薬の爆発に起因する振動が分離していることを示している。

そこでつぎに、Kの値についてみてみることにし、瞬発雷管を用いた場合の平均値とDS-2段雷管を用いた場合とを対比してみると、表-2のようである。これより、DS雷管を用いて装薬を起爆した場合に発生する振動の大きさは、瞬発雷管を用いた場合のそれよりもかなり小さくなり、今回の実験の場合には瞬発雷管を用いた場合の $1/2 \sim 1/3$ となっている。したがって、今回の実験結果より、DS雷管を用いて数個の装薬を起爆する場合に発生する振動の大きさは、段あたり1装薬量で規定するのではなく、むしろ1孔あたりの装薬量が関係し、その大きさは1孔あたりの装薬量の1〜1.5倍の単一装薬が爆発した場合に発生する振動の大きさとほぼ等しくなることがわかる。このことは、DS雷管を用いることにより、振動をかなり軽減していることを示している。

4. 爆破振動の周波数分析

今回の実験により得られた振動測定記録に対し、周波数分析を行なった。これは薬種によってかなりはつきりと差があるが、

図-2のように、ゲイナマイトが爆轟した場合に発生する振動のスペクトルは200 c/s近傍で最大値を示し、この周波数より高い周波数の方に卓越しており、800 c/sあたりまで分布している。これに対して、より低速の無煙火薬やコンクリート破砕薬などの場合には200 c/s付近に最高値が現われるとてはゲイナマイトと共通しているが、300

表-2 瞬発雷管で起爆した場合とDS-2段雷管で起爆した場合とのKの値の比較

起爆法	P 臭			Q 臭		
	上,下	東,西	南,北	上,下	東,西	南,北
瞬 発	10.4	3.8	3.7	6.7	9.1	11.1
DS-2	5.2	2.1	1.8	2.9	2.6	5.7
’	3.6	1.4	1.1	2.4	3.9	4.7
瞬 発	8.5	3.5	2.1	5.8	6.9	7.5
DS-2	1.7	0.94	0.66	1.6	2.8	4.4
’	2.7	1.1	0.87	1.7	1.9	3.2

1/s 以上の周波数成分は全然無いという点と 200 1/s より低い周波数に大きなピークが分布しているという点と著しく違っており、爆速の速いものは高い周波数の成分が多いという相関関係が成り立ちようである。また、薬種が違っても他の条件が同じであれば、等しい周波数のところに顕著なピークを共有する例が多く見られた。このことは地盤の固有振動数に深く関係しているものと考えられる。したがって、構造物の固有振動数と関連して、どのような状態や爆破を行えば、いかなる周波数の振動が発生するかということの明らかにすることが重要であろう。

5. 結 言

今回の実験により得られた結果を要約すればつぎのとおりである。

- (1) 爆破による振動を軽減するには、一般に、より低爆速の火薬類を使用することが望ましく、中爆速 (2000~3000 m/s の爆速) を有する火薬類では、高爆速のダイナマイト系爆薬に比べて大体 $1/2 \sim 2/3$ 程度に軽減され、また、燃速領域の火薬類では、 $1/10$ またはそれ以下といえよう。
- (2) DS 雷管を用いて数孔の装薬を起爆する場合に発生する振動の大きさは、段あたりの装薬量よりも1孔あたりの装薬量に関係し、発生する振動の大きさは、(2) 式の L の値として、1孔あたりの装薬量の $1 \sim 1.5$ 倍の装薬量を用いて計算した値とほぼ等しい。なお、瞬発雷管を用いた場合や MS 雷管を用いた場合には、(2) 式の L の値として段あたりの装薬量を用いなくてはならない。

なお、本実験および解析にあたっては、京都大学工学部助手花崎敏一氏および大学院生金田勉氏をはじめ、水資源開発公団香川建設所の方々に多大の援助を賜った。ここに明記し感謝の意を表す。

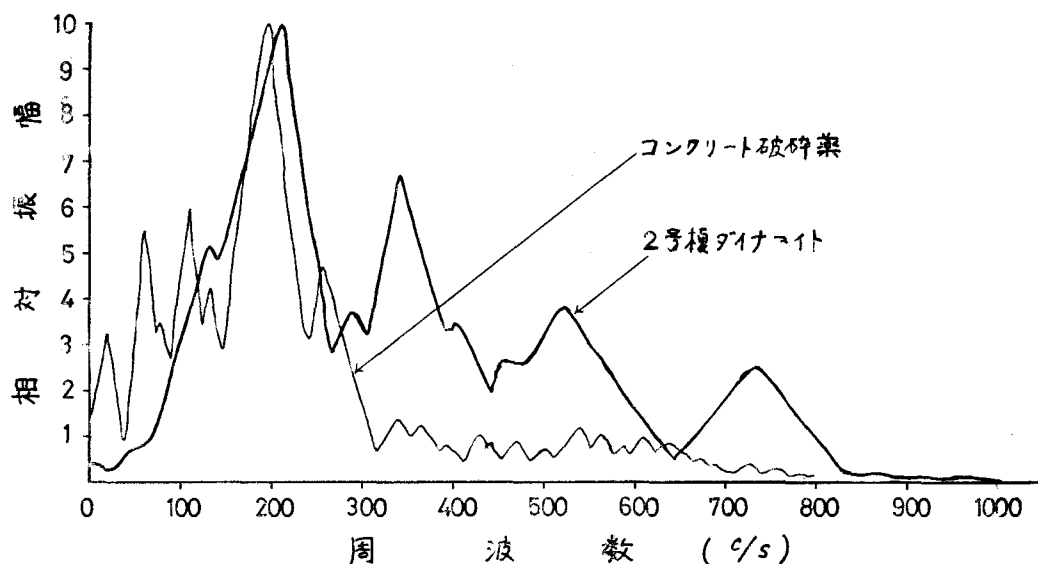


図-2 岩盤上測定点における上下振動の周波数スペクトル