

免破振動の重畳に関する一考察

山口大学工学部 正 ○国松 直 山口大学工学部 正 中川浩二
山口大学工学部 正 三浦房紀 宇部興産(株) 正 今村 威
京葉ガス(株) 児玉広伸

1. はじめに 低コストで破砕効果の大きい免破は岩盤の掘削、破砕工程において欠かすことのできない作業である。しかし、最近では環境条件が厳しくなるのに伴ない免破作業も種々の規制がとられるようになってきた。その規制は主に免破により生じる地盤振動が対象であり、既設構造物の安全性あるいは人体への感じ方を考慮して決定される。このような現況において、規制値を満足させるために免破計画段階であらかじめ発生する振動を推定し、その推定結果をもとに免破計画の再考を行なわなければならない、建設工事の工程、作業能率などに推定式の精度が大きく影響を及ぼす。

従来より使用されている免破振動の推定式は最大速度振幅 (PPV (cm/s)) に対するものであり、 $PPV = KW^\alpha D^{-\beta}$ の形で表わされる。ここで、W は装薬量 (kg)、D は距離 (m)、K、 α 、 β は定数である。この式において W は斉免破の場合、同段当たりの総装薬量として扱われ孔数にかかわりがないと考えられている。しかし、波には干渉作用があり、異なった孔の免破により生じる振動も互いに干渉し合うことが考えられる。

このような観点から、本研究は孔数と孔当たりの装薬量が PPV に及ぼす影響について、免破実験および計算機による速度波形の重畳シミュレーションにより検討を行なったものである。

2. 免破実験概要 実験はある平坦な土質地盤上において、図 1 に示すような免破孔配列で行なった。図中の数字 1～5 は単免破、6、8、10 は 2 孔斉免破、7、9、11 は 3 孔斉免破である。穿孔、起爆にあたっては地盤条件の変化を防ぐため、後列より 1 列をまず穿孔した後、装薬、起爆を行ない、次に前列孔を穿孔するという手順を繰り返して行なった。免破孔間隔は 1 m である。免破規格は孔径 50 mm、穿孔長 80 cm とし、1 孔当たりの装薬量は 25 g、使用した爆薬はスラリー爆薬 (アイレマイト) である。電気雷管はすべて瞬発電気雷管を使用した。測定点は中央の孔の延長線上に最前列孔から 2 m 間隔で 6 個の加速度ピックアップを配置した。測点番号は免破孔に最も近いものを 1 とし順次 6 までとした。なお、測点 2 には速度ピックアップも併置した。記録した加速度、速度波形は鉛直成分である。免破振動の観測は主に加速度ピックアップによっているのでここでは加速度波形に対して線形加速度法¹⁾による積分を施し速度波形を求めた。

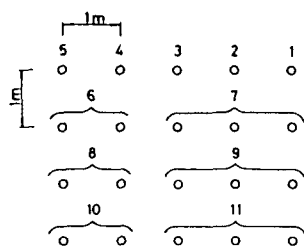


図 1 免破パターン

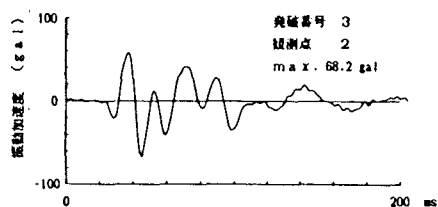


図 2 加速度波形記録

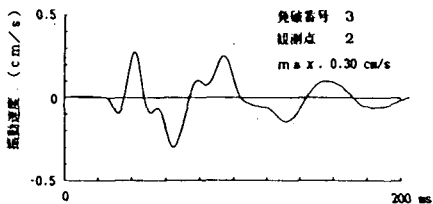


図 3 加速度波形の積分による速度波形

3. 実験結果および考察 図 2 は免破番号 3 の免破により生じた地盤振動を測点 2 で記録した加速度波形であり、図 3 はそれを積分した速度波形である。また、図 4 は同測点で記録した速度波形であり、図 3 と比較して波形の形状、ピーク値とも非常に良く一致しており加速度波形の積分により速度波形を得ることの妥当性を示している。次に、単免破波形を用いた多孔免破の重畳シミュレーションを行なうためには単免破波形の同一性が前提となるが免破番号 1～5 の単免破による加速度波形には再現性がみられ、斉免破により生じる各々の波形もほぼ単免破の波形と同様の形状をしていることが推察された。

図 5 は縦軸に PPV、横軸に距離を対数目盛でとり実験結果をプロットしたものである。ここで、多孔斉免破の距離は免破孔間の中心と測点の距離とした。この図より、単免破、2、3 孔斉免破の距離減衰特性はほぼ同程度を示していることがわかる。

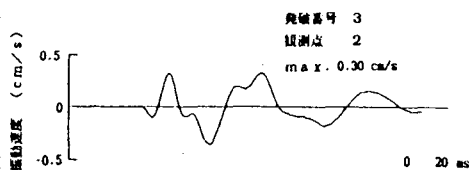


図 4 速度ピックアップによる速度波形

段当たりの総薬量 (W_T) および距離より従来に用いて重回帰分析²⁾を行ない、次のような結果が得られた。

$$PPV = 321 \cdot W_T^{0.14} \cdot D^{-1.80} \quad \text{--- (1)}$$

上式中の α 、 β の値は従来に用いた値 ($\alpha = 0.5 \sim 1$ 、 $\beta = 2$) と比べて妥当な値である。ここで、多孔斉発時に観測される PPV が個々の単発免破振動の干渉によるものであると考えれば、PPV の推定に使用される薬量は同段当たりの総薬量ではなく孔当たりの薬量の影響を大きく受けるものと思われる。 α が $0.5 \sim 1$ の値であることも孔の影響による波の干渉による結果と考えることもできる。そこで、孔当たりの薬量 (W_s) が同じであると仮定すれば同段の免破孔数 (n) を用いて新たに PPV の推定式として次式が考えられる。

$$PPV = K \cdot W_s \cdot D^{-\gamma} \cdot n^{\gamma} \quad \text{--- (2)}$$

上式中の γ は (1) 式の α の値と同値であり、単発免破時の薬量の効果は (2) 式によれば、薬量が a 倍になれば a 倍の PPV を示すことを意味するがこの点については今後検討を要する。 n 孔斉発では 1 孔の免破により生じる速度波形が完全に重ならなければ $\gamma < 1$ となり α の値と矛盾しない。

4. 重畳効果のシミュレーション

孔数の影響による波形の干渉時間差には、孔が異なることによる距離の差によって生じる到達時間差や電気配管の免破秒時誤差のための時間差が考えられる。そこで、単発免破より得られた速度波形を任意の時間差をつけて重ね合わせた時の PPV の変化を調べた。図 6 は 2 波、図 7 は 3 波の重畳結果である。3 波の場合の時間差は等時間差としている。縦軸は単発免破波形の PPV に対する比、横軸は時間差である。これらの図は斉発免破でも秒時誤差等の時間差により、PPV がある程度低下することや、段発免破でもその段数によっては振動波形が重畳することを表わしている。また、最大速度振幅比の時間差に対する挙動は波形特性と密接に関連しているものと思われる。

これらの図より時間差が電気配管の誤差範囲内であれば斉発免破、それ以上であれば、ある秒時差における段発免破の最大速度振幅比を推定でき、その値を用いて γ を算出すれば規制された最大速度振幅比以下にすべき薬量を (2) 式より求めることが可能である。

このように波の干渉を考慮した (2) 式および重畳シミュレーションの併用により、従来に用いた推定式に比べより高精度で PPV の推定が可能と思われる。また、(2) 式は単発免破、斉発免破のみならず段発免破の最大速度振幅の推定まで拡張して使用することができよう。

最後に、免破実験を実施するにあたりお世話になった、日本化薬の空地公二博士に深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 大崎 順彦、地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会
- 2) 渡 正亮、岸 学、多変量解析プログラム集、工学図書

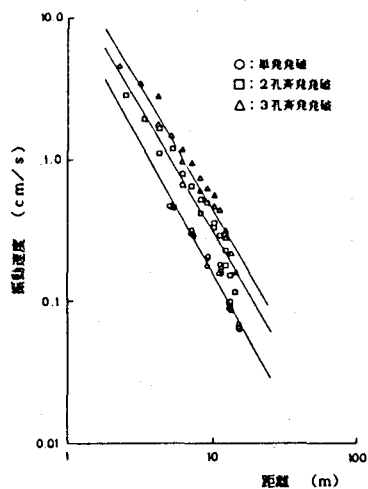


図 5 距離減衰特性

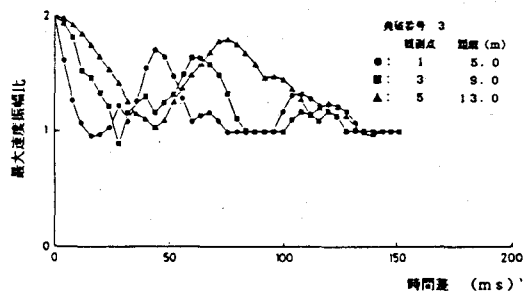


図 6 2波重畳シミュレーションによる最大速度振幅比

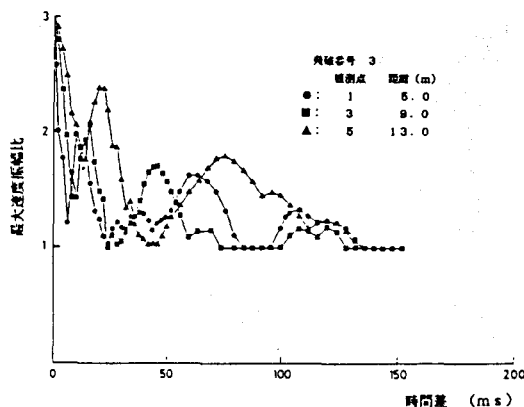


図 7 3波重畳シミュレーションによる最大速度振幅比