

Ⅵ-302 重畳シミュレーションを用いた発破振動の評価に関する一考察

山口大学大学院 学生員○橋爪正博 山口大学工学部 正 員 古川浩平
(株) 青木建設 正 員 塩月隆久 同 上 正 員 中川浩二

1. はじめに 重畳孔数あるいは有効孔数の考え方があり、これに基づいたトンネル発破での発破設計が提案されている¹⁾。ここで重畳孔数(n)とは、段当たり複数孔(N)の発破の場合、 N 個の波がある起爆秒時誤差(バラツキ)をもって重ね合わせると位相が生じるため、得られた合成波形の最大振幅は必ずしも N 倍にはならず、その何分の一かの n 倍になっていることを表したものである。一方、発破振動のバラツキにかかわる要因には、雷管の起爆秒時誤差にかかわる要因の他に地盤条件等の要因がいくつかあり、これらが発破設計を困難にしており、これらの要因の特性をより明確に把握することが重要なことと考えられる。本論文は、重畳孔数を指標として、雷管にかかわる要因に加え発破破砕効果の違いにかかわる要因が発破振動に及ぼす影響について、重畳シミュレーションを用いてその評価を行った上で考察を述べるものである。

2. シミュレーション手法 発破振動に影響する要因の一つとして破砕効果の違いによる要因があり、これによる1)振幅のバラツキ2)速度波形のバラツキが考えられる。また、3)雷管の起爆秒時誤差によるバラツキもあり、これに使用段数、段当たり孔数が組合わさって実際の発破振動のバラツキが決定されていると考えられる。まず解析では1), 2)によるバラツキを把握するために、ある明かり発破現場の岩盤上で計測された1段1孔の盤下げ発破の段発破より、一回の発破での振幅のバラツキ(振幅の大きさの違い)を変動係数で捉えてやるとともに、振動速度波形から図-1に示すような代表的な速度波形(A~Eパターン)を抽出した。シミュレーションでは、まず抽出した速度波形の中から乱数により一つ発生させる。ここで、継続時間は実測データの平均的な値から170msecと仮定した。さらに宮地らによって示された雷管の起爆秒時誤差の平均値、標準偏差¹⁾から正規乱数で起爆時間を求めるとともに、振幅のバラツキについては、得られた変動係数 $\delta=0.294$ を用いて同様に正規乱数で振幅を与えた。これを段当たり孔数分の重ね合わせを行うことで発破振動波形をシミュレーションすることを試みた。シミュレーションは、バラツキの要因の組み合わせを変えて、以下の3つのケースについて行った。

シミュレーション1: 雷管のバラツキのみを考慮した場合

シミュレーション2: 雷管のバラツキに振幅のバラツキを考慮した場合

シミュレーション3: 雷管のバラツキに振幅のバラツキ及び波形のバラツキを考慮した場合

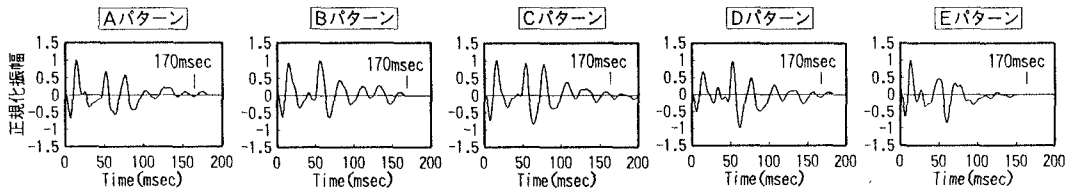


図-1 正規化実測波形(A~Eパターン)

3. 斉発発破に対するシミュレーション結果とその評価

斉発発破(瞬発雷管を用いた)に対するシミュレーションを行った。図-2に振幅のバラツキのみを考慮した場合、図-3に振幅のバラツキに波形のバラツキを加えた場合の結果を示す。結果から、振幅のバラツキのみの場合、速度波形はばらつかせていないため、合成された波形には位相は生じず、重畳孔数の平均値はほぼ段当たり孔数と一致している。一方、波形のバラツキを加えた場合、起爆時間は同時であるが、振幅のピーク時が異なる速度波形を重ね合わせるため平均重畳孔数は、段当たり孔数が多くなるに従い小さくなるのが分かり、これらから、速度波形のバラツキが重畳孔数つまり最大

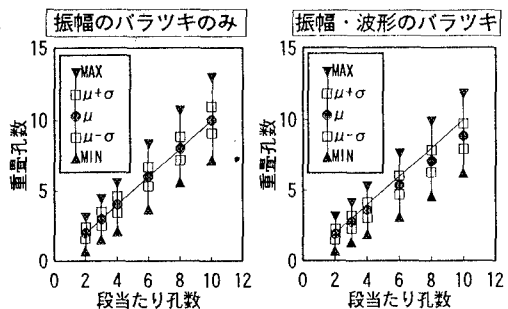


図-2 斉発発破(1)

図-3 斉発発破(2)

速度振幅に大きく影響していることが知見される。

4. 段発発破に対するシミュレーション結果とその評価 次に、段発発破のシミュレーションを行った。図-4に各段の重畳孔数の平均値を、また図-5に各段での重畳孔数の変動係数を示す。

a) シミュレーション1（雷管のパラツキのみ）とシミュレーション2（雷管および振幅のパラツキ考慮）の比較

振幅のパラツキの要因を加えた場合、加えない場合と比べ平均重畳孔数を見ると段当たり孔数の違いに関係なく全体的に増加している。一方、各段の重畳孔数の変動係数を用いてそのパラツキを見てみると、この傾向は段当たり孔数が少ない場合に特に顕著に現れ、また、後段になる程その傾向は顕著となる。このことは、雷管のパラツキは後段になる程大きく、段当たり2孔の様な場合には雷管のパラツキにより重畳する確率がかなり小さくなり、その分振幅のパラツキだけが卓越し全体の発破振動の重畳孔数に影響を与える結果になったものと考えられる。これに対して、段当たり孔数が多くなると雷管のパラツキによる波の重畳の確率も大きくなり、結果的に振幅のパラツキはあまり全体のパラツキには反映されない形となったものと考えられる。

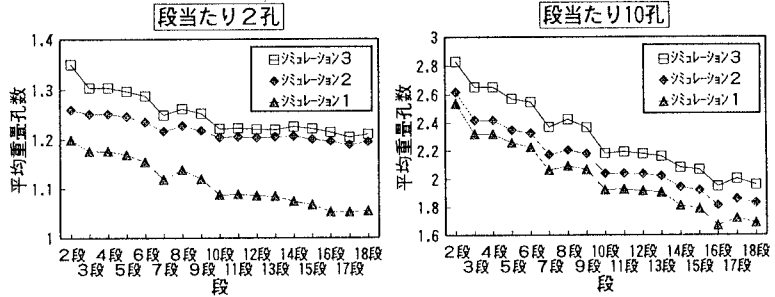


図-4 シミュレーション1～3をパラメータとした平均重畳孔数の変化

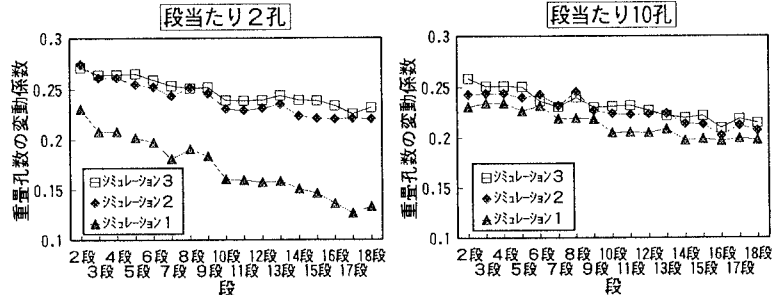


図-5 シミュレーション1～3をパラメータとした重畳孔数の変動係数の変化

b) シミュレーション1（雷管のパラツキのみ）とシミュレーション3（雷管・振幅および波形のパラツキ考慮）の比較

速度波形のパラツキをさらに加えてみると、雷管のみの場合と比べ平均重畳孔数は大きく増加している。特に段当たり孔数が少ない場合には前段部において、また段当たり孔数が多くなると全体的に増加している。このことから雷管による重畳の確率が大きくなる場合において、波形のパラツキが重畳孔数に大きく反映されることが分かる。例えば速度波形がA～Cパターンへと変化するに従い振幅のピーク数が1～3と変化しており、速度波形のパラツキには一つにピーク数の違いが関係し、このことが重畳孔数を増加させたと思われる。変動係数についてはシミュレーション2と同程度であるが、平均重畳孔数が増加していることから、要因の増加によりパラツキはやはり増加していると言える。

5. 考察 発破はその工法によって段当たり孔数や使用段数が異なってくる。トンネル発破では段当たり孔数が多く、10孔あるいは20孔の場合もある。これに対し明かり発破では段当たり孔数は比較的少なく、盤下げ発破では段当たり1, 2孔の場合もある。シミュレーション結果から、トンネル発破では雷管の起爆秒時誤差による影響が大きいのに比べ、明かり発破では、振幅のパラツキ・波形のパラツキ、つまり破碎効果の違いあるいは発破の荷の重さ・軽さで表現される発破箇所の地盤等にかかわる要因による影響が大きい事が推察され、これら発破振動の特性を考慮した設計が必要と考えられる。

6. おわりに 今後、これらの結果を考慮した、より合理的な発破設計の確立へ展開する考えである。

【参考文献】1) 宮地明彦・古川浩平・吉川和行・中川浩二：重畳孔数の考え方に基づくトンネル掘進発破振動の評価について，土木学会論文集，第480/VI-21，pp.53～62，1993年12月