

関西大学工学部 正員 井上 裕司
関西大学工学部 正員 谷口 敬一郎
関西大学大学院 西村 裕治

1. まえがき

水中発破により発生する振動は、どのような経路で地盤内を通過して陸上に伝播され、その伝播された振動のエネルギー特性は、どのような傾向を示しているかはほとんど明らかにされていない。

今回、水中発破に伴う地盤振動を計測し、波動エネルギーの伝播特性を検討する機会を得ることができたので、その結果について報告する。

2. 測定位置の状況

測定現場は、図-1に示されるように発破区域の水深がT.P.-15mで、その下部約T.P.-35~45mまでが堆積層であり、基盤は花崗岩である。発破は基盤の花崗岩を破砕する目的で行われ、T.P.-49.5mまで穿孔し、装薬長は5mである。装薬量は1孔当り20kgで4孔を斉発することとなっている。発破方法は、オーバーバーデン工法で行われた。振動測定の観測点は埋立地内にあり、発破区域中心より367m離れた地裏より782mまで行われると、それぞれの測点で垂直(Z)水平(R,θ)方向の振動を測定した。堆積層および岩盤のP波伝播速度を、ボーリングコア等から推定すると、図-1に示したような値となった。

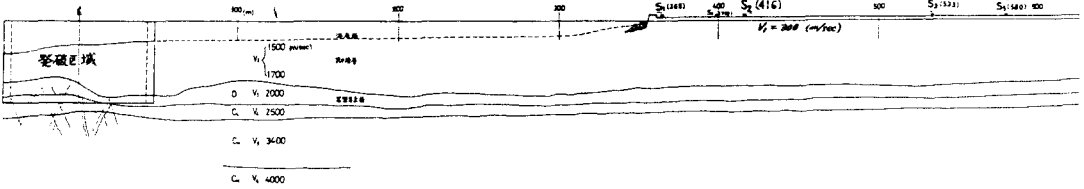


図-1. 発破区域・測定位置および推定地質構造

3. 初動の伝播経路

振動の記録波形の1例を示したのが図-2である。発破位置はT.P.-45m~49.5mであり、振動が伝播するのはC₁, C_M層であるが、計測位置では各層を屈折して地表に現われて来るので、ほぼ垂直に近い角度で入射してくることとなる。

今、C_M層が3400m/sであるとした場合の走時を計算すると、表-1に示した計算(I)のような値となる。実測値と比較すると近距離のS₁, S₂, S₄においては計算値が小さくなり、遠距離のS₃, S₅, S₆では大きな値を示すこととなった。このことは、C_M層の速度が均一な速度でなく、上部では3200m/s、深部では3600m/s程度の平均速度で伝播するのではないかと考えられる。この仮定に基づいて計算したのが表-1の計算(II)である。この計算値は実測値と比べて±5msec以内の誤差で、表-1. 地質構造より求めた走時

ありかなりの精度で地下の地質構造を模式化したものと考えられる。

観測点	観測点間の距離 X _{ij} (m)	P波の伝播距離 L _{ij} (m)	走時(計算I) T (msec)	走時(計算II) T (msec)	実測値 T (msec)
S ₁	365	400.9	143.6	150.3	149.6
S ₂	416	450.8	157.5	165.1	168.1
S ₃	533	566.8	191.9	191.9	188.1
S ₄	398	433.3	152.7	160.0	161.4
S ₅	580	614.1	205.2	195.7	194.4
S ₆	728	754.8	242.0	230.2	226.9

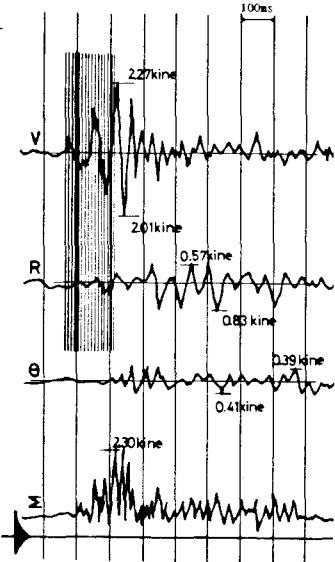


図-2 測定波形

4. 波動エネルギーの伝播特性

記録された波形の1例は図-2に示した。全般的にみて振動波形の様式は類似性をもっている。これらの波形の特徴の1つは、その最大振中値の走時が初動の走時のほぼ2倍の値を示すことで、この現象は各発破を通じて、また、各観測点においても共通している。振動の最大値を論ずるためには、この最大振中値と与える波動の性質について明らかにする必要がある。

一般の自然地震の波形は、初動に続くP波群は比較的振中値小さく、それにくらぶ波の振中は飛躍的に大きな値を示す。発破振動の波形は自然地震の場合とはかなり趣きを異にしており、どの場合にも垂直方向(Z)の振動に最大速度値が現われている。この最大値を示す波動の性質を明らかにするため、観測地点の地表面の運動様式を調べることとした。測点 S_4 についての運動軌跡を、発破点 S_1 と直線を含む垂直面(Z-R面)に投影して画いた図形が図-3である。観測した速度波形のZ, R成分を10 msecごとに区切り合成したものである。Z成分は、いずれの場合も値が小さいので、ここでは取り上げなかった。図において縦軸はZ成分を、横軸はR成分を km/sec 単位で表わし、時間の経過とともに画かれる折線の折角に記した数字は、初動が到達してから時間を10 msec単位で表わしたものである。

図から明らかなように、0~150 msecの軌跡は垂直方向の移動が大きくそれ以降は水平方向の変化が大きくなる。前にも述べたように波動はほぼ垂直に近い角度で入射しているの、初動から150 msecまでの波はP波であり、それに続いて現われる波がS波と推定される。

初動波群とモードを異にし、最大振中値を示す一連の波群が現われるのは発破後約225 msecで、この波群の最大値は約300 msecの時刻に生じている。したがって、最大値を与える波群はP波の一種であることが判る。

初動より遅れて到達するP波は、初動の経路における伝播速度より低速度の地層を通して来るものであり、この場合、以下の3通りの経路が考えられる。 S_4 について考える。① D層(2000 m/s)を伝わって来て、臨界角 $\sin^{-1}(V_S/V_D)$ で堆積層内に屈折し、 S_4 にいたる経路; P_I ② 発破点から堆積層を通して直接 S_4 に達する経路; P_{II} ③ 発破点より直上に堆積層を通して海水中を伝播し、岸壁に当たって直立地盤内を伝わる経路; P_{III} である。これらの経路における各層のP波伝播速度を考慮して、それぞれの走時を求めると、 $TP_I = 225 \text{ msec}$, $TP_{II} = 256 \text{ msec}$, $TP_{III} = 419 \text{ msec}$ となった。図-2に示した波形と走時を対比してみると、 TP_I は最大値を示す波の1つ前に現われる波の立上り時間とほぼ一致し、 TP_{II} は最大値を示す波の立上り時間と一致することが認められる。なお、 TP_{III} は岸壁による反射や表層中の減衰が大きいの振中値小さく、ほとんど観測されないが、ときに観測されることもあり、この時は時間的一致が認められた。

地盤の変位速度の最大値は、発破点から堆積層のミラー層中を多少屈折しながら伝播してくる直接波によるものと推定することが出来る。もともと直接波は地層境界面における反射・屈折が小さいので、失われるエネルギーが小さく、波の振中値が大きいの一般的な現象である。

5. おわりに

海底における発破によって生じた振動波の伝播は、伝播媒質が水で飽和されているので、陸上の場合とは大いに性質が異なっている。爆薬量や震央距離によって観測波形は変化するが、一般に水中での発破ではS波の成分が比較的少なく、P波成分がかなり大きく現われることが明らかにされた。また、最大振中値の値ならびに走時に関しては、発破点と観測点間の地質構造に大きく左右されることになる。

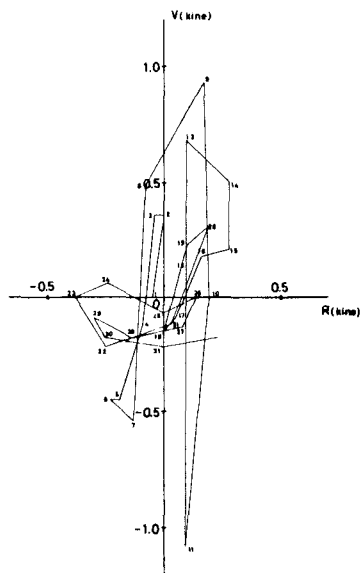


図-3 地表の振動軌跡