

不整形地盤での多重反射が実体波Gaussian Beam に及ぼす影響

京都大学工学部 正会員 山田 善一

京都大学工学部 正会員 野田 茂

阪神高速道路公団 正会員 ○広瀬 鉄夫

1. はじめに Gaussian Beam 法は、有限要素法などの方法に比べて、少ない計算時間で地震動のシミュレーションを行うことができる。そのため、近年注目されてきており、いくつかの計算例が発表されている。しかし、既往の研究では、地層の境界での反射を考慮しないか、あるいは1回までの反射しか考慮していない。そこで、本研究では、実体波Gaussian Beam 法を用いて、不整形地盤における様々な反射パターンについて検討し、多重反射の影響を調べる。

2. 本研究で用いた地盤モデル 不整形地盤としては、米国Imperial Valley 地域のImperial断層を東西に横切る地盤を考えた。既往の地盤モデルに若干の修正を加え、Fig.1 のようなモデルを採用した。震源位置としては、図中の S_1 、 S_2 と S_3 で示す3点を選んだ。

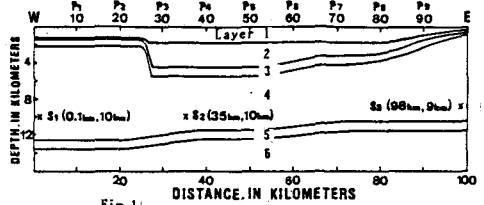


Fig.1

3. 多重反射の想定条件 多重反射については次の4ケースを想定した。なお、計算は上下動について行い、Q値の影響を考慮しなかった。観測点はFig.1 の $P_1 \sim P_9$ とした。

Case 1: 直達波と1回反射のみを考慮。

Case 2: Case 1に加えて2回反射を考慮。ただし、P波とS波の変換については、次の3つの場合を考えた。

- ①震源から観測点までP波のまま。
- ②震源から観測点までS波のまま。
- ③各地層毎にP波とS波のランダムな変換を考慮する。

Case 3: Case 2に加えて3回反射を考慮。なお、P波とS波の変換は、Case 2と同じ条件とする。

Case 4: Case 3に加えてランダムな回数の反射を考慮。ただし、P波とS波の変換についてはCase 2に同じ

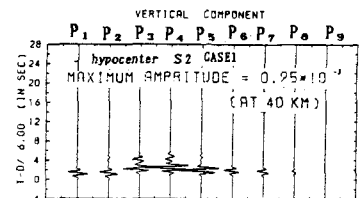


Fig.2

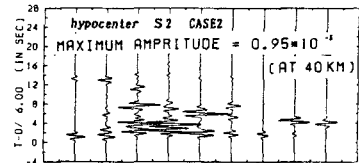


Fig.3

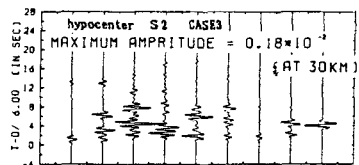


Fig.4

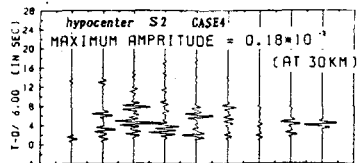


Fig.5

4. 地震動のシミュレーション 震源がFig.1 の S_2 にある場合、Case 1~Case 4の合成波はFig.2 ~Fig.5 のようになる。反射を1回までしか考慮しないCase 1では、波の継続時間が短く、ただだか4秒である。しかし、3回までの反射を考慮すれば、長く(17秒ほど)なり、波の様相が異なっている。2回までの反射を考慮した場合(Case1と2)と3回以上の反射を考慮した場合(Case3と4)の最大振幅には倍ほどの違いがみられる。しかし、Case 3とCase 4の違いはほとんどみられない。このことから、反射回数が3回の場合の波の振幅が大きく、4回以上の反射を考慮してもあまり意味のないことがわかる。

Fig.6 は、震源が S_1 でCase 4における30km地点(P_3 地点)で得られた合成波を要素波(計26)に分解したものである。図中、N0.の右横の記号のうち、英字はP波とS波の別を、数字は波の通過する層の番号(Fig.1参照)を示している。図よりわかるように、N0.14

Yoshikazu YAMADA, Shigeru NODA, Tetsuo HIROSE

の要素波のように4層目で2回および1層目で1回の計3回反射した波や、N0.23のように4層目で3回反射した波よりなる要素波の振幅が大きい。

Fig.7は S_2 に震源が存在するCase 4の代表的な波線図である。波線のパターンは図の下に示した。地層が急変する30km地点付近に、波線は集中する傾向にある。Fig.5の合成波を見ると、この付近で観測された波の振幅は大きく、地層の急変部における多重反射波の影響は顕著なことがわかる。

Fig.8にはCase 4における合成波の最大変位振幅と震央距離の関係を示した。震源位置の違いはシンボル(○, △, □)で、震源より右の観測点では実線で、左のそれは点線で示した。震源が S_1 と S_3 にある場合の距離減衰の傾向はかなり類似している。すなわち、28km付近で最大値をとった後、距離が長くなるに従い振幅は減少し、70km以遠で増大している。 S_2 に震源がある場合、地層の急変部付近で最大振幅をとり、不整形性の違いによって距離減衰の傾向が異なっている。

Fig.9は、4つの観測点(P_1, P_3, P_5, P_9)での合成波の最大振幅に及ぼす多重反射の影響を調べるため、Case 1~Case 4の結果を棒グラフで比較したものである。震源は S_1 を選んだ。Case 1と2における観測点 P_3 の振幅は P_1 のものよりも小さい。しかし、3回以上の反射を考慮すると(Case 3と4)、 P_3 の振幅は逆に P_1 のものよりも大きくなっている。2回反射までしか考慮しない場合、地層の急変部が地震波のエネルギーを拡散する役割を果たしているためと考えられる。3回以上の反射を考慮した場合、地層急変部の存在しない第4層を繰り返し反射して伝播してきた波の寄与が大きくなっている。

5. おわりに 本研究の想定条件によれば、地層境界部における3回反射の波線からなる要素波が合成波に占める割合は大きかった。地層急変部付近に震源がある場合、波線はその急変部に集中する傾向にあった。直達波や1回・2回反射よりなる波のエネルギーは地層急変部で拡散し、それ以遠で観測される波の振幅は小さくなっていた。3回反射の波はその急変部を通らないので、その付近を越えた観測点の振幅は大きくなる傾向にあった。

