

I-394

Gaussian Beam 法を用いたやや長周期地震波の解析

中部 電力 正員 山脇 司
 京都大学工学部 正員 山田 善一
 京都大学工学部 正員 野田 茂

1. まえがき 1985年9月のメキシコ地震の際、メキシコ市は甚大な被害を被った。この震害は、同市が軟弱地盤盆地上に位置するという不整形地盤条件と、周期2秒前後のやや長周期の表面波(?) という2つの要因によって特徴づけられる。本研究は、横方向にも不均質な媒質における表面波を合成する Gaussian Beam 法を用いて、やや長周期の表面波の解析ならびに Gaussian Beam 法の有用性の検討を行ったものである。

2. 表面波 Gaussian Beam 法 実体波に対する Gaussian Beam 法(以下 G.B. 法)は Červený ら(1982)によって、また表面波に対する G.B. 法は Yomogida(1985)によって提案された。本研究では、この表面波 G.B. 法を適用して、汎用的なプログラムの開発を試みた。

表面波 G.B. 法の概略を以下に記す。①対象領域をグリッドに分割し、各グリッドポイントごとに地盤構造を与え、正規モード理論を適用して、周期とモード次数ごとに位相速度、群速度、固有モードなどを算出する。②位相速度分布に従って震源から波線をトレースし、波線に沿った座標で波動方程式を解き、G.B. を得る。その結果、図1に示すように、各波線は、波線に垂直な方向に Gauss 型の振幅分布を有する。③震源時間関数とのたたみ込み積分を行った後、図2に示すように、観測点において G.B. を重ね合わせ、合成波形を得る。震源時間関数としては、図3に示す Gabor wavelet を採用した。さらに、本研究では、④図4に示すように、波線直下地盤の固有値解析を G.B. 法の定式化に組み入れ、3次元的に解析し、⑤点震源に対する断層震源モデルの radiation pattern を表示する地震モーメントテンソルも取り入れ、やや長周期の地震動の評価に当てより現実的な立場をとることにした。

G.B. 法は波線理論の一種であるが、観測点での波形を合成する際、必ずしも波線が観測点を通過する必要のない点が、従来のものと大きく異っている。これは、大幅な計算時間の短縮を可能にする。

3. 数値計算結果と考察 ここでは、1968年 Imperial Valley で起こった Borrego Mtn. 地震に本手法を適用し、El Centro 地点での表面波の合成を試みた。Imperial Valley の地盤構造は、Fuis ら(1982)による爆破探査のデータを採用した。数値計算では、米国の Imperial Valley 地域を図5に示すように A~F の6領域にゾーニングし、各領域ごとに図中の●で示した位置の地盤構造を用いた。ハッチで示した5つの測線の地下構造が調べられている。図中の図の位置が Borrego Mtn. 地震の震央であり、□が観測点の El Centro の位置である。断層の巨視的なパラメータは、Heaton ら(1977)が用いた結果と Swanger ら(1978)によるものに加味し、断層の上盤のすべり角: $\lambda = 180^\circ$, 断層面の傾斜角: $\delta = 90^\circ$, 走向: $\phi = N138^\circ E$ とし、震源深さ: $h = 8 \text{ km}$, 地震モーメント: $M_0 = 9 \times 10^{25} \text{ dyne cm}$ とした。

図6と7は、Gaussian Beam 法を用いて計算した基本モード Love 波の波線経路図および各波線における要素波とそれらの合成波(右端)を示したものである。波は Love 波の transverse 成分(図1の n 方向に相当する)を意味する。図中の(a)は周期1.5秒の、(b)は周期6.5秒の Love 波である。図6には震央を×印で、観測点の El Centro を座標(66.5km, 20km)上に○印で示している。図7には、左側から図6の波線1, 2, ..., 24に対応した要素波をプロットし、それらの振幅値は合成波のスケールに統一している。

図6と7から明らかなように、同一のモードであっても波線経路や合成波は、周期によって大きく異なる。例えば、短い周期(1.5秒)ほど、領域Bから

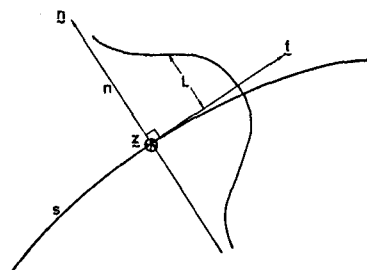


図1 Gaussian Beam

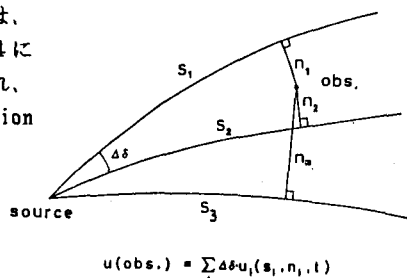


図2 観測点での重ね合せ

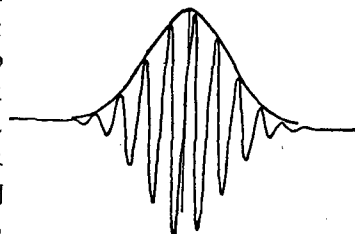


図3 Gabor wavelet

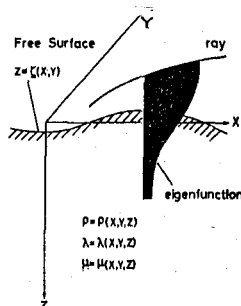


図4 地盤の固有関数

Cに入射してきた波線(特に、No.1,6,7)は、境界部で大きく右上に曲っている。単一の周期の波は実地震波では存在しないが、ある周期の波は入射し、また別の周期の波は反射・屈折するという現象が考えられ、各波線が地盤震動にどのような影響を及ぼすか興味深い。周期1.5秒の経路図ではかなりのばらつきが認められるのに対し、周期6.5秒の経路図では波線が観測点付近を密に通過している。このような相違は、同一の周期の波を異なるモードについて比較したときも同じことが言える。これは、不整形地盤下で計算した固有関数と固有値が各地域ごとに異なる結果を反映して生じたためである。Gaussian Beam 法は地盤構造の変化に対して敏感に反映し、物理的な現象を的確に捉えられることを示唆している。

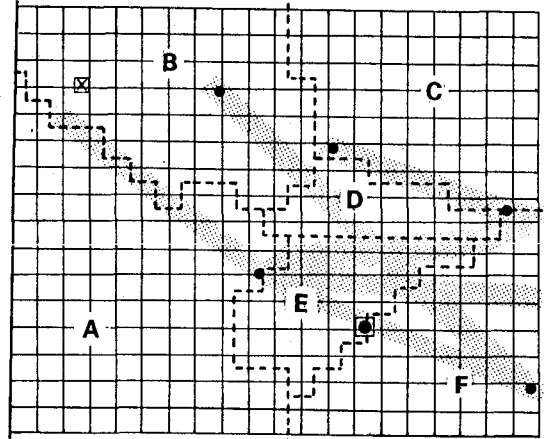


図5 地盤構造のメッシュ分割

各波線における要素波には、不整形地盤を透過した波の走時の違いが如実に現われている。周期6.5秒の合成波は周期1.5秒の波に比べて、波束の分離があいまいである。これは、各波線における要素波の波束の前後で重なるということと、走時が各波線ごとに微妙にずれているからである。図より明らかに、各波線ごとの要素波の振幅の差が大きい。特に、観測点近傍を通過する波線では、特に大きな振幅を与えている。式の意味は省略するが、計算上、 $\exp\{-(\omega_s n^2 B / \gamma)^2\}$ の項が含まれており、周期が長く(ω_s が小)、観測点に近い(n が小)ほど、相乗作用により、この $\exp$ 項が大きくなるためである。

なお、本手法による計算時間は、従来の解法(例えば、有限要素法、有限差分法、積分方程式法など)のそれよりも大幅に短縮される。これより、本計算法は不整形地盤における表面波の解析に有効なことが確認された。

3. あとがき 表面波の震動様式は地盤条件に大きく影響を受ける。表面波G.B.法は現在のところまだ十分な完成度を有するとは言いが、既往の手法に比し、地盤構造の違いによる波線経路および合成波形の敏感な点、計算時間の短縮、計算容量の縮小など、その有用性には大いに期待できると考えられる。

参考文献 1)Červený, V. et al.: Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 70, 1982., 2)Yomogida, K.: Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 82, 1985., 3)Fuis, G. S. et al.: U.S.G.S. Professional Paper 1254, 1982., 4)Heaton, T. H. et al.: B.S.S.A., Vol. 67, No. 2, 1977., 5)Swanger, H. J. et al.: B.S.S.A., Vol. 68, No. 4, 1978.

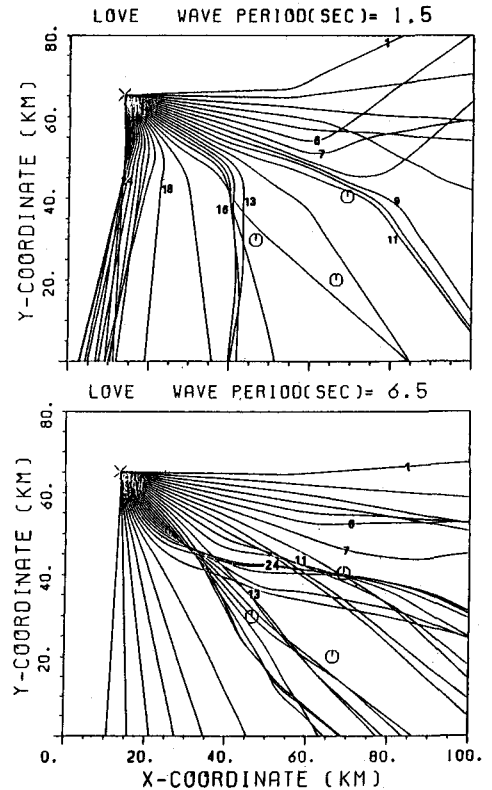


図6 波線経路図

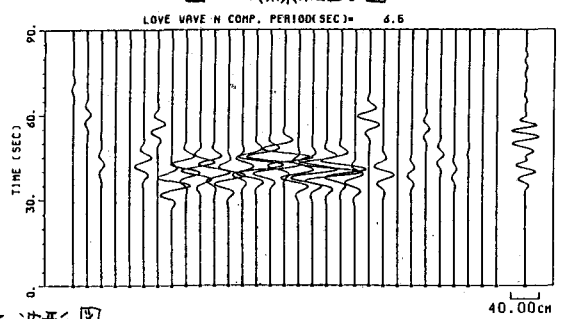
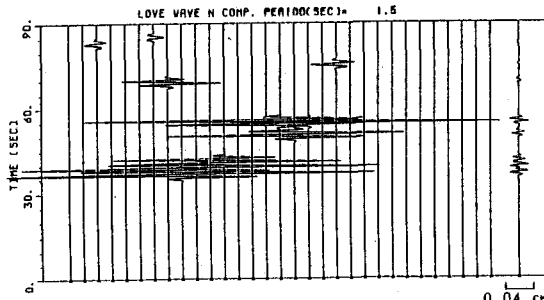


図7 合成波形図