

XI ハイブリッド法

1. 各手法の長短

統計的グリーン関数合成法を用いることにより、原理的には広帯域の強震動をシミュレーションすることができる。ただし、短周期帯域の地震動が統計的でランダムな性質を強く持つのに対して、長周期帯域では震源の放射特性や地震波面の曲率など理論的な要素の影響がより大きくなる。このため、厳密な広帯域シミュレーションを実施するためには、統計的グリーン関数法のみでは特に長周期帯域で不十分であり、Radiation Pattern の導入や表面波の生成などを取り入れてゆく必要がある。このため、上記の影響を表現できる3次元差分法などの計算結果を参照することになる。しかし、3次元差分法では計算機容量の制限や地下構造をモデル化する際の限界により、対象領域を表現する格子をある程度よりも小さくできない。つまり計算できる周期（波長）に限界があり、短周期の地震動計算に難がある。

結果として、統計的グリーン関数法は広帯域で計算が可能だが長周期に難があり、3次元差分法は長周期帯域を良く表現できるが短周期の計算ができない。これが地震動シミュレーションの現状となっている。

2. ハイブリッド合成

そこで、両手法の長所を活かして短所を補うため、短周期帯域を統計的グリーン関数法、長周期帯域を3次元差分法で計算し、それらを相補的に利用するハイブリッド法が用いられる。ハイブリッド合成を周波数領域で見た例を図-1に示す。遷移周期帯域（周期 P_1 から P_2 ）を設け、長周期計算結果（差分法）は周期 P_2 から P_1 に向けて振幅を低減させる。短周期計算結果（統計的グリーン関数法）は逆に周期 P_1 から P_2 に向けて振幅を低減させる。これらの低減フィルターの遮断特性を遷移周期 P_1 から P_2 で足し合わせると全帯域で振幅は1となり、これらをマッチング・フィルターと称する。フィルター形状としては単純な1時間数やコサイン・テーパが一般的に用いられる。

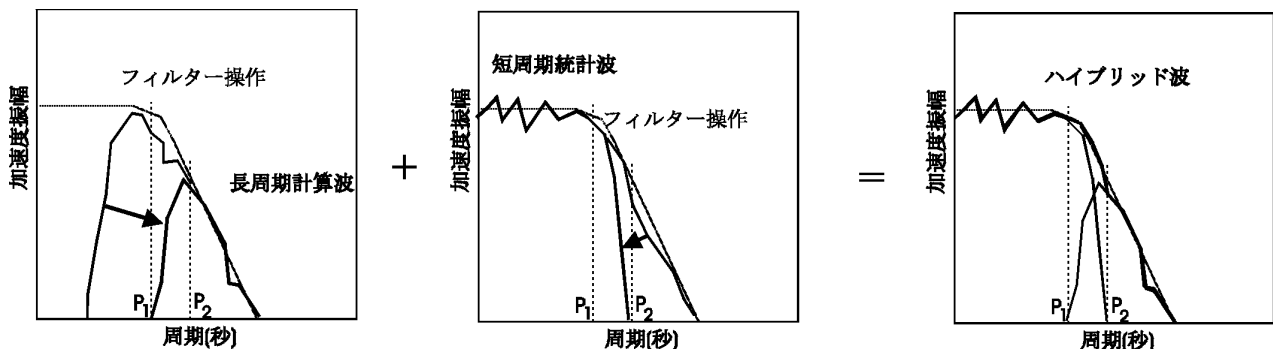


図-1 ハイブリッド合成のイメージ (周波数領域)

図-2には、時間領域で見た例(統計的グリーン関数法と3次元差分法)を示す。図の上段は、統計的グリーン関数法による計算結果(左)を、マッチング・フィルターを用いて長周期帯域(中央)および短周期帯域(右)に分解したものを示している。下段の左は3次元差分法による計算結果、中央はそれにマッチング・フィルターを施して上段中央の波形と同じ帯域としたものである。ハイブリッド合成は、下段中央の長周期波形と、上段右の短周期波形を、主要動の到達時間を揃えて足し合わせることで実行され、結果として下段右の広帯域波形が合成される。中央上下段の波形を比較すると、この例ではS波主要動が両手法でほぼ同様に計算されていることが分かる。下段の3次元差分法では不整形地盤応答による後続波の振幅が大きくなっており、統計的グリーン関数法では表現できていない。このような地震動を取り込めることが、ハイブリッド法のメリットである。

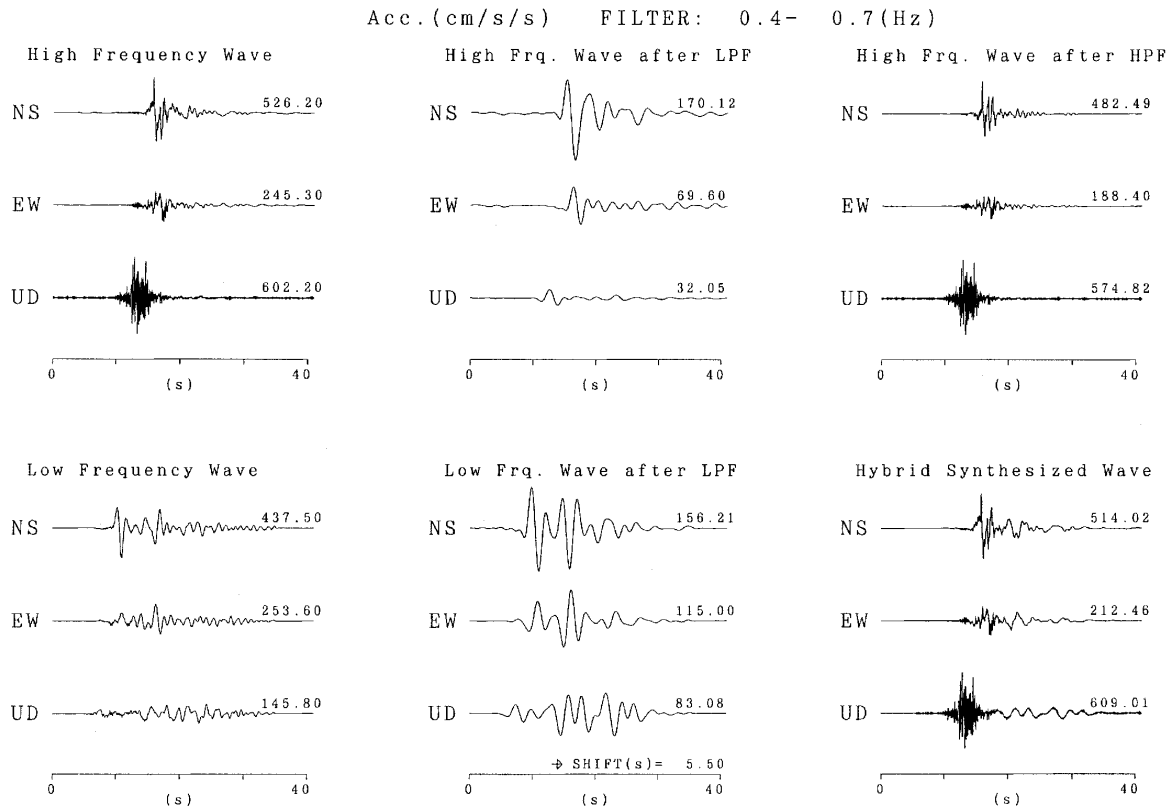


図-2 ハイブリッド合成の様子 (時間領域)

理論的手法の適用限界が0.5~2秒であること、周期0.5秒(2Hz)よりも短周期(高周波)の地震波は統計的な性質が強くなることにより、ハイブリッド法で用いる遷移周期は現状では0.5~2秒の間に設定されることが多い。

なお、長周期理論地震波形の計算には、3次元差分法だけではなく離散化波数法(水平成層構造の点震源問題)が用いられることもあり、短周期地震動については、統計的グリーン関数法以

外に経験的グリーン関数法が用いられる場合もある。

ハイブリッド合成の実際は、周波数領域でのフィルターと必要に応じて時間をずらしての波形の足し合わせであり、第2講「周波数領域での解析」の付録B (FFT. x1s) を拡張することで対応することができる。