

表層地盤の増幅

1. 簡略化スペクトルを用いた表層地盤増幅の考え方

提案した簡略化スペクトルは、工学的基盤において規定された、区域ごとの平均的特性を有する加速度応答スペクトルである。このスペクトルは、別紙 2 に示すように地震基盤から工学的基盤のサイト増幅率に基づいて設定した。図 1 に示すように、地震基盤から工学的基盤のサイト増幅率は、地震基盤から地表面のサイト増幅率を元にして、周期 0.1~1.0 秒までは地震基盤から平均的な工学的基盤への地盤増幅率として全国一律に与え、周期 0.5~10.0 秒については地震基盤から工学的基盤への増幅が地震基盤から地表面への増幅率と等しいものと仮定して観測点ごとに与え、両者の重なる周期 0.5~1.0 秒はマッチングフィルターで滑らかに接続した。従って、個々のサイトの表層地盤の増幅特性は、考慮しては定められてはいない。

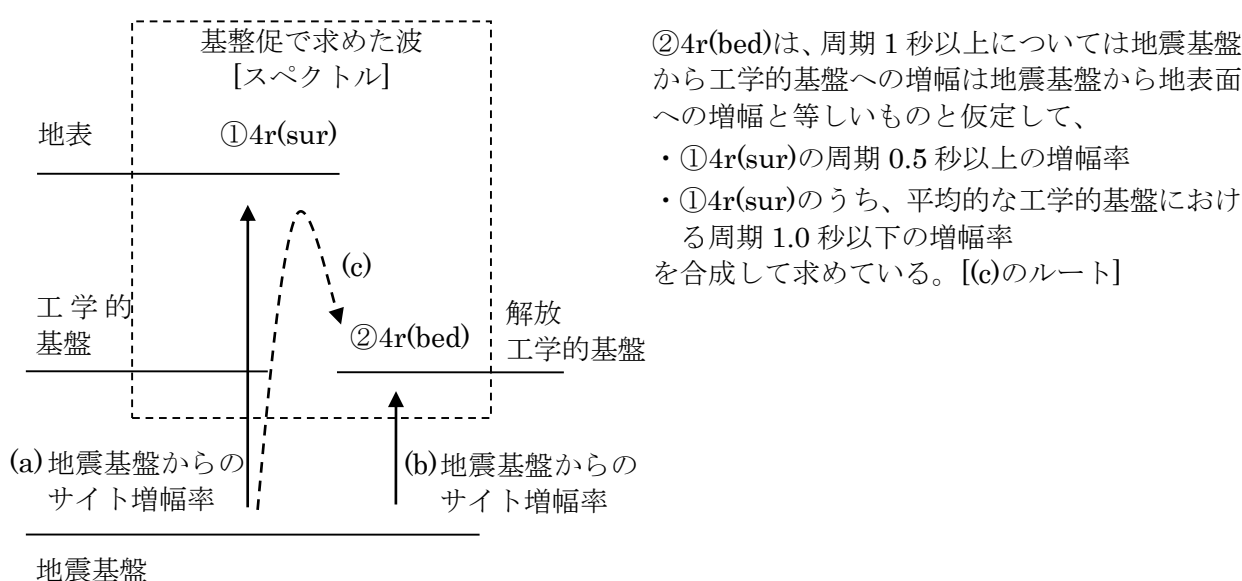


図 1 基整促で定めた地表および工学的基盤の地震波

免震建築物の設計等で地表での地震波形が必要な場合、図 2 に示すように工学的基盤で規定されたスペクトルに合致させた時刻歴波形を作成し、個々のサイトの表層地盤の非線形増幅を考慮した計算により求めることが出来る。この場合、表層地盤の増幅が重複して考慮される場合がある。なお(d)の非線形解析は、南海トラフに発生する巨大地震を対象とした工学的基盤の地震動レベルは非線形性を考慮する必要があるレベルであると考えられるためである。また、時刻歴波形を作成する際の位相特性は、震源距離(X)、地震モーメント(M_0)、群遅延時間に関するサイト係数により変化する。群遅延時間に関するサイト係数は、別紙 3 に示すように、関東、濃尾、大阪の各平野では地震基盤上面から工学的基盤上面までの堆積層伝播時間 T_z を変数として群遅延時間に関するサイト係数を設定することができる。静岡県は、区域内で近接する観測点に与えられている群遅延時間に関するサイト係数を採用する。

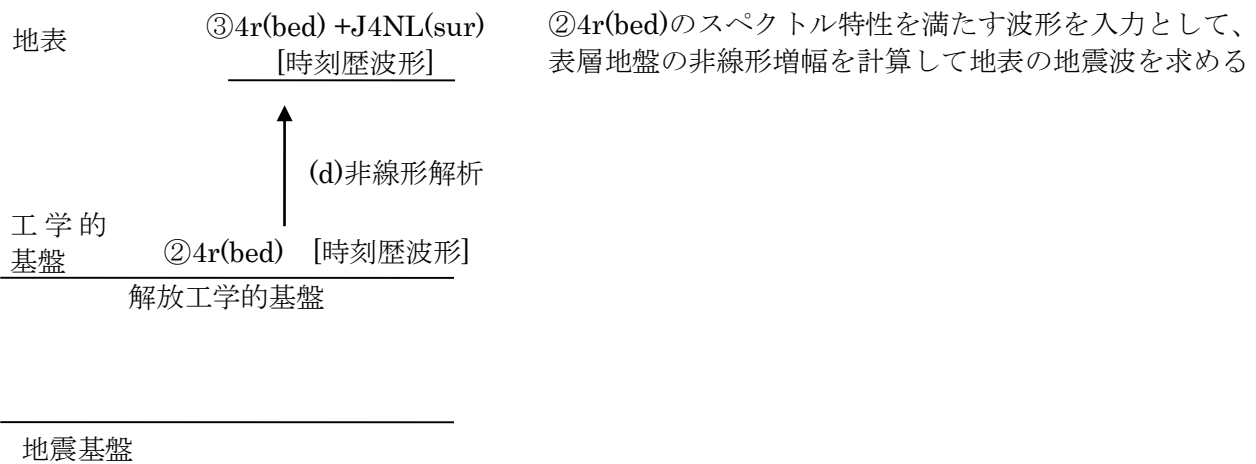


図2 基整促で定めた工学的基盤の地震波から地表の地震波を求める方法

2. サイト係数が得られている地点の表層地盤増幅を個別に検討する考え方

表層地盤の増幅を重複して考慮することを避けるために表層地盤の増幅特性をサイトごとに検討したい場合、図3に示すように、地表において規定されるスペクトルに合致させた時刻歴波形を作成し、線形解析により解放工学的基盤の地震波形を求め、これを入力地震動とした表層地盤の非線形解析を行って地表の地震波形を求めることが出来る。(e)の線形解析は、サイト係数を回帰した際に用いた地表の地震記録の振幅は大きくなく非線形性効果は含まれていないと考えられるため、(f)の非線形解析は、上記(d)と同様である。なお、地表における簡易スペクトルは規定されていないため、サイト係数が得られている各観測地点の地表におけるスペクトルに対して適用する。(サイト係数が得られていない地点には適用できない)

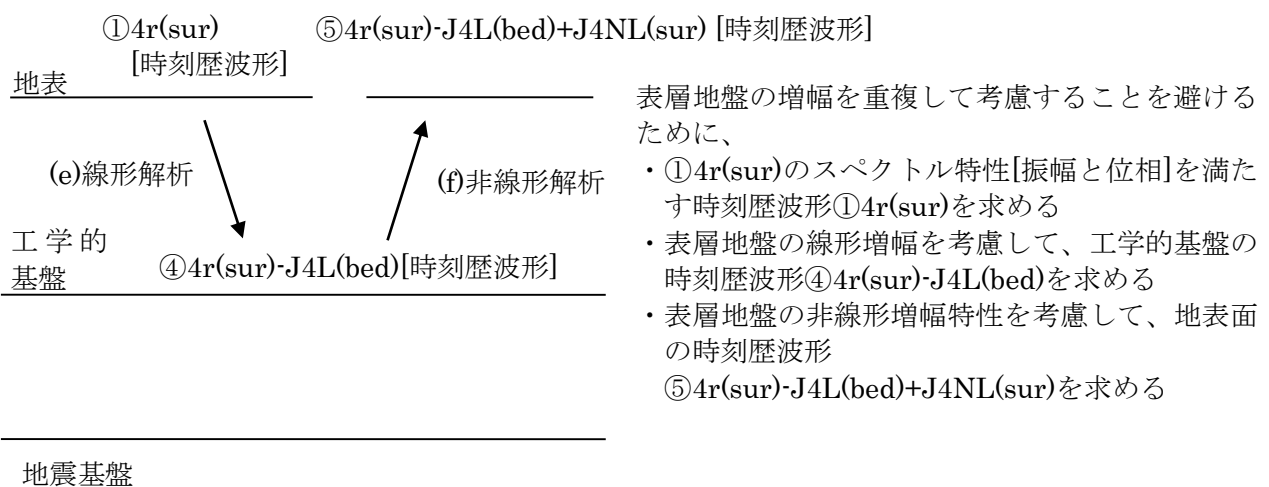


図3 表層地盤の増幅を重複して考慮することを避けるための方法

3. 任意地点での表層地盤増幅の考え方

別紙3に示すように、関東、濃尾、大阪の各平野に関しては地震基盤上面から工学的基盤上面までの堆積層伝播時間 T_z を変数として、工学的基盤でのサイト係数を推定する方法が開発されている。推定されるサイト係数は、

- 1) 地表の記録より求めたサイト係数の近似値
- 2) 地表で定めた周期 $0.5 \text{ 秒} \leq T$ の範囲のサイト増幅率を、工学的基盤の値とみなす (地震基盤から工学的基盤への増幅が地震基盤から地表面への増幅率と等しいものと仮定)

- 3)平均的工学的基盤のサイト増幅率を、 $0.1 \leq T < 1.0$ 秒で定める。
- 4)上記 2)、3)で重複する周期 $0.5 \leq T \leq 1.0$ 秒の範囲は、マッチングフィルターを介して滑らかに合成し、工学的基盤のサイト増幅率とする。
- 5)時刻歴波形を作成する際の位相特性は、地震基盤上面から工学的基盤上面までの堆積層伝播時間 T_z を変数として群遅延時間に関するサイト係数を設定する。
- となる。地表の時刻歴波形が必要な場合は、「1.」と同様に表層地盤の増幅特性を考慮して求めることができるが、表層地盤の卓越周期によっては増幅特性を重複して考慮する場合がある。
- 「2.」と同様の考え方で、任意地点における地表の時刻歴波形に基づいて表層地盤の増幅特性をサイトごとに検討したい場合は、以下のような方法が考えられる。
- 6) T_z に基づいて周期 $0.5 \sim 10.0$ 秒の範囲で地表のサイト増幅率を求める。
- 7)上記 6)のサイト増幅率にフィッティングした加速度時刻歴波形を求める。群遅延時間に関するサイト係数は、上記「1.」と同様に、関東、濃尾、大阪の各平野では地震基盤上面から工学的基盤上面までの堆積層伝播時間 T_z を変数として群遅延時間に関するサイト係数を設定することができる。
- 8)当該地点の表層地盤(工学的基盤～地表)を個別に調査し、地表から工学的基盤への線形増幅係数を求め、解放工学的基盤の加速度時刻歴波形を求める。
- 9)上記 8)で求めた解放工学的基盤の加速度時刻歴波形を入力として、表層地盤の非線形性を考慮した地表面での時刻歴波形を求める。

この方法では、周期 0.5 秒以下の成分をゼロとして時刻歴波形を求めているため、建築物の応答計算をする際には高次モードが与える影響には十分に留意する。

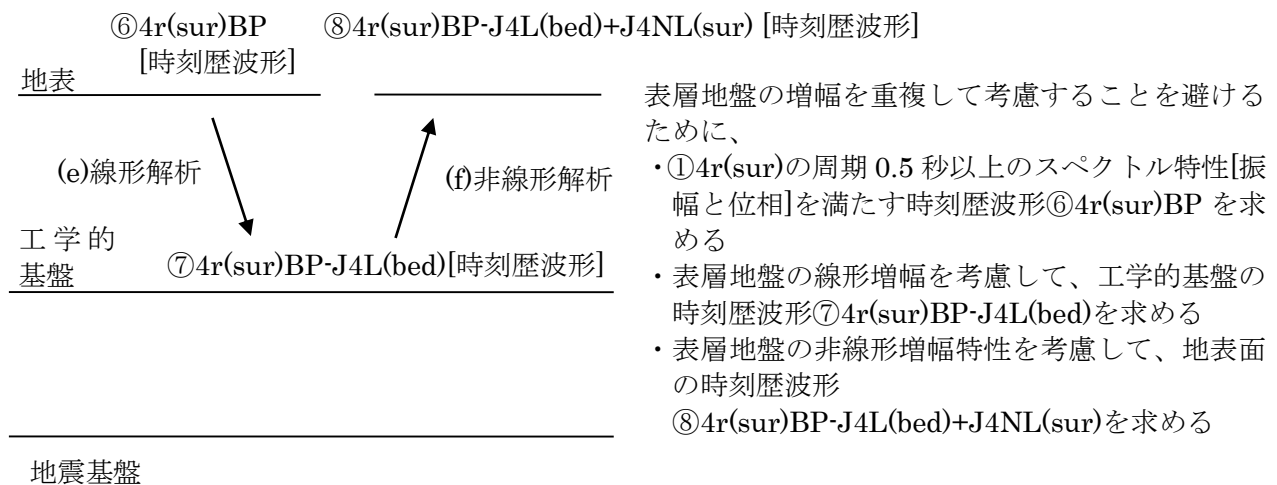


図 4 任意地点において表層地盤の増幅を重複して考慮することを避けるための方法

4. 上記「1. 簡略化スペクトルを用いた表層地盤増幅の考え方」と「2. サイト係数が得られている地点の表層地盤増幅を個別に検討する考え方」で得られる時刻歴波形の比較

「1.」の簡略化スペクトルに合致した時刻歴波形を図 1 に示す方法で地表の時刻歴波形とした場合と、「2.」のサイト係数が得られている地点における地表の時刻歴波形に基づいて表層地盤の増幅特性をサイトごとに検討したい場合の波形を比較する。用いる例題波形は南海トラフに発生する 4 連動(6 セグメント)地震を対象に求めた kik-net 観測点 OSKH02 の地表と工学的基盤の波形、地盤増幅を考慮する地盤モデルは AIJ 緑本(建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計)の地盤 4 モデル

(図5)とした。OSKH02の地表と工学的基盤の波形を元波形として、モデル地盤地表から解放工学的基盤への増幅(図3の①→④)や解放工学的基盤から地表への増幅(図2の②→③、図3の④→⑤)を考慮して得られた波形と擬似速度応答スペクトルを図6、7に示す。丸数字は、図2、3に示す状況に一致する。図7において、図2と図3の方法で地表の時刻歴波形を求めた場合の③と⑤を比較すると、③は表層地盤の増幅特性を重複して考慮しているため、⑤より大きな値となっている。

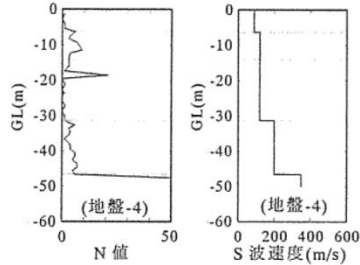


図 3.2.7 地盤のN値とS波速度の分布

表 3.2.2 地盤定数
(d) 地盤-4

	深度 D (m)	層厚 H (m)	密度 ρ (t/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	土質
1	6.3	6.3	1.6	90	1420	粘性土
2	14.0	7.7	1.8	120	1470	砂質土
3	31.3	17.3	1.8	120	1380	粘性土
4	46.5	15.2	1.7	200	1510	粘性土
工学的基盤			1.9	350	1630	

図 5 地盤-4の地盤物性(「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」より)

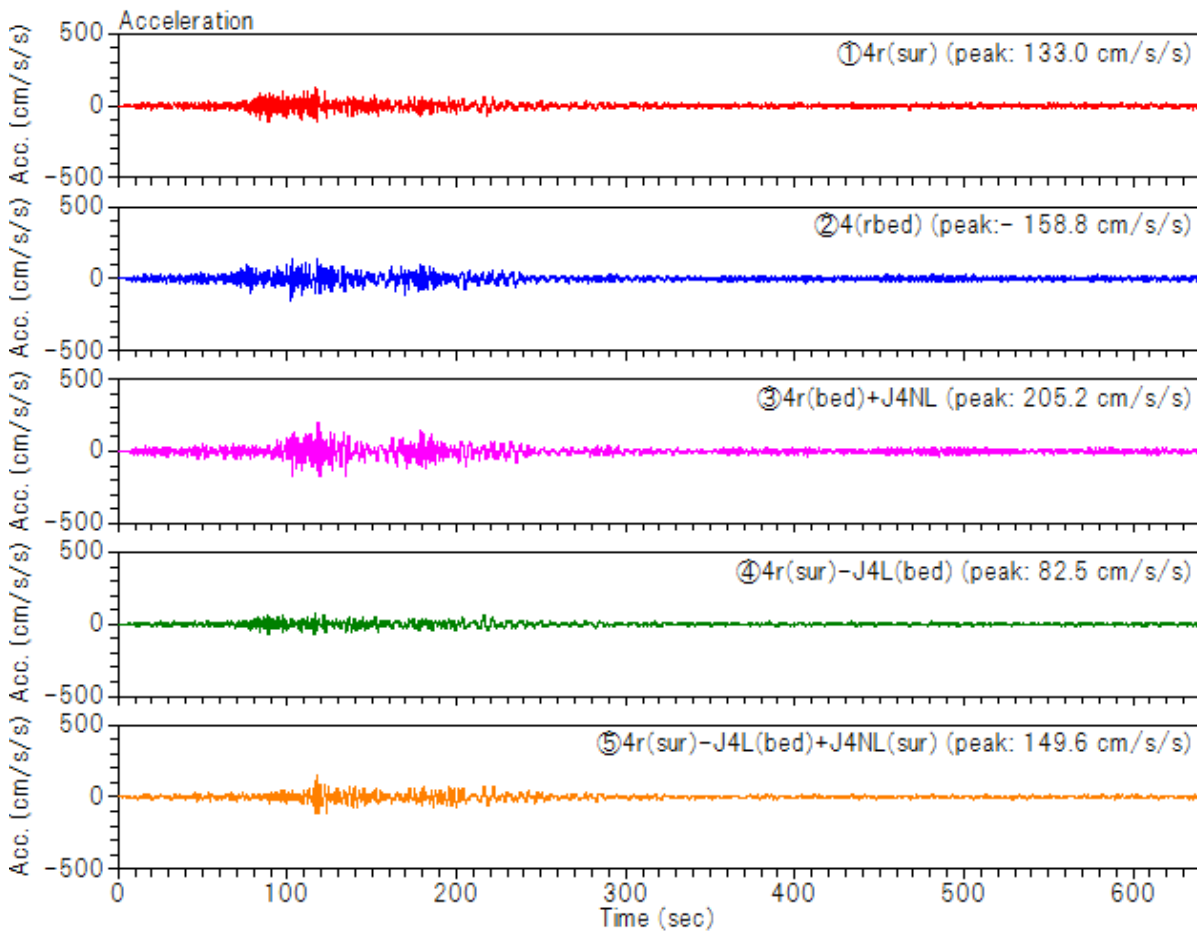


図 6 OSKH02での南海トラフ4連動(6セグ)地震の波形と地盤-4による増幅

[上より、地表(赤)、工学的基盤(青)、工学的基盤(青)を入力とした地表波形(桃)、地表波形を入力と

して線形計算で求めた解放工学的基盤波(緑)、解放工学的基盤波(緑)を入力として非線形計算で求めた地表波形(橙)]

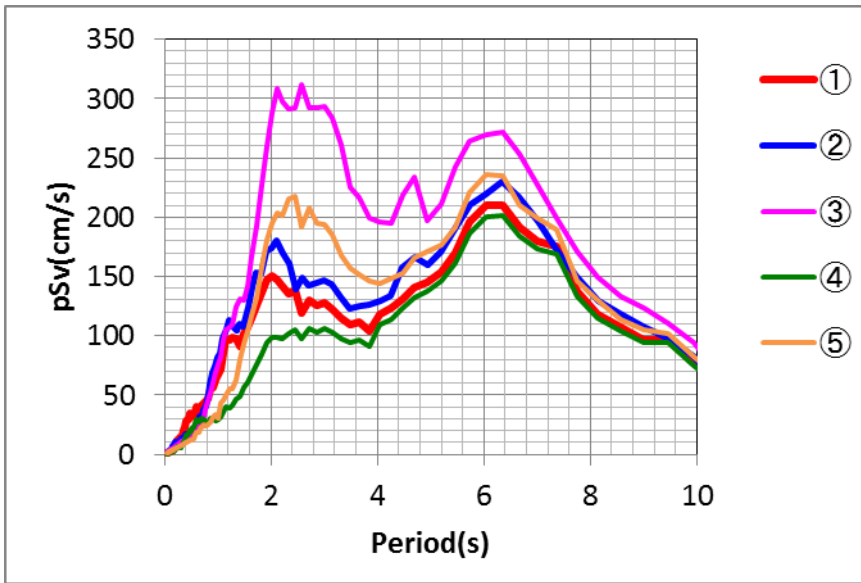


図 7 上記波形の 5%pSv スペクトル

[工学的基盤で定める区域別ゾーンスペクトルを増幅させた③と個別のサイト増幅特性を考慮して地表→工学的基盤→地表と評価した⑤を比較すると前者が大きくなる]