

I-44 地震動記録の各位相における H/V スペクトルとローカルサイト増幅特性

東北工業大学 学生会員 ○佐藤公平

々 正会員 神山 眞

々 正会員 松川忠司

1. はじめに

著者らはここ数年、地震動予測で最も重要なローカルサイトによる増幅スペクトルを簡易的に評価するものとして、地表における1点3成分記録の初動位相（P波位相）から算定されるH/Vスペクトルが有効であることを指摘してきている。本報告では実測例と何故有効となるかの理論的な説明を合わせて論述する。

2. 地震記録の背景と実測 H/V スペクトル

図-1はローカルサイトの応答を模式的に示したものである。一方、図-2は地表における3成分加速度記録をベクトル合成した例である（KiK-net 仙台蒲生観測点の記録例）。図-2にみられるように地震動は一般に初動、主要動、コーダ動の3位相から構成される。このうち、初動は図-1の模式図で基盤にP波が入射したとき、主要動はS波が入射したときのサイト地盤の応答結果である。サイト地盤による応答増幅スペクトルは勿論、基盤へのS波入射のときの地表での水平動が対象である。したがって、これを簡易的に算定するのに主要動位相でのH/Vスペクトルの利用が考えられ勝ちである。しかし、この考えは早計であるというのが著者らの主張である。

図-1の基盤入射を考えたとき、S波入射ではS波からP波への変換波が表層地盤で生じて地表でのH/VスペクトルはS波応答を中心としたものとならならない。逆に、P波入射のときには基盤においてP波からS波への変換波が生じて、S波への変換波の水平成分が地表で卓越することにより結局は初動（P波位相）のH/VスペクトルがS波入射の増幅スペクトルを近似するというのが著者らの説である。この実例として、図-2で示したKiK-netの仙台蒲生観測点の実測記録を対象にP波位相のH/Vスペクトルと同観測点地盤の深部構造から理論計算されたS波入射による水平動の増幅スペクトルを比較したのが図-3である。図-3のように初動位相のH/Vスペクトル（基準化されたもの）はS波入射の水平動増幅と周期、スペクトル振幅の両面からかなりの程度まで一致する。

3. P波入射の H/V スペクトルの理論的な特性

図-1を参照に、P入射のときの地表でのH/Vスペクトルが何故、S波入射の水平動の基盤から地表への増幅を近似するかを最初に定性的に説明する。一定の入射角をもって基盤に入射するP波は振幅として水平、鉛直成分とも同レベルを有すると仮定しても大きな誤りはなかろう。このようなP入射波は基盤境界を通過して透過P波と透過S波に変換する。当

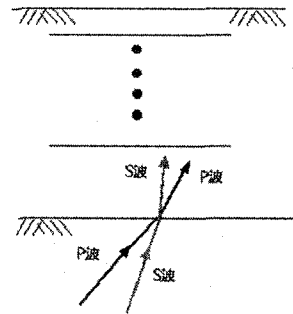


図-1 基盤への地震波入射と地盤応答

地震 200205121029 観測点

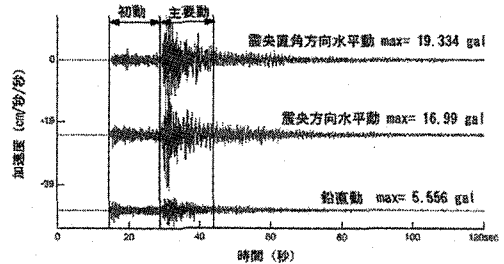


図-2 ベクトル合成をした例

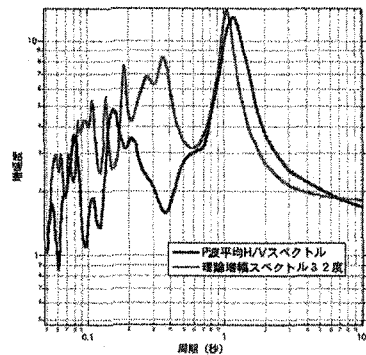


図-3 P波のH/VスペクトルとS波のH増幅スペクトル（32°入射）との比較

然のことながら、透過P波は鉛直動、透過S波は水平動が卓越する。これらの透過波は表層地盤を重複反射して地表の応答となる。したがって、地表での応答は、水平動HがS波、鉛直動VがP波の速度構造によって決せられることになる。ところが、一般にP波の速度構造の表層地盤での変化はS波構造のそれよりも小さく、かつその応答周期帯域も地表構造物の応答で問題となる周期よりも格段に短周期である。このように考えると、P波入射では地表での鉛直動Vの振幅は工学で問題となる周期帯域で基盤入射P波の鉛直振幅と変化しないことになり、逆に地表の水平動Hの振幅は基盤入射P波の水平動成分の振幅から表層のS波構造を反映した増幅を受ける、ということになる。しかも、先に仮定したように基盤入射P波の水平動成分と鉛直動成分は振幅が同じであるから、究極のところ、基盤入射P波の地表でのH/Vスペクトル比は基盤へS波が鉛直入射したときの水平動の基盤から地表への応答の増幅を与えることになる。以上が定性的な説明である。これを表-1の地盤モデルで理論数値的に説明するために理論応答結果を示したのが図-4、5である。図-4はP波入射の水平動、鉛直動の増幅スペクトル、図-5はP波入射のH/Vスペクトルの数値計算例である。上記の定性的な説明の妥当性が示されていると言えよう。

4. P波位相のH/Vスペクトルの正規化

上述の簡単な説明からS波を対象とした水平動Hのサイト増幅特性を評価するにはS波位相のH/VスペクトルよりもP波位相のそれが優れていることを確認できる。問題はP波位相のH/Vスペクトルのスペクトル振幅をいかに調整してS波によるHのサイト増幅スペクトルに近似させるかである。この目的に沿って、元のH/Vスペクトルを適当な手法で正規化することを考えた。種々の正規化を試みたが、ここでは元のH/Vスペクトルの周期10秒のスペクトル振幅と周期0.05秒から周期10秒の周期帯でのスペクトル振幅の極小の平均とそれを与える周期を両対数座標上で結ぶ直線の縦軸値が2となるような正規化の結果を紹介する。図-6はP波入射の条件で、表層の $V_p=1000\text{m/s}$ のケースについての正規化H/Vスペクトルの結果を示したものである。表層のポアソン比に依存するものの、入射角とはほぼ無関係にS波鉛直入射の増幅スペクトルをかなりの精度で近似できることがわかる。以上のようにP波位相における正規化H/Vスペクトルはサイト増幅を評価する簡易手法として有効であることが理論的に指摘できる。実際の地震記録に適用した結果を適宜発表していきたいと考えている。

表-1 シミュレーション地盤モデル

Thickness (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Desn. (g/cm^3)	Qs	Qp
15	100	300-1000	1.8	100	200
∞	300	1500	2	400	400

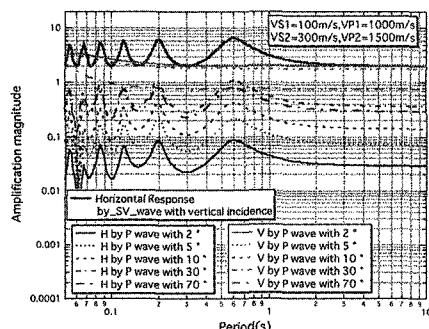


図-4 P波入射によるH, Vの増幅スペクトル

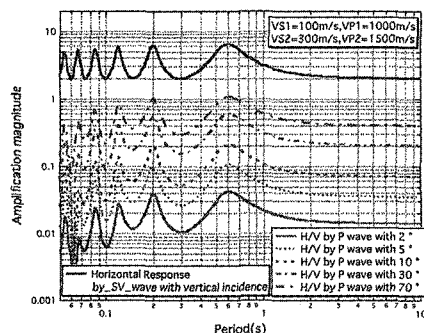


図-5 P波入射によるH/Vスペクトル

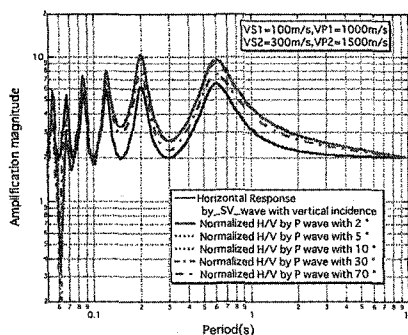


図-6 P波入射による正規化H/Vスペクトル