



### 3. 分散性波動伝播理論

低周波振動に関して、地盤内発生振動との関係を明確にするため、対象地盤（表-2）の分散曲線を薄層要素法から計算した結果を図-5に示す。ここで面内波とはP波とSV波から、面外波とはSH波からなる場動場である。

位相速度 vs. 振動数では、新幹線走行時の計測に加えて現地での常時微動観測および地表面への衝撃実験（ガイドハンマー）による計測データの表面スペクトル法（SASW）に従った分析結果も併せ記入した。数 Hz 以下の低周波に関しては、SASW 結果は算出できなかったが、数 Hz 以上では新幹線走行による振動は地盤の基本波動よりもむしろ2次～3次の波動モードで伝播していることが分る。これは衝撃実験同様な傾向であり、表層を伝播する振動であると言える。一方、常時微動は常に1次の波動モードに近い結果である。

群速度 vs. 振動数からは、面内波のエアリー相振動数が面外波のそれよりも僅か高い。面内波に着目すると、1次モードで約 4.5Hz、2次モードで約 13Hz にエアリー相が現れ、対象地盤での伝播し易い振動数になっている。面外波では、3Hz、9Hz にそれぞれのエアリー相が見られる。

振動数 vs. 波数の特性図に列車の走行線を記入すると、各波動モードの分散曲線の交点から走行加振によって動的に誘発される波動場が推定できる。つまり、走行加振は特定の加振振動数  $f_0$  を併せ持って速度  $c$  で移動する状況であると  $f = f_0 \pm ck/2\pi$  となり、同振動数を切片とする走行線となる。ここでは、 $c=300\text{km/h}$ 、高架橋の橋脚下端の卓越振動数（図-3）より、 $f_0=0, 3, 6, 10\text{Hz}$  とした。同図には、参考のためエアリー相の振動数を示す。走行線と分散曲線の交差振動数に着目すると、面内方向では3Hz加振線で1次、2次モード、面外方向では3Hz加振線で1次、6Hz加振線で2次モードのエアリー相振動数に近い結果になり、低周波振動領域で卓越している1次、2次モードの大きな貢献度が予測される。なお、3Hz、10Hz加振振動数は列車速度と輪重配置に、3Hzは地盤と高架の相互作用による全体振動に起因していることより、振動を伝播し易いサイトとなっている。

今後の列車速度の向上を考えると、地盤内の波動モードと密に交差する傾向にあり、沿線振動がより増大することが予想される。しかし、20Hzより高い振動数成分は発生する可能性は非常に低い。

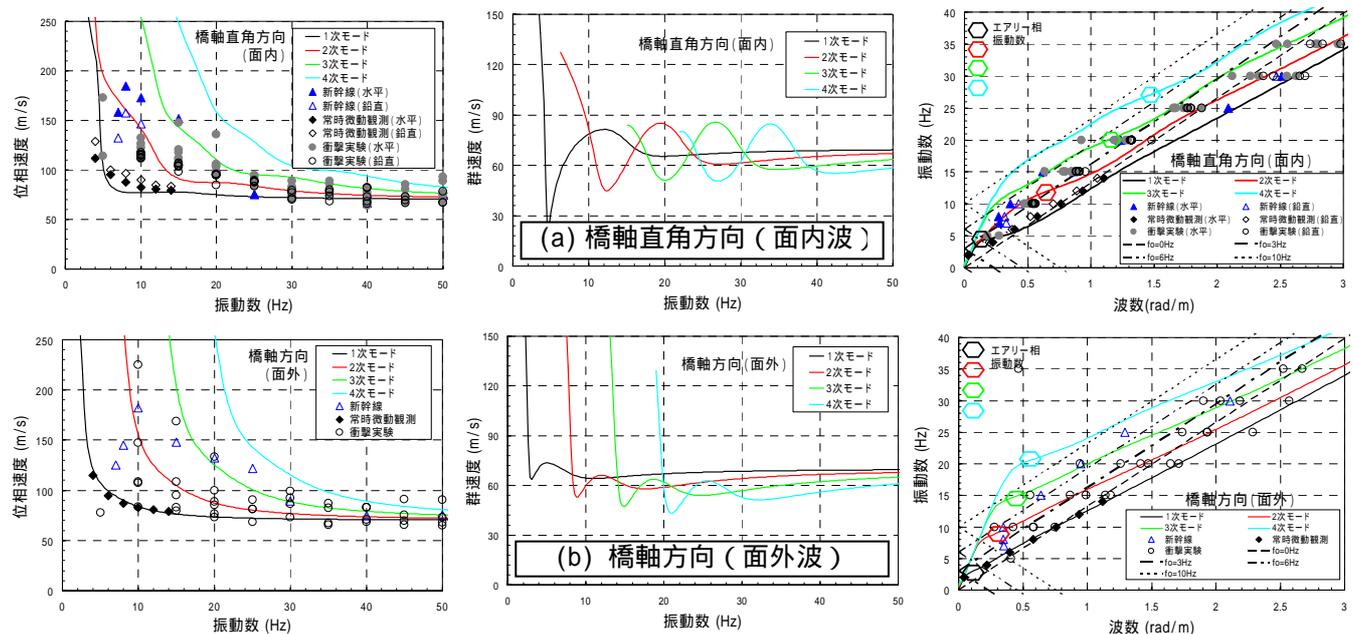


図-5 地盤分散曲線（左：位相速度 vs. 振動数，中：群速度 vs. 振動数，右：振動数 vs. 波数）

### 4. むすび

本論文では、新幹線沿線で計測したデータの分析と、対象サイトの地盤特性から理論的解析をし、列車の走行に伴う沿線振動の実証的な予測をした。解析対象サイトは軟弱地盤で、列車の輪重配置と走行速度からの発生振動、高架軌道構造物の地盤との連成における固有振動、地盤内での伝播し易い波動が低周波振動数においてほぼ重なっている状況であることが分った。新幹線列車走行からの地盤振動は、振動数と共に貢献波動モードが変化することが判明した。

参考文献：1) 竹宮：高架軌道からの新幹線列車振動の地盤内伝播性状，鉄道力学シンポジウム論文集，土木学会，Vol. 8，2004年7月，pp. 53-58。  
2) 竹宮・合田：衝撃/移動荷重による剛基盤上の成層地盤の波動伝播非伝播現象，土木学会論文集，No. 605/I-45，1998年10月，pp. 161-169。