

清水建設(株) 土木技術部

正員 高崎 英邦

正員 〇 大槻 明

1. はじめに 表面波が地表近くを伝播することによって位相遅れの現象を示し、またかなりの歪量を持つ場合があると予想されることから、長大構造物の耐震設計上、表面波が注目されて来つつあるように思われる。着者らはすでに、セン断波が基盤より同位相で入力した場合の地中長大構造物の耐震性について検討した¹⁾が、今回新たに表面波を考慮した場合の耐震性を検討すべく、まずオーステップとして表面波についての理論、数値計算法およびその特性などを検討した。本文ではその一部として、江東区豊洲における地盤を大略的に五層の成層にモデル化し、レーリー波の分散曲線、振動モードなどを求め、その特徴や傾向、および耐震設計上の地盤のモデル化とその問題点について報告する。

2. 地盤条件

表-1 豊洲の地盤構造モデル

表-1はボーリング、P.S波速度検層の結果に基づいて得られた表層の地盤構造と、苗穂地盤構造研究グループにより提案された基盤構造モデル²⁾とを統合して仮定した豊洲の地盤構造モデルである。但し、弾性係数、ポアソン比は、 V_s , V_p および単位体積重量から算出した。

層番号	層厚 m	V_s m/s	V_p m/s	弾性係数 γ/m^2	単位体積重量 γ/m^3	ポアソン比
I	38	130	1260	8200	1.6	0.49
II	32	430	1500	110000	2.0	0.46
III	1230	630	2000	233000	2.0	0.44
IV	1000	1500	2700	1234000	2.1	0.28
V	∞	3000	5500	6160000	2.6	0.29

3. レーリー波の分散性と考察

表-1の地盤構造モデルに対して、レーリー波の分散曲線を Lysmer の提案した理論³⁾に従い求めた結果が図-1である。図-1は基本モードについて位相速度(実線)、群速度(破線)をプロットしてある。図中一点鎖線は、各層を半無限単一地盤とした場合の各々のレーリー波の速度である。尚、分散曲線を5秒までしか求めなかったのは、地中長大構造物を1km前後と仮定し、その長さの4〜5倍程度の波長までを対象としたからである。図-2は、波長の変化にともなったレーリー波(基本モード)の変位分布の存在する深さを調べたものである。図中実線は、各周期数に対する波長の変位をプロットしたものであり、破線はその時の変位振幅が0.05以下(最大振幅を1に正規化)となる深さをプロットしたものである。図-3は、図-1の分散曲線の代表的周期の点での基本振動モードを示したものである。実線は水平方向振幅で、破線は鉛直方向振幅である。図-1の位相速度をみると短周期部分(0.2秒以下)では、オース層を半無限単一地盤とした時のレーリー波速度に漸近しており、周期1.5秒から2.5秒付近の間では、オース層のレーリー波速度に漸近している。また図-3をみると $T=0.12$ 秒、0.56秒では、ほぼオース層のみの振動モードを示し、 $T=1.77$ 秒、2.56秒では、オース、二層の影響は僅かであり、オース層の影響を主とした振動モードであることがわかる。このことは、周期0.5秒程度以下では、オース層のみの単層でモデル化が可能で、また後者の場合は、オース、二層の層厚がオース層のそれに比べてかなり小さいためにこれらの層の影響は僅かであり、周期1.7秒〜2.5秒付近での分散曲線は、オース層のみの単層地盤で代表できる様である。また周期2.5秒以上については、モード図などから判断してオース、四層の二層地盤としてモデル化できよう様である。次に図-2をみると対象とする波長に対してどの程度の深さまでを考慮したモデル化を行えばよいかかわかる。周期0.5秒付近までは、オース層だけを考慮すればよく、2.5秒付近までは、オース層と、5秒付近までを対象とした場合は、オース層までを考慮した地盤モデルが必要となる。以上より次の結論が導かれる。すなわち対象とする周期あるいは波長によって考慮すべき地盤の深さは大きく変動し、このことは数値計算上の効率からは重要な問題である(Lysmerの方法は、薄層要素法によっており、層の分

割による自由度の数が大きく関係する)。また一般に半無限単一地盤については、波長の1.5倍程度の深さまで考慮すればよいと言われているが、今回の様に多層地盤でかつ表層が軟い場合には、上層の振幅が卓越するので半無限単一地盤の様に波長の1.5倍もの深さまで考慮しなくてもよい様である。図-1の群速度をみると、周期0.5秒と4.4秒付近に極小値を持っている事がわかる。伊豆沖地震(S.49.5.9)において豊洲の観測記録の中には、4.4秒付近の周期の卓越した波が認められた。この周期は上述の4.4秒付近の極小値に近似し、一般に言われている様に Airy Phaseの卓越する周期である可能性があり、この点は理論および観測面からの今後の検討課題である。地中構造物の耐震性を検討する場合、周囲地盤の変位振幅が重要な影響を持っており、地盤の変位波形に注目して解析がのぞましいと思われる。その場合、表面波の変位波形が必要となる。現在過去に記録された地震波から実体波と表面波を分離することは不可能に近く、さらに表面波の高次モードがどの程度の影響を持っているかなどまだ充分に解明されていない部分も多く、これからの研究に待つ所が多い。

図-1 豊洲地盤モデルの分散曲線

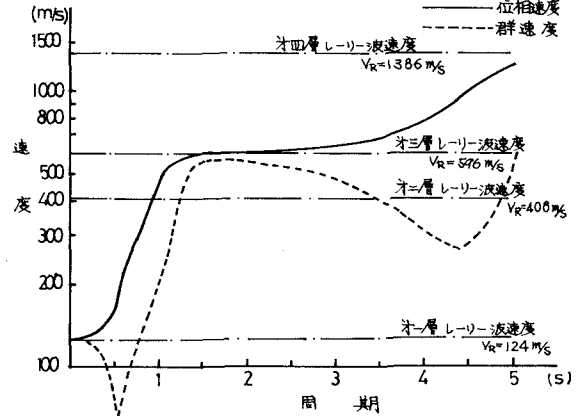


図-2

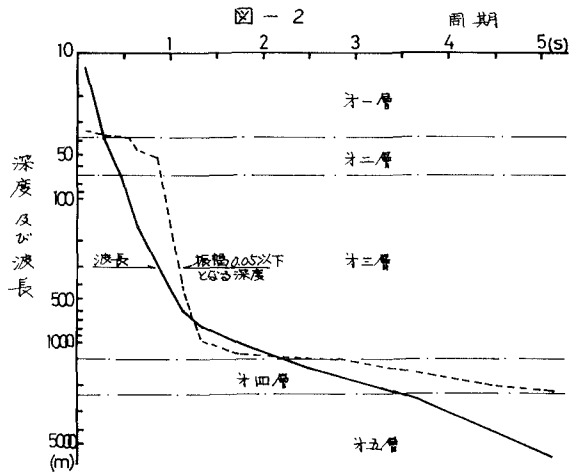
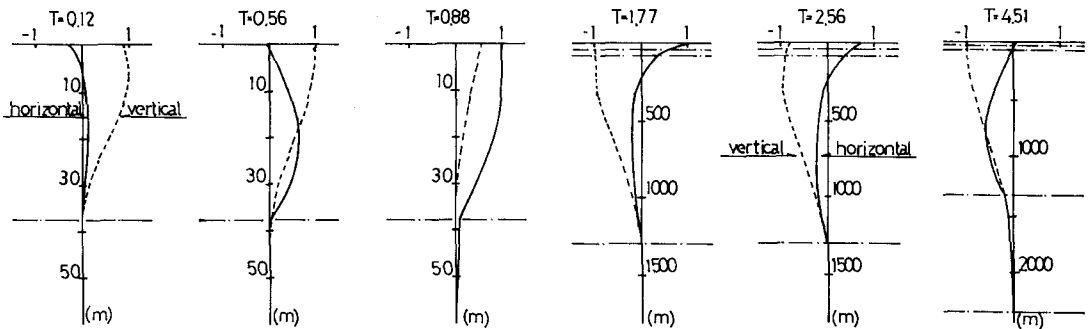


図-3 振動モード



4. おわりに 実際の地盤を対象として、レーリー波の分散性とその特徴、および耐震設計を考慮する場合の問題点や今後の課題について述べた。以上をまとめると、① 対象とする波長あるいは周期によって考慮すべき地層や深さは大きく変動する。② それゆえ数値計算の効率化に地盤のモデル化の適否が重要な要素となる。③ 群速度の極小値と実際の地震記録との対応、表面波の観測による基本モードをはじめとする高次モードの地震動に対する影響の度合などが今後の研究課題の一部として残っている。おわりにこの研究を進めるに当り、種々の適切な示唆を承った清水建設研究所山岸主任研究員をはじめとする皆様に感謝いたします。

参考文献 1) 高崎大樹, 地中に於ける長尺構造物の地震応答解析, 清水建設エネオター別冊102 (1975 (複製)) 2) 嶋悦三, 他, 東京の地盤構造, Bull. Earthq. Res. Inst. 1051 (1976) 3) Lysmer, Lumped mass method for Rayleigh waves, Bull. Seism. Soc. Am. 60