

二次元波動場における双設埋設構造物の連成応答

神戸大学大学院 学○浅井 宏隆 同 学 澤村 賢
同 工学部 正 北村 泰寿

1. まえがき

近年、都市の地下空間の有効利用が問題となっている中で、地下鉄振動のように地中構造物から発する振動が地中あるいは地上の構造物に及ぼす影響を調べることは、防振、防音対策上重要なことである。本研究では、サブストラクチャー法を用いて、トンネル-弾性地盤-隣接構造物系の二次元動的連成応答解析を行い、地表面および隣接構造物の周波数特性を調べる。

2. 解析手法の概要

図-1において、トンネルおよび隣接基礎を剛体と仮定し、トンネルに水平あるいは鉛直の単位調和加振力が作用する場合を考える。トンネルの振動によって生じる波は地表面で反射され、剛基礎によって散乱される。このとき、地中任意点の変位の一般解 $\{u\}$ は、トンネルと剛基礎が単独に存在するときの変位の一般解 $\{u_t\}$ と $\{u_f\}$ の和として表される。変位をポテンシャルで表すとき、ポテンシャル解は各構造物系に対して設ける局所極座標系において級数展開の形で与えられる^{1), 2)}。

いま、級数解で与えられるポテンシャル解を用いて表される変位、応力解は、つぎの混合境界条件を満足する。

$$\{u\} = \{\Delta_t\} \quad \text{on } \Gamma_t \quad \dots(1)$$

$$\{u\} = \{\Delta_f\} \quad \text{on } \Gamma_f \quad \dots(2)$$

$$\{\sigma_0\} = \{0\} \quad \text{on } \Gamma_g \quad \dots(3)$$

ここに、 $\{\sigma_0\}$ は地表面 Γ_g での表面力、 $\{\Delta_t\}$ 、 $\{\Delta_f\}$ はそれぞれトンネルと基礎の中心変位をトンネル表面 Γ_t および基礎表面 Γ_f 上の変位に変換したものである。単位の変位を与える6種類の混合境界値問題を解けば、トンネルおよび剛基礎の連成複素剛性 $[K]$ が得られる。両構造物の運動方程式は、この複素剛性 $[K]$ を介して、次式のように与えられる。

$$[K] \{\ddot{U}\} - [M] \{\dot{U}\} - \{F\} = \{0\} \quad \dots(4)$$

ここに、 $\{\dot{U}\}$ 、 $\{F\}$ 、 $[M]$ はそれぞれ構造物の中心変位、中心点に作用する調和荷重および質量である。式(4)より、双設構造物の中心の連成応答 $\{U\}$ が求められる。

ところで、ポテンシャル解はハンケル関数を含む級数解で表されるが、級数項 n を大きくとっても解の収束性は保証されない。本研究では、ノイマン関数の発散を避けて $n = 3 \sim 7$ とすれば解は収束し、精度も十分であることを確かめている。また、未知係数の決定に際しては選点法を用いるが、選点が多くなるため最小自乗法を用いる。さらに、いま一つの問題として、本研究で用いるポテンシャル解^{1), 2)} には第一種ハンケル関数しか含まれていないため、時間項が $\exp(-i\omega t)$ のときに発散波成分のみとなる。したがって、地上構造物がない自由表面のみのときには、波動の収斂波成分を表現できない。このため、自由表面 Γ_g のみの場合にも Γ_g に対して局所座標系を設けるなどの工夫が必要である。

3. 計算結果と考察

図-1の解析モデルにおいて、剛基礎とその周辺地表面の挙動に影響を及ぼすパラメータとして、地盤の物理定数、双設構造物の質量、形状、サイズ、双設構造物間の水平離隔距離、トンネル深度などが挙げられ

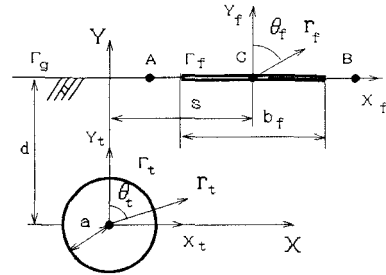


図-1 解析モデルと座標系

Hiroataka ASAI, Ken SAWAMURA, Yasutoshi KITAMURA

る。本研究では、これらの諸量をつぎのように無次元パラメータで与える。地盤のポアソン比を 0.3、トンネルの深さ／半径比を $d/a=5.0$ 、基礎の幅／トンネル半径比を $b_f/a=2.0$ 、水平離隔距離／トンネル半径比を $s/a=2.0$ とする。双設構造物の質量は、構造物によって置換された地盤の質量に対する質量比 $m_t=0.3$ 、 $m_r=0.15$ で与える。また、基礎の形状は、剛板基礎と半円剛基礎の 2 種類を考える。

図-2 は、剛基礎の中心点 c での周波数応答を示したもので、比較のために自由表面のみのときの点 c の周波数応答も描いてある。なお、横軸の ka は無次元振動数 ($=\omega a/V_s$, V_s : 地盤の横波速度) である。同図より、剛基礎の有無による点 c の周波数応答には特徴的な差異はみられない。これは、無次元振動数が $ka=2$ のときでも、構造物の幅は $2a=0.64\lambda_s, 0.32\lambda_p$ に相当し、横波波長 λ_s と縦波波長 λ_p に比べてそれほど大きくなっていないことによる。剛基礎の慣性力の影響を分離して考察はできないが、図-2 に示す周波数応答より、剛基礎による入射波動の拘束効果、つまり入力損失効果は小さいと判断できる。また、水平加振による半円剛基礎の水平変位において、 ka が大きくなるとともに多少の変動がみられる。これは、埋め込み効果によって水平複素剛性等が剛板基礎の場合と異なるためであろうと推察される。

図-3 は剛基礎前方の点 A 、後方の点 B の地表面の周波数応答を示したものである。図-2、3 より、鉛直加振による鉛直変位はトンネルから離れるとともに減少する傾向にあり、構造物存在の影響もそれほど現れていない。一方、水平加振による水平変位については、半円剛基礎の前後の地表面応答に対する高振動数域において、基礎の応答の変化が強調された形で現れているのが注目される。

4. あとがき

本文では触れていないが、本研究で用いた解析手法の精度は実用的には十分で、演算時間は BEM で同種の問題を解く場合に比べて相当速い。今後は、実際の荷重を想定した振動遮断問題や多数の円形状構造物による多重散乱波問題などへ適用したい。

参考文献

- 1) T. Balendra, C. G. Koh and Y. C. Ho : Dynamic Response of Buildings due to Trains in Underground Tunnels, Earthq. Eng. Struct. Dyn. Vol. 20, pp. 275-291, 1991.
- 2) Y. H. Pao and C. C. Mow : Diffraction of Elastic Waves and Dynamic Stress Concentrations, pp. 208-400, 1973.

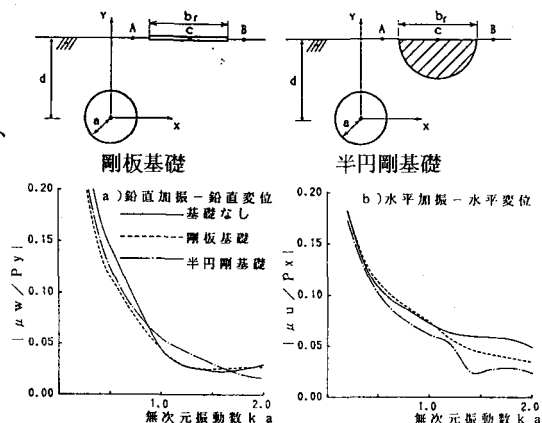
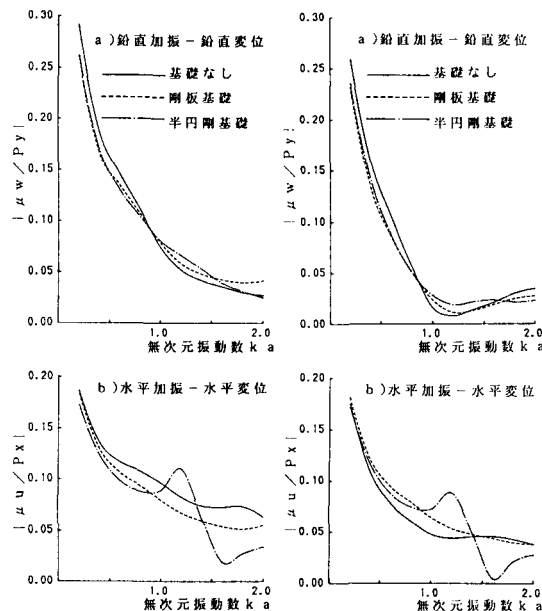


図-2 剛基礎中心点 C ($X/a=2.0$) 周波数応答



1) 点 A ($X/a=0.9$) 2) 点 B ($X/a=3.1$)

図-3 地表面点の周波数応答