

IV-335 地下鉄シールドトンネル部の地盤振動の予測例

東京都交通局 正会員 古田 勝
 東京都立大学 正会員 長嶋文雄

1 はじめに

地下鉄建設の環境アセスメントでは、工事完了後の列車走行に伴う地盤振動を予測・評価項目とするのが一般的である。一方、地下鉄トンネルの施工方法は、駅部分を開削トンネル、駅間をシールドトンネルとする例が多く、シールドトンネルが占める割合が大きい。従って、シールド区間では、列車走行速度が高くなるため、この区間における振動の予測が重要な課題となる。筆者らはこの振動に関して、トンネル内部及び地表面で多点観測を行ない、振動加速度分布の調査を行っている¹⁾。また、予測手法の精度を向上させるため、防振まくらぎ等の低ばね定数軌道の特性やトンネル周辺地盤の特性を予測に取り入れることが可能な方法として、周波数領域をISO規格の1/3オクターブバンドに分割して予測する方法を提案している²⁾。

本報告は、軌道構造が異なる3箇所における振動測定の結果¹⁾と、軌道付近の観測点に対するシールドアーチ部の振動加速度レベルの減少、並びにシールドアーチ部に対する地表面上下方向振動加速度レベルの減少を公害振動計で扱う周波数領域の1/3オクターブバンド回帰分析した結果を用い、地表面振動レベルの予測を行う手法を示したものである。

2 軌道構造と軌道付近の振動加速度

シールド部の

振動に影響を及ぼす因子として、軌道構造、列車速度、周辺地盤の土質等があるが、このうち軌道構造についてはその影響が大きい。地下鉄では一般的にコンクリート直結軌道、バラスト軌道、防振まくらぎ軌道が用いられている。これらの軌道について、軌道付近（図1のB点）の1/3オクターブバンド周波数分析した結果を図2に示す。図2は列車速度が40～60km/hにおける測定結果を、過去における測定例を参考に次式により列車速度60km/hに補正して示したものである。

$\Delta L = 25 \log(60/V)$ (1) ここで、 ΔL は列車速度に対する補正量(dB)、 V は列車速度(Km/h)である。

3 振動の距離減衰と回帰分析の方法

振動源から距離

r_0 離れた点の加速度振幅を a_0 、距離 r 離れた点の振幅を a とすると、両者の関係は一般的に幾何減衰および内部減衰に対応する項を考慮して見かけ上の減衰とし、次式で表わされる²⁾。

$a = a_0 r^{-n} \exp(-\alpha r)$ (2) ここで、 n 、 α は幾何減衰及び内部減衰に関する定数である。

地下鉄振動の周波数特性を考慮してISO規格の1/3オクターブバンドの周波数領域に対して式(2)を適用することにする。従って、基準点から測定点までの振動加速度レベルの低下量 ΔL_1 は次式となる。

$$\Delta L_1 = 20 \log(a_{x1}/a_{01}) = -20n \log(r/r_0) - 8.69\alpha_1(r - r_0) \\ = p_1 \log\{(r_0 + u)/r_0\} + q_1 u \quad (3)$$

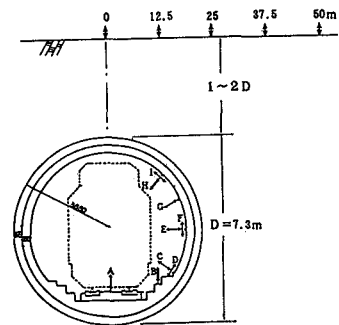


図1 トンネル内部及び地盤の測点

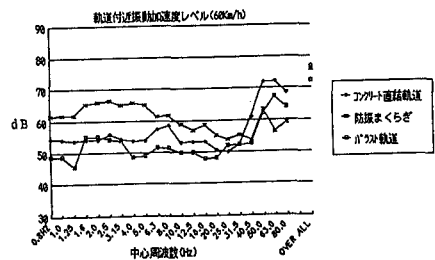


図2 軌道付近の振動加速度レベル

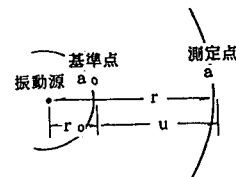


図3 振動の距離減衰

ここで、 p_i は幾何減衰、 q_i は内部減衰に対応する定数である。式(3)を基準点に対し測定点が複数ある場合の振動加速度レベルの相対的低下量 ΔL_i と直線伝播距離 u の関係を回帰分析を行うことにより、各周波数バンドの p_i 及び q_i を求めることができる。

4 シールドトンネル内部の振動加速度 N値0～5

程度の沖積層中に土被り1～2D（Dはシールド半径、 $D=7.3\text{m}$ ）に敷設されたシールドトンネル内の図1のB点を基準点とし、シールド半径方向の測点C、E、G、Hについて、内部減衰項 $q_i=0$ と仮定して回帰分析を行ない、

1/3オクターブバンド毎の減衰係数を計算した。図4に幾何減衰項 p_i を示す。図から20Hz以下の周波数域においては減衰が大きいことが認められる。

5 シールドトンネル周辺地盤の距離減衰 シールドトンネル周辺地盤の距離減衰傾向の検討は、シールドアーチ部半径方向の測点Hを基準点と仮定し、この点に対する地表面上下方向振動加速度の観測点（図1 0～50m）の回帰分析を行った。幾何減衰項 p_i については、シールドトンネルを無限地盤中の線状の振動源と見做し、 $p_i=-10$ と仮定して内部減衰項 q_i を求めその結果を、図5に示す。

6 地下鉄振動の予測例 図2の軌道構造別入力振動加速度レベル、回帰分析から求めたシールドトンネル並びに地盤の減衰に関する定数から、列車速度60Km/hに相当する1/3オクターブバンド毎の地表面上下方向の振動加速度レベルを計算して、さらに振動レベル計の周波数レスポンスを考慮することにより地表面振動レベルを求めることができる。図6にK地点の地表各点の振動加速度レベル・振動レベルの測定値と予測値の比較、図7に軌道構造を変えた場合の予測例、図8に沖積層地盤に土被り12.3mで敷設したS地点の予測例を示す。

7 おわりに

シールドトンネル内部及び地表面振動加速度レベルの分布を観測して1/3オクターブバンド回帰分析を行い、周波数領域が比較的広い地下鉄振動の特性を考慮した予測手法を示した。この手法により周波数バンド毎の予測が出来る様になったことから、トンネル近傍に設けられた住宅、ビル等の周波数特性を考慮した振動対策のための予測などへの応用が可能である。今後、測定箇所を多くするとともに他に影響する因子も取り入れ、予測の精度向上を計りたいと考えている。

参考文献：

1) 古田・長嶋：列車走行によるシールドトンネルの振動加速度分布、土木学会第44回講概集
2) 小泉・古田・長嶋：軟弱地盤における地下鉄振動レベルの一予測手法、土木学会第43回講概集

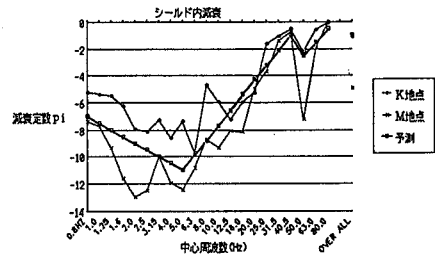


図4 シールドトンネル内の減衰

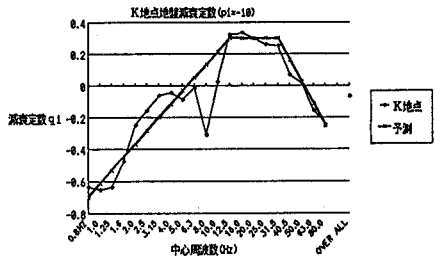


図5 トンネル周辺地盤の減衰

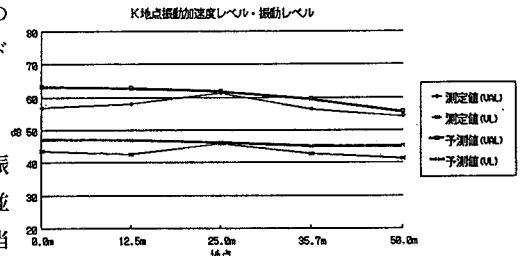


図6 K地点の各測点の予測

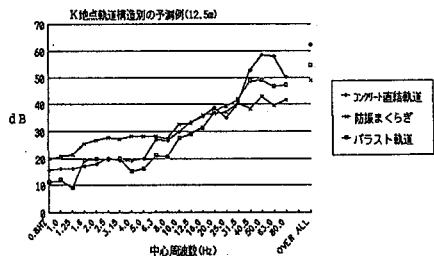


図7 K地点軌道構造別の予測

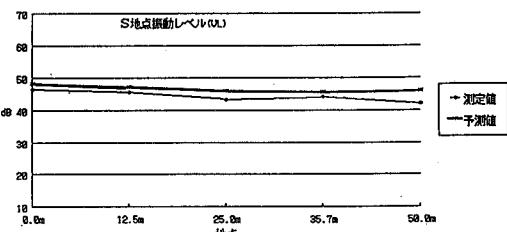


図8 S地点の予測