

IV-110 地下鉄振動の現況調査に関する一提言

東京都立大学 正会員 長嶋 文雄
 東京都交通局 同 上 古田 勝
 東京都立大学 同 上 伊藤 文人

1. はじめに

地下鉄振動が地表の環境に及ぼす影響の評価に関する問題は、軌道振動、構築物振動、地盤振動および地表面振動等多岐に渡る問題を含み、その取り扱いの困難さにより未だ解明されていない部分が多い。従って、建設事業の誕生毎に作成される環境アセスメントは各機関で個別に検討されているだけで、統一的な評価規準は存在していないのが実状である。この種の問題を解決するためにはなんといっても「現況調査による基礎資料の蓄積」が必要であり、これを統合し、整理分析することによって評価精度も向上することになる。現況調査の実施例は次第に増えつつあるが、まだ影響を及ぼす因子の数に対して不足しており、今後も継続する必要がある。このときの調査方法はある程度共通した考え方に基づくのが分析の都合上望ましく、このための一資料として筆者等の行なった現況調査^{1)~3)}の成果の概要を波動の伝播経路の順にまとめ、現況調査の技術的な問題も含めて報告する。

2. 地下鉄の環境振動に影響を及ぼすと思われる諸因子 諸因子を表-1にまとめてみた。それぞれの因子の重要度については定性的にはかなり知られているが定量的な検討がなされているのは僅かである。これらの諸因子を考慮しながら、以下に振動源から波動の伝播経路の順に地下鉄の環境振動に関する問題点を挙げる。

3・1. 軌道振動 軌道振動は隣接した一對の台車が通過する度に振幅が大きくなる、非常に周波数レンジの広い波であり、また定常性が強い。軌道振動自身の特性を調査する場合には測定レンジの広い加速度計を用いることになる。測定時には電車の風圧によりコード類が振動しないように注意する必要があり、これを怠ると振動波形にドリフトが生じやすくなる。磁気記録装置に記録すれば、校正信号を手懸かりとして振動レベル計による振動レベルの評価が可能であり、また A/D変換→ 10^{-3} → $1/3$ フタフタ分析によるレベル評価もできる。地表振動レベルの予測式の構成は振動源の振動レベル L_0 を規準として、これに距離減衰に関する項や各種の補正項を加える形が一般的である。軌道振動は高周波数成分を多く含むため減衰が大きく、軌道近傍では測定場所によって振幅が急変する。従って、軌道近傍は規準振動レベル L_0 の測定点としてふさわしくないように思われる。むしろ、シールドトンネルであれば側壁、箱形トンネルの場合は中柱あたりが適切であろう。振動レベル計による測定では点検用通路が測点としてふさわしいであろう。

3・2. 地下構築物振動 地下構築物振動で重要と思われるのは2次振動の問題である。振動が高周波であることを考慮すると影響は少ないように思われるが、箱形トンネルと円形シールドトンネルでは地表面の振動レベル分布の様子がやや異なるようであり、この点について調べなければならない。このためには側壁と天井の振動性状を把握することが必要であり、円形シールドトンネルにおいては垂直、水平両方向成分の測定が望まれる。

3・3. 地盤振動 無限均質弾性体内の波動伝播理論による距離減衰（幾何減衰+粘性減衰）の考え方を応用した、簡便な手法によるデータ整理が一般に行なわれているようである。ここで問題となるのは半無限境界と地層構造の存在である。無限均質弾性体内の波動であれば、幾何減衰と粘性減衰量を定める係数は一定となるはずである。しかし、軟弱地盤中に敷設された円形シールドトンネルでの検討例⁴⁾によれば明らかにこの係数には周波数依存性が見られる。簡便法においては、この周波数依存性については粘性減衰の項に負担させることによって解決できるであろう。地盤の伝達関数によっても、40Hz~60Hz程度の波動が地中であまり減衰せずに伝播する現象が知られているが、表面波の問題や重複反射の問題等による当現象の理論的な裏付けが欲しいものである。距離減衰は伝播距離 x と振動レベルの相対低下量を片対数紙上に（ x を対数目盛りで表わし）プロットし、回帰分析を行なうことになるが、このとき地上の測点の範囲が狭いと回帰の精度が悪くなる点を考慮すべきである。できれば地中にも測点

を設けたい。雨降りの日に地下鉄振動を感じる時があるということを知ったことがあるが、地下水位の影響も考慮する必要がある。これは粗密波の影響を調べることになる。実体波の位相速度は地下構造物に衝撃を与えることによって得られる。このとき、換気スペース等を用いて、地上部と地下部の同時記録する必要がある。同時記録は困難であるが、波動の地中伝播特性を調べるには是非必要である。

3・4. 地表面振動 表面波の影響と舗装層の影響の検討が必要と思われる。表面波の影響については、振動源が地下にあることや、振動が高周波で、また一般に低レベルのものであるためそれ程大きな影響を及ぼすものではないと思われるが、トンネル埋設深さや地盤種等の影響を明らかにしなければならぬ。舗装層の影響については土の地面に対して振動レベルがやや高くなるという報告や、逆に舗装層が存在することによって振動が抑制されるという報告もある。筆者等の調査では前者の傾向が見られたが、まだ明らかにされていない。ピックアップの接地状況および波動の伝播特性等の面からの検討が必要である。

	地下鉄の環境振動に影響を及ぼすと思われる因子	メ モ
軌道振動	車両系 [列車速度] [ばね下重量] [車輪踏面の状態]（タイフラットの有無）	振動エネルギー 輪重の影響もあるように思われる 最大加速度
	軌道系 [レール頭頂面の状態] 線路線形（直線区間／曲線区間：曲線半径） 運転（力行区間／惰行区間／制動区間） [軌道構造] 道床の種類（バラスト道床／コンクリート道床） 軌道パッド、バラストマット、まくらぎパッド、 スラブマット等の動弾性係数 レール継ぎ目（ロングレール／定尺レール） レール重量 経年効果（軌道狂い、軌道の劣化）	きしみ振動、レール面の波状摩耗 レール面の波状摩耗 振動エネルギー、周波数成分 振動エネルギー、周波数成分 継ぎ目振動 軌道の保守、レール面の劣化も含む
地下構築物振動	[構築物の構造]（開削トンネル／シールドトンネル、 単線シールド／複線シールド） [構築物の重量]（二次覆工コンクリートの有無等） [構築物の剛性] 材質（RC、コンクリート系セメント／鉄鋼製セメント） 二次覆工コンクリートの有無	波動の伝播方向、動特性 単位体積重量 動弾性係数
地盤振動	[土質] [地層構造] [埋設深さ] [地下水位] [地下埋設物]	波動伝播速度、粘性減衰定数、 動弾性係数、単位体積重量、 σ_p/σ_v 比 重複反射 伝播距離、幾何減衰 波動伝播速度
地表面振動	[舗装状況] [ピックアップの接地状況] [表面波] [常時微動] [隣接構造物]	地面上との違い その他、道路交通振動による影響

表 - 1 地下鉄の環境振動に影響を及ぼすと思われる諸因子

4. おわりに

地下鉄振動が地表の環境に及ぼす影響の評価は各種の問題を含み、またその諸因子の数は非常に多い。統一的な評価規準を確立するためには今後とも現況調査による資料の蓄積が必要であるが、振動対策の問題も含めて各方面の調査研究成果を集約する形での検討機関も必要ではないかと思われる。

〔参考文献〕 1) 列車走行に伴う地下鉄トンネル周辺地盤の振動特性、第38回土木学会講義集。2) 列車走行に伴うシールドトンネル周辺地盤の振動特性、第39回土木学会講義集。3) 軟弱地盤に敷設した地下鉄シールドトンネル周辺地盤の列車振動実態調査、第12回土木学会関東支部講義集。4) 単線シールドトンネル周辺地盤における列車走行時振動の距離減衰、第41回土木学会講義集。