

帝都高度交通営団 正会員 ○及川 昭男
 同上 正会員 風巻 友治

61 まえがき

最近の地下鉄は既設の各種施設の関係から、深部化の傾向にあり、ルート整備が進むにつれて、狹隘道路や民地部の通過も多くなっている。

帝都高速度交通営団においては、以前から沿線に対する振動騒音防止対策の研究や技術開発を進めてきたが、近年に至り一段と進んだ対策を開発しており、かなりの成果がみられている。

ここでは、民地部のシールドトンネルの実施例も多くなり、それに応じて振動調査例も得られているので、それらについて述べることにする。

§2. シールドトンネルの振動調査

(1) 単線シールドの調査

千代田線の北千住～大手町間開業時に、シールド区間における測定が可能となったことと、その後シールドが広く用いられることを想定して、東大生産技術研究所の岡本、久保、石井、田村各研究室に、シールドの防震構造に関する研究を委託した。

その研究の中で、軟弱地盤と硬い地盤内に造られたシールドの振動調査が実施され、多くの貴重な資料が得られているので、この調査について述べる。その調査は次のように行なわれた。

① 床版中央および両側、シールド側部の中段および上段における加速度

② 直上地表面および直上地盤内における加速度

この調査で、シールド天井における最大加速度がN値の比較的大きい砂層におかれた場合は小さく、シルト層、粘土層におかれた場合は、その数倍大きくなっているのが認められ、天井における加速度は、シールドが砂層におかれた場合は、上下動・水平動ともに絶対最大値は15 gal、最大値平均は12 galとみとめられる。

また、シールド天井と地表及びボーリング内の上下動および水平動を比較すると、振動は一般には天井からの距離と共に減少するはずであるが、水平動においては、減衰の程度が極めて少なく、土被厚10mの範囲では、事実上減衰はないとみなされる。なお地盤内の距離減衰については、粘性度の方が砂質土よりも減衰が大きい。また、軟弱シルト層では、距離減衰のない特殊ケースもみられた。上下動については、天井よりの距離とともに減少し、シールドが砂層内にある場合は、距離が2mにつき80%の割合で減衰してゆくのが認められている。

これらについて、代表的にシルト層、粘土層、砂層におかれたシールド天井と地表およびボーリング孔内の振動を示すと、図-1a~1c のとおりである。また、距離減衰による代表的な例を図-2a~2b に示す。

なお、最近の公害振動計による測定結果によると、一般的なコンクリート直結道床のシールドの地表で、砂地盤における土被19mでは43dB、軟弱地盤（シルト層）土被21mでは50dB、土被が11～12mでは最大値平均52～56dB、土被8～10mにおい

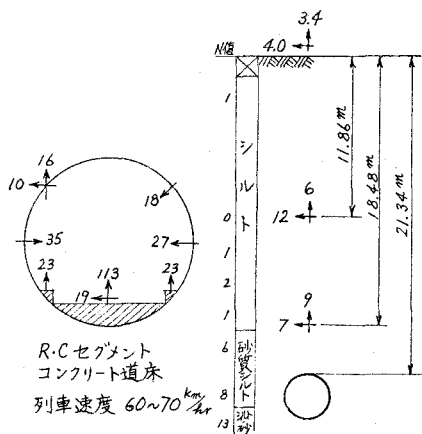


図-1a 測定断面とピーク値平均
(シルト層)

ては52～60 dBを示している。

(2) 複線シールドの調査

千代田線の単線シールドにおける防震に関する研究と同時に防振軌道に対する研究開発の結果、防振マットの開発が進められ、千代田線の霞が関～代々木公園間における民地下の複線シールドには、軌道・構築に対する総合的な防振対策が試みられた。

これらの効果をみるための東大生研井研究室が行なった調査によると、図-3のとおりであり、振動が非常に小さいことが判る。軌道床の上下動が砂層に設けられた単線シールドの100 galに比較して、約3.3 galと $\frac{1}{3}$ 程度であるが、これはコンクリート道床に比較して、バラスト道床の下に防振マットを敷設した場合の減衰量、約1/1 dBと同程度である。

これは単線シールドに比較して重量が、数倍と大きく、また二次巻をしてあるので剛度も大きいのが有利であるためと考えられる。側部、天井も軌道床の減小に伴い小さくなり、対策としての効果が非常に大きいことがわかる。

複線シールドの地表における振動測定を行なったところ、暗振動の大きいところでは、ほとんど測定不能の状態であったが、測定し得た値の絶対最大値をみると、次のような例がある。表-1における測定値は、すべて上下方向の振動である。

線名	シールド構造	軌道構造	土被	土質(N値)	周波数	加速度(暗振動)
千代田線①	タタイル・セグメント 二次巻あり	アスコン・防振 マット・碎石道床	16.0	石砂(50) 上部はシルト層	43 Hz	1.3 $\frac{cm}{sec^2}$ (42 dB)
〃 ②	R-C セグメント 二次巻なし	アスコン・ 碎石道床	10.7	砂(20~50) 上部はローム層	63	4.6 (52)
〃 ③	タタイル・セグメント 二次巻なし	アスコン・防振 マット・碎石道床	10.6	同上	暗振動以下のため 測定不能	
有楽町線④	R-C セグメント 二次巻なし	防振マット・ 碎石道床	18.6	砂(30~60) 上部はローム層	暗振動(25~35 dB) 以下のため測定不能	

表-1 複線シールドの振動値

また、有楽町線の文京区内におけるコンクリート道床とバラスト

名称	土被	振動バル	暗振動
コンクリート道床① (R-Cセグメント二次巻なし)	22.4	44 dB	30~35 dB 区間における測定結果をのべ ると、左表のとおりである。
〃 ②	20.9	52	
〃 ③	19.5	56	

表-2a 複線シールド地表の振動バル

図-4 のようになっている。

名称	土被	振動バル	暗振動
碎石道床で、防振マットを 敷設したところでは、土被が 碎石道床防振④	17.8	48 dB	30~40 dB
浅いにもおかわらず、地表の タタイルセグメント⑤	15.9	48	45~55

振動は全然感じられない程度 表-2b 複線シールド地表の振動バル
で、数値的にも小さい値となっている。

今までに得られた測定値と土被りとの関係を示す。図-5に示す。
なお、galの50 Hzとしてのピーク値が換算したものも含む。

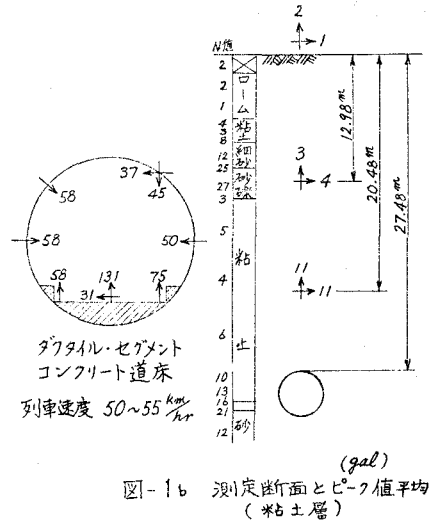


図-1b 測定断面とピーク値平均 (粘土層)

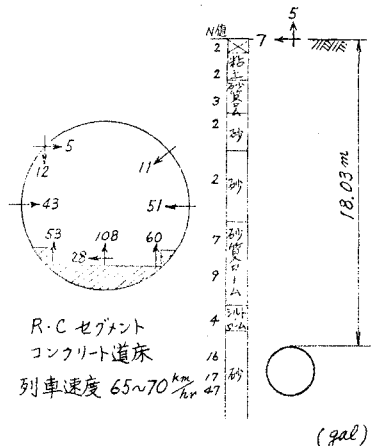
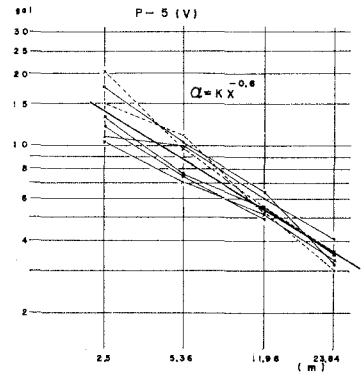


図-1c 測定断面とピーク値平均 (砂層)



(図-1aの地表)
図-2a 土中における振動減衰(上下動)

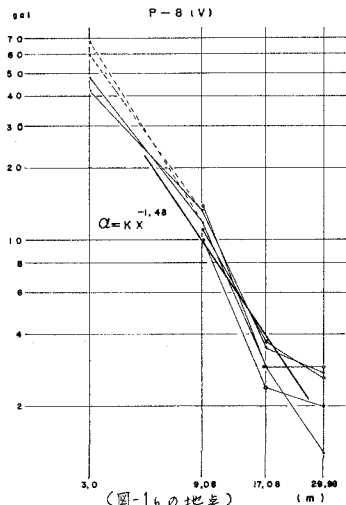


図-2b 土中における振動減衰(上下動)

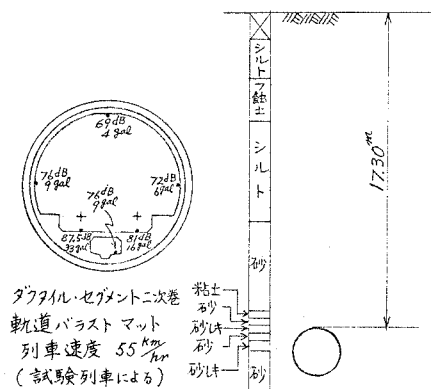


図-3 複線シールドの振動

60dB: 1gal
但し、実効値による

また、これらの測定値は、列車速度が50~70 km/hrの範囲の営業線列車のものであり、そのピーク値を平均したものである。

この測定値は、バラツキが比較的小なかつたが、実際上は車両・地質その他の条件を加味して、±5 dB程度のバラツキをみておく必要があるものと考えられる。

図-5から、同じ複線シールドトンネルにおいて、地質の差はあるにしても、碎石道床区間の振動は、コンクリート道床直結軌道区間に比較して地表の振動は、かなり小さく、バラストマット区間は更に小さいことが判る。

参考までに、地表振動の公害振動計を用いて、測定した波形を示すと、図-6、7のようになる。

記録紙の紙送り早さは3mm/secで、振動計の動特性をファーストで測定したものである。

図-7では、暗振動の影響が大きい場所のものであり、列車通過時の影響の波形を読み取るのが困難である。

いずれの場合も、地表で振動を感ずることができない位、小さなものであった。

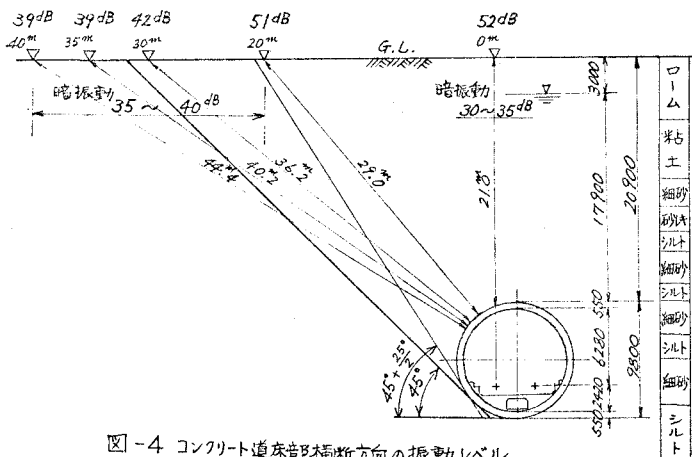


図-4 コンクリート道床部横断方向の振動レベル

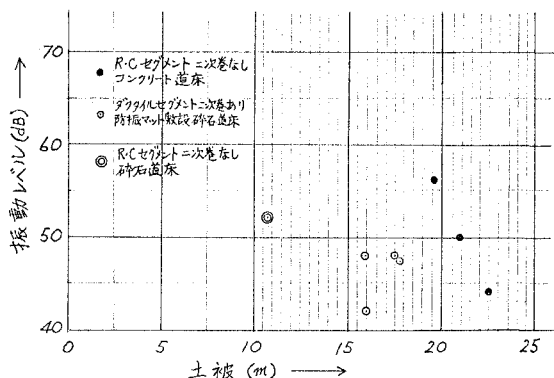


図-5 複線シールド地表における振動

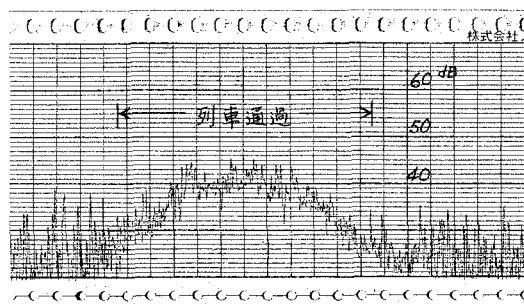


図-6 暗振動との差が大きい場所の波形

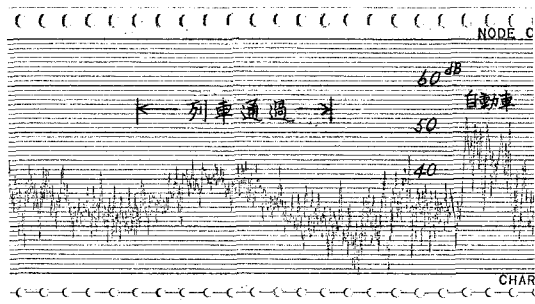


図-7 暗振動の影響が大きい場所の波形

§3. あとがき

以上、最近までに得られた調査例について述べたが、トンネルの周辺の地盤によって、トンネルの振動が影響を受け、また、地盤内における振動伝播は、地盤の複雑さもあってかなり複雑で、今後更に検討されなければならない問題であろう。他方トンネル周辺に対する列車振動の影響を防止するには、振動源である車両や軌道対策が有効であり、両者の良好な保守管理に留意する必要がある。また、防振軌道としての防振マットによる効果が大きいことも、立証されている。

しかし、砂利道床では建設費や保守費の面で高くつくので、コンクリート道床として、防振枕木を使用する開発が進められている。今までの調査研究から、かなり種々なことが判明して、各種ケースの対策に一段と進んだ方法を考えられるようになったことは幸いである。

本稿では最近、路線の延長に伴い、地下鉄の路線におけるシールドトンネルの振動調査および研究の資料も多くなったので、それらについて述べてきた。今後も、狭隘道路や民地下に建設されるシールドトンネルが多いことが予想されるので、何らかの参考になれば幸いである。

最後に本稿を纏めるにあたり、交通音・騒音・振動対策研究会の資料を引用させていただいたことと、委員各位のご指導に対して、謝意を表します。