

東京大学生産技術研究所 正員 中村 豊
東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎

1. はじめに 近年、地下鉄走行に伴う地盤振動を軽減するために、構築床版の厚みを大きくすることが考えられているが、振動軽減の奥から床版厚の効果については不明な点が多い。ここでは、半無限弾性地盤上のコンクリート板を衝撃的に加振したときのコンクリート板と地盤の応答を、3種の板厚に対して数値計算を求め、応答に及ぼす板厚の影響について調べたので報告する。計算は1)に述べた方法によった。

2. モデルと計算条件 半無限地盤上の帯板を2次元的に加振すると考えて図-1の様にモデル化し、解析対象領域を対称軸より左半分に限ることにする。対称軸面での境界条件を面内方向のみ自由とした系と面外方向のみ自由とした系を重ね合せると全体域での応答が求められる事は1)に述べた。加振の方法として、帯板の中央に集中力を上方向に加える場合と、帯板全体に分布荷重を上方向に加える場合の2種類を考える。いずれの加振方法によっても対称軸面での応答は上下方向成分のみで、水平成分はあらわれない。そこで、対称軸面での境界条件が上下方向の動きを拘束しない面内方向のみ自由の系を解析する。帯板の中は8mとし、帯板の厚さは25cm, 50cm, 100cmとした。

帯板は鉄筋コンクリート板を想定し、ヤング率 $E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、密度 2.4 g/cm^3 、ポアソン比0.25とした。地盤はS波速度 V_s を 200 m/s 、P波速度 V_p を 663.3 m/s としたものと、 V_s, V_p もこの半分のものについて、内部減衰が $h=5\%$ と 10% の場合を計算した。入力波形は、立ち上がり $1/1000$ 秒、最大加振力 1000 kg の単三角パルスである。応答を算定した節点は対称軸上の点①, ②, ③, ④で、それぞれ上下方向の応答を計算した。(図-1)

3. 計算結果 加速度応答波形の一例として $V_s=100 \text{ m/s}$ 、板厚50cm, $h=10\%$ の場合を図-2に示す。図中に示された天印(↓)まで半無限地盤の応答としてみることができ、これによると単一パルスの入力によっても加速度応答には数種の振動的な波形が発生する。加振点より遠ざかるにつれて、卓越する振動数は次第と低くなり、振動継続時間も長くなる。この加速度応答のオーバークの走時を各モデルについて調べると、設定したP波速度の走時と10%以内の誤差で一致していた。

図-3は $V_s=200 \text{ m/s}$ の地盤の応答加速度の第1波目の振巾と最大片振巾を板厚に対してプロットしたもので、(a)が集中加振の場合、(b)が分布加振の場合である。加振板と地盤の接点①についてみると、計算した板厚25~100cmの範囲では集中加振の場合の方が、分布加振の場合より4~6倍大振値となっている。しかし、加振板より遠ざかるにつれて応答加速度値に関して、集中加振と分布加振の差は小さくなり加振板より下方に10m離れた点④において、その差はわずかなものになっている。

板厚の効果は加振板近傍に強くあらわれ集中加振の場合の方がその効果は著しい。しかし、加振板より離れるにつれて板厚の効果は次第と小さくなり、各着目点において板厚と加速度の大きさ A は片対数グラフ上でほぼ直線関係にあり、 $A = A_0 e^{-\alpha t}$ であらわされる。ここで、 $e^{-\alpha t}$ が板厚の効果であらわし、その効果は板厚に対して指数的に増大する。この式における指数 α の値を各着目点の深さ z に対して示

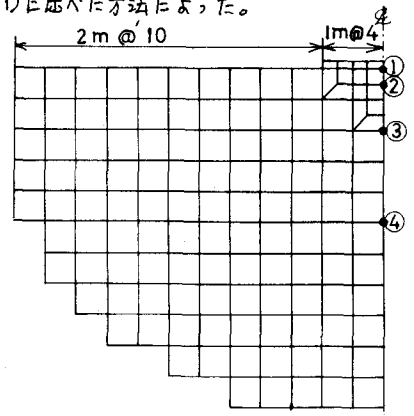


図-1. 解析モデル

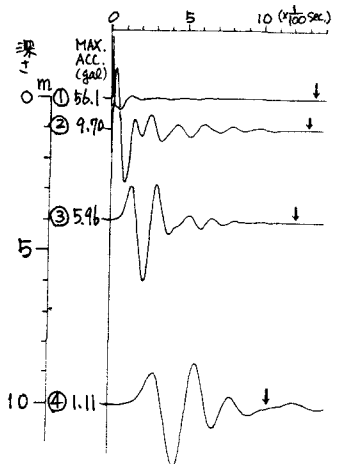


図-2. 加速度応答波形

したものが図-4で、これも片対数グラフ上でほぼ直線に載っている。これから、指数 α は $\alpha = \alpha_0 \cdot e^{-1.07D}$ とあらわされる。即ち、応答加速度の大きさに対する板厚の影響をあらわす指標である指数 α は深さ D に対して指数関数的に減少する。

次に応答加速度波形に対する板厚の効果をみる。図-5は各モデル、各加振方法での応答を $h=10\%$ について②③④の着目点毎に示したもので、波形の比較を容易にするため最大値を規格化して示している。これを見ると加振板より1mしか離れた点②では、加振の方法や板厚によって応答波形は異なるが、加振板より6m離れた点③では、加振方法の違いによる差は若干みられるものの同じ加振方法では板厚によらずその波形はほとんど一致している。更に加振板より10m離れた点④においては加振方法や板厚の相違にかかわらずほとんど同じ波形となっている。

$V_s=100\%$ の地盤の場合の応答(A)と、 $V_s=200\%$ の地盤の場合の応答(B)を板厚が50cmのときについて比較すると(図-2と図-5の比較)、加振板以外の着目点では(A)の波形は(B)の波形の時間軸を2倍に引き伸ばした波形とほとんど一致していることがわかった。即ち、帯板の衝撃加振によって地盤に発生する応答波形は、地盤の弾性波速度に強く影響される。加速度振巾については(A)は(B)のほぼ半分になっており、波形の変化を考慮すると応答速度振巾は地盤によらずほとんど一定となる事が推測される。 $V_s=100\%$ 及び $V_s=200\%$ の地盤について計算した結果このことが認められた。

なお、加振板の応答加速度振巾は、(A)、(B)ともにほぼ同じ値となっており、地盤によらず、板厚及び加振方法によって定まるものとみられる。

4. おさげ 以上の計算は加振時間が $1/1000$ 秒の単一三角形パルスに対する応答についてであるが、 $1/1000$ 秒毎に離散化できる様な任意波形に対する応答はこの重ね合せとして求めることができる。半波応答の様な衝撃的な入力に対する応答の基本的な性質は、この単一三角形パルスに対する応答にあらわれているものと考ええる。

半無限地盤上に置かれた床版に加振力一定の衝撃が作用する場合についての計算の結果、次のことが明らかとなった。

1. 床版近傍の地盤の応答は、加振方法や板厚の変化に影響される。
2. 床版よりやや離れた地盤(本計算では巾8mのコンクリート板に対し、下方10m程離れた地盤)の応答は加振方法や板厚の影響をほとんど受けず、地盤そのものの性質に大きく依存する。

[参考文献] 1)「地下鉄構築及びその周辺地盤の振動解析の一方法」中村・田村・オ引回 年次講演概要集Ⅱ-246

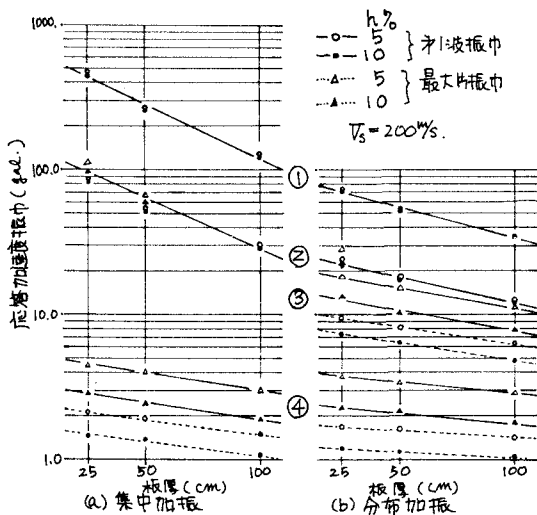


図-3. 加速度振巾と板厚の関係

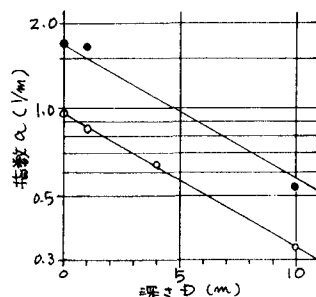


図-4. 指数 α と深さ D の関係

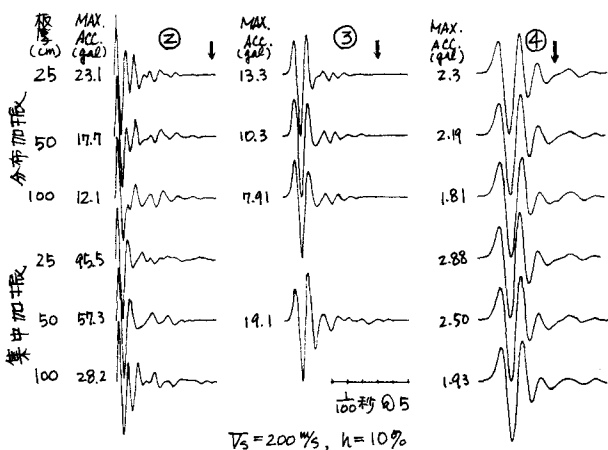


図-5. 各モデル、各加振方法に対する加速度応答波形