

I-B 182

移動載荷・移動加振による地盤の遷移応答特性

東洋建設（株）

正会員 合田 和哉

岡山大学環境理工学部

正会員 竹宮 宏和

1. はじめに 車両走行などの人工振動源の移動、地震の際の断層の破壊進行による地盤内の波動の伝播解析の基本は移動載荷あるいは移動加振の問題として分類される。これらの現実地盤への適用を考えると、波動の分散性や振動問題が現れる成層地盤での遷移応答特性を把握しておくことは有意義である。本研究では、剛基盤上の3次元一様成層地盤中に移動載荷／加振力が作用した場合の遷移応答特性について検討を行った。解析手法として、著者らが開発した遷移応答解と加振源の移動速度や強度の時間変化を考慮した解析が行える離散化合積法¹⁾を用いている。

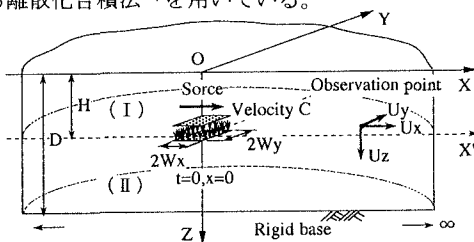


図-1 解析対象モデル

2. 解析手法の概要 図-1に示すような剛基盤上の一様成層地盤を解析対象とする。移動載荷として $2W_x \times 2W_y$ の矩形平面に作用する等分布荷重が、 $x=0$ ($t=0$) の点に衝撃的に作用した後、 x 軸上を正方向に速度 c で移動するものと考え。遷移応答解では、等速移動加振を仮定することにより、時間・波数領域での解析解を求めている。離散化合積法では、移動加振進行方向の波数領域において、時間・波数解を衝撃載荷に対する基本解を用いた時間合積により求めた後、高速フーリエ変換によって空間領域解を求める。両手法とも、波数積分には効率的に有効解が求められる離散化波数法を用いており、移動加振を分布加振とすることにより、波数積分の上限を有効に制限している。

3. 数値解析例

(1) 解析モデル $V_s=200\text{m/s}$ の一様成層地盤とする。各検討項目に応じて、層厚を10mと20m、ポアソン比を0.3 ($V_p=374.2\text{m/s}$, $V_r=185.5\text{m/s}$) と0.45 ($V_p=663.3\text{m/s}$, $V_r=189.8\text{m/s}$) より選び、以下の図中に示す。荷重幅は $2W_x=2W_y=2.0\text{m}$ とし、載荷力および加振力の最大振幅は1kNである。

(2) 移動載荷による遷移応答特性 図-2は、移動載荷速度 ($M\beta=c/V_s=0.5\sim 2.5$) による載荷移動線上と10m離れた位置での地表面変位応答を示したものである。解析手法には遷移応答解を用いている。まず、荷重到達時の衝撃応答は、サブ・ソニック状態からトラン・ソニック状態への遷移域で大きな変化が見られる。その振幅は荷重直下では移動速度が

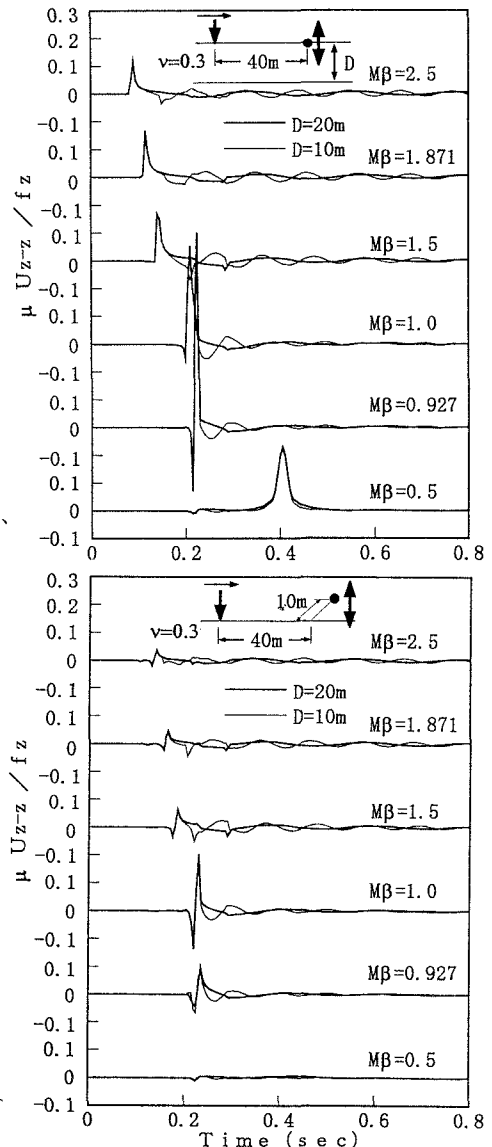


図-2 移動載荷による地表面遷移変位応答

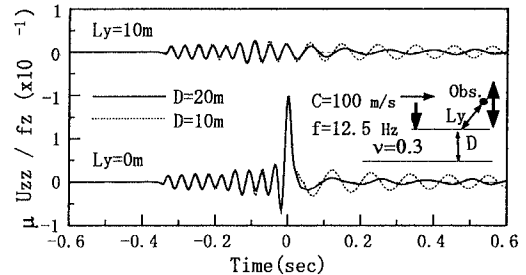
Rayleigh波速度のときに、10m地点ではS波速度のときに最も大きく、層厚による差はあまり見られない。また、これらの移動速度を境にしてピーク値が落ちており、移動線上では地表面近傍を伝播するRayleigh波が、周辺地盤ではS波が卓越しているものと考えられる。載荷到達後は、層厚10mの場合に9.1Hz、層厚20mの場合に4.5Hzの振動が現れており、 $V_p/4D$ にほぼ一致する。この振動は、移動速度が速くなるほど大きな振幅を示す。10m地点では、荷重到達時の衝撃応答の減衰が大きく、載荷通過後の振動が卓越する。

（３）移動加振による遷移変位応答特性 以下の検討には、離散化積法を適用する。図－３は、加振源の移動速度 $c=100\text{m/s}$ 、加振振動数 $f=12.5\text{Hz}$ での地表面の変位応答であり、層厚10mと20mの場合を比較して示している。同図では加振力の到達時を0secとして示しており、加振源は観測点通過時に加振振幅の最大値が載荷されるように選んでいる。加振源の到達前には、層厚に関わらずポアソン比によって決定されるRayleigh波速度に対するドップラー効果 ($f_d=fV_r/(V_r-c) \div 28\text{Hz}$) が現れている。加振源の到達後は、層厚20mの場合にはドップラー効果 ($f_d=fV_r/(V_r+c) \div 8\text{Hz}$) が卓越しているが、層厚10mの場合には $V_p/4D=9.35\text{Hz}$ の地盤振動が卓越しており、層厚が浅くなると地盤の固有振動が卓越することが分かる。加振点から10mの地点での応答は、地盤振動が卓越しており、移動載荷の場合よりも顕著に現れている。図－４は、移動振源の加振振動数を12.5Hzとし、移動速度を40, 80, 120m/sとした場合の地表の変位応答を比較したものである。加振到達までの振動は、上述のドップラー効果が卓越している。一方、加振到達後の振動は、40m/sの場合にはドップラー効果が卓越しているものの、80m/s, 120m/sの場合には $V_r/2D \sim V_s/2D$ の振動数にほぼ一致する。なお、 $V_r/2D \sim V_s/2D$ と表したのは、ポアソン比の違いによる応答の差がほとんど見られないことによる。図－５は、加振源の移動速度を100m/sに限定して、12.5, 10, 5Hzの加振を与えた場合の地表の変位応答を比較したものである。ポアソン比 $\nu=0.3$ の10Hzの加振では共振現象が現れ、 $\nu=0.3$ の5Hzの加振および $\nu=0.45$ の5Hz, 10Hzの加振では対象地盤の遮断振動数以下となり、加振による振動数成分の波動が伝播しない。

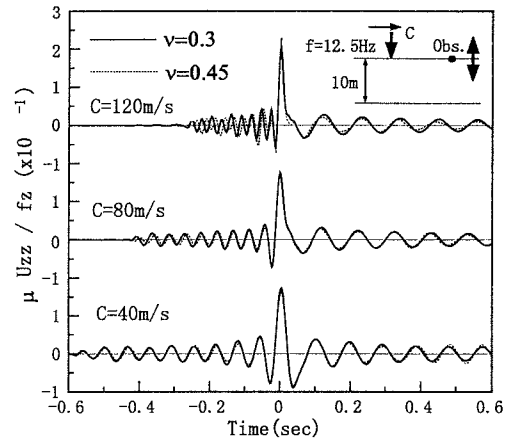
4. おわりに

移動加振による成層地盤の遷移応答では、地盤自身が持つ振動特性が強く現れる。半無限地盤モデルではこのような振動特性を掴むことはできず、現実の波動問題を検討する場合には現実にもった地盤のモデル化が重要であると言える。また、本解析手法は航空機の着陸や断層の破壊進行等の初期条件が関係する波動伝播問題に対して適用が可能であり、各問題に対する応用解析に期待できる。

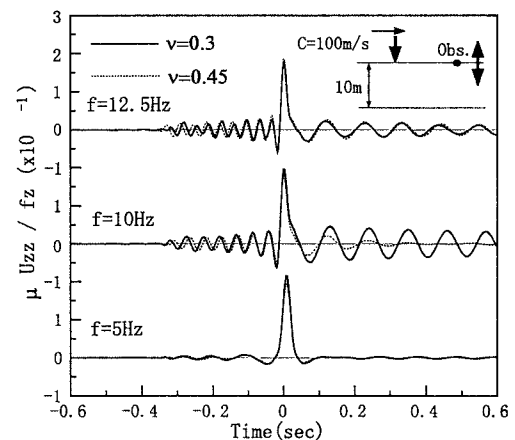
参考文献 1) 竹宮・合田：移動分布加振源による成層地盤の遷移応答特性、土木学会論文集投稿中



図－３ 移動加振による地表面の遷移変位応答



図－４ 地表面の遷移変位応答 ($f=12.5\text{Hz}$)



図－５ 地表面の遷移変位応答 ($c=100\text{m/s}$)