

アジア工科大学 正員 東畑 郁生
 東京大学工学部 O.M.O. Al-Hunaidi

1. まえがき

筆者らは数年来、地盤の地震応答解析法に興味をもち、種々に研究を進めている。土の非線形応答能力及び特性と液状化の発生を考慮に入れようとするれば、周波数領域での解析より時間領域での解析の方が秀れている。この際問題に付するは、境界条件の処理法である。通常の自由端や固定端は本来透散波をばき波を100%反射するので、地震応答を過大評価してしまう。現在迄に提案されている処理法には、Lysmerらの粘性境界、Smithの方法、Paraxial法(Claytonら、土質工学会「土と基礎」)があるが、いずれも弾性体内に伝播する波をうまく吸収して反射しない事を目指している。従って、上記の方法はいずれも基礎を伝わり実体波はうまく処理できても、非線形性の卓越する地表付近で表面波を吸収する事はできないか、手には論理的背景に欠ける事になる。筆者らはこの現状を見て、材料の弾性非弾性と問わず、実体波と表面波の両方を吸収できる手法の開発を目指している。本稿ではその一端を紹介する。

2. 手法の概要

簡単のため、図1のような水平地盤の地表面に繰り返し外力を作用させ、発生したS波が鉛直下方へ伝播する場合と取り、静止した剛体基礎(変位=0)上に弾性地盤があり、通常領域と波を吸収するための特殊領域に分かれている。特殊領域は文字通り特殊な手法を適用する領域なので、この部分での応答計算結果(加速度やひずみ)は無意味である。

解析は時間領域で行われるが、二種類の計算が同時進行する。第一は図1の地盤全体を対象とする「全域計算」である。全域計算は通常領域と特殊領域との境目で通常領域が特殊領域に及ぼす力の時刻歴を与え、この力を入力として、特殊領域のみを対象に行われるのが、第二の部分計算である。部分計算は常に、加速度=速度=ゼロの静止状態を初期条件として

始まる。境目で力が作用するので、時間と共に特殊領域へS波が伝播し、応答値は大きくなる。この時点で特殊領域内のS波はまだ下向きに伝わっているが、同時進行の全域計算ではS波が既に特殊領域の下端を反射されて上方へ向かっている筈である。このまま全域計算と放置しておくとも反射S波が通常領域に侵入してその応答値に害を為す。そこで場合いを見計って、部分計算で求めた特殊領域の応答値(下向きS波が含まれる)を全域計算の対応する値に代入する。場合いとは、部分計算でゼロから始まった二領域境目での応答値が次第に成長し、全域計算中の同じ地点の応答値に追いついた瞬間である。この方法によって、全域計算中の特殊領域に反射S波が無く、当面S波侵入の懸念が要らなくなる。また境目での応答値が全域計算と部分計算とで等しいので、代入の行為が通常領域の応答と乱す恐れが無い。こうして全域計算はそのまま進行され、一方部分計算は再び静止状態から出発する。以上のような手法を繰り返し行われるが、本稿で提案する動的解析手法である。

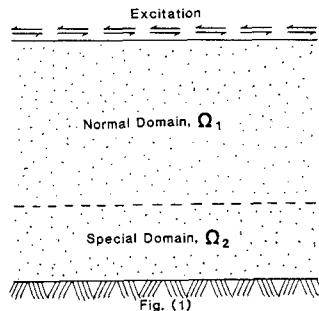


図1 一次元地盤の横断図

3. 計算例

図1の一次元地盤に地表で荷重をある限られた時間だけ作用させ、強制振動及びそれに続く自由振動を計算した。土の密度は2.0,せん断定数 $G = 30000 \text{ kN/m}^2$ の弾性解析である。S波速度が120 m/s、地盤の厚さが20 mなので、もし提案されている手法がうまく働いたならば、加振を始めて0.3秒後には、反射波が地表に達してしまう筈である。遂にこの時刻に反射波が現われたければ、手法はうまく働いた事になる。運動方程式の

積分には Newmark の β 法を使用し、 $\beta = 0.3$ 、 $\gamma = 0.7$ であった。

まず、地表へ衝撃荷重(図2)を載荷してみた。地中の通常域中央で計算した加速度時刻歴(m/sec^2)を図3に示す。下向き伝播波が0.1秒迄に通過して以後は、何ら反射波が存在しない。図4と図5は、20Hzの高周波外力と0.5秒間だけ載荷した時の計算結果である。載荷を停めた瞬間に乱れが生ずるが、これはエネルギー吸収の手法とは無関係である。どちらの図にも反射波は全く見られない。20Hzの低周波外力と0.5秒間だけ載荷した図6と7も、同様である。

4. 結論

本編で提案された手法が、一次元の弾性地盤を伝わるS波をよく吸収し、反射を起こさない事が、計算例と通して示された。同じ手法が、非弾性地盤、二次元問題、表面波に対しても機能するかどうか調べる事が、今後の課題である。

5. 参考文献

Clayton and Engquist; Absorbing Boundary Conditions..., Bull. Seism. Soc. Am., 67, 1529-1540, 1977
 Lysmer and Kuhlemeyer; Finite Dynamic Model for Infinite Media, Proc. ASCE, 95, EM4, 859-877, 1969
 Smith; A Nonreflecting Plane Boundary for Wave Propagating Problems, J. Comput. Physics, 15, 492-503, 1974
 土質工学会「土と基礎」, 文献収録コーナー, 1985 (筆者 東畑)

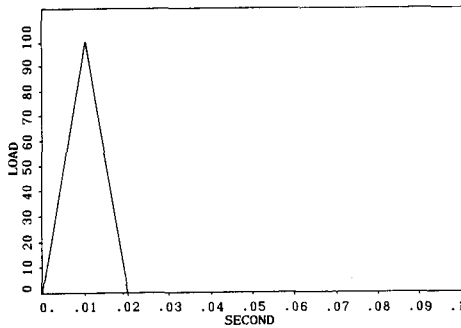


図2 0.02秒間の衝撃荷重

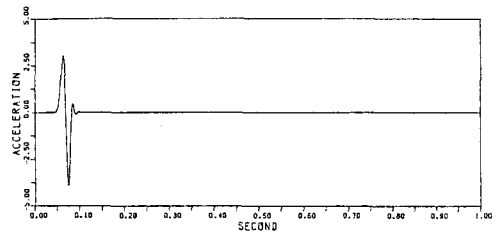


図3 衝撃荷重応答(通常域中央)

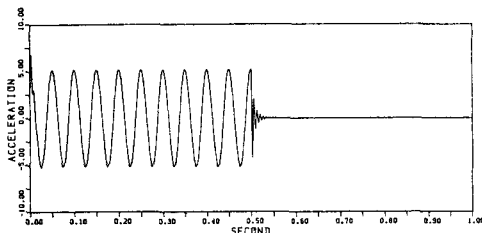


図4 高周波応答(地表)

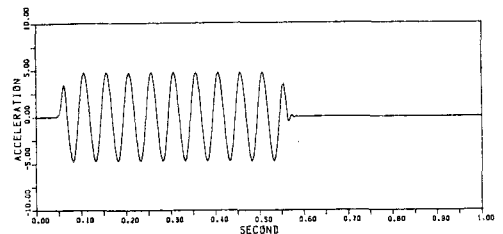


図5 高周波応答(通常域中央)

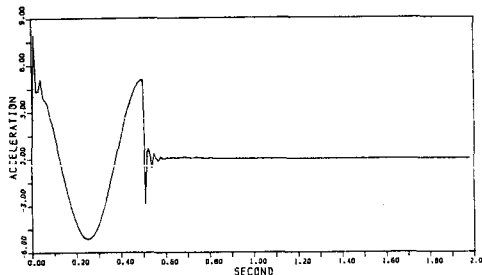


図6 低周波応答(地表)

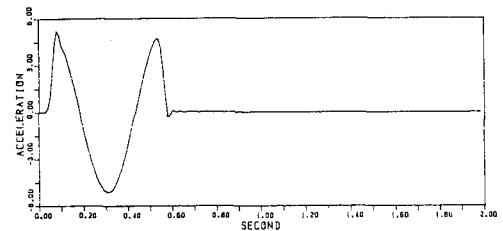


図7 低周波応答(通常域中央)