

SPH 法における弾性波の吸収境界の導入

鳥取大学 非会員 ○渡瀬 裕也
 鳥取大学大学院 正会員 小野 祐輔
 鳥取大学大学院 正会員 谷口 朋代

1. はじめに

土木分野において地盤や土構造物の地震時挙動を正確に予測することは非常に重要であり、予測を正確にするためにも地震時の地盤内の波動伝播を正確に予測することが必要となる。しかし、コンピュータの計算域には限界があり、地盤を切り出して計算を行う必要がある。地盤内の波動伝播については今日までに多くの研究が発表されており、現在では、有限要素法を用いる手法が主流である。しかし、有限要素法はメッシュに依存した解析手法であるため、大変形問題を取り扱うことが容易ではない。本論文では、近年メッシュフリーの解析手法として様々な分野から注目されている Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)法を用い、地盤の波動伝播、解析における消波境界の導入を行った。

2. 境界条件の導入

実際の地盤内では境界は存在せず、当然反射波は発生しない。本論文では、式(1)に示すような Clayton ら¹⁾が提案した消波境界条件を SPH 法に導入する。

$$-c \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1)$$

このとき、境界上の粒子の速度は次式のようにになる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c \cdot \left(- \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j} \cdot (u_j - u_i) \cdot \frac{\partial W}{\partial x} \right) \quad (2)$$

ここで、 u : 粒子変位、 c : 波速、 m : 質量、 ρ : 密度、 N : 対象とした媒質を構成する粒子の総数である。

3. 解析モデル

本論文の解析モデルおよび解析パラメータを図-1と表-1に示す。速度 f を入力固定端から入力し、影響半径 h を粒子間隔 dx の 1.35 倍とした。境界条件に関しては、固定端境界上の粒子速度を 0 と単純な形で導入し、自由境界上の粒子の速度を式(2)に従って設定することで、消波境界条件を導入する。このとき、図-2 のように解析領域外にも粒子を置き、式(2)と同様の計算を行う。

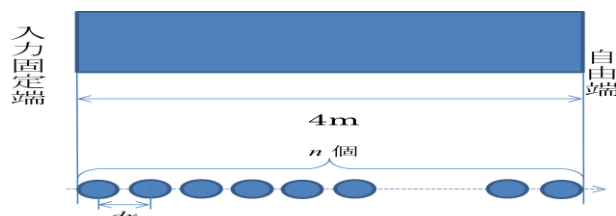


図-1 一次元弾性体の解析モデルと連続体の離散化

表-1 解析パラメータ

弾性体の長さ : l	4 (m)
弾性体の密度 : ρ	1.0×10^3 (kg/m ³)
弾性係数 : μ	1.0×10^2 (N/m ²)
入力速度 : f	$0.1 \times \sin(\pi/4t)$ (m/s)
粒子間隔 : dx	5.0×10^{-2} (m)
影響半径 : h	$1.35dx$ (m)
積分時間間隔 : dt	1.0×10^{-4} (s)
解析時間 : t	40 (s)

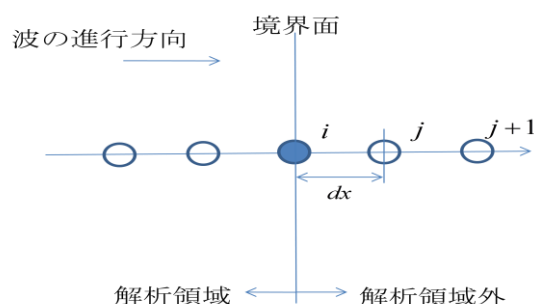


図-2 境界付近の粒子

4. 解析結果

解析開始から解析終了までの波動伝播の様子を図-2に示す。前章で領域外の粒子の計算した理由として、SPH法が影響半径に依存した手法であることが挙げられる。境界上の粒子のみに境界条件を導入した場合の波動伝播を図-3に示す。図-3から境界上の粒子のみでは境界条件が適切に作用していないことが分かる。このことから、前述の方法によって、境界条件が適切に導入できることと考えることができる。

また、さらに解析精度を向上させる方法としてCSPH法がある。²⁾これはSPH近似をTaylor展開することで精度を高める手法である。弾性波動伝播問題に対するCSPH法の導入は岩本らによって検証され、SPH法において大きな問題である影響半径による精度問題や境界付近における粒子不足による精度問題で解析精度の向上が確認されている。図-4にCSPH法による波動伝播の様子を示す。図-2と図-4を比較すると、反射波がさらに小さくなり、弾性波動吸収境界においてもCSPH法による解析精度の向上は有効であると言える。

5. 結論

本研究で得た知見をまとめると次のようになる。

- (1) SPH法に消波境界を導入する際、解析領域外の粒子の運動についても算出しておくことで、境界条件として導入することができる。
- (2) SPH法は境界付近において解析精度の悪化が見られたため、CSPH法を導入したところ、境界付近の解析精度が向上し、さらに反射波も減少した。

今後の課題としては、本研究では、影響半径を固定して行ったため、影響半径によって解析精度にどのような影響が与えられるか検討する必要がある。また、本論文では、一次元の解析のみであるため、実際の問題である二次元、三次元へと拡大していく必要がある。

参考文献

- 1) Robert Clayton and Björn Engquist : Absorbing Boundary Condition for Acoustic and Elastic Wave Equations, Bulletin of Seismological Society of America., Vol. 67, pp. 1529-1540, Dec. 1977.
- 2) 岩本哲也, 小野祐輔 : 弾性波動伝播問題に対する粒子法の適用性, 応用力学論文集, Vol. 12, pp.611-622, 2009.

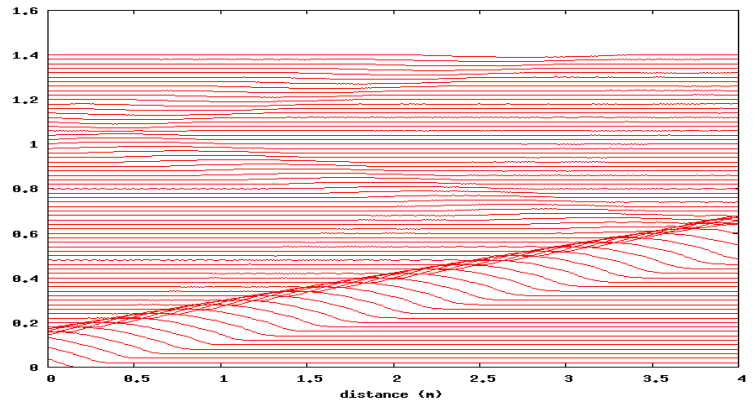


図-2 SPH法における消波境界条件導入による波動伝播

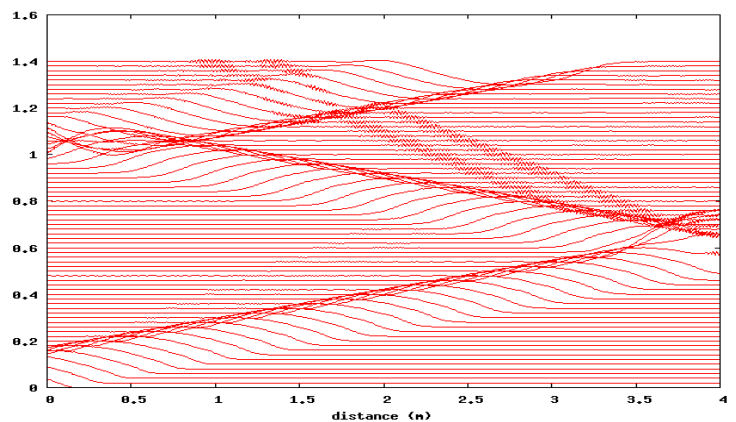


図-3 境界上の粒子のみに境界条件を導入した場合の波動伝播

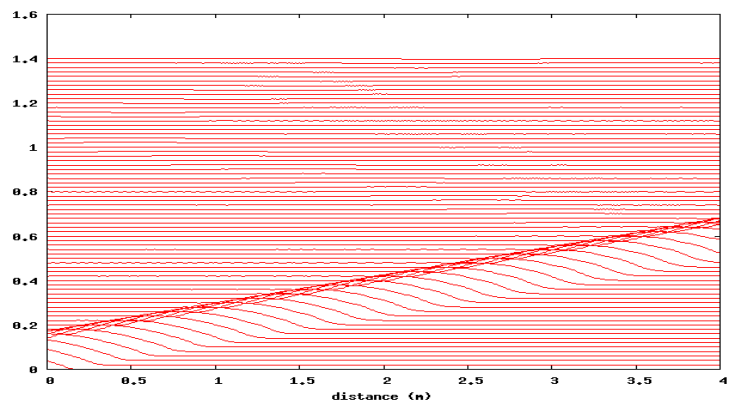


図-4 CSPH法における消波境界条件導入による波動伝播