第Ⅲ部門　　**低剛性媒質内を伝播する波に及ぼす重力に関する数値解析的検討**

京都大学工学部　学生員　○新垣　芳一
京都大学防災研究所　正会員　後藤　浩之
京都大学防災研究所　正会員　澤田　純男

１．はじめに

重力による物体力はどのような媒質に対しても等しく働くが，媒質を伝播する波に対する影響は鉛直方向の変形量に依存する．硬い弾性地盤ではその変形量が微小であるから，重力の影響は無視できる．一方，Newton 流体のように軟らかい媒質では変形量が大きいから，重力の影響は無視できず，重力波が励起される．液状化した軟弱地盤のように低剛性の媒質においては，伝播する波に対して重力の影響が予想されるものの，一般的な地盤を対象としてその影響は定量的に取り扱われていない．

Gilbert は，理想的な半無限均質地盤を伝播する波に対する重力の影響について解析的に検討している [1)]．半無限体の表面あるいは表面に近い内部の点に一直線上に力が作用するという Lamb の問題では，表面に locked レイリー波と leaking レイリー波の二種類の表面波が生じるが，この問題に対して，1)重力が作用しない場合に locked レイリー波が顕著に観測されること，2)重力が作用する場合に S 波速度が減少するにつれて locked レイリー波は観測されなくなること，3)重力が作用する場合に leaking レイリー波の分散性が大きくなって，次第に流体の重力波の挙動に近づいていくこと，を報告している．

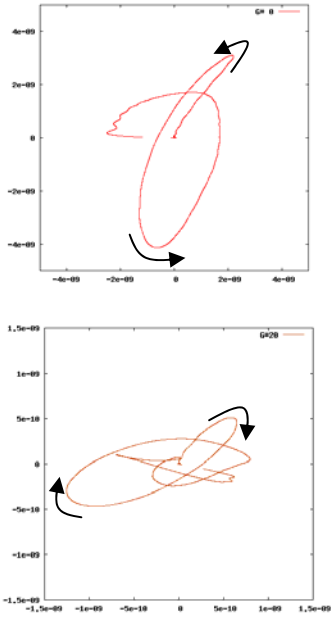
本研究では，2 次元の線形有限要素法を用いて有限値の P 波速度や多層構造，及び粘性を自由に与えることで，Gilbert の解析条件より現実的な地盤を対象として，伝播する波に対する重力の影響を検討する．

２．解析概要

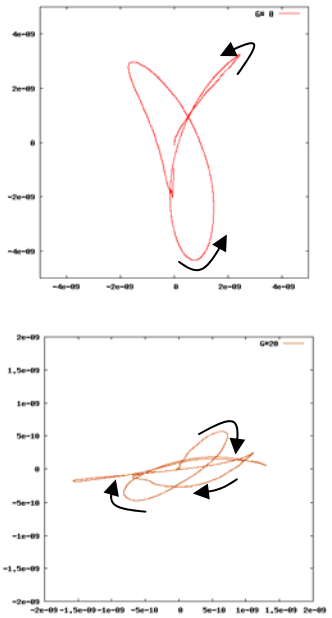
一般に波動伝播解析で用いられる有限要素法は，その影響が小さいために重力成分を無視することが多いが，本研究ではその影響を把握することが目的であるため，重力ポテンシャルから重力項を導出して有限要素法に導入した．また，媒質の流動的挙動を併せてモデル化するため，媒質の粘性係数を考慮した粘性項も導入している．

伝播する波の波長に対して有限要素法で用いる要素幅が大きいと波の近似が十分でなくなるため，波長が極めて短い Newton 流体を直接解析するのは困難である．そのため，本研究の解析では S 波速度を固定し，重力加速度に大きさを変化させることで，対象媒質の挙動を相対的に Newton 流体に近づけた．

解析対象地盤は半無限の一層構造と，下層が上層に比べて硬い半無限の二層構造の二種類を用いた．その物理定数を表－1 に示す．前者は一層構造



図－1 粒子軌跡（一層構造）
上：重力なし
下：重力あり



図－2 粒子軌跡（二層構造）
上：重力なし
下：重力あり

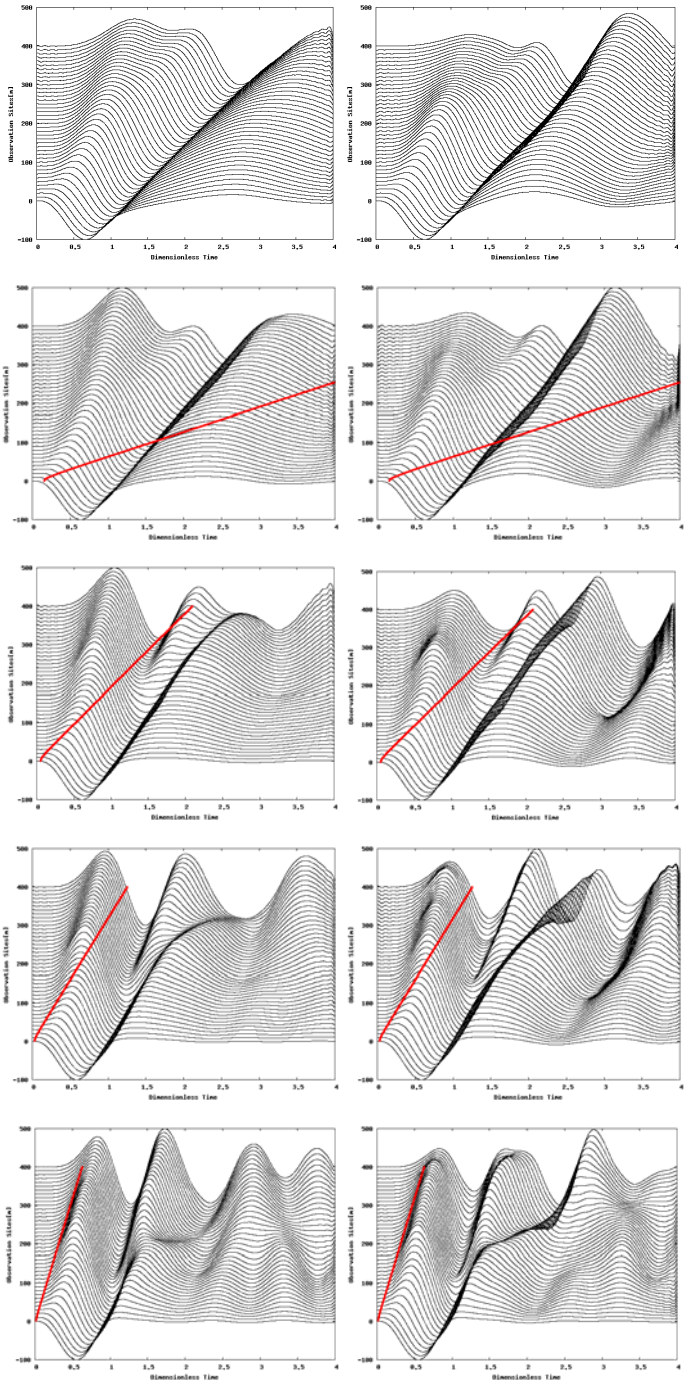
Yoshikazu SHINGAKI, Hiroyuki GOTO and Sumio SAWADA

の半無限体なので，媒質が Newton 流体の場合に発生する重力波は深水波に分類される．後者の二層構造についても上層に十分な深さを設定したため，上層の媒質が Newton 流体の場合に発生する重力波は深水波に分類される．また，解析領域の周囲には半無限体を模擬した解析を行うための吸収境界を設けた．

３．低剛性媒質を伝播する波に及ぼす重力の影響

図－1 に一層構造において計算された地表面上の粒子軌跡，図－2 に二層構造において計算された地表面上の粒子軌跡を示す．図より，重力の影響が大きくなるほど，一層構造及び二層構造における地表面上の粒子軌跡は最初の順行性の軌跡が後の逆行性の軌跡よりも著しくなり，軌跡の大きさも次第に小さくなることが認められる．以上の結果は Gilbert の結論と調和的であり，重力の影響が大きくなるにつれて，地表面上の粒子の軌跡が逆行性を示す弾性波の軌跡から次第に順行性を示す重力波の軌跡に近づく現象を表す．また二層構造の場合，下層の地盤が硬くなるにつれて，後半の逆行性の軌跡は次第に左斜め方向の指向性を有するようになる．この原因としては，下層の地盤が硬くなるにつれて，上層と下層の境界面における反射 S 波の影響が大きくなるため，反射 S 波の振動方向が現れると考えられる．

図－3 に一層構造における地表面上の鉛直方向変位のペースト波形図，図－4 に二層構造における地表面上の鉛直方向変位のペースト波形図を示す．図には，与えた重力加速度に対する深水波の伝播速度から計算した走時を赤線で併せて示したが，重力の影響が大きくなるにつれて，初動の伝播速度は次第に深水波の走時に近づいていくことが認められる．一方，重力の影響が大きくなるほど，発生したレイリー波が伝播するにつれて減衰し，代わりに初動により励起されたフェーズが発達する．また，二層構造の影響は反射 S 波のフェーズとして後続に現れ，初動として現れる重力の影響を受けたフェーズに影響しないことが認められる．



鉛直方向変位のペースト波形図

図－3 一層構造　　**図－4** 二層構造

（最上行は重力の影響なし，下の行ほど重力の影響が大きくなる．）

解析対象地盤	一層構造	二層構造（上層）	二層構造（下層）
P 波速度 [m/sec]	1500		1500
S 波速度 [m/sec]	100		1000
密度 [kg/m^3]	1400		2500

表－1 解析の対象領域の物理定数

参考文献

1) Gilbert, F.: Gravitationally perturbed elastic wave, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **57**, pp.783-794, 1967.