地域安全科学部門　生活・産業基盤分野

無限長周期構造物と地盤の3次元動的連成応答解析

阿部　和久

1. はじめに

連続橋に代表される長大構造物は，その長手方向にほぼ同一の構造単位を繰り返し配置する形態を有する．このような構造物に地震波動が入射する場合，橋軸方向に進行する波動の位相差が動的応答に影響を及ぼすことが懸念され，これまで当該問題に対し数値モデルに基づく検討がなされてきた[1)]．しかし，それらは有限長の構造形式を対象としているため，構造端からの反射波の影響と地震波の位相差の影響とを分離した議論ができなかった．そこで，著者らは無限周期構造を対象とした解法を構成し，位相差が結果に及ぼす影響について検討した[2)]．ただし，文献2）では2次元モデルを用いており，3次元地盤との連成を厳密に考慮できていない．そこで本研究では，地盤を3次元半無限成層弾性波動場としてモデル化し，それと周期構造物との連成解析手法を構成する．

2. 連成定常応答解析手法

図1 に示すような3次元半無限成層地盤上におかれた無限周期構造物を対象とする．構造物基礎は，長手方向に等間隔Lで配置されている．地盤は有限層数の等方均質な弾性体で構成されており，最下層は一様半無限場とする．入射波は平面波で与える．

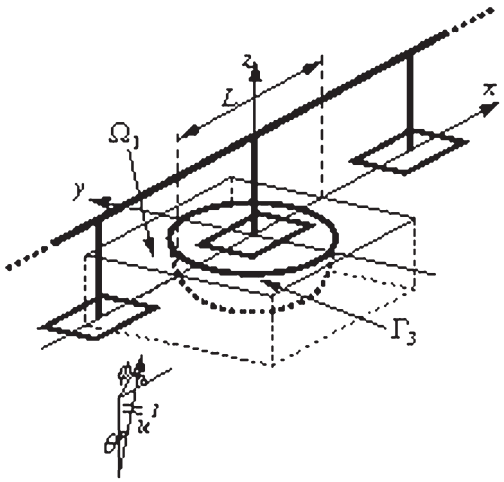


図1 対象とする問題

構造物1ユニットと，図1 の地盤境界Γ_3で囲まれた基礎周辺地盤とから成る部分領域の有限要素方程式に，構造物左右端のBlochの定理を適用する．さらに，Γ_3上の節点変位と内部節点力との関係を与えるインピーダンス行列を導出する．そのために，半無限地盤を対象にBlochの周期条件の下でΓ_3上のある節点を加振する問題を設定する．そこから，地盤最下層上面，x方向1周期およびそれと直交する水平軸y方向にとった有限範囲で囲まれた地盤部分Ω_1を取り出す．なお，y方向の幅は基礎を完全に包含する様に設定する．x方向両端面には，入射波動で規定されたBlochの周期条件が課せられる．当該地盤はy方向に一様なので，それをΩ_1の幅で規定された周期場と見なす．その下でy方向にFloquet変換すると，y方向両端面にもBlochの周期条件を課すことができる．以上のx,y方向周期条件の下，底面より下半無限場のインピーダンス行列を文献2）と同様の手順により求めておくと，当該問題はΩ_1の加振問題に帰着する．加振節点を順次変えながら当該問題を解いて得られるΓ_3上の節点変位と内部節点力とをそれぞれ縦ベクトルに持つ行列の逆Floquet変換を［U_3］，［F_3］とおくと，インピーダンス行列は［$F_3U_3^{-1}$］により求められる．

3　解析条件と解析結果

文献2）において2次元面外変位場を対象に行った解析に対応する3次元問題を，図2に示すように設定した．地盤は7層とし，最下層は半無限としている．地盤と構造物の物性値等の詳細については文献2）を参照されたい．Γ_3に関するインピーダンス行列の作成に際し，基礎の存在しない地盤のみで与えられるΩ_1の領域を8節点6面体要素19800要素により離散化した．なお，Γ_3内は2800要素で分割している．一方，連続構造物は3次元はり要素により離散化した．

文献2）においては，地表面x方向の波長が$2L$の入射SH波に対して，構造物に共振応答が認められた．これに対応したy方向変位を有するS波（ω=13.5rad/s, θ=42°）を入射した場合の変位応答を図3に示す．なお，図はy方向変位応答の実部を示したものである．地盤についてはx-z断面を表示している．図示はしていないが虚部の変位は実部に比べて小さく，入射波動はx軸方向に進行するものの，上部構造物のたわみはほぼ定常応答で与えられていることがわかる．また，橋脚部のたわみは小さく，そこが概ね節となる桁振動が得られており，定性的に文献2）に示した2次元解析と整合する結果となっている．

参考文献

1）竹宮宏和，甲斐史郎：深い杭基礎を有する多径間連続高架橋の地震応答解析，土木学会論文報告集，第332号，1-10，1983.

2）田村　建，阿部和久，紅露一寛：SH波の入射を受ける連続橋・半無限地盤連成系の定常応答解析，計算数理工学論文集，11, 47-52, 2011.

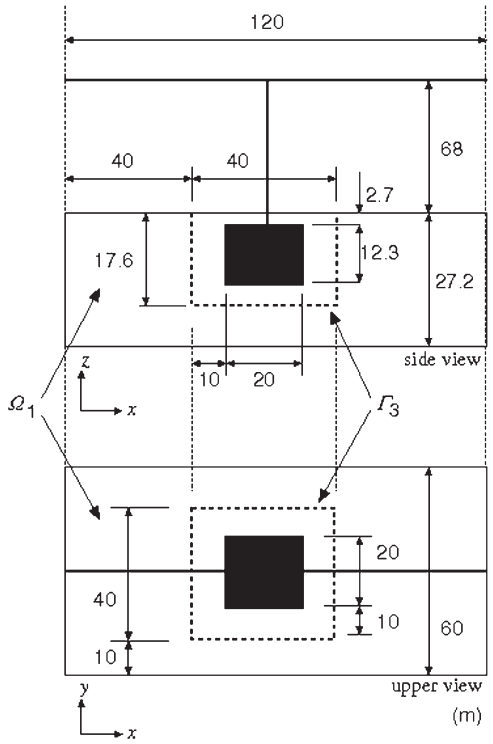


図2　解析条件

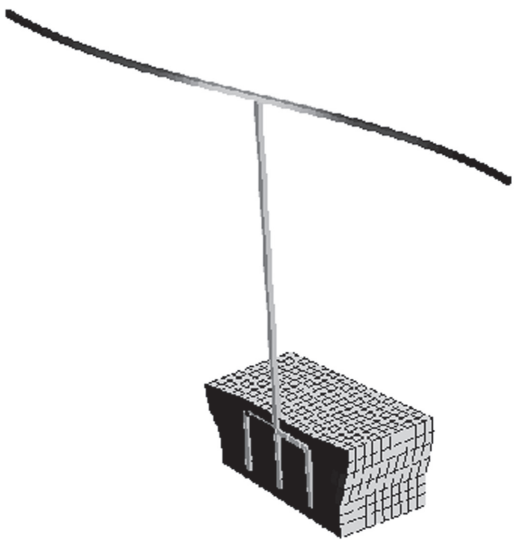


図3　解析結果