

工学的基盤の傾斜が地盤震動特性に及ぼす影響に関する研究

構造研究グループ 主任研究員 中川博人

# 工学的基盤の傾斜が 地盤震動特性に与える影響に関する研究

構造研究グループ 主任研究員 中川 博人

## I はじめに

1995年の兵庫県南部地震で見られた「震災の帯」や、2007年の能登半島地震で見られた局所的な被害やゆれの大きさを説明する理由のひとつとして、盆地構造や基盤傾斜構造など、いわゆる不整形地盤の影響が指摘されている(例えば、1)<sup>2)</sup>。不整形地盤を対象にした研究・検討はこれまでに多くある(例えば、3)<sup>3)</sup>が、地盤調査結果のあるサイトにおける観測記録との比較・検証は必ずしも十分に行われておらず、実際の基盤傾斜サイトにおける検討事例の蓄積が必要であると考えられる。また数値解析に限って言えば、入射波動が方位角・入射角を有する場合(2.5次元解析)や、3次元効果(3次元解析)等についての検討は少なく、基盤傾斜の影響を評価するにあたっては、これらの問題に対する基礎的な知見の蓄積が重要と考えられる。以上より本研究では、実際の基盤傾斜サイトを対象に実測記録との比較を行うとともに、2.5次元および3次元解析に基づき基盤の傾斜が地盤震動特性に与える影響について検討した。

## II 解析手法と解析プログラムの検証

上述のとおり、不整形地盤を対象とした波動伝播問題に関する研究は古くよりなされているが、3次元有限要素法(以下、FEM)による入射解析(例えば、4)<sup>4)</sup>においては、解析対象を取り囲む遠方地盤自体に斜面や傾斜層などの不整形性を有する報告は少なく、左右の地盤に違いのある2次元的不整形性を有する地盤に対して3次元に地震波が入射する問題について、理論的に厳密な数値解は見当たらない。これに対し、本研究では新たに上記の問題を解くことのできるFEM解析プログラムを作成した<sup>5)</sup>。解析は切欠き型の動的サブストラクチャー法に基づき、解析対象を有限要素によりモデル化して、境界にインピーダンスを付加するとともに入射波によるドライビングフォースを入力する。2.5次元FEMではインピーダンスとして側方には伝達境界を、底面にはダッシュポットを付加し、3次元FEMでは側方および底面境界へのインピーダンスとしてダッシュポットを、ドライビングフォースとして2.5次元解析結果を利用している。作成した解析プログラムの検証のため、図1右上に示す沖積谷地盤を対象とした

解析を行った<sup>6)</sup>。図1は沖積谷地盤における任意の方位角・入射角を有するSV波入射時の地表面応答であるが、図1を見るとわかるとおり、本研究で開発した解析プログラムの結果(線)は既往の結果<sup>7)</sup>(○)とほぼ一致している。

## III 基盤傾斜サイトにおける観測記録との比較

次いで、工学的基盤が傾斜しているサイト(いわき市役所)において観測記録との比較を行った。市役所敷地内では2011年東北地方太平洋沖地震の余震観測が実施されており、敷地の北側と南側(図2のGL-NとGL-Sに相当)で卓越周期が異なることが確認されている<sup>8)</sup>。著者らは敷地周辺のボーリングデータおよび近傍のPS検層結果に基づいて浅部地盤モデルを作成し、微動観測記録との比較を行っている<sup>9)</sup>。得られた浅部地盤モデルをもとに図2に示す解析モデルを作成し、FEM解析を実施した<sup>6)</sup>。図3は中心周波数4HzのRickerウェーブレットを鉛直下方から方位角45°で入射した場合のスナップショットである。傾斜層や基礎の存在により波動場が複雑となっていることがわかる。図4は余震観測記録のスペクトル比を解析結果(SV波入射、方位角を45°、入射角を0°、10°および20°とした)と比較したものである。図4を見ると、観測記録およびFEM解析結果の3~4Hz付近で1次元解析結

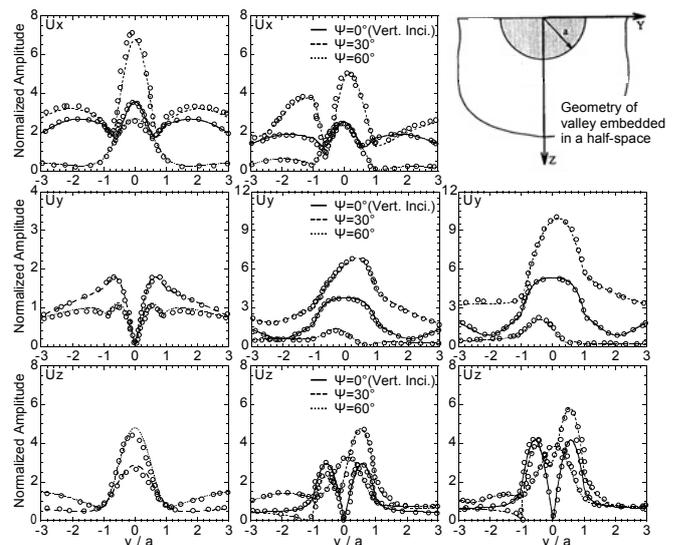


図1 沖積谷地盤における地表面応答<sup>7)</sup>との比較<sup>6)</sup>

果には現れないピークが認められ、不整形性による影響を示唆しているものと考えられる。また、今回の解析条件においては入射角の違いによって、解析結果には若干の差違があるものの大局的には変わらないように見える。これについては表層地盤のパラメータ等についてさらなる検討が必要である。

#### IV 基盤の傾斜角度の違いが地盤震動特性に与える影響

最後に、工学的基盤の傾斜角度の違いが地盤震動特性に与える影響に関する検討を行った。図5に解析結果の一例として、3種類の基盤傾斜角(6.3°、18.4°および45°)を有する二層地盤に対してS波を鉛直下方から入射した場合の伝達関数を示す<sup>10)</sup>。ここでは基盤傾斜角だけでなく入射波の振動方向(方位角)についても、0°、45°および90°の3ケースを検討している。図5左を見るとわかるとおり、基盤の傾斜角および入射波の振動方向によって1次元解析により得られた伝達関数とは違いが見られ、地盤の1次固有振動数付近よりも高振動数側において地盤の不整形性による影響が見てとれる。

一方で、図5右に示すように無質量の正方形埋込み剛基礎を配した場合の解析結果について見ると、入力との相互作用により相対的に基盤傾斜の影響が小さくなっていることがわかる。構造物への入力という観点からすると、地盤と基礎の条件によっては高振動数側で入力損失効果が見込まれる場合もあるため、実際の建設状況に即した検討が望まれる。

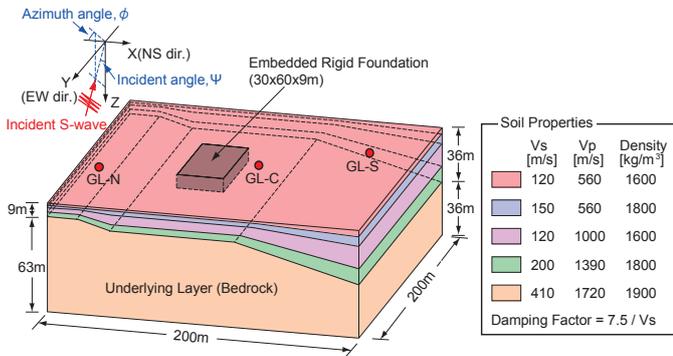


図2 実地盤を対象としたFEM解析モデルの概要<sup>6)</sup>

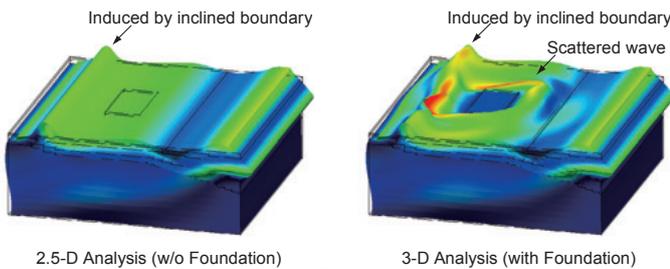


図3 スナップショット<sup>6)</sup> (中心周波数4HzのRicker waveletを鉛直下方から方位角45°でS波として入射した)

謝辞：いわき市役所より地盤調査資料を、福島県より地震観測記録をご提供いただきました。余震観測・微動観測等の実施にあたり、いわき市役所、建築研究所の他、たくさんの方々にご協力をいただきました。記して謝意を表します。  
参考文献：1) Kawase : SRL, Vol. 67, No. 5, pp. 25-34, 1996 2) 清水・前田 : AIJ 構造系論文集, No. 648, pp. 269-277, 2010 3) 頼瀬 : JSCE 論文集, I-17, pp. 1-18, 1991 4) 吉村・前田 : AIJ 構造系論文集, No. 564, pp. 55-62, 2003 5) Nakai & Nakagawa : EURO DYN, pp. 551-557, 2014 6) Nakagawa et al. : 10PCEE, Paper No. 159, 8pp., 2015 7) de Barros & Luco : SDEE, Vol. 14, pp. 163-175, 1995 8) 鹿嶋・他 : JAEЕ 大会, pp. 294-295, 2011 9) 中川・他 : JAEЕ 論文集, Vol. 15, No. 7, pp. 60-71, 2015 10) Nakagawa & Nakai : 2ECEES, 7pp., 2014

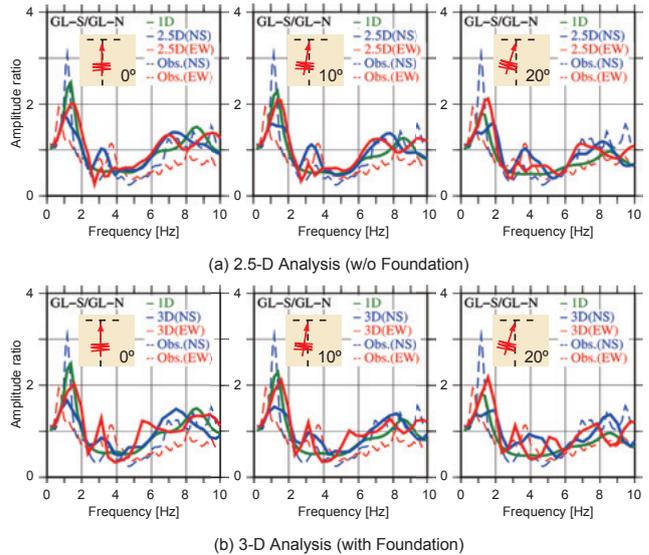


図4 解析結果と観測記録の比較<sup>6)</sup> (GL-S 地点/GL-N 地点)

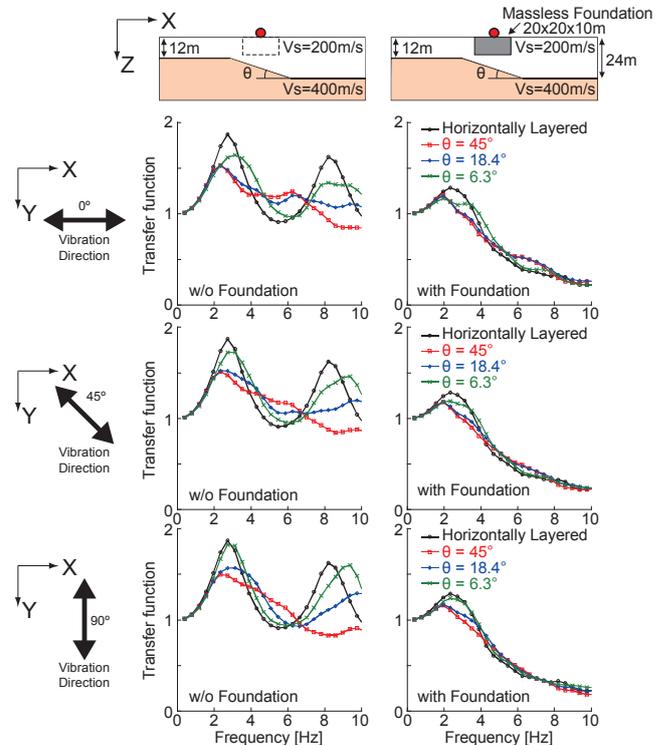


図5 基盤の傾斜角と振動方向が伝達関数に与える影響<sup>10)</sup>