

1) - 6 2・3 次元的な地盤の不整形性が地盤振動特性に及ぼす影響 に関する基礎的研究【基盤】

Study on the Effects of Two- and Three-Dimensional Irregularities on Dynamic Characteristics of Ground

(研究期間 平成 25~27 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

中川 博人
NAKAGAWA Hiroto

The objective of this study is to investigate the effects of two- and three-dimensional irregularities on dynamic characteristics of ground. Analysis was conducted by a three-dimensional finite element method and the combination of a 2.5-dimensional thin layer element and a 2.5-dimensional finite element method in conjunction with a substructure technique. One of the main advantages of the method is that the far-field ground involves irregularities, which is rarely seen in the previous literatures. In this study, it was confirmed that the wave field becomes complex due to inclined boundary and/or foundation. It was also found that the effect of the inclined boundary has minor influence on foundation input motion, depending on a configuration of foundation and soil condition.

【研究目的及び経過】

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)2)。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)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 次元的な効果(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。

【研究内容】

1. 解析手法および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)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 次元的な不整形性を有する地盤に対して 3 次元的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⁵⁾。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⁶⁾。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⁷⁾(○)とほぼ一致している。

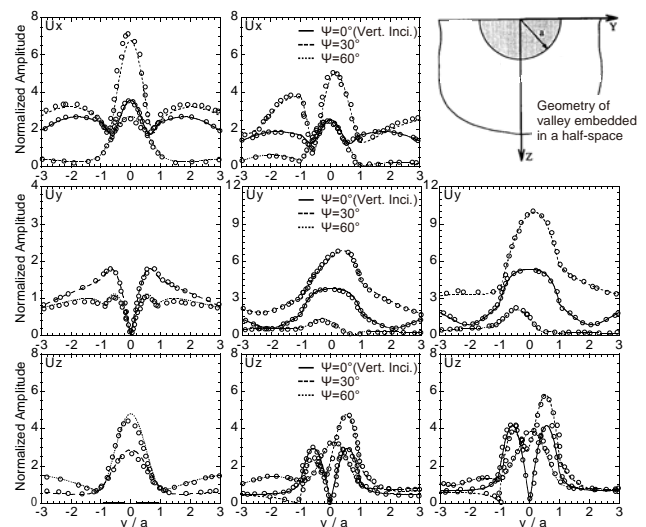


図 1 沖積谷地盤における地表面応答解⁷⁾との比較⁶⁾
2. 実際の基盤傾斜サイトにおける観測記録との比較

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⁸⁾。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⁹⁾。得られた浅部地盤モデルをもとに図 2 上に示す解析モデルを作成し、FEM 解析を実施した⁹⁾。図 2 下は中心周波数 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 3 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 3 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。

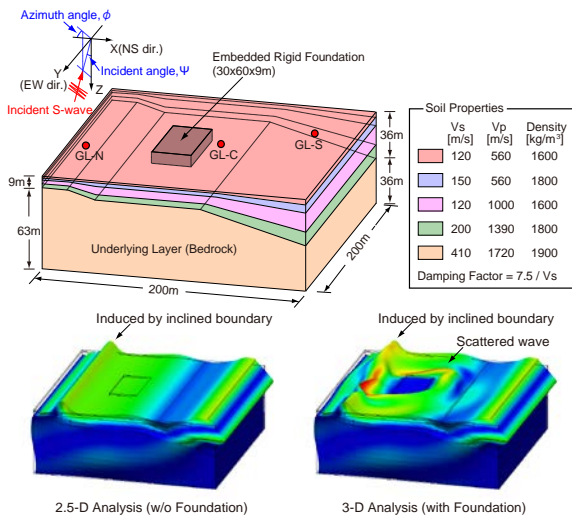


図 2 FEM 解析モデルの概要(上)および解析結果例(下)⁶⁾

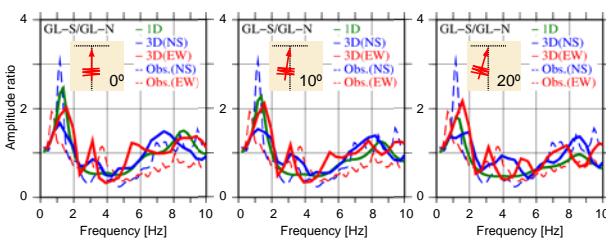


図 3 解析結果と観測記録の比較⁶⁾ (GL-S/GL-N 地点)
3. 基盤の傾斜角度の違いが地盤震動特性に与える影響

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 4 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¹⁰⁾。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 4 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で地盤の不整形性による影響が見てとれる。

一方で、図 4 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。

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、様々な機関の方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) 額畑 : 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 : JAE 大会, pp. 294-295, 2011 9) 中川・他 : JAE 論文集, Vol. 15, No.7, pp. 60-71, 2015 10) Nakagawa & Nakai : 2ECEES, 7pp., 2014

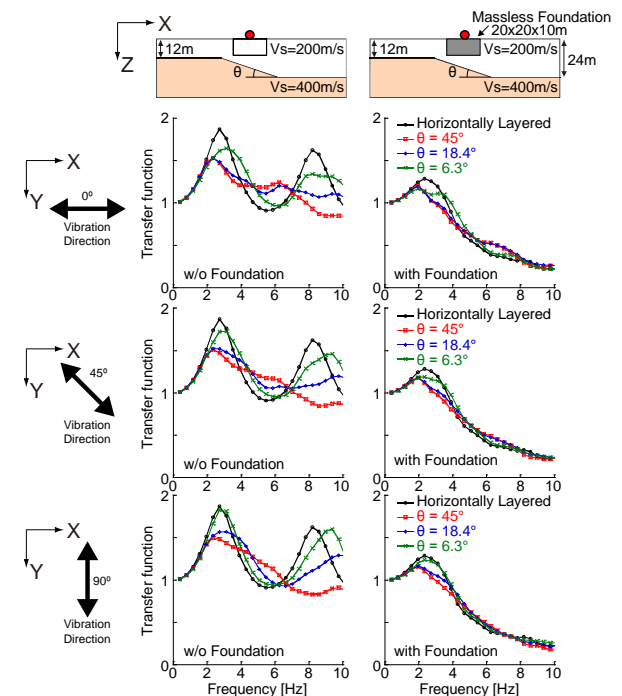


図 4 基盤傾斜角と振動方向が伝達関数に与える影響¹⁰⁾