(財)電力中央研究所 正会員 田中幸久

1.はじめに

大地震時の地盤変形挙動ならびに地盤と構造物の相互作用を調べるため,『花蓮プロジェクト』と呼ばれる国際共同研究が平成2年度から開始され現在進行している.このプロジェクトでは台湾・花蓮地点に建設された模型原子炉建屋の強制振動時の応答ならびに地震応答に関して正確な予測をするために詳細な地盤調査・試験が行われ,その結果の一部は既にくつか報告されている^{1)~6}.地震観測記録に対する逆解析結果,クロスホール法速度検層結果ならびに模型建屋に対する強制加振実験結果は方位により変化することが報告されている.この原因は,本地点の砂礫層の堆積面が水平面に対して傾斜しているためであり,その特性は水平面に対して傾斜した『等方な面(面内等方性を有する面)』を有する直交異方性弾性体でモデル化することによって定性的に説明できることが明らかにされている²⁶.本報告では,掘削前の水平地盤を対象として実施された原位置速度検層の実測値を直交異方性弾性体モデルによる理論的な計算値と定量的に比較する.

2. 直交異方性弾性体内の波動の伝播速度

一般に,弾性体の[D]マトリックスと波動の伝播方向 が与えられればそれに対応した弾性波速度が理論的に存 在する⁷⁾.[D]マトリックスに対応した平面波の伝播速度 vは,[D]マトリックスの固有方程式を解くことにより計 算できる⁷⁾.固有方程式は v²に関する3次方程式であ り,3つの平面波に対応した3つの正の解を有している. また,これらの3つの解が互いに異なる場合には,各々 の平面波の振動方向は互いに直交している⁷⁾.クロスホ ール法速度検層のように平面波が図1のx軸に平行に伝 播する場合やダウンホール法速度検層のように平面波が 図1のz軸に平行に伝播する場合には固有方程式は v² に関して3つの異なる正の解を有する.

図1のx軸に平行に伝播する場合の3つの異なる正解のうちの一つは, x軸に平行な振動方向を有する縦波に



図1 波動の伝播方向,振動方向と異方性の関係

対応しており,他の2つはx軸に直交する振動方向を有する横波に対応している.さらに,2つの横波は,y軸方向卓越した振動方向を有するものとz軸方向に卓越した振動方向を有するものにわかれる.ところで花蓮地点で実施されたクロスホール法速度検層では,まずボーリング孔の孔壁に油圧ジャッキで金属板を押しつけ,その金属板から鉛直上方に突き出した金属棒を打撃することにより,鉛直方向に振動し,水平方向に伝播するS波を発生させた²⁾.従って,前述した理論解により得られた2つの横波のうち,z軸方向に卓越した振動方向を有する横波がクロスホール法弾性波探査において測定されたせん断波に対応している.

3. せん断波速度の実測値と計算値の比較

図2中の実線は,地震観測記録に対する逆解析結果から物性値を定めた直交異方性弾性体モデルを用いて理論的にクロスホール法速度検層によるせん断波速度を算出し実測値と比較したものである.クロスホール法速度検層によるせん断波速度の計算値は実測値よりもやや大きい.しかし,せん断波速度の測定値との間の大体の傾向は,計算値により表現さ キーワート::砂礫,異方性,せん断波速度,速度検層,理論計算 連絡先(〒270-1194,千葉県我孫子市我孫子 1646,TEL:0471-82-1181,FAX:0471-84-2941) れていると言える.

ダウンホール法速度検層のように平面波が図 1中のz軸に平行に伝播する場合,固有方程式の 3つの異なる正解のうちのひとつは,z方向に卓 越した振動方向を有する縦波に対応しており, 他の2つの解は図1に示す。軸方向ならびに軸 方向に卓越した振動方向を有する2つの横波に 対応している.s軸方向ならびに軸方向に卓越 した振動方向を有する2つの横波のせん断波速 度をそれぞれ v_{s, DH, s}ならびに v_{s, DH, t}と表す.v_s DH.s と vs.DH.t の値は, ダウンホール法によるせ ん断波速度の実測値とともに図3中に示されて いる.図3によればダウンホール法によるせん 断波速度の実測値は,約330m/sと約390m/sの 2つのグループに分かれているように見える. 前者ならびに後者の値は,それぞれ v, DH t と v。 рн 。に対応しているものと思われる.

尚,図2ならびに図3に示した計算結果は, =35°, $E_h/E_v = 1$ (:砂礫層の堆積面の 傾斜角, E_h, E_v : それぞれ堆積面に平行,垂直に 載荷した場合のヤング係数)の条件下で得られ たものであるが,これ以外のパラメータの条件 でも計算されている⁶⁾.それらの結果に共通して 以下の点が指摘できる.

クロスホール法によるせん断波速度の実測値 は計算値よりもやや大きい傾向がある. v_{s,DH,t}の計算値は実測よりも小さい.

上記 , の原因は,砂礫層内の不均一性に より実測せん断波速度が過大評価されるためで 図3 あると思われる^{4/5/6}.







ダウンホール法速度検層によるせん断波速度の実測値と直交異 方性弾性体モデルによる計算値の比較

参考文献:1) Ueshima,T. and Okano, H. (1996): "Further investigation of seismic response of soil and embedded structure in Haulien LSST program, 'Paper No.1930, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd. 2) 岡本敏郎・國生剛治・西好一・田中幸久・澤田義博・上島照幸・工藤康二・片岡哲之・鈴木浩一・矢島浩・池見元宣・東貞成・河井正(1998): "台湾・花蓮地点における大規模耐震実証試験研究, 現地調査による建屋基礎砂礫および周辺地盤のモデル化," 電中研研究報告,U97062.3) 田中幸久(1998):花蓮地点砂礫層の不均一性と異方性がせん断波速度に及ぼす影響,第 33 回地盤工学研究発表会,pp.717-718.4) 田中幸久他(1997):台湾・花蓮地点地震観測・起振実験結果にみられる基礎直 下砂礫層の異方性挙動のモデル化,第22回地盤工学研究発表会,pp.851-852.5) 田中幸久(1998): "台湾・花蓮地点に おける大規模耐震実証試験研究,直交異方性弾性体による砂礫層のモデル化,"電中研研究報告U97090.6) 田中 幸久(2000): "台湾・花蓮地点における大規模耐震実証試験研究, 直交異方性弾性体モデルを用いた動的シミュレーシ ョン解析,"電中研研究報告U99038.7 Kolsky, H. (1963): Stress waves in solids, Dover Publications, Inc., pp.38-40.