佐賀平野における軟弱地盤免震効果について

佐賀大学大学院　工学系研究科都市工学専攻　学生会員　○中野雄介
正会員　荒牧軍治
正会員　古賀勝喜

１．まえがき

佐賀平野とそれに隣接する白石平野には、道路橋示方書が示すIII種地盤の中でも特に軟らかく、せん断波速度が程度の有明粘土層が厚く堆積している。この軟弱地盤により佐賀平野では、工学的基盤に入力した地震波による地表面加速度の応答スペクトルは、**図-1** の青の線で示すように，長周期側で大きく減少する通常の性質を示すほかに、周期が 1 秒以下の短周期側においても応答スペクトルが小さくなる特殊な性質も示す。このような超軟弱な地盤で起こる免震は『軟弱地盤免震』と呼ばれる。この性質を用いると、佐賀平野に構築される構造物は，剛性が高く固有周期の短い構造物に作用する慣性力が小さくなることが期待できる。

本研究では、有明沿岸道路建設予定地で得られた地盤物性値と地盤構成図を用いて、地盤のひずみ依存性を考慮した 1 次元地盤応答解析を行い、鉄道構造物等設計標準及び建築基準法施行令等に示される加速度応答スペクトルと比較検証することで、軟弱地盤免震効果を明らかにした。

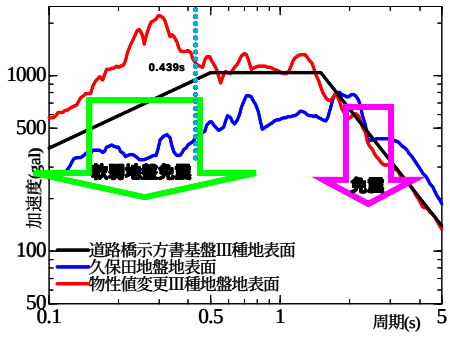

図-1　軟弱地盤免震

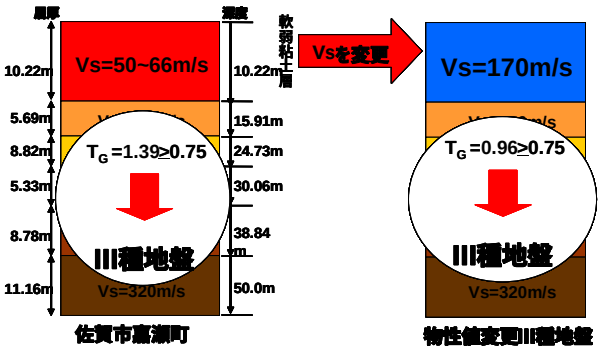

図-2　地盤モデル

２．解析方法

解析には市販の成層地盤の地震応答解析プログラム k-SHAKE ***1*** を用いた。SHAKE は 1 次元非線形動的解析ソフトで、水平方向に半無限に広がりのある均質、粘弾性の幾つかの層からなる土層でのせん断波の縦方向伝播に対する応答計算をせん断弾性係数および減衰の非線形特性を考慮して行うことができるプログラムである。有明粘土のせん断弾性係数及び減衰定数の非線形性は、六角川周辺で採取された粘土資料を用いて行われた中空ねじり試験結果より得られた値を用いた。地震動としては、模擬地震波作成プログラム ARTEQ ***2*** を用い、各示方書で規定された加速度応答スペクトルに適合した人工地震波を作成して使用した。なお、位相角としては乱数を用いたものとコンクリート標準示方書に示される地震波の位相特性を用いた。

(1) 解析に用いた地盤

本研究で解析においては、現在建設中の有明海沿岸道路佐賀-福富間の佐賀郡久保田町、小城市芦刈町、佐賀市嘉瀬町、杵島郡白石町福富の 4 箇所において実施された地盤調査により得られた地盤データを用いた。また佐賀平野の超軟弱地盤の特性を明らかにするため、比較対象モデルとして、物性値を変更した比較的硬い軟弱地盤モデルを作成し解析に用いた。佐賀市嘉瀬町の地盤モデルでの軟弱粘土層は地表面から 10m 程度であり、そのせん断波速度は 50~66(m/s)が得られている。この地表面から 10m 程度の地盤のせん断弾性波速度を有明粘土層の下層の蓮池層のせん断波速度 170(m/s)に変更し、単位体積重量を 17.658(N/m3)に変化させたモデルを作成した。以下、

キーワード：軟弱地盤免震、鉄道構造物等設計標準、建築基準法施行令
連絡先：佐賀大学理工学部都市工学科（〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町１番地・Tel. 0952-28-8688・Fax. 0952-28-8699）

この地盤を物性値変更III種地盤と呼ぶ。**図-2** に示すように佐賀市嘉瀬町のオリジナル地盤は地盤種別の指標となる卓越周期が 1.39 秒と長周期であるのに対し、物性値変更III種地盤は卓越周期が 0.96 秒と短周期になるが、道路橋示方書の地盤種別ではIII種地盤に分類される地盤である。

(2) 解析に用いた地震波

本研究では、工学的基盤面に入力する地震波として建築基準法施行令により規定されている『極めて稀に発生する地震動』を用いて解析を行った。『極めて稀に発生する地震動』とは、数百年に一度発生する地震を想定して規定されたものである。地震動は、ARTEQ を用いて示方書で規定された加速度応答スペクトルに適合した人工地震波を作成して使用した。人工地震波は位相角の与え方によって性質が異なることが知られているので、位相角に乱数を用いたもの 1 種類と、コンクリート標準示方書に示される海洋型の位相特性を使用して作成した 2 種類、合計 3 種類の地震波を用いた。

３．結果

図には建築基準法施行令の地表面加速度が得られていない場合に使用することを認めている地表面加速度応答スペクトル（略算法と呼ぶ。橙色）と、国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部作成の限界耐力簡易（地盤増幅）プログラムにより得られた加速度応答スペクトル（精算法と呼ぶ、緑色）及び鉄道構造物等設計標準が地盤増幅計算を行わない場合に使用することを認めている地表面加速度応答スペクトル（茶色）も併せて示している。

結果より 1.5 秒を超す長周期側では精算法により得られた加速度応答スペクトルに一致している。一方短周期側では、いずれの場合も略算法、精算法のいずれの場合よりも非常に小さな値を示している。嘉瀬町の地盤では鉄道構造物等設計標準のスペクトルにほぼ合致している。鉄道構造物等設計標準が示す G6、G7 地盤では短周期側で加速度応答スペクトルが非常に小さくなり、軟弱地盤免震の妥当性を示している。

物性値変更地盤 における地表面加速度応答スペクトルの 1.5 秒以上の長周期側では、オリジナル地盤の場合と同様、精算法で得られた加速度応答スペクトルにほぼ合致している。一方、短周期側においては久保田地盤においては周期 0.3 秒付近で略算法や精算法を大きく上回る異常な挙動を示すものの、他の３地点においては略算法、精算法にほぼ類似の加速度応答スペクトとなっている。すなわち、略算法及び精算法が想定している地盤が、同じ軟弱地盤であっても、佐賀平野の有明粘土の下層地盤である蓮池層によって置き換えられた程度の軟弱地盤である事を示している。

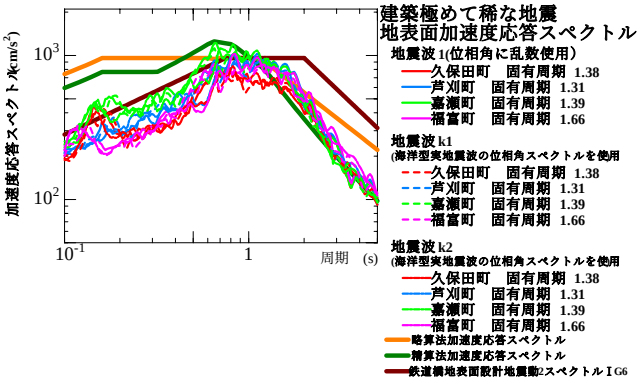

図-3　４箇所における地表面加速度応答スペクトル

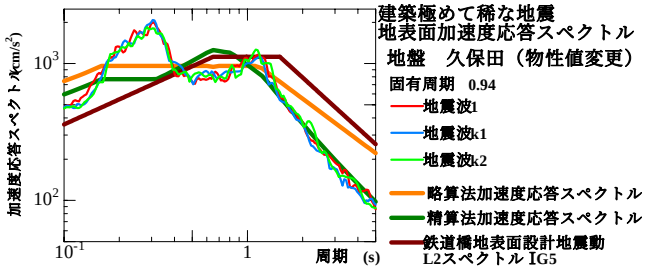

図-4　久保田町物性値変更・地表面加速度応答スペクトル

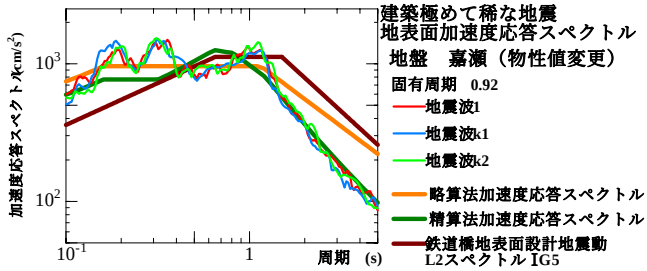

図-5　嘉瀬町・地表面加速度応答スペクトル

***1　k-SHAKE + for Windows Version 3.02　(C)　1997-2000　株式会社　構造計画研究所**

***2　ARTEQ + for Windows Version 3.00　(C)　1997-2000　株式会社　構造計画研究所**