

軟弱地盤免震を考慮した建築構造物の耐震設計

佐賀大学大学院工学系研究科

学生会員

○高畑賢一

正会員

荒牧軍治

正会員

古賀勝喜

1. まえがき

軟弱な有明粘土層が厚く堆積している佐賀平野の基盤層に、建築基準法施行令に示される応答スペクトルに適合した地震波を入力した場合の地表面加速度応答スペクトルは、固有周期が1秒以下の短周期側で非常に小さくなる(図-1 参照)。このように、非常に軟弱な地盤で起こる特殊な免震的現象を軟弱地盤免震と呼ぶこととする。

これまでの研究ではコンクリート標準示方書の基盤入力波を用いて、佐賀平野地盤上の橋梁構造物について動的応答解析を行い短周期構造物において極めて顕著な軟弱地盤免震効果があることを明らかにしてきた。

本研究では耐震強度偽造問題などもあり、標準的な建築構造物をモデルとして、軟弱地盤免震について検証を行うこととした。

2. 地震波とモデル

工学的基盤に入力する地震波は建築基準法施行令に準拠した「稀に発生する地震動」、「極めて稀に発生する地震動」、コンクリート標準示方書に準拠した L1 地震動、L2 海洋型地震動、L2 内陸型地震動、鉄道橋示方書に準拠した L1 地震動、L2 海洋型地震動、L2 内陸型地震動により解析を行った。

地盤は佐賀平野の軟弱地盤として佐賀郡久保田町の物性値を用いて解析を行った。この地盤はせん断弾性波速度 $V_s=58(\text{m/s})$ 、 N 値=0 という非常に軟弱な地盤であり佐賀平野一帯にこのような地盤が広がっている。これと比較する地盤として V_s を $58(\text{m/s})$ の層を仮想的に $160(\text{m/s})$ に変化させた比較的硬い軟弱地盤を用いた。なお、以下では物性値を仮想的に変更した地盤を物性値変更Ⅲ種地盤と呼ぶことにする。

建物は六階建ての鉄筋コンクリート造の事務所ビル(図-2)を用いて解析を行った。

表-1 地盤物性値

佐賀郡久保田町 増幅定数=0.05	地盤特性	深度(m)	$V_s(\text{m/s})$	$\nu(\text{KN/m}^3)$
盛土層	0.63	58	15.696	
蓮池層上部	1.7	58	15.696	
有明粘土	2.43	58	14.715	
	9.05	58	14.715	
蓮池層下部	10.1	58	14.715	
	11.8	160	16.677	
三田川層	12.92	160	16.677	
	20.81	210	17.658	
阿蘇-4火砕流堆積物	23.64	240	14.715	
中原層上部	24.62	240	14.715	
	30.33	170	14.715	
	32.27	170	17.658	
中原層下部	40.7	290	18.639	
	50	350	19.62	



物性値変更Ⅲ種地盤	地盤特性	深度(m)	せん断弾性波速度 $V_s(\text{m/s})$	単位体積重量 $\gamma(\text{KN/m}^3)$	減衰定数 ν
盛土層	0.63	160	16.677	0.05	
蓮池層上部	1.7	160	16.677	0.05	
有明粘土	2.43	160	16.677	0.05	
	9.05	160	16.677	0.05	
蓮池層下部	10.1	160	16.677	0.05	
	11.8	160	16.677	0.05	
三田川層	12.92	160	16.677	0.05	
	20.81	210	17.658	0.05	
阿蘇-4火砕流堆積物	23.64	240	14.715	0.05	
中原層上部	24.62	240	14.715	0.05	
	30.33	170	14.715	0.05	
	32.27	170	17.658	0.05	
中原層下部	40.7	290	18.639	0.05	
	50	350	19.62	0.05	

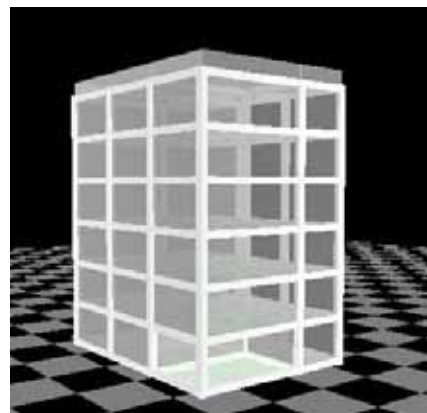


図-2 事務所ビル

3. 解析方法

解析に用いたソフトは表層地盤の増幅率を求める平12建告1457号第7第2号による方法(以下、略算法)、限界耐力計算地盤増幅簡易プログラムによる方法(以下、精算法)、成層地盤時刻歴応答解析プログラム k-SHAKE を用いて解析(以下、SHAKE)を行い、表層地盤の加速度応答スペクトルを建築、コンクリート、鉄道橋の三つにより比較を行った。

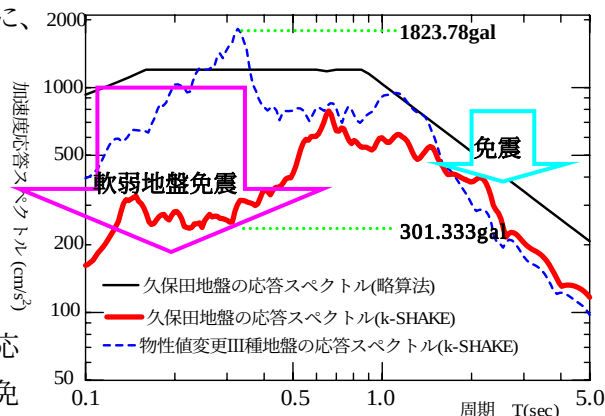


図-1 極めて稀に発生する地震動

建築構造物の解析にはユニオンシステム社の大臣認定ソフト SS2 を用いた。許容応力度等計算、限界耐力計算のそれぞれの求め方により固有周期を求め、稀に発生する地震動、極めて稀に発生する地震動から加速度を決め、そこからそれぞれの層せん断力係数を求め、一次設計用に稀に発生する地震動を保有耐力用に極めて稀に発生する地震動の層せん断力係数を直接与えることにより解析を行った。

4.解析結果

(1)表層地盤の加速度応答スペクトルの比較

極めて稀に発生する地震動を工学的基盤に入力して求めた表層地盤の加速度応答スペクトルを図-3 に示す。極めて稀に発生する地震動の地表面の加速度応答スペクトルは精算法では久保田、物性値変更Ⅲ種地盤ともに $0.64 < T_G$ では略算法を大きく上回り、 $1.2 < T_G$ では逆に下回っている。SHAKE では物性値変更Ⅲ種地盤は $T_G < 0.4$ で略算法を大きく上回っており、久保田地盤は略算法を完全に下回っている結果となった。精算法では両地盤による差は見られないが、SHAKE では固有周期 $T=0.3$ のとき久保田地盤の加速度が 593.14gal、物性値変更Ⅲ種地盤の加速度が 2010.14gal となっており大きな差が生じる結果となった。他の地震動でも同様の結果が得られた。

(2)建築構造物

建築基準では層せん断力係数が一次設計用では 0.2、保有耐力用では 1.0 となっている。そのときの保有水平耐力 $Q_u=7979\text{kN}$ (図-4●)、必要保有水平耐力(図-4△) $Q_{un}=6120.5\text{kN}$ で安全率 Q_u/Q_{un} が 1.3 となっておりこの値と比較を行った。許容応力度等計算のやり方で固有周期を求めた場合 $T=0.469$ となった。久保田地盤の場合、加速度から求めた層せん断力係数を一次設計用には稀に発生する地震動、保有耐力用には極めて稀に発生する地震動の値を入力すると $Q_u=8407.6\text{kN}$ (図-4■)、 $Q_{un}=3396.9\text{kN}$ (図-4▽)で安全率 Q_u/Q_{un} が 2.48 となり非常に安全であると言える。物性値変更Ⅲ種地盤の場合は、 $Q_u=8432.7\text{kN}$ (図-4◇)、 $Q_{un}=6977.3\text{kN}$ (図-4×)で安全率 Q_u/Q_{un} は 1.21 となり、基準と差があまり見られない。限界耐力計算のやり方で固有周期を求めた場合、損傷限界時が $T=1.0$ 、安全限界時が $T=1.2$ となった。上記とどのように層せん断力係数を入力すると、久保田地盤の場合は $Q_u=8441.6\text{kN}$ (図-5■)、 $Q_{un}=5959.8\text{kN}$ (図-5▽)で安全率 Q_u/Q_{un} が 1.42 となった。物性値変更Ⅲ種地盤の場合は $Q_u=8413.2\text{kN}$ (図-5◇)、 $Q_{un}=9165.4\text{kN}$ (図-5×)で安全率 Q_u/Q_{un} が 0.92 となって建築基準を満たしていない結果となった。同様の解析を動的解析によっても検証したが、その結果については講演時に発表する。

5.まとめ

佐賀平野のような超軟弱地盤では、固有周期が 0.8 秒以下の場合、加速度が減少する軟弱地盤免震が働いていると考えられ、建築構造物の応答値を見てもその効果が確認できた。よって、佐賀平野に最も多く建設されている短周期構造物においては「極めて稀に発生する地震動」の地表面加速度は略算法などで得られるものより小さな値を用いてよいものと思われる。

参考文献 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐震設計性能評価指針(案)・同解説

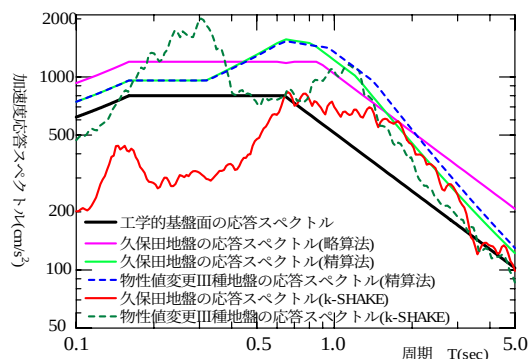


図-3 極めて稀に発生する地震動の比較

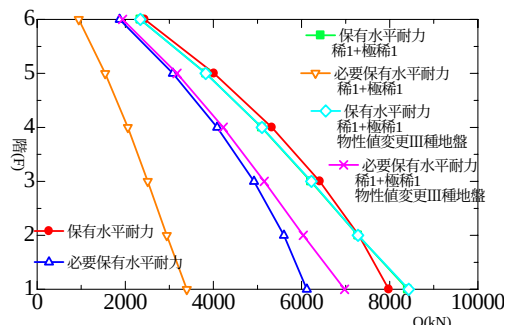


図-4 Q-δ 曲線 $T=0.469$ の場合

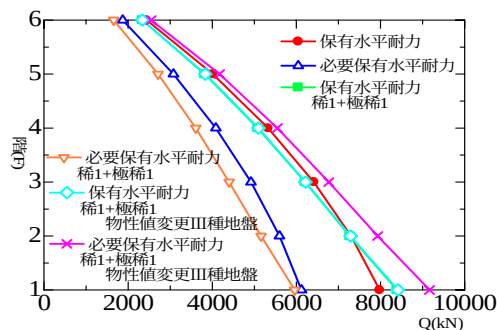


図-5 Q-δ 曲線 $T=1.0$ の場合