

盛土の伝達関数と地震波入力時の地震応答との関係

愛媛建設コンサルタント 正会員 ○西本 健一
 愛媛建設コンサルタント 正会員 神野 邦彦
 愛媛大学大学院理工学研究科 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

FEMによる地震応答解析は、基盤に入力される地震動に対して自由地盤や盛土がどのように地震応答するか、すなわち、増幅や低減を示す振動特性として把握することができる。耐震設計の実務の観点からは、特定の地震波に対する最大応答の比率が重要である。本論文では、増幅特性を決定づける要因を検討するため、地震波に関係なくシステムの特長としての伝達関数で評価し、盛土の伝達関数と地震波入力時の地震応答の関係を検討する。

2. 解析モデル

解析モデルに使用した盛土形状は、盛土幅 60m、盛土高 9m でのり面勾配が 1:2 である。盛土周辺の軟弱地盤の層厚は 20m であり、盛土幅の 3 倍である 180m をモデル領域とした。図-1 に示すようにモデル領域は、盛土堤体、堤体下部、周辺表層地盤および基盤に分け、地盤のせん断波速度は、それぞれの領域で均質として設定する。

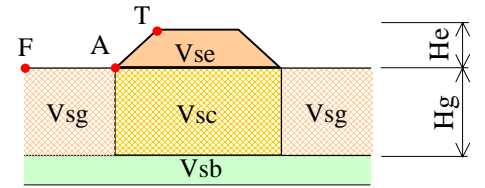


図-1 盛土と周辺地盤の基本モデル

解析は全て線形解析とする。単位体積重量 ρ とポアソン比 ν 、減衰定数 h はすべて一定値とし、それぞれ 2.0kN/m^3 、0.45、1.0% である。入力地震動は、中央防災会議が公開している地震動のうち南海地震を想定した工学的基盤面における一つの地震動を用い、基盤層下面 GL-25m の粘性境界を通して入力する。入力地震動の最大加速度は 372cm/s^2 である。

3. 解析結果と考察

自由地盤地表に対する盛土堤体法肩の相対的な増幅特性を表す伝達関数比について検討する。表-1 に解析結果として、自由地盤と盛土法肩の最大加速度応答や伝達関数の諸数値を示す¹⁾。表中の固有振動数比は、1/4 波

表-1 自由地盤と盛土法肩の最大加速度応答と伝達関数の諸数値

解析 ケース	せん断弾性波速度 (m/s)					表層地盤と盛土部平均の固有振動数比 fg/feq	1次卓越振動数 (Hz)		盛土法肩/自由地盤地表の相対増幅率の振動数(Hz)		最大加速度応答値 (cm/s^2)		最大加速度応答の入力地震動に対する増幅倍率		盛土法肩の自由地盤地表に対する最大加速度比 T/F	盛土法肩/自由地盤地表の相対増幅率における盛土の1次卓越振動数での振幅値
	盛土堤体 Vse	堤体下部 Vsc	表層地盤 Vsg	基盤 Vsb	盛土部平均 Vseq		自由地盤/入力波	盛土法肩/入力波	1次ピーク	1次ディップ	自由地盤地表 F	盛土法肩 T	自由地盤地表 F/B	盛土法肩 T/B		
a150A	150	150	150	150	150	1.45	1.87	2.37	2.39	7.12	369	449	0.99	1.21	1.22	1.43
a150B	150	150	150	300	150	1.45	1.87	1.64	1.55	2.29	538	672	1.45	1.81	1.25	1.63
a150C	150	150	150	600	150	1.45	1.87	1.64	1.56	2.21	739	879	1.99	2.36	1.19	2.17
a300A	300	300	300	150	300	1.45	3.74	6.05	5.40	7.85	267	314	0.72	0.84	1.18	1.72
a300B	300	300	300	300	300	1.45	3.74	4.74	4.79	14.23	270	420	0.73	1.13	1.56	1.43
a300C	300	300	300	600	300	1.45	3.74	3.28	3.10	4.59	459	642	1.23	1.73	1.40	1.63
a600A	600	600	600	150	600	1.45	7.47	-	11.50	15.73	204	222	0.55	0.60	1.09	2.47
a600B	600	600	600	300	600	1.45	7.47	12.10	10.80	15.71	310	333	0.83	0.90	1.07	1.72
a600C	600	600	600	600	600	1.45	7.47	9.47	9.56	-	375	408	1.01	1.10	1.09	1.43
c150B	300	150	150	300	197	1.11	1.87	1.64	1.53	2.39	516	549	1.39	1.48	1.06	1.40
c180B	300	180	150	300	217	1.00	1.87	1.73	1.43	2.31	521	477	1.40	1.28	0.92	1.15
c225B	300	225	150	300	248	0.88	1.87	1.71	3.33	1.94	492	446	1.32	1.20	0.91	0.80
c300B	300	300	150	300	300	0.73	1.87	1.37	3.88	1.97	518	396	1.39	1.06	0.76	0.60
c450B	300	450	150	300	403	0.54	1.87	8.85	3.92	2.00	522	348	1.40	0.94	0.67	0.45
c600B	300	600	150	300	507	0.43	1.87	9.07	3.33	2.03	512	332	1.38	0.89	0.65	0.40
c150C	300	150	150	600	197	1.11	1.87	1.66	1.57	2.28	717	738	1.93	1.98	1.03	1.80
c180C	300	180	150	600	217	1.00	1.87	1.78	1.62	2.29	709	756	1.91	2.03	1.07	1.24
c225C	300	225	150	600	248	0.88	1.87	1.90	3.10	1.84	734	624	1.97	1.68	0.85	0.77
c300C	300	300	150	600	300	0.73	1.87	2.51	3.26	1.87	801	520	2.15	1.40	0.65	0.46
c450C	300	450	150	600	403	0.54	1.87	9.23	3.70	1.89	737	479	1.98	1.29	0.65	0.30
c600C	300	600	150	600	507	0.43	1.87	9.22	3.76	1.89	726	457	1.95	1.23	0.63	0.25
d300B	300	300	225	300	300	1.09	2.77	2.23	1.22	2.97	399	427	1.07	1.15	1.07	1.02
d300C	300	300	225	600	300	1.09	2.80	2.75	1.87	2.95	571	611	1.53	1.64	1.07	1.04

長則($f=V_s/(4H)$)より基本固有振動数を求め、自由地盤地表 f_g と盛土法肩 f_{eq} の比を算出したものである。自由地盤に対する盛土堤体法肩の相対的な増幅特性を表す伝達関数比を相対増幅率とする。図-2 に $V_{sg}=150$, $V_{sb}=300$, $V_{se}=300$ m/s の場合についての相対増幅特性を堤体下部地盤のせん断波速度 V_{sc} が連続的に変化する場合の相対増幅係数スペクトルを示す。相対増幅係数では、 V_{sc} が 150 と 180 の場合には盛土（盛土法肩/入力波）の 1 次卓越振動数付近にピークがあり、 V_{sc} が大きいほどその振幅が小さくなり、やがて 1 より小さくなる。 V_{sc} が 225 以上では地盤（自由地盤/入力動）の 1 次卓越振動数に相当する 2Hz 付近にディップが現れる。

これは 1/4 波長則より求めた表層地盤と盛土部平均の固有振動数比 f_g/f_{eq} が 1 以上であるかないかに相当する。

また、相対増幅係数の場合、自由地盤地表に対する盛土法肩の伝達関数比であるので、相互作用を無視すれば一次元でも概要は把握できる可能性があると考えられる。

次に、最大加速度応答の増幅・低減が盛土の増幅係数スペクトルや相対増幅係数スペクトルについて定量的な関係を考察する。表-1 に基づいて、自由地盤と盛土法肩の最大加速度応答の比と相対増幅係数の 1 次ピーク値の関係を図-3 に示す。回帰式として $y=0.377\ln(x)+1.001$ が得られた。解析ケースの数が実地盤モデルを含めて合計 39 ケースに限定されているため概略の傾向を把握できるに過ぎないが、単なる相関関係ではなくある程度の因果関係があるので回帰式は概略推定式と見なすこともできる。決定係数は約 68% である。

4. 結論

盛土の伝達関数と地震応答関係を検討した。得られた結論は以下の通りである。

- 1) 堤体下部のせん断弾性波速度 V_{sc} が大きくなるほどピークの振幅は小さくなり、やがて 1 より小さくなり、次第に自由地盤地表/入力波の伝達関数の 1 次卓越振動数に相当する 2Hz 付近にディップが現れる。
- 2) 最大加速度応答の比と相対増幅係数の 1 次ピーク値の関係は、回帰式として $y=0.377\ln(x)+1.001$ が得られた。両者はおおよそ一義的に決まり、因果関係を概略把握できる。

謝辞：本研究は、四国建設弘済会「平成 19 年度 建設事業に関する技術開発・調査研究」の助成を得ました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 森伸一郎, 神野邦彦, 田窪裕一: 盛土構造物の簡易迅速耐震性評価手法の開発, 第 11 回(平成 19 年度)「建設事業の技術開発に関する助成事業」成果報告集(概要版), pp. 33-48, 2008

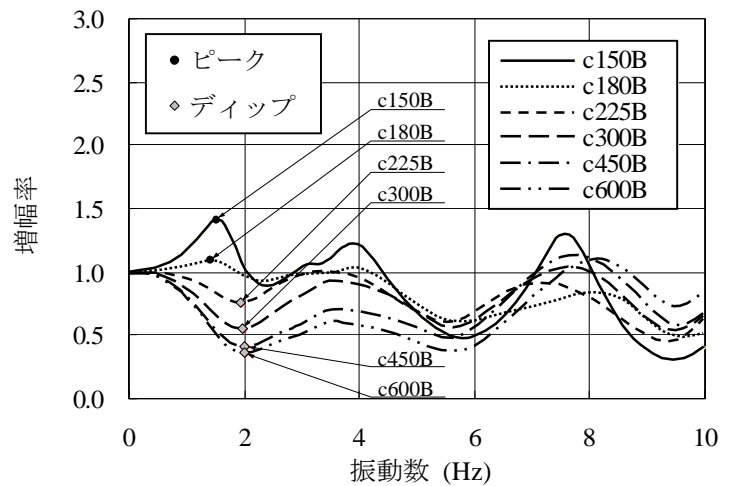


図-2 相対増幅係数スペクトルに見られる堤体下地盤の剛性増加の振動低減効果

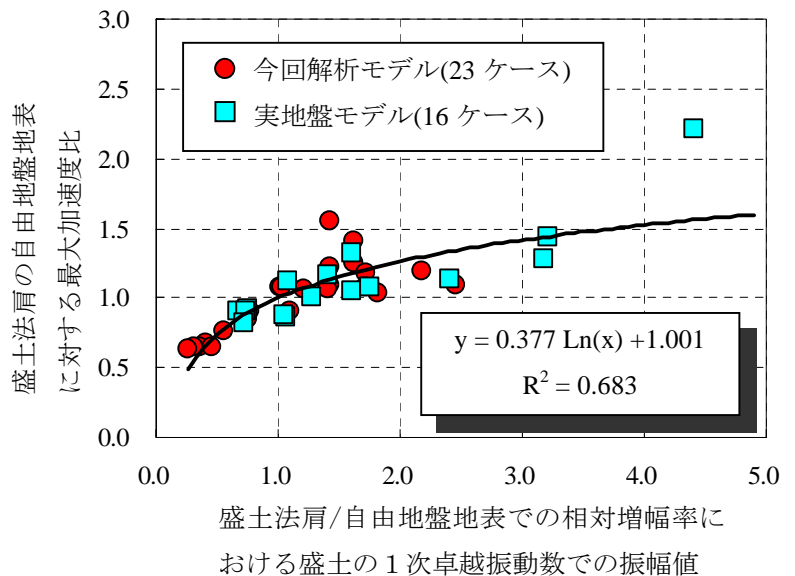


図-3 自由地盤に対する盛土法肩の相対的増幅における最大加速度応答の比と相対増幅係数の 1 次ピーク値の関係