

埋立地盤における地震観測値と応答計算値の比較

東京大学工学部 正員 石原 研而
 川崎製鉄 正員 根井 基雄
 不動産建設 正員 上田 茂
 不動産建設 正員 竹原 有二

1. まえがき

軟弱地盤上に構造物を建設する際の耐震設計における最近の傾向として、構造物のみの応答を考えるだけでは不十分で、地盤との動的相互作用を考慮した解析が必要であるといわれている。この場合、通常、適当な深度に基礎を想定し、そこへ地震波を入力させる方法が多く用いられている。ところで、地震記録として得られているものの多くは地表面におけるものであり、これを入力波として、集中質点系法による応答計算に使用するためには、観測地点において想定基礎までもどす必要がある。

ここでは、川崎製鉄(株)千葉製鉄所西工場埋立地で実施された種々の原位置試験、室内試験および地震観測をもとに、地表面で得られた地震波形から、深度50m(想定基礎N値=50以上)における応答値を求め、これを観測値と比較した結果について報告する。なお、計算に用いたモデル、解析法などは前回の報告¹⁾と同様であるので、ここでは簡単化して説明する。

2. 土質条件

地震観測地点の土質概要はFig. 1に示すようなものである。

土の動的変形特性を代表するせん断定数Gと減衰比は、せん断ヒズミの大きさによって大幅に変化し、これらを求める試験法も対象とするヒズミの大きさによって適切なものを選択しなければならぬ。ここでは、低いヒズミレベル(10⁻⁶ ~ 10⁻⁵程度)に対応するせん断定数G (G₀とする)を、板たき法による弾性波試験によって求めた。その結果はFig. 1に示してある。また、高いヒズミレベル(10⁻³ ~ 10⁻²程度)に対応するG_rを得るために、原位置(地震観測地点)から不攪乱試料をシンウォールサンプリングし、くり返し三軸試験を行なった。試料採取はFig. 1に示すように、深度8 ~ 23mに存在する軟弱シルト層を対象とした。試験は、試料を所定の圧力で圧密した後、非排水くり返し載荷を行なった。試験結果は、せん断応力とせん断ヒズミを直交座標にプロットして履歴ループを描き、応力 ~ ヒズミ関係を簡単化して1本の直線で表す等価線型モデルによりG_rおよびν_rを求めた。この試験結果は、Seed-Idrissの提案する曲線²⁾とともにFig. 2に示した。この場合、G₀としては試験結果

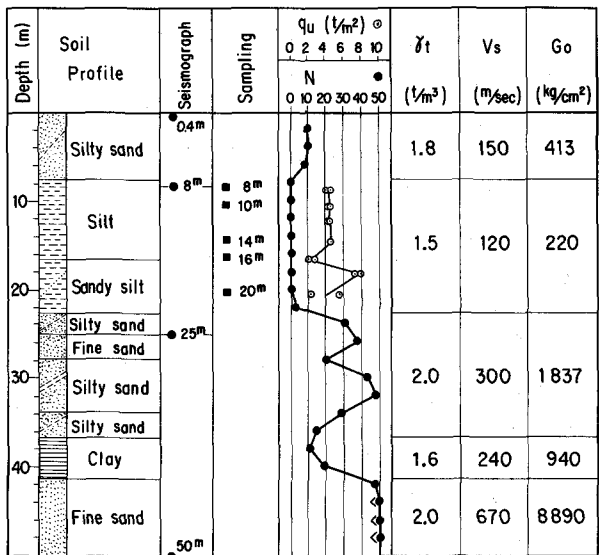


Fig. 1. Soil profile and soil properties at a recording station

からヒズミレベルが 10^6 に相当する値を外挿して求めている。Fig. 2のC線およびD線は実験値から平均的に引いてあり、応答計算におけるシルト・粘土層のGおよびhのヒズミ依存曲線としてはこれらの線を用いている。また、砂層に関しては、 G_0 として原位置における弾性波試験より得られたものを用い、Gおよびhのヒズミ依存曲線はSeed-Idriss²⁾により提案されたものを使用した。

3. 地震観測

当敷地内における地震観測としては、Fig. 1に示したように、土層が変化している境界をぬらい、地表面、深度8^m、25^m および 50^m (これは洪積層で解析モデル化上の想定基盤と考えられる) の4深度に地震計を設置した。測定は1深度で鉛直方向および水平方向(2方向)の3成分、合計12成分の波形が記録できる。現在までに5回の記録が得られており、そのうち比較的大きな加速度が得られた地震波形2つ(1974年11月16日および同年11月30日のもの)をデジタル化して応答計算に用いた。

4. 応答解析

地盤を半無限の粘弾性体と仮定し、波動の重複反射理論を用いて応答計算を行なった(プログラム 'SHAKE'³⁾を使用)。解析モデルはすでに述べたように各種実験よりTable 1のように決定した。応答計算を行なう際にもっとも問題となるのは、Gおよびhの非線型性をどう扱うかである。ここでは、地震継続中に生じる最大せん断ヒズミの65%のヒズミに対応するGおよびhをTable 1に示したA~D線に基づいて決定し、その値を用いて応答計算を行なっている。

前回の報告では、深度50^mのところへ入力させて、地表面、深度8^mおよび25^mの応答値を求めたが、今回は、地表面に入力し、深度8^m、25^mおよび50^mの応答値を求めた。

入力地震波は上で述べた2つの地震記録(地表面における記録)を用いた。

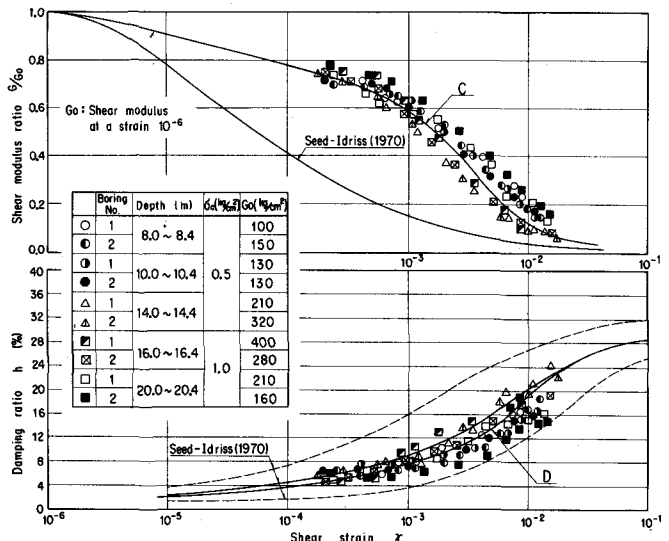
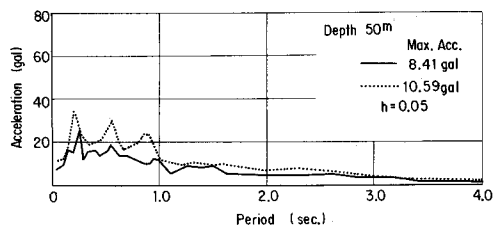
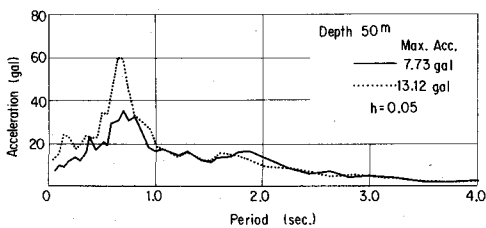
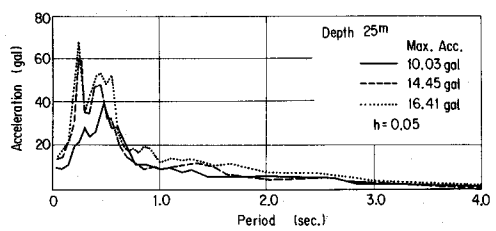
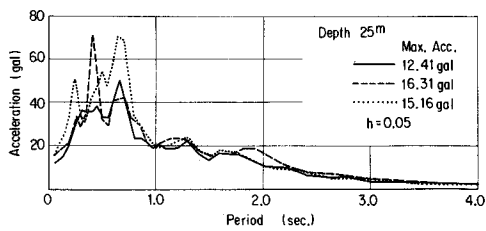
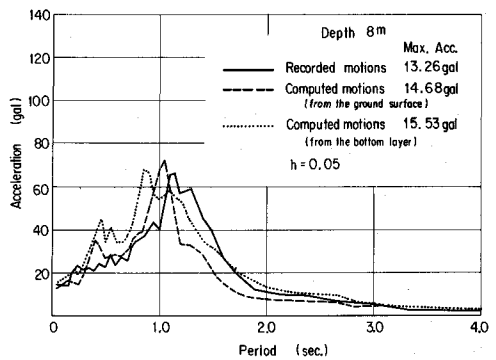
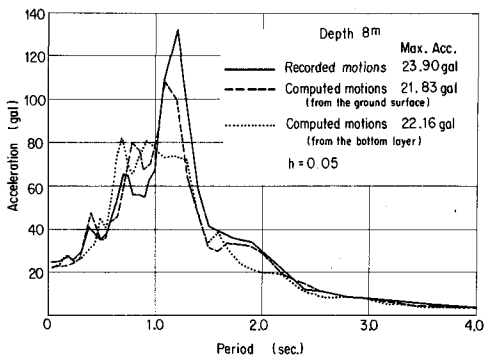
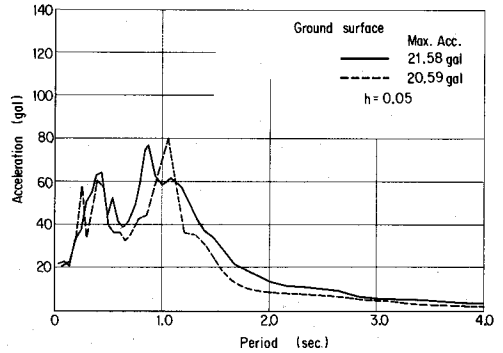
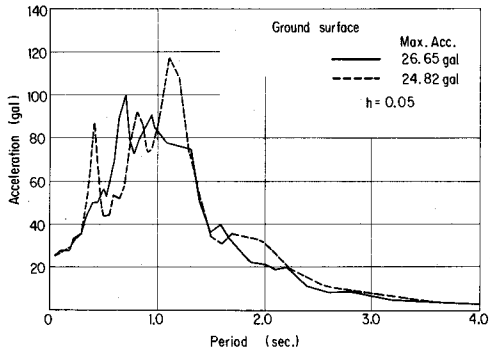


Fig. 2. Shear moduli and damping ratios for silts

Table 1. Layered system used for response analysis

Depth (m)	Layer No.	Soil type	Thickness (m)	γ_1 (1/m ³)	G_0 (kg/cm ²)	$G/G_0 \sim \gamma$ *	$h \sim \gamma$ *
10	1	Sand	7.60	1.8	413	A	B
	2	Silt	1.40	1.5	100	C	D
	3	Silt	4.00	1.5	130	C	D
	4	Silt	3.00	1.5	250	C	D
20	5	Silt	4.00	1.5	320	C	D
	6	Silt	3.00	1.5	160	C	D
30	7	Sand	14.00	2.0	1837	A	B
40	8	Clay	4.00	1.6	940	C	D
	9	Sand	9.00	2.0	8890	A	B
50	Elastic half space						

* A, B, proposed by Seed-Idriss (1970)
C, D, refer to the curves in Fig. 2



(a) EW - component, November, 16, 1974

(b) EW - component, November, 30, 1974

Fig. 3. Comparison of computed and observed spectra

5. 解析結果と考察

応答計算値と観測値との比較は、最大加速度と加速度応答スペクトルにより行ない、これを Fig. 3 に示した。この図には、基盤(深度 50^m)に地震波を入力させた場合(前回報告)の応答値も同時に示してある。この図より次のようなことが言える。

地表面入力の場合の基盤における応答値をみると、最大加速度の値および周期特性ともほぼ観測値に一致しているとみられる。このうち、最大加速度値に関していえば、いずれの地震波においても、計算値のほうがやや大きな値を示している。また、周期特性としては、観測値にみられるような傾向——地表において長周期が卓越しているのに対し、深度 50^mにおいては短周期が卓越している——が計算値においても明確に表われている。深度 8^mおよび 25^mについても同様の傾向がみられる。これらより、地表における観測記録からその地点における基盤波をかなり正確に推定できるものと思われる。この場合、軟弱層が厚く堆積しているような地盤では、その動的定数に十分注意を払う必要があろう。

基盤に入力させた場合の応答値と地表面入力による応答値を比較してみると、今回の計算では、基盤に入力させた場合のほうが観測値により近い傾向を示した。

6. 結論

地表面における地震観測値から、想定基盤(深度 50^m)における応答値を求め、これを同深度における観測値と比較してみた結果、両者は比較的よい一致をみた。このことより、今回用いたようなモデルによって、地表面で観測された地震波からその地点における基盤波をかなり正確に推定することができるものと思われる。

◆謝辞◆

末尾ながら、ここに述べた試験・観測・解析を進めるにあたり、川崎製鉄(株)千葉製鉄所土建部・堤一高部長をはじめ城部夫氏および同部の皆様の御尽力を賜りましたことを深く感謝致します。

◆参考文献◆

- 1) 石原研而・根井基雄・上田茂・竹原有二；“地震時における埋立軟弱地盤の応答解析”，第4回日本地震工学シンポジウム，昭和50年11月，pp. 423～430
- 2) H. B. Seed and I. M. Idriss；“Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis”，Report No. EERC 70-10，Col. of Eng.，Univ. of Calif. Berkeley，1970
- 3) P. B. Schnabel・J. Lysmer and H. B. Seed；“SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites”，Report No. EERC 72-12，Col. of Eng.，Univ. of Calif. Berkeley，1972