

I-433 3次元地中構造物—地盤連成系の弾塑性動的応答解析

前田建設工業（株） 正会員 大嶋 義隆
埼玉大学 工学部 正会員 渡辺 啓行

1. はじめに 筆者達は、3次元地中構造物の振動特性とこれに作用する地震時土圧の解明を目的として、正弦波による地中構造物—地盤連成系の模型振動実験を行った。その結果、地盤のダイレタンシー特性によって水平方向加振が上下動を励起すること、この現象は塑性流れを考慮した弾塑性論に基づく振動解析でシミュレーションが可能であることを示した。さらに構造物にはこの上下動による動土圧が作用することが実験から明らかになった^{1),2)}。本文は、図-1に示す模型振動実験のシミュレーション解析のうち、共振時の構造物と地盤の振動特性について報告するものである。

2. 解析理論の概要 本研究では、地盤は塑性流れ理論に基づく弾性ひずみ硬化塑性材料、構造物は線形弾性材料、構造物と地盤の接触面の剥離・滑動を表す結合要素（図-2）は弾性完全塑性材料としてモデル化した。塑性流れの理論では、塑性ひずみは塑性ポテンシャル関数の外向き法線ベクトルの方向に生じるとするが、本研究では塑性ポテンシャル関数が降伏規準に一致すると仮定する関連流れ則を用いた。降伏規準はCapを持つDrucker-Prager規準とし、土の材料定数を α および k 、硬化パラメーターを κ 、Capの楕円比を R とすれば図-3の降伏規準は次の関数 h および H で示される。

$$f = \begin{cases} h(I_1, \sqrt{J_2}) = \sqrt{J_2} - \alpha I_1 - k \\ H(I_1, \sqrt{J_2}, \kappa) = \sqrt{J_2} - \frac{1}{R} \{ [X(\kappa) - L(\kappa)]^2 - [I_1 - L(\kappa)]^2 \}^{1/2} \end{cases} \quad (1)$$

κ は一般に塑性体積ひずみ ε_{kk}^p の履歴の関数となり、等方圧縮試験結果から得られる材料定数 W と D を用いて次のように仮定した。

$$\kappa = \varepsilon_{kk}^p = W \{ 1 - \exp[-DX(\kappa)] \} \quad (2)$$

α 、 k はD-P規準がMohr-Coulomb規準と圧縮子午線上で外接するように決めた。材料の動的非線形挙動の解析は初期応力法を用いた直接積分法によった。

3. 解析モデルと材料定数 地盤は8節点6面体要素、構造物は4節点シェル要素、地盤と構造物の接触面は結合要素で、幾何形状と振動荷重の対称性から加振直交方向には全領域の半分を図-4のように離散化した。ダイレタンシーを考慮した動的解析の場合、地盤の体積変化を伴うせん断振動が可能となるような境界条件を設定する必要がある。そこで、解析モデルの対称境界面を除く3側面の、Z座標が同じ節点を同一変位の条件で拘束し、全体系としてのロッキング振動を抑制しながら、水平、上下方向の自由度を持つようにした。地盤のせん断弾性係数は、初期せん断弾性係数 G_0 に補正係数 β を乗じた値とした。 β は有限要素モデルの1次固有振動数が、実験の共振振動数と一致するように補正する係数である。その他の材料定数は表-1に示す。解析は、地盤を上述の弾塑性体と仮定する場合(CASE-P)に、線形弾性体と仮定する場合(CASE-E)を加えた2ケースとした。

4. 実験結果と解析結果の比較 200gal, 37Hzの正弦波加振による地盤と構造物の応答加速度を図-5に示す。実験では、水平動の2倍の振動数を持つ上下動が地盤に生じ、構造物は地盤と同位相で水平、上下に振動している。CASE-Eでは、構造物の両サイドの節点の上下方向応答加速度の比較から、構造物がロッキング振動をしていることがわかるが、これは実験結果とは異なる。CASE-Pでは、高振動数成分を含んではいるが、水平動の2倍の振動数の上下動が地盤に生じる。構造物の両サイドの節点の上下方向加速度の位相の反転はみられず、構造物は地盤応答に支配され水平、上下に振動していることがわかる。この現象は実験結果と一致する。

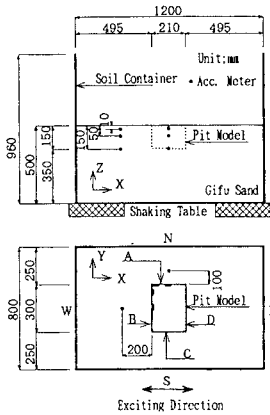


図-1 地中構造物-地盤連成系の実験模型

表-1 数値解析モデルの材料定数

Properties		1 kgf/cm ² = 98 kPa		
		Soil	Structure	Linkage
Shear modulus	G	kgf/cm ²	2.7 × 10 ⁴	—
Poisson's ratio	ν	—	0.25	—
Unit weight	γ	gf/cm ³	1.389	—
Cohesion	c	kgf/cm ²	—	0.01
Friction angle	ϕ	deg	27.5	—
Damping constant	h	%	5.0	—
Parameter of hardening function	D	(kgf/cm ²) ⁻¹	0.0121	—
Elliptical ratio	R	—	3.0	—
Spring constant	k	kgf/cm ³	—	100

*1) Initial stress analysis; 5.0 kgf/cm²
 Dynamic analysis; $G = \beta \times G_0$ $G_0 = 700[(2.17 \times 10^{-2})^2 / (1 + e)](\sigma'_m)^{0.321}$
 β ; correctional factor

*2) Elastic case 11.0% , Elasto-plastic case 1.0%

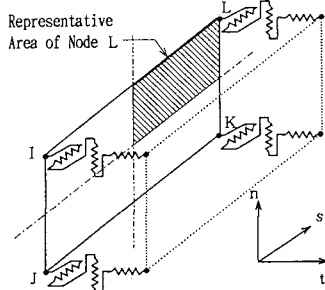


図-2 接触面の結合要素

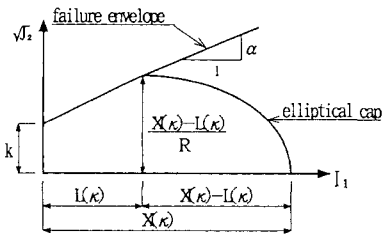


図-3 地盤材料の降伏規準

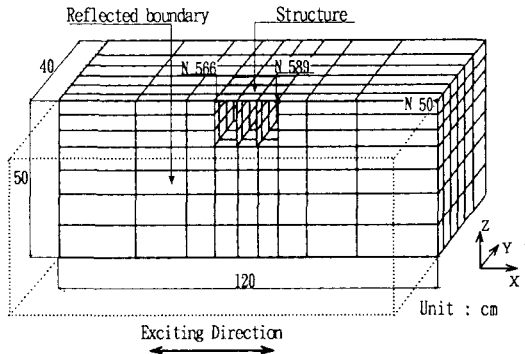


図-4 地中構造物-地盤連成系の有限要素分割

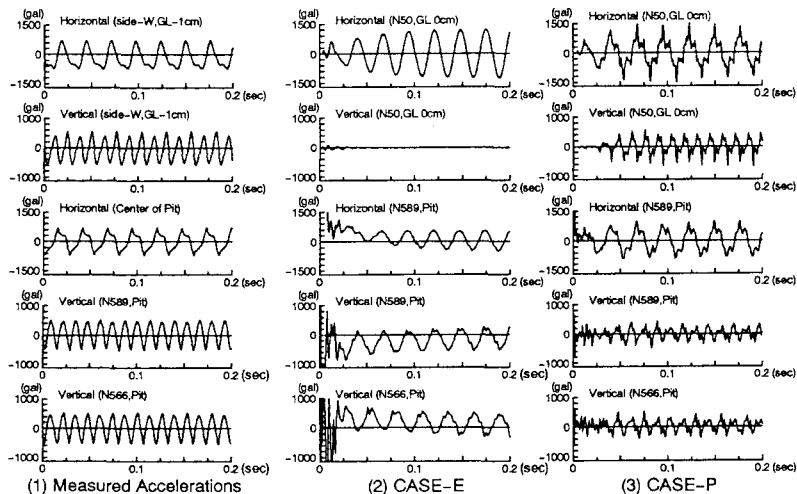


図-5 地中構造物と地盤の応答加速度

5. 謝辞 本研究の実験は地域振興整備公団の八木橋功氏（当時埼玉大学4年）の、解析は前田建設工業（株）の加藤育久氏の協力を得た。ここに記して感謝致します。

参考文献 1) 大嶋義隆・渡辺啓行；3次元地中構造物と地盤の弾塑性動的相互作用に関する実験的研究，土木学会論文集投稿中 2) 大嶋義隆・渡辺啓行；3次元有限要素法による地中構造物と地盤の弾塑性動的応答解析，土木学会論文集投稿中