

都立大 正会員 ○小泉敏一
同 同 望月利男
同 学生員 宮野道雄

1. はじめに 本研究は characteristics method¹⁾による地盤の非線形地震応答計算に関して、すでに望月北川^{2),3)}らが検討してきたべき関数型履歴モデルが適用することを試みたものである。またここに示す計算法は地層下端における境界条件を考慮しているので、基礎上部境界面における入射波・反射波はそれぞれ評価できる。

2. 土の復元力モデル・動的パラメータ 振動時の土のせん断応力-ひずみ(τ - γ)の履歴特性は次式で表わされるものとする: 骨曲線 $\tau/\tau_y = f(\gamma/\gamma_y)^\alpha$, 履歴曲線 $\tau/\tau_y = \pm 2f(\gamma_0/\gamma_y)/2\gamma_y \pm f(\gamma/\gamma_y)^\alpha$ (1)

ここに、 τ_y, γ_y は無次元化定数であるが、微小振動時の応力-ひずみ関係(線形性が成立すると仮定)を満足する任意の値とする。また γ_0 は折り返し点のひずみを表わす。履歴曲線の複号は、上をるときが加力線、下が減力線に対応する。ここで、(1)式中にある非線形パラメータ α と f を実験結果から τ - γ 関係を最もよく表わすように決定する。

$$\alpha = \frac{4f(\gamma')\gamma - g(\gamma')}{4f(\gamma')\gamma + g(\gamma')}, \quad f = \frac{f(\gamma')}{\gamma'^\alpha} \quad (2)$$

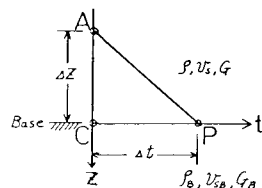
ここに、 $\gamma' = \gamma/\gamma_y$, $f(\gamma')$, $g(\gamma')$ はそれぞれ τ - γ 関係の骨曲線、ループの囲む面積である。すなわち、土の動的実験における τ - γ 関係の骨曲線、ループの囲む面積が、ひずみの任意の関数で近似できれば、 α, f は(2)式のように一般性をもたせた表現になる。この α, f を用いた上記べき関数型履歴モデルは、実験結果を近似関数化したモデルと振動的に等価である²⁾。しかし、動的パラメータを求めるために行われた実験の報告では一般に、その結果は G/G_0 - γ , h - γ の型でまとめられている(図で示されている場合が多い)。そのような結果を利用する場合は、 $\tau = G(\gamma)\gamma$ として骨曲線を近似関数化することになる(G_0 は例えば弾性時のせん断定数とする)。面積 $g(\gamma)$ は、 $h = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$ の関係⁴⁾、すなわち減衰定数 $h = g(\gamma)/(2\pi\gamma\tau)$ から近似関数化することになる。

3. 応答計算 い) 基礎の設定: characteristics method で地表あるいは地中の観測波が与えられ、それに対する地中あるいは地表の応答を求める場合、特に基礎を設定する必要はない。しかし入射波が与えられた場合あるいは入射波を求める問題(例えば、観測波を他地点の地盤への入力に使う場合など)においては、基礎の効果を考慮する必要がある。いま、図-1のようなdiagramを考え、 U, V を変位および速度とし、 I, R を入射波、反射波を表わす文字、 B を基礎を表わす文字とすれば、基礎でのせん断応力は、 $\tau_B = G_B(\partial U/\partial z + \partial U/\partial z)$ で表わされ、変位 $U_B = U_z(z + v_s t) + U_R(z - v_s t)$ の関係をを用いれば(3)式で τ_B が、また(3)式から $V_B = V_B(t + vt)$ が(4)式のように定まる。

$$\tau_B = \rho_B v_s B (2V_z - V_0) \quad (3)$$

$$V_P = \frac{1}{\rho_B v_s B + P v_s} [2\rho_B v_s B V_z(t + vt) - \tau_A + P v_s V_A + \frac{G}{\Delta z} \{V_B(t) - V_A\}] \quad (4)$$

すなわち、基礎における入射波 $V_z(t)$ が与えられれば、 $V_A(t)$ を介して、 $V_B(t + vt)$ が(4)式で、また $\tau_B(t)$ は(3)式で求められる。また $V_B(t)$ から $V_z(t)$ を求めることは、その逆の操作で行われる。ここに、 P は密度、 v_s はS波速度。 図-1 z-t diagram



ii) モデル地盤と入射波: 後に計算例として示すモデル地盤は層厚10, 20, 30 m, $v_s = 100$ m/s, $\rho g = 1.8$ t/m³の様な表層をもち、その基礎は $v_{sB} = 500$ m/s, $\rho_B g = 2.0$ t/m³とする。いずれも v_s は弾性時($\gamma \leq 0.001\%$)の値であり、また減衰は履歴による効果のみを考えている(α あるいは粘性減衰はゼロ)。入射波はwhite noise(加速度のフーリエスペクトルがほぼ一定、10 Hz以上カット)。El centro(1940, NS)地震波でありいずれも入射最大加速度 50, 100, 150, 200 gal として計算した。

iii) 表層地盤の動特性: 土の非線形動特性は原ほかのシルト質粘土の動的せん断試験結果から、 τ - γ 、 G - γ 関係などを大体平均化したもので、2. で述べた表現により、それぞれ次のように近似される。

$$\frac{G}{G_0} = \begin{cases} (\gamma/\gamma_y)^{-0.025} & \text{骨曲線 } f(\gamma) = \frac{\tau}{\tau_y} = \begin{cases} (\gamma/\gamma_y)^{0.975} & \gamma \leq 0.02\% \\ 3.106 (\gamma/\gamma_y)^{0.594} & \gamma > 0.02\% \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

$$\gamma_y = 0.001\% \quad \text{ル-70面積 } g(\gamma) = \frac{g(\gamma)}{\tau_y \gamma_y} = 0.126 \frac{G}{G_0} (\gamma/\gamma_y)^{2.338}$$

この $f(\gamma)$ 、 $g(\gamma)$ からべき関数型履歴系の α ・ β は(2)式で決定される。また、応答計算における動的履歴法則は文献(3)に従っており、継続時間、およびその変みはそれぞれ 10.24 sec, 0.01 secとしている。

4. 計算結果について 計算結果を図-2~図-7に例示する。ひずみは地盤モデルが深さ方向に一樣なため、大略深さに比例して増大するが、入射波の周波数特性が地盤の高次振動を顕著に誘発する場合、中間層のひずみが大きくなり(図-2)、その深さでの加速度が地表の値を上まわる傾向がみられる。これは高ひずみレベルで著しいものとなる(図-2.3)。ひずみの増大に伴う履歴減衰の効果は、図-4の(a)、(b)を比較するとよくわかる。また、図-4.5から周波数特性の変化の程度が読みとれる。周波数応答計算による共振時応答倍率はひずみの増大により低下すると考えられるが($P_B \psi_B / P \psi$ は増すが)、図-6.7に示す結果はやや複雑である。ただ加速度は大体低下している。以上の結果のうち、ひずみ1.0%以上は土の動特性の実験式が極めて大きなひずみに対しても連続性を保つとしての結果であり、限界がある。また、数値積分、数値微分などの精度検討を今後の大きな課題であるがこの方法は基本的にはプロセス、計算時間からみて十分実用に供しうる。尚この研究に貴重な実験データを賜った鹿児島建設技術研究所原昭氏に深謝いたします。

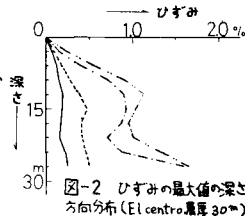


図-2 ひずみの最大値の深さ方向分布 (El centro 震厚 30m)

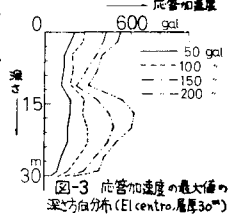


図-3 応答加速度の最大値の深さ方向分布 (El centro 震厚 30m)

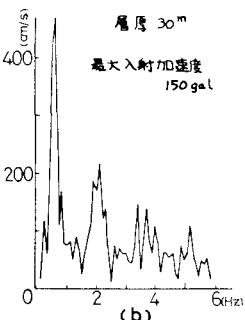
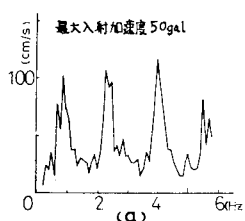


図-4 white noise 入射

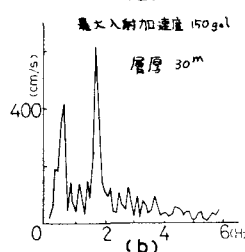
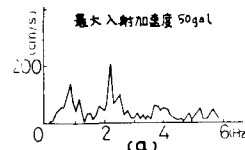


図-5 El centro 地震波入射

— 地震応答加速度のフーリエスペクトル —

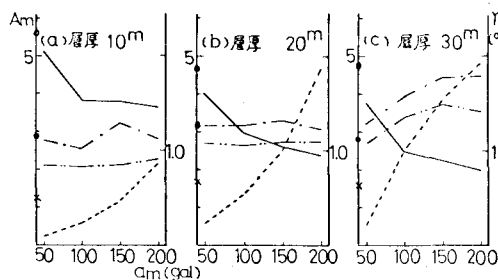


図-6 white noise 入射

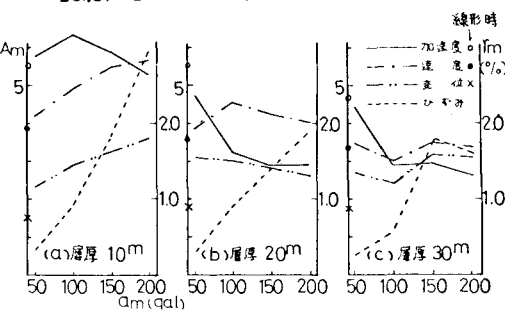


図-7 El centro 地震波入射

— 最大入射加速度 A_m と最大応答倍率(地表) A_m^* ・最大ひずみ Y_m の関係 —

- 文献: 1) C. N. Papadakis: Soil Transients by Characteristics Method, A dissertation for the Degree of Philosophy, Michigan, U
2) 望月北川: 一般履歴系の復元力モデルについて(その1, 2), 建築学会関東支部研究報告 1976
3) 望月北川: 履歴系の復元力モデルへの置換について(その3), 建築学会論文報告集, 第256号, 1977
4) 原清田: Dynamic Shear Tests of Soils for Seismic Analysis, Proc. 9th. ICSMFE, 1977