

九州大学 工学部 正員 小坪 清 真  
九州工業大学 正員 高西 照 彦

1. まえがき

著者等は前論<sup>(1)</sup>において、Feed-back 理論を応用して地震時における地盤振動の解析を行う方法を提案し、2, 3の計算例によってこの方法の有用性を示した。本論は前論につづいて、図-1に示すような剛体-地盤系を取上げ、Feed-back 理論を応用して地震時における同系の振動解析法を示すことをその目的としている。

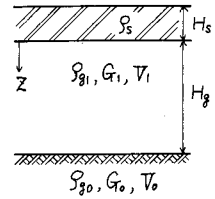


図-1

前論で詳論したように、地盤系の振動解析を行うのに、本方法は本質的には modal analysis 法 の概念に従うが、ただその入力波に対して一定の補正を加えることによって、地盤系における地震波の反射および屈折の現象を近似的に表現することができるので、本方法は地盤系のより合理的な振動解析を行い得る近似解法の一つであるといえる。

本方法における最も基本的な物理量として、(1)補正值として入力波に feed-back すべき量 (2) そのときの feed-back 量の「時間おくれ」の二つが挙げられる。構造物-地盤系のように、これを連続弾性体として解析することが困難な系に対する「時間おくれ」については、前論で示した(地盤系のように、これを連続せん断弾性体として容易に解析することができる系に対する)「時間おくれ」の理論をそのまま適用することは困難である。本論では、構造物-地盤系のような複雑な系に対しても適用できる「時間おくれ」についてその理論を示し、まず(1)地盤系 次に(2)剛体-地盤系 を取上げて、feed-back 理論を応用してそれぞれ両系の振動解析を行い、波動論による厳密解と比較して本方法の妥当性を検討した。

2. 「時間おくれ」について

いま、図-2に示すような二層地盤系について考える。基礎からの入力波を  $\phi_0(t)$  とすれば、 $\phi_0(t)$  は次式のように表わせる。

$$\phi_0(t) = F_0(t) + Q_0(t)$$

$Q_0(t)$  は基礎での反射波と上層地盤からの透過波との和であるが、波動論に従えばこの透過波は、上層地盤の下降波  $Q_1(t)$  と比べるとその「時間おくれ」 $\delta^t$  は

$\delta^t = H_g / v_1$  で表わされる値を持つ。ここに、 $H_g$  は上層地盤の厚さ、 $v_1$  は上層地盤における横波の速度である。すなわちこれは、上層地盤内の下降波  $Q_1(t)$  の何割かが「時間おくれ」 $\delta^t$  をもって入力波  $\phi_0(t)$  中に feed-back されていると見ることが出来る。前論では地盤を連続せん断弾性体として取扱ひ、厳密な固有円振動数および振動型を求め、これらの値を用いて地盤系の振動解析を行ったので、その場合の入力波の feed-back 量の「時間おくれ」としては上述の  $\delta^t$  を採用した。しかし、構造物-地盤系のような複雑な系に対する振動解析を行うには、通常これを多質点系に置換してその固有円振動数、振動型を求めることが行われている。このようにして求められた固有円振動数には振動次数に

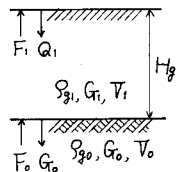


図-2

よって多少の差はあるが必ず誤差が含まれている。このため構造物-地盤系に対して前述の  $\delta^t$  をそのまま用いても、同系の入力波に対する適当な *feed-back* 量が得られない。したがって本論では、「時間おくれ」を次のようにして定めた。

図-2 に示す上層地盤において、横波の波長を  $L_1$ 、振動数を  $f$  とすれば、横波の速度は  $V_1 = L_1 f$  と表わせる。 $f$  が上層地盤の  $n$  次の固有振動数  $f_n$  に一

振動次数 質点数 $n$	1	2	3	4	5
3	0.1240	0.1362	0.1661	—	—
5	0.1231	0.1273	0.1362	0.1513	0.1755

表-1  $\delta_p^t$  の値 (単位 s)

致した場合には、波長  $L_1$  は  $L_1 = 4H_g / (2n-1)$  となる。したがって上層地盤の時間おくれ  $\delta^t$  は  $\delta^t = H_g / V_1 = (2n-1) / 4f_n$  と表わせる。さて、地盤系あるいは構造物-地盤系において、上式の  $f_n$  を同系の  $n$  次の固有振動数  $f_n$  で置き換えて  $\delta_p^t = (2n-1) / 4f_n$  とし、この値を同系に対する見掛上の「時間おくれ」として採用すればよいと考えられる。このようにして定められた  $\delta_p^t$  は各振動次数  $n$  について、上層地盤の加速度に対して常に  $\pi/2$  の位相差をもつことになり、入力波に対して適当な *feed-back* がなされることになる。一例として、図-2 において  $H_g = 30\text{ m}$ 、 $\rho_{g1} = 1.8\text{ t/m}^3$ 、 $G_1 = 1.1 \times 10^{10}\text{ t/m}^2$  とした場合について  $\delta_p^t$  を示せば表-1 の通りである。なお、このときの  $\delta^t$  は  $\delta^t = 0.1226\text{ s}$  である。

### 3. 地盤系について

前節に述べた考え方に従う地盤系の振動解析理論については、 $\delta^t$  「時間おくれ」 $\delta^t$  の代わりに前節の  $\delta_p^t$  を用い、固有円振動数および振動型を多質点系置換法によって求めること等に注意するだけであとはすべて前論の所論がそのまま適用できるので、本論ではそれについてはこれ以上述べない。

数値計算例として、図-2 において、 $H_g = 30\text{ m}$ 、 $\rho_{g1} = 1.8\text{ t/m}^3$ 、 $G_1 = 1.1 \times 10^{10}\text{ t/m}^2$ 、 $\rho_{g0} = 1.9\text{ t/m}^3$ 、 $G_0 = 2.5 \times 10^9\text{ t/m}^2$  とした場合について、質点数  $N$  として 3, 5, 10 の

3通りを採用し、それぞれの  $N$  について定常入射波および不規則入射波に対して応答計算を行った。結果の一例を図-3, 4 に示す。当然のことながら前論の結果と比較すると本論の結果はその精度が多少劣るが、波動論による厳密解との差はそれほど大きくない。

### 4. 剛体-地盤系について

剛体-地盤系の振動解析理論については、他に詳論してあるので本論では省略する。やはりこの場合も「時間おくれ」に関しては、前節に述べたと同様  $\delta^t$  の代わりに  $\delta_p^t$  を用いればよい。

数値計算結果については講演時に発表する予定である。

- (1) 小坪・高西「*Feed-back* 理論を応用した地震時地盤振動の解析」九大工学集報 vol. 45, No. 1, 昭47.1  
 (2) 小坪・高西「構造物-地盤系のモデル化と地震応答解析」才12回地震工学研究発表会講演概要 昭47.7

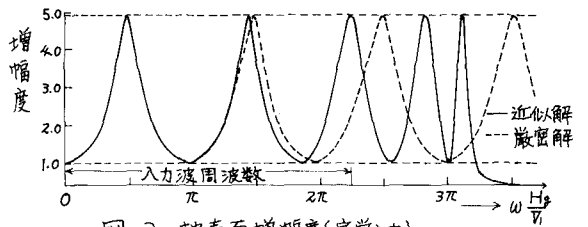


図-3 地表面増幅度(定常入力)

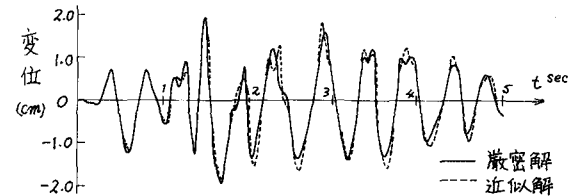


図-4 地表面変位(5質点)