

多層地盤上の土構造物の振動性状について

東北大学工学部 正員 柳沢 栄司
同 学生員 福井 孝
同 学生員 栗田 守朗

1. まえがき

河川堤防、干拓堤防などの土構造物は大地震に際して被害を蒙る例が多いが、このような被害は地盤の振動性状とかなり密接な関係があるといわれている。この研究は、多層地表面上に構築された土構造物の振動性状が地表面によつてどのように影響されるかを理論的に求め実験結果との比較を行つてゐるのである。

2 多層地盤上の堤体の振動

基盤層上に水平に2層に堆積してゐる地表面があり、更にその上に構築された三角形の堤体を考える。この土構造物—地盤系に鉛直下からせん断波が入射するものとする。堤体はせん断振動するものと仮定し、地表面及び基盤層において上昇する波と下降する波を考える。正弦的な波動のみを考えて地表面での位相を規準にとれば、堤体の基礎面すなわち地表面での振動は $u_0 \cos pt$ とおくことができる。よつて堤体の変位は $y = u_0 \cos pt + \epsilon$ と表わせ、 ϵ は堤体の相対変位であるので従来の三角形のせん断振動理論によつて強制定常振動の解を求めることが可能である。この関係を用いて境界条件から各層の各係数は入力波の振幅 A_1 の函数として求めることができる。このようにして3層地盤について求めたダム底面での振幅 u_0 と入力波の振幅 A_1 との比は、

$$\frac{u_0}{A_1} = \frac{2}{\sqrt{B}} \quad (1)$$

$$B = \left(\cos^2 \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin^2 \frac{p\beta_2}{V_2} \right) \cos^2 \frac{p\beta_3}{V_3} + \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{p\beta_2}{V_2} \right) \sin^2 \frac{p\beta_3}{V_3} - 2 \cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \cos \frac{p\beta_3}{V_3} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \alpha_2 (1 - \alpha_1^2) \\ + \left\{ \left(\cos \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \right) \sin^2 \frac{p\beta_3}{V_3} + \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{p\beta_2}{V_2} \right) \cos^2 \frac{p\beta_3}{V_3} + 2 \cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \cos \frac{p\beta_3}{V_3} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \alpha_2 (1 - \alpha_1^2) \right\} (k_1^2 + k_2^2) + 2 \alpha_1 \alpha_2 k_1 \\ - 2 k_2 \left\{ \alpha_2 \cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \left(\cos \frac{p\beta_3}{V_3} - \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \right) (1 - \alpha_1^2) + \cos \frac{p\beta_3}{V_3} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \left\{ \left(\cos \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \right) - \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{p\beta_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{p\beta_2}{V_2} \right) \right\} \right\}$$

$$k_1 = \alpha_3 \Sigma C_i E_i \left(\frac{P}{P_i} \right) J_1(z_i) u_0, \quad k_2 = \alpha_3 \Sigma C_i (D_i + E_i) \left(\frac{P}{P_i} \right) J_1(z_i) u_0$$

$$C_i = \frac{\mu_i \left(\frac{P}{P_i} \right)^2}{D_i^2 + E_i^2}, \quad D_i = 1 - \left(\frac{P}{P_i} \right)^2, \quad E_i = \frac{\gamma P}{Q}, \quad \mu_i = \frac{2}{3 \lambda J_1(z_i)}, \quad \alpha_1 = \frac{\beta_2 V_2}{\beta_1 V_1}, \quad \alpha_2 = \frac{\beta_3 V_3}{\beta_2 V_2}, \quad \alpha_3 = \frac{\beta_4 V_4}{\beta_3 V_3}$$

一方、基盤面の絶対振幅 A_g と入力波の振幅 A_1 との比は、

$$\frac{A_g}{A_1} = \frac{2\sqrt{C}}{\sqrt{B}} \quad (2)$$

$$C = \left(\cos \frac{p\beta_2}{V_2} \cos \frac{p\beta_3}{V_3} - \alpha_2 \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \right) + \left(\cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} + \alpha_2 \sin \frac{p\beta_2}{V_2} \cos \frac{p\beta_3}{V_3} \right) (k_1^2 + k_2^2) \\ - 2 k_2 \left\{ \cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \left(\cos \frac{p\beta_3}{V_3} - \alpha_2^2 \sin^2 \frac{p\beta_3}{V_3} \right) + \alpha_2 \cos \frac{p\beta_2}{V_2} \sin \frac{p\beta_3}{V_3} \left(\cos \frac{p\beta_3}{V_3} - \sin^2 \frac{p\beta_3}{V_3} \right) \right\}$$

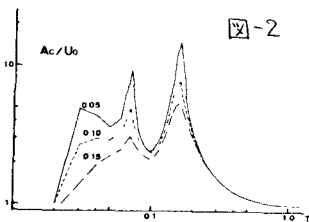
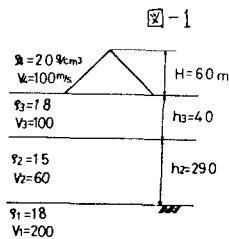
いま、堤体の影響がないような地表面の振動を u_0 、基盤面の絶対振幅を A_g とすれば、境界条件より $k_1 = k_2 = 0$ となり、重複反射理論によつて求められる絶対振幅の結果と一致する。

ダム体の堤頂における振幅は $x=0$ のときの y の値であるから、この絶対振幅を A_c とすれば、ダム底面における振幅 u_0 に対する堤頂の振幅 A_c の比率、つまり応答倍率は式(3)で示される。よつて入力波の振幅 A_1 に対する堤頂での振幅 A_c との比は、式(1)と(2)をかけることにす。て求められ、式(4)で表わすことができる。

$$\frac{A_c}{u_0} = \sqrt{(1 + \Sigma C_i D_i)^2 + (\Sigma C_i E_i)^2} \quad (3), \quad \frac{A_c}{A_1} = \frac{2 \sqrt{(1 + \Sigma C_i D_i)^2 + (\Sigma C_i E_i)^2}}{B} \quad (4)$$

3. 結果及び考察

上述の計算方法を八郎場中央干拓堤防の地盤に適用して計算を行なつてみた。計算に用いた地盤構造は図-1のとうりである。堤体の振動については5次まで考慮し、減衰は堤体についてのみ考え、減衰率がそれぞれ5%、10%、15%の場合について計算を行つた。図-2はダム底面の振巾 U_0 に対する堤頂の振巾 A_c の比、すなわち堤体の応答曲線が



示されていて、堤体の固有振動周期が0.16, 0.07 sec付近に見られ、5%減衰の場合には15倍近い増巾がなされている。図-3の点線はダムの影響のない地盤の応答を示すもので、1次固有振動周期は2.3 sec, 2次は0.74 sec, 3次は0.44 sec, 4次は0.31 secであり、実線はダム底面における応答で1次から4次まではそれぞれ2.5, 0.80, 0.46, 0.32 secとなる。これは地盤にダムが乗る、たこにより振動周期に変化が生じ、振巾比も小さくなっていることがわかる。図-4において堤頂における応答は、一点鎖線で示されているが1次から4次までの固有振動周期がダム底面における固有振動周期と一致している。又0.2 sec以下において振巾比が大きくなっているのは堤体の固有振動周期の影響と思われる。点線は入力波の振巾 A_1 に対する基礎の振巾 A_0 との比であるが、各固有振動周期において振巾比が極端に小さくなっている、これは図-5の各グラフを見てわかるように、基礎面を節として振動していることを示している。図-5は堤体及び地中における計算値と実測値の振巾分布を示したものである。実測値は、河上、浅田(1972年)によって八郎場中央干拓堤防において得られたものであり、地表と地中で同時測定された常時振動の振巾スペクトルから各周期について地表のスペクトルを1としそれに対する各深さの振巾スペクトルの比を求めたものである。計算で求めた1次から5次までの各固有周期における振巾分布と、同じあるいは付近の周期における実測振巾分布を比較してみると、わりと良好な一致が見られる。

