

1. はしがき

河川堤防, 干拓堤防などの土構造物は軟弱地盤上に構築される場合が多く, このような土構造物の振動性状は地盤との連成系によって考える必要がある。堤体を三角形のセメントクサビと仮定した時の定常応答を多層地盤系について解き, 八郎湾干拓堤防を例にとって実測値と理論値との比較を行なった。

2. 多層地盤上の堤体の定常応答

水平な基盤上に三層に堆積した地表面があり, その上には三角形の堤体が築造されているものと仮定し, これらの系に鉛直下向きに正弦波の入射波が入射した場合を考える。この時の各地盤に於ける応答は入力波の振中 A_1 に依りて求めることができる。堤頂に於ける応答 A_c と入力波の振中 A_1 との比, すなわち, 堤頂に於ける応答倍率は次のように書ける。

$$\frac{A_c}{A_1} = \frac{2\sqrt{(1 + \sum C_i D_i)^2 + (\sum C_i E_i)^2}}{\sqrt{F}} \quad ; \quad C_i = \frac{H_i \left(\frac{P}{P_i}\right)^2}{D_i^2 + E_i^2} \quad , \quad D_i = 1 - \left(\frac{P}{P_i}\right)^2 \quad , \quad E_i = \frac{7P}{G} \quad , \quad H_i = \frac{2}{E_i J_1(x_i)} \quad \dots\dots\dots (1)$$
$$F = \left(\cos^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \alpha_3 \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right)^2 + \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} + \alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right)^2$$
$$- 2\alpha_2(1-\alpha_1^2) \cos \frac{ph_2}{V_2} \sin \frac{ph_2}{V_2} \left(\cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} + \alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right) \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \alpha_3 \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right)$$
$$+ (K_1^2 + K_2^2) \left\{ \left(\cos^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} + \alpha_3 \cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} \right) + \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right)^2 \right.$$
$$+ 2\alpha_2(1-\alpha_1^2) \cos \frac{ph_2}{V_2} \sin \frac{ph_2}{V_2} \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} + \alpha_3 \cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} \right) \left(\alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right) \left. \right\} + 2\alpha_1\alpha_3\alpha_2 K_1$$
$$- 2K_2 \left[\left(\cos^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \sin^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} + \alpha_3 \cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} \right) \left(\cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \alpha_3 \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right) \right.$$
$$- \alpha_2^2 \left(\sin^2 \frac{ph_2}{V_2} + \alpha_1^2 \cos^2 \frac{ph_2}{V_2} \right) \left(\cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} + \alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right) \left(\alpha_3 \cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} - \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right)$$
$$\left. - 2\alpha_2(1-\alpha_1^2) \cos \frac{ph_2}{V_2} \sin \frac{ph_2}{V_2} \left\{ \alpha_3 \left(\sin^2 \frac{ph_3}{V_3} - \cos^2 \frac{ph_3}{V_3} \right) \left(\cos^2 \frac{ph_4}{V_4} - \sin^2 \frac{ph_4}{V_4} \right) + 2(1+\alpha_3^2) \cos \frac{ph_3}{V_3} \cos \frac{ph_4}{V_4} \sin \frac{ph_3}{V_3} \sin \frac{ph_4}{V_4} \right\} \right] \quad (2)$$

一方, 堤体底面に於ける振中 U_0 と入力波の振中 A_1 との比は

$$\frac{U_0}{A_1} = \frac{2}{\sqrt{F}} \quad (3)$$

で与えられる。ここに h は地表面の厚さ, V はその弾性波速度を示し添字はそれぞれ下からの地層の番号を示す。 α はそれぞれ地層間の振動インピーダンスである。

3. 応答特性の計算例

八郎湾干拓堤防のうち正面堤防を例にとり, 上記の仮定に基づいて周波数応答を求めてみた。計算に用いた振動系は図-1に示す通りである。なお, 堤体の振動については5次まで考慮し減衰定数は5%とした。図-2には

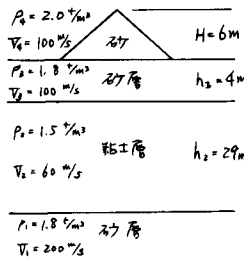


図-1 振動モデル

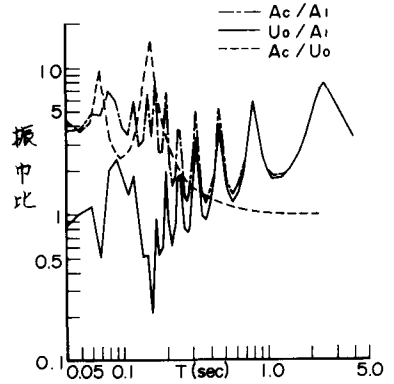


図-2 応答倍率曲線

堤体頂部における応答倍率、堤体底面における応答倍率および堤頂と堤体底面との振中比が記されている。堤体頂部における応答倍率は2.5秒、0.80秒、0.46秒および0.32秒等のところどピークを示している。ただし、堤体自身の固有振動周期は1次が0.16秒、2次が0.07秒であり、堤体の影響のない地盤での固有周期は1次が2.3秒、2次が0.74秒、3次が0.44秒および4次が0.31秒である。

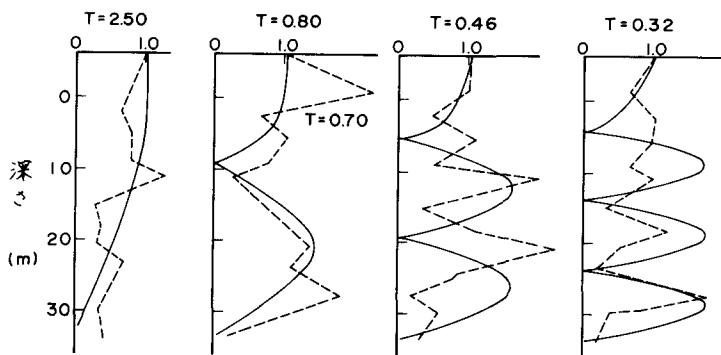


図-3 堤体および地盤の固有振動モード

図-3は堤体および地盤内の振中分布と、理論値と実験値と、また、実験値を破線で示したものである。実験値は河上・浅田によって八郎湾干拓堤防で得られた地中常時振動の振中スペクトルから各周期について堤頂部分のスペクトルを1として各深さのスペクトルの比を求めたものである。この図より1次から4次までの計算で求めた各固有周期に等しいかあるいはほぼ同様の周期における実験振中分布が理論値によるそれとよく一致していることが知られる。

図-4は中間に存在する粘土層厚を変化させて計算した場合の層厚と1次および2次の固有周期の関係を示したものである。この図より、固有周期が粘土層厚にほぼ比例することが理論的に示される。一方、同じ正面堤防で測定された常時振動の卓越周期と軟弱層の厚さとの関係を探めてみると図-5の如くになる。これらの常時振動の卓越周期は2次固有周期に近い値であり、1次固有周期のような比較的長い周期成分は得られていない。これは周期頻度曲線から求めた常時振動特性では短周期成分が顕著に表われ、長周期の成分は得られにくいことによるものと考えられる。図-6は理論的に求めた2次固有周期と実験の卓越周期との関係を示したものであるが、上部砂層の厚さを一定としたことと弾性波速度の値の精度とを考えると、ある程度相関性は認められる。

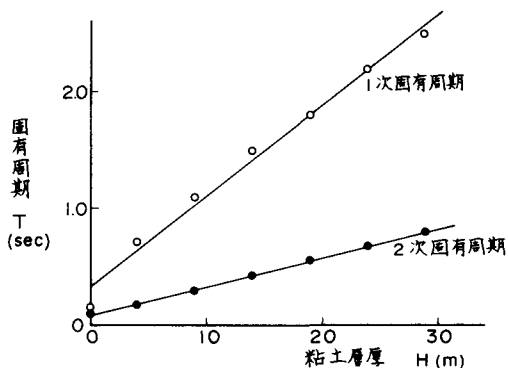


図-4 堤頂における固有周期

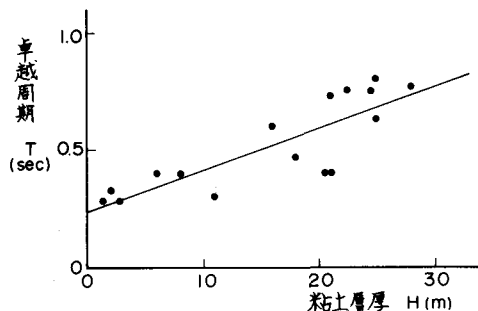


図-5 常時振動の卓越周期

4. および

既に得られている常時振動特性から、第2節で述べた理論の妥当性を検討したが、単純な波の重複反射に於ては実情は比較的良好な結果が得られた。今後、その他の土構造物についても同様の比較を行って、理論値を検討して行きたい。

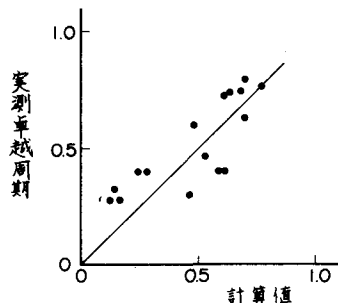


図-6 固有周期と卓越周期

参考文献 1)河上・浅田：八郎湾中央干拓堤防正面堤地帯物観測 (1972)