

護岸構造物と水および地盤との動的相互作用

京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学防災研究所の正会員 三浦房紀
 清水建設 正会員 古川幹夫

1. よえがき 海洋に囲まれた我国は無数の護岸構造物が構築されており、その地震時挙動を解明することは重要で、これまでにも多数の解析がなされている。しかし、そのほとんどは、構造物-地盤系の解析に止どまっており、動水圧の影響をも考慮に入れた解析例はほとんど見受けられない。そこで本研究では有限要素法を用いて構造物-水-地盤系の動的相互作用の解析を行い、護岸構造物の動的安定性に及ぼす動水圧の影響を調べる。

2. 構造物-水-地盤系の運動方程式 調和外力を受ける構造物-水-地盤系の運動方程式は次式で与えられる。

$$([K] - \omega^2[M]^* + i\omega[C])\{\delta\} = \{f_0\} \quad (1)$$

$$[M]^* = [M] + [M]_w \quad (2)$$

$$[M]_w = \rho_w [L]([H] - \omega^2[Q])^{-1}[L]^T \quad (3)$$

ここに $[K]$:剛性マトリックス, $[M]$:質量マトリックス, $[C]$:減衰マトリックス, $\{\delta\}$:節点変位ベクトル, $\{f_0\}$:節点外力ベクトル, ρ_w :水の密度, $[L][H][Q]$:マトリックスは動水圧に関するマトリックスである。 $[M]_w$ は付加質量マトリックスである。すなわち(3)式より明らかなように、動水圧は付加質量として構造物-地盤系に作用する。また、ここでは入力としては半無限弾性体の基盤層から表層へ垂直に入射するSH波を考慮しており、同時に表層から基盤層への入射波と同じ形の波動の逸散も解析に組み込んでいる。したがって、 $\{f_0\}$ はこれらの波動の関数として与えられる。

3. 解析モデル 図1に本研究で用いたモデルの1例を示す。これは半無限に広がる

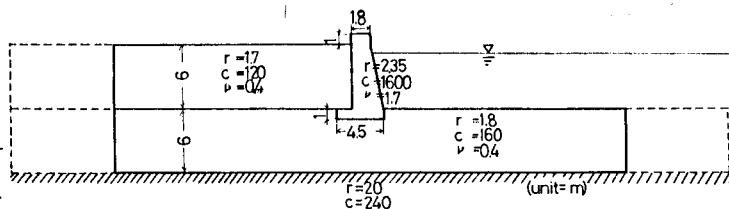


図-1 モデル図

水平な弾性基盤層上の表層地盤に、重力式擁壁が建設されているものを想定したものである。ここでは、図1において、裏込土と水の両方が存在しない基礎地盤だけのモデル(モデル1)、裏込め土は存在し水は存在しないモデル(モデル2)、および図1に示すこの両方が存在するモデル(モデル3)の3通りのモデルを用いる。モデルの境界条件としては全てのモデルにおいて、側方および底面の節点変位を、上下方向は固定、水平方向は自由としている。またモデルの両側の地盤の動特性は構造物から遠くなりに従ってその影響

TOKI KENZOU, MIURA FUSANORI, FURUKAWA MIKIO

は小さくなり各々の地盤に固有な動特性にそれぞれ近づくものと考えられる。このような現象を解析に組み込むためにモデルの両側に仮想の要素を設けて、左右の境界の振動性状を地盤のみの場合のそれに近づけるようにしている²⁾。一方、水系の側方には、波動エネルギーの逸散を考慮するために半無限要素を導入している¹⁾。なお固有値解析により得た系の固有振動数を表1に示す。

表-1 固有振動数

	MODEL 1	MODEL 2
Mode	(Hz)	(Hz)
1	5.18903	3.39784
2	7.31030	5.65991
3	7.44929	7.17364
4	9.29561	7.25940
5	10.38079	7.79583
6	12.95486	8.58749

4. 数値解析結果

図1は式(3)で定義された付加質量マトリックスの固有値特性を示したものである。付加質量は漸減して $H/2$ あたりで最小値をとり、それから二次曲線的に増加する。しかし、低振動数領域における減少量は極めて小さいものであり、一般には付加質量は振動数に比例的に増大するものと考えられる。

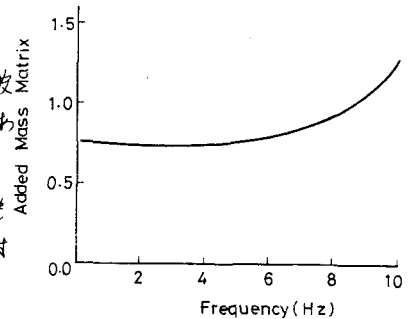


図-2 付加質量マトリックス

図3は水平方向の付加質量マトリックスの要素を単位面積当たりの動水圧に換算して図示したものである。ここでは対角要素のみを考えているのでこの図は全動水圧の分布を表わしてはいないが、対角要素が支配的であることから、ほぼそれに近い分布を与えているものと考えられる。この分布は構造物がその底面を中心に動揺運動をすることにより生じる動水圧分布と、並進運動により生じる動水圧分布が合成されたものと考えられる。

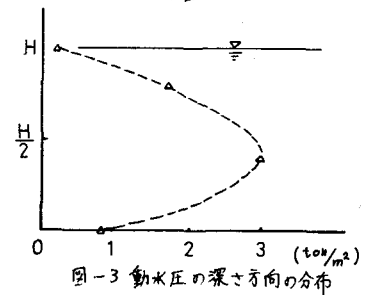


図-3 動水圧の深さ方向の分布

図4は構造物の天端での水平方向の応答倍率である。モデル1とモデル2ではその挙動が大きく異なり、裏込め土の存在は護岸構造物の応答に対してきわめて大きい影響をもつことが明らかである。動水圧の影響が見られるのは第2次共振点付近の6 Hzより高い振動数領域でありこれは付加質量 CM_0 が急に大きくなる振動数領域と一致している。6~8 Hzおよび8.4 Hz~10 Hzでは動水圧を考慮しているモデル3の応答倍率のものがそれを考慮していないモデル2に比べて小さくなっており、このことから動水圧は大局的には構壁の動的安定性を増加させる動的減衰能を発揮することがわかる。

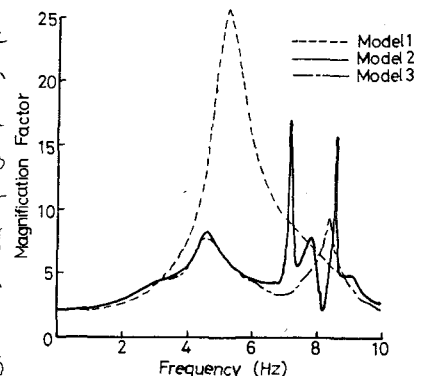


図-4 周波数応答倍率

- 参考文献 (1) P. Bettess And O. C. Zienkiewicz; Coupled Hydrodynamic Response Of Concrete Gravity Dams Using Finite And Infinite Elements, Earthquake Engineering And Structural Dynamics Vol. 6, 363-374 (1978).
(2) 栗田徹 佐藤忠信 辰巳守良; 有限要素による構壁の動的解析, 第4回日本地震工学シンポジウム(1975)講演集 PP. 455~462.