

建設省 土木研究所 正員 大塚 久哲

建設省 土木研究所 正員 岩崎 秀明

(財)建設技術研究所 正員 岩崎 敏男

(財)建設技術研究所 正員 大野 善雄

1. はじめに

水中や地盤内の橋脚や基礎の地震時挙動を動的解析法によって求める場合、従来、運動方程式中において付加質量は慣性項と外力項の両方に考慮されているが、既往の研究^{1)・2)}によれば地盤反力係数が振動数の増大に従って低下するという特性を表現するための便法として付加質量を導入するのであるから、付加質量を外力項において評価することは理論的に正しくないといわれている。本文ではこの裏付けとなる既往実験結果の解釈を示し、合わせて、簡単な試算によって付加質量を外力項に考慮するか否かが構造物の挙動に及ぼす影響の大きさを検討した。

2. 付加質量の取扱いと応答低減係数

1自由度系振動体の質量、減衰定数、バネ定数をそれぞれ M 、 C 、 K とし、入力加速度を $\ddot{U}_g$ としたときの振動体の相対変位 y を求めるための運動方程式は式(1)で与えられる。

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + Ky = -M\ddot{U}_g \quad (1)$$

ここで、付加質量 M_A を有する場合は、次の2つの運動方程式が考えられる。

$$(M+M_A)\ddot{y} + c\dot{y} + Ky = -(M+M_A)\ddot{U}_g \quad (2)$$

$$(M+M_A)\ddot{y} + c\dot{y} + Ky = -M\ddot{U}_g \quad (3)$$

式(2)は付加質量に基づく慣性力を外力項に算入する従来法、式(3)はそれを外力項に算入しない場合の運動方程式であり、ここで提案する新手法である。式(2)と(3)を比較すると、従来法に比べて、提案法の外力は $M/(M+M_A)$ 倍に低下することになる。ここで、従来法で求めた応答値に対する提案法による応答値の比を水と構造物との相互作用による構造物の応答低減率 r と定義すると、次のように表現できる。

$$r = M/(M+M_A) = \text{新提案方式による応答値} / \text{従来法で求めた応答値(変位)} \quad (4)$$

3. 過去の実験による応答低減係数の実証

文献3)によれば、図1(1)のように下端において板バネで支持した真鍮管を空気中と水中で振動させて、表1に示すような共振周期と板バネのひずみを得ている。この模型を同図(2)に示すような1質点系のモデルと見なして付加質量を求めてみる。真鍮管の質量 m は管径から推察して、 $m=0.497\text{g}$ 程度と推定される。1質点系の固有周期 T は、 k をバネ定数として、 $T=2\pi\sqrt{(m/k)}$ で求められるから、空気中での固有周期と m を代入して $k=663\text{gf/cm}$ が得られ、結局 $T=0.244\sqrt{m}$ となる。ただし、 $m=m+m_A$ である。この式に、表1のケース(2)、(3)の固有周期を代入し、付加質

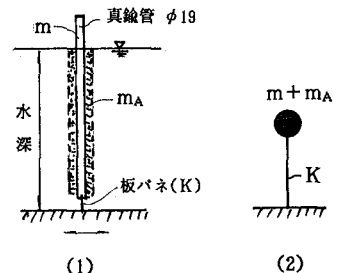


図1 水中構造物の模型実験

表1 各ケースの周期と板バネのひずみ

ケース	周期 T (sec)	板バネのひずみ $\varepsilon (\times 10^{-5}/\text{gal})$
(1) 空気中	0.172	2.80
(2) 水深 70cm	0.185	2.64
(3) 水深 100cm	0.213	2.47

表2 応答低減係数 r

ケース	$m+m_A$	m_A	r
(1)	0.497	0	1
(2)	0.575	0.078	0.864
(3)	0.762	0.265	0.652

量 m_A と応答低減係数 r を求めれば表2を得る。

一方、板バネのひずみは 震動外力すなわち質量×加速度に比例するはずであるが、表1のひずみは単位加速度当たりのひずみで整理されているから、ひずみ ε は質量に比例することになる。したがって、 $\varepsilon = r_e \cdot (m + m_A)$ で表されるはずである。ここに、 r_e は比例定数である。 r_e を空気中における値を1としたときの比 r' で表わすと表3のようになる。ひずみから求めた応答低減率 r' は質量効果を考えた応答低減係数 r に近い値を示していることが知られる。この差は、分布質量を集中質量と仮定して付加質量を求めたことや、粘性抵抗などによる影響が水深の大きい方が大きくなることによるものと思われる。

表3 ひずみから求めた低減率 r'

ケース	$\varepsilon (\times 10^{-6} / \text{gal})$	$m + m_A$	$r_e (\times 10^{-6})$	r'
(1)	2.80	0.497	5.63	1
(2)	2.64	0.575	4.59	0.815
(3)	2.47	0.762	3.24	0.578

4. 橋脚の試設計

図2に示すような2径間連続橋の中間橋脚の地震時天端変位を、試設計によって比較した例を示す。すなわち、付加質量を考慮しない場合を①、従来方式で付加質量を考慮する場合（付加質量を荷重項にも考える）を②、提案方式で付加質量を考慮する場合（付加荷重効果なし、すなわち応答低減係数を考える）を③として、それぞれの場合の橋脚天端変位を求め、①を基準として、②、③の場合の変位との比を取ると図3を得る。ここに、上部工荷重は834.6tとし、橋脚自重は形状寸法から計算する。付加質量は動水圧によって表現できるものとし、後藤・土岐式（道示式、本四式）によって求める。図3によれば、新方式では、水深が40m以上になると天端変位は動水圧なしの場合の87%に減少することが知られる。従来方式ではこれが1.3倍であるので、その差は大きい。

5. おわりに

岡本らの実験は本論のような視点から行われたものではないが、上記の考察は応答低減係数の概念の正当性を実証するものであると考えられる。今後、この問題についてのより精度の高い実験等による検討が望まれる。また、試設計で示したように応答低減率は水深が大きくなるにつれて小さくなり、今後の構造物の大型化、海洋への進出等を考えると看過できない設計上の重要課題であり、設計合理化と経済化に寄与するものと期待される。

【参考文献】

- 1)小坪・高西：杭基礎—地盤系における地盤係数の振動数特性と付加質量、土木学会論文集305号、1981.1
- 2)土岐：耐震設計基準における動的相互作用、土と基礎、1981.9
- 3)岡本・加藤・伯野：水中構造物の模型振動実験、土木学会第17回年次学術講演会概要、1962.5

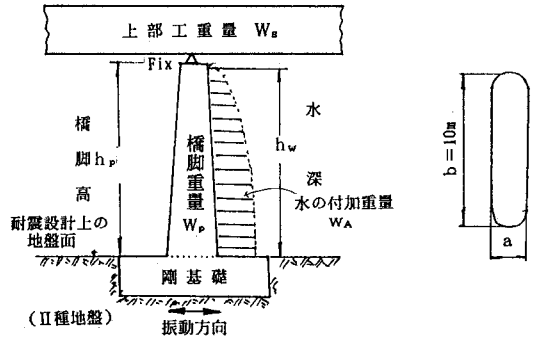


図2 試設計モデル

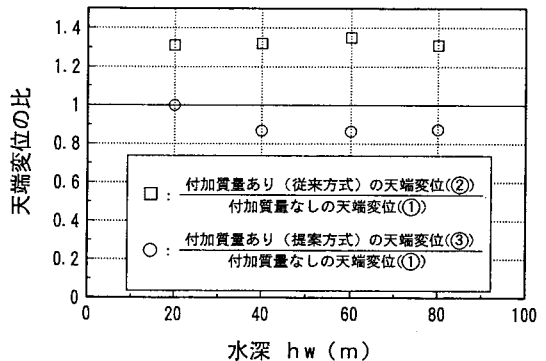


図3 従来方式と提案方式による天端変位の比較