

京都大学工学部 正 員 後藤尚男
 京都大学工学部 正 員 秋吉 卓
 日本国有鉄道 正 員 〇小国俊樹
 京都大学大学院 学生員 富岡 弘

1. まえがき

円形アーチのスパンが大きくなるとその第1次固有周期が増大し、たわみやすくなるので耐震設計にあたっては動的な影響を考慮する必要がある。そこで本研究においてはこのような円形アーチを対象として、面内振動の理論解析、模型実験、地震応答計算などを行ない、これらの結果からその耐震性について基礎的な考察を加えた。

2. 円形アーチの面内振動

図-1のような円形アーチの面内自由振動の運動方程式は、

(I) 沿線方向変位 v のみ考慮した場合、

$$\frac{EI}{R^4} \left(\frac{\partial^4 v}{\partial \phi^4} + 2 \frac{\partial^2 v}{\partial \phi^2} + v \right) + \frac{WA}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

(II) 沿線方向変位 v および接線方向変位 u もに考慮した場合¹⁾

$$\frac{EI}{R^4} \left(\frac{\partial^4 u}{\partial \phi^4} + 2 \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} \right) + \frac{WA}{g} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2 \partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$v = \frac{\partial u}{\partial \phi} \quad (\text{アーチ軸線の伸縮のない条件式}) \quad \text{----- (3)}$$

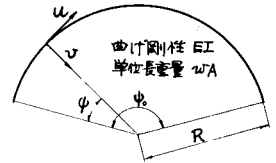


図-1

2コングアーチおよび3コングアーチについて、これらの式とそれぞれの場合の境界条件式とから振動方程式を導いたが詳細は省略する。

3. 地震応答計算

図-1の円形アーチが水平方向の加速度 $\ddot{x}$ および鉛直方向の加速度 $\ddot{y}$ を受ける場合の運動方程式は、式(1)に対応して、

$$\frac{EI}{R^4} \left(\frac{\partial^4 v}{\partial \phi^4} + 2 \frac{\partial^2 v}{\partial \phi^2} + v \right) + \frac{WA}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = - \frac{2WA}{g} \left[\ddot{x} \sin\left(\frac{\phi_0}{2} - \psi\right) - \ddot{y} \cos\left(\frac{\phi_0}{2} - \psi\right) \right] \quad \text{----- (4)}$$

ここでは現在大阪府で計画中の円形アーチ型防潮水門(3コングアーチ)を対象として、式(4)にModal Analysis を適用し、Newmarkのβ法によってアーチの1/4点の応答を計算した。結果を表-1に示す。

表-1 地震応答計算結果

応答量 減衰定数(%)	Taft 1952 Earthquake (最大加速度: 水平 511E (13 gal), 11.5 gal)					人工地震波 (最大加速度: 水平 200 gal, 鉛直 120 gal)				
	Max 相対変位 (cm)	Max 絶対加速度 (cm/sec ²)	Max 曲げ応力 (kg/cm ²)	絶対加速度の動的係数	曲げ応力の動的係数	Max 相対変位 (cm)	Max 絶対加速度 (cm/sec ²)	Max 曲げ応力 (kg/cm ²)	絶対加速度の動的係数	曲げ応力の動的係数
$\beta_1 = \beta_2 = 0$	13.8	2215.7	1454.8	11.5	5.5	8.9	2131.0	1180.5	10.7	4.4
$\beta_1 = \beta_2 = 1$	8.8	1318.2	881.8	6.8	3.3	7.7	1675.4	960.2	8.4	3.6
$\beta_1 = \beta_2 = 3$	5.7	926.5	580.3	4.8	2.2	6.1	1219.2	718.1	6.1	2.7
$\beta_1 = 3$ $\beta_2 = 1.57$	5.7	950.2	602.5	4.9	2.3	6.7	1452.4	828.6	7.3	3.1
$\beta_1 = 3$ $\beta_2 = 5.74$	5.5	850.9	554.4	4.4	2.1	5.7	1024.7	620.1	5.1	2.3
$\beta_1 = \beta_2 = 5$	4.8	792.1	501.2	4.1	1.9	5.2	1001.6	587.2	5.0	2.2
$\beta_1 = \beta_2 = 5$ (水平成分のみ)	4.2	658.3	449.5	3.4	1.7	絶対加速度の動的係数は $\frac{\text{Max 絶対加速度}}{\text{入力最大加速度}}$ 、曲げ応力の動的係数は $\frac{\text{Max 応力}}{\text{静的計算値}}$				

4. 模型振動実験

前記円形アーチ型防潮水門の1/50模型を作製し、自由振動、定常強制振動、ランダムな入力に対する応答実験などを行なった。自由振動実験、定常強制振動実験は2ヒンジアーチ、3ヒンジアーチについて行なったが原型の固有周期について実験より推定した値を理論値とともに表-2に示す。

ランダム振動実験は3ヒンジアーチに対し、white noise 入力によって行なったが、これより応答の最大値があるレベルを越すサンプル数の全サンプルに対する比を求めて応答の超過確率を算定した。²⁾これを図-2に示す。

5. おすび

本研究を通じて得られた成果はつぎの通りである。

(1)ここで対象としたような円形アーチの固有周期の計算には法線・接線両方向の変位を考慮すべきである。(2)円形アーチの場合、地震波の鉛直成分が地震応答に及ぼす影響は無視できない。(3)固有周期が0.数秒以上になると最大加速度200 gal 程度の強さの地震を受けても地震応答の最大値はかなり大となり、地震時の安全性が不確かなものとなる。このような円形アーチの耐震設計に従来の震度法をそのまま適用するのは不合理であり、ここに求められたような動的係数や超過確率図を参考にして動的影響を考慮すべきである。

(4)減衰定数が地震応答に及ぼす影響はきわめて大きいので、減衰があまり期待できない場合は適当な防振装置を設けることも必要であろう。

表-2 原型アーチの固有周期

	2 ヒンジアーチ			3 ヒンジアーチ		
	理論値		実験 推定値	理論値		実験 推定値
	法線方向のみ	法線・接線両方		法線方向のみ	法線・接線両方	
逆対称1次	0.473	0.584	0.569	0.473	0.584	0.562
対称1次	0.189	0.212	0.226	0.272	0.305	0.298

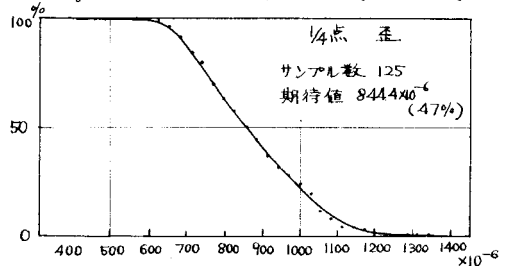
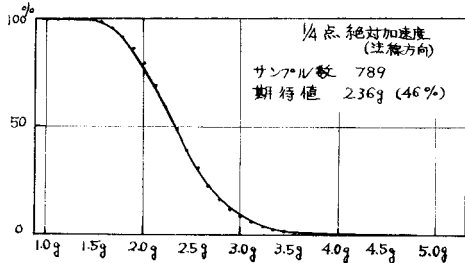
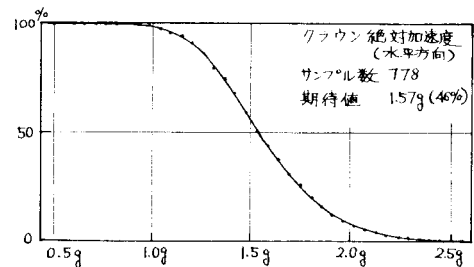
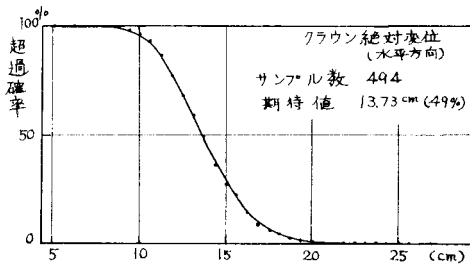


図-2 ランダムな入力による応答実験より求めた超過確率 (入力加速度のR.M.S. 0.15g)

1) Waltring, F. W.; Schwingungszahlen und Schwingungsformen von Kreisbogenträgern, Ingenieur-Archiv, V Band, 33429-449

2) Shinozuka, M. & Sato, Y.; On the Numerical Simulation of Nonstationary Random Process, Technical Report No. 31