I-221　「橋梁に添架されたパイプラインの地震時挙動の一解析法」

日本鋼管　正員　高野　護国
○　〃　〃　荒田　治

1. まえがき

近年，各種流体を輸送する手段としてパイプラインによる輸送方式が増加してきた。このパイプラインが河川，その他を横断する際には独立橋形式又は地下横断による形式よりも，既設の橋梁に添架する場合が非常に多い。又，パイプラインの使用目的も水，石油からガス，電気まで多種多様に亘っている。したがって，これらの橋梁に添架されたパイプラインの地震時に於ける挙動を調べてみることは，意味のないことではない。本報告は，この問題をある条件の下で解析する一方法を述べるものである。従来，この問題に関する確立した解析法がないために解析法としては，橋梁と添架パイプラインを一体化した構造物を考え，地震時の挙動を明らかにするため応答スペクトル解析を行った。

2. 振動解析

一般に質点系の運動方程式は周知のごとく次式で示される。

$$[M]\{\ddot{X}\}+[C]\{\dot{X}\}+[K]\{X\}=-[M]\{\ddot{Z}\} \qquad (1)$$

$[M]$：質量マトリックス（$t\cdot sec^2/m$）　$[C]$：粘性減衰マトリックス（$t\cdot sec/m$）

$[K]$：剛性マトリックス（t/m）　$\{X\},\{\dot{X}\},\{\ddot{X}\}$：質点変位・速度・加速度ベクトル（$m, m/sec, m/sec^2$）

$\{\ddot{Z}\}$：地震加速度ベクトル（m/sec^2）

(1)式を解くには直接積分（ルンゲクッター法，ニューマークβ法等）を行うことにより解析できるが，本報告に於いてはスペクトル解析を行うために，モーダルアナリシスにより解析を行った。

2－1　固有振動解析

モーダルアナリシスを行うにあたって，まず固有値と固有ベクトルを求めなければならない。それには，(1)式に於いて外力の項を零と置き，減衰を無視し，式を整理すると(2)式の如き固有方程式が得られる。

$$([K]-\omega^2[M])\{X\}=\{O\} \qquad (2)$$

(2)式を，既存の固有値解析プログラムを利用して解くために以下の操作を行う。剛性マトリックス$[K]$が対称かつ対角項の値が正の値（通常）であれば，$[K]$は上・下三角マトリックスの積に展開でき，上三角マトリックスを$[U]$とすると，$[K]=[U]^T[U]$となり，(2)式に代入して整理する。

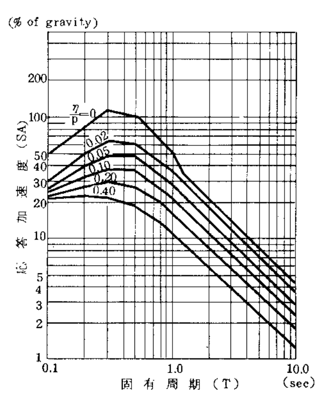
$$(([U]^T)^{-1}[M]([U])^{-1}-1/\omega^2[I])[U]\{X\}=\{O\} \qquad (3)$$

$([U]^T)^{-1}[M]([U])^{-1}$は対称マトリックス，$[I]$は単位マトリックスとなり，既存のプログラムで解析が可能となる。算出された固有値をλ，固有ベクトルを$\{\Phi\}$とすると，必要な固有値，固有ベクトルは(4)式より求まる。ここに，ω：固有円振動数（rad/sec），T：固有周期（sec），$\{X\}$：固有ベクトル（固有モード）

$$\omega=1/\sqrt{\lambda} \quad T=\omega/2\pi \quad \{X\}=[U]^{-1}\{\Phi\} \qquad (4)$$

2－2　応答スペクトル解析

本報告に於いて使用したスペクトルは建設省土木研究所提案の加速度応答スペクトルで，図－1に示す。次に橋梁と添架パイプラインを適当な質点系のモデルに置換しモーダルアナリシスを利用してスペクトル解析を行うと，i質点の変位の最大値は二乗和の平均値より求めると(5)式で与えられる。



図－1　加速度スペクトル曲線

$$\chi i\max=\sqrt{\sum_{n=1}^{n}\left[\beta j\ Xij\ Tj^2\ Saj/4\pi^2\right]^2} \qquad (5)$$

ここに$\beta j=\sum_{i=1}^{n} mi\ Xij/\sum_{i=1}^{n} mi\ Xij^2$（刺激係数）　Xij=固有ベクトル　Tj= j次の固有周期

Saj：hj，Tjに対する加速度応答スペクトルの値（図－1より求める。）

また，最大変位時の部材の力は直接剛性法により，(6)式で与えられる。

$$\{P\}_j=[K]_i\{X\}_i \qquad (6)$$

ここに$[K]_i$：部材iの剛性マトリックス，$\{X\}i$：部材iの節点変位ベクトル。

2－3　解析にあたっての仮定条件

添架パイプラインの地震時の挙動の解析にあたって，次の様に仮定する。

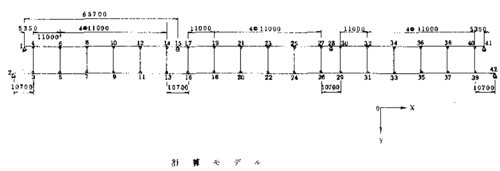
1）　橋梁は鋼桁のみから成り立っているものとする。

2）　床版等は重量のみ考慮する。

3）　橋梁の鋼桁は数本から成り立っているが，それらを1本の桁に置換える。

4）　パイプラインはピン結合された部材（軸力部材）で桁に吊下げられていると考える。

5）　減衰定数は0.021とする。



	桁				パイプ	吊材
部材	1～4，19～25，40～41	4～6，10～14，17～19，32～34，38～40	6～10，25～27，30～32，34～38	14～17，27～30	2～3，5～7，39～42	3～4，5～6，37～38，39～40
A　cm^2	4047	4617	6180	6966	256	3.04
I　cm^4	5760×10^4	7062×10^4	10677×10^4	11943×10^4	33010	0.0

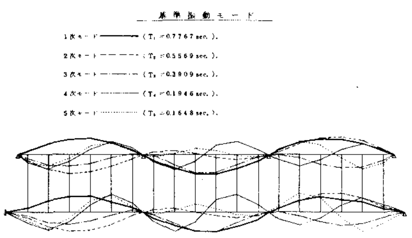
※桁単位重量　12.456 t/m　　※桁及びパイプ；$E=2.1\times10^6$ kg/cm²　吊材；$E=10^6$ kg/cm²

図－2　計算モデル

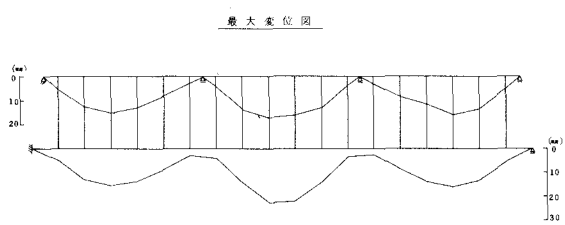
3. 計算例

計算例として，三径間連続桁に添架されたパイプラインの地震時挙動を解析して見る。今，2－3の仮定に基づいて，図2の様な質点系の計算モデルを作成し，これに対する応答解析を行った結果を以下に示す。

図－3には規準振動モード，図－4には変位，図－5には曲げモーメントを示す。なお，この場合の計算は加速度100galで行った。又，パイプラインの左端は土中埋設等のことを考えて固定端とした。



図－3　規準モード



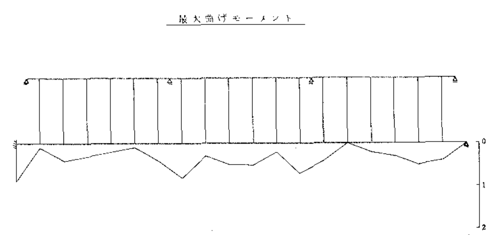
図－4　変　位　図

4. 結　論

1）　添架パイプラインの変位は，橋梁の各スパンの中央で大きくなっている。

2）　曲げモーメントは，橋梁の支点附近と固定端で大きくなっているが，その値は小さい。

3）　このような結果から，橋梁の支点附近，添架部から土中への移行点などでは，地震の規模により大きな部材力の発生も考えられる。



図－5　曲げモーメント図

5. あとがき

橋梁に添架されたパイプラインの地震時挙動を前述の方法で調べてみた。かなり大まかな仮定の下ではあるが，地震時挙動が定性的に明らかになったと思われる。今回は曲げ振動のみを考えたが，軸方向振動の場合の挙動も調べて見る必要があると思われる。又，解析と実験との比較も今後必要になると思われる。