

マサツを考慮した橋脚と橋桁の地震応答解析

東北大学工学部 正員 柳沢 栄司
東北大学工学部 学生員 ○西尾 若志

1. はじめに

1978年2月20日の宮城沖地震及び6月12日の「宮城奥沖地震」によつて建設中の東北新幹線用の高架橋が被害を受けた。特に、「シュー」にひびわれが入り、たり、「シュー」をとめるアンカーボルトが曲がりたりするなど、橋脚と橋桁の相対的挙動による被害が目についた。本研究は、このような構造をごく単純にモデル化、すなわち、クローン摩擦だけで結ばれた2質点系を考え、この系の地震応答解析を試みたものである。

2. モデル化及び運動方程式

Fig-1に示すモデルを考える。物体B(質量 m_b)は地面とバネ(k)及びダッシュポット(C)で結ばれ、物体Aとは(m_a)クローン摩擦だけで結ばれている。(静止マサツ係数 μ_s 、動マサツ係数 μ_k)この系に地震地動変位 $Z(t)$ が入力したときの系の運動方程式は次のようになる。

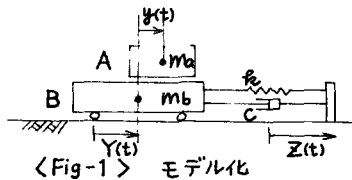


Fig-1 モデル化

$$\begin{cases} (m_a + m_b)\ddot{Y} + C\dot{Y} + kY = kZ + C\dot{Z} \\ m_a\ddot{y} = 0 \end{cases} \text{ for } |\ddot{Y}| < \mu_s g \quad \text{--- (1)}$$

$$\begin{cases} m_b\ddot{Y} + m_a\mu_k g + C\dot{Y} + kY = kZ + C\dot{Z} \\ m_a\ddot{y} = m_a\mu_k g - m_a\ddot{Y} \end{cases} \text{ for } |\ddot{Y}| \geq \mu_s g, \dot{y} \geq 0 \quad \text{--- (2)}$$

$$\begin{cases} m_b\ddot{Y} - m_a\mu_k g + C\dot{Y} + kY = kZ + C\dot{Z} \\ m_a\ddot{y} = -m_a\mu_k g - m_a\ddot{Y} \end{cases} \text{ for } |\ddot{Y}| \geq \mu_s g, \dot{y} < 0 \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 Z, \dot{Z}, \ddot{Z} ; 地動絶対変位, 速度, 加速度
 Y, \dot{Y}, \ddot{Y} ; 物体Bの絶対変位, 速度, 加速度
 y, \dot{y}, \ddot{y} ; 物体AのBに対する相対変位, 速度, 加速度
 g ; 重力加速度

この運動方程式は地震地動変位及び速度に対して、NEWMARKの β 法を用いて数値的に解かれた。

3. 解析モデル及び解析例

解析したモデルは、 $m_a = 6.1 \times 10^5 [g \cdot sec^2/cm]$ (重量600t), $m_b = 3.8 \times 10^5 [g \cdot sec^2/cm]$ (重量370t), $k = 8.0 \times 10^8 [g/cm]$, $C = 1.5 \times 10^6 [g \cdot sec/cm]$, $\mu_s = 0.35$, $\mu_k = 0.17$ なる系である。入力した地震波はTable-1に示すように、4種類の強震をそれぞれ、最大加速度50~450galの範囲で適当に拡大、縮小した計34波である。なお、地震の加速度記録にBASE LINE CORRECTIONをほどこし、地動速度、変位を求め入力した。応答解析例として、Fig-2に示す地震入力に対する、橋脚の絶対挙動(Fig-3)、橋桁の絶対挙動(Fig-4)、橋脚に対する橋桁の相対挙動(Fig-5)を示した。

4. 結果及び考察

橋脚と橋桁の接合部である「シュー」には、施工上の理由からCLEARANCEが存在する。

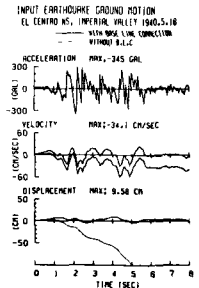


Fig-2

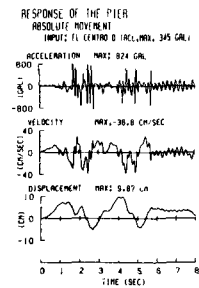


Fig-3

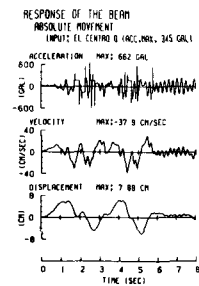


Fig-4

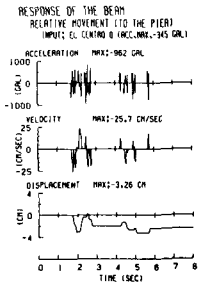


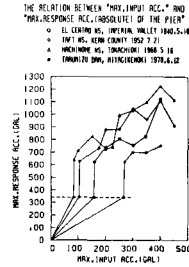
Fig-5

そのため、橋脚と橋桁は地震入力のある範囲内では一体とな、て挙動するが、それを越えると別々に挙動し始め、ある速度で衝突する。従って、こうした構造物の安全性を考える場合、(i)橋脚の絶対加速度、(ii)橋桁の絶対加速度、の他に (iii)橋脚と橋桁の相対変位及び速度も又、向題となる。

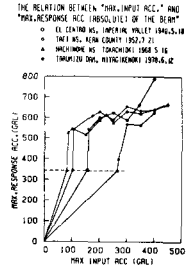
地震名	年月日	観測場所	方向	最大加速度 (gal)	最大クリアランスの最大加速度 (gal)
Imperial Valley	1940 VII 18	El Centro	NS	345	100, 160, 200, 250, 300, 400
Kern County	1952 VII 21	Taft	NS	174	100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450
十勝沖	1968 VII 16	八戸	NS	224	50, 85, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450
宮城県沖	1978 VII 12	樽水	N35W	237	100, 200, 270, 350, 400

< Table-1 > 入力地震波

Fig-6及び7は入力最大加速度に対する、それぞれ、橋脚及び橋桁の応答最大加速度の関係を示したものである。一種類の地震波については、入力最大加速度がある値になるまでは橋脚と橋桁は一体とな、て挙動し、それを越えると別々に挙動するようになり、応答最大加速度は急に大きくなる。この臨界入力最大加速度は、地震波の種類により大きく異、っていることがわかる。



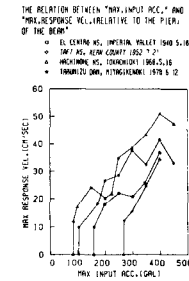
< Fig-6 >



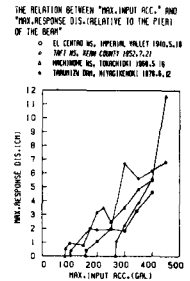
< Fig-7 >

Fig-8及び9は入力最大加速度に対する橋桁の橋脚に対する相対的な速度及び変位を示したものである。

Fig-10及び11は、それぞれ、CLEARANCEが1.00及び2.00 CMの場合の入力最大加速度と衝突最大速度の関係を示している。



< Fig-8 >

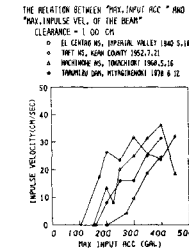


< Fig-9 >

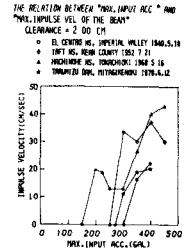
Fig-12は入力最大加速度には関係なく、CLEARANCEと衝突最大速度との関係を示したもので、CLEARANCEには最も大きな衝突速度が予想される大きさが存在することがわかる。

5. まとめ

橋脚と橋桁からなる構造をクーロン摩擦だけで結ばれた2質点系にモデル化し、地震応答解析を行な、た。こうした構造の安全性を考える場合、重要となる主な要素は、橋脚及び橋桁の応答絶対加速度、及び橋桁の橋脚に対する応答相対変位及び速度である。このいずれも、橋桁に最大静止摩擦力を越える慣性力が作用し、橋脚と橋桁が別々に挙動するようになると急に大きな応答値を示し、向題となる。従、て、どのような地震入力があるとそれらが別々に挙動し始めるかということが重要である。本研究で示したように、地震波の最大加速度というパラメーターではこれを統一的に示すことはできそうにない。すなわち、最大加速度が100gal以下で別々に挙動し始める地震波もあり、250galでも別々に挙動しない地震波も存在する。



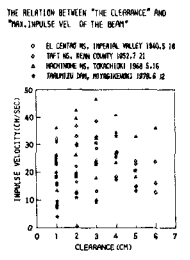
< Fig-10 >



< Fig-11 >

地震の被害は、必ずしも最大加速度に関係しないということが言われているが、本研究においても同様のことと言える。加速度振幅と共に、振動数特性、振動の継続時間、種震波数などを考慮に入れた新しいパラメーターによ、て整理し直す必要があると思われ、今後はその方向で研究を進めたい。

橋脚と橋桁からなる構造物の設計に関しては、下部構造の剛性、上部構造の質量、CLEARANCEの大きさ、支承部の摩擦係数などに注意する必要があると思われる。



< Fig-12 >