

(66)すべり支承の慣性力解放効果について（その3）

パシフィック・コンサルタンツ（株） 正会員 林 亜紀夫

はじめに

例えば橋梁の可動支承に見られるようなすべり摩擦によって水平力を伝達する機構はその摩擦力以上の水平力を解放する効果を持つ。構造物を設計する際に大きな慣性力が発生する部分にこの機構を継手として設けるとその部分より上方に発生する過大な慣性力を解放するので免震構造にすることが可能である。この構造は継手部分に相対変位を許容することで慣性力を解放するのでその相対変位を適確に評価することが必要である。一般的な橋梁を例にとってその支承部分をすべり支承とした3質点モデルによる試算を先に行い^{*1}1回の地震で発生する相対変位は最大値、残留値ともそれ程大きくないことがわかった。すべり支承のみを1質点1自由度モデルとして正弦波を入力する試算^{*2}では「入力の周期が長くなる程相対応答変位は大きくなること」「一般的に地震動は長い周期になる程その振巾成分が小さくなることを考えると相対変位が大きくなる入力周期が認められるがその周期は入力の大きさに関係があること」がわかった。今回の試算では慣性力解放効果（免震効果）を表現する指標を設定し、これと相対変位との関係、入力波特性との関係について検討を行った結果を報告する。あわせて、この種の構造物の設計に際してすべり支承部に生ずる相対変位量を予め推定したり、動的応答解析の入力地震動を選定する作業に関する一試案を提案する。

1. 計算モデル

すべり支承に生ずる相対変位と入力地震動との関係を計算するために図1に示すような1質点1自由度のモデルを設定し、式1)の運動方程式による応答を求めた。

$$m\ddot{X} + F(\dot{X}) = -m\ddot{e}(t) \quad \dots\dots\dots 1)$$

m は質点の質量、 $\ddot{X}$ と $\dot{X}$ は質点の相対加速度と相対速度、 $F(\dot{X})$ は下記によるすべり支承反力である。

$ F(\dot{X}) = mG\mu$	(滑動状態の時)
$0 \leq F(\dot{X}) < mG\mu$	(付着状態の時)
反力の方向は相対速度 $\dot{X}$ と逆の方向に働く。	
μ ; 摩擦係数	G ; 重力の加速度

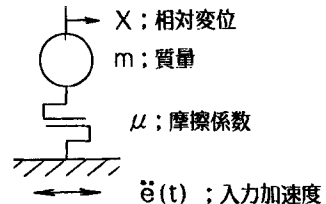


図1 モデル

すべり支承部の摩擦係数 μ は一定とし、静摩擦と動摩擦の差はないと仮定した。 $\ddot{e}(t)$ は時刻 t の入力加速度であり、各周期の正弦波、ホワイトノイズ、地震動記録等を用いた。

2. 慣性力解放効果と相対変位の関係

すべり支承部分では $m\mu G$ 以上の水平力が解放されるので質点には μG 以上の加速度は発生しない。したがって入力加速度が μG を越えた時点でそれ以上の応答加速度がカットされた形となり、 $\ddot{e}(t) - \mu G$ を慣性力解放量と考えても良い。そこで入力加速度 $\ddot{e}(t)$ の最大値が Λ_{max} の時の慣性力開放量を無次元化した係数 R_i を式2)のように設定し、これが慣性力解放効果（免震効果）を表現すると考える。この係数

$$R_i = \frac{\Lambda_{max} - \mu \cdot G}{\Lambda_{max}} \quad \dots\dots\dots 2)$$

R_i は入力波形の内で解放される分が全体の振巾に占める率を表現するものである。

図2に各種の波形を入力した場合にすべり支承に発生する相対変位量と上記係数 R_i との関係を示した。

入力波形は表1に示す4種類のランダム波と周期 $T = 0.1 \text{ sec}, 0.5 \text{ sec}, 1.0 \text{ sec}, 5.0 \text{ sec}$ の正弦波を用いた。図2-a)は縦横軸ともに普通のスケールで、図2-b)は縦軸を対数スケールとして左下方の部分を見易くしたものである。これらのケースではすべり支承の摩擦係数 μ を0.2として計算した。一般的な土木構造物では水平震度 $K_h = 0.2$ 程度を設定することが多いので、この条件以上の慣性力のみを解放する限定した免震構造が現実的であると考えたからである。

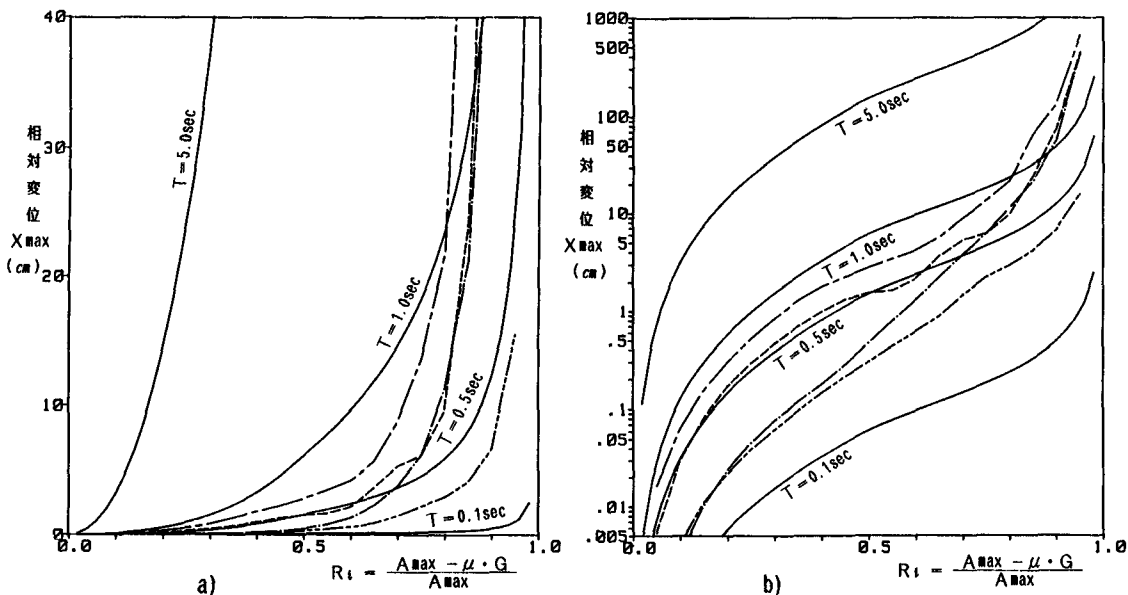


図2 免震効果と相対変位の関係

線分種類	整理記号	入力波形の内容
————	S(0.1~5.0)	正弦波(周期T=0.1~5.0 sec)
-----	W-V	0.1 Hz ~ 10 Hzの一定の速度振巾を持つホワイトノイズ
~~~~~	W-A	0.1 Hz ~ 10 Hzの一定の加速度振巾を持つホワイトノイズ
~~~~~	ハ	地震波
~~~~~	エルセントロ	

表1

図2を見ると正弦波による応答の傾向はどれも相似形であり、入力周期が長い程応答も大きいことがわかる。ランダム波入力によるものも長い周期成分を多く含むもの程大きな応答を示している。

$R_i \approx 0 \sim 0.7$ の範囲で地震波入力によるものがホワイトノイズ入力によるものよりも大きな応答を示しているのは前者がはっきりした主要動部分を有する包絡形状をしていることが関係していると考えられる。

### 3. 入力波の特性と相対変位の関係

前節では係数  $R_i$  と相対変位量の関係を示し、入力波の特性を図上で把握することができた。さらに入力波のそれぞれがすべり支承の相対変位量に与える影響をもう少し端的に表現し得る特性値を設定できれば便利である。例えば入力加速度波形を積分して得られる変位  $e(t)$  の最大値がすべり支承相対変位の最大値を推定する手がかりとなると考えられるが、図3のb)とc)に見られるように両者はあまり似ていない。異なるのは支承部がすべっていない状態(付着状態)の挙動が原因であると推察でき、これは入力加速度が  $\mu \cdot G$  以下である時間帯にほぼ相当する。この事情を反映するために下記の条件を付けた積分を行い、擬似相対変位量を求め、 $e_m(t)$ とした。(図3-d)を参照)

[積分の際の条件]

- ①  $|\ddot{e}(t)| < \mu \cdot G$  の時; 加速度  $\ddot{e}_m(t)$ , 速度  $\dot{e}_m(t)$  とともにゼロとする。(付着状態に相当する)
- ②  $|\ddot{e}(t)| \geq \mu \cdot G$  の時; 加速度  $\ddot{e}_m(t) = \ddot{e}(t) - \mu \cdot G$  とする。(滑動状態に相当する)

この擬似相対変位  $e_m(t)$  はすべり支承の相対変位  $X(t)$  とほぼ相似であるから、入力波のそれぞれがすべり支承の相対変位量に与える影響に関する特性を表現し得ると考え、その最大値の比を式3)のように設定し、前節の係数  $R_i$  との関係求めた。(図4参照)

$$R_{x/e} = \frac{X(t)_{\max}}{e_m(t)_{\max}} \dots\dots\dots 3)$$

係数  $R_{x/e}$  は擬似相対変位  $e_m(t)$  とすべり支承の相対変位量の相似比率を表現するものである。

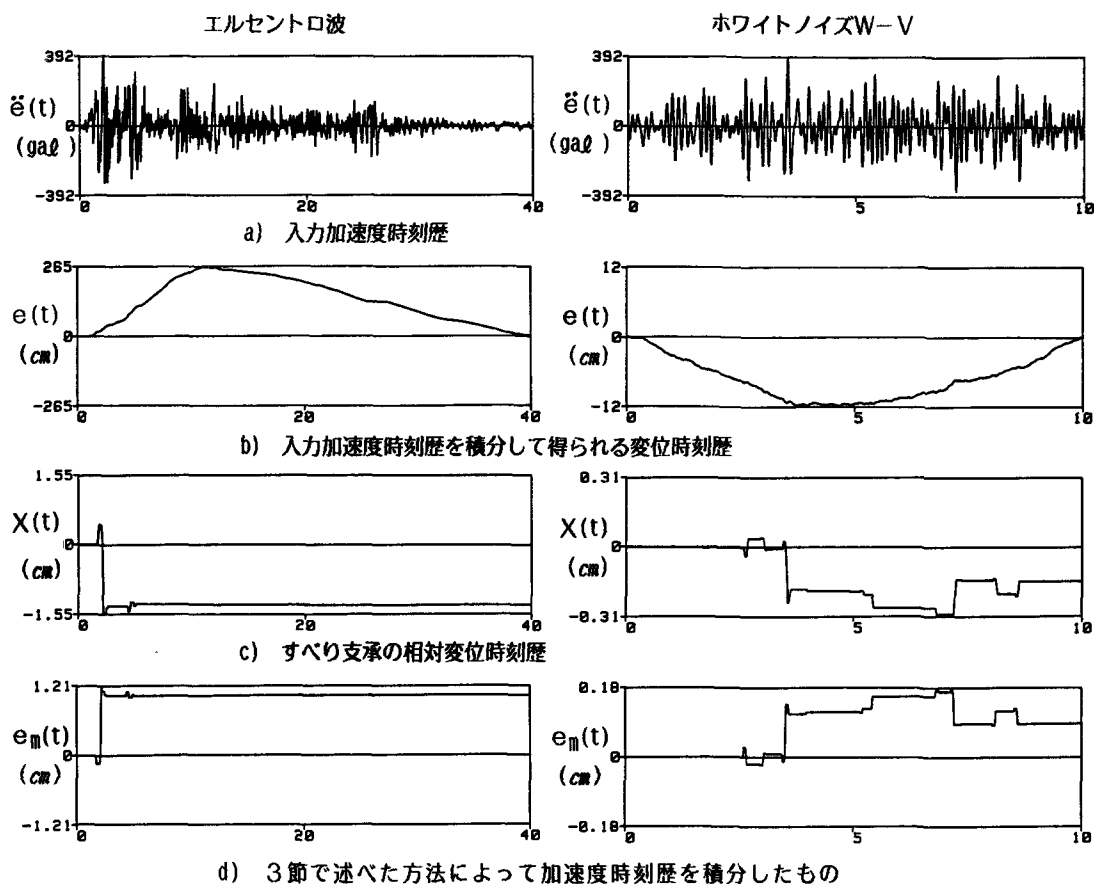


図3 入力波と相対変位，擬似相対変位の例 ( $R_t = 0.5$  の場合)

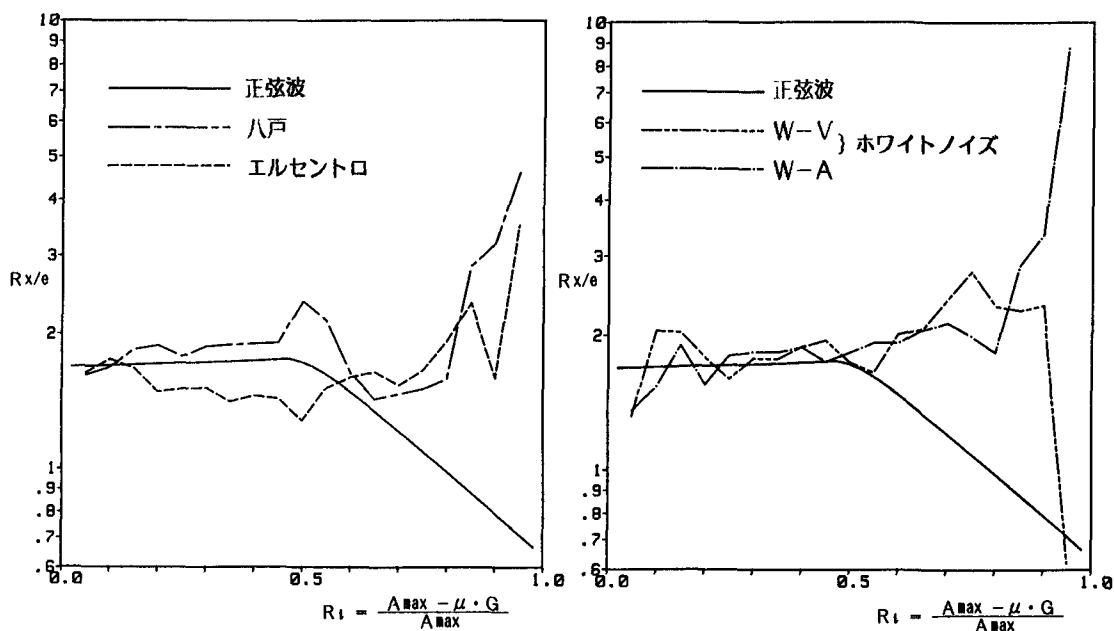


図4 すべり支承相対変位と3節で述べた擬似相対変位の関係

図4で正弦波入力による $R_x/e$ のデータはすべて同一の線上に重なっており、 $R_i \equiv 0 \sim 0.5$ の範囲では $R_x/e$ は約1.7程度で一定に近い。ホワイトノイズと地震波のランダム波形については規則的な傾向が見られないが $R_i \equiv 0 \sim 0.5$ の範囲ではそれ程バラツキが生じていない。 $R_i > 0.8$ の部分で特にバラツキが大きいのは計算時間内のほとんど全部の時間が滑動状態となり、擬似相対変位の計算の仮定と大きく異なるからであり、この方法の限界と考えられる。

#### 4. 摩擦係数が異なる場合について

3節までの試算は摩擦係数 $\mu = 0.2$ とした計算の結果である。摩擦係数 $\mu$ が変化すると発生する相対変位も変化するが、図2でまとめたように横軸を $R_i$ として図化するとその縦距は $\mu$ の値が異なるものであっても相似形となり、比率は $\mu$ の値に比例する。そこでこの図の縦軸を $\mu$ で割った値 $X_{\max}/\mu$ にすると図5のように $\mu$ の値にかかわりなく1本の線としてまとめることができる。

従って図5は $\mu$ の値が異なる場合にも適応する。

- 正弦波 (T; 周期)
- ホワイトノイズ W-V
- ホワイトノイズ W-A
- 八戸
- エルセントロ

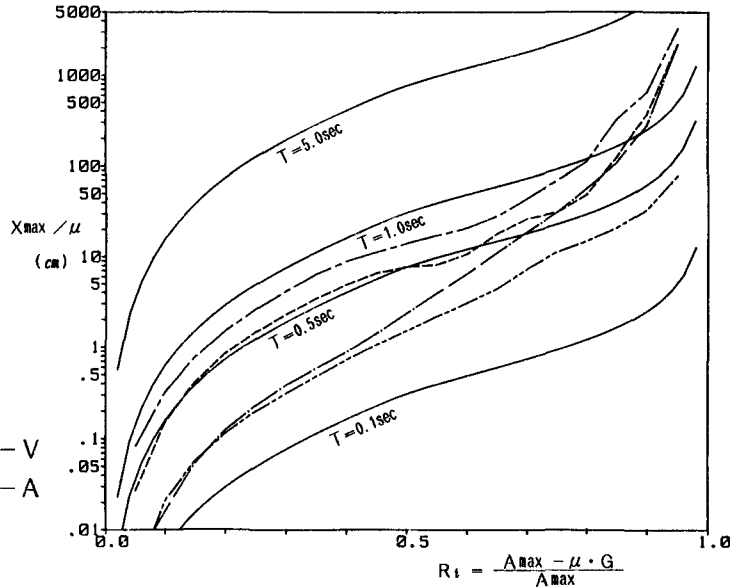


図5 免震効果と相対変位係数 $X_{\max}/\mu$ の関係

#### 5. 免震構造設計の際の利用

すべり支承のように慣性力を解放する際に相対変位を生ずる免震機構を付加した場合には過大な相対変位が生じないかどうかを検討する必要がある。この検討を行う際に大きなすべりを生ずる地震動を予め選ぶことができれば便利であり、この目的のためには図5に示した免震効果 $R_i$ と相対変位係数 $X_{\max}/\mu$ の関係図を参考にすることができる。何種類かの地震動について予めこの図を求めておき、すべり機構にとって不利なものを選ぶことができる。この図を簡便に略算する必要がある時には、3節で述べた入力波形を積分する方法も参考になり得ると考えられる。

#### 考察と結論

入力の周期が長い周期になるとすべり支承の相対変位も大きくなるが、地震動の加速度振中成分は各周期について一定ではないことを考えると最も長い周期だけが問題となるとは限らないことが先の試算^{*1}でわかっている。今回の試算ではもう少し実際の波形としてホワイトノイズや地震記録を入力し、慣性力解放効果(免震効果)と相対変位の関係を求めたが、それぞれの波形の特性を図の上で把握することができたと考えられる。柔軟な構造系の一部にこの種の免震機構を設けた場合には入力の周期特性だけでなく構造の側に固有の周期特性も影響することになるが、その際に3節で述べた方法を適用する仕方について今後検討を進めて行く予定である。

#### 参考資料

- *1, 林; すべり支承の慣性力解放効果について、第12回関東支部技術研究発表会概要集(1985年) P. P. 21 ~22
- *2, 林; すべり支承の慣性力解放効果について(その2)、第40回年次学術講演会(1985年)