

強震下における 1 自由度系の残留変位応答スペクトルに関する一考察

徳島大学大学院 学生員 ○三矢 草 徳島大学工学部 正会員 成行 義文
 徳島大学工学部 正会員 三神 厚 徳島大学大学院 学生員 奥野 央之

1. はじめに 耐震設計法においては、強震下における構造物の残留変位の照査が規定されている¹⁾が、残留変位に大きな影響を及ぼす要因について十分な検討がなされているとは言えない。本研究では、強震下における 1 自由度系の残留変位応答スペクトルに及ぼす構造特性（固有周期、減衰定数、弾塑性剛性比、復元力履歴特性、ならびに所定の変位塑性率等）および入力地震動特性の影響について比較検討し、若干の考察を行った。

2. 解析モデルと解析方法 本研究では、構造物を 1 自由度系にモデル化し、その基部に地震動を作用させて地震応答解析を行った。なお、解析では最大応変位塑性率が所定の値になるような系の降伏変位を収束計算により定めた。

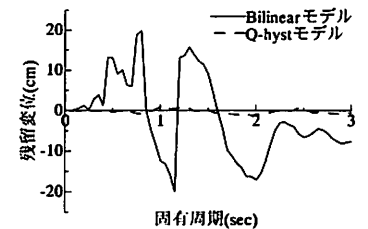
3. 固有周期、復元力履歴特性の影響 復元力履歴特性が残留変位応答スペクトルに及ぼす影響について比較検討するために、復元力履歴モデルに Bilinear モデルと Q-hyst モデルを用いた場合の残留変位応答スペクトル、残留変位塑性率応答スペクトルをそれぞれ求め、これらを図 - 1 に示した。入力地震動は JMA Kobe NS 記録を用い、また弾塑性剛性比 $\gamma=0.0$ 、減衰定数 $h=0.02$ 、所定の変位塑性率 $\mu_d=3.0$ とした。なお、系の固有周期 T_0 は、 $0.05 \sim 3.0(\text{sec})$ の範囲で $\Delta T_0=0.05(\text{sec})$ として変化させた。

図 - 1(a), (b) より、Q-hyst 型 1 自由度系の残留変位ならびに残留変位塑性率は、Bilinear 型 1 自由度系のそれらに比べてかなり小さいことがわかる。これは、Q-hyst モデルは変位反転後に剛性が劣化するために Bilinear モデルよりも原点指向性が高いためと考えられる。ちなみに $T_0=1.0\text{sec}$ のときの両モデルを用いた場合の復元力履歴曲線は図 - 2 のようである。また図 - 1 より、復元力履歴モデルに依らず残留変位ならびに残留変位塑性率応答スペクトルは固有周期依存性が高いことがわかる。

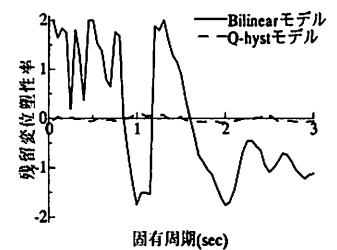
4. 入力波の等価インパルスモデル 入力地震動特性パラメータとして、正負の絶対最大加速度 $|\ddot{x}_{G1}|_{\max}$ 、 $|\ddot{x}_{G2}|_{\max}$ とそれらのタイムラグ Δt に着目し、

これらのパラメータが残留変位応答スペクトルに及ぼす影響を検討するために、それらのパラメータのみから成る図 - 3 のような模擬地震動（以下等価インパルスモデルと呼ぶ）を用いる。

5. 等価インパルス入力波に対する残留変位応答スペクトル 入力地震動特性が残留変位応答スペクトルに及ぼす影響を検討するために、等価インパルスモデルにおいて $\ddot{x}_{G1}=500(\text{gal})$ とし、 $\ddot{x}_{G2}$ を表 - 1 のように変化させた場合および Δt を表 - 2 のように変化させた場合のそれぞれの等価インパルス入力波に対する残留変位応答スペクトルを求めた。この結果とともに等価インパルス入力波のフーリエスペクトルを図 - 4、図 - 5 に示す。なお、復元力履歴モデルに Bilinear モデルを用い、弾塑性剛性比 $\gamma=0.0$ 、減衰定数 $h=0.02$ 、所定の変位塑性率 $\mu_d=3.0$ 、固有周期 $T_0=0.05 \sim 3.0(\text{sec})$ ($\Delta T_0=0.05(\text{sec})$) として解析を行った。



(a) 残留変位応答スペクトル



(b) 残留変位塑性率応答スペクトル

図 - 1 復元力履歴特性の影響

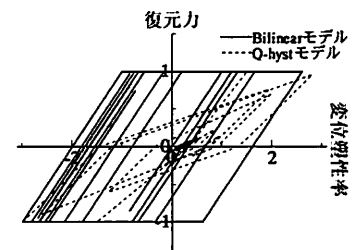
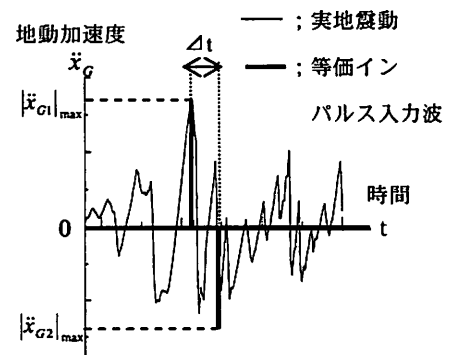
図 - 2 復元力履歴曲線 ($T_0=1.0\text{sec}$)

図 - 3 等価インパルスモデル

図 - 4 より, $\ddot{x}_{G2}$ を変化させた場合は残留変位応答スペクトル, 等価インパルス入力波のフーリエスペクトルともに, $\ddot{x}_{G2}$ の絶対値が小さいほどスペクトルが直線に近づく傾向を示しており, またスペクトルの変動の仕方に類似性がある. Δt を変化させた場合は図 - 5 より, 残留変位応答スペクトル, 等価インパルス入力波のフーリエスペクトルともに Δt が小さいほど変動が緩やかである. 以上のことから, 2 個のインパルス加速度の符号が異なる場合には, 残留変位応答スペクトルと等価インパルス入力波のフーリエスペクトルの間に類似性が認められることがわかる.

--- $\ddot{x}_{G2} = -500 \text{ gal}$ - - - $\ddot{x}_{G2} = -400 \text{ gal}$
 - - - $\ddot{x}_{G2} = -300 \text{ gal}$ — $\ddot{x}_{G2} = 0 \text{ gal}$

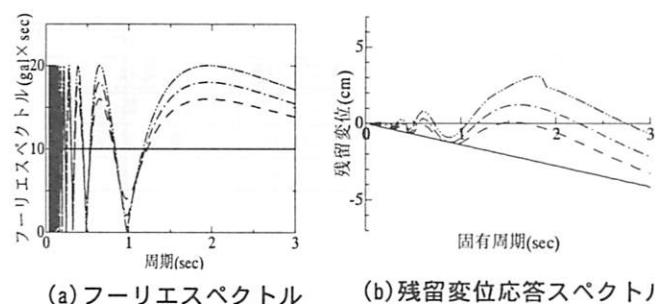


図 - 4 $\ddot{x}_{G2}$ を変化させた場合
 ($\ddot{x}_{G1} = 500 \text{ gal}$, $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$)

--- $\Delta t = 5.0 \text{ sec}$ - - - $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$
 - - - $\Delta t = 0.5 \text{ sec}$ — $\Delta t = 0.1 \text{ sec}$

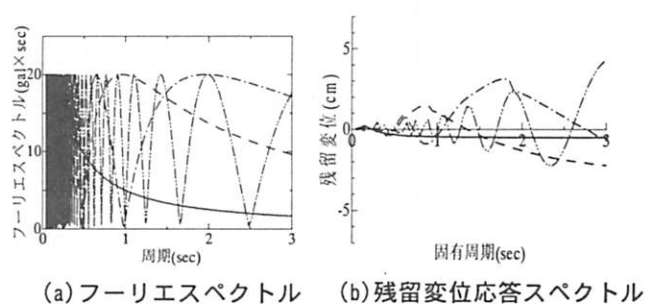


図 - 5 Δt を変化させた場合
 ($\ddot{x}_{G1} = 500 \text{ gal}$, $\ddot{x}_{G2} = 500 \text{ gal}$)

表 - 1 $\ddot{x}_{G2}$ を変化させた場合

case	$\ddot{x}_{G1}(\text{gal})$	$\ddot{x}_{G2}(\text{gal})$	$\Delta t(\text{sec})$
caseA-1	500	-500	1.0
caseA-2	500	-400	1.0
caseA-3	500	-300	1.0
caseA-4	500	0	1.0

表 - 2 Δt を変化させた場合

case	$\ddot{x}_{G1}(\text{gal})$	$\ddot{x}_{G2}(\text{gal})$	$\Delta t(\text{sec})$
caseB-1	500	-500	0.1
caseB-2	500	-500	0.5
caseB-3	500	-500	1.0
caseB-4	500	-500	5.0

6. 実地震動の等価インパルス入力波に対する残留変位応答スペクトルとその精度 実地震動に対する残留変位応答スペクトル, 降伏変位スペクトルと実地震動の等価インパルス入力波に対するそれらを求め, 図 - 6 に示した. 実地震動として EL Centro NS 記録を用いる. この場合, 等価インパルスモデルのパラメータは $\ddot{x}_{G1} = 341.7(\text{gal})$, $\ddot{x}_{G2} = -263.1(\text{gal})$, $\Delta t = 0.32(\text{sec})$ となる. なお, 復元力履歴モデルに Bilinear モデルを用い,

弾塑性剛性比 $\gamma = 0.0$, 減衰定数 $h = 0.02$, 所定の変位塑性率 $\mu_d = 3.0$, 固有周期 $T_0 = 0.05 \sim 3.0(\text{sec})$ ($\Delta T_0 = 0.05(\text{sec})$) として解析を行った.

図 - 6(a) より, 実地震動の等価インパルス入力波に対する残留変位は, 実地震動に対する残留変位よりもかなり小さく, スペクトルの形も大きく異なる. 等価インパルス入力波に対する残留変位が小さいのは, 図 - 6(b) からわかるように, 所定の変位塑性率に対する

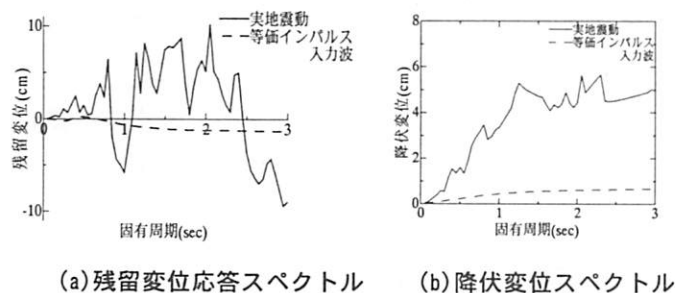


図 - 6 実地震動および等価インパルス入力波に対する各スペクトル

降伏変位は等価インパルス入力波が入力された場合は実地震動が入力された場合に比べて小さいためである. 以上のことから, 等価インパルス入力波を用いて実地震動による残留変位を予測することは難しいと言える.

7. おわりに 残留変位応答スペクトルは固有周期依存性が高く, Q-hyst 型 1 自由度系の残留変位は, Bilinear 型 1 自由度系の残留変位よりかなり小さい. 入力地震動の強震部正負絶対加速度とそれらのタイムラグのみをパラメータとした等価インパルスモデルを入力地震動とした場合, 2 個のインパルス加速度の符号が異なる場合には, 残留変位応答スペクトルと等価インパルス入力波のフーリエスペクトルの間に類似性が認められる. また, 等価インパルス入力波を用いて実地震動による残留変位を予測することは難しいと言える.

参考文献 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 2) 渡邊・木島・川島: 断層近傍地震動に対する残留変位比に関する検討, 第 9 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp233~pp.2403) 星隈・運上・長屋: 第 5 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp399~pp.404