

# 完全弾塑性解析によるレベル2地震動を用いた 変位・エネルギー一定則の検討

岡田佳久<sup>1</sup>・小川好<sup>2</sup>・中村正明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

E-mail:okada@doken.metro.tokyo.jp

<sup>2</sup>東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

E-mail:ogawa@doken.metro.tokyo.jp

<sup>3</sup>東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

E-mail:nakamura@doken.metro.tokyo.jp

1自由度質点系完全弾塑性体の応答では、応答変位と履歴消費エネルギーの一定則が満足されれば、累積塑性変形量を塑性率で除した値は塑性率によらず同じ固有周期で一定となる。また、その値は弾性復元力と履歴消費エネルギーをつなぐパラメータであることを導いた。そこで、道路橋示方書の参考地震波を入力波形とし、塑性率2,3,4に変化させて1自由度質点系完全弾塑性および粘弾性解析をおこなった。その結果、同じ固有周期で比較すると、完全弾塑性と粘弾性解析の応答変位は塑性率によらずほぼ一致する傾向を示した。同様に、履歴消費エネルギーは塑性率によらずほぼ一定となり、累積塑性変形量を塑性率で除した値も塑性率によらずほぼ一定となった。

**Key Words :** *dynamic analysis of single-degree-of-freedom system, Level-2 designed seismic motion, standardized cumulative inelastic deformation, properties of displacement and energy conservation*

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、地震時の構造物の非線形挙動に関心が高まっている。これら構造物の非線形応答値を計算する方法として、比較的簡単なモデルである1自由度質点系非線形動的解析がある。非線形の復元力特性は、構造物の種類によって異なるため、現在ではバイリニア、トリリニア、武田モデルなど数多くのモデルを用いて解析がおこなわれている。これらの解析結果は、一般に、最大応答値、降伏強度、残留変位および履歴によるエネルギー消費などで構造物の耐震性が評価されている(例えば1),2),3)。

また、構造物の非線形性を簡易に評価する方法として、変位一定則・エネルギー一定則がある。変位一定則は、地震動に対して弾性固有周期の等しい構造物は降伏強度によらず最大応答変位が一定であるという仮定である。エネルギー一定則については、履歴を考慮しない最大運動エネルギーと累積される入力エネルギーの2通りの考え方がある。前者は、弾性固有周期の等しい弾性系の最大ポテンシャルエネルギーと弾塑性ポテンシャルエネルギーとは降伏耐力によらずほぼ等しいという考えであり、後者は、入力エネルギーは構造物の弾性固有周期に依存し、

構造物の強度によらない安定した量であるという仮定である。いずれにしても、変位一定則とエネルギー一定則はかなりのばらつきを持った経験則であり、工学的寛大さで許容されている。この変位一定則とエネルギー一定則は一見矛盾するが、桑村<sup>4)</sup>はこれを塑性繰り返し数で説明できるとしている。

秋山<sup>5)</sup>によれば、弾性変形は荷重を除けば無ひずみ状態に復元するが、塑性ひずみは残留し、破壊状態に至るまで蓄積されることから、累積塑性変形、もしくは累積塑性ひずみエネルギー(以下、履歴消費エネルギーと呼ぶ)が構造物の損傷度を表している。したがって、地震時の構造物の応答を考えた場合、その応答は入力地震動の特性に大きく左右されることから、履歴消費エネルギーと累積塑性変形量を解析的に求め、これらの関係について検討することは重要であると考えられる。

そこで、累積塑性変形量を求めるため、1自由度質点系完全弾塑性モデルで計算した結果、累積塑性変形量を塑性率で除した値(以下、基準化累積塑性変形量と呼ぶ)は、同じ固有周期であれば塑性率によらずほぼ一定値を示すことがわかった。このことは、変位一定則と履歴消費エネルギー一定則を仮定することにより、容易に導くことができる。

本論文では、初めに基準化累積塑性変形量、変位一定則および履歴消費エネルギー一定則の関係について述べる。次に、レベル2地震動を用いて解析をおこない、変位一定則および履歴消費エネルギー一定則について検証するとともに、基準化累積塑性変形量について検討する。

## 2. 変位・履歴消費エネルギー一定則の関係

完全弾塑性1自由度質点系の応答で、図-1に示すように降伏強度 $F_E$ 、 $F_y$ 、および $F_y'$ に対応する変位を $\delta_E$ 、 $\delta_{max}$ 、および $\delta'_{max}$ とおくと、変位一定則は(1)式で、履歴消費エネルギー一定則は(2)式によって表される。

$$\delta_E = \delta_{max} = \delta'_{max} \quad (1)$$

$$E = F_y' \cdot \sum \delta' = F_y \cdot \sum \delta \quad (2)$$

ここで $E$ は履歴消費エネルギー、 $\mu$ と $\mu'$ は $F_y$ と $F_y'$ に対応する累積塑性変形量である。

降伏耐力 $F_y$ は弾性バネ定数 $kx$ と降伏変位の積(3)式で表される。

$$F_y = kx \cdot \delta_x \quad (3)$$

(1),(2),(3)式より(4)式のように展開できる。

$$\frac{\sum \delta'}{\mu'} = \frac{\sum \delta}{\mu} \quad (4)$$

ここで $\mu$ と $\mu'$ は $F_y$ と $F_y'$ に対応する塑性率である。(4)式から、累積塑性変形量を塑性率で除した値は、降伏強度によらず一定になることから、この値を基準化累積塑性変形量と呼ぶことにする。基準化累積塑性変形量は、(5)式のように固有周期 $T$ の関数で与えられる。

$$\frac{\sum \delta}{\mu} = A(T) \quad (5)$$

(5)式を(2)式に代入して展開することにより、履歴消費エネルギーと弾性時の復元力 $F_E$ とを関係づけることができる。

$$\begin{aligned} E &= A(T) \cdot F_y \cdot \mu \\ &= A(T) \cdot \frac{F_y}{\delta_x} \cdot \delta_{max} \\ &= A(T) \cdot F_E \end{aligned} \quad (6)$$

これより、変位一定則と履歴消費エネルギー一定則が同時に成立していると仮定すると、基準化累積塑性変形量 $A(T)$ は、履歴消費エネルギーと弾性時

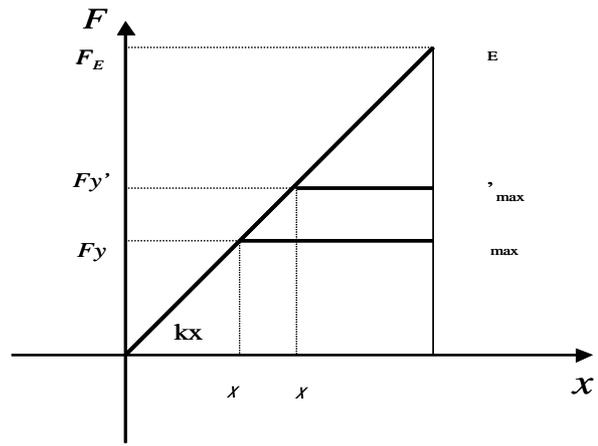


図-1 変位一定則

表-1 入力地震動

地盤種別	地震動タイプ	地震名	記録場所
I種地盤	タイプ1	1993年北海道南西沖地震	七峰橋
		1978年宮城県沖地震	開北橋
		1994年北海道東方沖地震	温根沼大橋
		1968年日向灘沖地震	板島橋
		1994年北海道東方沖地震	釧路川堤防
II種地盤	タイプ2	1983年日本海中部地震	津軽大橋
III種地盤		1995年兵庫県南部地震	気象庁神戸海洋気象台
IV種地盤			猪名川架橋
V種地盤			JR鷹取駅
VI種地盤			大阪ガス葛合
VII種地盤	ポートアイランド		
VIII種地盤		東神戸大橋	

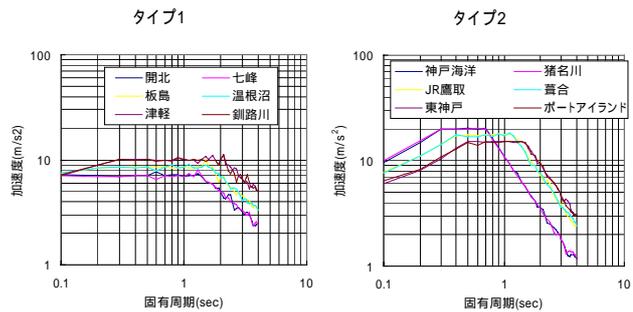


図-2 粘弾性加速度応答スペクトル

の最大復元力をつなぐ重要なパラメータとなっていることがわかる。

## 3. 解析手法

### (1)入力地震動

解析に用いる入力地震動としては、表-1に示す12種類のレベル2地震動を採用する。

タイプ1、タイプ2地震動ともに道路橋示方書<sup>6)</sup>の参考資料に掲載されている、動的解析に用いる地震動の例より抽出した地震動波形である。これらの粘弾性加速度応答スペクトルを、図-2に示す。

この図からも理解されるように、固有周期2秒付近以下でタイプ1の方がタイプ2に比べ応答加速度値が小さく、2秒付近を越えたあたりからそれが反対となる。このことから、完全弾塑性解析で降伏強度をタイプ1とタイプ2で同じ値に設定した場合、同

じ固有周期であっても非線形領域に達する周期と達しない周期とが現れることが考えられ、また、固有周期によって塑性率が異なることも考えられることから、ここでは降伏強度を一定に定めず、塑性率を一定とすることにした。

(2)完全弾塑性解析モデル

完全弾塑性解析には図-3 に示すモデルを使用する。ダッシュポットによる粘性減衰定数  $h$  は 0.05 とした。

完全弾塑性モデルは、力学的にはバネとスライダ-を直結した要素で構成される<sup>7)</sup>。バネとスライダ-という力学的要素を直接、解析モデルに導入することにより、復元力が発揮された状態での弾性エネルギーと、復元力が降伏強度  $F_y$  に達したときの履歴消費エネルギーおよび累積塑性変形量 を解析的に求めることができる。

このモデルでは、復元力が降伏強度  $F_y$  に達したときにスライダ-が滑り出し、その際、スライダ-にかかる力  $F_y$  と移動量  $\delta$  から、スライダ-の仕事量  $E$  と累積塑性変形量 を計算する。1 周期での仕事量は、図-4 に示すように、完全弾塑性モデルの履歴曲線で囲まれた面積と一致していることから、構造物の履歴消費エネルギーとなる。

今回の解析では、塑性率  $\mu$  を固有周期によらず一定の  $\mu=2,3,4$  とし、固有周期  $T$  は 0.1 秒から 4 秒までを 0.1 秒刻みで計算した。

(3)完全弾塑性解析の釣り合い方程式<sup>例えば5),8)</sup>

1 自由度質点系完全弾塑性解析の力の釣り合い運動方程式は、(7)式のように表せる。

$$m\ddot{x}_t + c\dot{x}_t + F(x_t) = -m\ddot{y}_t \quad (7)$$

$m$  : 質点の質量

$x_t$  : 質点の相対変位

$\dot{x}_t$  : 質点の相対速度

$\ddot{x}_t$  : 質点の相対加速度

$c$  : 減衰係数

$F(x_t)$  : 復元力

$\ddot{y}_t$  : 地震動加速度

非線形解析は、初めに時刻  $t=t$  を初期条件として、 $t=t+\Delta t$  での  $\ddot{x} + \Delta\ddot{x}$ ,  $\dot{x} + \Delta\dot{x}$ , および  $x + \Delta x$  を線形加速度法によって計算する。これを、(7)式の釣り合い方程式に代入して  $\Delta\ddot{x}$  を再計算し、 $\Delta\ddot{x}$  が所定の収束条件を満足するまで反復計算することで  $\ddot{x} + \Delta\ddot{x}$ ,  $\dot{x} + \Delta\dot{x}$ , および  $x + \Delta x$  を求める。また、復元力  $F(x_t)$  は、時刻  $t$  でのスライダ-移動量を  $\delta_t$  とおくと、 $|x_{t+\Delta t} - \delta_t|$  により変動する。

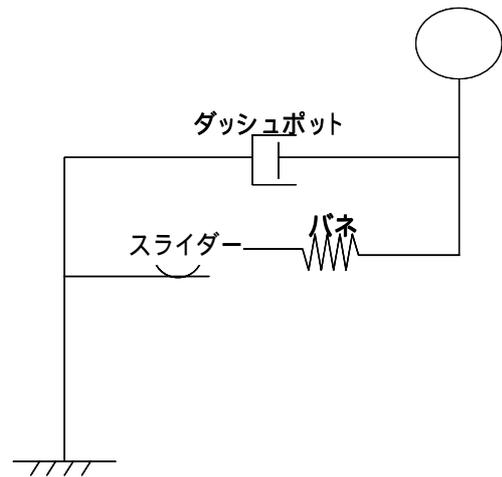


図-3 完全弾塑性解析モデル

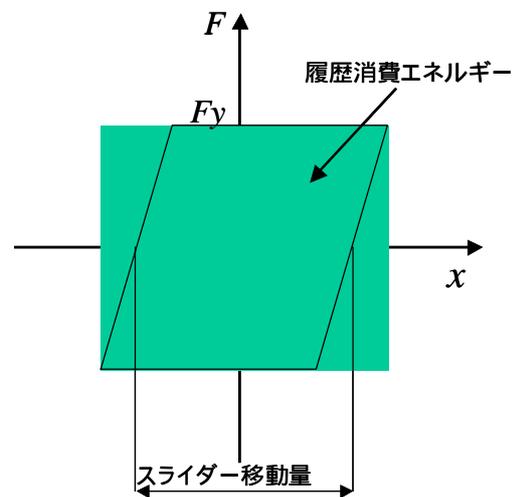


図-4 履歴消費エネルギー

$$|x_{t+\Delta t} - \delta_t| \leq \frac{F_y}{kx} \text{ の場合,}$$

$$F(x_{t+\Delta t}) = kx \cdot (x_{t+\Delta t} - \delta_t), \delta_{t+\Delta t} = \delta_t \quad (8)$$

$$|x_{t+\Delta t} - \delta_t| > \frac{F_y}{kx},$$

$$F(x_{t+\Delta t}) = F_y \cdot \text{sign}(x_{t+\Delta t} - \delta_t), \delta_{t+\Delta t} = x_{t+\Delta t} - F_y/kx \quad (9)$$

ここで  $\text{sign}(x_{t+\Delta t} - \delta_t)$  は、 $(x_{t+\Delta t} - \delta_t)$  の正負の符号を示している。

計算にあたっては、 $t=0.001$  秒とし、収束条件は、繰り返し計算から求まる加速度の増分量  $\Delta\ddot{x}$  が、1 回前に計算された  $\Delta\ddot{x}$  との比の絶対値の変動幅が  $10^{-8}$  以下になった時、もしくは、その差の絶対値が  $10^{-9}$  以下になった時とした。

(7)式の各項に質点の微小変位  $dx_t = \dot{x}_t dt$  を乗じて地震動の入力が終了する時刻  $T_E$  までの区間で積分すると、エネルギーの釣り合い方程式が求められ

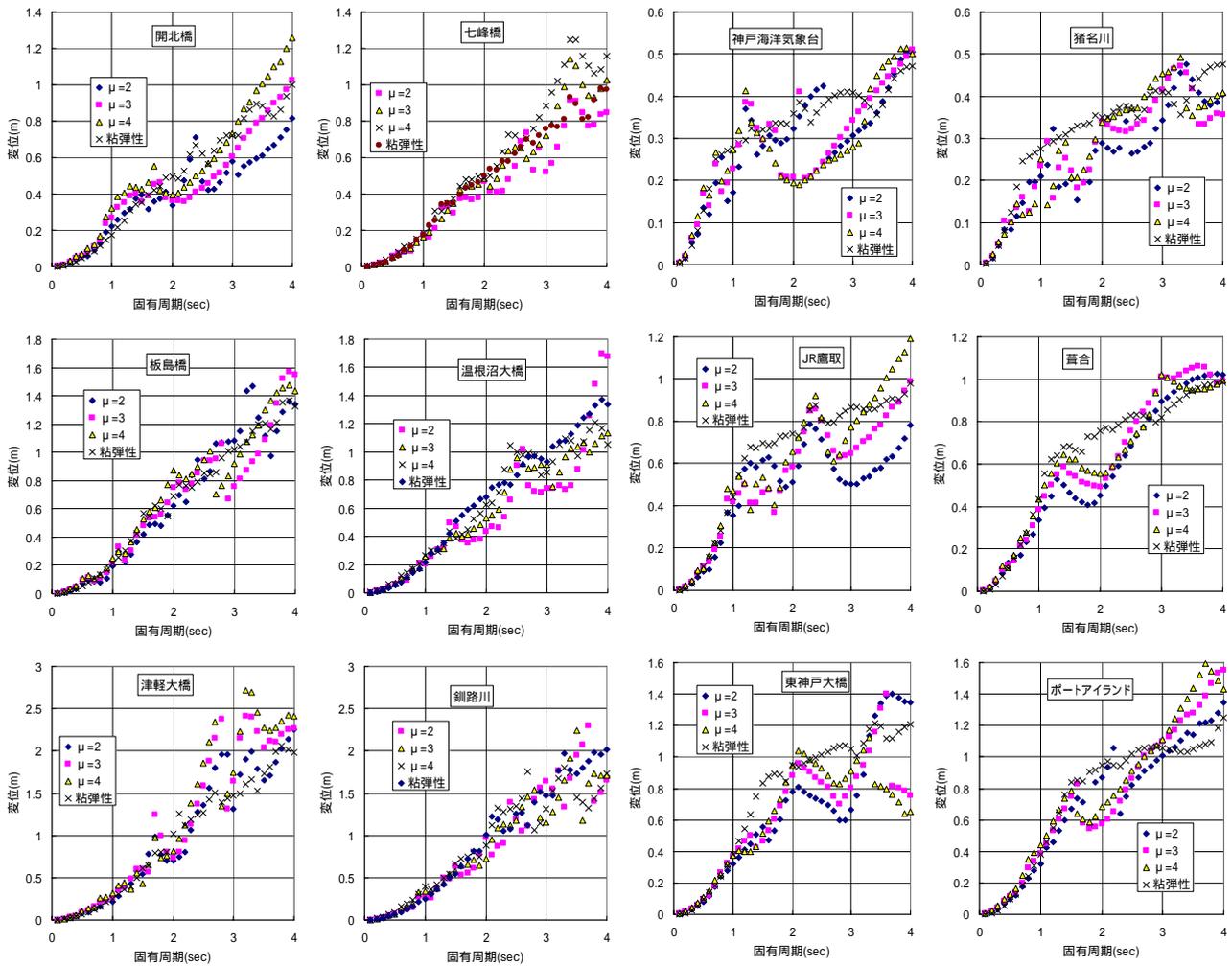


図-5 応答変位スペクトル

る。

$$m \int_0^{T_E} \ddot{x}_i \dot{x}_i dt + c \int_0^{T_E} \dot{x}_i \dot{x}_i dt + \int_0^{T_E} F(x_i) \dot{x}_i dt = -m \int_0^{T_E} \ddot{y}_i \dot{x}_i dt$$

$$\int_0^{T_E} F(x_i) \dot{x}_i dt = W_{es} + W_p \quad (10)$$

ここで、

$T_E$  : 地震動入力終了時刻

$m \int_0^{T_E} \ddot{x}_i \dot{x}_i dt$  : 運動エネルギー

$c \int_0^{T_E} \dot{x}_i \dot{x}_i dt$  : 粘性消費エネルギー

$W_{es}$  : 弾性ひずみエネルギー

$W_p$  : 履歴消費エネルギー

$-m \int_0^{T_E} \ddot{y}_i \dot{x}_i dt$  : 地震動入力エネルギー

である。

(10)式の計算にあたっては、質点の質量を単位質量 ( $m=1\text{kg}$ ) におくとともに、弾性範囲内のパネ定数  $kx$  を(11)式から求めることでエネルギーを基準化

した。

$$kx = \frac{(2\pi)^2 \cdot m}{T^2} \quad (11)$$

(10)式の各項のうち運動エネルギーと弾性ひずみエネルギーは、地震動入力終了時点では0とは限らないが、質点の運動が終了する時点では粘性消費エネルギー、あるいは履歴消費エネルギーに転化される。通常は、地震動入力終了時点では塑性変形も終了していることから、これらはすべて粘性消費エネルギーとなる。

#### 4. 変位・履歴消費エネルギー一定則の検証

##### (1) 変位一定則

粘弾性および完全弾塑性の応答変位の解析結果を、入力地震動別に図-5に示す。

応答変位は、粘弾性および完全弾塑性解析や、地震動タイプによらず、一部の固有周期を除くと、固有周期が長くなるにつれて大きくなっている。地盤

種別による違いは、1種地盤から3種地盤になるに

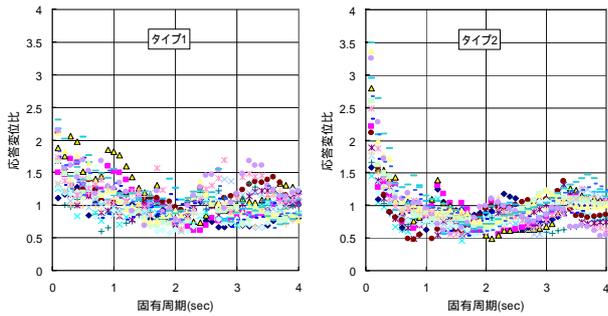


図-6 地震動タイプ別応答変位比

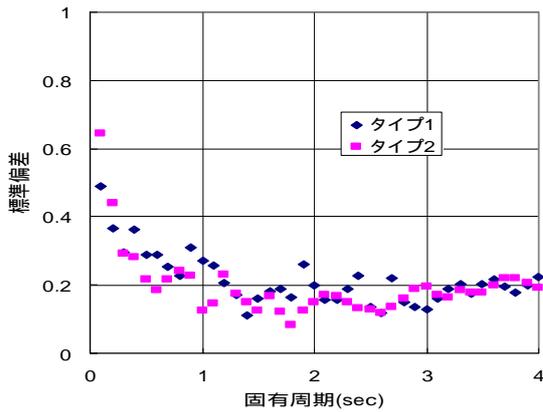


図-7 地震動タイプ別応答変位比標準偏差

つれて応答変位が大きくなる傾向がある。また、塑性率による影響は小さいことがわかる。

粘弾性と完全弾塑性の応答変位の差異を検討するため、図-5の粘弾性解析の応答変位を分母とした弾塑性解析結果との比を図-6に地震動タイプ別に示す。タイプ1およびタイプ2地震動ともに1.0秒付近を境界として、短周期側では応答変位比が1.0よりも大きな値を示し、長周期側ではほぼ1.0となっている。この応答変位比のばらつきを検討するため、地震動タイプ別の標準偏差の結果を図-7に示す。

標準偏差は、地震動タイプによらないことがわかる。固有周期1.0秒を境目として、1.0秒以上では固有周期によらず0.2前後を示し、変動が小さいことがわかる。しかし、1.0秒より短周期では周期が短くなるにつれて変動が大きくなっている。これらの結果より、固有周期1.0秒以上であれば、変位一定則が満足されていると考えられる。

(2)履歴消費エネルギー

履歴消費エネルギーの解析結果を地震動および塑性率別に図-8に示す。

履歴消費エネルギーは、図-2で示した応答加速度スペクトルがほぼ同じ地震動を比較した場合でも、タイプ1およびタイプ2ともに卓越した周期や、履歴消費エネルギー量が異なっていることがわかる。タイプ1の場合、タイプ2に比べ明瞭なピークが見られないが、固有周期が長くなっても履歴消費エネ

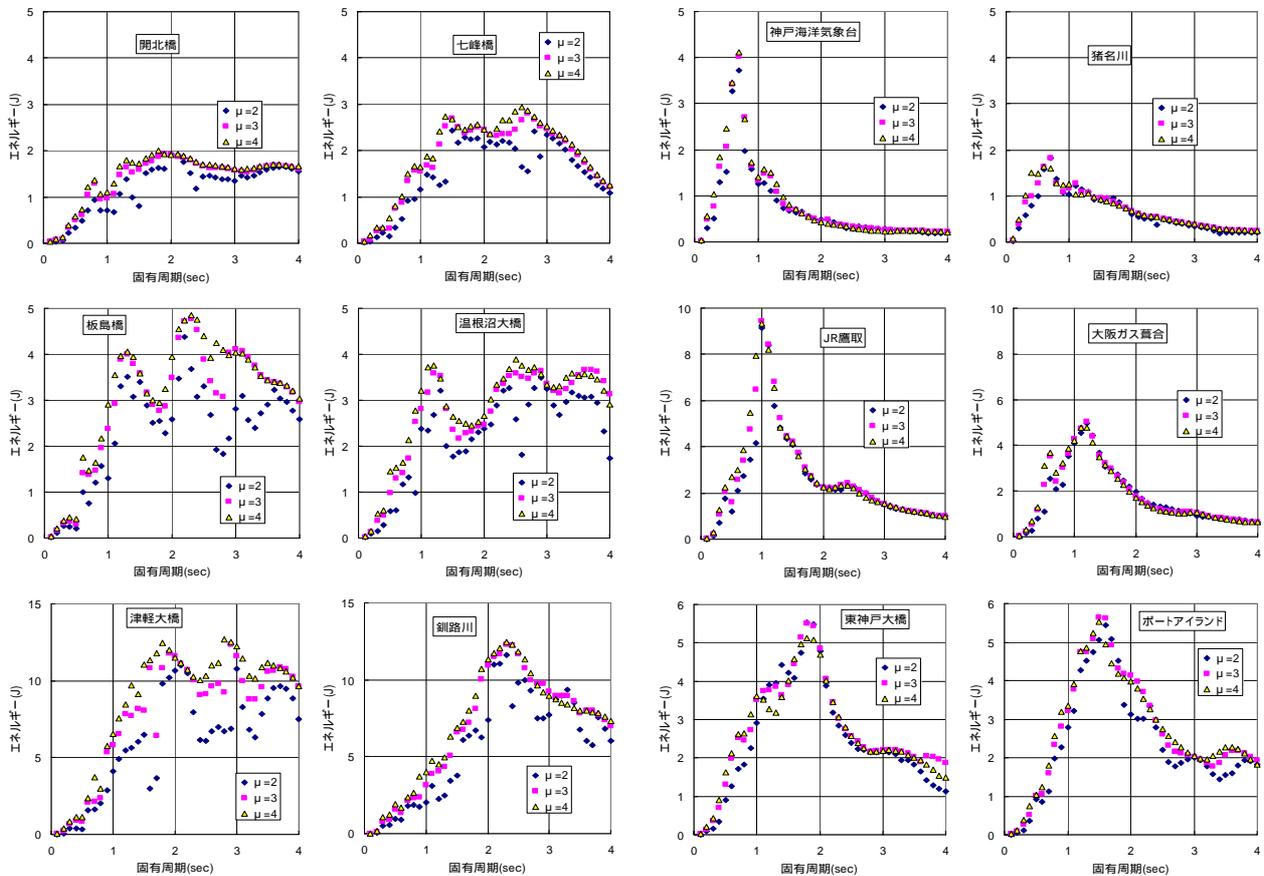


図-8 地震動別履歴消費エネルギー

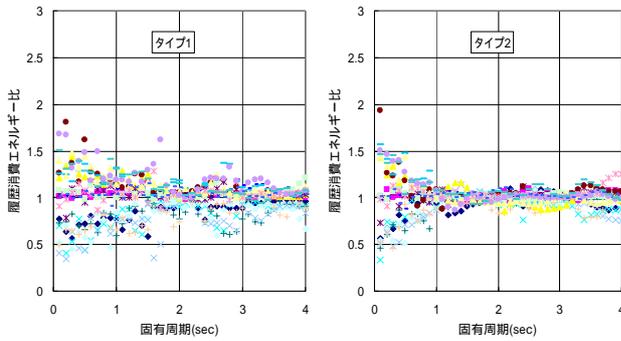


図-9 地震動タイプ別履歴消費エネルギー比

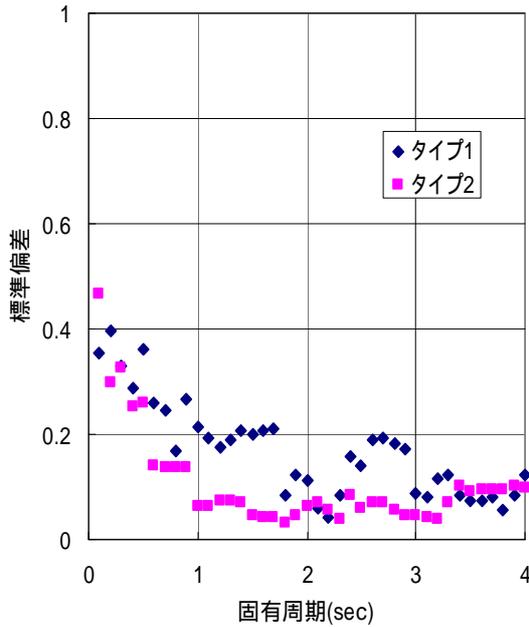


図-10 地震動タイプ別履歴消費エネルギー比標準偏差

ルギーはあまり地震動によっては減少しない。一方、タイプ2はタイプ1と反対に、ある特定の固有周期で非常に明瞭なピークを示すとともに、長周期になるにつれて急激に減少する傾向が認められる。卓越した固有周期は、1種地盤から3種地盤になるにつれ長周期になっている。また、塑性率の影響は、ほとんど認められず、履歴消費エネルギーは非常に安定したパラメータであることがわかる。そのため、地震動別に履歴消費エネルギーを平均化し、その値を基準とした履歴消費エネルギー比を、地震動タイプ別に図-9に示す。

タイプ1およびタイプ2地震動ともに、固有周期1.0秒付近を境界として、それより短周期側では周期が短くなるにつれて、履歴消費エネルギー比の変動が大きくなる傾向を示し、1秒より長周期になると、履歴消費エネルギー比はほぼ1.0に収束している。全体的には、タイプ2地震動の方がタイプ1地震動に比べ変動が小さいことがわかる。これらの傾向は、図-10に示す地震動タイプ別の標準偏差でも明瞭に認められる。

標準偏差は、応答変位比と同様に、タイプ1およびタイプ2地震動ともに、固有周期が長くなるにつれて小さくなる傾向にあり、タイプ2地震動の方がタイプ1地震動に比べ、ほとんどの固有周期で小さな値を示している。また、全体的には応答変位比の標準偏差に比べ小さな値となっている。ここでは、履歴消費エネルギー比を平均値で基準化しているため、平均値は1.0となり、標準偏差と変動係数は同値となる。変動係数は、一般に0.2以下では変動が小さいと言われているが、図からもわかるとおり、固有周期が1.0秒以上であればほとんどの固有周期で変動係数は0.2以下となっている。これらの結果から、固有周期が1.0秒以上であれば、履歴消費エネルギー一定則は成立していると考えられる。

## 5. 基準化累積塑性変形量の解析結果

上記で検証した変位と履歴消費エネルギー一定則と同様に、基準化累積塑性変形量の解析結果を地震動および塑性率別に図-11に示す。

基準化累積塑性変形量も、履歴消費エネルギーと同様に、図-2で示した応答加速度スペクトルがほぼ同じ地震動を比較した場合においても、タイプ1およびタイプ2地震動ともに変形量や形状が異なっていることがわかる。タイプ1地震動では、応答変位のように固有周期が長くなるにつれて大きくなる傾向にある。しかし、タイプ2地震動では、周期が長くなるにつれて単調に増加するが、ピークを示した後減少し、一定値に収束するような形状を示す。また、タイプ1地震動の方が、タイプ2地震動よりも基準化累積塑性変形量は平均的に大きな値を示している。また、履歴消費エネルギーと同様に、一部の固有周期を除くと、1種地盤から3種地盤にかけて増加する傾向にある。基準化累積塑性変形量は、履歴消費エネルギーと同様に、塑性率の影響はあまり大きく受けないため、地震動別に基準化累積塑性変形量を平均化し、その値を基準とした基準化累積塑性変形量比を、地震動タイプ別に図-12に示す。

タイプ1およびタイプ2地震動ともに、固有周期にはよらず、基準化累積塑性変形量比1.0を中心に変動している。全体的に、タイプ2地震動の方が、タイプ1地震動に比べ変動が小さいことがわかる。これらの傾向は、図-13に示す地震動タイプ別標準偏差でも認められる。

ここでの標準偏差も、履歴消費エネルギー比と同様に、変動係数と同値となっている。履歴消費エネルギー比の標準偏差に比べ、若干大きな値を示しているが、タイプ1およびタイプ2地震動ともに、固有周期による影響は小さく、ほとんどの固有周期で0.2以下と小さな値を示している。

上記の結果から、変位・履歴消費エネルギー一定則の関係でも述べたとおり、変位と履歴消費エネルギーが同じ固有周期で一定であれば、基準化累積塑性変形量は一定になるという仮定が、解析的にも明

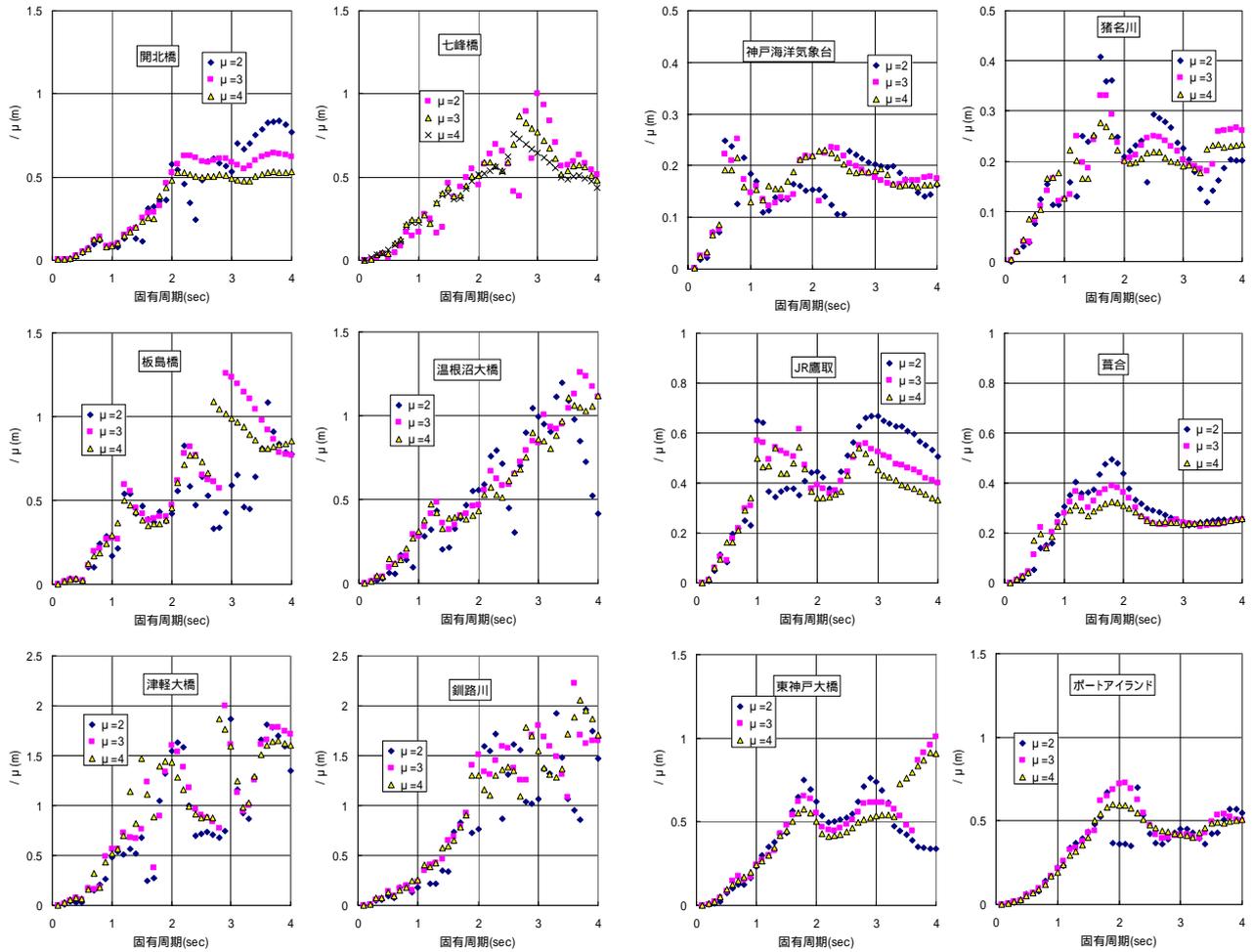


図-11 地震動別基準化累積塑性変形量

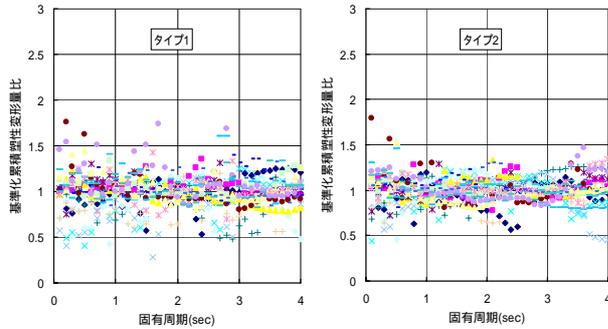


図-12 地震動タイプ別基準化累積塑性変形量比

らかとなった。

## 6. まとめ

構造物の地震時の変位と履歴消費エネルギーの一定則が同時に成立するという仮定のもとに、基準化累積塑性変形量が一定になることを導いた。この仮定を実証するために、1 自由度質点系粘弾性解析、および完全弾塑性解析に復元力特性として簡易な力

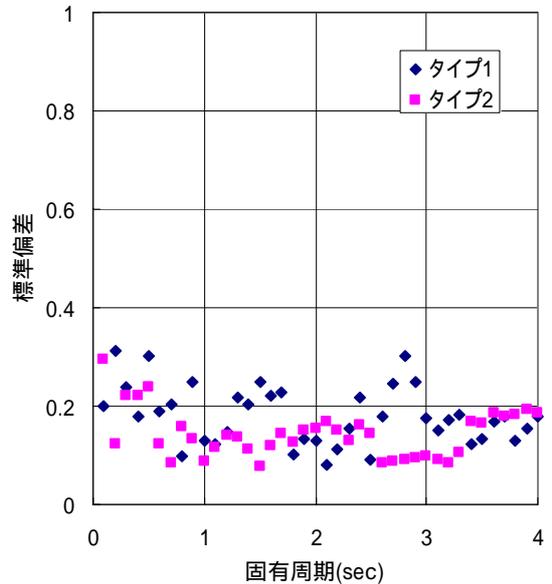


図-13 地震動タイプ別基準化累積塑性変形量比標準偏差

学的モデルを用いて、入力地震動のタイプが異なるものを解析し、以下の結果が得られた。

1) 応答変位は、粘弾性、完全弾塑性、および地震動

タイプによらず固有周期が長くなるにつれて大きくなる傾向となった。塑性率の影響は、小さいことがわかった。また、1種地盤から3種地盤になるにつれ応答変位が大きくなった。応答変位比の標準偏差は、固有周期1.0秒以上では周期によらず0.2前後を示すことから、この範囲では、変位一定則がほぼ満足されることが確認できた。

- 2) 履歴消費エネルギーは、タイプ2地震動では非常に大きなピークが見られる形状を示した。しかし、タイプ1地震動の場合は明瞭なピークが見られなかったが、固有周期が長くなっても履歴消費エネルギーはほとんど減少しないことがわかった。タイプ2地震動で見られた卓越した固有周期は、1種地盤から3種地盤になるにつれ長周期になる傾向を示した。また、履歴消費エネルギー比の標準偏差(変動係数)は、固有周期が1.0秒以上であればほとんどの固有周期で0.2以下となり、この範囲での履歴消費エネルギー一定則がほぼ満足されることが確認された。
- 3) 基準化累積塑性変形量は、タイプ1地震動では応答変位のように固有周期が長くなるにつれて大きくなった。しかし、タイプ2地震動では短周期から単調に増加し、その後減少して、一定値に収束するような形状を示す傾向となった。また、タイプ1地震動の方が、タイプ2地震動よりも基準化累積塑性変形量は平均的に大きくなり、1種地盤から3種地盤にかけて基準化累積塑性変形量が増加する傾向となった。基準化累積塑性変形量比は、ほとんどの固有周期で標準偏差(変動係数)は0.2以下となり、基準化累積塑性変形量比はほぼ一定となった。
- 4) 今回の解析条件では、変位一定則と履歴消費エネルギー一定則については固有周期1.0秒以上ではほぼ満足したが、基準化累積塑性変形量は、固有周期1.0秒未満についても、応答変位と履歴消費エネルギーの変動が相殺され、ほとんどの固有周期

帯で一定になることがわかった。

謝辞：解析にあたり、兵庫県南部地震時のJR西日本旅客鉄道株式会社より観測されたJR鷹取駅の強震記録を使用させて頂きました。ここに、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 西村昭彦, 室野剛隆, 齊藤正人: 所要降伏震度スペクトルの作成と耐震設計への適用, 第3回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 43-48, 1999.12.
- 2) 川島一彦, Gregory A. Macrae, 星隈順一, 長屋和宏: 残留変位応答スペクトルの提案とその適用, 土木学会論文集No.501/I-29, pp.183-192, 1994.10.
- 3) 堀則男, 井上範夫, 柴田明德: 鉄筋コンクリート造の地震時エネルギー応答性状及び応答最大塑性率とエネルギー消費に基づく所要耐力の検討, 日本建築学会構造系論文集第481号, pp.17-25, 1996.3.
- 4) 桑村仁, 伊山潤, 竹田拓也: 地震動のエネルギー入力率スペクトルの特性, 日本建築学会構造系論文集第498号, pp.37-42, 1997.8.
- 5) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999.11.
- 6) 道路橋示方書・同解説 耐震設計編(平成14年4月): 日本道路協会.
- 7) Iwan, W.D.: A Distributed-Element Model for Hysteresis and Its Steady-State Dynamic Response, J. of Applied Mechanics, December, pp. 893-900, 1966.
- 8) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999.11. 建築物の耐震極限設計第2版, 東京大学出版会, 2000.7.

(2003. 6. 24 受付)

## ELASTO-PLASTIC RESPONSE SPECTRA OF LEVEL-2 DESIGNED SEISMIC MOTIONS AND PROPERTIES OF DISPLACEMENT AND ENERGY CONSERVATION

Yoshihisa OKADA, Yoshimi OGAWA and Masaaki NAKAMURA

On the assumption that properties of displacement and energy conservation are simultaneously satisfied, it is derived that standardized cumulative inelastic deformation is constant. In order to prove these assumptions and the deduction, it has been carried out the dynamic analyses of single-degree-of freedom system. As results of the analyses, standard deviation of response displacement ratio and standard deviation of plastic energy dissipation shows around 0.2 with more than 1.0 seconds in natural period. Standard deviation of standardized cumulative inelastic deformation ratio also shows less than 0.2 in almost natural period. As in the case of the condition of analyses, the properties of displacement and energy conservation are almostly satisfied on more than 1.0 seconds in natural period.