

I-405

地震動波形の繰返し特性

建設省土木研究所 正員 相沢 興

〃 〃 佐々木 康

〃 〃 田村 敬一

1. はじめに

地盤・土構造物のように地震外力を繰返し受けて徐々に損傷が蓄積するような構造物に対して、強震時の耐震性を検討する場合には、入力地震動の最大強度や周期特性とともに、地震動の繰返し特性も重要となる。そこで、ここでは繰返し回数を考慮した最大加速度を提案し、その特性について既往の強震記録をもとに検討を行った結果を報告するものである。

2. 繰返しを考慮した最大加速度と繰返し低減係数の定義

いま、図1に示すように加速度波形が零線と交わった点から次に零点と交わる点までの半波を1回の繰返しとする。加速度波形の継続する間での半波のピーク値の大きい順にカウントした N 番目のピーク値 $a_p(N)$ を繰返しを N 回考慮した最大加速度 $a_{max}(N)$ と定義する。ここで、 $N=1$ の場合の $a_{max}(1)$ は一般の最大加速度 a_{max} と同じであり、 a_{max} に関しては実用的な推定式が提案されている¹⁾。また、一般に強震記録は水平面内のある直交する2成分を記録したにすぎないため、これより得られる最大加速度は水平面内で2成分合成した最大加速度 $\tilde{a}_{max}$ より小さくなる可能性がある。そこで、ここでは、新たに最大加速度の繰返し低減係数 $\tilde{\eta}_a$ を次式により定義する。

$$\tilde{\eta}_a(N) = \max\{\eta_a^\theta(N, \theta)\} \text{ for } \theta \quad (1)$$

ここで、 $\max\{f(z)\} \text{ for } z$ は、 z を変化させた場合の $f(z)$ の最大値を表す。また、 $\eta_a^\theta(N, \theta)$ は次式による。

$$\eta_a^\theta(N, \theta) = a_{max}^\theta(N, \theta) / \tilde{a}_{max} \quad (2)$$

ここで、 $a_{max}^\theta(N, \theta)$ は、直交する x, y 軸を反時計回りに θ (θ は 10° ごとに $0 \sim 360^\circ$ まで変化させた。)だけ座標軸を回転させたときの x 軸に沿う加速度波形から得られる繰返しを考慮した最大加速度であり、 $\tilde{a}_{max}$ は水平面内で θ を変化させて得られる最大加速度の最大値である(図2(a)参照)。 $\tilde{\eta}_a(N)$ の計算例として、1968年豊後水道沖地震の板島橋記録の場合を図2(b)に示す。 $\tilde{\eta}_a(N)$ は N の増加に伴い反比例的に減少する傾向がある。しかしながら、総繰返し回数に近い $\tilde{\eta}_a(N)$ は繰返しの定義上、複雑な周期特性をもつ波形の場合には零線付近のわずかな波形の変化も半波としてカウントしてしまうため、あまり意味をもたない。したがって、ここでは、解析の対象を繰返し回数の40%までの繰返し回数 N_{40} とすることにする。

3. 繰返し回数 N と低減係数 $\tilde{\eta}_a(N)$ の関係

繰返し回数 N と低減係数 $\tilde{\eta}_a(N)$ の関係の一例として、板島橋記録の場合を図3に示す。ここで、図中には、後述

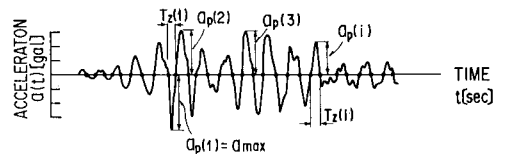
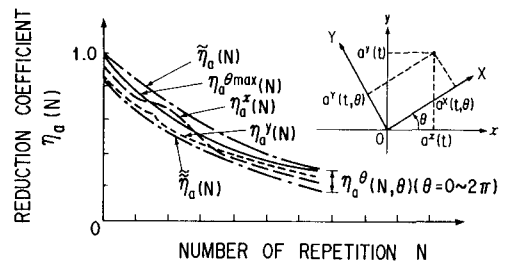
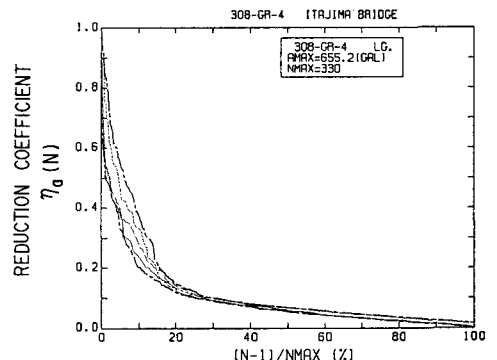


図1 繰返しを考慮した最大加速度の定義

(a) $\tilde{\eta}_a(N)$ の概念図(b) $\tilde{\eta}_a(N)$ の実測記録例(板島橋記録)図2 水平2成分の合成を考慮した $\tilde{\eta}_a(N)$

の式(3)および式(4)による推定値も示してある。次に、既往の197組(394成分)の強震記録より、各繰り返し回数 N に対する $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値、4分位値およびばずれ値(分布を正規分布と仮定した場合に非超過確率が約0.995または0.005に対応する値)を各地盤種別ごとに求めると図4に示ようになる。ここで、1種、2種、3種地盤は、それぞれ、道路橋示方書・耐震設計編の1種、2種+3種、4種地盤に対応する。図4によれば、 $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値および4分位値は N の増加に伴い概ね単調に減少し、 $N=20$ で0.35~0.5程度、 $N=40$ で0.25~0.4程度となる。しかしながら、3種地盤では N が35以上になるとデータ数が少なくなるため、中央値等はあまり意味をもたなくなると考えられる。 $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値を地盤種別ごとに比較すると図5のようになり、 $\tilde{\eta}_a(N)$ の平均的な傾向は各地盤種別ごとに同程度の値をとることがわかる。

4. 繰り返し低減係数の推定

$N \sim \tilde{\eta}_a(N)$ の関係を表わす推定式として、ここでは、式の形式が単純なべき式を仮定する。

$$\tilde{\eta}_a(N) = \{1 + \alpha(N-1)\}^{-1} \quad (3)$$

ここで、 α は係数であり、式(3)を変形すると次式のようになる。

$$\{\tilde{\eta}_a(N)\}^{-1} - 1 = \alpha(N-1) \quad (4)$$

したがって、上式の右辺と左辺は α を介して線形関係になる。図3にはこの関係の例を示してある。また、同図には式(3)、(4)による推定値も示した。

解析対象記録の中には、図3に示した例のように、式(4)の関係からはずれるもの、また、式(3)により $\tilde{\eta}_a(N)$ を推定した場合に N の小さい領域で $\tilde{\eta}_a(N)$ が実測値からはずれるものもあるが、式(3)は概ね $N \sim \tilde{\eta}_a(N)$ の関係と近似していると考えられる。式(3)の係数 α の対数の平均値および標準偏差を求めると表1のようになる。ここで、 $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値および係数 α の平均値が地盤種別によって大差がないことから、 $\tilde{\eta}_a(N)$ の平均的な傾向は、係数 α の全体の平均値により、次式で近似することができる(図5参照)。

$$\begin{aligned} \tilde{\eta}_a(N) &= \{1 + 0.0664(N-1)\}^{-1} \\ &\approx \left\{1 + \frac{1}{15}(N-1)\right\}^{-1} \quad (5) \end{aligned}$$

式(5)によれば、 $\tilde{\eta}_a(N)$ は、 $N=20$ で0.44、 $N=40$ で0.28となる。

参考文献

- 建設省土木研究所：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式，土研所報，第166号，昭和60年。
- 建設省土木研究所：最大地震動及び地震応答スペクトルの推定法(昭和8、昭和9)，土研資料，第2156、2256号，昭和60、61年。

表1 式(3)の係数 $\log \alpha$ の平均値および標準偏差

	1種地盤	2種地盤	3種地盤	全体
データ数 N	46	107	44	197
平均値 $\log \alpha$	-1.212	-1.167	-1.154	-1.178
標準偏差 $\sigma_{\log \alpha}$	0.334	0.301	0.261	0.300
最大値 $\max(\log \alpha)$	-0.234	-0.306	-0.532	-0.234
最小値 $\min(\log \alpha)$	-1.797	-1.708	-1.544	-1.797
$10^{\frac{\log \alpha}{\sigma_{\log \alpha}}}$	0.0614	0.0581	0.0701	0.0664

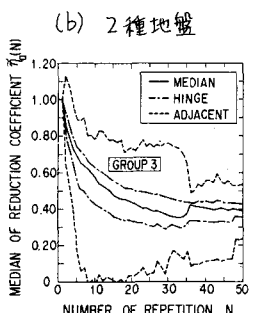
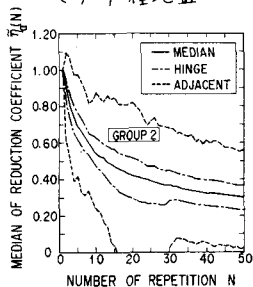
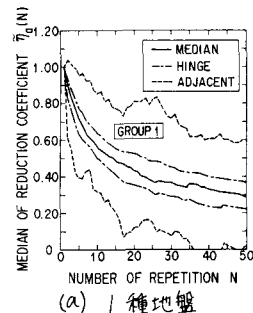


図4 $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値、4分位値およびばずれ値

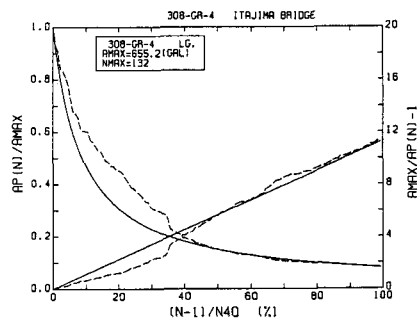


図3 式(3)、式(4)による推定例
(長島橋記録)

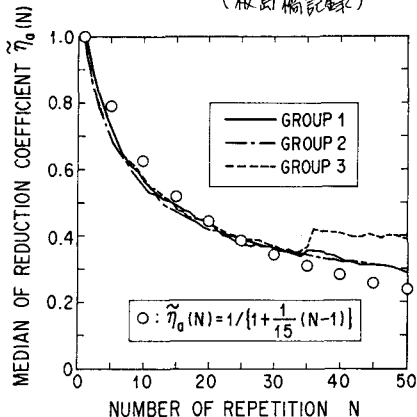


図5 $\tilde{\eta}_a(N)$ の中央値と式(5)の比較