

津波損傷度曲線の作成

(その2) モンテカルロ法によるフラジリティ評価

損傷度曲線, 津波, フラジリティ, モンテカルロ法

正会員 ○佐藤一郎\*  
正会員 矢代晴実\*  
正会員 林孝幸\*  
正会員 大峯秀人\*

1. 評価手法の概要

津波損傷度曲線とは、所定の浸水深  $h$  と当該浸水深に対する条件付損傷確率  $p(h)$  との関係を表す曲線であるが、地震損傷度曲線と異なり、建物形状（ピロティの有無、津波高さや建物高さの大小関係）により、損傷度曲線に不連続点が発生する。そのために、損傷度曲線について理論確率分布を適用し、その特性値を評価するという手法を取ることができない。また、特性値を変数として津波損傷度曲線を表現することも不可能である。そこで、本研究では、実用に足る十分な数の  $h$  について  $p(h)$  を求め、 $h$  と  $p(h)$  を図表化することを損傷度曲線評価とする。本研究における津波損傷度解析の手順を、図1に示す。

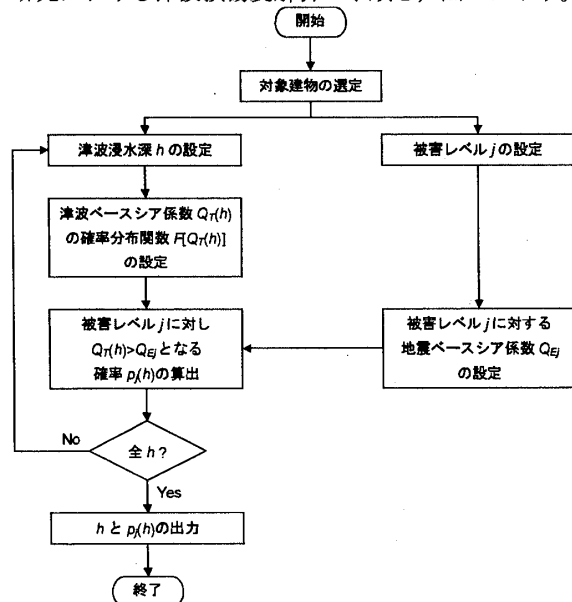


図1 津波損傷度曲線評価フロー

2. 被害レベルに対応した地震ベースシア係数の設定

被害レベルは、地震損傷度曲線との整合性を考え、小破、中破、大破、倒壊の4レベルとする。各被害レベルは、建物の層間変形角で規定されるものとし、本研究では図2に示されるスケルトンカーブを想定した上で、表1に示す値を採用する。

表1 被害レベル毎の許容層間変形角 (RC-新耐震後)

小破	中破	大破	倒壊
1/240	1/120	1/60	1/30

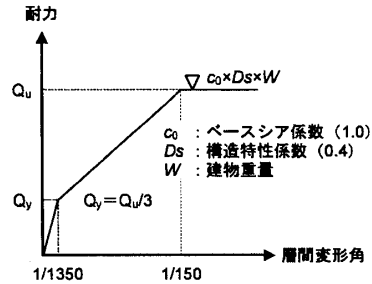


図2 モデル化した建物のスケルトンカーブ(RC造)

津波の波圧分布は下層ほど大きく、従って、津波波力による被害は最下層に発生する。したがって、最下層のせん断力係数分布、すなわちベースシア係数のみを検討の対象とすれば良い。本研究では、被害レベル  $j$  に対する地震ベースシア係数  $Q_{Ej}$  を次式により求める。

$$Q_{Ej} = c_0 \times D_s \times F_\mu \tag{1}$$

ここで、 $c_0$  は標準ベースシア係数で 1.0 とする。また、 $D_s$  は構造特性値で、RC 造については 0.4 とする。 $F_\mu$  は塑性化に関する耐力補正值であり、次式で与えた。

$$F_\mu = \mu \quad (\mu \leq 1), \quad = \sqrt{2\mu - 1} \quad (1 < \mu) \tag{2}$$

ここで、 $\mu$  は図2に示したスケルトンカーブの第2折点に対する塑性率である。 $\mu$  と  $F_\mu$  の関係の概念を図3に示す。

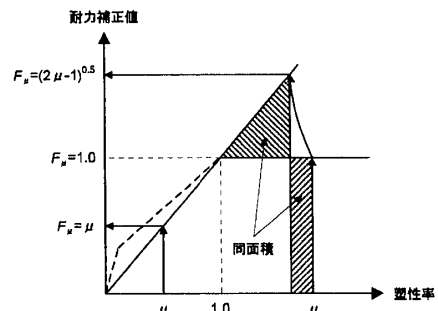


図3  $\mu$  と  $F_\mu$  の関係

なお、第1折から第2折点までのスケルトンカーブの設定は、2次部材の影響等により変動が大きいことから、 $\mu \leq 1$  の場合は図2に従わず、原点と第2折点を結ぶ直線から耐力を設定する。

以上により、各被害レベルに対応する地震ベースシア係数を設定する。

### 3. 津波ベースシア係数の確率分布関数の設定

朝倉ら<sup>1)</sup>は、実験から津波波力を求め、波圧算定式を提案しており、実験結果の最大値を包絡するように諸変数を決定している。本研究では、(その1)で述べたように津波高さに対する見かけ上の高さを規定する変数 $\alpha$ を確率変数として、その分布形を設定する。

津波波力の推定値と実測値の比の上限及び下限を表す直線を重ね描いたものを、図4に示す。

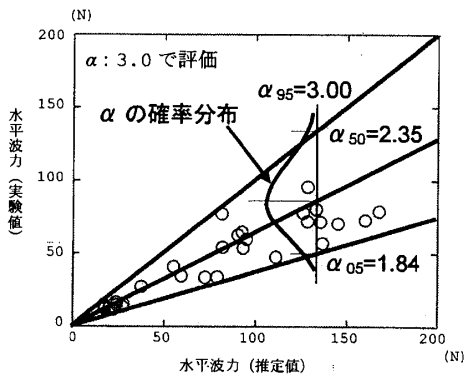


図4 津波波力の推定値と実測値の比<sup>1)</sup>の上下限

ここで、 $\alpha_{95}$ は95%非超過確率に対応する $\alpha$ で、 $\alpha_{95}=3$ とする。データの下限を包絡するように直線を引くと、水平波力の推定値(200N)に対して実験値は75N程度となる。水平波力は $\alpha$ の二乗に比例することから、データの下限值を与える $\alpha$ を $\alpha_{05}$ とし次式で求める。

$$\alpha_{05} = \alpha_{95} \times \sqrt{75/200} = 1.84 \quad (3)$$

$\alpha$ の中央値 $\alpha_{50}$ は、 $\alpha_{95}$ と $\alpha_{05}$ の幾何平均として求められ、 $\alpha_{50} = \sqrt{3 \times 1.84} = 2.35$ が得られる。 $\alpha_{50} = 2.35$ とすると、水平波力の推定値(200N)に対して実験値は123N程度となる。対数標準偏差 $\zeta$ は、95%非超過確率が1.64 $\zeta$ であることから、 $\zeta = 0.148$ が得られる。

(その1)の図7及び(その1)の(4)式を参照すると、津波ベースシア係数 $Q_T(h)$ は次式で求められる。

$$Q_T(h) = \frac{Q_x(0, h_1)}{W} = \frac{1}{2} \frac{\rho g B [(2\alpha\sqrt{h(h-h_1)} + h_1)Z - Z^2]}{W} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\rho g B [\alpha\sqrt{h(h-h_1)}(\alpha\sqrt{h(h-h_1)} + h_1)]}{W}$$

$$Z = h_1 + \alpha\sqrt{h(h-h_1)} \quad \text{ただし、} Z \leq H$$

ここで、 $W$ は、建物の全重量である。(4)式からわかるように、 $Z \leq H$ かつ $h_1 = 0$ ならば、 $\ln[Q_T(h)]$ と $\ln(\alpha)$ は線形関係にあり、解析的に $Q_T(h)$ の対数平均と対数標準

偏差を求めることができるが、 $H < Z$ の場合や $h_1 \neq 0$ の場合には、解析的に $Q_T(h)$ の対数平均と対数標準偏差を求めることができない。本研究では、モンテカルロ法により $\alpha$ の確率分布に従ったサンプルを発生させ、サンプル毎に $Q_T(h)$ を求め、 $Q_T(h)$ のサンプルを統計処理して確率分布関数 $F[Q_T(h)]$ を評価する。

### 4. フラジリティ評価

本研究で提案した手法により、一般的な新耐震設計法に準拠した鉄筋コンクリート造建物(5階建、階高3.5m、奥行5.0m、建物幅は(4)式において相殺されるため考慮しない)について算出した津波損傷度曲線を図5、6に示す。4本の損傷度曲線はそれぞれ左から、小破、中破、大破、倒壊の4レベルに対応するものである。図5はピロティが無い場合、図6はピロティがある場合の津波損傷度曲線である。ピロティがある場合には津波波力が軽減されるため、ピロティが無い場合に比べて同じ浸水深に対する損傷確率が小さくなるのがわかる。この影響は特に浸水深が小さい場合に大きい。

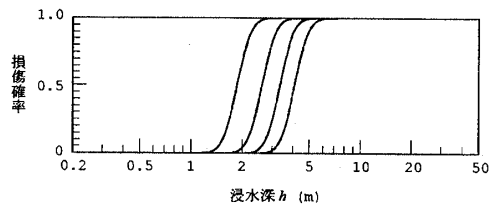


図5 津波損傷度曲線(ピロティなし)

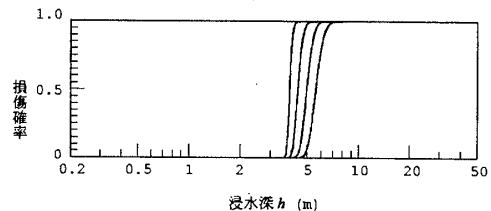


図6 津波損傷度曲線(ピロティあり)

### 5. まとめ

その1では、様々な建物形状と津波高さの組合せについて津波波力を包括的に扱える一般式を提案した。その2では、津波ベースシア係数の確率分布を仮定し、モンテカルロ法により津波損傷度曲線を算出する手法を提案した。本研究で提案した手法を用いることにより、様々な建物の津波損傷度曲線の計算が可能となるため、実際のナリスクマネジメントへの応用も可能と考えられる。

### 参考文献

- 朝倉良介, 岩瀬浩二, 池谷毅, 高尾誠, 金戸俊道, 藤井直樹, 大森正則: 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究: 海岸工学論文集第47巻(2000) pp.911-915