

V - 487

累積損傷を考慮した RC構造の耐震性評価手法に関する研究

東北大学 学生員 ○井林 康
大成建設 正会員 足立英明
東北大学 学生員 赤倉康寛
建設省 正会員 鈴木基行

1. まえがき

現在の耐震設計の考え方は注目される地点においてある確率をもって越えないと推定される1回の地震動に対し、構造物の安全性を部材の最大塑性率によって検討しようとしている。しかし、RC構造物はその耐用期間において比較的大きな複数回の地震動によりかなりの損傷を受けることも考えられ、構造物のライフタイムにわたり安全性を検証する事は合理的な耐震設計法を確立する上で重要なことと思われる。本研究では耐用期間中に複数回の地震動によって部材に損傷が累積し、損傷状態が遷移すると考え損傷遷移マトリクスを用いて、耐用期間にわたる危険度を評価する手法を提案することを目的としている。

2. 地震危険度解析

注目する地点における地震危険度曲線（ある最大加速度をもつ地震動の年平均発生確率）を得るために地震危険度解析を行う。日本全国を0.5度角のメッシュに区切りそこで発生したマグニチュードの頻度分布を Gutenberg - Richter の式に当てはめ、各マグニチュードに対する発生確率を求める。距離減衰式として建設省土木研究所による標準地盤に対する式を用い、メッシュ*i*において加速度*X*を与えるマグニチュードの発生率を $\nu_i(X)$ とすると、次式によって注目地点における加速度*X*の地震動の発生確率 $\nu(X)$ が求まる。

$$\nu(X) = \sum_i \nu_i(X) \quad \dots\dots\dots (1)$$

この曲線は両対数グラフでほぼ直線となり、最小自乗法によって次式に当てはめる。

$$\log \nu = a - b \log X \quad \dots\dots\dots (2)$$

主要な都市についての地動強さと年平均発生率の関係を図-1に示す。

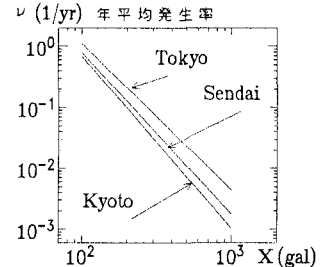


図-1: 地動強さと平均発生率の関係

3. 損傷指標

損傷指標については著者ら¹⁾の提案した指標を用いる。RC構造の損傷度を次のように定義する。

$$D = \frac{W_{acc}}{W_{max}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに W_{max} : 構造物のエネルギー消費容量であり、終局までの軸方向鉄筋の消費エネルギー量（応力-ひずみ曲線下の面積 * 鉄筋断面積）、 W_{acc} : 累積消費エネルギー量で、以下の式で評価する。

$$W_{acc} = W_u + 0.25 \cdot W_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

W_u : 初載荷部分によるエネルギー消費量（履歴ループの包絡線の面積）、 W_i : 繰り返し載荷部分によるエネルギー消費量（履歴ループの全面積から初載荷部分を除いた面積）である。

4. 損傷遷移マトリクス

代表的な土木構造物として図-2に示すような鉄道構造物等標準設計に基づいた橋脚をとりあげ、それを1質点系とみなし地震応答解析をおこなう。

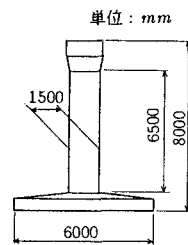


図-2: 解析対象橋脚

表-1: 損傷状態の区分

損傷状態	D
1 無損傷	~ 0.1
2 軽微な損傷	~ 0.2
3 中程度の損傷	~ 0.4
4 大きな損傷	~ 1.0
5 崩壊	1.0 ~

乱数を発生させ、式(2)より導いた確率分布関数の逆関数を用いる。

$$F_X(u) = x_0 / \left\{ 1 - u \left(1 - \left(\frac{x_0}{x_L} \right)^b \right) \right\}^{1/b} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(u :一様乱数、 x_0 :下限値、 x_L :上限値、 b :式(2)で計算したパラメータ)を使うことによって数多くの地震波を作成し、その度に入力させる。損傷指標の値を計算し、損傷状態の遷移を頻度分布より求め、損傷遷移マトリクスを作成する。ここで損傷状態を Park ら²⁾の実験結果に従い、損傷指標の値によって、表-1のように区分する。仙台において 300gal 以上 400gal 以下の地震動に対する損傷遷移マトリクスの例を表-2に示す。I 行 J 列にある要素 $m(I, J)$ は、状態 I から J に移る確率である。

5. ライフタイムリスクの評価

x_1 gal 以上の地震動に対するマトリクスを $[M_1]$ 、 x_2 gal 以上の地震動に対するマトリクスを $[M_2]$ とすると、それぞれ耐用期間中に n 回 m 回起こったときの損傷状態は $[M_1]^n [M_2]^m$ となる。また地震動発生をポアソン過程であるとし、それぞれの発生率を ν_1 、 ν_2 、耐用期間を t とした場合、 n 回、 m 回発生する確率は

$$p_N(n; m) = \frac{(\nu_1 t)^n}{n!} e^{-(\nu_1 t)} \times \frac{(\nu_2 t)^m}{m!} e^{-(\nu_2 t)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。よって、耐用期間 t 後の損傷状態は次式で表すことができる。

$$[M] = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} p_N(n; m) [M_1]^n [M_2]^m \quad \dots\dots\dots (7)$$

6. 結果

仙台における橋脚の 50 年、100 年、200 年後の損傷状態を表すマトリクスを表-3に示す。耐用期間が長くなるに従い、確率が損傷状態の大きい方へ移っていく様子がうかがえる。

また、仙台において本解析の結果と耐用期間の 1 倍から数倍の再現期間を持つ地震動 1 回に対する損傷指標を表したものが表-4である。これから累積を考慮した今回の結果と同じくらの損傷をこれまでの設計指針の考え方のもとに期待するためには、耐用期間に対してほぼ 4 倍の再現期間をもつ地震動を設定地震動にしなければならないことがわかる。

7. 考察

設計地点における地震危険度を直接考慮に入れることによって同じ構造物が損傷を受ける確率が設計地点において大きく異なることがわかる。また、補修が必要となる損傷状態に達する確率も算定でき、補修費用も含めた最適化設計への応用も可能であろう。しかしながら現段階ではマトリクスの作成にシミュレーションを用いており、直接設計に用いることはできない。また損傷指標の値と損傷状態の対応は実験によって検討する必要がある。

参考文献

- 1) 赤倉, 足立, 鈴木: RC 構造の損傷度評価に関する研究, 平成4年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, V-41, pp.564-565, 1993.3
- 2) Young-J.Park, Alfredo H.-S.Ang and Yi Kwei Wen: Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.740-757, April, 1985

表-2: 損傷遷移マトリクスの例

.393	.572	.035	.000	.000
.000	.225	.775	.000	.000
.000	.000	.754	.238	.008
.000	.000	.000	.842	.158
.000	.000	.000	.000	1.0

表-3: 50 年、100 年および 200 年後の損傷状態マトリクス

$t = 50\text{yr}$

.679	.286	.034	.001	.000
.000	.765	.223	.011	.001
.000	.000	.901	.085	.014
.000	.000	.000	.980	.020
.000	.000	.000	.000	1.0

$t = 100\text{yr}$

.461	.423	.108	.007	.001
.000	.585	.371	.039	.006
.000	.000	.812	.158	.030
.000	.000	.000	.961	.039
.000	.000	.000	.000	1.0

$t = 200\text{yr}$

.212	.463	.276	.041	.006
.000	.342	.517	.119	.022
.000	.000	.659	.276	.064
.000	.000	.000	.923	.076
.000	.000	.000	.000	1.0

表-4: 耐用期間に対する損傷指標の期待値

耐用期間	損傷指標 の期待値	地震動の再現期間/耐用期間			
		1.0	2.0	4.0	8.0
50 年	0.122	0.012	0.012	0.120	0.201
100 年	0.205	0.012	0.120	0.201	0.352
200 年	0.368	0.120	0.201	0.352	0.572