

RC 構造物の耐用期間後の損傷状態予測に関する研究

長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○大塚洋一
 長岡技術科学大学 高津惣太
 長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康

1. 概要

大小の地震動が頻発する我が国では、構造物が耐用期間に十分な耐震安全性を保有するためには、設計の際に1回の地震動による影響だけではなく、その構造物の耐用期間内に起こると考えられる複数回の地震動の影響を考慮する必要があると考えられる。本研究では、地震危険度解析、損傷指標、モンテカルロシミュレーション、損傷確率マトリクス、および状態確率マトリクスを用いることにより、耐用期間後の損傷状態を予測することを試みた。本研究の構成を図-1に示す。

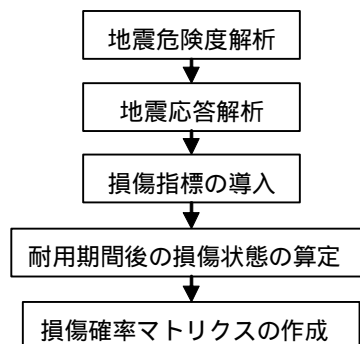


図-1 本研究の構成

表-1 解析対象構造物諸元

	P1	P3
高さ [cm]	1000	500
幅 [cm]	700	400
奥行 [cm]	190	170
せん断スパン比	5.73	3.13
帯鉄筋比 [%]	0.139	0.225
軸方向鉄筋比 [%]	0.869	0.889
上載荷重 [tf]	364	364

表-2 損傷区分

損傷状態	D_M, D_S の値	損傷状態
I	0 - 0.25	わずかな損傷
II	0.25 - 0.50	軽微な損傷
III	0.50 - 0.75	中程度の損傷
IV	0.75 - 1.0	大きな損傷
V	1.0 -	終局

2. 解析対象構造物と地震応答解析手法

解析対象構造物は表-1に示す、平成8年道路橋示方書に基づいて設計された道路橋 RC 単柱橋脚2種である。材料特性と構造物の諸元から、断面分割法を用いて $M - \phi$ 関係を算定し、そのひび割れ点や降伏点などの各特性値を、履歴法則の変位点と定め、それをもとに1質点系の地震応答解析を行った。弾塑性応答解析は、Newmark の β 法を用い、 $\beta = 1/6$ とした線形加速度法による数値積分法を行った。また履歴法則は、曲げについては基本的に武田モデル、せん断についてはコンクリートの繰返し一面せん断実験結果を修正して用いた。

3. 耐用期間後の損傷状態の評価

曲げとせん断でそれぞれの終局限界状態を定義し、その終局限界状態が1.0となるよう設定された曲げとせん断の損傷指標 D_M, D_S を用いた。また、損傷確率マトリクスを作成するために損傷状態を区分した表-2にその区分を示す。

損傷確率マトリクスの作成は図-2のようにして行った。構造物に2種類の模擬地震波を連続して入力して地震動応答解析を行い、1度目はランダムな大きさの地震動を、2度目はある一定の大きさの地震動を入力することによって、損傷状態の遷移の個数を算定し、確率を算定した。曲げ損傷確率マトリクス M_M とせん断損傷確率マトリクス M_S とは独立とし、それぞれ1

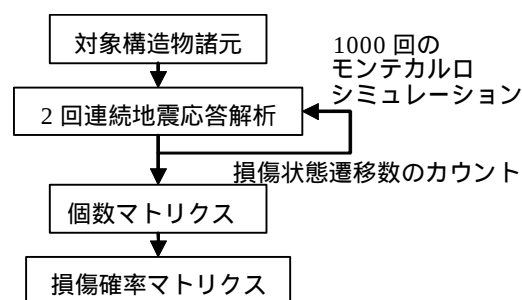


図-2 損傷確率マトリクスの作成手法

つのマトリクスの作成に1000回のモンテカルロシミュレーションを行い、200gal から800gal まで200gal 刻みで4種類のマトリクスを作成した。算定された損傷確率マトリクスの例を式(1)に示す。

$$M_{33}(300;500) = \begin{bmatrix} 0.148 & 0.170 & 0.193 & 0.057 & 0.432 \\ 0.000 & 0.222 & 0.333 & 0.333 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.625 & 0.125 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.833 & 0.167 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (1)$$

4. 耐用期間後の損傷状態の算定手法

作成された損傷確率マトリクスと、表-3 に示す 5 都市の地震動年平均発生率を、全ての確率要素について足し合わせ、全確率を算定することによって、最終的に状態確率マトリクスが得られる。また、構造物の建設時には全てのものが無損傷であるため、その状態確率マトリクスの第 1 行目のみを用いて、耐用期間後の期待値を算定した。それを基に、耐用期間後に構造物がどのような損傷状態にあるのかを算定した。

5. 解析結果

今回は 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取(NS)地震波を用い、5 都市の解析を行った結果を考察した。図-3 は曲げについて、図-4 はせん断についての 50～200 年の各耐用期間に対する期待値である。この図から地震危険度の高い順に各都市の損傷度の期待値が分布していることがわかる。また、最も高い東京における曲げ損傷度の期待値は耐用年数 200 年で 0.9 と、状態 V に近い値を示しており、危険な状態になると推測される。また、その他の地震波でも期待値の大小はあるものの、年数が増えるにつれ期待値が増していく傾向がみられた。

その他には橋脚、地震波形の違いによる損傷度の期待値の違いも算定し、比較検討を行った。まず橋脚による損傷度の期待値の違いであるが、これは、P1 橋脚の方が P3 橋脚よりも曲げとせん断共に損傷度の期待値が小さく、再現期間が長い地震を受けても比較的損傷を受けにくいという結果が出た。また、兵庫県南部地震の 3 つの地震波について検討した結果、曲げに関しては JR 鷹取、せん断に関しては神戸海洋気象台の期待値がそれぞれ最大となっている。そのことから、地震波形の違いは構造物の損傷度の期待値に影響を与えていることが判った。

6. まとめ

各再現期間の地震波に対する曲げ、せん断損傷度をグラフ化し比較したところ、再現期間に対する各都市の最大加速度の期待値が大きければ構造物の耐用年数

表-3 各再現期間に対する各都市の最大加速度の期待値 [gal]

算定地点	再現期間		
	50 年	100 年	200 年
東京	241	322	430
仙台	195	254	329
京都	178	228	292
広島	136	187	256
福岡	120	154	198

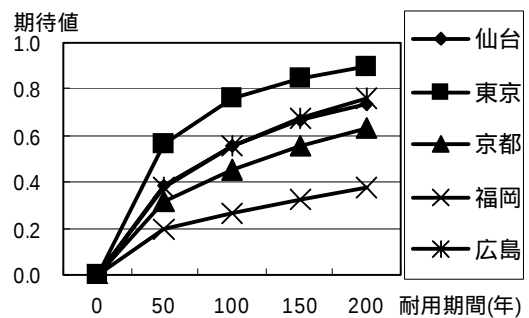


図-3 各耐用年数に対する曲げ損傷指標の期待値

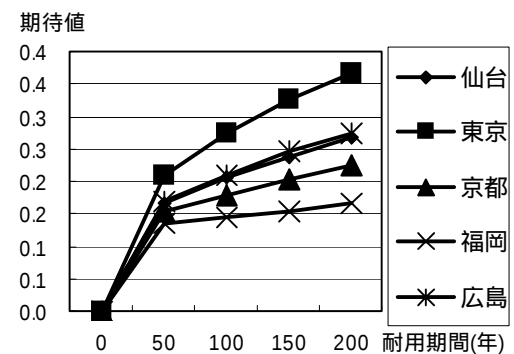


図-4 各耐用年数に対するせん断損傷指標の期待値

に対する損傷度の期待値も大きいことが判る。つまり、再現期間の長い地震動を構造物が耐用期間内に受けた場合、構造物の損傷が大きくなり補修の必要性が出てくることになる。

現在の構造物の耐用期間、使用期間を考慮し、その使用期間内に再現期間の長い地震動を構造物が受ける可能性を検討した設計を行うことが地震の多発する我が国で経済的かつ安全性の高い構造物を造るために必要なのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 赤倉康寛, 鈴木基行, 武田篤史, 藤原稔, 尾坂芳夫; RC 構造の損傷度評価と耐震設計への適用に関する研究, 土木学会論文集, 544, 32, 205-211, 1996.
- 2) 鈴木基行, 井林康, 赤倉康寛, 藤原稔, 尾坂芳夫; RC 構造の耐用期間にわたる耐震信頼性評価手法, 土木学会論文集, 564, 35, 253-263, 1997.