

材料特性の経年変化を考慮した耐震性能評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 橋口 健一
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

1. 目的

我が国の蓄積されてきた膨大な量の社会基盤施設は年月の経過と共に老朽化が進んでおり、その維持管理を適切に行なうためには、構造物の耐用年数期間中に起こるであろう損傷や劣化などを考慮することが非常に重要なことであると考えられる。しかし、構造物の劣化に関しては様々な研究がなされているが、その環境要因や使用条件などが極めて多様で複雑であるが故にその劣化過程を予測するのが困難である。そこで本研究では材料特性が経年変化していくことを不確定性として扱い、変動を有するものと仮定し、それが耐震性能評価に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 解析方法

本研究では、3 自由度振動系を対象に非線形解析を行った。Fig1 に解析モデルを示す。下から要素 1,2,3 とし、質量は 900 kN、400 kN、700 kN とし、バネ定数、減衰係数は一定とする。バネ剛性の非線形特性については Tri-linear 型復元力特性モデルを用いた。各々の要素の固有周期は 0.4 秒として、全体の固有周期は 1 次が 0.89 秒となっている。経年変化をする前の初期の状態における非線形地震応答解析より各要素の時刻歴応答と、復元力特性を Fig.2、Fig.3 に示す。これらの結果より、要素 2 で変位が最も大きく、また復元力特性からも要素 2 で最もエネルギー吸収されていることがわかる。材料特性の経年変化については耐用年数を 50 年と設定し、降伏強度にのみ着目し、指数関数に従って低減する場合を考えている。このとき 50 年後の降伏強度が初年度に比べて 40% 低減するように仮定した。さらにモンテカルロシミュレーションを用いて降伏強度を変動パラメータとして不確定性を考慮した。分布形状は正規分布を仮定し変動係数 10% の範囲で変動させた。試行回数を 500 回として、各回における応答計算を行った。耐震性能評価を行う上で、Park¹⁾らの損傷指標 D を用いることにより年毎の耐震性能を検討していく。損傷指標 D は構造物の塑性率と履歴吸収エネルギーの線形結合として定義されており、次式によって与えられる

$$D = \frac{x_{max}}{x_u} + \frac{1}{Q_y x_u} \int dE$$

ここで、 x_{max} : 最大変位、
 x_u : 終局変位、 Q_y : 降伏耐力、 $\int dE$: 履歴エネルギー、 β : 部材の断面特性等に依存した正の係

Table1 Park からの損傷指標と損傷度の関係

Parkの損傷指標	損傷の程度
0 ~ 0.1	わずかな損傷 ~ まばらなひび割れ
0.1 ~ 0.2	軽微な損傷 ~ 小さなひび割れ
0.2 ~ 0.4	中程度の損傷 ~ ひび割れ・剥離
0.4 ~ 1.0	大被害 ~ 圧破・鉄筋の座屈
1.0 ~	崩壊 ~ 全体的・部分的破壊

数であり、本研究では β は 0.15 とした。Table1 に Park の損傷指標と損傷程度の関係を示す。0.2 D < 0.4 は耐震性能 2、0.4 D < 0.6 は耐震性能 3 に対応するとしている。入力地震動

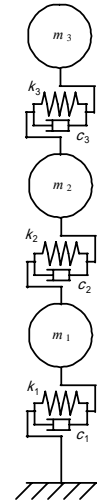


Fig.1 解析モデル

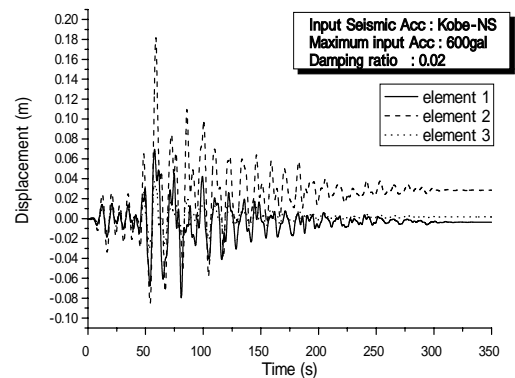


Fig.2 時刻歴応答(変位)

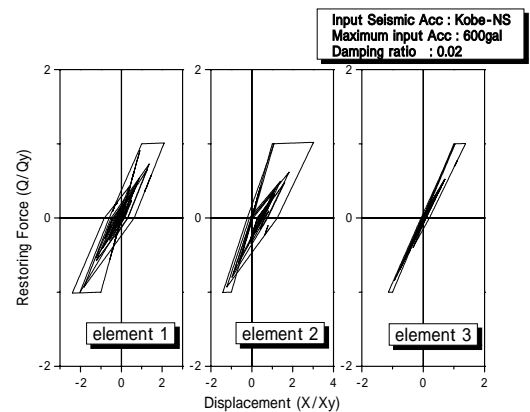


Fig.3 復元力特性

については、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された南北波 Kobe-NS を最大入力加速度 600gal で基準化した地震波を用いた。

3. 解析結果

Fig.4 に各要素についての 50 年後の最大応答変位の累積確率分布を示す。横軸は変位のシミュレーションにおける各々の最大値をその最大値の平均に対する比で表している。すべての要素に関して正規分布に従うような分布形状を示しておらず、応答が大きくなる部分で変動が大きくなっていることが分かる。また要素 3 が最もばらつきが大きい、これは要素 3 が上部にあるために影響を受けやすいためであると考えられる。

Fig.5 に要素 1 についての損傷指標 D の応答分布を 1 年後、25 年後、50 年後について示す。D が 0.6 以下となるのは、25 年後は 1 年後に比べ多少大きい、共に 70% 程度であるのに対し、50 年後では 30% 程度と非常に小さい。同様に Fig.6 に要素 2 についての応答の分布を示す。D が 0.6 以下となるのは 1 年後で 70% 程度、25 年後で 65% 程度あるのに対し、50 年後は 35% と要素 1 と同様に非常に小さい。さらに Fig.7 に要素 3 についての応答の分布を示す。D が 0.6 以下となるのは 1 年後で 82% 程度、25 年後で 77% 程度、50 年後で 60% となった。他の要素に比べ 50 年後でも比較的割合が大きいことが確認できる。これは Fig.3 の初期の状態における復元力特性にあるように要素 2 で履歴エネルギーが大きく生じており、要素 3 では履歴エネルギーが小さくなっているため、影響が小さいためであると考えられる。以上のことより、経年にもなう劣化を考慮すると損傷指標の増加する割合は増えており、耐震性能評価を行なうとき、経年変化は大きな影響を及ぼすことがわかる。

4. まとめ

本研究では、兵庫県南部地震で観測された地震波 Kobe-NS を用い、材料特性の経年変化として降伏強度の経年変化を仮定して不確定性を考慮した耐震性能評価を行なった。損傷指標 D に関してはそれぞれの部材で経年変化するとともに増加することが分かったが、その程度としては要素毎に異なり複雑である。これは初期の状態の構造特性についての影響が関係していると考えられる。しかし、経年変化を考慮するとその応答が大きく影響を受けることから、材料特性の経年変化を考慮していくことは耐震性能評価を行う上で重要であると考えられる。

参考文献

1) Park, Y.-J., and Ang, A.H.-S.: Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, Vol.111, No.4 pp.772-739, April 1985

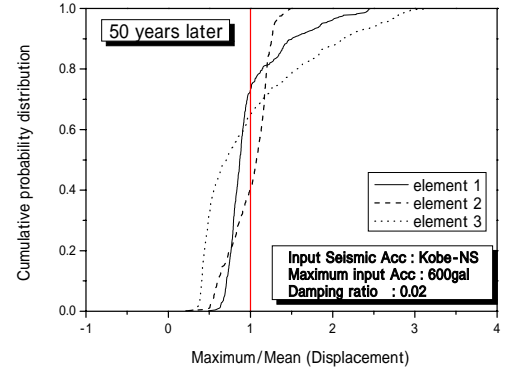


Fig.4 累積確率分布(変位)

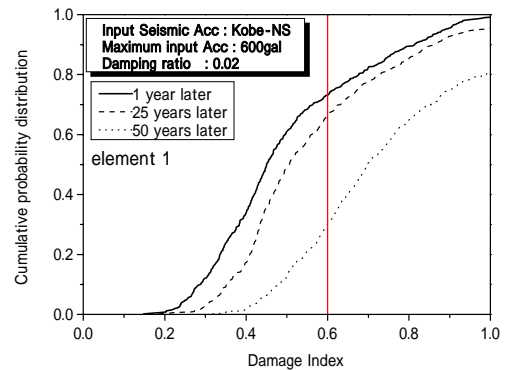


Fig.5 累積確率分布 (要素 1 の損傷指標 D)

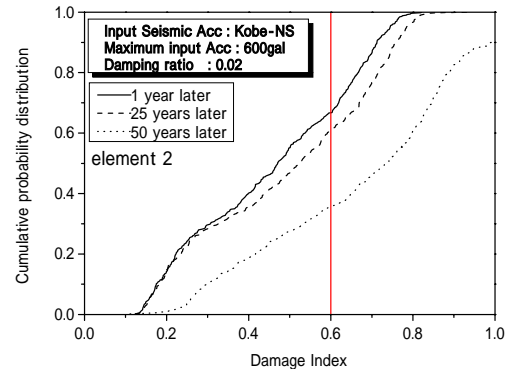


Fig.6 累積確率分布 (要素 2 の損傷指標 D)

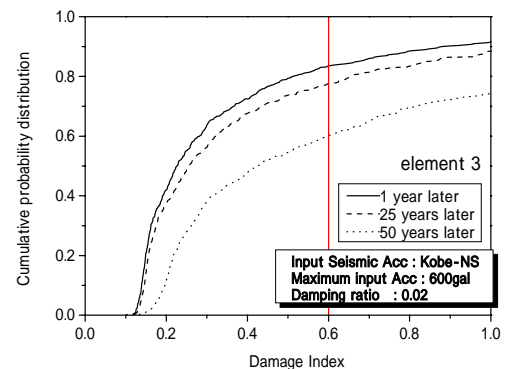


Fig.7 累積確率分布 (要素 3 の損傷指標 D)