

RC 構造物の安全限界状態と耐震修復性能評価との関係

高橋典之¹⁾・中埜良昭²⁾・塩原等³⁾

- 1) 正会員 東京大学, 東京都目黒区駒場 4-6-1, ntaka@iis.u-tokyo.ac.jp
- 2) 正会員 東京大学, 東京都目黒区駒場 4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp
- 3) 正会員 東京大学, 東京都文京区本郷 7-3-1, shiohara@arch.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震以降, 性能設計の概念に基づく建築物の耐震設計法が提案され, 特に建物の耐震性能として, 安全性能, 使用性能, 修復性能の 3 つが検討されるようになってきた。このうち, 安全性能および使用性能は工学的物理量に基づく建物の基本性能である一方, 修復性能は社会的・経済的な価値を含む経済性能であると考えられる。

現在検討されている性能評価型設計法は, 特定の強さの地震動を受けた建物のある性能が限界状態を超えるか否かを確認する手法, あるいは, 建物のある性能を限界状態に至らしめる地震動強さを確率的に表現する手法により, 建物の性能水準が明示されるものと考えている。これら工学的物理量を直接用いる評価手法は, 本質的に経済性能である修復性能を表示する手法として最適な方法ではない可能性がある。そこで筆者らは, 供用期間を通じた耐震修復性能評価手法の開発を目的とした一連の研究^{[1], [2]}などにおいて, 等価な耐震修復経費となる構造物の強度と靱性の関係を示した「必要強度スペクトル」による性能表示方法を提案している。本研究では, 供用期間を通じた修復経費の期待値に応じて描かれる必要強度スペクトルを, 安全限界状態における性能を表示する方法に拡張する手法について検討を行った。

2. 耐震修復経費指標算出過程

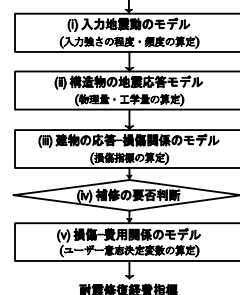
筆者らが提案している耐震修復経費指標^[1]の算出方法の概略(図1)を簡単に説明する。

(i) 入力地震動のモデル: 上下限を有する極値分布により得られた東京第一種地盤の地表面最大速度と再現期間との関係^[3]を地震ハザード曲線として用いて(図2), プロットング・ポジション公式を拡張して供用期間 50 年とした場合の年超過度数 50 個の組合せを仮定し, 年超過度数と地震動の大きさとの関係から地震動最大速度 50 個の組合せに換算し, 図3に示す降順 5 つ 4 組の地表面最大速度を選定した^[4]。各地震動の最大速度に合わせて国土交通省告示 1461 号の設計用応答スペクトルに適合する模擬地震動に倍率を乗じたものを入力地震動とした。模擬地震動の位相特性には, 神戸海洋気象台 1995(NS), El Centro 1940(NS), 八戸港湾 1968(EW), 東北大学 1978(NS)を用いた。

(ii) 構造物の地震応答モデル: 対象構造物を 1 自由度

振動系とみなし, 割線弾性固有周期を 0.3 秒とし, ベースシア係数 C_0 を 0.1 から 0.6 まで 0.1 刻みの 6 通り, 終局塑性率 μ を 2 から 10 まで 1 刻みの 9 通り検討した。

建築物の固有の情報 (地域、地盤、構造、材料)



耐震修復経費指標

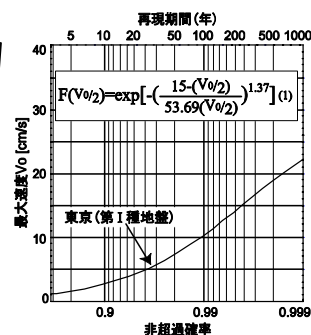


図1 耐震修復性能評価過程

図2 地震活動度曲線例

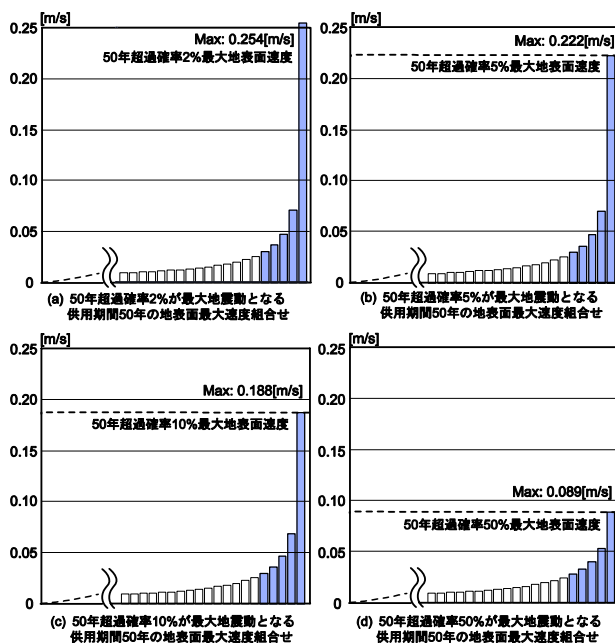


図3 ライフサイクル入力地震動シナリオの例

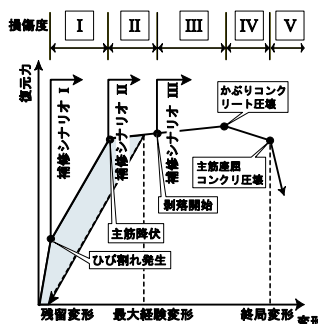


図4 補修シナリオ概念図

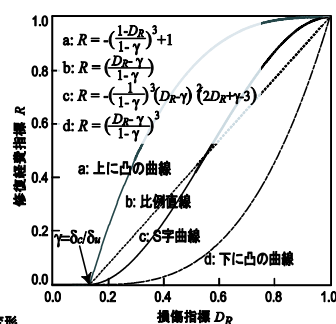


図5 損傷 - 費用関数モデル

(iii)応答 - 損傷関係のモデル: Park & Ang の損傷指標 $D^{[5]}$ を採用した。

(vi)補修シナリオ: 構造物の最大経験変位が降伏点を超えると補修する補修シナリオ^[2]を用いた(図4)。Park & Ang の損傷指標のうち履歴吸収エネルギーに依存する項を累積損傷 D_E とおき、 $D-D_E$ は降伏点を超えると補修されゼロに戻すものとし、 D_E は D が 1 を超えた場合のみ補修してゼロに戻すものとした。補修しない場合は経験した最大変位を指向するように各層の初期剛性が低下するものとし、補修後は剛性を初期の状態に戻すものと仮定した。

(v)損傷 - 費用関係の関数モデル: 修復費用を新規建設費用で規準化して耐震修復経費指標 R と定義した。ひび割れ点到達時の損傷指標を γ とし、耐震修復経費指標 R が図5の関数で表されるものと仮定した。

3. 必要強度スペクトルによる評価結果の表示

耐震修復経費指標 R を供用期間年数で除した年耐震修復経費指標 $EARC$ が等しくなる必要強度スペクトルで性能を表示する際、ライフサイクル入力地震動シナリオを用いる本研究においては、供用期間を通じた修復経費積算値および累積損傷を考慮しているため、 R が 1.0 でも安全限界状態とは限らず、安全限界状態に到達することなく修復しながら使用され続けることで耐震修復経費指標の積算値が 1.0 を超える場合も起こりうる。そこで、安全性能の検証においてライフサイクル入力地震動シナリオを用いた場合と最大地震動 1 つを用いた場合との必要強度スペクトルの差を図6に示した。50年超過確率 2% の地震動強さを最大とするライフサイクル入力地震動シナリオを用いた場合、ライフサイクル入力地震動による必要強度スペクトルが最大地震動一回による必要強度スペクトルと終局塑性率 8 までは同じになり、終局塑性率 8 以上ではやや必要強度が高く描かれた。これは、複数回の地震動で耐震修復経費指標 R の積算値が 1.0 を超えたため、安全限界状態の判定に差が生じたものと考えられる。

そこで本報では、物理量として確実に安全限界状態に至ったことを確認するために、安全性能の検証には最大地震動 1 回を用いて、それ以外の性能の検証につい

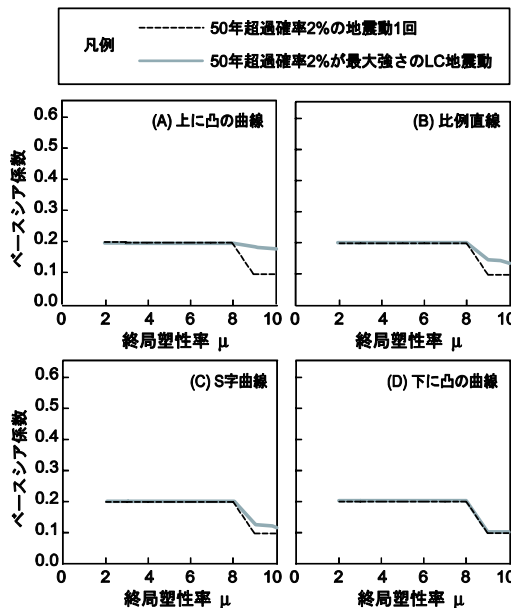


図6 安全性能評価に用いる地震動シナリオの差

てはライフサイクル地震動を用いて、各性能限界状態の相互関係を表す必要強度スペクトル例を図7に示した。図7より、各性能限界状態の互換表示を行ったベースシア係数 $C_0 = 0.3$ 、終局塑性率 $\mu = 4$ の構造物では、安全性能については「安全限界状態に至らしめる地震動の発生確率が 50年超過確率 0.5%」と表され、使用性能については「使用限界状態に至らしめる地震動の発生確率は 50年超過確率 50%」と表され、修復性能については「年耐震修復経費指標 $EARC$ が修復費用モデルに応じて(A): 0.013, (B): 0.006, (C): 0.005, (D): 0.0008」と表されることになる。

4. まとめ

安全性能および使用性能の評価においては構造物を限界状態に至らしめる最大地震動の発生確率を用いて、修復性能の評価においては修復費用の期待値を用いて、それぞれの性能を定量的に評価し、各限界状態の性能評価結果の相互関係を表す必要強度スペクトルによる性能表示例を示した。

【参考文献】

- [1] 高橋典之, 塩原等: 耐震修復性能設計を視野に入れたライフサイクル地震動シナリオ, 日本地震工学会 第1回性能規定型耐震設計に関する研究発表会, pp.39-44, 2004.5
- [2] 高橋典之, 塩原等, 小谷俊介: 鉄筋コンクリート建物の補修シナリオを考慮したライフサイクル耐震修復経費, 2002年度日本建築学会関東支部研究報告集1, pp.351-354, 2003.3
- [3] 壇一男, 神田順: 上下限を有する極値分布を用いた地震危険度解析, 日本建築学会構造系論文集, 第363号, pp.50-56, 1986.5
- [4] 高橋典之, 塩原等, 中埜良昭: RC構造物の長期的耐震修復性能評価における地震動発生順序の関する検討, 日本建築学会大会梗概集(近畿), C-2, pp.701-702, 2005.9
- [5] Y. J. Park and A. HS. Ang: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739, Apr. 1985

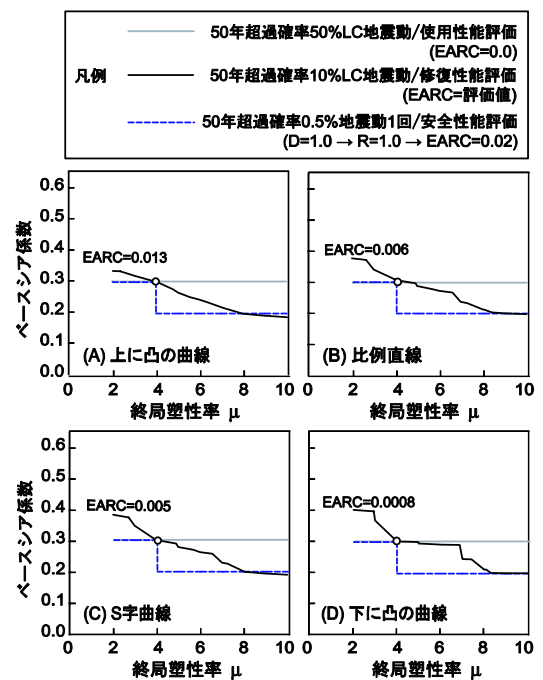


図7 各限界状態の互換表示