

京都大学工学研究科 学生会員 ○小貫 真広 京都大学工学研究科 Ahmed ALHOURANI
京都大学工学研究科 正会員 党 紀 京都大学工学研究科 正会員 小池 武

1. はじめに

地震災害の経験のある開発途上国では、その国の地震環境に適合した耐震設計法を構築すべきであるが、実際は、英文設計図書が入手しやすく設計手法が明解な米国の耐震設計指針がよく用いられている。しかし、米国とは都市構造・社会経済環境・地震環境が全く異なる国での耐震設計として、米国指針が唯一の正解である保証はない。そこで本研究では開発途上国向け耐震設計法のあり方について次の条件を満足する設計手順を提案する。

- (1) 設計手法がわかりやすい
- (2) 地震環境に適した設計応答スペクトルの構築
- (3) 耐震安全性照査が容易に求められること
- (4) 国の社会的・経済的状況に応じた修正・更新が容易であること

ここでは、シリアを事例として議論を進める。

2. 現行の耐震設計法の問題点

国際的に土木構造物の耐震性能は、地震が頻繁に起こる地域に関しては2種類の地震について照査を行う。DBE は比較的生じる可能性の高い地震で、MCE は極めて発生確率が低い大規模地震と定義されている。そのため耐震設計を行う際は、その国に適した DBE と MCE を検討する必要がある。シリアでは、歴史的にも大小多くの地震が発生しているが、現行設計法では DBE と MCE の区分がなく、その安全性評価は応力度評価であって、ひずみ評価ではない。

建築物の耐震設計¹⁾においては、式(1)による基部水平せん断力 V を用いて耐震安全性照査を行う。

$$V = \frac{IC_v}{TR} \cdot \frac{W}{g} \tag{1}$$

ただし、 I, C_v, T, R, W, g はそれぞれ重要度係数、地震荷重、固有周期、低減係数、重量、重力加速度。低減係数 R は本来、非弾性応答に適用すべきであるが、シリアでは、地震荷重のレベルに関わらず表-1 に示す R 値を用いている。

表-1 に示す R 値の根拠に関しては言及されておらず、

その妥当性が不明のため、概念が明解な式(2)の強度低減係数¹⁾ R_y を用いて R との関係および R の適用性を検

表-1 シリアでの低減係数 R の値

Lateral Force Resisting System Description	R
Special Moment Resisting Frame System	8.0
Dual System with Special Moment Resisting Frames which are capable to resist at least 50% of Prescribed Seismic Force.	7.5
Dual System with Special Moment Resisting Frames which are capable to resist at least 25% of Prescribed Seismic Force.	6.5
Dual System with Special Moment Resisting Frames which are capable to resist at least 10% of Prescribed Seismic Force.	5.5
Bearing Shear Wall System without Special Moment Resisting Frames	4.5

討する。

$$R_y = \frac{f_0}{f_y} \tag{2}$$

ここで、 f_0 は弾性耐力、 f_y は降伏強度である。

3. 開発途上国向けの耐震設計法

提案する設計手法は、DBE と MCE に対する限界状態設計法形式の耐震設計法を提案する。地震荷重の予測誤差は、DBE については非超過確率が 90% と 70% の設計応答スペクトルにより求めるものとし、MCE については、既往の研究²⁾からシリアの場合には MCE 相当のマグニチュードを 7 と定め、PGA に関する距離減衰式より PGA を 1200gal と算出した。そして MCE の設計スペクトルを図-1 のように設定した。そして MCE

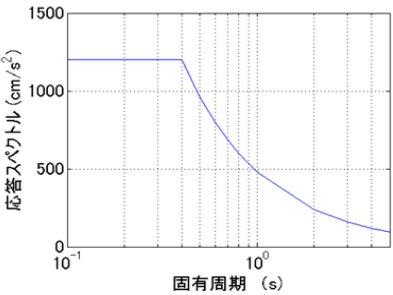


図-1 MCE の設計スペクトル

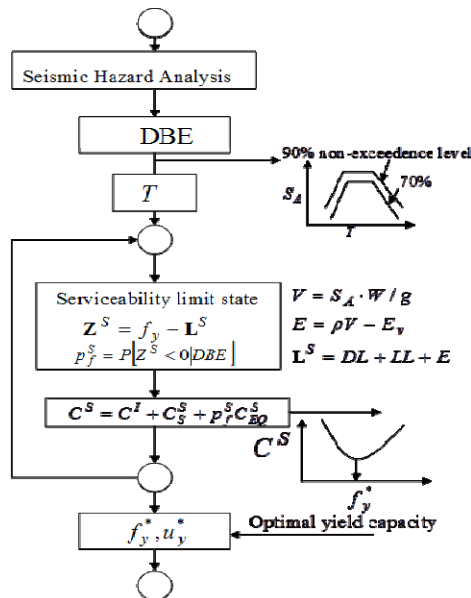


図-2 DBE に対するフローチャート

に相当する地震として 10 種類の地震波を取り上げ、それらを設計スペクトルに調整したものを MCE 用地震荷重とした。

図-2,3 には、1 自由度質点系振動モデルを対象として、DBE, MCE に対する耐震設計フローチャートを示す。DBE に対する設計法では、降伏強度が荷重を超える損傷確率 p_f^S を計算し、MCE に対する設計法では、応答変位が終局限界変位を超える損傷確率 p_f^U を計算する。さらに、開発途上国の社会経済状況を反映した防災投資コスト C_S^S, C_S^U や補修コスト C_{EQ}^S, C_{EQ}^U を用いたライフサイクルコスト C^S, C^U を最小とする最適強度 f_y^* や最適終局変位 u_m^* を求める。このフローチャートでは、最適値を実現する損傷確率に応じた耐震安全性が得られることになり、より高い安全性水準を確保するにはより多くの耐震投資が必要になることを示唆している。

4. 強度低減係数の比較・検討

シリアにおける MCE に適合する実地震波記録が得られないため、スペクトル形状は図-2 に従い、PGA は 1200gal に調整し、位相特性のみ異なる地震波を図-4 に示す既存 10 波から作成した。

図-3 により得られた最適強度低減係数 R_y^* と固有周期との関係を図-4 に示す。 R_y^* は、地震波によるばらつきが小さいことがわかる。つまり R_y^* は、地震波の位相特性の影響が小さいと言える。さらに、固有周期の増加に伴い減少していく傾向が見られる。また、表-1 よりシリアでは低減係数 R の値を 4.5~8 としているが、一方、 R_y^* はほぼ 4~6 の間にありおおむね表-1 の R の値に一致することがわかる。したがって、 R は R_y^* を用

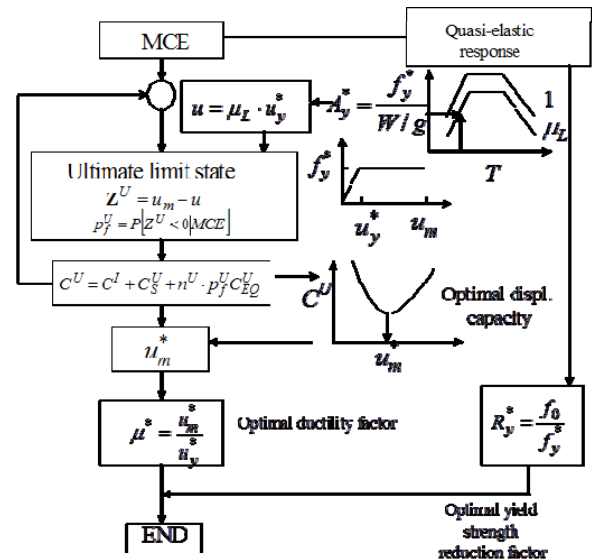


図-3 MCE に対するフローチャート

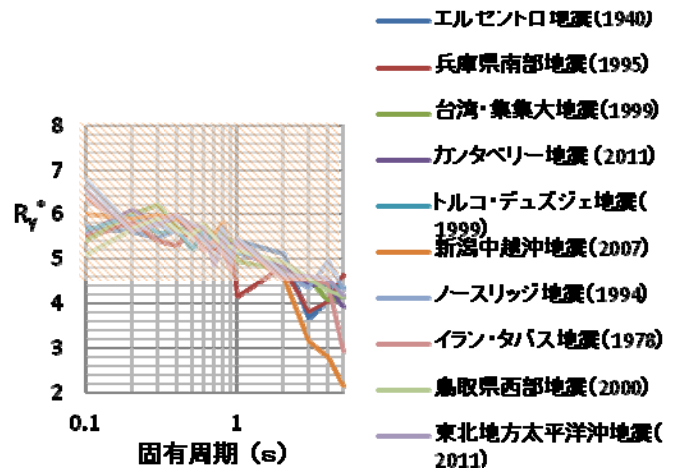


図-4 強度低減係数 R_y^* と固有周期との関係

いることで構造物の固有周期ごとに合理的にその値を定めることができることを確認した。

5. 結論

本研究では、DBE・MCE に対する開発途上国の地震環境と社会経済状況を考慮した耐震設計法を提案し、さらに、シリアで用いられている低減係数 R は、強度低減係数 R_y^* を用いることで合理的にその値を与えられることを示すことができた。

参考文献

- 1) Chopra, A.K.: Earthquake dynamics of structures A Primer, MNO-11, EERI, 2005.
- 2) Ahmed Alhourani, et al.: A framework for performance-based seismic design approach, International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.1, 2012.