

I-B 257 必要強度スペクトルに基づく弾塑性耐震設計法について

京都大学大学院 学生員 伊藤 彰浩
 京都大学工学部 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学部 正員 五十嵐 晃

1. はじめに

大地震時には、構造物は弾性限を超えて塑性域に及ぶ挙動を示すため、非線形性を有する弾塑性復元力を考慮した設計が必要となる。本研究では、耐震設計において採用すべき弾性強度と粘りの組み合わせを検討する手段として、地震動記録の必要強度スペクトルを算出した。得られた結果と現行の耐震設計基準との比較から、望ましい弾塑性耐震設計に関する提案を行った。

2. 弾塑性応答と必要強度スペクトル

バイリニア型の復元力特性を持つ弾塑性系の地震応答に関し、最大変位 x_{max} と降伏強度 P_Y の関係を表すために、必要強度スペクトルを算出する。その方法は次の通りである。まず、図1に示すバイリニア型弾塑性モデルを仮定し、固有周期 T 及び降伏強度 P_Y の組み合わせの異なる多数のモデルに対して、考慮する地震波を入力として動的応答解析を行う。変位時刻歴応答から最大変位 x_{max} を求め、これを降伏変位 x_Y で割って塑性

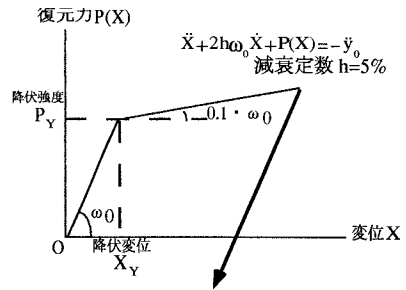


図1. 仮定した弾塑性復元力モデル(バイリニア型)

率 μ を計算すれば T 軸・ P_Y 軸・ μ 軸から成る三次元空間において、多数の点群 (T, P_Y, μ) がプロットできる。塑性率 μ の値が等しい点を互いに結んでできる曲線を T - P_Y 座標平面に投射したものととして、必要強度スペクトルを得ることができる。これは、地震時における構造物の被害・損傷の程度を表す塑性率をパラメータとした必要弾性強度スペクトルとして表されるものである。弾塑性耐震設計法を検討する際には、非常に有効な手段であると言える。

3. 諸地震動記録の必要強度スペクトル

従来の代表的な地震動記録（1940年インペリアルバレー地震のエルセントロ記録(NS成分)、及び近年問題となっている地震断層近傍における強震動記録（1994年ノースリッジ地震のシルマー記録(NS成分)と1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録(NS成分)）について、必要強度スペクトルの算出結果をそれぞれ図2、図3(a),(b)に示した。なお、各図中には我が国の道路橋示方書(平成2年)の震度法で規定する地盤種別毎の設計強度もあわせて示した。弾性系を表す $\mu=1$ のスペクトル値は、エルセントロ記録では全周期帯において1G以下となっているのに対し、シルマー記録では0.85秒以下、神戸

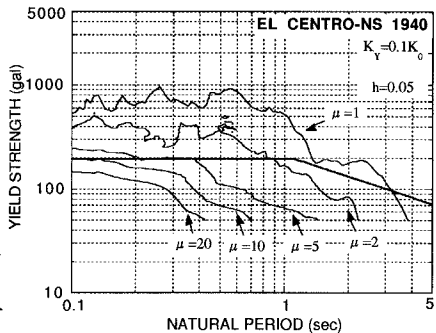


図2. エルセントロ記録の必要強度スペクトル

の記録では0.15~1.2秒の周期帯でそれぞれ1Gを超えている。構造物の粘りを高めて塑性率を大きくとった弾塑性系($\mu > 1$)の必要強度が塑性率の値に応じて低下する傾向は、全記録においてみられる。震度法で規定する強度の設計の場合、シルマーと神戸の両記録では0.8秒以下の周期帯で塑性率5以上の値を示し、特にシルマー記録では0.45秒以下、神戸の記録では0.55秒以下の周期帯において塑性率10以上という大きな塑性変形を強いられることがわかる。1970年以前の構造物の許容塑性率が5以下程度の小さい値であったことを考慮すれば、震度法で規定する強度程度で周期0.8秒以下の構造物は、崩壊に至る可能性が極めて高いことを示してい

る。従って、こういった直下型地震に対しては、短周期建造物の弾性的耐力を格段に上げる必要があることを示すものと考えられる。このことは、エルセントロ記録において0.2秒以上の広範にわたる周期帯で、塑性率5以下の許容値であることは対照的である。

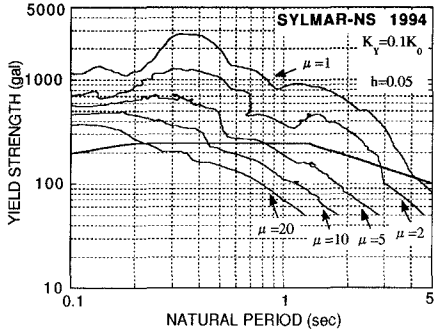


図3(a). シルマー記録の必要強度スペクトル

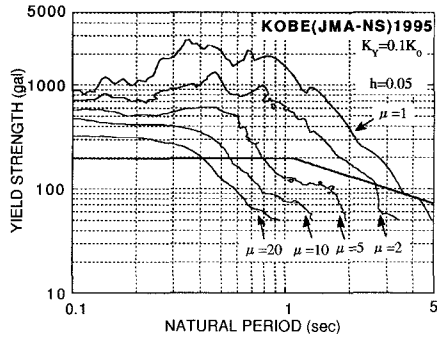


図3(b). 神戸海洋気象台記録の必要強度スペクトル

4. 地震時保有水平耐力の照査用震度の修正提案

兵庫県南部地震後の復旧仕様(平成7年)で規定している設計強度と神戸海洋気象台記録の必要強度スペクトルを比較したものを図4に示す。設計基準では、弾塑性系($\mu > 1$)の強度は、エネルギー一定則に基づき塑性率の値に応じて弾性系($\mu = 1$)の強度を一様に低減したものとなっている。強度の低減係数を強度低減率 R と定義すれば、エネルギー一定則の場合、 $R = \sqrt{2\mu - 1}$ となる。弾性系($\mu = 1$)の必要強度スペクトルと設計基準線は、全周期帯においてよく一致している。しかし、塑性率を大きくとった弾塑性系($\mu > 1$)をみると、長周期帯では設計基準線の方が、短周期帯では必要強度スペクトルの方が上回る値となり、両者間でずれを生じている。そこで、復旧仕様における設計基準のうち、弾塑性系($\mu > 1$)に対する必要強度の低減について新たに修正提案したものを図5に示す。弾性系($\mu = 1$)のスペクトルがピークを示す周期 T_p (この場合0.7秒とする)以上の周期帯($T > T_p$)では、変位一定則を適用し、強度低減率には $R = \mu$ を用いた。周期 T_p 以下の周期帯($T < T_p$)では、強度低減率 $R = 1 + (\mu - 1)T/T_p$ を用いた。このように、固有周期別に強度低減率を定めて提案した設計基準線は、必要強度スペクトルによく一致しており、固有周期にかかわらず一様な強度低減を行う方法に比べてより妥当性を有するものと考えられる。

5. まとめ

近年の地震断層近傍における直下型大地震動は、従来の代表的な地震動に比べ、はるかに大きな破壊力を有する。こういった地震動を想定した弾塑性設計法を検討するには、必要強度スペクトルの算出結果に基づき、固有周期別に塑性率の値に応じた強度低減率を提案することで、弾塑性系の必要強度は定められる。

【参考文献】 T.Paulay and M.J.N.Priestley : " SEISMIC DESIGN of REINFORCED CONCRETE and MASONRY BUILDINGS ", WILEY INTERSCIENCE 1991

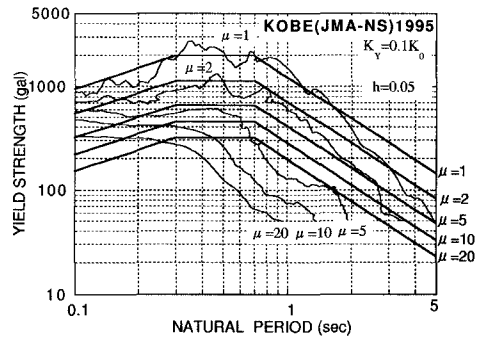


図4. 地震時保有耐力照査用震度(平成7年)との比較

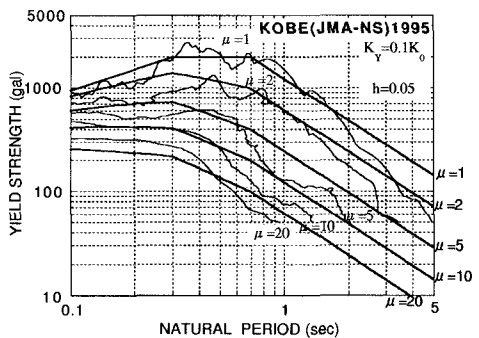


図5. 修正提案する地震時保有耐力照査用震度