

応答スペクトルを用いた動的相互作用系の耐震性能評価に関する研究

鹿児島大学 学生員 ○中村 剛久 鹿児島大学 正会員 木村 至伸
 鹿児島大学 正会員 河野 健二 鹿児島大学 学生員 中村 ゆかり

1. はじめに

1995 年の阪神大震災以降、従来の耐震設計法の課題点や問題点を明確にし、性能照査型設計法に基づいた構造物の耐震設計に関する検討が行われるようになった。その一例として、非線形特性を評価した必要強度スペクトルの検討が行われている。また、構造物の損傷評価に関しては、Park and Ang ら⁽¹⁾によって地震による構造物の損傷を定量的に評価することを目的とした指標が提案されてきた。そこで、本研究では、SR モデルを対象に、Park and Ang ら⁽¹⁾の損傷指標を目標性能とし、損傷度指標の目標値に応じた必要強度スペクトル、残留変位、履歴吸収エネルギーを算出した。この結果から目標性能指標としての損傷度指標の有効性を検討する。また、降伏変位の不確実性がこの損傷度指標の評価に及ぼす影響についても検討する。

2. 解析モデル及び解析手法

図-1 に本研究で用いた動的相互作用を考慮した構造物-地盤系の解析モデルを示す。基礎形式としてはケーソン基礎を考え、並進と回転運動を考慮したモデルとして取り扱う。構造物の非線形地震時応答解析に関しては Newmark の β 法を用い、減衰定数を 0.05、剛性比を 0.05、時間刻みを 1/1000 秒として解析を行った。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。

$$D = \frac{x_M}{x_u} + \frac{\beta}{Q_y x_u} \int dE \quad (1)$$

ここで、 x_M : 最大応答変位、 x_u : 終局変位、 Q_y : 降伏耐力、 dE : 消費エネルギーの増分、 β : 部材の断面特性等に依存した正の係数であり、本研究では 0.15 とした。また、損傷指標と損傷の程度との関係を表-1 に示し、ここでは入力地震動として、神戸海洋気象台地盤上で観測された南北方向波 (KOBEN-NS) を用いた場合の結果を示す。

3. 解析結果と考察

図-2 に損傷指標に基づいた必要強度スペクトルを示す。図中には、構造物の損傷が小さく、ほぼ弾性応答としてみなすことのできる $D=0.1$ についても示している。この図より、地震後における構造物の損傷を評価することで、構造物の必要強度が、かなり低減されていることが分かる。また、対象とする構造物の損傷指標を耐震性能 2 のレベルで耐震設計を行う場合、 $0.2 < D < 0.4$ の領域内で、必要強度の設定を検討すれば良いことが分かる。また、 $D > 1.0$ の場合は、構造物は崩壊とみなせることから、 $D=1.0$ のラインが KOBEN-NS の地震動に対する必要強度の限界値であるといえる。

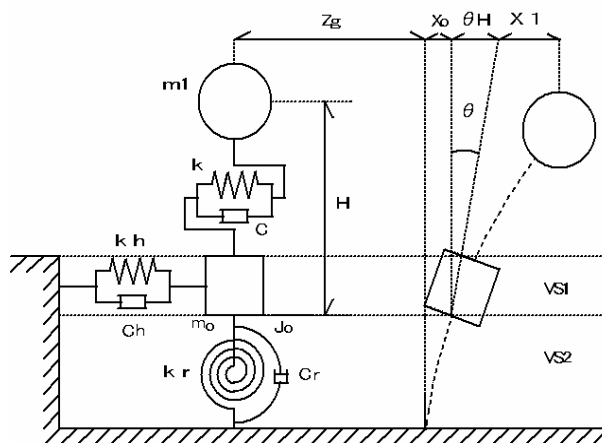


図-1 解析モデル

表-1 Park の損傷指標と損傷程度との関係

Parkの損傷度	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	大損害～圧破・鉄筋の座屈
1.0～	崩壊～全体的・部分的破壊

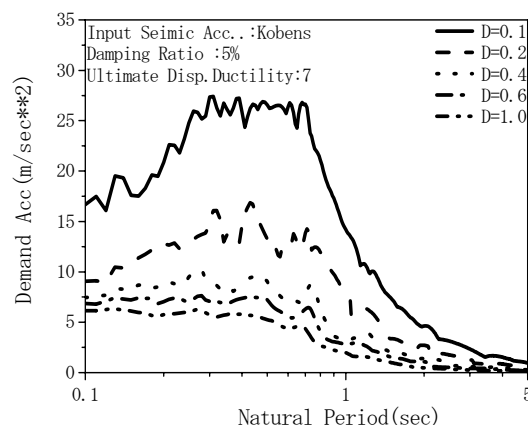


図-2 必要強度スペクトル

図-3 に、構造物の損傷を評価することで、どの程度入力強度の低減率があるかを検討するために、地震波を入力した際の低減率を示す。ここでは、弾性応答とみなせる $D=0.1$ に対しての低減率を示している。この図より、短周期側では大きな低減率は認められないが、長周期側では大きな低減率を示していることが分かる。また、 $D=0.2$ の場合に最小で 35% 程度、最大で 55% 程度の低減を示しており、 $D=0.4$ の場合には $D=0.2$ に対して約 10% の低減率増加、 $D=1.0$ の場合には $D=0.2$ に対して約 20% の低減率増加が認められ、最大で 90% 程度の低減効果が認められる。

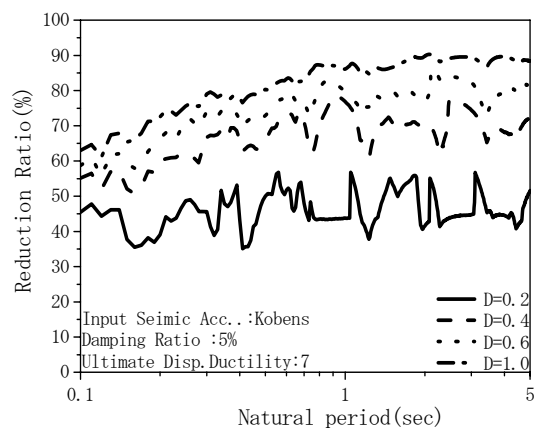


図-3 弾性応答に対する低減率

図-4 に、目標となる損傷指標を満足した際の残留変位について示す。残留変位は、耐震性能 2 に対する照査項目であり、構造物の早期復旧という観点から非常に重要な値である。図中は残留変位と降伏変位の比を残留変位スペクトルとして示している。 $D=0.2$ の場合は残留変位スペクトルが 0.5 以下、 $D=0.4$ の場合は 1.5 以下の値であることが分かる。これより、耐震性能 2 に対する検討を行う際は、降伏変位に対して 1.5 倍程度の残留変位までは許容可能なことが分かる。また、これらの残留変位は構造物の固有周期に大きく依存しており、残留変位が認められない場合もあるということが分かる。

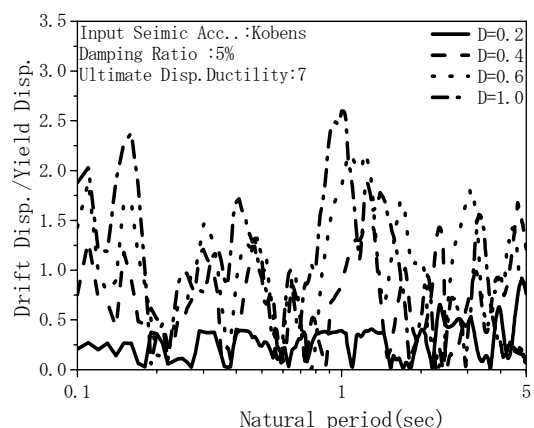


図-4 残留変位スペクトル

図-5 に構造物の損傷に影響する履歴吸収エネルギーについて示す。この図より、目標とする損傷指標、つまり耐震性能のレベルを高くすることで、構造部材の吸収したエネルギーが増大していることが分かる。

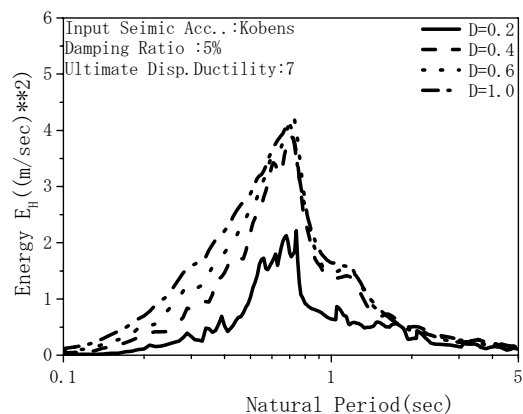


図-5 履歴吸収エネルギースペクトル

次に、構造物の信頼性を評価するために降伏変位に不確定性を考慮した場合の損傷度指標に対する必要強度スペクトルを求める。図-6 においては、実線は $D=0.4$ とし破線は平均値 ± 2 標準偏差とし、点線は $D=0.6$ とし短い破線は平均値 ± 2 標準偏差の場合を示している。この図より、不確定性を考慮して検討する際に、耐震性能 2 ($D=0.4$) では耐震性能 3 ($D=0.6$) も考慮しなければならないことが分かる。

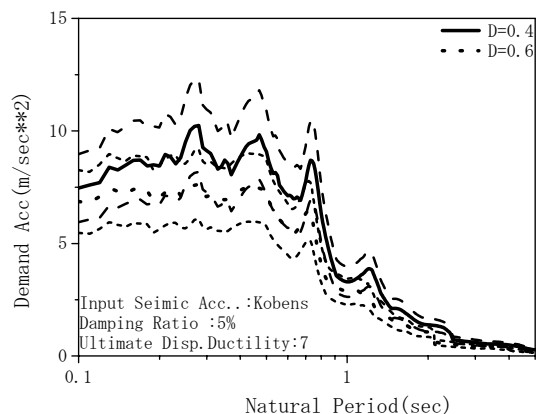


図-6 不確定性を考慮した必要強度スペクトル

4. まとめ

目標性能に損傷評価を用いることにより、構造物の必要強度が低減できることが分かる。また、本解析に示した各スペクトルは構造物の固有周期に大きく依存していることが分かる。このため性能評価においては、構造物の固有周期や入力地震動との関係を明確化しておくことが重要であることが分かる。

<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. 722-739, April 1985