

動的相互作用系の損傷評価に関する基礎的研究

鹿児島大学 学生会員 ○久保 直哉
鹿児島大学 正会員 木村 至伸
鹿児島大学 正会員 河野 健二

1. 目的

現行の性能照査型設計法は、構造部材のエネルギー吸収能を高め、構造物全体の崩壊を阻止することを目的とした設計法である。この設計法では、構造物の損傷評価を適切に行うことが要求されるため、構造部材の吸収可能なエネルギー量について検討しておくことは重要だと考えられる。また、地震時の構造物全体系の動的挙動は、上部構造物の挙動のみではなく、基礎 - 地盤系の並進及び回転運動にも関連する場合があるため、構造物の損傷評価に及ぼす動的相互作用の影響を考慮することも重要だと考えられる。そこで本研究では、Park and Ang らの損傷指標 D を目標性能とした耐震性能評価について動的相互作用を考慮し、動的相互作用に大きな影響を及ぼす橋脚高さを変化させ、損傷評価に及ぼす動的相互作用の影響を検討した。

2. 解析モデルおよび解析手法

本研究で用いた解析モデルを図 - 1 に示す。これは、3自由度のSRモデルで、上部構造物を1自由度振動系、基礎 - 地盤系を並進及び回転運動とで表わしたものである。上部構造物の非線形特性はTri - linear型復元力モデルで考慮し、基礎 - 地盤系については線形として扱った。次に、本研究の解析手順を示す。まず、橋脚高さ、入力地震動の設定する。本研究は、橋脚高さを変化させて損傷評価に及ぼす動的相互作用の影響を検討するため、上部構造物の質量がケーソン基礎の質量の0.5倍時に、橋脚高さを10m、20m、30m、50mと変化させた。また、入力地震動としては、兵庫県南部地震で観測されたI種地盤用の設計地震動である南北方向波(KOBE - NS)を用いた。基礎周辺地盤においては、上層地盤のせん断波速度VS1を350m/sec、下層地盤のせん断波速度VS2を350m/secとした。また、地震動最大加速度は500galに基準化した。次に、目標性能を設定する。目標性能としては、履歴吸収エネルギーによる損傷も考慮するために式(1)に示すPark and Angらの損傷指標 D を用いた。

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

ここで、 x_{max} :最大変位、 x_u :終局変位、 Q_y :降伏耐力、 $\int dE$:履歴吸収エネルギー、 β :材料の断面特性等に依存した正の係数を表す。表 - 1 に Park らの損傷指標と損傷の程度の関係を示す。0.2≦D<0.4 は耐震性能 2、0.4≦D<0.6 は耐震性能 3 に対応しており、ここでは、目標性能を D=0.1,0.2,0.4 としたときの検討を行った。その後、上部構造物の降伏変位を設定し、非線形時刻歴応答解析を行う。非線形地震応答解析に関しては Newmark の β 法を用い、減衰定数 5%、時間刻み 1/500 秒として検討した。解析によって得られた降伏耐力、履歴吸収エネルギーを用いて式(1)より損傷指標 D を算定し、目標の損傷指標 D を満足するまで降伏変位を変化させる。目標値に達したら必要強度スペクトル等を算出し、耐震性能を検討する。

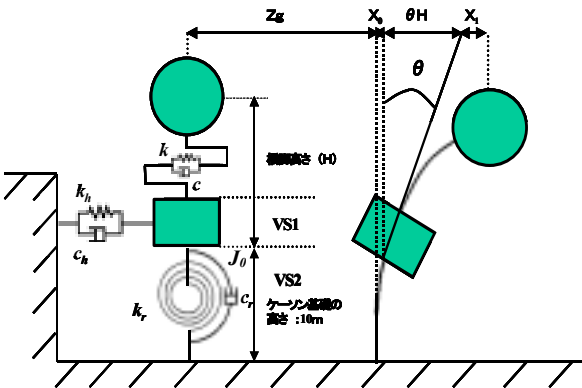


図 - 1 解析モデル

表 - 1 Park らの損傷指標と損傷の程度

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・鉄筋の屈曲
1.0～	崩壊～ 全体的・部分的破壊

キーワード 動的相互作用, 損傷評価, 必要強度スペクトル, 履歴吸収エネルギー, 応答塑性率

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 tel 099-285-8471

3. 解析結果

図-2 に動的相互作用系(橋脚高さ 20m の場合)、1 自由度振動系それぞれに対して目標性能を $D=0.1, 0.2, 0.4$ としたときの必要強度スペクトルを示す。動的相互作用系、1 自由度振動系ともに損傷指標が増加するにつれて必要強度を低減できることが分かる。また、動的相互作用系と 1 自由度振動系とを比較すると、この場合どの損傷指標においても動的相互作用系の必要強度の方が大きいことが分かる。これは、動的相互作用を考慮することにより、構造物全体系の固有周期が長くなったことで応答が増大したためだと考えられる。

図-3 に目標性能 $D=0.4$ の時に、橋脚高さを変化させた時の必要強度スペクトルを示す。橋脚高さが増加するにつれ短周期側で必要強度が増加していることが確認できる。橋脚高さ 50m においては 1 自由度振動系との差が最大 9.45m/sec^2 生じている。これは橋脚高さが増加するにつれて全体系の長周期化の度合いが増加すること、また、橋脚高さ 50m においても構造物全体系の固有周期が地震動の卓越周期を超えないことにより、応答が増大するためだと考えられる。

図-4 に目標性能 $D=0.4$ の時に、橋脚高さを変化させた時の履歴吸収エネルギースペクトルを示す。橋脚高さが増加するにつれピークが短周期側に移行し、値も増加することが確認できる。これは、構造物全体系の固有周期が長くなったことで地震応答量が増加し、非線形化に伴う履歴吸収エネルギーが増大したためだと考えられる。

図-5 に目標性能 $D=0.4$ の時に、橋脚高さを変化させた時の応答塑性率スペクトルを示す。応答塑性率は Park and Ang らの損傷指標 D の第一項に相当する値であるが、橋脚高さによって応答塑性率にバラツキが生じていることが分かる。これは、必要強度、履歴吸収エネルギーが橋脚高さによって異なるために損傷指標 D の第二項が変化するためだと考えられる。

4. まとめ

本研究は、Park and Ang らの損傷指標 D を目標性能とした損傷評価に及ぼす動的相互作用の影響を橋脚高さから検討した。動的相互作用を考慮することにより、構造物全体系の固有周期が長くなり、それにより、必要強度スペクトル、履歴吸収エネルギースペクトルともに上部構造物の短周期側で影響が見られる。そのため動的相互作用の影響により、応答塑性率にバラツキが生じることが分かる。よって損傷評価に動的相互作用を考慮することで、応答塑性率のみでの損傷評価ではなく、履歴吸収エネルギーによる損傷も考慮した損傷評価が重要であることが分かる。

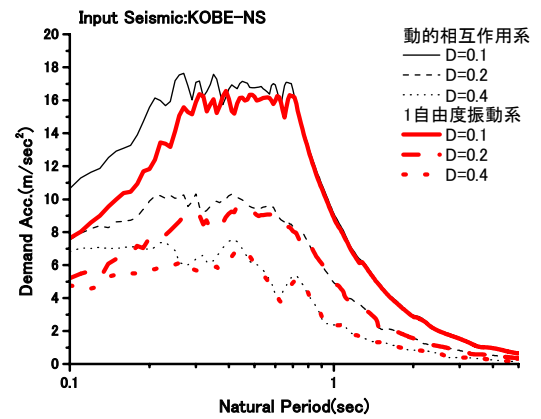


図-2 必要強度スペクトル

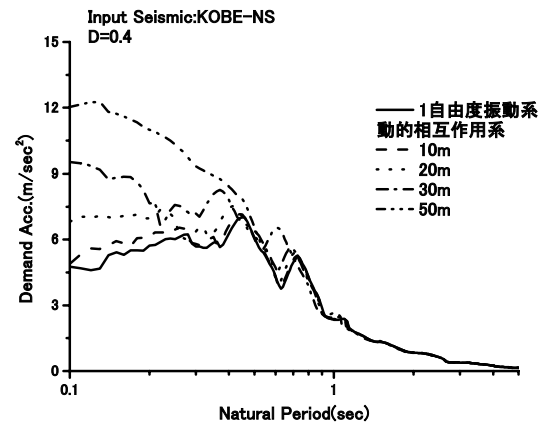


図-3 各橋脚高さにおける必要強度スペクトル

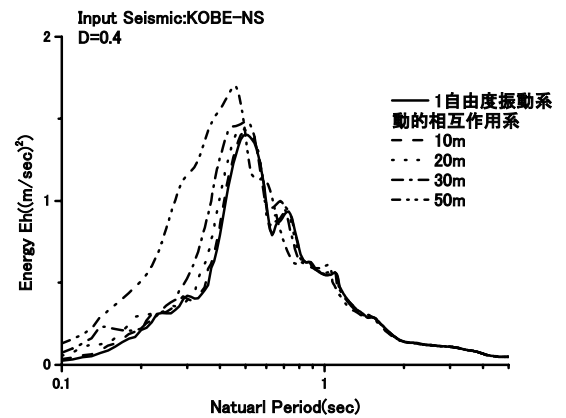


図-4 履歴吸収エネルギースペクトル

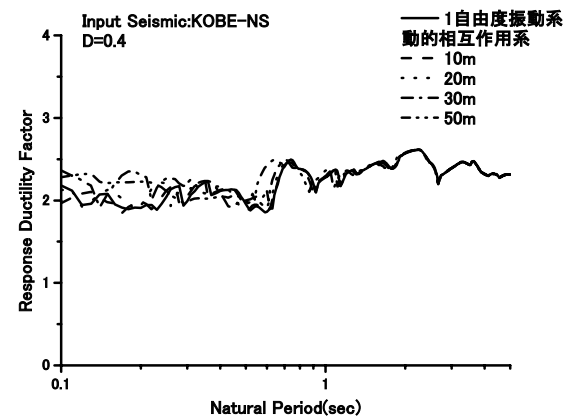


図-5 応答塑性率スペクトル