

損傷度指標に基づく鋼製橋脚の復元力特性の構築

名古屋大学工学部

学生員 ○金田一智章

名古屋大学大学院

フェロー会員

宇佐美 勉

1. 緒言

構造物の損傷は、地震動特性と構造物特性との重ね合わせによって決まる。地震動特性のみで決められる損傷度指標では、ある地域全体の平均的な損傷度を予測することはできるが、個々の構造物の損傷度の評価に用いることは出来ない。また、構造物の情報のみで決められる損傷度指標は、地震後の損傷を判定するものであり予測にはならない。したがって、構造物の耐震診断を行うには、地震動特性と構造物特性の双方を用いた損傷度指標（ダメージインデックス）を用いるのが妥当である。本研究では、この損傷度指標を用いて鋼製橋脚の復元力特性を構築し、弾塑性応答解析結果をハイブリッド地震応答実験結果と比較し、その妥当性を検証する。

2. 損傷度指標（ダメージインデックス）

損傷度指標Dは様々なダメージを簡潔に表し、通常Dは弾性限（無損傷）で0.0、想定破壊点で1.0となるように正規化されている。D=0.7は外乱に抵抗する構造物の能力の70%が消費されたことを意味する。本研究では、鋼製橋脚のような局部座屈の生じやすい鋼構造部材において次式の損傷度指標を採用する¹⁾。

$$D = (1 - \beta) \sum_{j=1}^{N_1} \left[\left(\frac{\delta_{\max,j} - \delta_y}{\delta_u - \delta_y} \right)^c \right] + \beta \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{E_i}{H_y(\delta_u - \delta_y)} \right)^c \right] \quad (1)$$

ここで、 δ_y =降伏変位、 H_y =降伏水平力、 δ_u =単調増大時の破壊点の変位（耐力が H_y まで低下したときの変位）、 E_i =各半サイクルのエネルギー吸収量、 N =破壊に至るまでの半サイクルの総数、 β 、 c =構造パラメータ、 $\delta_{\max,j}$ および N_1 は、それぞれ（ $j-1$ ）回目の過去最大変位振幅を δ_y だけ上回る変位振幅およびその経験サイクル数である。式（1）の第1項は応答変位を考慮した損傷度評価であり、第2項は履歴吸収エネルギーを考慮した損傷度評価である。構造パラメータ β は第1項と第2項の比重を示すパラメータであるが、 c と共に繰り返し载荷実験より求められる。

3. 復元力特性の構築

本研究で用いられる1自由度系鋼製橋脚に対する復元力モデルは、式（1）に示されているようなダメージインデックスに基づくものであり、以下のように定義される。

3. 1 履歴法則の決定

基本的な履歴法則としては、Fig.1に示されているようにトリリニア型であり、まず、初期剛性 K_0 でフランジ板の局部座屈を考慮したはり・柱の極限強度照査式から求められる初期降伏荷重 H_y ²⁾に対応する変位 δ_y まで進む。次に初期剛性 K_0 を α 倍（単調载荷実験より求める）した剛性 αK_0 で、単調载荷実験より求められる $H_{\max,0}$ に荷重が達するまで進み、達した後は荷重一定で変位のみ増加する。また、折り返した後の剛性は基本的に折り返し点前の弾性剛性と同じ K_0 であるが、後述する条件により変更する。そして、荷重が0に戻ったときダメージインデックスDが計算され、式（2）及び式（3）によって次の半サイクルの剛性 K_1 と $H_{\max,1}$ が決められる。ここで H_{in} は単調载荷実験の耐力力の最大値 $H_{\max,0}$ に対応する変位 δ_m のときと同じダメージがある時、式（2）の $H_{\max}$ が $H_{\max,0}$ となるように求められた定数である。以上の繰り返しにより履歴法則を決定する。

$$H_{\max} = H_{in} \left(H_y / H_{in} \right)^D \quad (2) \quad K = K_0 \left(H_y / H_{in} \right)^D \quad (3)$$

3. 2 半サイクル内における耐力力及び剛性の低減の表現

半サイクル内の耐力力の低減を表現するために、Fig.2のように各半サイクルの開始変位（荷重ゼロ点、Fig.2のO、B、D点）からの変位の絶対値が過去最大の荷重ゼロ点からの変位の絶対値 δ_i （ $i=1, 2, 3, \dots$ ）よりも大きかった場合、ダメージインデックスは折り返し点まで逐次計算され、式（2）及び式（3）によって耐力力及び剛性の低減が表現される。初期状態において過去最大の変位の絶対値は δ_y とする。Fig.2において初期絶対値 δ_y を初めて越えた折り返し点はA点であるから、OA間の距離が δ_1 となる。次の半サイクルにおいて荷重ゼロ点

であるB点と折り返し点のC点の絶対値は δ_1 以下のため計算は行われない。また、その次の半サイクルでは、D点からの絶対値が δ_1 となるE点を越えた点から折り返し点F点までダメージインデックスが逐次計算され、DE間の距離が次の最大絶対値 δ_2 となる。また、変位の絶対値が十分に大きくない場合、つまりダメージインデックスが小さい時、式(2)によって定められる H_{max} は、単調載荷実験によって求められる $H_{max,0}$ よりも大きくなってしまふ。この場合 Fig.3 のように最大耐力力は、式(2)によるものではなく単調載荷実験によって求められる $H_{max,0}$ を採用する。

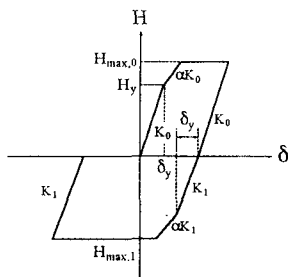


Fig.1 Hysteretic Model

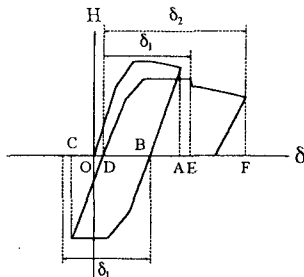


Fig.2 Degradation Point

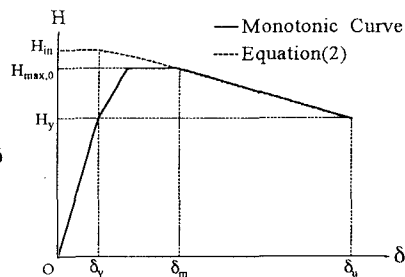


Fig.3 Monotonic Curve

4. 弾塑性地震応答解析および入力地震波

本研究では橋脚を1自由度系モデルに置き換えて、線形加速度法を用いて、応答解析を行った。入力地震波として、建設省が提案している地震時保有水平耐力照用地震波(レベル2)のⅠ種地盤とⅢ種地盤、また、兵庫県南部地震で観測された地震波の内、Ⅰ種地盤用として神戸海洋気象台(以下JMA)、Ⅱ種地盤用としてJR鷹取駅警報地震計(以下JRT)、Ⅲ種地盤用として東神戸大橋(以下HKB)を用いた。

5. ハイブリッド実験と弾塑性応答解析との比較

ハイブリッド実験³⁾と弾塑性応答解析結果との比較したものを Fig.4 に示す。供試体として幅厚比パラメータ $R_f=0.46$ 、細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.35$ を用い、構造パラメータは単調載荷実験と繰り返し載荷実験から $\alpha=0.5$ 、 $\beta=0.11$ 、 $c=1.5$ を使用する。Fig.4 より最大応答変位及び残留変位において、良い精度で一致している。その他の解析結果は講演当日に報告する。

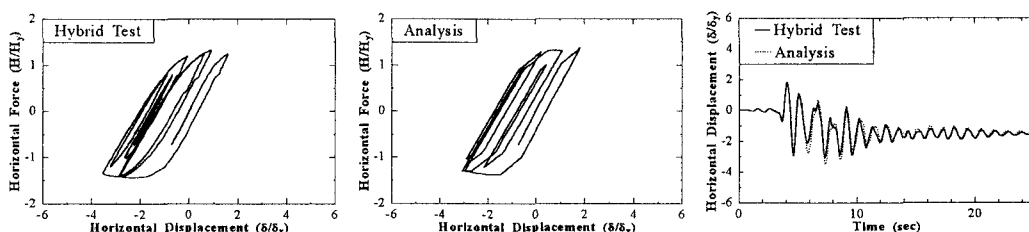


Fig.4 Comparison of Hybrid Test and Seismic Analysis with JMA NS Accelerogram

6. まとめ

本研究では損傷度指標(ダメージインデックス)に基づく鋼製橋脚の復元力特性を構築した。この復元力特性を用いた弾塑性地震応答解析とハイブリッド地震応答解析との結果を比較したところ本研究で用いられた復元力モデルの妥当性が示された。

参考文献

- 1) Satish Kumar and Tsutomu Usami: An evolutionary-degrading hysteretic model for thin walled steel structures, Engineering Structures, Vol. 18, No. 7, pp504-514, 1996
- 2) 宇佐美勉: 鋼平面ラーメン構造の極限強度評価式の実験データによる検証, 構造工学論文集 Vol. 36A, pp79-88, 1990. 3
- 3) 渡辺孝一, 金田一智章, 鈴木森晶, 宇佐美勉, 岡本隆, 池田茂: ハイダクティリティー鋼製橋脚の提案～ハイブリッド地震応答実験のよる検証～, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会に掲載予定