

## Damage Index に基づく鋼製橋脚の復元力特性の構築と地震応答解析

名古屋大学大学院 学生会員 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

現在、鋼製橋脚に対して、動的解析に用いる復元力モデルに関する研究はあまり行われていない。本研究では、損傷度指標（Damage Index）に着目し、これを用いて新しい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。また、このモデルを用いてパラメトリック応答解析を行う。

## 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。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 Damage Index を採用する<sup>1)</sup>。

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

ここで、 $H_y$  = 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、 $\delta_y = H_y$  に対応する変位、 $\delta_u$  = 単調載荷時の破壊点の変位（耐力が $H_y$ まで低下した時の変位）、 $E_i$  = 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、 $\beta$ 、 $c$  = 構造パラメータ、 $\delta_{\max,k}$  および  $N_1$  は、それぞれ  $(k-1)$  回目の過去最大塑性変位およびその経験サイクル数である。

## 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

骨格曲線（Fig.1）は劣化剛性域のないトリリニア型であり、基本的な履歴法則（Fig.2）としては、まず、初期剛性 $K_1$ で荷重が降伏水平力 $H_y$ に達するまで進む。次に初期剛性 $K_1$ を $\alpha$ （単調載荷実験より求める）倍した剛性 $\alpha K_1$ で、荷重が単調載荷実験より求められる $H_{\max,1}$ に達するまで進み、達した後は荷重一定で変位のみ増加する。また、除荷域剛性は基本的に弾性剛性と同じ $K_1$ である。そして、荷重がゼロ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 $K_2$ と最大耐力 $H_{\max,2}$ が決められる。

$$H_{\max} = H_{in} (H_y / H_{in})^D \quad (2) \quad K = K_1 (H_y / H_{in})^D \quad (3)$$

## 3. 2 半サイクル内における耐力力の低減の表現

半サイクル内の耐力力の低減を表現するために、次のような場合分けをする。今半サイクルまでの過去最大塑性変位を $\delta_{\max,k}$ とする。今半サイクルの開始点から折り返し点までの変位の絶対値が $\delta_{\max,k}$ を越えない場合は上記の履歴法則に従う。また、 $\delta_{\max,k}$ を越える場合、Fig.3 において変位の絶対値が $\delta_{\max,k}$ となるB点から折り返し点のC点までダメージインデックスを逐次計算し、式(2)により半サイクル内で耐力力を低下させる。

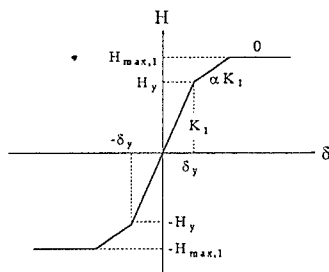


Fig.1 Skeleton Curve

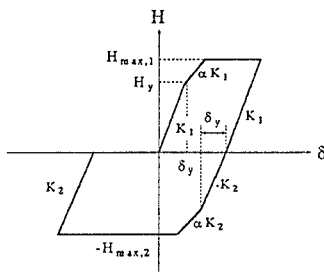


Fig.2 Hysteretic Model

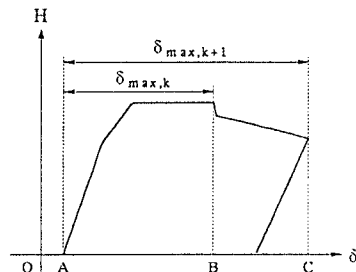


Fig.3 Strength Reduction

Key Word :Damage Index, Hysteresis Model, Parametric Analysis

\* 〒464-01 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

\*\* 〒464-01 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

## 4. ハイブリッド地震応答実験と弾塑性応答解析との比較

ハイブリッド地震応答実験<sup>2)</sup>と弾塑性応答解析結果との比較したものを Fig.4 に示す。入力地震波は神戸海洋気象台（JMA）、解析方法として線形加速度法を使用した。供試体は、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、解析パラメータは単調載荷実験と繰り返し載荷実験から  $\alpha=0.45$ 、 $\beta=0.11$ 、 $c=1.5$  を使用した。結果より、最大応答変位、残留変位、ダメージインデックスは実験と比較的良好な精度で一致した。

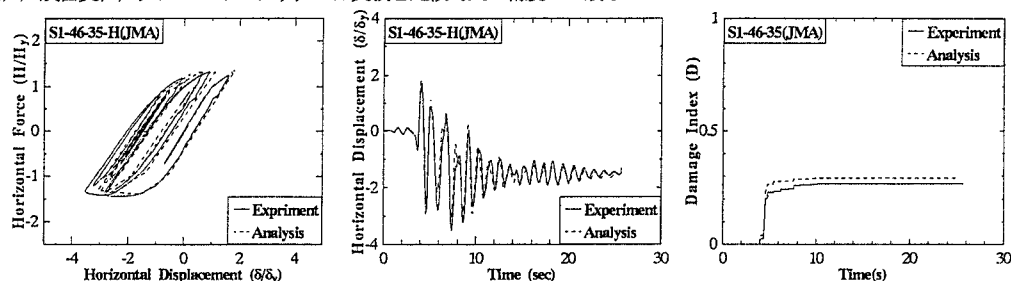


Fig.4 Comparison of Hybrid Test and Seismic Analysis with JMA NS Accelerogram

## 5. パラメトリック応答解析

このダメージインデックスモデルを用いて、パラメトリック応答解析を行い、橋脚の持つ固有周期と地震応答による最大応答変位の関係を示し、安全性の判定を示す。供試体は、幅厚比が 0.35 と一定で、細長比が 0.25, 0.35, 0.45, 0.45 の 4 つを用いる。汎用有限要素プログラム ABAQUS を用いて単調載荷の解析を行った (Fig.5)。入力地震波は、兵庫県南部地震の修正地震波 (Type-II 地震波) を用い、解析結果は I 種盤種に対して観測場所の異なる 3 波の修正地震波の解析結果を平均化した値を示した。Fig.6 において Supply 曲線は、コンクリートを充填しない箱形補剛断面鋼製橋脚に対する、強度と変形能に関する推定式から求められる  $\delta_{95}/\delta_y$  の平均曲線から、標準偏差 (S) だけ下方に平行移動することで得られる下界値曲線であり、これを鋼製橋脚に対しての許容塑性率曲線、すなわち保有性能曲線とする。また、Demand 曲線は解析より求められた最大応答変位  $\delta_{max}$  を  $\delta_y$  で無次元化したものであり、すなわち要求性能曲線である。

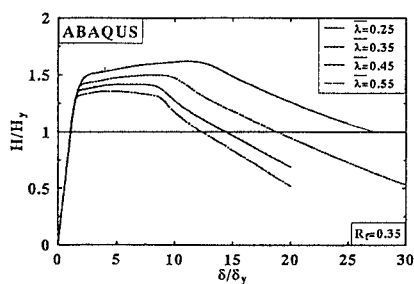
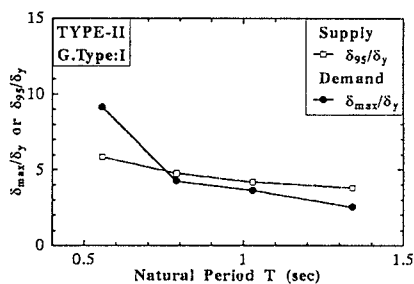


Fig.5 Monotonic Curve

Fig.6 Relation with  $\delta_{95}$ -T Curve

## 6. まとめ

本研究では損傷度指標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。パラメトリック解析において I 種地盤に関しては、橋脚の固有周期が 0.8 秒以下のものは最大応答変位が許容塑性率を上回っており、この固有周期を持つ橋脚に対して、危険な応答を生じる可能性があることを示している。また、固有周期が 0.8 秒を越えるものでは、許容塑性率は低下するものの、応答が小さくなることで安全側の応答となっており、安全側の設計をするためには、橋脚の固有周期を 0.8 秒以上にする必要がある。

尚、この研究は文部省科研費重点領域研究（研究代表者 小谷俊介）の補助を受けて行った。

## 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) 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による検証～, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集 pp361-368, 1997