

早稲田大学理工学部 学生員 春日清志  
早稲田大学大学院 学生員 松尾礼子  
早稲田大学理工学部 正 員 依田照彦

1. はじめに 兵庫県南部地震によって、鋼製橋脚は大きな被害を受けた。このため、既設の橋脚が、今後発生するかも知れない同規模の地震に耐え得るかの検討、および新設の橋脚の耐震性の向上が課題となっている。鋼製橋脚の耐震性の判定は、現在、橋脚ごとに動的応答解析を行うことが原則になっている。しかしながら、この方法は時間がかかるので、より簡単な判定方法が期待されている。そこで、本研究では、簡易動的応答解析の結果をもとに、動的応答解析なしに橋脚の耐震性の判定ができる関係式を提案する。そして、提案式を用いて、兵庫県南部地震によって実際に被害を受けた橋脚の耐震性の判定を行い、提案式の妥当性を検討する。

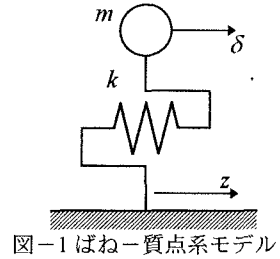


図-1ばね-質点系モデル

2. 解析手法 ここでは、実際の鋼製橋脚を図-1のような1次元の等価な弾塑性ばね-質点系モデルに置き換える。橋脚の剛性は、実験結果をもとに、図-2のような荷重-変位関係を持つように変化させる。動的応答解析には、通常のニューマークのβ法を用い、入力波形には、繰り返し荷重の影響を考慮するために、漸増型正弦波による加速度曲線を用いた。

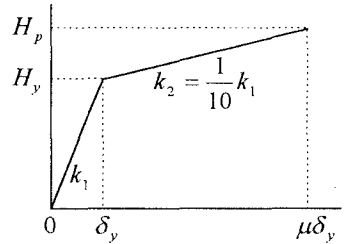


図-2 荷重-変位関係

具体的な手法としては、固有周期  $T_0$ 、降伏変位  $\delta_y$  の異なるさまざまな橋脚について、入力周期  $T$ 、最大入力加速度  $a_{max}$  の異なる入力波ごとに1次元動的応答解析を行い、入力周期-最大応答加速度曲線上において、最大変位  $\delta_{max}$  / 降伏変位  $\delta_y$  が限界じん性率  $\mu$  を超えるか超えないかによって、損傷域と安全域を区分し、境界線を求める。次に、その境界線を近似式で表現し、得られた式を橋脚の耐震性の判定に利用する。図-3 にその境界線の一例を示す。

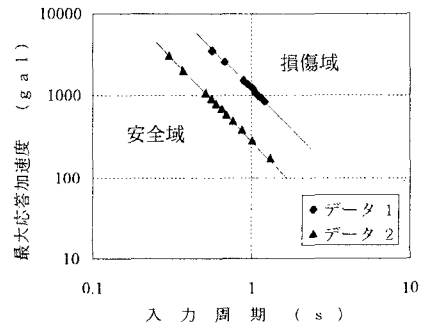


図-3 境界線の解析例

データ 1 :  $T_0 = 0.709(s)$ ,  $\delta_y = 5.779(cm)$

データ 2 :  $T_0 = 0.953(s)$ ,  $\delta_y = 1.443(cm)$

3. 解析結果および考察 前述した境界線は、図-3に見られるように両対数グラフ上では、ほぼ直線になる。そこで、いくつかの橋脚についてこの直線式を検討した結果、次式のような関係式が得られた。

$$\log_{10} A_{max} = -(0.097 \cdot T_0 + 1.9) \cdot \log_{10} T + 1.0 \cdot \log_{10} \delta_y - 0.070 \cdot T_0 + 2.4 - 1.0 \cdot \log_{10} \frac{5}{\mu} \quad \text{---- (1)}$$

ここに、 $A_{max}$  は最大応答加速度(gal)、 $T_0$  は固有周期(s)、 $T$  は入力周期(s)、 $\delta_y$  は降伏変位(cm)、 $\mu$  は限界じん性率である。

式(1)は、減衰を無視して作成したものであるが、減衰を5%にした場合でも同様の直線式が得られるので、この式は橋脚の減衰が0~5%の範囲であれば適用できる。

以上の議論では、入力波形に漸増型正弦波による加速度曲線を用いていたので、入力周期が1つに決まっていた。その結果、式(1)のように、境界線の式に入力周期が含まれていた。しかし、実際の地震波では、入

力周期は1つには決まらない。そこで、本研究では入力周期を卓越周期と読みかえることにする。卓越周期は、構造物の固有周期と直接関連すると考えられるので、 $T = T_0$ とおく。このことより、式(1)は次式のように書き換えられる。

$$\log_{10} A_{\max} = -(0.097 \cdot T_0 + 1.9) \cdot \log_{10} T_0 + 1.0 \cdot \log_{10} \delta_y - 0.070 \cdot T_0 + 2.4 - 1.0 \cdot \log_{10} \frac{5}{\mu} \quad \text{----- (2)}$$

得られた提案式(2)と、弾塑性加速度応答スペクトルを用いることで、鋼製橋脚の耐震性の判定が行える。

ここでは、兵庫県南部地震で実際に被害にあったP352、P353、P584-NおよびS、P585-NおよびSの鋼製橋脚について、式(2)を用いて耐震性の判定を行う。P584、P585 鋼製橋脚に関しては、コンクリート上面および断面変化点の2断面についての判定を行う。P352、P353 鋼製橋脚に関しては、断面が一定で断面変化点がないので、コンクリート上面のみで判定を行う。弾塑性加速度応答スペクトルには神戸海洋気象台記録を用いる(減衰は5%)。橋脚がある場所での地震記録がないので、神戸海洋気象台の記録を用いた結果には、多少の誤差が含まれる。限界じん性率 $\mu = 2$ としたときの判定結果を図-4に、限界じん性率 $\mu = 5$ としたときの判定結果を図-5にそれぞれ示す。図-4 および図-5では、式(2)によって求めたプロットが弾塑性加速度応答スペクトルの上側であれば安全、下側であれば危険であることを示している。

限界じん性率を $\mu = 2$ と仮定した場合、図-4 から分かるように、P584、P585 鋼製橋脚は断面変化点での判定において、損傷域または境界線上にきている。P352、P353 鋼製橋脚においても、損傷するという判定が出る。つまり、鋼製橋脚のじん性率が2程度あったとすれば、実際の鋼製橋脚が兵庫県南部地震によって被害を受けたことも説明ができそうである。一方、限界じん性率を $\mu = 5$ とすれば、図-5 から分かるように、すべての橋脚において安全であるという判定ができる。つまり、橋脚の限界じん性率を $\mu = 5$ として設計を行えば、兵庫県南部地震のような強い地震でも、損傷を受けずにすむ可能性がある。

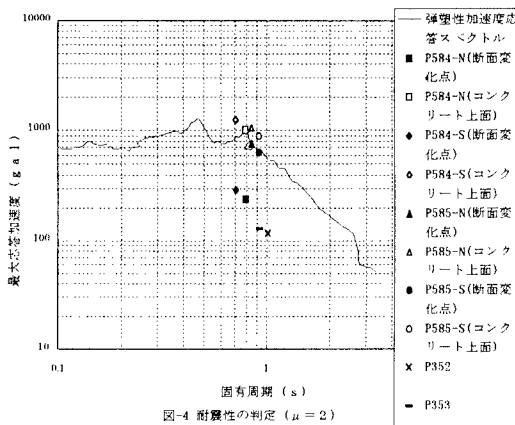


図-4 耐震性の判定 ( $\mu = 2$ )

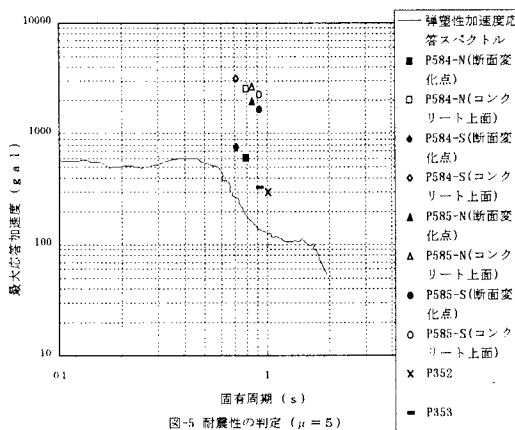


図-5 耐震性の判定 ( $\mu = 5$ )

#### 4. 結論

- (1)既設および新設の鋼製橋脚の耐震強度の簡易推定法として、式(2)を用いた手法が有効と思われる。
- (2)提案した関係式によって、既設の鋼製橋脚のある程度の耐震性の判定が可能である。
- (3)提案式は、橋脚の新設の時にも、簡易な判定基準として適用できる。

終わりに、本論文の作成にあたっては、土木学会構造工学委員会構造工学震災調査特別小委員会WG2における資料を参考にさせていただいた。また、阪神高速道路公団には、解析モデル作成のための資料について便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1)中村秀治：鋼製円筒橋脚の動的弾塑性座屈解析、土木学会論文集、No.549/I-37、pp.205-219、1996.10
- 2)鈴木、宇佐美、寺田、伊藤、才塚：鋼製箱形断面橋脚の復元カモデルと弾塑性地震応答解析、土木学会論文集、No.549/I-37、pp.191-204、1996.10
- 3)耐震設計研究WG：鋼脚の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術、土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会、1996.7
- 4)宮下、後藤、藤原、上條：アンカー一部の挙動を考慮した鋼製橋脚の地震時終局挙動の特性、第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会、pp.393-400、1997.1