

I - B92

実地震波を受ける鋼製橋脚の倒壊判定基準に関する一考察

東北大学大学院工学研究科 ○学生員 安藤 聡
 東北大学大学院工学研究科 正 員 中沢 正利
 東北大学大学院工学研究科 学生員 井林 康
 東北大学大学院工学研究科 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

近年、土木構造物の耐震性能設計の観点として震度法には限界があり、動的解析法の適用が必要不可欠となつてきている¹⁾。構造物の耐震性能を照査することはその倒壊条件、あるいは損傷度を評価することであり、エネルギー論的な評価方法を用いることにより地震外力の異なる特性を包含できる可能性がある。本研究では、鋼製橋脚構造の応答特性を十分に再現し得る1自由度振動系の簡易モデルを対象とし、Newmarkのβ法を用いて増分方程式を解くことにより弾塑性動的応答解析を行い、鋼製橋脚の終局状態におけるエネルギーを定量的に評価し、実地震波を受ける場合の倒壊判定基準について検討することを試みる。

2. 解析手法

本研究における解析対象を図-1に示す。この振動系の運動方程式はモーメントのつり合いより、

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + \frac{1}{\ell} \{R(\theta) - Pu\} = F(t) \dots\dots\dots (1)$$

と表すことができる。ここで m は質量、 c は粘性減衰係数、 ℓ は剛棒の長さ、 k は回転ばね定数、 u は水平変位、 θ は回転角、 P は鉛直軸力、 $R(\theta)$ は復元モーメントである。動的な外力を $F(t)$ とし、回転ばねの復元力特性は図-2に示すような完全弾塑性型であるとする。式(1)の左辺の第3項によって表される水平方向変位-復元力特性は、鉛直方向の軸力 P の影響により図-3に示すような特性を持つ。ここで、式(1)の両辺に $\dot{\theta}$ を乗じて動的外力の継続時間にわたって積分する。左辺の第1項を運動エネルギー E_k 、第2項を粘性減衰エネルギー E_c 、第3項をばね系の弾塑性ひずみエネルギー E_s と履歴減衰エネルギー E_h 、右辺を地震力によって系に入力されるエネルギー E_f とすると以下ようになる。

$$E_k + E_c + E_s + E_h = E_f \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 E_k は地震終了時には0となる。また、弾塑性ひずみエネルギー E_s の最大値 E_{su} は、図-3において水平復元力 $R'(u)$ が0となるまでになすエネルギーとして三角形の面積で表され、橋脚の構造諸元から直接求めることができる。また、有効入力エネルギー E_{ef} を $E_{ef} \equiv E_f - E_c - E_h$ と定義する。本研究では、粘性減衰(減衰定数 $h=5\%$)を考慮し、実際の鋼製橋脚に則した構造諸元を持つ1自由度振動系に実地震波を作用させて、終局時におけるこれらのエネルギーを定量的に評価する。

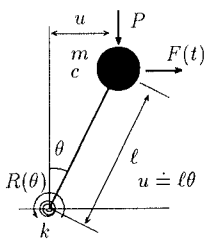


図-1 1自由度系振動モデル

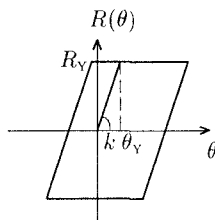


図-2 回転ばねの復元力特性

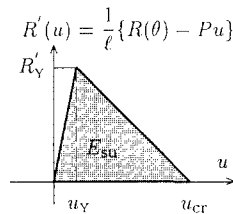


図-3 水平変位-復元力特性

Key Words: 倒壊判定基準, 終局状態, 有効入力エネルギー, 弾塑性ひずみエネルギー
 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (TEL 022-217-7443, FAX 022-217-7441)

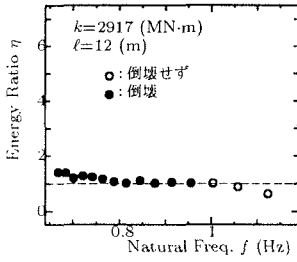


図-4 正弦波外力を受ける振動系の固有振動数 - 入力エネルギー関係

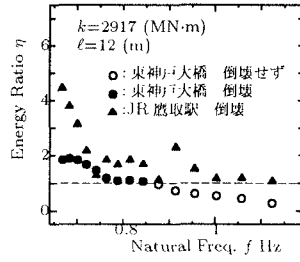


図-5 実地震波外力を受ける振動系の固有振動数 - 入力エネルギー関係

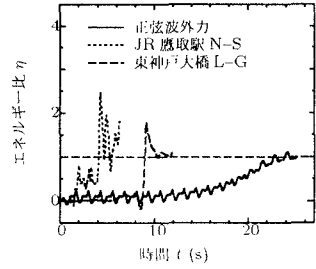


図-6 正弦波および実地震波外力を受ける系の入力エネルギー時刻歴曲線

3. 解析結果

(1) 振動系の倒壊判定基準

共振調和正弦波外力、および兵庫県南部地震の際に観測された地震波を外力として作用させ動的解析を行った。質点の質量の変化に伴って変化する固有振動数 f を横軸とし、縦軸には有効入力エネルギー E_{ef} を弾塑性ひずみエネルギーの最大値 E_{su} で無次元化したエネルギー比 η をとった固有振動数 - エネルギー比関係を正弦波外力を受ける振動系について表したものを図-4 に、また JR 鷹取駅における南北 (N-S) 成分によるもの、および東神戸大橋における橋軸方向 (L-G) 成分によるものに対する結果を図-5 に示した。また、図-4,5 に示した k , ℓ を持つ振動系の質量 m を 800ton として、有効入力エネルギーを時刻歴で追跡した入力エネルギー時刻歴曲線を図-6 に示した。振動系が倒壊する時には、常に η が 1 を越えており、 $\eta = 1$ が構造物の倒壊判定基準となっていることがわかる。しかしながら、図-4 と図-5 とを比較すると実地震波外力を受ける系は正弦波を受ける振動系と比べ $\eta = 1$ を大きく上回る傾向がある。これは図-6 に示したように入力エネルギーの累積が正弦波の場合は比較的単調に増加するが、実地震波を受ける系の場合は外力が不規則であるがためにランダムに累積することによる。本研究では終局時のエネルギーを用いて評価しているため η が 1 を大きく上回るといったばつぎが生じるが、結果的には実地震波においても $\eta = 1$ が振動系の倒壊判定基準となっていることが確認できた。

(2) 振動系が倒壊しない場合の残留変位

次に、振動系が倒壊しない場合においてエネルギー比 η が、構造物の損傷度と密接な関わり合いを持つ指標の一つである残留変位を評価する指標にもなり得るかを検討した。系が倒壊しないような構造諸元に設定し、質点の質量 m を 400~1200ton まで 10ton ごとに变化させた。振動系に上と同じ実地震波外力を作用させ、横軸にエネルギー比 η 、縦軸に終局時の水平変位で無次元化した残留変位をとったエネルギー比 - 残留変位関係を図-7 に示した。ここに、残留変位を u_r とすると実線は、 $u_r/u_{cr} = 1 - \sqrt{1-\eta}$ という式によって表される近似曲線である。図-7 中のエネルギー比と残留変位の関係を表した点は、異なる地震波の特性とは関係なく実線にはほぼ一致するという特性が得られた。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造新技術小委員会: 最終報告書 (耐震設計研究), 土木学会, 1996.
- 2) Nakajima, A. et al.: Dynamic failure of structures with structural instability, *Structural Eng./ Earthquake Eng.*, JSCE, Vol.4, pp.351s-360s, 1987.

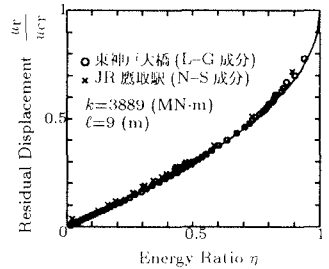


図-7 実地震波を受ける系のエネルギー比 - 残留変位関係