

鋼製橋脚のエネルギー吸収性能をターゲットとした耐震信頼性評価

(株)横河技術情報 正会員 越田容充 香川大学工学部 正会員 白木 渡
香川大学工学部 正会員 井面仁志 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

信頼性理論に基づく設計基準では、構造物への要求性能が確率論に則って担保されねばならない。そのためには、具体的な要求性能を明確にする必要がある。さらに、要求性能を満たす確率の算定が必要不可欠であるので、信頼性理論に立脚した構造物の性能評価法が重要である。本研究では、地震荷重を受ける鋼製橋脚が吸収できる履歴エネルギーの変動を確率分布で表現し、鋼製橋脚のエネルギー吸収量をターゲットとした耐震信頼性評価法を提案する。

2. 地震荷重を受ける鋼製橋脚の解析モデル

上部構造の死荷重と活荷重に相当する鉛直荷重 P ならびに地震荷重に相当する水平力 H が同時に作用する単柱形式の鋼製橋脚を解析対象とする。解析モデルとその断面形状をFig.1とFig.2に、解析モデルのパラメータをTable 1に示す。

3. 鋼製橋脚のエネルギー吸収量をターゲットとした耐震信頼性評価法

地震動を受ける鋼製橋脚においては、一般に、地震動の地動最大加速度が同じでもその波形が異なれば、橋脚が吸収できるエネルギー量は異なる。そこで、この分散を確率モデルで表現し、エネルギー吸収性能を基本とする鋼製橋脚の耐震信頼性評価法を提案する。

まず、鋼製橋脚の耐震信頼性評価に必要な限界状態関数を

$$Z = E_L - E_D \quad (1)$$

とおく。ここに、 E_L は鋼製橋脚の限界エネルギー吸収量で、確定量として扱う。 E_D は鋼製橋脚の履歴エネルギー吸収量で、確率量として扱う。ちなみに、構造物は、 $Z > 0$ の場合に安全な状態、 $Z < 0$ の場合に危険な状態にあるとみなされる。

(1) 鋼製橋脚の限界エネルギー吸収量(E_L)

限界状態関数に用いられる限界エネルギー吸収量は、鋼製橋脚を弾塑性有限変位解析することによって算出

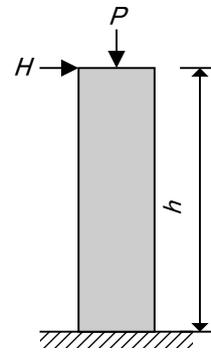


Fig.1 解析モデル

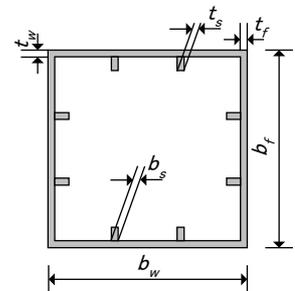


Fig.2 橋脚の断面形状

Table 1 解析パラメータ

全高	(mm)	10,000
主板パネルの幅厚比パラメータ		0.3, 0.5, 0.7
橋脚の細長比パラメータ		0.2, 0.3, 0.4
縦補剛材の本数と間隔(mm)		2, 500
縦補剛材の曲げ剛比		3.0
縦補剛板の縦横比		1
軸力比		0.2

できる。ここでは、鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析に汎用有限要素解析プログラム“MARC2001”を適用した。本研究では、繰り返し载荷によって得られた履歴曲線における $\delta_y, 2\delta_y, 3\delta_y, 4\delta_y, 5\delta_y$ の変位に対応するエネルギー吸収量をそれぞれ限界エネルギー吸収量とした。

(2) 鋼製橋脚の履歴エネルギー吸収量(E_D)

限界状態関数に用いられる履歴エネルギー吸収量は、弾塑性時刻歴応答解析から算出される。ただし、解析時間の短縮を図るために、はり要素にモデル化した鋼製橋脚を汎用有限要素解析プログラム“LS-DYNA”で解析する。地震動による鋼製橋脚のエネルギー吸収量の変動を求めるため、兵庫県南部地震と鳥取県西部地震で観測された地震波形を地動最大加速度800galに振幅調整し、それを入力地震動とした。それらの結果を分析し、エネルギー吸収量の確率モデルとその分布形を提案する。

4. エネルギー吸収量の確率モデル

橋脚の履歴エネルギー吸収量の確率モデルを決定す

キーワード：耐震信頼性評価，エネルギー吸収性能，鋼製橋脚

連絡先：〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 関西大学工学部都市環境工学科

るため、ここではKolmogorov-Smirnov検定を行った。その結果、鋼製橋脚が吸収する履歴エネルギーの確率モデル分布形に極値分布が適合した。極値型分布の確率密度関数は、つぎのようである。

$$f_{E_D}(x) = \alpha \exp[-\alpha(x-u)] - \exp\{-\alpha(x-u)\} \\ -\infty \leq x \leq \infty, \alpha > 0 \quad (2)$$

ここに、 u 、 α は位置とばらつきの尺度を表すパラメータ、 u は最頻値である。

5. 鋼製橋脚の耐震信頼性指標

設定した解析モデルに対して信頼性解析した結果、Fig.3とFig.4を得た。ここに、同図は橋脚の細長比パラメータごとの信頼性指標で、横軸は構造物の限界状態、縦軸は各限界状態での信頼性指標である。

(1)橋脚の幾何形状が信頼性指標に及ぼす影響

Fig.3から明らかのように、主板パネルの幅厚比パラメータが大きくなるとともに、信頼性指標 β が小さくなる。ただし、限界状態が $3\delta_y$ 程度では、幅厚比パラメータの違いによる信頼性指標の相違は少ない。この要因として、 $3\delta_y$ 程度までの履歴吸収エネルギーが幅厚比パラメータに関係なく、ほぼ同量であるからと思われる。

つぎに、橋脚の細長比パラメータに注目する。細長比パラメータが小さくなれば、橋脚の保有水平耐力は強まり、耐震性能の観点から有利な剛な構造となる。その結果、弾塑性有限変位解析によって算出された橋脚の限界エネルギー吸収量は、細長比パラメータの減少とともに少なくなった。これは、橋脚が変形しにくくなったための結果である。それゆえ、細長比パラメータの減少とともにエネルギー吸収性能をターゲットとする信頼性解析による耐震信頼性指標は低下した。現在、主流になりつつある変形性能をターゲットとした耐震信頼性評価法に基づけば、変形性能に劣る構造物の耐震信頼性評価は低くなる。

(2)縦補剛材の曲げ剛比が信頼性指標に及ぼす影響

Fig.4 から明らかのように、縦補剛

材曲げ剛比の増加とともに信頼性指標は大きくなる。ただし、橋脚の水平変位が $4\delta_y$ 程度までに制限された場合には、剛比の影響をあまり受けない。変形量がそれ以上に多くなれば、剛比の影響が顕著になる。すなわち、変位の許容限界値をある程度大きく取らなければ、縦補剛材曲げ剛比の影響は見られない。

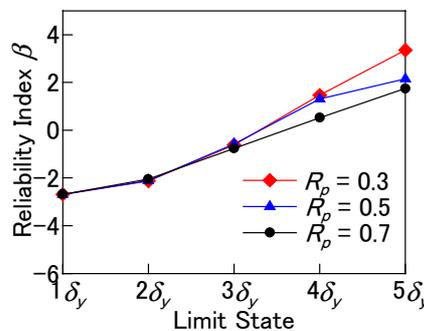
6. あとがき

信頼性理論に則った構造物の性能評価の一手法として、鋼製橋脚のエネルギー吸収性能をターゲットとする耐震信頼性評価法を提案した。この手法では橋脚の変位に対しても制限を設けているため、既往の研究¹⁾と比較すれば、構造物の損傷度を把握しやすくなり、耐震信頼性を評価する上で有効な手法であると考えられる。

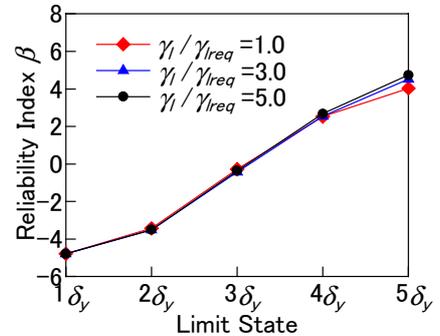
最後に、弾塑性時刻歴応答解析に用いる入力地震動として K-NET の地震データを使用させて頂いた。

参考文献

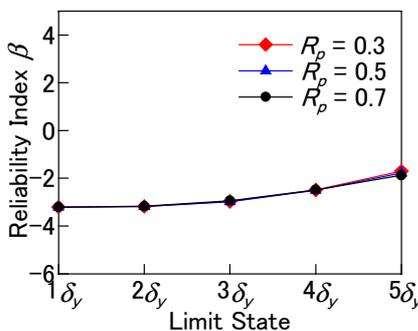
- 1) 白木ら：道路橋の耐震信頼性評価に用いる部分安全係数の解析法に関する研究，2002-2。



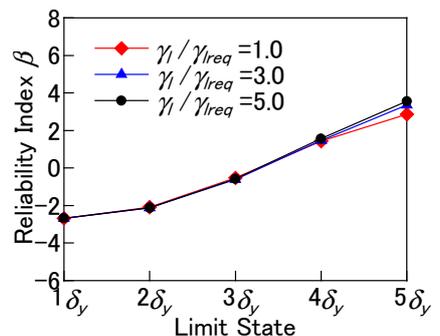
(a) $\bar{\lambda}=0.4$



(a) 地動最大加速度 400gal



(a) $\bar{\lambda}=0.2$



(a) 地動最大加速度 800gal

Fig.3 幾何形状による信頼性指標

Fig.4 縦補剛材の曲げ剛比による耐震信頼性指標