２方向地震動を受ける矩形断面鋼製橋脚の照査法における限界値の設定に関する検討

石川島播磨重工業（株）　正会員　○滝　直也　名古屋工業大学大学院　学生会員　小山　亮介
名古屋工業大学大学院　フェロー会員　後藤　芳顯

1. はじめに：　鋼製橋脚の耐震安全性をより確実に照査するには多方向地震動入力の影響を考慮することが重要である．この場合，鉛直地震動成分の影響が通常小さいので水平２方向成分の連成を考慮した検討を行うのが現実的である．ここでは，設計水平２方向地震動を同時入力し，３次元梁要素を用いた複合非線形解析を実施して得られる照査指標の応答値をあらかじめ設定した限界値について照査する手法について検討する．上記の照査法は現行の水平１方向地震動下の照査法と同様であり，１方向地震動下の照査指標として変位やひずみを用いる変位照査法[1),2)]やひずみ照査法[2)]が提案されている．２方向地震動下の照査においてもこのような指標による方法が考えられるが，著者らの検討によると，その限界値には荷重履歴の影響が大きく，精度の良い限界値の設定が非常に複雑であることが明らかになった．ここでは，荷重履歴の影響が小さい２方向の水平復元力成分（２方向の曲げモーメント成分）の相関曲線により限界値を設定する方法について検討する．この場合，水平復元力合力のピーク点を限界点と考える．水平復元合力のピーク点を限界点と考える方法は道路橋示方書に対応する考え方である．なお，変位やひずみを指標とする場合は復元力の95%低下点などを限界値として設定することも理論上可能であるが，水平力成分を指標とする場合はやや困難が伴う．

2. 限界曲線の設定：　限界曲線を検討するための橋脚モデルとしては既存の橋脚データをもとに**図-1** に示すような正方形断面鋼製橋脚に対して**表-1** に示すような３種類のパネル板厚，縦リブ寸法を有する構造を設定する．設計時に用いる限界曲線としては，地震時に橋脚が受ける２方向地震力の載荷履歴を考えると繁雑になるので安全側のものを設定する必要がある[3)]．このためには，いくつかの静的な載荷履歴を与え限界点を計算し下限としての限界曲線を決定する．解析は非線形汎用FEM プログラム ABAQUS により実施する[3)]．解析モデルは**図-1** に示すように基部から上へ 2 つの補剛パネルを 4 節点シェル要素(S4R),それよりは 3 次元チモシェンコはり要素(B31)でモデル化する．このモデルの材質は SM490 であり，材料構成則

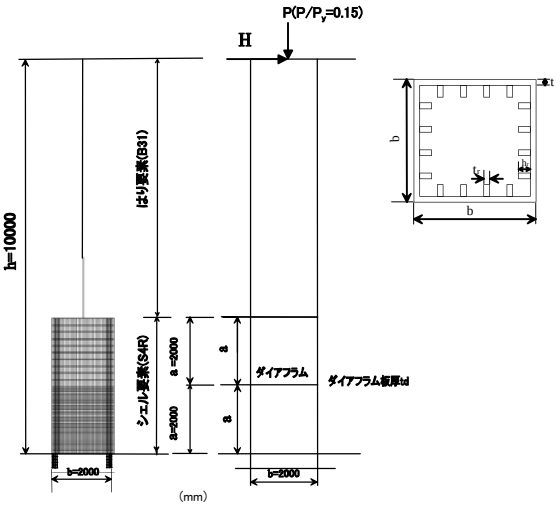

図-1.　対象橋脚と解析モデル

表-1.　モデルの諸元とパラメータ

橋脚	t (mm)	t_r(mm)	t_d(mm)	h_r(mm)	R_R	$\bar{\lambda}_s$	γ/γ^*	R_s	$\bar{\lambda}$
No.a	16.5	16.5	16.5	172	0.50	0.50	1.24	0.66	0.31
No.b	27.4	27.4	27.4	157	0.30	0.51	0.35	0.36	0.31
No.c	12.7	12.7	12.7	183	0.65	0.50	2.47	0.91	0.31

表-2.　３曲面モデルのパラメータ

E	ν	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ε_{yp}^{0}	f_b/σ_y	β	ρ	κ	ξ
206	0.3	315.5	584.1	0.0091	0.65	100	2	3	0.5

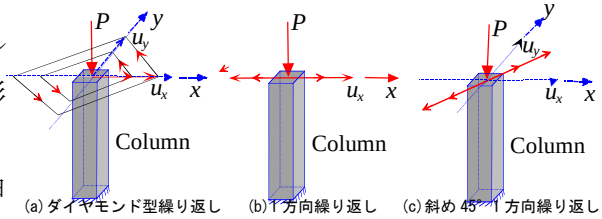

図-2.　載荷形式

表-3.　解析に用いた地震動

地震	観測点	ID
1983 日本海中部地震	津軽大橋周辺地盤上	Tsugaru
1995 兵庫県南部地震	神戸海洋気象台地盤上	JMA
	JR西日本鷹取駅構内地盤上	JRT
	東神戸大橋周辺地盤上	HKB
1999 ChiChi地震（台湾）	TCU084	TCU084
2003 十勝沖地震	K-Net 直別	HKD086
2004 新潟県中越地震	K-Net 小千谷	NIG019

キーワード　２方向地震動，動的解析，矩形断面鋼製橋脚
連絡先　〒466-8555　愛知県名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学　ＴＥＬ052-732-2111

として 3 曲面モデルで用いる材料パラメータの値を**表-2** に示す．くり返し載荷履歴としては耐震性に関して厳しいものとして**図-2** に示すような(a)ダイヤモンド型 1 回繰り返し載荷の他，(b)1 方向 1 回繰り返し載荷，(c)斜め 45° 方向 1 回繰り返し載荷を用いる．限界点を水平復元力合力のピーク点 $H_{\Sigma m}$ として求め，水平復元力成分 $(H_{mx}/H_0, H_{my}/H_0)$ の位置を $(H_x/H_0, H_y/H_0)$ 座標上に描き，これを直線で結ぶことにより，くり返し載荷による限界曲線を近似的に求める．ここに，H_0 は強軸方向の初期降伏変位である．比較のために，1 方向単調載荷，斜め 45° 方向単調載荷を行い,同様の手続きで単調載荷による限界曲線も近似的に求める．1 例として**図-3** に橋脚モデル No.a の結果を示す．繰り返しによる限界曲線と単調載荷による限界曲線を比較すると，前者が若干外側に位置しているが，履歴による影響は小さいことが確認できる．繰り返しによる限界曲線が外側に位置している理由としてはピーク点までは繰り返しによる荷重の低下がなく，材料のひずみ硬化による影響が表れるためと考えられる．設計では単調載荷によるものを用いれば合理的な限界曲線となる．

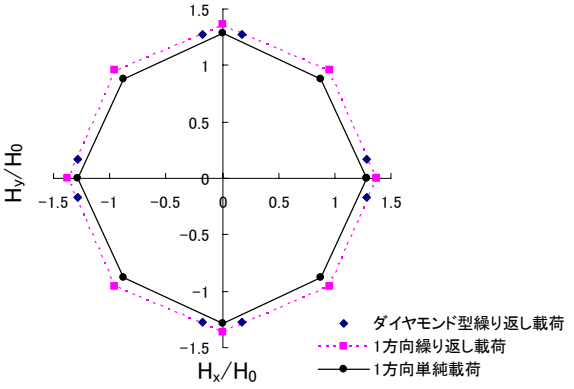

図-3. No. a モデルの各載荷形式による限界値

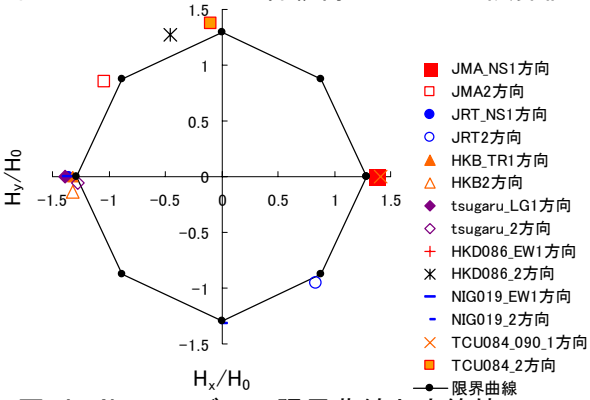

図-4. No. a モデルの限界曲線と応答値

3. 動的解析による限界曲線の妥当性の検証：表-1 に示す 3 種類の橋脚モデルに対して終局状態に到達する表-3 に示す各種 2 方向地震波の同時入力下でのシェル要素による複合非線形動的解析を実施する．また，これらの 2 方向地震波成分の 1 方向成分のみを入力した場合についても解析する．解析結果から橋脚の終局点として水平復元力合力 H_Σ がピーク値に到達した点として同定し，このときの水平復元力成分 $(H_{mx}/H_0, H_{my}/H_0)$ とすでに **2.** で求めた限界曲線との関係を検討することにより限界曲線の妥当性を検討する．図-4～6 には 3 種類の橋脚に対する各種地震波に対する終局点を $(H_x/H_0, H_y/H_0)$ 座標上に示し，単調載荷による限界曲線と比較している．これより，各橋脚の終局点は限界曲線の近傍にかつ外側に位置しており，限界曲線の妥当性を確認できる．なお，本結果は断面力による照査の有効性も示すものである．

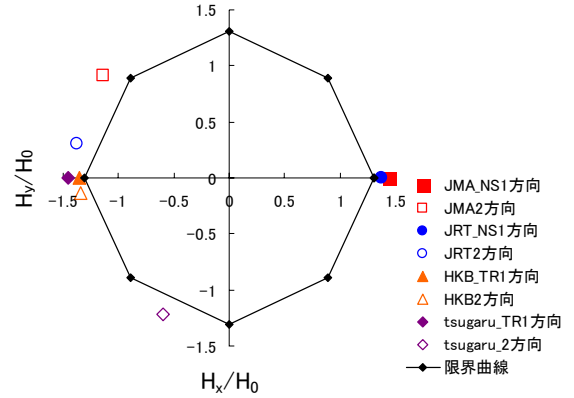

図-5. No. b モデルの限界曲線と応答値

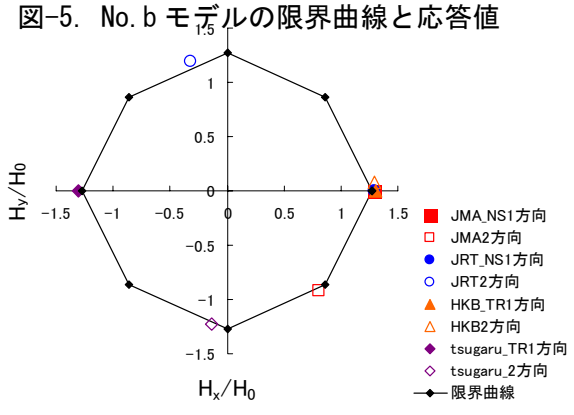

図-6. No. c モデルの限界曲線と応答値

4. まとめ:荷重パラメータが 1 の場合は最大荷重点と構造物が安定を失う極限点とは一致し終局点とする妥当性はある．一方，2 方向力の場合は合力のピーク点と極限点とは必ずしも一致しない．今後，安定論的に合力のピーク点を用いることについてはやや検討の余地がある．最後に強震記録を提供いただいた独立行政法人防災科学技術研究所 K-NET，国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室に謝意を表します．

参考文献：1）道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編，平成 14 年，2）宇佐美勉編著，日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，平成 18 年，3）後藤芳顯ら：2 方向繰り返し荷重を受ける矩形断面鋼製橋脚柱の履歴特性，土木学会論文集 A, Vol. 63, No. 1, 2007.