

水平 2 方向地震動入力下での鋼製橋脚の FEM 解析の擬似動の実験による検証

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○藤井 雄介 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 フェロー会員 後藤 芳顕 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 小畑 誠

1. はじめに: 水平 2 方向地震動入力下の鋼製橋脚の動特性を詳細に検討するためには精度のよい複合非線形動的解析を用いることが重要であるが, 解析法の妥当性は実験により検証することが必須である. 著者らは構成則に 3 曲面モデルを導入したシェル要素を用いた複合非線形解析を提示し, 精密な 3 次元載荷装置を用いた静的な 2 方向繰り返し載荷実験で材料定数のキャリブレーションを行うとともにその精度の検証を行ってきた¹⁾. ここでは, さらに, 3 次元載荷装置により水平 2 方向地震動入力下の擬似動の実験を実施することにより, 2 方向地震動下の鋼製橋脚の動的な終局挙動の解析精度について検討する.

2. 水平 2 方向地震動入力下の擬似動の実験: 2 方向地震入力下での擬似動の実験は精密な 3 次元載荷装置と位置計測装置を用い, 死荷重に相当する鉛直荷重を一定に保持し, 供試体頂部の 2 方向水平変位成分を制御して行う. 地震応答解析における運動方程式の数値積分には中央差分法を用いるが, 終局状態での軟化挙動による位置制御誤差の拡大を防止するアルゴリズムも組み込んでいる²⁾. 供試体は縮尺率を 1/8 とした図-1 に示す正方形補剛断面鋼製橋脚柱で, 表 1 のように縦リブの高さを 2 種類に変化させたものをおのの 2 体作成し, 1 方向ならびに 2 方向地震入力の実験に使用する. 入力地震波は JMA の NS 成分と EW 成分を採用し, それぞれ供試体断面主軸方向に入力する. 1 方向入力については, 最大加速度の大きい NS 成分による.

3. 解析概要: 解析には鋼材の繰り返し構成則である改良した 3 曲面モデルを USER SUBROUTINE 機能に組み込んだ ABAQUS³⁾を用いる. 解析モデルは図 1 に示すように基部から上へ 3 つの補剛パネルを 4 節点シェル要素(S4R), それより上は 3 次元チモシェンコはり要素(B31)を用い, 立体ヒンジ部では変形がないものとし, 剛性を非常に高くしている. また角部, リブとパネルの接続部分においては, 溶接ビードを考慮して板厚を厚くしている. シェル要素とはり要素の境界は MPC(多節点拘束機能)を用い, 平面保持がなされるように変位拘束を行い接合する. 要素分割は解の収束性を考え決定している. 鋼材は SM400A で素材の単調引張試験での 1 軸真応力-塑性ひずみ関係を図 2 に, 3 曲面モデルで用いる材料パラメータの値を表 2 に得られる応力-ひずみ関係を図 2 に示す. ここでは, ABAQUS による動的応答解析を行い擬似動の実験との比較を行うが, その前に, 擬似動の実験で用いる数値積分のルーチンの妥当性を検討するために, 復元力の評価に ABAQUS による静的解析を用いた擬似動の解析も実施した. この結果, 動的応答解析結果と擬似動の解析結果はほとんど一致し, 擬似動の実験結果は動的応答解析の妥当性を検証するベンチマークとなりうることを確認された.

キーワード 2 方向地震動, FEM 解析, 擬似動の実験

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 TEL052-732-211

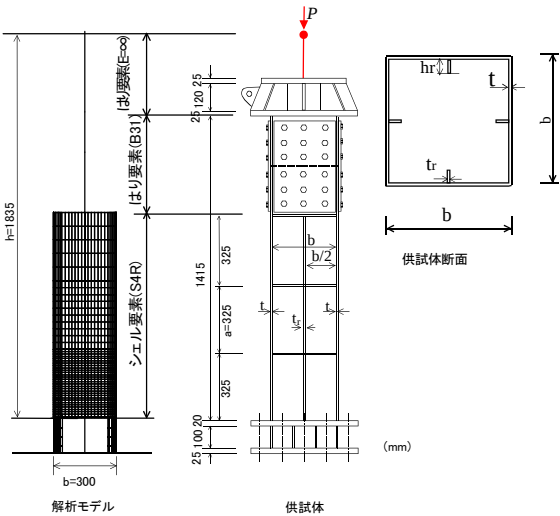


図 1. 供試体の形状及び寸法と解析モデル

表 1. 供試体諸元とパラメータ

橋脚	$h(\text{mm})$	R_R	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}_c$	γ/γ^*	R_s	$T(\text{Sec})$
RT6-30-P1	31	0.30	0.38	0.50	0.99	0.30	1.02
RT6-30-P2	30	0.30	0.38	0.50	0.99	0.30	1.02
RT6-40-P1	40	0.40	0.38	0.37	2.2	0.40	1.03
RT6-40-P2	40	0.40	0.38	0.37	2.3	0.40	1.03

表 2. 3 曲面モデルのパラメータ

E	ν	$\sigma_y(\text{MPa})$	$\sigma_u(\text{MPa})$	ϵ_{yp}^0	f_b/σ_y	β	ρ	κ	ξ
213	0.3	320.0	553.2	0.0219	0.65	100	2	3	1

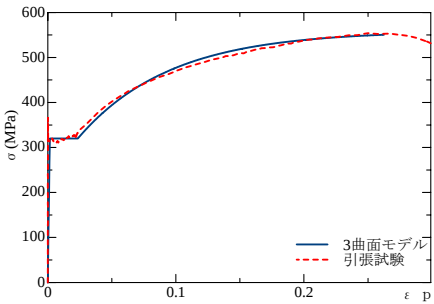


図 2. 供試体素材の 1 軸真応力-塑性対数ひずみ関係

4. 実験結果と解析結果の比較：

地震動入力成分方向に関する橋脚頂部の時刻歴応答変位より、初期の強制振動が支配的で応答変位が大きい範囲では1方向入力、2方向入力によらず、いずれの供試体に関しても実験値と解析値はよく一致していることを確認した。結果の一例として2方向入力の場合を図3に示す。この場合、x方向成分の解析値の精度がよりよい。同様の傾向は、図4の水平変位-水平復元力関係においても見られる。しかしながら、初期の強制振動の範囲を越えた自由振動が支配的な範囲では実験値は解析値と異なり急速に減衰し差が生じる。これは、初期の応答変位が大きい範囲では供試体の塑性化による履歴減衰の影響が大きく、アクチュエータのスイーベルや立体ヒンジなど载荷装置の摩擦による減衰の影響は小さいが、自由振動が支配的な範囲では供試体自体の減衰がほとんど無いため、载荷装置の摩擦の影響が相対的に大きくなり、これを無視している解析との差が生じることによると考えられる。以上から、3曲面モデルとシェル要素を用いた複合非線形動的解析によると、初期の強制振動が支配的で応答値が大きい重要な範囲では1方向入力、2方向入力によらず、いずれの供試体に関しても実験値と解析値はよく一致している。

初期の強制振動の範囲を越えた応答値が小さい領域では解析値は実験値と差が生じているが、これは擬似動的実験における、载荷装置の摩擦による影響が相対的に大きくなったもので、実際の橋脚の動的挙動はより解析値に近いものと考えられる。以上、ここで用いたシェル要素による解析を用いると十分な精度で2方向地震入力を受ける鋼製橋脚の動的な終局挙動を精度良く解析できるといえよう。

参考文献 1) 後藤芳顕ら：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, 2) 小畑誠ら：2方向擬似動的実験において制御誤差が精度に与える影響，構造工学論文集，Vol.52A, 2006

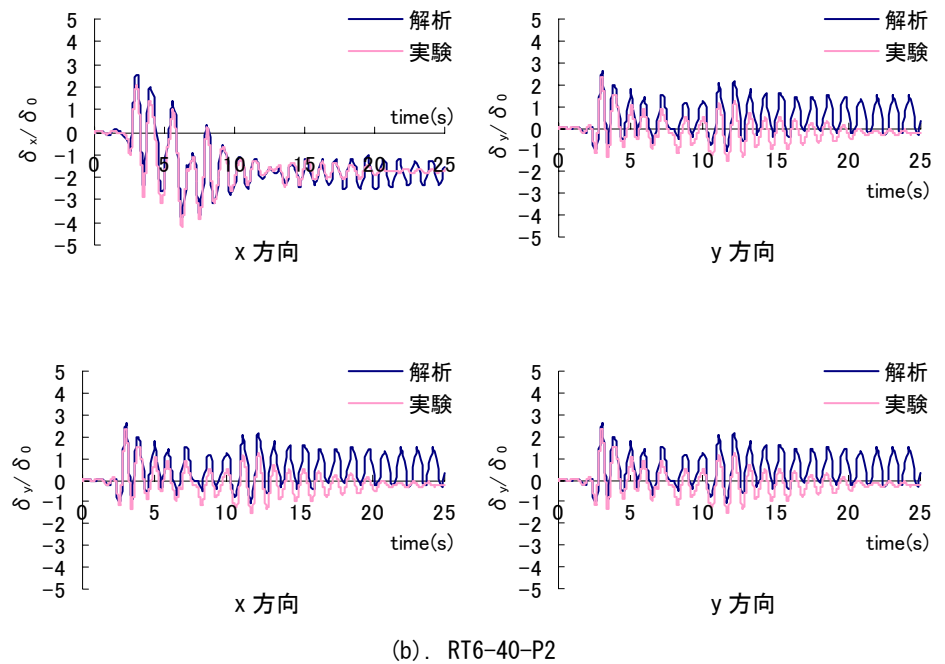


図3. 時刻歴応答変位の実験結果と解析結果の比較

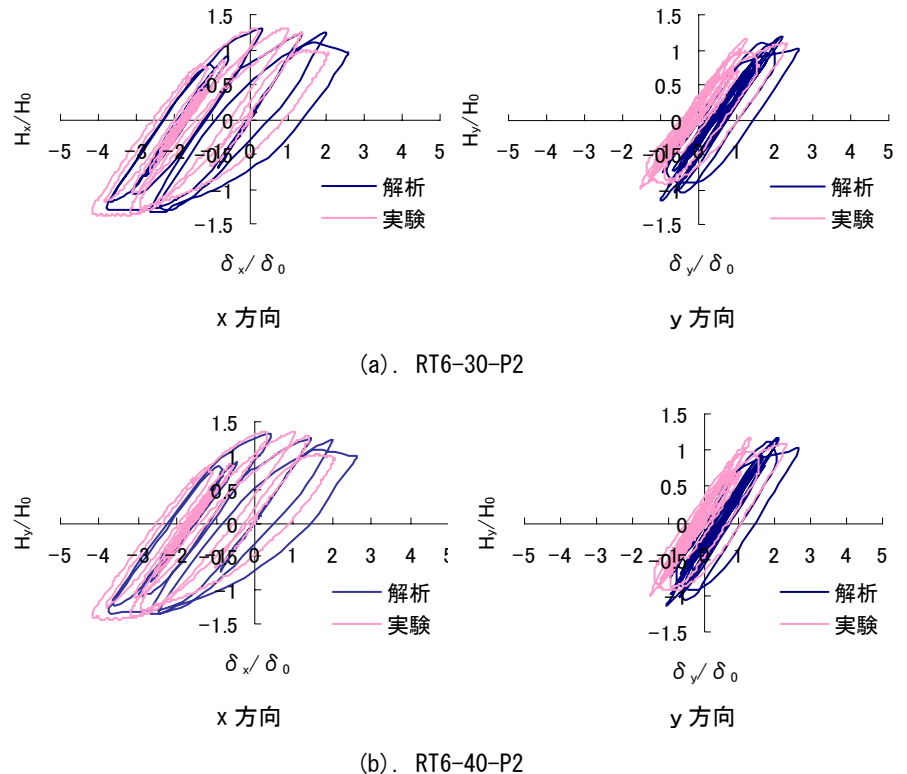


図4. 水平変位-水平復元力の実験結果と解析結果の比較