## 橋梁構造物の耐震性評価のための小型振動台の有効利用法に関する研究

(株)ニュージェック 正会員 中西 泰之 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀

## 1. 背景および目的

2002 年に改訂された道路橋示方書 1)では,構造物の動め柱部材はR付きで溶接線がある. 的応答解析が非常に重要な耐震性能照査手法の1つとし 化が必要となる.

一方,振動台実験では,前述のような減衰や材料特性に 関する仮定を設けずに,構造物の動的挙動を再現するこ とが可能である.しかし,振動台の積載能力などの制約 を受けるため,縮小模型を用いる必要がある.特に,小 型供試体を用いる場合には,実寸大からの縮小率が大き いことに起因する影響が懸念される.一方で,同条件の 供試体を用いた振動実験を複数回実施できるなど,運用 面,費用面でのメリットは無視できないと考えられる.

本研究では,小型3次元振動台を用いて,矩形断面橋 脚の合理的な耐震設計手法を確立するための動的応答特 性に関する基礎データを蓄積することを目的として,縮 小鋼管柱模型を用いた振動台実験を行っている.さらに, 小型振動台を用いる際に生じる特質を考察するために, 種々のパラメータに着目した動的弾塑性有限変位解析を 行っている.そして,両者の結果を比較することで,小 型振動台実験による結果を踏まえた小型振動台の有効利 用法について考察する。

2. 振動台実験

実験装置の概要を図-1 に示す.実験供試体上部には, 橋梁上部構造の重量を模した質量 10kN の鋼塊を設置し, 地震波入力実験を3体の供試体を用いて行った.

供試体は,橋脚(1辺2m、橋脚高さ Square1:10m, Square2:14m)を想定し, それを 1/20 に縮小したものであ り, 柱断面は震度法に従い設計水平震度 0.283 として設 計した.なお, Square3 は Square1 の板厚を増厚した供試 体である.表-1には,柱供試体の主なパラメータを示す.

できるだけ経済的な供試体製作のため, JIS 規格



図-1 実験装置の概要

キーワード:小型振動台,鋼製橋脚,弾塑性有限変位解析 連絡先 :〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL(FAX) 06-6605-2765

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 隆司 山口 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行

で規定されている構造用規格鋼管(JIS G 3466)を用いたた

入力地震波は,東神戸大橋付近で観測された地震波形 て位置づけられている.しかし,動的解析を行うための を調整して用いており,時間軸は相似則に基づき1/√20に, 解析モデルには,構造系の固有振動特性,減衰特性,お加速度軸は,各々の供試体をモデル化した事前解析にお よび部材の非線形履歴特性等を十分に考慮し,非線形挙いて,最大応答変位が降伏変位を3倍程度超過するよう 動を再現できる材料特性および減衰特性の適切なモデル に調整しており,Square1 では 2/5 倍,Square2 では 3/2, Square3 では 3/5 倍としている.

表-1 実験供試体の主なパラメータ

	供試体	L (mm)	t (mm)	f (Hz)	$\delta_y$ (mm)	$P/P_y$	λ	$R_R$
	Square1	523	1.6	3.594	4.570	0.105	0.635	0.605
	Square2	724	2.3	2.613	13.65	0.054	1.071	0.500
ĺ	Square3	523	2.3	3.168	7.160	0.054	0.774	0.557

ここに,L: 柱長,t: 板厚,f: 固有周波数, $\delta_v$ : 降伏変位,  $\lambda$ :細長比パラメータ,  $R_R$ :幅厚比パラメータ



表-2 解析内訳

解析モデル 3.

解 析 に は 弾 塑 性 有 限 変 位 解 析 プ ロ グ ラ ム EPASS/USSP<sup>2)</sup>を用いた. 解析モデルの内訳は,表-2に示 すように,柱部材,質点の分布,および溶接線のモデル 化の違いに着目し,計8個の解析モデルを設定した.

Pは柱部材を三角形板要素のみを用いて B は柱部を梁 -柱要素のみを用いてモデル化している.質点のモデル化 では,質量を重心位置に集中させた1質点系のモデルを M1, 平面分布させたモデルを M2, さらに立体分布させ たモデルを M3 とする.溶接線のモデル化は,溶接線を 考慮しないモデルを W1,供試体の溶接線を忠実に再現し たモデルをW2,供試体の倍の溶接量としたモデルをW3 とした.なお,柱下端の固定度の差異が解析結果に影響



を及ぼさないようにするため,柱基部は実験供試体の基 無により,最大応答以降の挙動が異なっている.また, 部を忠実にモデル化している.

み関係を入力している.

数および減衰定数に基づいた, Rayleigh 減衰を採用した.ことも確認した. 4. 弾塑性範囲における地震波入力実験の結果

図-2 には重りの重心位置における水平変位の時刻暦応 答を,図-3には Square2の基部におけるひずみの時刻暦 1) Euler-Bernoulliの梁-柱要素では,せん断変形およびせ

衣-3 実験旭と解析結果の差異									
モデル	最大応答 変位 る / る	時刻 t(sec)	残留 変位	固有 周波数					
		1(300)	$\delta_R(mm)$	$f_1(\text{Hz})$					
Square1	2.650	2.194	-0.59	2.530					
S1 P-M1-W2	4.439	2.215	15.55	2.660					
S1 P-M2-W2	-3.230	2.955	-7.05	2.380					
S1 P-M3-W2	-2.899	2.445	-6.73	2.530					
S1 B-M3-W1	-	-	-	2.580					
S1 P-M3-W1	-2.948	2.935	-7.48	2.527					
S1 P-M3-W3	-2.934	2.935	-7.34	2.530					
Square2	3.692	2.909	-1.35	1.920					
S2 P-M1-W2	-	-	-	2.250					
S2 P-M3-W2	-3.419	3.960	-33.26	1.920					
S2 B-M3-W1	-	1	-	2.080					
S2 P-M3-W1	-4.372	3.980	-45.90	1.927					
S2 P-M3-W3	-3.968	3.980	-38.62	1.916					
Square3	2.834	2.107	0.62	2.879					
S3 P-M1-W2	2.407	2.120	-5.53	3.055					
S3 P-M2-W2	2.539	2.120	-4.51	3.055					
S3 P-M3-W2	2.501	2.120	-4.94	3.049					
S3 B-M3-W1	-	-	-	3.205					
S3 P-M3-W1	2.297	2.120	-5.68	3.030					
S3 P-M3-W3	2.296	2.120	-5.68	3.030					

いた実験供試体では,加振を受けるフランジにある溶接 偏差の問題等も解決可能であると考える. 線近傍でかなり大きなひずみを計測するものの, フラン 参考文献 ジに座屈等の変形がほとんど発生しなかったためである .1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 一方,いずれの解析モデルも弾性内ではほぼ同様な応答 を示していること,および解析結果にはいずれも残留変2) T. Kitada, M. Matsumura, Y. R. An and T. Yamano: Advanced 位が計測されていることが確認できる.

次に,モデル化の差異による影響に着目する.まず柱 部材のモデル化が梁 - 柱要素か三角形板要素かが異なる 解析モデルを比較すると,フランジの局部座屈変形の有

質点の分布が1 質点系か実際に近い多質点分布形かが異 材料構成則は,平坦部の引張試験結果に一致するよう なる解析モデルでは,最大応答変位でかなりの差違が認 マルチリニアによりモデル化した応力-ひずみ関係を入められ,最大応答以降の挙動が全く異なっている.特に 力した.ただし,コーナー部および溶接線上は,その地 M1 は最大応答変位および残留変形ともにかなり大きく 点における降伏点を採用した完全弾塑性型の応力-ひず 算定していると考えられる.さらに,溶接線のモデル化 に着目すると,溶接線をフランジ上に有する S1 および 減衰効果としては自由振動実験より得られた固有周波 S2 においては,塑性後の挙動に大きく差異が認められる

> 5. 結論

本研究より得られた結果を以下にまとめる.

- 応答を示す.表-3には,実験値と解析値の比較を示す.ん断遅れの現象が考慮できないため,初期剛性および 固有周波数を大きく算定する.また,局部座屈の影響 も考慮できないため,特に弾塑性領域における応答変 位量を大きく算定する傾向があることがわかった.
  - 2) 上部構造質量のモデル化が 固有周波数および応答変 位量に大きく影響を与え,特に,1質点モデルと立体的 に質点を分布させたモデルとの差異は大きいことを明 らかにした.
  - 3) 溶接線の有無が 応答残留変位に影響を与える また, 溶接線をウェブ上に設けることでその影響を緩和でき る.

以上より、小型振動台においても、溶接および減衰特 性のスケール効果や,制御誤差を含めても,質点分布に よる影響をはじめとする構造的な検討は可能であり,本 研究のように安価な構造形式を使用しても構造形式の差 異における挙動の変化の傾向をつかむ事は可能である. 新しい構造形式の検討や振動特性の推定にあたり,比較 図-2 に示すように,実験結果は,最大応答変位で2.6 的安価で,容易に実施可能な小型振動台を使用すること ~3.7&、を示したが,残留変位はほとんど生じていないこ で,動的解析のみでは確認できないような現象も容易に とが確認できる.これは,図-3に示したように,今回用 把握可能であり,大型振動台実験では解決困難であり,

- . 耐震設計編 , 2002.3.

Static/Dynamic, Elasto-Plastic and Finite Displacement Analysis of Steel and Composite Spatial Structures, International symposium on advances in steel and composite structures 2005, pp.58-81, Hong Kong, 2005. 12.