

振り型耐震性能観測装置による自然地震応答観測 及び伝達特性の同定

Seismic Monitoring and System Identification of Steel Column Bases Installed in Pendulum-type Observatory

崔 宰 赫*・大 井 謙 一**・川 口 健 一***

Jae-hyounk CHOI, Kenichi OHI and Ken'ichi KAWAGUCHI

1. はじめに

2001年12月から振り型観測装置に自動地震観測システムを装着して、自然地震応答観測を行った。本稿では、その観測結果を用いてその振動系の伝達特性を同定し、その応答波形を再現することに関して報告する。

2. 測定計画の概要

振り型観測装置には以下のように自然地震に対する実地震応答量を計測している。

- (1) 基礎部分、観測装置本体2ヶ所、錘2ヶ所の水平2方向の絶対加速度 (図1)
- (2) 錘の基礎に対する相対変位
- (3) 試験体柱の曲げひずみ

基礎部分と観測装置フレーム部上の中央に設置されている加速度計がそれぞれ 5 cm/sec^2 、 15 cm/sec^2 の加速度 (NS, EW 成分のうちのいずれか) を感知すると観測システムが自動的に作動し、各測定センサーがデータ収録を開始するようになっている。収録における時間間隔は 0.005 sec であり、デジタル量として記録されている。

3. 弾性地震応答の観測例

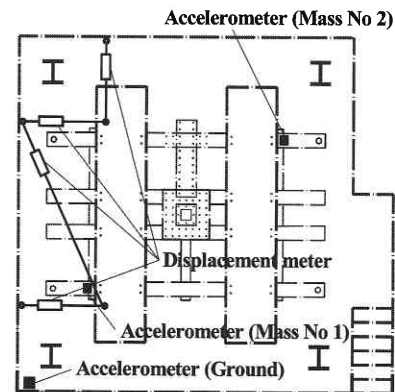
観測を始めて以来2年間、大凡4回以上の自然地震が成功里に観測された。表1にはその中、最も大きい振幅を示している震央位置が観測地から北に約100 km 程度の距離である日立沖近傍で起きた2002年12月の地震諸元をまとめている。

震央の位置を図2に示す。また、図3に基礎部分の加速度応答と錘の上で観測された加速度応答を示し、図4に錘の変位応答を示す。図5に示すように観測装置と錘の中に設置されている試験体は塑性化せずほぼ弾性域に留まっていた。

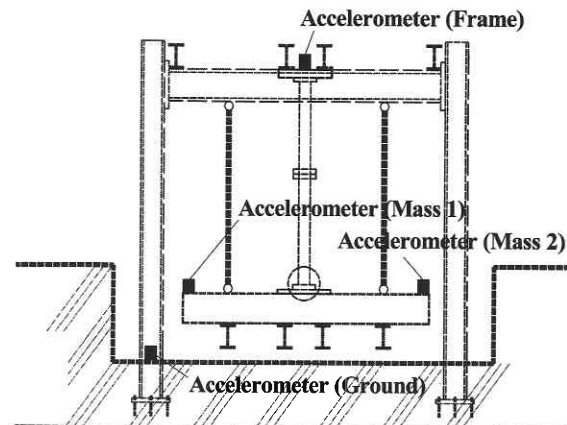
*神戸大学 (元東京大学大学院生)

**東京大学生産技術研究所 研究員 (神戸大学)

***東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門



(a) 平面図



(b) 立面図

図1 測定計画の概要

表1 地震諸元及び最大加速度応答値

観測日時	2002年2月12日22時44分	
震央位置	北緯 36.6 東経 141.0	
マグニチュード	M5.5	
深さ	40km	
模型の最大加速度 速度 応答値 (cm/sec^2)	基礎 X	10
	錘 X	8.1
	基礎 Y	7.5
	錘 Y	15

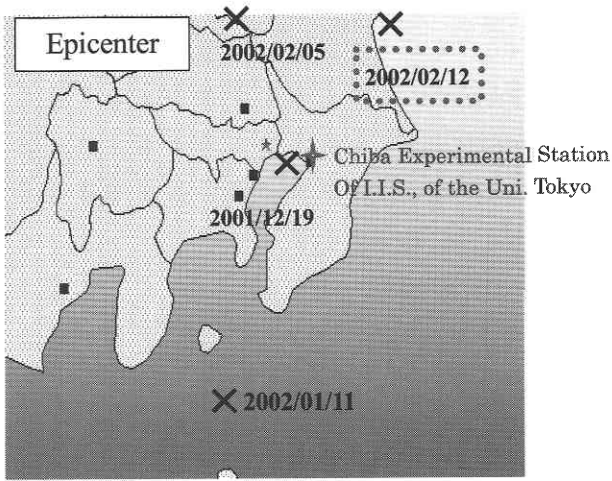


図2 震央の位置

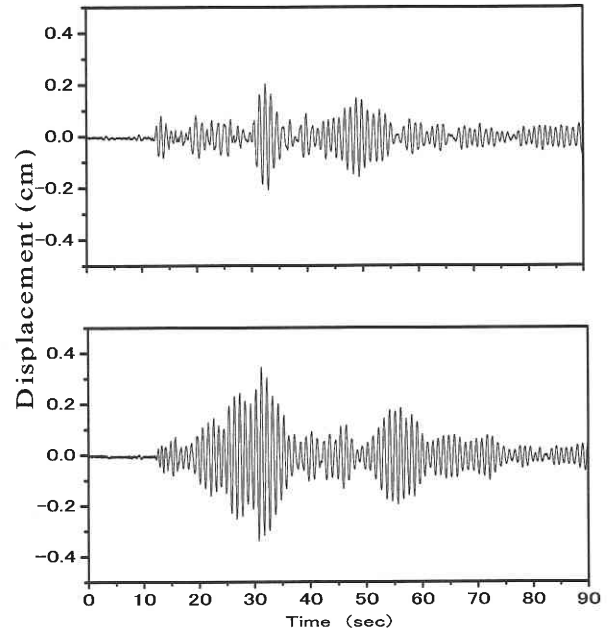


図4 錘の変位応答(上: X軸, 下: Y軸)

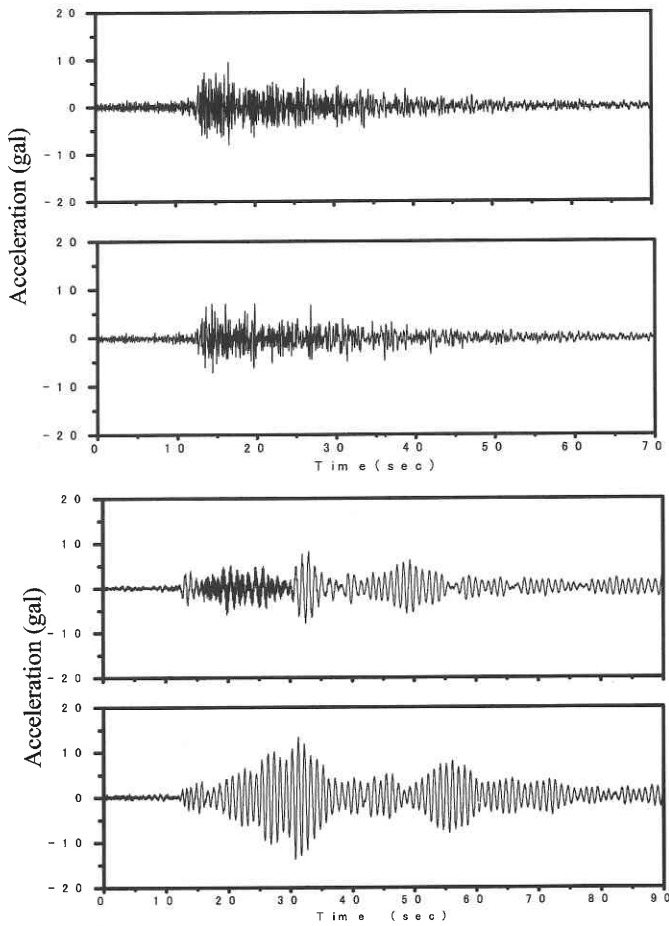


図3 観測システムの加速度応答

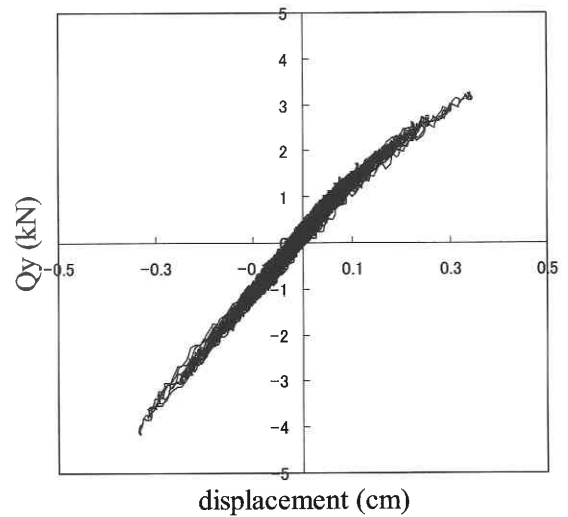


図5 錘の荷重—変形関係 (Y軸)

4. 伝達特性の同定

入力を基礎の加速度，出力を錘の加速度としたときの入出力関係に着目し，その伝達特性を以下の手順で同定した。まず，入力波・出力波をFFTにより有限フーリエ変換し，入力波のエネルギースペクトル（フーリエ自乗振幅スペクトル）および入出力波のクロススペクトルを算定した後，両者の商をとり，着目する入出力関係の伝達関数と見なした。

図6には，観測された地震波に対して同定された入出力のフーリエ振幅スペクトルと入出力関係のシステムゲイン（伝達関数の振幅， $|H(\omega)|, Y(\omega) = H(\omega)X(\omega)$ ）を示している。

$$|H(\omega)| = \frac{|S_{xy}(\omega)|}{S_{xx}(\omega)} \dots\dots\dots (1)$$

ここで， $X(\omega)$ ：入力の有限フーリエ変換， $Y(\omega)$ ：出力の有限フーリエ変換， $X^*(\omega)$ ： $X(\omega)$ の共役複素数， S_{xx} ：エネルギースペクトル ($S_{xx} = X^*(\omega)X(\omega)$)， S_{xy} ：クロススペクトル ($S_{xy} = X^*(\omega)Y(\omega)$)

本研究では，伝達関数のピーク周辺の形状を維持するために平滑化は行わず，データ処理区間を0.005秒刻みでずらして100個生成し，得られたゲインを平均した。

5. 同定値の検証

図8に先に同定したシステムゲインとパラメータを調整した1自由度粘性減衰振動系の絶対加速度に関する理論システムゲインとを比較している。理論システムゲインは式(3)に示す。

$$\ddot{x} + 2h\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = -\ddot{y}_0 \dots\dots\dots (2)$$

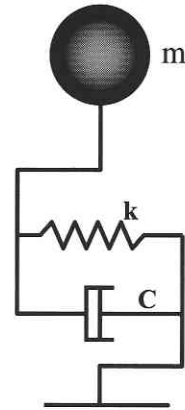


図7 SDOFモデル

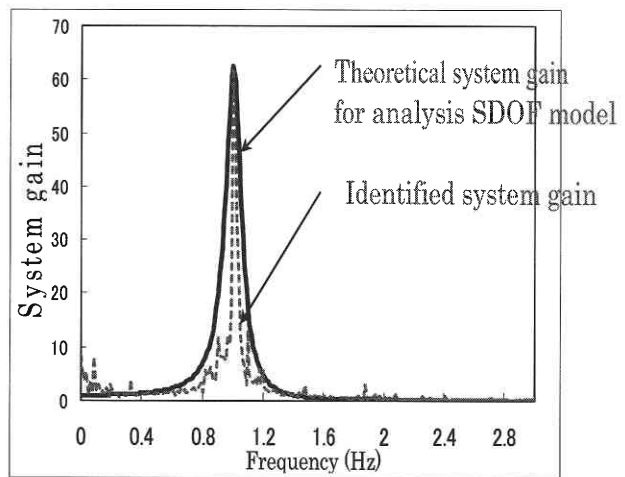


図8 理論システムゲインとの比較

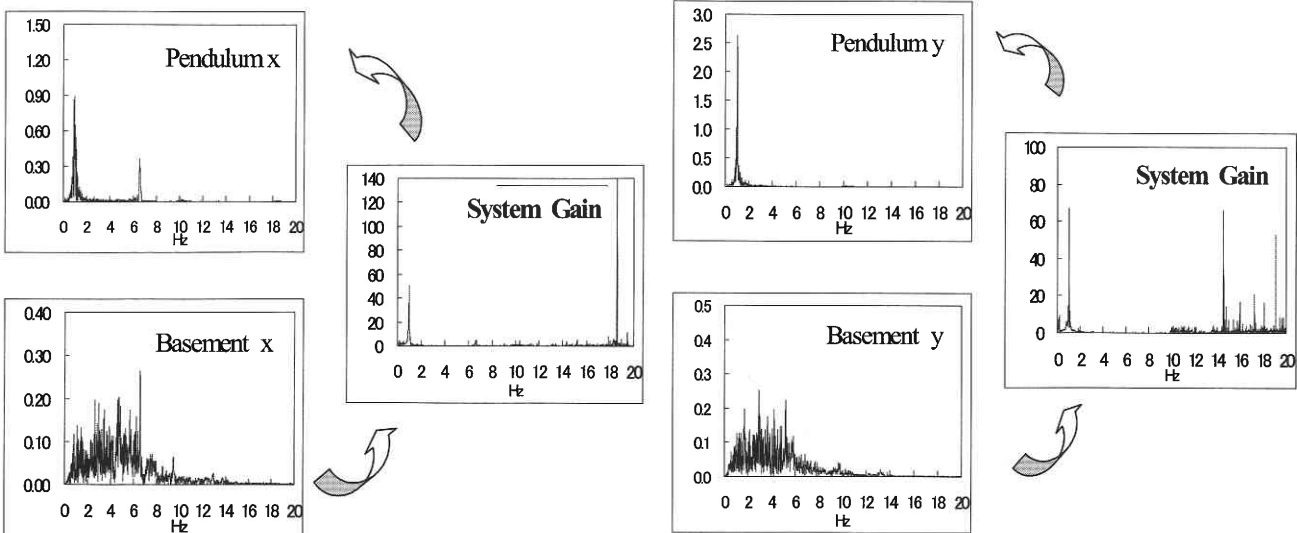


図6 システムゲインの同定

研 究 速 報

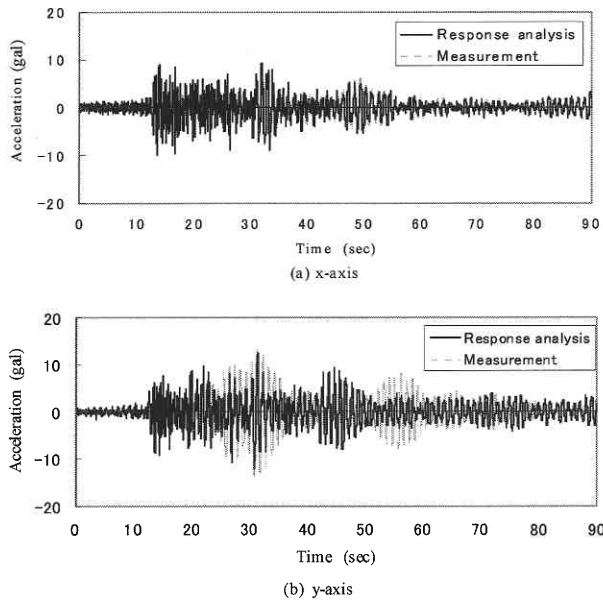


図9 錘の加速度応答の時刻歴

ここで、 h = 減衰定数、 ω_0 = 固有周期

$$|System\ gain| = \frac{\sqrt{\omega_0^4 + 4h^2\omega_0^2\omega^2}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega_0^2\omega^2}} \dots\dots\dots (3)$$

また、このパラメータを有する振動モデルによる地震応答解析を時刻領域で行い、観測結果の時刻歴と比較を行った。図9に示しているとおおり、同定したパラメータを有する振動モデルの加速度応答は観測された錘の加速度応答をよく再現している。

6. ま と め

振子型観測装置に自動地震観測システムを組込して、鉄

骨柱脚部の自然地震応答観測を行った。観測された加速度データをスペクトル解析し、地盤・錘の間の伝達特性を同定した。また、それに適合する簡単な振動モデルによって、応答波形が再現できることが分かった。

謝 辞

本研究の一部は、平成 15-16 年度科学研究費補助金基盤研究 B(2)「接合部変形・柱脚変形を伴う鉄骨架構の地震応答挙動」(N 0.15360289) の助成を受けた。

(2004 年 9 月 7 日受理)

参 考 文 献

- 1) 大井謙一, 嶋脇與助, 大塚日出夫:建物要素の耐震性能観測装置:スチール・スイング, 生産研究, 第53巻, 第7・8号, pp.343-346,2001.7
- 2) 建物要素の耐震性能観測装置:スチール・スイング, 生研リーフレット, No.320,2001.12
- 3) K. Ohi, H. Tanaka, K Takanashi, A Simple Method to Estimate the Statistical Parameters of Energy Input to Structures during Earthquakes, Journal of Struct. Constr. Engng, AIJ, No. 347, Jan., 1985, pp. 47-55
- 4) A. Nishida, K. Ohi, H. Kondo, Y. Shimawaki, X. G. Lin, T. Miyama, S. Yamashita, Vibration tests on a 3-story Steel Building Model with Hysteresis Dampers, Bull. ERS, No. 29, 1996
- 5) Kenichi Ohi, Koichi Takanashi, Hysteresis Loops Observed in earthquake response tests on Steel Frame Models, Bull. ERS, No. 20, 1987
- 6) 崔 宰赫, 大井謙一, 嶋脇與助, 大塚日出夫, 建物要素の耐震性能観測装置による露出型柱脚の振動性状に関する研究, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2002, 3
- 7) 大井謙一ほか, 鉄骨造弱小構造物模型の地震応答観測, 構造工学論文集, Vol. 33 B (1987年3月)
- 8) M.W. Trethewey, L.L Koss, Experimental Evaluation of Force Frequency Shifting for Low-frequency Vibration Excitation, Mechanical Systems and Signal Processing, ELSEVIER, 2003