

地中配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するEーディフェンス実験  
(首都圏レジリエンスプロジェクト) その6. NCREE 振動台を用いた基礎すべり実験 (2018.9) の概要

正会員○ 鍾育霖<sup>\*1</sup>, 同 長江拓也<sup>\*2</sup>, 同 陳威中<sup>\*3</sup>, 同 西峻汰<sup>\*4</sup>, 同 高橋武宏<sup>\*5</sup>

基礎すべり, 摩擦係数, 鋳鉄, モルタル

1. はじめに

2018年9月に, 台湾台南市, 国立成功大学敷地内に位置する國家地震工程研究中心(NCREE)の振動台施設 (2017年竣工, Fig.1) を利用し, 本副題内容を実施した。



Fig. 1 台南 NCREE 振動台実験施設 2017 年竣工

2. 実験概要

試験体の諸元を Table 1 に示す。試験体の寸法と前景を Fig. 2 に示す。鋼製骨組は2層の1 x 1 スパンであり, 柱梁は全て剛接合である。1F 床位置梁下面の柱下4点に鋳鉄支承を固定し, 鋳鉄支承下に, モルタルで製作した平面1300 mm x 1300 mm の基部4基に設置した。鋳鉄支承は, 基部上に置いただけの条件である。1F, 2F, RF 床にはコンクリート錘が固定してあり, 総重量は34.5 ton である。ホワイトノイズ加振において1F床とRF床の伝達関数を調べたところ, 1次モードの固有周期は0.25秒であった。

基部に用いたモルタルの強度は材料試験の結果により 43.2 N/mm<sup>2</sup> であった。鋳鉄支承 (図中 iron) には FC250 を用いた。炭素含有量は 3.01 % である。接触面積は 130 mm x 130 mm で, 4点支持における長期の平均面圧は, 5.2 MPa である。過去の実験<sup>1)</sup>に基づけば, 鋳鉄使用と基部モルタル間の摩擦係数はおおむね, 0.20 程度と予測された。加振

順序を Table 2 に示す。入力地震動としては, 1995 年の兵庫県南部地震で観測された JMA-Kobe 波, 1999 年の台湾集集地震で観測された TCU052 波を用いた。水平2方向と鉛直方向の3方向同時加振である。振動台上で観測した加速度波形と減衰定数5%に対する加速度応答スペクトルを Fig. 3 に示す。0.25秒から0.5秒のスペクトル振幅を見ると, JMA-Kobe 波は1gから3g弱, TCU052 波は0.5gから1g弱となる。

3. 実験結果

鋳鉄支承と基部モルタル間にすべりが生じた JMA-Kobe 波と TCU052 波 50%加振, JMA-Kobe 波 100%加振について, すべり変位オービットを Fig. 4 に示す。4点の支承それぞれの記録を実線黒色で示しており, 灰色は4点平均を示している。JMA-Kobe 波 100%加振において, それまでの約10倍の値を生じた。いずれの加振においても, すべりによる顕著なねじれ回転は認められない。Fig. 5 の縦軸は, 床加速度記録を元に求めた支承下面位置における水平慣性力を全重量で序した係数である。横軸は平均すべり変位である。すべり時の係数を平均摩擦係数とすると, 値は0.2を超え0.4に達している。JMA-Kobe 波 100%加振では変動が大きく, 0.6を複数回, 超えた。

Table 1 Specification of test specimen

Member	Spec.	Material
Column	Box 300×9	STKR400
Girder	H340×250×9×14	SN400B
Mass	5 (t)	RC
1 <sup>st</sup> floor weight	11.17	-
2 <sup>nd</sup> floor weight	12.16	-
Roof floor weight	11.17	-
Total weight	34.5	-

Table 2 Testing protocol

Input	Intensity	Specimen
JMA Kobe	25%	Free-standing
TCU052	50%	
JMA Kobe	50%	
TCU 052	100%	
JMA Kobe	100%	
JMA Kobe	100%	

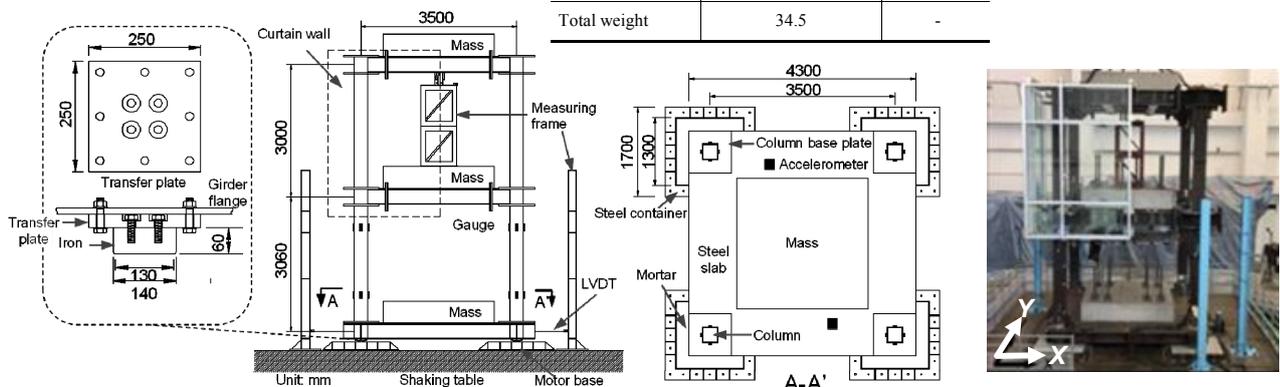


Fig. 2 Dimension of test specimen and facade of test setup

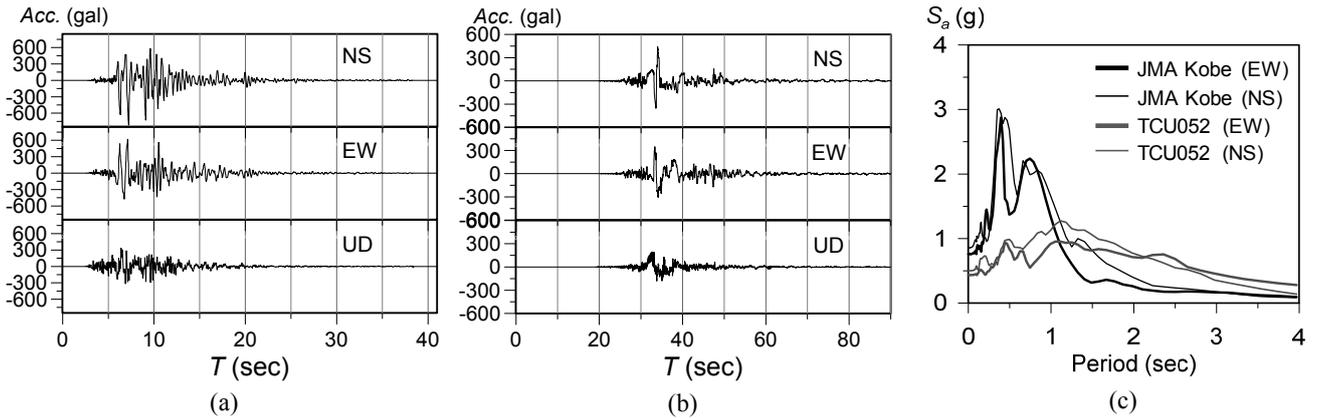


Fig. 3 Input waves: (a) time history of JMA Kobe; (b) time history of TCU052; (c) response spectra

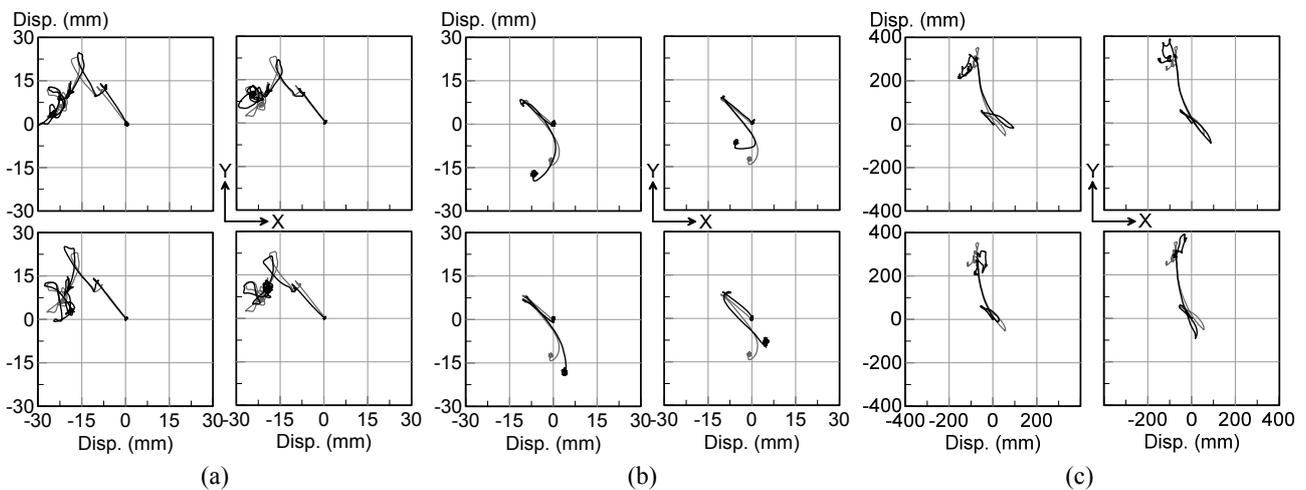


Fig. 4 Movement of the test specimen: (a) JMA Kobe 50 %; (b) TCU052 100 %; (c) JMA Kobe 100 %

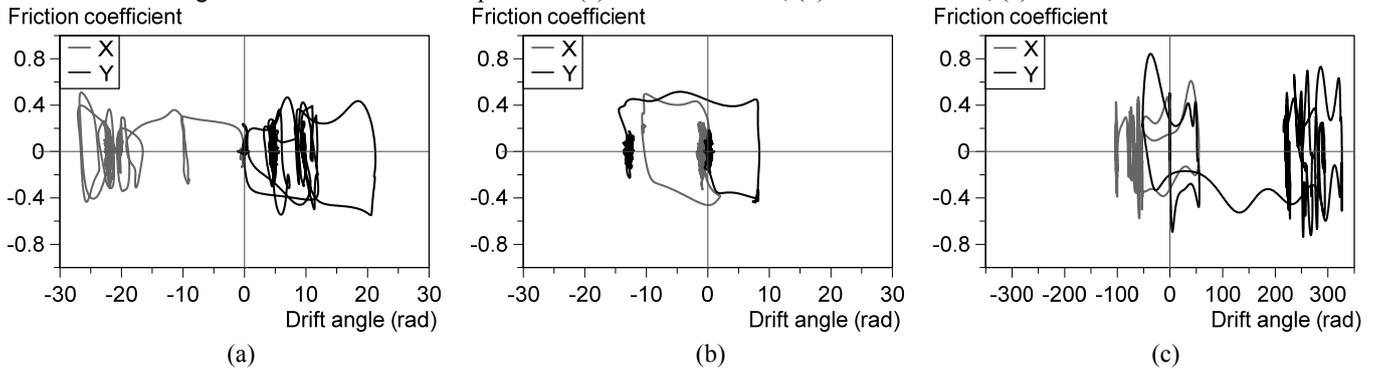


Fig. 5 Friction coefficient: (a) JMA Kobe 50 %; (b) TCU052 100 %; (c) JMA Kobe 100 %

#### 4. まとめ

振動台実験により、大型鋼製 2 層骨組が基部位置で水平に滑る状況を生じさせ、摩擦係数の傾向を確認した。

謝辞 台湾国立成功大学 姚昭智教授に、多大なご協力をいただきました。

参考文献 1) Enokida, R., Nagae, T. (2017), "Seismic Damage Reduction of a Structural System based on Nontraditional Sliding Interfaces with Graphite Lubrication", Journal of Earthquake Engineering, 22(4), 666-686.

\*1 台湾国立成功大学 助教・博士(工学)

\*1 NCKU, Dr. Eng.

\*2 名古屋大学 減災連携研究センター 准教授・博士(工学)

\*2 Nagoya University, Dr. Eng.

\*3 台湾国立成功大学 研究員・博士(工学)

\*3 NCKU, Dr. Eng.

(名古屋大学 減災連携研究センター 元研究員)

\*4 清水建設 修士(工学) 元名古屋大学大学院生

\*4 Shimizu, M. Eng.

\*5 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 主幹研究員・博士(工学)

\*5 NIED, Dr. Eng.

地中配管設備等の非構造部材を含む 3 階建て住宅の機能を検証する E-ディフェンス実験  
 (首都圏レジリエンスプロジェクト) その 7. NCREE 振動台を用いた基礎すべり実験 (2018.9) の排水管検証

正会員〇 西 峻汰\*1, 同 高橋 武宏\*2, 同 長江 拓也\*3, 同 陳 威中\*4, 同 鍾 育霖\*5

基礎すべり, PVC 管, 破壊メカニズム

1. はじめに

硬質ポリ塩化ビニル管 PVC 管の内部は摩擦抵抗が非常に少なく, 水はもちろん汚れがつきにくいといった特徴がある。PVC 排水管は, 一般的な木造住宅で用いられている。薄肉のため圧力のかからない条件で使用される。

2. 実験概要

前報の台湾 NCREE 振動台を用いた基礎すべり実験には, 上記 PVC 管を, 住宅基礎に繋がる排水管の形状を模して, 組み込んだ。試験体における排水管の位置関係を図 1 に示す (その 1-Fig. 2 写真の右下に相当)。住宅基礎脇に沿って埋設される排水主管に繋がられる排水枝管として, 基礎と主管の水平・鉛直方向の位置関係を実際と合わせることで, 一般的な形状を表現した。表 1 に諸元を示す。PVC 管と PVC エルボ継手を組み合わせて, 排水枝管とし上端部を 1 階床スラブに, 下端部を振動台上に固定した。下から直列に Pipe 1-Elbow 1-Pipe 2-Elbow 2-Pipe 3 と連結される。図 2 に実験直前のセットアップ状況を示す。通常施工方法に従い, 連結部のはめ込み部分を専用の接着剤で強固に固着させた。上端部については, 基礎上に鋼製アングルを溶接し, そこに専用の PVC 管接合部材を用

いてボルト接合した。下端部については, 主管との接合部を再現しており, 振動台上にボルト接合した鋼製アングルに, 鉛直の汚水マスと主管の胴体を鉄板, 金物で水平上下 3 方向に押さえ込み, 十分固定した。上下端部は実際には, 基礎挿入部のずれ移動や, 地盤内の主管の移動により, 本条件よりもゆるい傾向にあるが, 分析時に整理しやすい実験条件を選択した。計測データとしては, 基礎のすべり変位と, 排水管歪を用いる。

3. 実験結果

図 3 に JMA Kobe 波 100%加振の基礎すべり変位の時刻歴波形を示す。その 1-Fig. 4 のオービットに示すように, 先の JMA Kobe 波 50%加振と TCU052 波 100%加振では, 同程度のすべり振幅を示した。これら一連の加振後の, JMA Kobe 波 100%加振の直前には, X 方向に約 20 mm, Y 方向に約 5 mm の残留すべり変位が存在していた。図 3 の実験データは, その位置をゼロ点としている。JMA Kobe 波 100%加振時には, 最大すべり変位が 200 mm を超えたが, その手前の時刻約 12 秒で, 上部の Elbow 2 の中央部分から亀裂が一気に進展し, 完全破断に至った。同

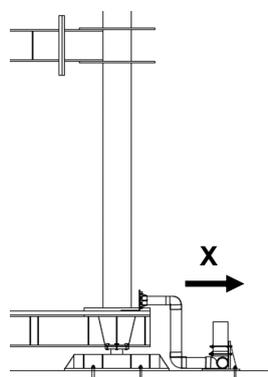


図 1 排水管取り付け位置

表 1 諸元

直管寸法					エルボ寸法			
	呼び径 (mm)	外径 D(mm)	VU		Z1 (mm)	Z2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)
			厚さ t (mm)	質量 W (kg/m)				
Pipe3	75	89	2.7	1.159				
Pipe2	100	114	3.1	1.737				
Pipe1	100	114	3.1	1.737				
Elbow2	75	89	2.7	1.159	32	47	72	72
Elbow1	100	114	3.1	1.737	62		112	

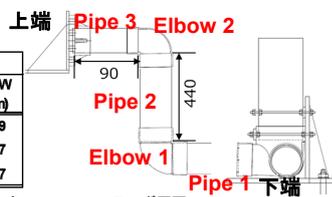


図 2 排水管セットアップ

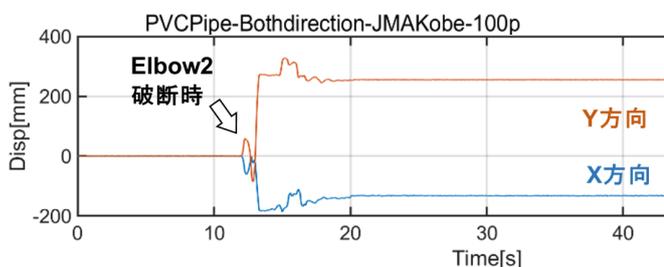


図 3 JMA 神戸波 100%加振時のすべり変位時刻歴波形



図 4 ビデオ画像 (時刻約 12 秒)

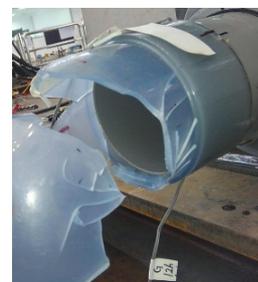


図 5 破断部のつけ合せ

E-Defense test on functionality of three-story residential houses including underground pipe lines (Metropolitan resilience PJ)  
 Part.6 Drain pipe of foundation sliding test utilizing South NCREE lab

Ryota NISHI, Takehiro TAKAHASHI, Takuya NAGAE,  
 James CHEN, Yu-Lin CHUNG

時刻の破断箇所の観察 (図 4) では、X 方向の引張りの卓越が認められる。図 5 に破断部をつけ合せた様子を示す。Elbow 2 は上端部側の径が 75 mm, 下端部側の径が 100 mm であり、断面の切り替わるラインで破断が生じていた。

図 6 に歪ゲージの貼付位置を示す。JMA Kobe 波 100% 加振時における最大歪分布を図 7 に示す。上部 Elbow 2, 下部 Elbow 1 に最大値が集中している。以降、破断が生じた Elbow 2 に着目する。関連の時刻歴波形を図 8 示す。エルボ継手が破断した前後を含む歪の時刻歴波形である。赤でマークの 12.12 秒~12.14 秒において、Elbow 2 の歪が急増していることが確認できる。その際のすべり変位は、X 方向に約-10 mm, Y 方向に約 20 mm を示している。先に述べた、加振開始時の残留すべり変位を加算すると、最初のセット位置からは、X 方向に約-30 mm, Y 方向に約 15 mm の時点である。排水管の上端部と下端部が X 方向に離れる変形の卓越は、ビデオでの破断直後の様子と整合する。このとき、引張力に加えて、(相対的に大きな) 曲げモーメントが生じるエルボ継手に歪が集中したと理解できる。また、Elbow 2 は断面が上端部取り付け側で一回り小さくなっており (上端部側径 75mm, 下端部側径 100 mm), Elbow 2 の断面性能が相対的に低い部位で破断が生じたと考えられる。

Elbow 2 において歪の最大値は、約 8000  $\mu$  に達している。表 2 に PVC 管の材料物性値を示す<sup>1)</sup>。表中、引張弾性率 4100 N/mm<sup>2</sup> を選択して乗じると、歪 8000  $\mu$  時の引張応力は 32.8 N/mm<sup>2</sup> と計算できる。これは、表に示される引張強さ 41-52 N/mm<sup>2</sup> と近い値である。歪ゲージ貼付位置周囲において、引張強さに相当する応力が働いたといえる。そこから亀裂が生じ、破断に至ったと推察される。一方、破断時伸びが 40 %以上という表中の公称評価について、本実験では図 5 に示すように破断面にそのような延性的な痕跡は見られず、脆性的な破壊が生じている。

4. まとめ

本実験は排水管の上下端部の固定度が高く、基礎のすべり変位を排水管の変形ではほぼ全て吸収する条件である。このとき、歪の急増はエルボ継手の中央付近から生じた。排水管には X 方向に約-30 mm, Y 方向に約 15 mm 変位したときに最大歪 8000  $\mu$  が生じ、破断した。エルボ継手には、引張力と曲げモーメントが加わり、引張強さ程度の応力が生じていた。破断時伸び公称値の評価とは異なり、破壊性状としては脆性的となる性質がうかがえた。

参考文献 1) 「プラスチック読本」(プラスチック・エージ発行)

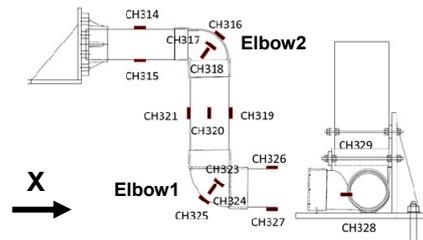


図 6 歪計測位置

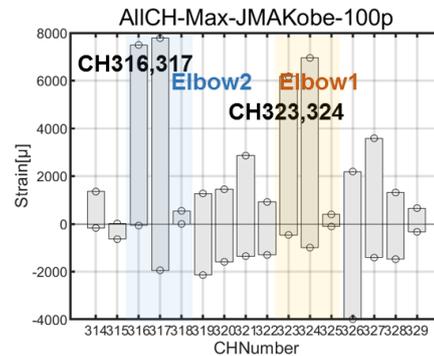


図 7 JMA Kobe 波加振時の最大歪分布

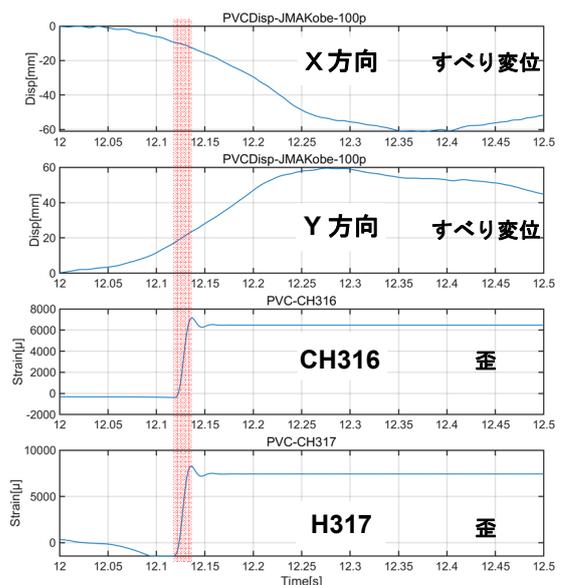


図 8 すべり変位と歪の関係 (JMA Kobe 波 100%)

表 2 PVC 管の力学条件の整理<sup>1)</sup>

比重	-	1.3-1.58
引張強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	41-52
破断時伸び	%	40-80
引張弾性率	(N/mm <sup>2</sup> )	2400-4100
圧縮強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	55-89

\*1 清水建設 修士(工学) 元名古屋大学大学院生

\*2 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 主幹研究員・博士(工学)

\*3 名古屋大学 減災連携研究センター 准教授・博士(工学)

\*4 台湾国立成功大学 研究員・博士(工学)  
(名古屋大学 減災連携研究センター 元研究員)

\*5 台湾国立成功大学 助教・博士(工学)

\*1 Shimizu, M. Eng.

\*2 NIED, Dr. Eng.

\*3 Nagoya University, Dr. Eng.

\*4 NCKU, Dr. Eng.

\*5 NCKU, Dr. Eng.