## 10 層 RC 造骨組内のスプリンクラー配管設備の耐震性を検証するE-ディフェンス実験

その 1. スプリンクラー配管の試験体と自由振動実験結果

正会員○ 加藤 和生\*1、同 鳥谷尾 駿祐\*2、同 長江 拓也\*3 同 姜 在道\*4、同 梶原 浩一\*5、同 胡 哲新\*6

スプリンクラー、横引き配管、耐震措置 振動台実験、施工条件、自由振動試験

#### 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災において、天井材など の建築非構造部材や天吊り設備機器、配管の崩落といっ た建物として重度の被害事例が多数報告された。調査で は、東北地方太平洋沖地震で被災地における大規模ビル の 26.3%でスプリンクラーが破損、誤作動を起こした。建 築設備の中でもスプリンクラー設備の破損は、初期消火 機能の損失はもとより、漏水により二次被害へ拡大する 可能性があり、極めて重大な問題である。

2018 年 5 月にスプリンクラー設備等の耐震措置に関す るガイドラインが消防庁より策定された。それ以前は耐 震措置に関する明確な方策が定まっておらず、枝管まで 含めて十分な地震対策が施されてはいなかった。これが 上記、報告にある破損、誤作動の理由となっている。

#### 2. 指針類

建築設備耐震設計施工指針 2014 (一般財団法人 建築 センター)現行の消防用設備は許容応力度設計により各 種の構造規定が体系化されている。配管については、鉛 直方向にのびる立管、天井につるされる横引き配管と、 スプリクラーヘッドまでを結ぶ巻き出し配管に分類され ている。ただし、40A 以下の配管には、構造規定が適用さ れない。スプリンクラー設備 耐震措置マニュアル 2018 (一般財団法人 消防防災科学センター)では、横引き配 管の末端部には、A 種またはB 種の耐震支持を設けること となっている。B 種耐震支持とは、吊り材、振止め斜材 (鉄筋、吊りボルト、フラットバーなど)のみで構成さ れているものであり、同マニュアル内には、図1に示す耐 震措置方法が例示されている。

図1 スプリンクラー横引き配管の耐震措置例<sup>2)</sup>



# 3. 試験体概要

#### 3.1 実験用骨組とスプリンクラー横引き配管

2018 年 12 月と 2019 年 1 月に実施した 10 層 RC 造骨組 (高さ 27.5m)を対象とした実験では、振動台に地震波を 入力した。図2に振動台上の骨組を示す。この上層階、10 階の RF 床下、9 階の 10F 床下にスプリンクラーの横引き 配管を耐震措置あり、なしの条件で敷設した。





図2 E-ディフェンス振動台上の10層RC造骨組 独立居室に配されたスプリンクラー設備を想定し、A40 以下の配管を中心に横引き配管の枝管ユニットを設計し た。図 3(1) に RC 造骨組の平面と枝管ユニットの平面の 関係を示す。50Aの第1枝管および40Aの第2枝管、径

32Aの第3三枝管、呼径25Aの第4枝管で構成される枝管 ユニットは、第1枝管が直交する 100A の本管に接合され る。図3(2)に枝管ユニットのパースを示し、寸法、吊り材 の位置を示す。吊り材の長さは 600 mm である。本管の両 端は、鋼製アングルによる支持で大梁に固定した。吊り 材として径9mmの寸切りボルトを用いた。床下面に同径 用の標準アンカーを施工し、ボルトを固定した。



E-Defense test to evaluate seismic performance of horizontal fire sprinkler piping system installed in 10-story RC building structure Part 1 Test specimen of fire sprinkler and free vibration testing

Kazuo KATO, Shunsuke TOYAO, Takuya NAGAE, Jae-Do KANG, Koichi KAJIWARA, Zhexin HU

#### 3.2 耐震措置タイプ

本実験では3種類の耐震措置方法(タイプI、タイプII、 タイプIII)を採用した。図4に各条件を示す。斜材には、 吊り材の径9 mmの寸切りボルトを転用した。斜材による 支持は一箇所に2本を用いるV字とし、タイプIでは、第 3枝管と第4枝管の末端部を合計4箇所支持した。タイプ II、タイプIIIでは、第2枝管の両端部を支持した(施工負 荷の軽減を意図し、末尾枝管のひとつ手前の枝管・第2枝 管を支持することで耐震措置効果を期待した)。図5に各 タイプの指示状況を写真で示す。タイプI、タイプIIで は配管に対して直交方向に斜材を設置した。タイプIIIで は、ゆれの卓越方向を念頭に、配管(第2枝管)の軸方向 に斜材を設置した。



図4 スプリンクラー耐震措置方法(矢印は斜材方向)



タイプI (矢印位置が第4枝管の末端支持位置)





タイプⅡ タイプⅢ (矢印位置が第2枝管の両端支持位置)

図5 スプリンクラー配管の敷設状況と斜材位置

- \*1 消防防災科学センター 審議役
- \*2 日建設計
- (元名古屋大学大学院生)
- \*3 名古屋大学 減災連携研究センター 准教授・博士(工学)
- \*4 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 研究員・博士(工学)
- \*5 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター長・博士(工学)
- \*6 消防防災科学センター 主任研究員・工学博士

斜材の接合状況を図6に示す。各斜材と配管を個別に接 合している。吊りボルトの先端に斜材を集中させる接合 方法の場合、首振り現象が生じることが指摘されており<sup>1)</sup>、 これを回避する方法としても位置付けた。斜材が配管に 直交するタイプ I とタイプ II では、吊り材用の円形固定 治具を斜材方向に回転させて固定した。斜材が配管軸方 向となるタイプIIIでは、円形固定治具と吊り材を接合す る部位のボルト位置を回転させた。斜材の床スラブ下面 側については、市販の斜材固定用治具を使用した。



図6 配管と斜材の接合条件(タイプⅡ左、タイプⅢ右)

#### 4. 自由振動実験

斜材による支持がない条件において、自由振動試験を 行った。図7の左図2の位置を人の手で矢印のY方向マイ ナス側に10数ミリ押したのち、すばやく離した。図中の 変位測定点における変位時刻歴波形を図7に示す。波形は 10Hz 以上の振動数を除去した(10Hz から15Hz 間にコサ インテーパー)。これらの自由振動波形において周期は約 0.4 秒であった。2 の位置において片対数減衰率を求める と約5%と評価された。一方、3の位置は1.5秒付近まで一 旦増幅しており振動モードの検証が必要である。



図7 自由振動試験の変位時刻歴波形(測定点、左)

## 5. まとめ

スプリンクラー配管の実規模実験に関する背景と施工 条件を述べた。

辦辞 消防庁予防課 四維 栄広 氏、馬場 康郎 氏より、本実験に対して貴重 なご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 建築設備耐震設計施工指針 2014 (一般財団法人 建築センター)、
2) スプリンクラー設備 耐震措置マニュアル 2018 (一般財団法人 消防防災科 学センター)

- \*1 ISAFD
- \*2 NIKKEN
  - (Former NU Graduate School Student)
- \*3 Nagoya University, Dr. Eng.
- \*4 NIED, Dr. Eng.
- \*5 NIED, Dr. Eng.
- \*6 ISAFD, Dr. Eng.

## 10 層 RC 造骨組内のスプリンクラー配管設備の耐震性を検証する E ーディフェンス実験

#### その2. 振動台実験概要と実験結果

スプリンクラー、横引き配管、耐震措置、振動台実験

#### 1. はじめに

その1につづき、振動台実験の計画と結果を述べる。

#### 2. 加振条件と計測条件

表1に加振条件を示す。振動台入力波にJMA 神戸波を 採用し、倍率を徐々に強くして行った。実験はすべり基 礎の条件、基礎固定の条件に分かれ、全体では、実験(1) から実験(10)の実験が行われた。実験では、床下に剛性の 高い計測治具を固定し、スプリンクラー配管の床との相 対水平変位(以降、変位 d)を計測した。巻き込み式変位 計を図1に示す CH 位置において矢印方向に設置した。



図1 変位計の計測位置(左10F床下、右RF床下) 3. 実験結果

JMA 神戸波が入力された(実験(1)から実験(9)までは、 X 方向に EW 方向、Y 方向に NS 方向)。図2 に配管の揺 れが卓越した Y 方向の床応答加速度の時刻歴波形を示す。 すべり基礎実験、基礎固定実験ともに、最大値について は、50 %加振で1.0 m/s<sup>2</sup>程度、100 %加振で1.5 m/s<sup>2</sup>程度で あった。基礎のすべりが生じたことにより、前者の最大 加速度が若干小さくなり、最大値付近の加速度の繰り返 し回数が少なくなった。図には示さないが、10 %加振、 25 %加振、50 %加振の最大値と入力倍率の関係は、おお むね比例していた。また、実験(8)と実験(9)の100%加振 は同様の床応答条件となった。実験(10)の100%加振は、 入力の XY 方向を入れ替えたため、Y 方向の床応答加速度 正会員〇 胡 哲新<sup>\*1</sup>、同 鳥谷尾 駿祐<sup>\*2</sup>、同 長江 拓也<sup>\*3</sup> 同 姜 在道<sup>\*4</sup>、同 梶原 浩一<sup>\*5</sup>、同 加藤 和生<sup>\*6</sup>

の最大値は、実験(8)と実験(9)の2/3程度となった。

図3にスプリンクラーの変位の時刻歴波形を示す。表2 に実験結果一覧を示す。図3のb.において、実験(4)の 100%加振における耐震措置なしの場合、第3枝管の先端 CH27の変位が最も大きく200mmに達し、第4枝管の先 端CH29でも160mmに達している。これに対して耐震措 置タイプIの場合、末端のCH8,9,3,5は17-10mmに収ま っている。図3のc.とd.では、実験(8)の100%加振にお ける耐震措置なしの場合、耐震措置タイプIIの場合のい



図2 床応答加速度 acc (m/s<sup>2</sup>) Y 方向の時刻歴波形



E-Defense test to evaluate seismic performance of horizontal fire sprinkler piping system installed in 10-story RC building structure Part 2 Outline of shaking table test and test results

Zhexin HU, Shunsuke TOYAO, Takuya NAGAE, Jae-Do KANG, Koichi KAJIWARA, Kazuo KATO

(1) すべり基礎 10%加振				(2) すべり基礎 25%加振				(3) すべり基礎 50%加振				(4) すべり基礎 100%加振				(9) 基礎固定 100%加振2				
10	F床下	R	RF床下		10F床下		RF床下		10F床下		RF床下		10F床下		RF床下		10F床下		RF床下	
耐震措置		耐震措置		Ī	耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置	
なし		9171		72L		9171		7.C		7gC		_	7.C		<i>9</i> 171		750		ダイブ皿	
CH	D (mm)	CH	D (mm)	CH	D (mm)	CH	D (mm)	CH	D (mm)	СН	D (mm)	C	Н	D (mm)	СН	D (mm)	CH	D (mm)	CH	D (mm)
26	-0.15	2	-0.15	26	-0.39	2	-0.44	26	-1.22	2	-0.95	2	26	-3.43	2	-6.10	26		2	
31	8.50	7	2.20	31	-21.30	7	-12.25	31	41.60	7	20.85	3	31	-56.60	7	-52.30	31	83.30	7	-17.25
32	-33.60	8	1.20	32	-75.70	8	1.80	32	110.45	8	4.00	3	32	168.45	8	-10.40	32	242.75	8	318.00
33	-16.60	9	-4.00	33	-58.40	9	-7.00	33	103.40	9	-8.80	3	33	-179.20	9	-11.40	33	204.40	9	-72.20
27	-52.60	3	0.78	27	73.60	3	3.79	27	131.20	3	7.10	2	27	197.00	3	16.93	27	349.60	3	217.47
28	-20.20	4	3.51	28	-53.80	4	19.56	28	152.80	4	31.66	2	28	-131.80	4	-82.50	28	226.40	4	18.69
29	16.80	5	-0.44	29	-49.00	5	-3.12	29	114.20	5	5.16	2	29	-162.60	5	12.56	29	199.00	5	90.86
		24	4.31			24	22.80			24	35.33				24	-86.85			24	108.48
(5) 基礎固定 10%加振			6加振	(6) 基礎固定 25%加振				(7) 基礎固定 50%加振				(8) 基礎固定 100%加振1				(10) 基礎固定 100%加振3				
10F床下		RF床下		10F床下		RF床下		10F床下		RF床下			10F床下		RF床下		10F床下		RF床下	
耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置			耐震措置		耐震措置		耐震措置		耐震措置	
なし		なし		なし		なし		なし		なし		なし		タイプ Ⅱ		なし		タイプⅢ		
СН	D (mm)	СН	D (mm)	CH	D (mm)	СН	D (mm)	CH	D (mm)	СН	D (mm)	C	Н	D (mm)	СН	D (mm)	СН	D (mm)	СН	D (mm)
26		2		26		2		26		2		2	26		2		26	$\sim$	2	
31	7.90	7	9.25	31	24.50	7	30.65	31	52.90	7	55.00	3	31	81.80	7	78.05	31	43.50	7	11.60
32	-24.10	8	32.80	32	-82.30	8	104.10	32	149.45	8	223.80	3	32	255.45	8	-326.00	32	177.00	8	230.20
33	21.50	9	-22.00	33	62.90	9	70.60	33	142.80	9	-143.60	3	33	209.20	9	153.20	33	107.40	9	67.80
27	47.00	3	44.76	27	112.20	3	135.98	27	209.20	3	209.39	2	27	322.00	3	-107.08	27	181.60	3	-137.34
28	20.00	4	23.52	28	62.40	4	75.62	28	132.80	4	139.74	2	28	280.60	4	181.40	28	108.20	4	9.37
29	16.00	5	18.70	29	55.00	5	69.82	29	132.80	5	138.86	2	29	202.20	5	154.83	29	142.00	5	50.05
		24	27.40			24	88.03			24	148.36				24	234.72			24	62.83

表2 実験結果一覧/各計測位置 CH に対する最大変位 D (mm)/各ケース最大値を赤字

ずれでも、第3枝管の先端 CH27 と CH8 が 320 mm を超 えており、また第4枝管の先端 CH29 と CH9 でも 150 mm を超える値となった。図3d.では、実験(9)の100%加振 における耐震措置タイプⅢの場合でも、CH8 が 318 mm に 達している。実験 (10)の 100%加振は、床最大加速度に応 じて、最大変位が実験(9)のおおむね2/3程度となった。

#### 4. 耐震措置に対する考察

表2の値を参照しつつ、耐震措置の効果を述べる。

#### 4.1 耐震措置タイプI

耐震措置なしの場合に、全ての実験を通じて(CH27 が 代表して)第3、第4枝管の末端部の変位が最も大きくな る傾向にある。実験(4)の100%加振では162-197mmを示 した。タイプ I では、第3、第4枝管の末端部を直接、斜 材で支持しており、この位置(CH3, 5, 8, 9)での変位を、 実験(4)の100%加振で、10-16mmに抑えることができ た。このとき、斜材支持位置から離れた、第3、第4枝管 の中央付近では、第2枝管からの力の伝達も受けて、第3、 第4枝管が一体となり中央でたわみ、結果、CH4とCH24 において、82-87 mm の変位を生じた。

### 4.2 耐震措置タイプⅡ

第2枝管の両端部を斜材で2箇所支持したが、斜材の方 向が、第2枝管と直交しており、第1、第3、第4枝管の 方向と平行となったため、変位の抑制効果は、ほぼ見ら

*1	消防防災科学センター 主任研究員・工学博士
*2	日建設計
	(元名古屋大学大学院生)
*3	名古屋大学 減災連携研究センター 准教授・博士(工学)
*4	防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 研究員

- 員・博士(工学)
- \*5 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター長・博士(工学)
- \*6 消防防災科学センター 審議役

れなかった。実験(8)の100%加振では、耐震措置なし、 の場合よりも、この耐震措置タイプⅡの場合に、最大の 変位が若干大きくなっているが、これは、RF 床の応答加 速度が、10Fの応答加速度よりも大きくなったことによる ものである。

#### 4.3 耐震措置タイプエ

第2枝管の両端部を斜材で2箇所、第2枝管の方向に、 すなわち、第1、第3、第4枝管の直交方向に支持した。 これにより第1枝管としては、本管との接合部を固定端と するキャンティレバーのようにたわむモードが抑制され た。結果、実験 (9)の 100 %加振では、第2 枝管の CH4 位 置の最大変位が、18 mm に抑制された。一方、第3、第4 枝管の末端部には斜材の支持がなく、この第2枝管の端部 を中心に回転する振動モードが卓越した。したがって、 図3e.を見るとCH8とCH9の変位時刻歴は逆位相になっ ている。第3枝管のCH8では最大変位318mmとなった。

## 5. まとめ

実験工程を説明し、実験結果を示した。

謝辞 消防庁予防課 四維 栄広 氏、馬場 康郎 氏より、本実験に対して貴重 なご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 建築設備耐震設計施工指針 2014 (一般財団法人 建築センター)、 2) スプリンクラー設備 耐震措置マニュアル 2018 (一般財団法人 消防防災科 学センター)

- \*1 ISAFD, Dr. Eng.
- \*2 NIKKEN

(Former NU Graduate School Student)

- \*3 Nagoya University, Dr. Eng.
- \*4 NIED, Dr. Eng.
- \*5 NIED, Dr. Eng.
- \*6 ISAFD

## 10 層 RC 造骨組内のスプリンクラー配管設備の耐震性を検証する E ーディフェンス実験

#### その3.実験結果分析と数値解析

スプリンクラー、横引き配管、耐震措置、地震応答解析

#### 1. はじめに

振動台実験において得られた実験結果を数値解析により評価することで、普遍性を深めるとともに、実験で再現できなかった影響因子の検証環境を整備する。

#### 2. 数値解析モデル

実験で扱ったスプリンクラーの枝管ユニットについて、 通常の骨組解析の手順を参考に、水平2方向の配管、鉛直 方向の吊り材からなる3次元のフレーム解析モデルを構築 した。解析における入力波は、10F床、RF床において記 録された床応答加速度波形であり、XYの二方向の記録を 用いる2方向同時入力とした。解析に準備したモデルケー スを図1に示す。また、実験で変位計測したCHと解析モ デルの節点の位置関係を図2に示す。



図2 変位計測 CH と解析モデル節点の位置関係

入力スプリンクラー横引き配管、吊材はすべて弾性棒 で構成し、配管同士の接合部は常に直角を保つ剛接合と した。吊り材である寸切りボルト(径 9 mm)の根元は床 スラブ内のアンカーに所定の深さまでねじ込んで固定さ れており、境界条件を固定とした。ただし、実験観察に おいて、吊り材根元が明らかに塑性化したことを踏まえ、 吊り材の床スラブ固定位置に、ボルトの降伏モーメント で2次勾配に入る剛塑性回転ばね(塑性ヒンジ)を設けた。 吊材と配管の接合条件はピンとした。節点間の中央で、 正会員〇 鳥谷尾 駿祐<sup>\*1</sup>、同 長江 拓也<sup>\*2</sup>、同 姜 在道<sup>\*3</sup> 同 梶原 浩一<sup>\*4</sup>、同 胡 哲新<sup>\*5</sup>、同 加藤 和生<sup>\*6</sup>

各節点の受け持つ配管重量を分けて評価し、解析用の X 方向 Y 方向 Z 方向の質量を節点に与えた。耐震措置の斜 材位置において、斜材の支持効果はピンローラーで代用 し、斜材方向の変位を拘束し、直交方向はフリーとした。 100 A の両端のアングル(固定)については、3 方向に対 してピン支持として、水平変位を完全に拘束した。

#### 3. 解析結果

耐震措置なしの場合 Model 1 の数値解析 NA と実験結果 test を図3に示す。検証はY方向を対象としている。加振 スケジュールについては、その2の表1を参照されたい。 解析では、実験(1)-(4)の10%加振、25%加振、50%加振、 100%加振において、10F 床において記録された加速度波 形を入力波として用いた。図の a.と b. における、10%加 振、25%加振において、実験と解析を比較すると、解析は CH33 および CH28 の変位振幅に対して、CH32 の変位振幅



E-Defense test to evaluate seismic performance of horizontal fire sprinkler piping system installed in 10-story RC building structure Part 3 Comparison of test result and numerical analysis

Shunsuke TOYAO, Takuya NAGAE, Jae-Do KANG, Koichi KAJIWARA, Zhexin HU, Kazuo KATO

#### 日本建築学会大会 (2019年)

が相対的に大きくなる条件を定量的に捉えている。周期、 位相も整合しており、解析モデルの妥当性が確認できる。 図の c.と d. における、50%加振、100%加振では、解析は 実験に見られる、CH33 および CH28 の変位振幅と、CH32 の変位振幅が近づく傾向、および変位振幅が大きくなる 時刻に周期が伸びる傾向、この両者を的確に捉えている。

以上は、第3枝管の末端部が第4枝管の末端部や第2枝 管の端部よりも大きく振れる幾何学的な条件や、大振幅 において、吊り材根元の塑性化する材料条件が応答性状 に及ぼす影響を反映していることを意味している。確認 の意味で、100%加振における実験結果と解析結果のケー ススタディを図4に示す。吊り材が弾性の条件(左)では、 解析結果の周期が一定であり特に後半で変位振幅を過大 に評価している。一方、吊り材の根元に弾塑性回転ばね を入れた場合(右)には、周期の変化とともに、時刻に 対する変位振幅の推移を適切に捉えている。



解析では、Model 1、Model 2、Model 3、Model 4 の全て のモデルに対して、実験で記録された 10F 床、RF 床の床 加速度を入力した。図5には、横軸に Model の番号を 1-4 まで配置して、各モデルに対して計算された変位の最大 値を棒グラフとして示した。これら4つのモデルを整理し た計 12 個のグラフは、(3)50%加振、(4)100%加振、(7) 50%加振、(8)100%加振、(9)100%加振、(10)100%加振に おける 10F 床下、RF 床下を仮定した結果であり、床応答 の強さ、各モデル条件(耐震措置の種類による効果の相 違)を系統的に評価している。

各加振において、実験では、10F 床下と RF 床下に実際 に敷設された1ケースが比較対象となる。対応するケース の実験結果(変位の最大値)をオレンジ色の丸印で棒グ ラフ中にプロットし、耐震措置タイプを併せて付記した。 対応する解析評価は、実験結果と系統的に整合している ことがわかる。

#### D (mm) D (mm) D(mm)1000 1000 1000 (3) 50%加振 (4) 100%加振 (7) 50%加振 10F 床下 10F 床下 10F 床下 500 500 500 耐震措置 耐震措置 耐震措置 なし なし なし n 1234 Model 1234 Model 234 Model D (mm) D(mm)D (mm) 1000 1000 1000 (3) 50%加振 (4) 100%加振 (7) 50%加振 RF床下 RF床下 RF床下 500 500 500 耐震措置 耐震措置 耐震措置 なし タイプI タイプI n n 234 1234 1234 Model Model Model D (mm) D(mm)D(mm)1000 000 1000 (9)100%加振 (8) 100%加振 (10)100%加振 10F 床下 10F 床下 10F 床下 500 500 500 耐震措置 耐震措置 til. なし なし n 234 2 3 4 2 3 Model Model Model D(mm)D(mm)*D* (mm) 1000 1000 1000 (9)100%加振 (8) 100%加振 (10)100%加振 RF床下 RF床下 RF床下 耐震措置 500 500 耐震措置 500 耐震措置 イプ= プロ タイプⅢ Ω 0 1234 3 4 2 1234 Model 1 Model Model 図5 解析結果と実験結果の最大変位D比較

## 5. まとめ

スプリンクラーの枝管ユニットを、地震応答解析用に フレームモデルで表現した。解析は、形状、吊り材の位 置、斜材の支持効果等を適切に評価できた。強い床応答 に対しては、吊り材の塑性化の考慮も有効であった。

#### 謝辞

消防庁予防課 四維 栄広 氏、馬場 康郎 氏より、本実験に対して貴重なご 助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

1) スプリンクラー設備 耐震措置マニュアル 2018 (一般財団法人 消防防災科 学センター)

## \*1 日建設計

	(元名古屋大学大学院生)
*2	名古屋大学 減災連携研究センター 准教授・博士(工学)
*3	防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 研究員・博士(工学)
*4	防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター長・博士(工学)
*5	消防防災科学センター 主任研究員・工学博士
*6	消防防災科学センター 審議役

#### \*1 NIKKEN

- (Former NU Graduate School Student)
- \*2 Nagoya University, Dr. Eng.
- \*3 NIED, Dr. Eng.
- \*4 NIED, Dr. Eng.
- \*5 ISAFD, Dr. Eng.
- \*6 ISAFD