

3.2.7 超高層建物に付随する非構造部材の機能保持と避難性に関する考察

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

建物としての継続使用に関わる機能性、また地震直後の避難性は、ドア・ガラス開口部を含む外壁、内壁から給排水設備、エレベーター設備等の機器に及ぶまでの非構造部材群の耐震性能に強く依存する。こうした非構造部材を E-ディフェンス実験に組み込み、損傷状態に基づく各機能損失状況を検証する。また、大振幅かつ長時間の揺れが室内の家具・什器の移動・転倒や、居住者の心理状態に与える影響を解析、実験により検証する。

(b) 平成 19 年度業務目的

ドア・ガラス開口部を含む内壁、および給排水設備を対象を絞り、E-ディフェンスによる震動実験の試験体に組み込み、建物の機能性を検証する。これらの耐震性能は、建物の変形に起因する局所的もしくは層レベルの強制変形に対する追従性に依存するという点で共通し、本実験では特に層間変形角と損傷、機能性の関係を中心に検討する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人 建築研究所	首席研究員	斉藤 大樹
	主任研究員	森田 高市
芝浦工業大学	教授	平山 昌宏
独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター	研究員	長江 拓也
	客員研究員	関 松太郎

(2) 平成 19 年度の成果

(a) 業務の要約

ドア・ガラス開口部を含む内壁、および給排水設備を E-ディフェンスによる震動実験の試験体に組み込み、建物の機能性を検証した。実験においては、地震応答に伴う躯体からの強制変形により、内壁には局所的な剥落やへこみが生じ補修が必要な状態になった。またドアの開閉が困難になり避難性が損なわれた。一方、変形が集中する継ぎ手部分における観察によれば、目立った損傷はなく、給排水管系の層間変形に対する追従性が確認された。

(b) 業務の成果

1) 配管

a) 設備の概要

超高層建物（高さ 80m、21 階）を想定した E ディフェンス試験体の下層 4 階に立て配管を設置して耐震実験を行った。当初、設備項目として、耐震的に重要な水槽と設置例が多くなっているビル用マルチ形空調機の屋内及び屋外機、さらに集合住宅での採用例が多くなっている単管式排水管、一般建物で用いられる通気乾式排水管、SUS 管式給水管を計画した。各種工業会などに参加協力依頼書を送り、各工業界内の技術検討会や幹事に対す

る説明を行った結果、「耐火二層管協会」と「単管式排水管システム協会」、「ステンレス協会」の協力を得て、試験体に立て配管として合計8本を設けて実験を行なった。

排水管は6本を設置し、管種は一般的な通気管式排水管と集合住宅での採用例が多い単管式排水管とし、各階の合流管は実用上から80φ耐火二層管とした。各階の立て管支持は基本的に各社の標準床上固定金具を用いた。

給水管には、採用例が多くなっている100φと50φのSUS（ステンレス）管2本とし、各階の取出しは25φとした。各階の支持は各階床上のアンクル材とUボルトとで固定した。また、各階の取出し管25φには軸方向変位力が期待できないメカニカル管継ぎ手を用いている。また、給水管は常時、満水の状態を想定すべきであるが、振動台上での漏水処理が困難であるため、100φのSUS管に鉛板をほぼ50cmピッチで巻いて、満水重量に相当する重量とした。

尚、それぞれの管は製造会社の標準施工要領書に順じて施工し、良好に施工した。

b) 配管の配置

配管の配置位置を図1に示す。

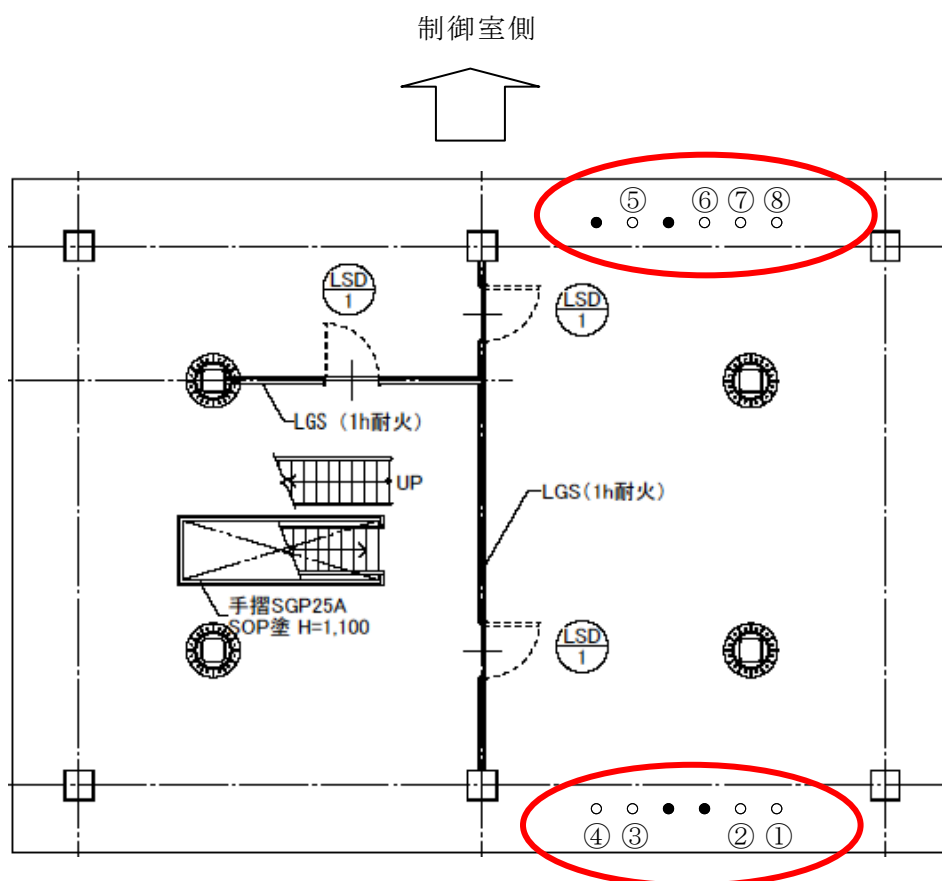


図1 配管設置位置 (2階平面)

各配管供試体の仕様を表1に示す。

表1 配管供試体一覧表

供試体 NO	種別		サイズ	排水システム	管種			支持金物		最下部
	(呼称)				縦管	管材	枝管	継手	枝管	支持金物
	排水 管	耐火二層管	100	XJ100X75(1)-M	耐火二層管	塩ビ管	耐火二層管 (75A)	日栄インテック(株) XJセッター	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) 二層管用Uバンド
		耐火二層管	100	HGM-A100X75	耐火二層管	鋼管	耐火二層管 (75A)	日栄インテック(株) HGセッター	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) Uバンド
		DVLP	100	R18UN	DVLP	鋼管	耐火二層管 (75A)	ADスリム継手 RP 100専用支持金具	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) Uバンド
		DVLP	100	4HF-A3-W	DVLP	鋼管	耐火二層管 (75A)	4SL・4HF用足付 支持金物	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) Uバンド
	給水 管	SUS	100	縦:SAS361,322 枝:SAS322	JIS G 3448	SUS304T PD	JIS G 3448 (100Su,25Su)	縦管の貫通部 Lアングル+Uボルト	レベルバンド	JIS B 2313 閉止フランジ
		SUS	50	縦:SAS361.322 枝:SAS363	JIS G 3448	SUS304T PD	JIS G 3448 (50SU,25Su)	縦管の貫通部 Lアングル+Uボルト	レベルバンド	JIS B 2313 閉止フランジ
	排水 管	DVLP	100	CP60K 100X80	DVLP	鋼管	耐火二層管 (75A)	日栄インテック(株) CPセッター	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) Uバンド
		耐火二層管	125	LT-M125X100	耐火二層管	塩ビ管	耐火二層管 (100A)	日栄インテック(株) XJセッター	誠伸工業(株) レベルバンド	日栄インテック(株) 二層管用Uバンド

c) 配管設置状態

以下に、各種配管の設置状態を示す。



写真 1 試験体 2 階南側（手前に排水管：右から SUS 管⑤，⑥，排水管⑦、⑧）



写真 2 1 階排水管（固定状態）



写真 3 4 階排水管、SUS 管（固定状態）



写真4 排水管 ①, ②



写真5 排水管 ③, ④



写真6 給水管 ⑤



写真7 給水管 ⑥

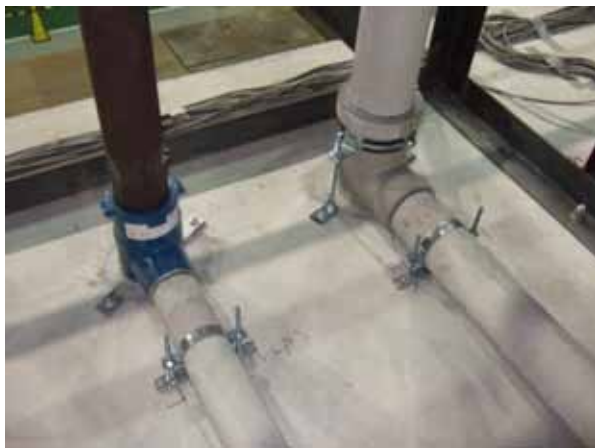


写真8 排水管 ⑦, ⑧

d) 振動台加震による配管への影響

振動台加震により、配管には以下のような影響が観察された。

- ① 21日の最終加振では、2階における最大層間変形角が約1/50に達したが、加震後、いずれの立て管にも破損と見られる部分はなかった。
- ② 排水立管にライニング鋼管を用いているものは、肉眼では階層間での変位は確認できなかった。
- ③ 排水立管に耐火二層管を用いているものは、肉眼でも階層間に変位を生じていることが確認された（写真12参照）。
- ④ 加震後に各横引き耐火二層管の耐火材相互に、最大8mm程度の隙間が生じていた（写真11参照）。
- ⑤ 加震終了後に排水管に煙漏れ試験を行なったが、煙が薄くもあり漏れは確認されなかった。また、立管に耐火二層管を用いているものではキャップを外すときに中の溶剤ガスがもれる音がしたことから、加震による漏れはない状況であったと推測される。
- ⑥ SUS管に空気圧（17日と19日は0.6Mp、21日は0.2Mp）を加えたところ、0.6Mp加えると加震後に4階床で約5,6mm程度浮き上がっていた。0.2Mpではその浮き上がりは3,4mm程度であった（写真13,14参照）。
- ⑦ SUS管に加圧した状態で加震しても、加震後も同じ圧力を示していた。
- ⑧ 実験終了後に配管を解体して耐火材相互に隙間を大きくさせた状況を確認したが、管継ぎ手に変化はなく、支持部分との相対的關係で生じた現象と考えられる。
- ⑨ 実験終了後の解体検査においても外見上の変化はみられなかった。しかし、SUS管25φの各階取出し管に設けたメカニカル管継ぎ手の約1/3程度のものに軸方向変形に反力が少なく追従するものがあった。加震による繰り返しの強制変形の影響と考えられる。



写真9 加震前の横引き耐火二層管
（きちんとした施工がなされた）



写真10 加震後の横引き耐火二層管
（少し乱れが見られる）



写真 11 加震後の横引き耐火二層管
(耐火材相互に隙間が見られる)



写真 12 加震後の立て耐火二層管
(変位により耐火材相互に隙間が見られる)



写真 13 100φ SUS 管 (空気圧 0.6Mp)
(床面充填モルタルから 5,6mm 浮き上がっている)



写真 14 100φ SUS 管 (空気圧 0.2Mp)
(同左 3,4mm 浮き上がっている)



写真 15 加圧空気圧 (0.6Mp)



写真 16 加圧空気圧 (0.2Mp)

2) 非構造間仕切り壁

a) 考察対象

ドア扉付きの間仕切り壁の損傷過程について述べる。対象とするのは ALC 間仕切り壁と、軽鉄下地間仕切り壁である。いずれも、通常の施工手順^{1), 2)}に従う。図 2 に平面図を示す。平面配置は ALC 間仕切り壁、軽鉄下地間仕切り壁ともに共通である。梁間方向の②通りの柱間にドア扉を 2 箇所組み込む間仕切り壁が幅約 7600mm で配され、これに直行して幅約 3800mm で配される。本稿では、梁間方向の②通りの間仕切り壁を考察の対象とする。

各加振によって与えられた最大層間変形角は、図 3 に示すとおりである。El Centro 波レベル 1、El Centro 波レベル 2、三の丸 100% の加振によって与えられたもので、2F と 3F の値はほぼ等しく、それぞれ 0.004 rad, 0.007 rad, 0.015 rad (層間変位 16mm, 26mm, 59mm) となる。いずれも、加振後の残留変形角は、ほぼ 0 であった。

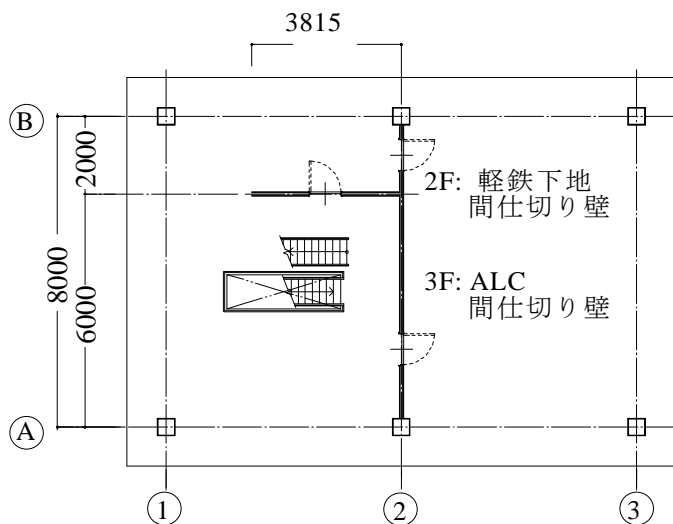


図 2 間仕切り壁の配置

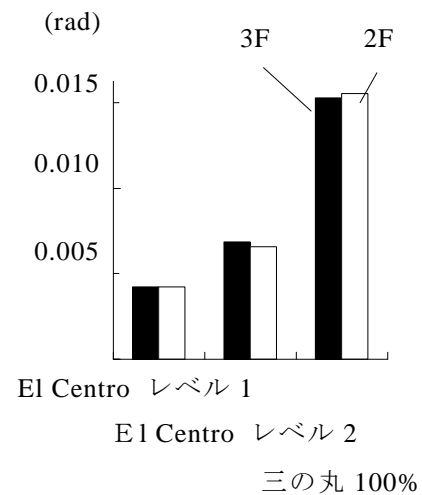


図 3 梁間方向の最大層間変形角

b) ALC 間仕切り壁の概要

図 4 に ALC 間仕切り壁の取り付け方を示す。ALC パネルは、厚さ 100mm、幅 600mm、高さ 3260 mm が基本となる。H 型鋼梁にすみ肉溶接で固定された上部間仕切りチャンネル (C-105x40x2.3) と、コンクリート床スラブにコンクリートピンで固定された下部フットプレート (t=2.3) の間に、ALC パネルがはめ込まれる。

柱とのクリアランスは 20 mm で、下部取り付け部は柱際において、フットプレート C により押さえられるが、上部取り付け部は間仕切りチャンネルに沿ってスライドすることができる。開口補強 (L-75x75x6) の縦材は、下部はアンカーされたプレートに溶接される。ドアフレームの基部 (くつづり) は、コンクリートを部分的に取り除いた床スラブに設置され、モルタルを充填して固定される。開口補強の上部は、プレートを介して間仕切りチャンネルに差し込まれており、間仕切りチャンネルに沿って、開口を含む壁全体が、層間変位によってパネルと柱が接触するまで、上部取り付け部においてスライドする。

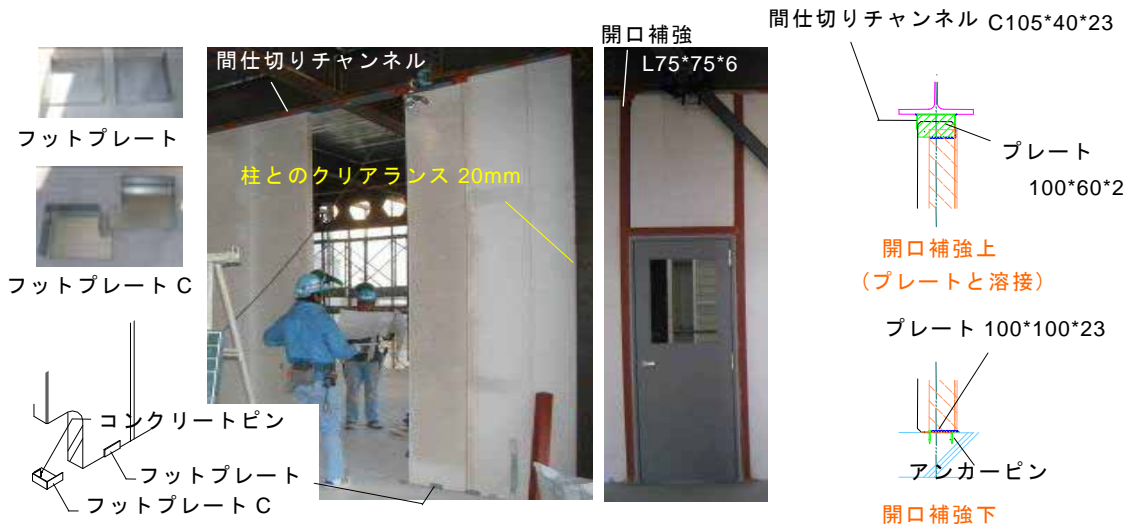


図 3 ALC 間仕切壁

c) 軽鉄下地間仕切壁の概要

図 4 に軽鉄下地間仕切壁の取り付け方を示す。軽鉄下地は、H 型鋼梁にビスで固定された上部ランナー (WS-65, 67x40x0.8) と、床スラブにコンクリートピンで固定された下部ランナー (同上) の間に、縦材スタッド (WR-65, 65x45x0.8, 455mm 間隔を基本) がはめ込まれ、これが骨格となる。壁は、軽鉄下地の両面に石膏ボードを 2 重に貼り付けることで形成される。下貼りは石膏ボードの厚さ 12.5 mm、上貼りは強化石膏ボードで厚さ 9.5 mm である (1 時間耐火)。柱とのクリアランスは、10 mm である。ドアフレーム基部は前述同様に、床スラブに固定される。周りの開口補強縦材 (C-65x30x10x2.3) においては、下部とともに上部もランナーにビス留めされる。



図 4 軽鉄下地間仕切壁

d) ALC 間仕切壁の損傷状況

ALC 間仕切壁の損傷状況を図 5 に示す。

El Centro 波レベル 1 (最大層間変形角 0.004 rad) において、パネルの角が欠ける箇所が複数確認された。

El Centro 波レベル 2 (最大層間変形角 0.007 rad) において、隣り合うパネル間に 3, 4 mm の隙間が複数箇所生じた。

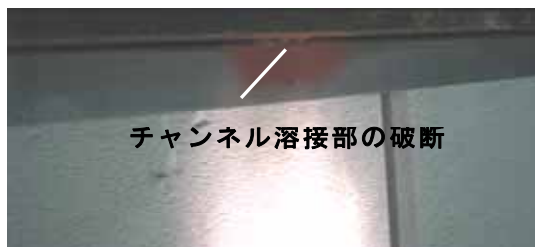
三の丸波 (最大層間変形角 0.015 rad) において、間仕切りチャンネルの取り付け溶接の破断が生じたが、パネル自体の損傷状況に大きな変化はなく、ドアの開閉に関して障害はなかった。



(a) El Centro レベル 1



(b) El Centro レベル 2



(c) 三の丸波



図 5 ALC 間仕切壁の損傷状況

e) 軽鉄下地間仕切壁の損傷過程

軽鉄下地間仕切壁の損傷状況を図 6 に示す。

El Centro 波レベル 1 (最大層間変形角 0.004 rad) において、ドアフレームの上部の角からボードに斜め亀裂が生じた。ドアフレーム基部周りの床スラブにひび割れが生じた。ドアフレーム自体が変形してドアと接触し、たてつけが悪くなった。ドアフレーム下部において隣り合うボードとの間に 10mm 程度の隙間が生じた。

El Centro 波レベル 2 (最大層間変形角 0.007 rad) において、壁の上隅角部 (柱と梁接合部付近) のボードに浮きが生じた。ドアフレームとボードの隙間は 20mm に達し、ボードの圧縮損傷が進行した。ドア表面のスチール面材が面外に変形し始め、たてつけはさらに悪くなった。

三の丸波 (最大層間変形角 0.015 rad) においては、壁の上隅角部のボードが脱落し、ボードが浮き上がる範囲が壁の内側へ広がった。ボードにおけるドアフレームの上部の角からの斜め亀裂はさらに進展した。ドアフレームは大きく変形し、ドアは開閉不可となる障害が生じた。



(a) El Centro レベル 1

(b) El Centro レベル 2



(c) 三の丸波

図 6 軽鉄下地間仕切り壁の損傷状況

f) 考察

ALC 間仕切壁は、早い段階でパネルの角が欠けるが、ドアフレームを含む壁全体が上部取り付け部でスライドするため（柱と壁のクリアランスは 20mm）、パネルの顕著な損傷、ドアの開閉に関わる障害は生じなかった。

軽鉄下地間仕切壁においては、**El Centro** 波レベル 1 の最大層間変位 16mm に対して、ボード（特にドア周り）の損傷、ドアの開閉障害が生じた。開口補強が上部のランナーに固定されており層間変位を直接被ったこと、壁上隅角部が柱に押されて（柱と壁のクリアランスは 10mm）壁の斜めストラットからドアフレーム下部に力が集中したことが原因として挙げられる。層間変位が大きくなると、この種の損傷が著しくなり、壁上隅角部付近のボードにもふくれや脱落が生じる。

柱と壁のクリアランスの 2 倍以上となる層間変位 59mm を与えた三の丸波入力において、ALC 間仕切り壁ではスライドに加えて各パネルの回転が生じ、損傷は小さくとどまる。軽鉄下地間仕切壁は壁が一体として挙動するために、損傷はさらに進行する。

こうした、非構造部材の損傷は、居住者の目に触れるもので、避難時において壁の脱落等は心理的な困惑を誘発する。ドアの変形や開閉不能により、外に出られないことを余儀なくされた居住者の心理的不安は多大なものとなる。地震の中で ALC 内壁がロックング震動する様や、大きな音とともに崩れる石膏ボードの損壊を目の当たりにすれば、居住者は恐怖におののく。本実験において得られたリアルなビデオ映像によって、こうした状況を擬似的に体験することで、心理面からのパニックによる 2 次災害等を軽減でき、その防災教育効果は絶大である。

g) まとめ

E ディフェンス試験体の下層 4 階に立て配管（6 種類の排水管と 2 種類の給水管）を設置して耐震実験を行った。加振後には、配管の接続部等に変形に伴う隙間などが観察されたが、とくに機能に影響する損傷は見られなかった。

種類の異なる間仕切り壁の損傷過程を述べた。

(c) 結論ならびに今後の課題

前年度実施した E-ディフェンス実験や既往研究をもとに、損傷状態に基づく各機能損失状況を検証する。また、超高層建物の被害が住民生活に与える影響、復旧時間に関する検討を行い、機能回復の観点から対策技術について検討する。得られた床応答実験結果をもとに、大振幅かつ長時間の揺れが室内の家具・什器の移動・転倒や居住者が心理状態に与える影響を分析・検証する。

(d) 引用文献

- 1) ALC 協会：ALC 取り付け構法基準、1982
- 2) 加藤美喜子・松宮智央・吹田啓一郎・松岡祐一・中島正愛：軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能と修復性の検証、日本建築学会構造系論文集、第 614 号、pp. 139、2007. 4.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
非構造間仕切り壁の損傷過程 －高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験－その7 口頭発表	関松太郎，長江拓也，鍾育霖，福山國夫，梶原浩一，井上貴仁，中島正愛，斉藤大樹	広島大学 2008年度日本建築学会大会（中国）	2008年9月	国内
排水と配水管系の耐震性 －高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験－その8 口頭発表	斉藤大樹，長江拓也，森田高市，平山昌宏	広島大学 2008年度日本建築学会大会（中国）	2008年9月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
なし				

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国内・外の別
なし				

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
応答スペクトル入力による建物被害個別推定システム	地震力を応答スペクトルで入力し、建物の階高から固有周期を求め、建物の被災程度を個別評価する。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 20 年度業務計画案

前年度実施した E-ディフェンス実験や既往研究をもとに、損傷状態に基づく各機能損失状況を検証する。また、超高層建物の被害が住民生活に与える影響、復旧時間に関する検討を行い、機能回復の観点から対策技術について検討する。