

前橋工科大学研究紀要, 第14号, 平成23年3月

# 耐震補強有・無の実大 RC3 層建物の振動台実験に関する 地球シミュレータを利用した解析的研究<sup>†</sup>

渡邊祐介\*1 金井喜一\*2 武田慈史\*3 鬼山倫幸\*3 丹羽一邦\*4 眞鍋慶生\*4 河西良幸\*5

## Analytical Study of RC 3-Story Buildings with and without Seismic Strengthening for Shaking Table Test using the Earth Simulator<sup>†</sup>

By

Yusuke Watanabe\*1, Yoshikazu Kanai\*2, Shigefumi Takeda\*3, Tomoyuki Oniyama\*3

Yoshio Manabe\*4, Kazukuni Niwa\*4 And Yoshiyuki Kasai\*5

This paper aims at examining performance of seismic strengthening effect of Reinforced Concrete(RC) buildings during an earthquake by computer analysis. In the analysis using LS-DYNA, the calculation was executed using the Earth Simulator. An analytical object was the shaking table test at E-defense on 3-story RC buildings that was performed in 2006 fiscal year. According to the computer analysis, it was found that deformation of RC building with seismic strengthening was about one-fifth smaller than that without seismic strengthening.

**Key words** : Seismic strengthening, LS-DYNA, The Earth Simulator, E-defence

### 1 はじめに

1995年、阪神淡路大震災により鉄筋コンクリート(以下RCと略す)建物の多くに破壊が生じた。これを期に、耐震診断・耐震補強がなされるようになり、実際の地震による耐震補強効果の確認と過大な地震による終局までの耐震余裕度の評価が重要となってきた。そのためには、実大規模の振動台実験と精密かつ詳細なモデルによる解析が有効であると考えられる。

そこで、本研究では平成22年度(独)海洋研究開発機構の地球シミュレータ(大規模ベクトル並列型スーパーコンピュータ)公募プロジェクトに採択されたことを機に、これを用いて地震時のRC建物の耐震補強効果について実大RC建物の振動台実験を例に解析を行うこととした。

### 2 解析概要

#### 2-1 建物概要

解析対象は(Fig.1参照)、平成18年度E-ディフェンスの振動台実験がなされたRC3層建物の無補強試験体と

補強試験体の2体<sup>1)~3)</sup>とした。

試験体は、1975年版のRC規準および1970年代当時の建築基準法・同施行令に準じて構造設計がなされた建物である。試験体の重量は屋上1,103kN、3階789kN、2階789kN、1階855kN、合計3,536kNである。各部材の断面は許容応力度設計に基づいて設計されており、RC躯体、付加錘、鉄骨計測治具類の重量は考慮しているが、仕上げ荷重及び積載荷重は考慮していない。

試験体の補強詳細をFig.1に示す。試験体は桁行き方向が外付け鉄骨ブレースによって補強され、全ての柱際腰壁に一面せん断型(スリット幅30mm、せん断破壊面50mm)の構造スリットが設けられている。

鉄骨ブレースは、座屈止めを設けないK型ブレースをX1、X3通り構面中央スパンの1階から3階まで通して躯体に取り付けている。補強ブレースを通すためバルコニーの床には開口を設け、バルコニー床面はあえて接合部に有効に働かないように切り離している。バルコニーの鉛直応力を考慮するとスラブ根元の開口は好ましくないが補強ブレースを優先させている。

† 原稿受理 平成23年3月1日, Received March 1, 2011

\*1 建築学科大学生 (Student, Department of Architecture)

\*2 環境・情報工学専攻大学院生 (Graduate Student, Department of Environmental and Information Engineering)

\*3 建築学専攻大学院生 (Graduate Student, Department of Architecture)

\*4 株式会社テラバイト (Terrabyte Co, Ltd.)

\*5 建築学科 (Department of Architecture)

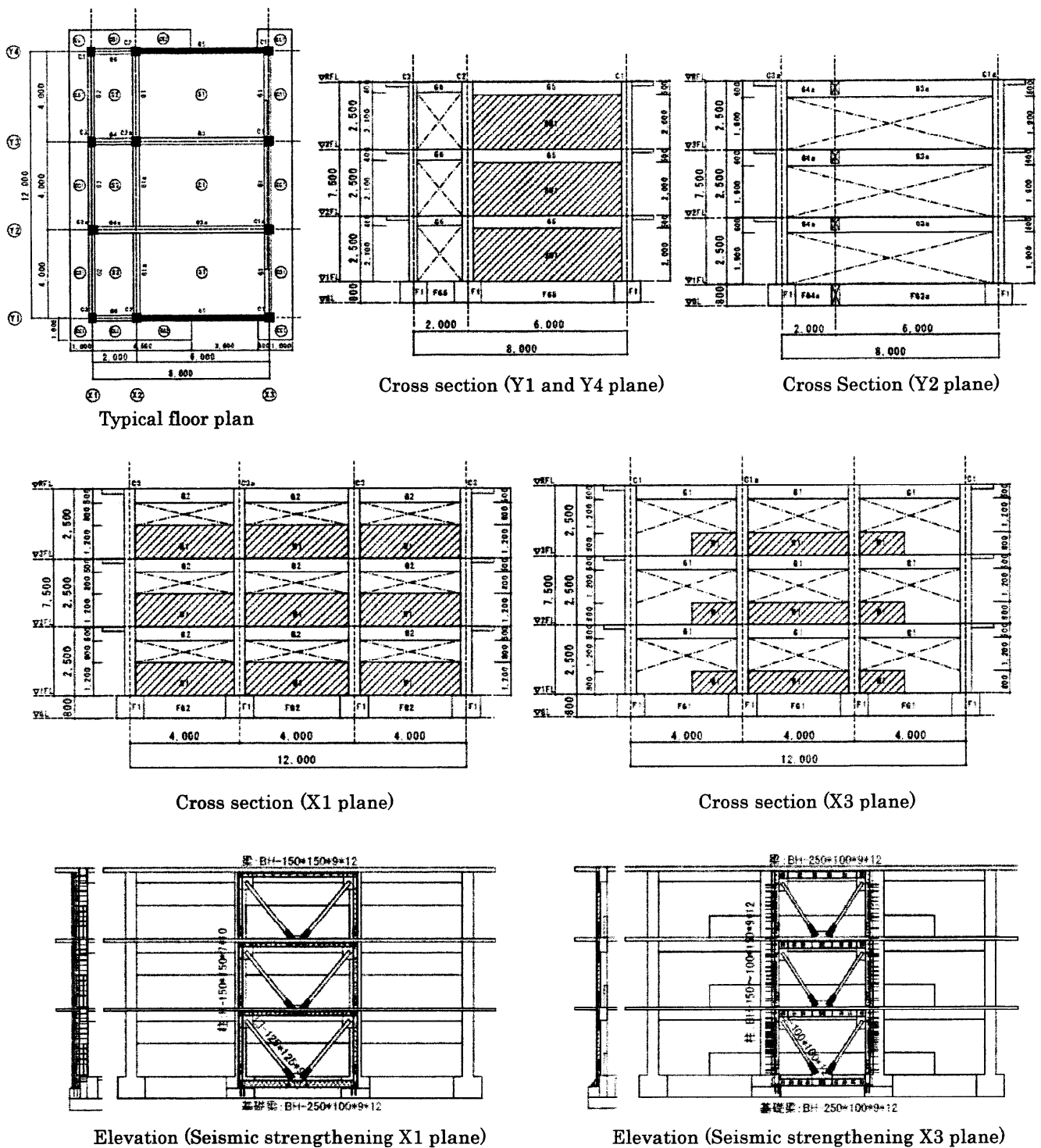


Fig.1 Typical floor plan, cross section and framing elevation<sup>1)~3)</sup>

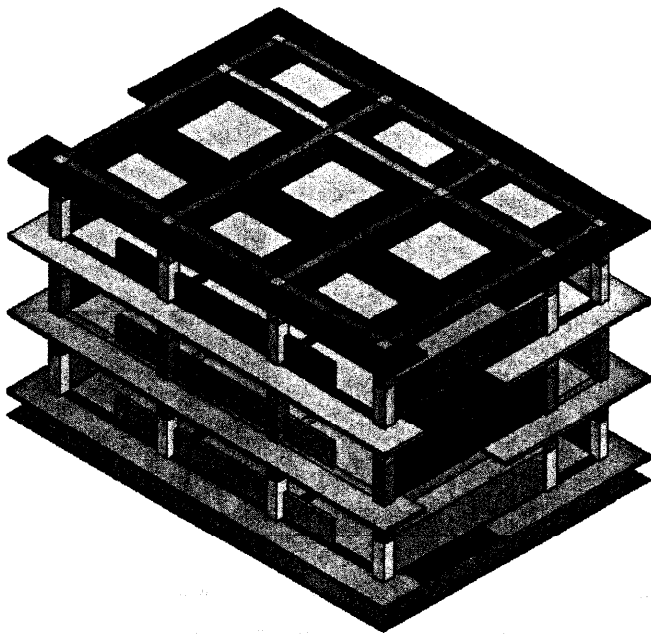
X1, X3 構面中央の基礎フーチング上面は、補強ブレス下枠が基礎梁の上半分に取り付くこととして、鉄骨柱部材を基礎上面にアンカーボルトで定着させる設計となっている。

## 2・2 解析概要

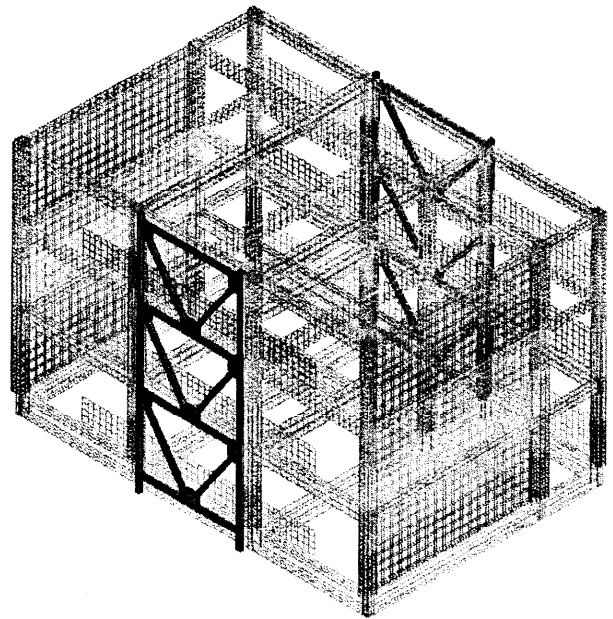
陽解法の衝撃解析ソフト LS-DYNA<sup>4)</sup>を用いて解析を行う。解析モデルを Fig.2 に示す。

解析モデルは、コンクリートをソリッド要素、鉄筋をビーム要素としてモデル化を行い、両者は節点を共有し完全付着とした。基礎部分には、剛体シェル要素を設置し完全固定とし、この剛体シェル要素に地震波の入力を行い建物の挙動を解析した。

無補強試験体の解析モデル規模は、コンクリート 547,132 要素、鉄筋 278,229 要素、剛体シェル 17,696 要素、合計 843,057 要素である。



(a) Without seismic strengthening



(b) With seismic strengthening—arrangement of reinforcement bar and steel bracing

Fig.2 FEM analytical model

一方、補強試験体の解析モデル規模は、コンクリートが 669,118 要素、鉄筋が 284,195 要素、剛体シェルが 20,944 要素、合計 974,257 要素である。

### 2・3 振動台実験の加振内容

加振実験<sup>1)~3)</sup>では、気象庁神戸海洋庁海洋気象台観測波<sup>5)</sup>(1995)を用い、振幅倍率を 10, 25, 50, 100%と漸増させ、最終的には倒壊を目的として振幅倍率 130%地震波の入力を行っている。加振方向は、NS 成分を Y 方向から 45° 回転させ、試験体の Y 方向が南西となるように入力している。これは、最終的な破壊が Y 方向に生じるようにしたためである。Table.1 に建物の被災度状況を示す。

本研究では、既加振による損傷のない、フレッシュな状態の無補強・補強試験体の動的挙動を把握するため、比較的大きな入力である上記地震波の振幅倍率 100% (Fig.3 参照) 対象とする。解析は、無補強・補強試験体共、0~1.0 秒の間で重力加速度を負荷させ、入力地震波は 1.0 秒から作用させた。解析時間は 8.0 秒とした。

Table1 Results for assessing damage<sup>1)</sup>

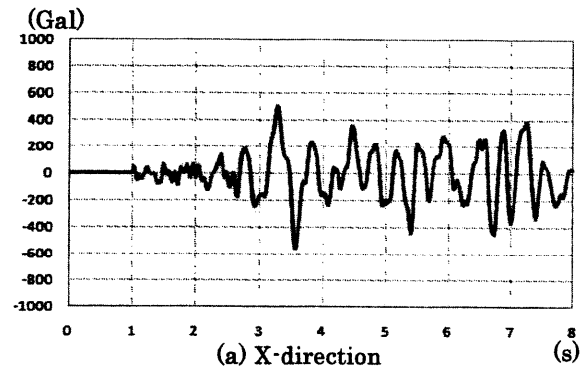
無補強試験体		補強試験体	
加振	被災度	加振	被災度
1 JMA 0.10	無被害	1 JMA 0.10	無被害
2 JMA 0.25	軽微	2 JMA 0.25	軽微
3 JMA 0.50	小破	3 JMA 0.50	軽微
4 JMA 1.00	小破	4 JMA 1.00	小破
*5 JMA 0.75	中破	5 JMA 1.00	小破
*6 JMA 1.00	倒壊	6 JMA 1.30	小破
		10 TAK 1.20	中破
		15 Sin wave	倒壊

\*JMA 0.75: 振幅倍率 100%を予定していたが、実質振幅倍率 75%

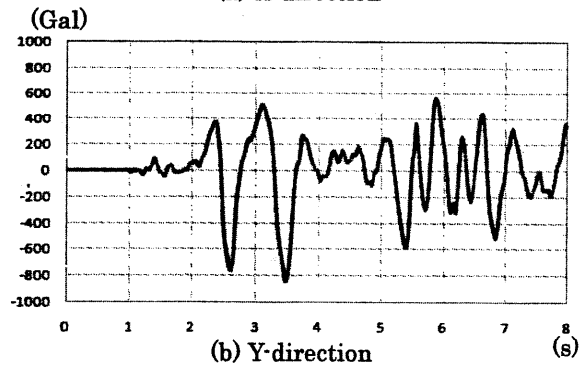
\*JMA 1.30: 振幅倍率 130%を予定していたが、実質振幅倍率 100%

JMA: JMA Kobe 地震波(1995), SINWAVE: 共振正弦波(5Hz)

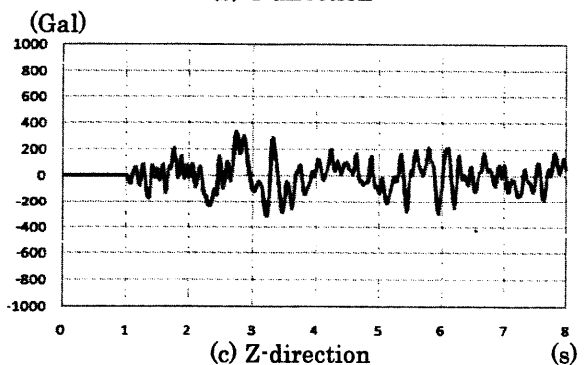
TAK: JR 鷹取駅地震波(1995)



(a) X-direction



(b) Y-direction



(c) Z-direction

Fig.3 Acceleration time history (JMA Kobe wave 100%)

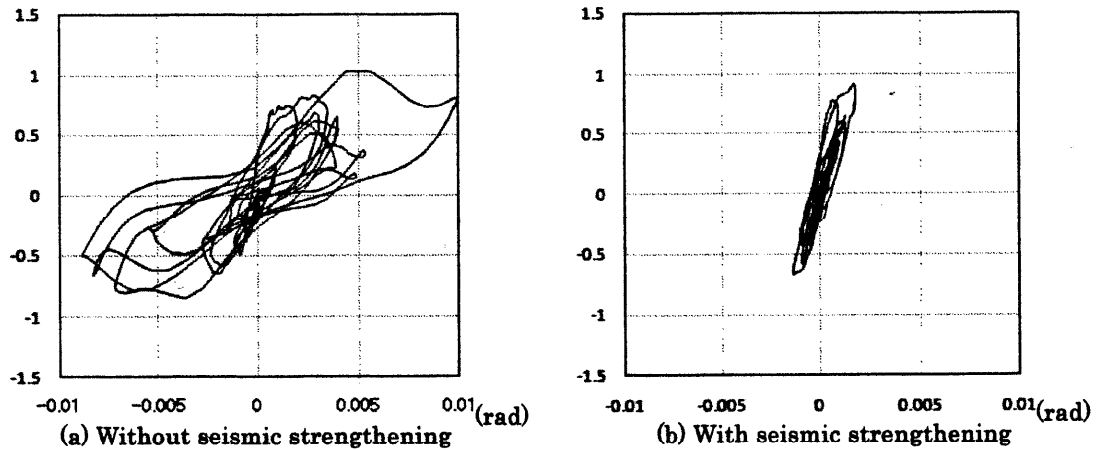


Fig.4 Story shear coefficient - story drift angle

Table2 Comparison between with and without seismic strengthening (Analysis results)

試験体	最大層間変形角(rad)	最大層せん断力係数
無補強試験体	0.00997	1.04
補強試験体	0.00181	0.92

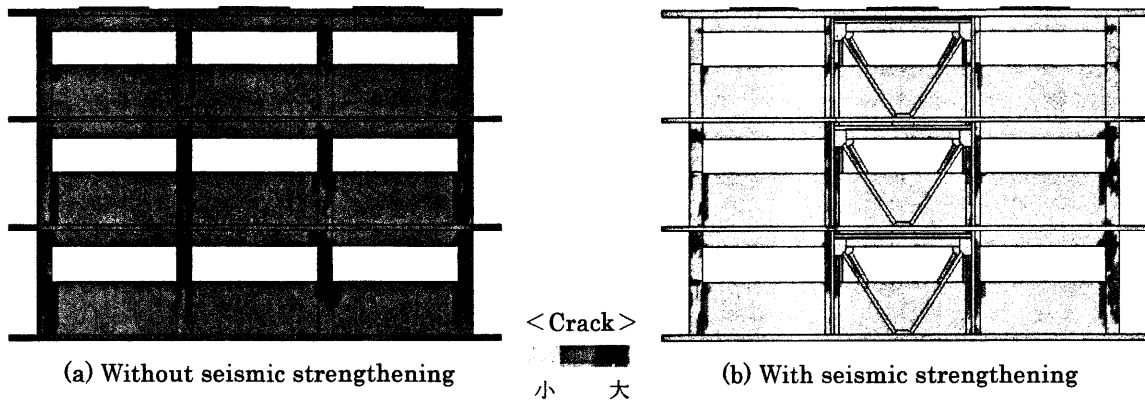


Fig.5 Comparative analysis of cracks

### 3 解析結果および考察

Fig.4に解析によるY方向1層の層せん断力係数-層間変形角の関係を示す。解析結果 (table2参照) から、最大層せん断係数では無補強・補強試験体にほとんど差はないが、最大層間変形角では、補強試験体の方が無補強試験体よりも約1/5に小さくなった。Fig.5に解析による地震波入力後(8.0秒)のコンクリートひび割れ発生状況を示す。Fig.5の結果から補強試験体の方が無補強試験体よりも短柱におけるひび割れがかなり小さいことが分かる。

このことから、地震時の動的応答からみても耐震補強により建物の耐震性能が向上したと言える。

### 4 まとめ

解析結果からも鉄骨ブレース補強によって建物の変形が抑えられ、補強効果を発揮していることが分かった。

### 5 謝辞

本研究を行うにあたり、平成22年度、(独)海洋研究開発機構の地球シミュレータ公募プロジェクト採択により地球シミュレータの使用が許可されたこと、(独)科学技術振興機構、研究成果最適展開支援事業フィージビリティスタディ(FS)ステージ、検索タイプ平成22年度採択課題での支援を頂いたことについて謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 壁谷澤寿海, 松森泰造, 壁谷澤寿一, 壁谷澤寿成, 「RC3層建物の振動実験概要」コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007.
- 2) 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 松森泰造, 壁谷澤寿一, 「実大振動実験による耐震補強効果の検証」コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007.
- 3) 壁谷澤寿一, 壁谷澤寿海, 松森泰造, 金裕錫, 「実大振動実験による基礎入力逸散の検証」コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007.
- 4) LS-DYNA (general purpose transient dynamic finite program), Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
- 5) 気象庁, 「87型電磁式強震計波形データ 1993~1997年3月(CD-ROM)」, 1995年1月17日5時46分神戸観測波.
- 6) 武田慈史, 金井喜一, 眞鍋慶生, 丹羽一邦, 河西良幸, 「陽解法衝撃解析コードのRC3層純ラーメン架橋振動台実験への適用」第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010年12月.
- 7) 金井喜一, 武田慈史, 眞鍋慶生, 丹羽一邦, 河西良幸, 「陽解法衝撃解析コードの実大6層鉄筋コンクリート建物の振動台実験結果への適用」第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010年12月.
- 8) 武田慈史, 金井喜一, 眞鍋慶生, 丹羽一邦, 成田悠, 坪田張二, 河西良幸, 「陽解法衝撃解析コードの実大6層鉄筋コンクリート建物の振動台実験結果への適用 その2」前橋工科大学研究紀要, 2011年3月.