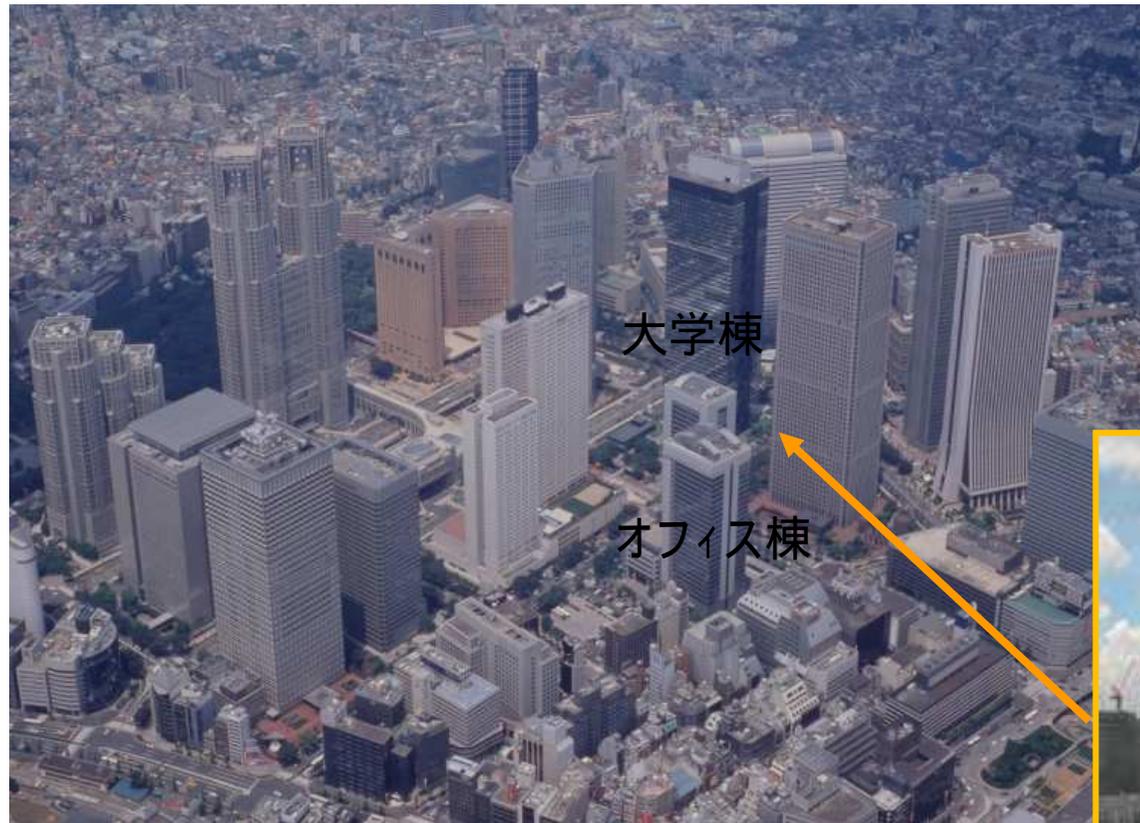


長周期地震動予報の活用について

長周期地震動に関する情報検討会(気象庁):2016年12月8日



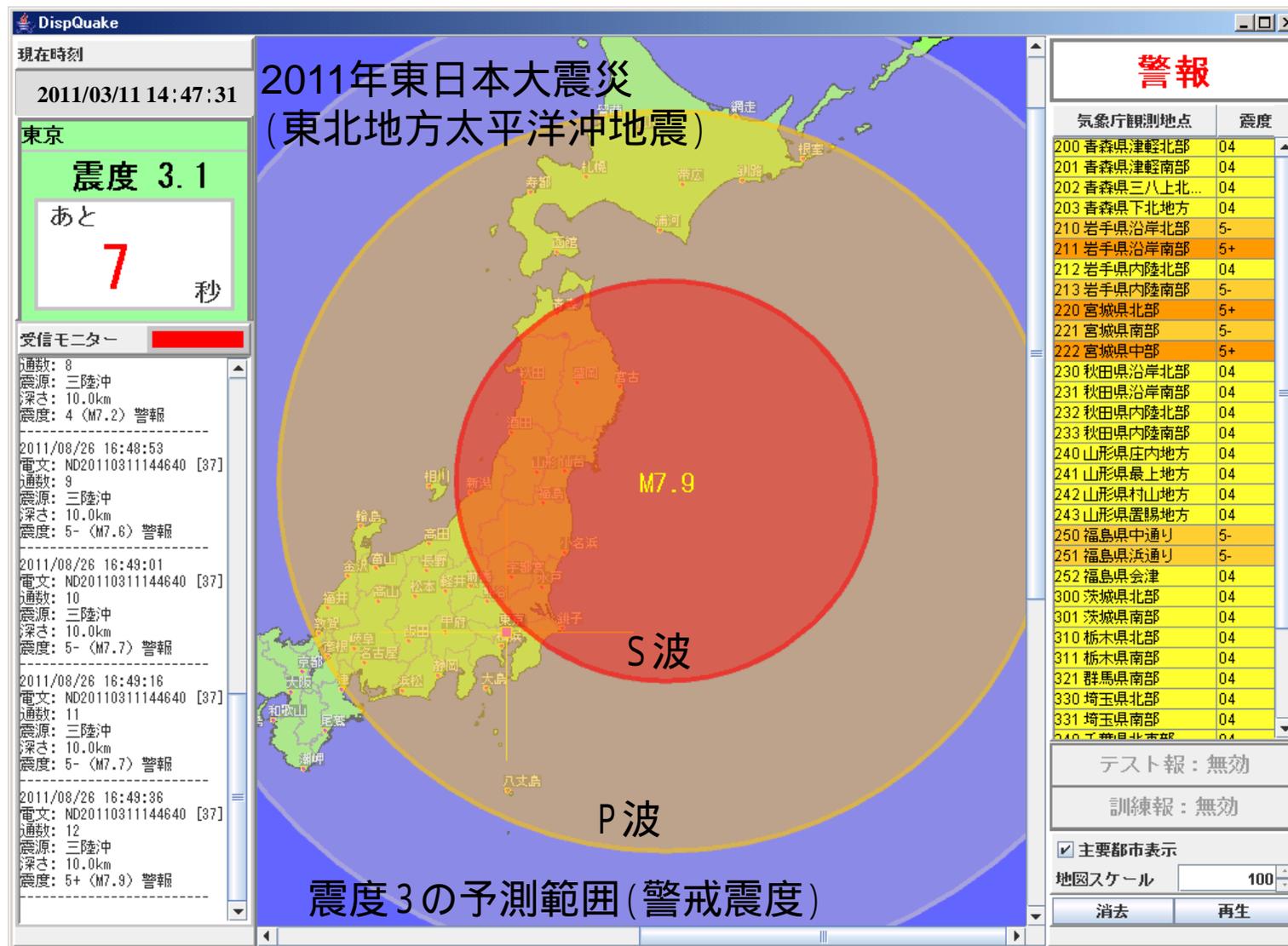
久田嘉章
(工学院大学建築学部)

概要

- 超高層建築(工学院大学)における事例紹介
2011東日本大震災時の状況など
- 新宿駅周辺地域における事例紹介
SIP防災「レジリエントな防災・減災機能の強化」との
連携など(内閣府・JST・多数機関、2014-2018)

緊急地震速報の表示画面

資料提供: 白山工業株式会社



→ 2011年東日本大震災の際、都内某超高層ビルの防災センターでは、普段見慣れた小さな円と異なり、巨大な円で、巨大地震を認識、速やかに初動体制を整備

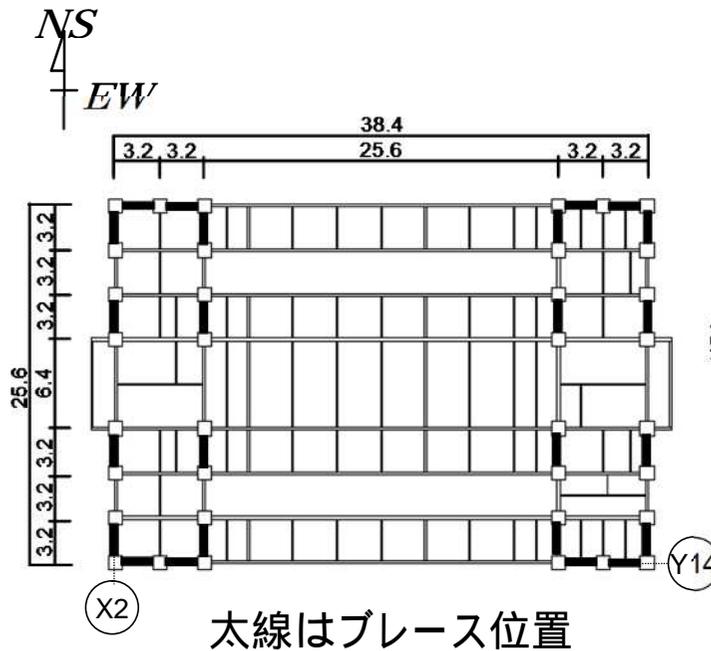
工学院大学新宿校舎の事例

- ・東西コアを結ぶ25.6mの大スパン梁
- ・EW方向16階、21階にスーパーフレーム

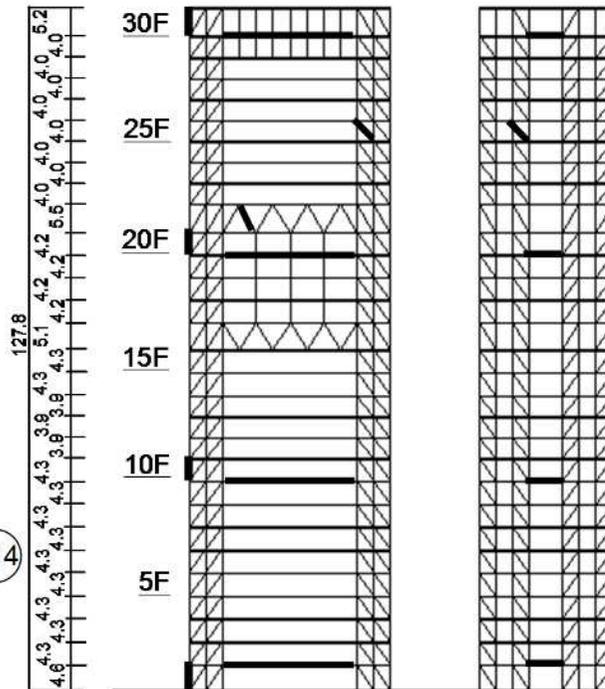
建物名称	大学棟(工学院大学高層棟)
建築場所	東京都新宿区西新宿
竣工念	1989年
基準階面積	1170m ²
階数	地上29階、地下6階、塔屋1階
アスペクト比	NS:5.59、EW:3.73
構造種別	地上:鉄骨造(ブレース付ラーメン架構)
	地下1~2階:鉄骨鉄筋コンクリート造
	地下3~6階:鉄筋コンクリート造

固有周期(秒)

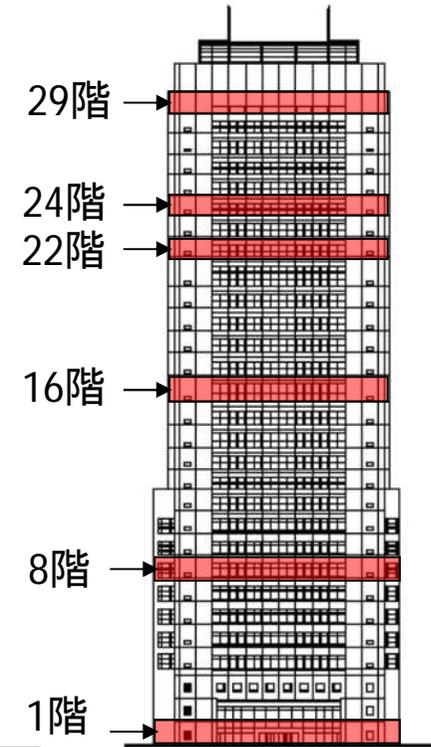
	微動		構造計算書	
	NS	EW	NS	EW
1次	2.8	2.6	3.3	3.1
2次	0.83	0.87	1.08	1.08



基準階伏図

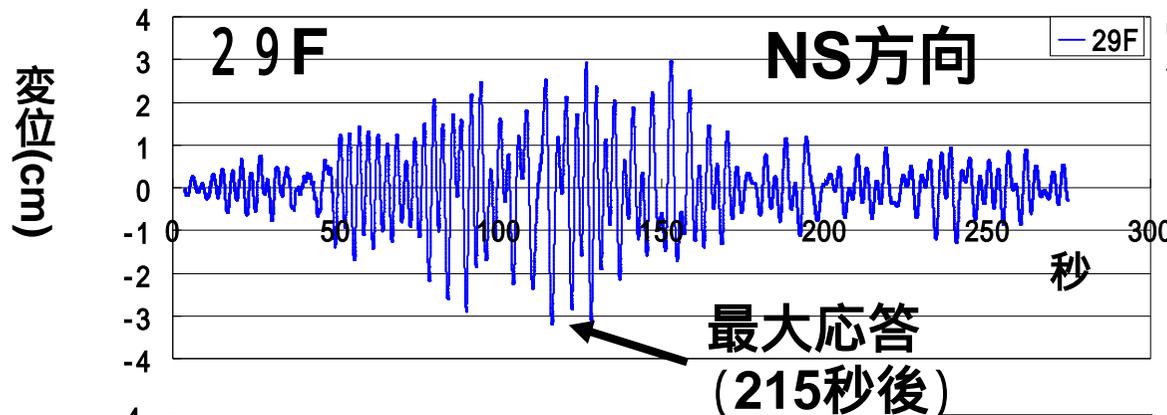


軸組図(左Y14、右X2通り)



地震計設置階

2004年9月5日紀伊半島南東沖地震(M7.4) 新宿における長周期地震動(K-Net新宿と工学院大学)



震源情報

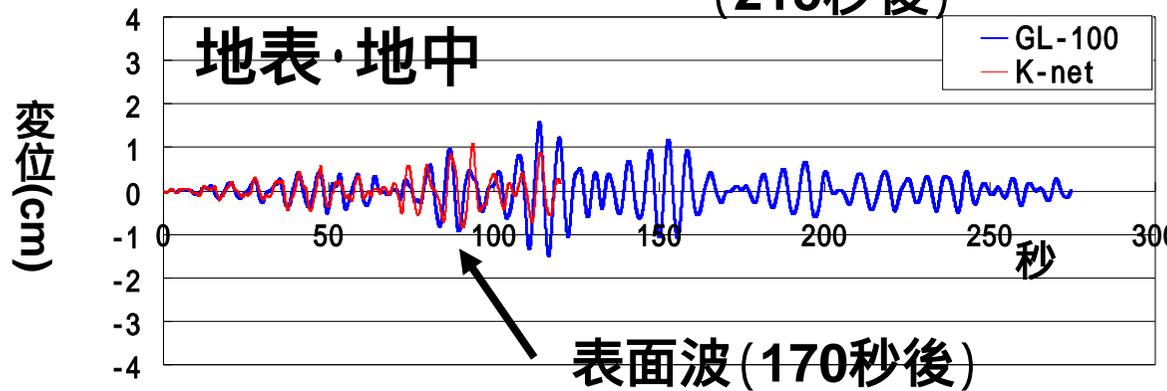
2004年9月5日:23:57:17

Mw:7.5 深さ:44 km

震央距離:約270km

K-Net (新宿)

観測時刻:23:58:57(100秒後)



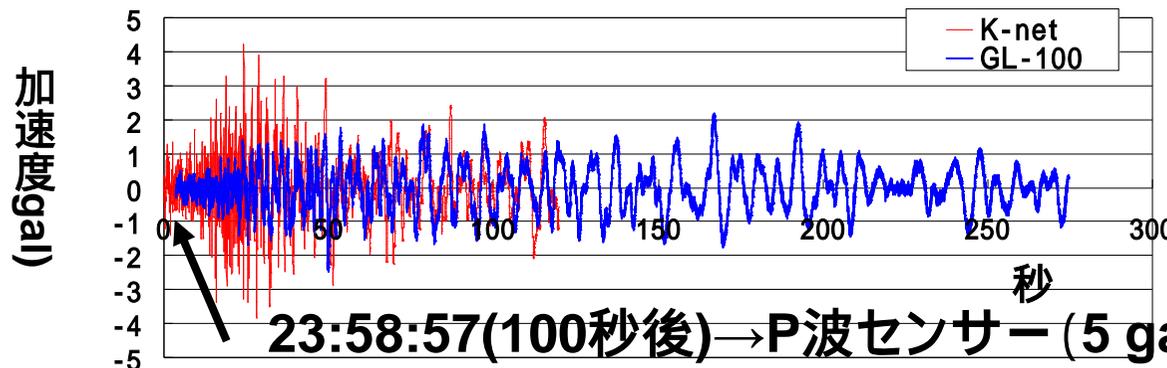
緊急地震速報

到達予測時間:

P波:約52秒後、S波:約91秒後

表面波

到達時間:約170秒後



最上階の最大応答

到達時間:約215秒後

緊急地震速報・長周期地震動予測結果を活用した エレベーター管制運転のフロー（試験運用）

特低：P波センサー(地下Pit)で5gal
 低：S波センサー(PH階)で40gal
 高：S波センサー(PH階)で80gal

工学院大学・非常用EVの例

地震動が到達するまで
信号を送り続ける

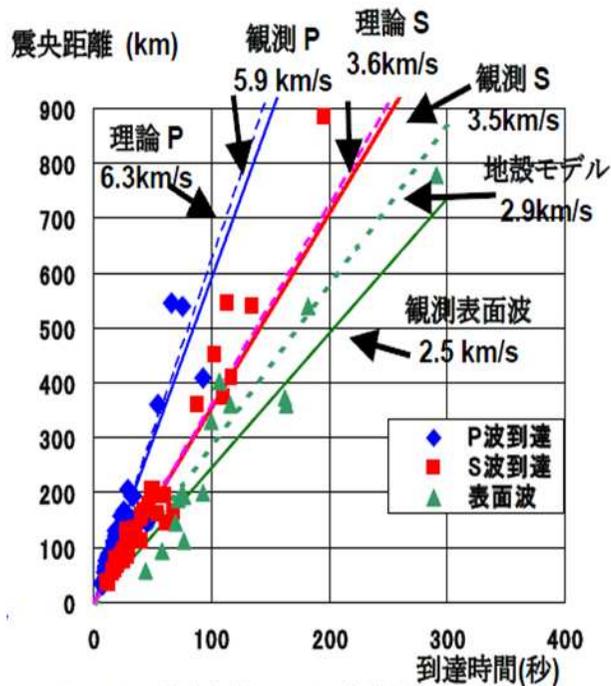
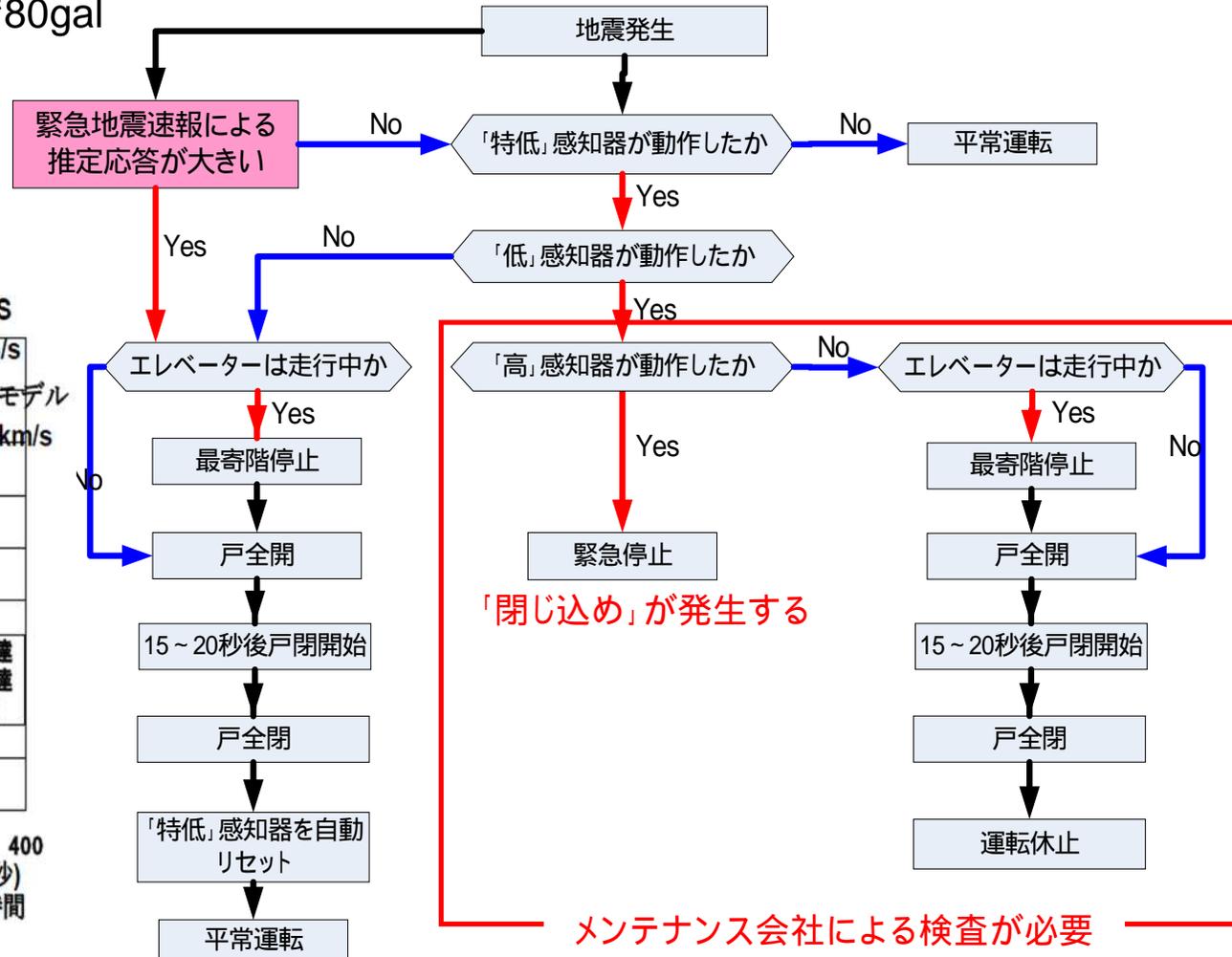


図 10: 工学院大学における観測記録の到達時間



工学院大学新宿キャンパスにおける対策事例

東日本大震災時の緊急地震速報・長周期地震動予測(25階)

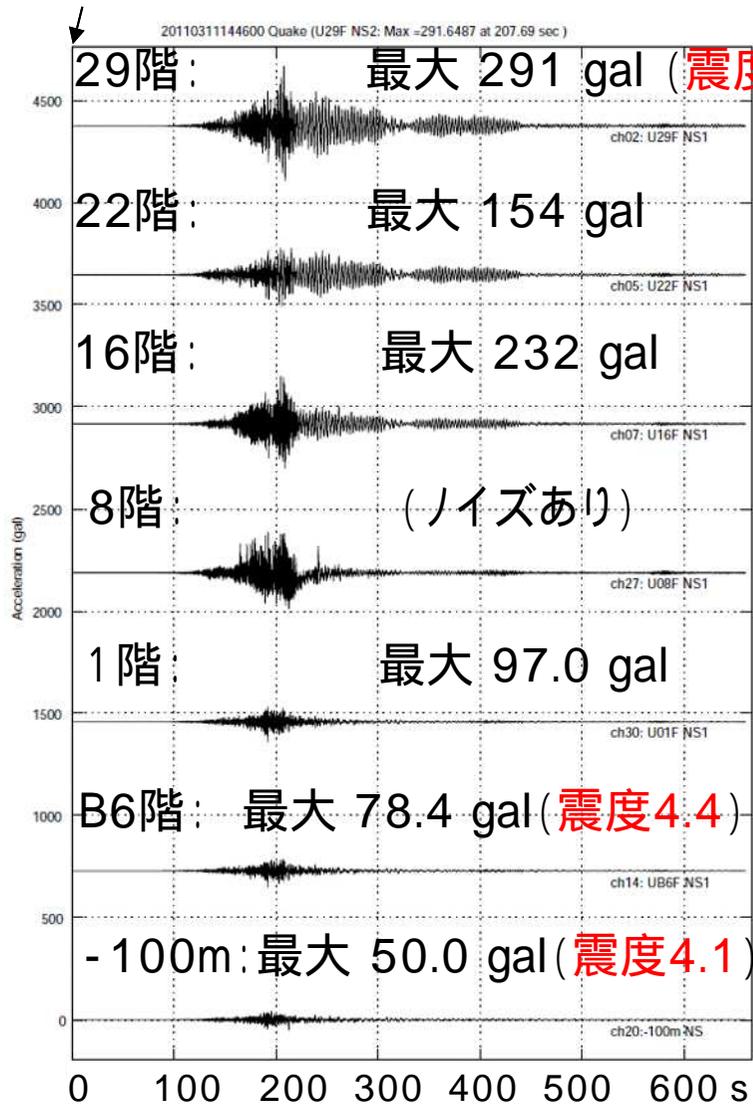


→ P波・S波に加え、表面波(長周期地震動)の到達予想時刻も表示

技術協力:防災科学技術研究所

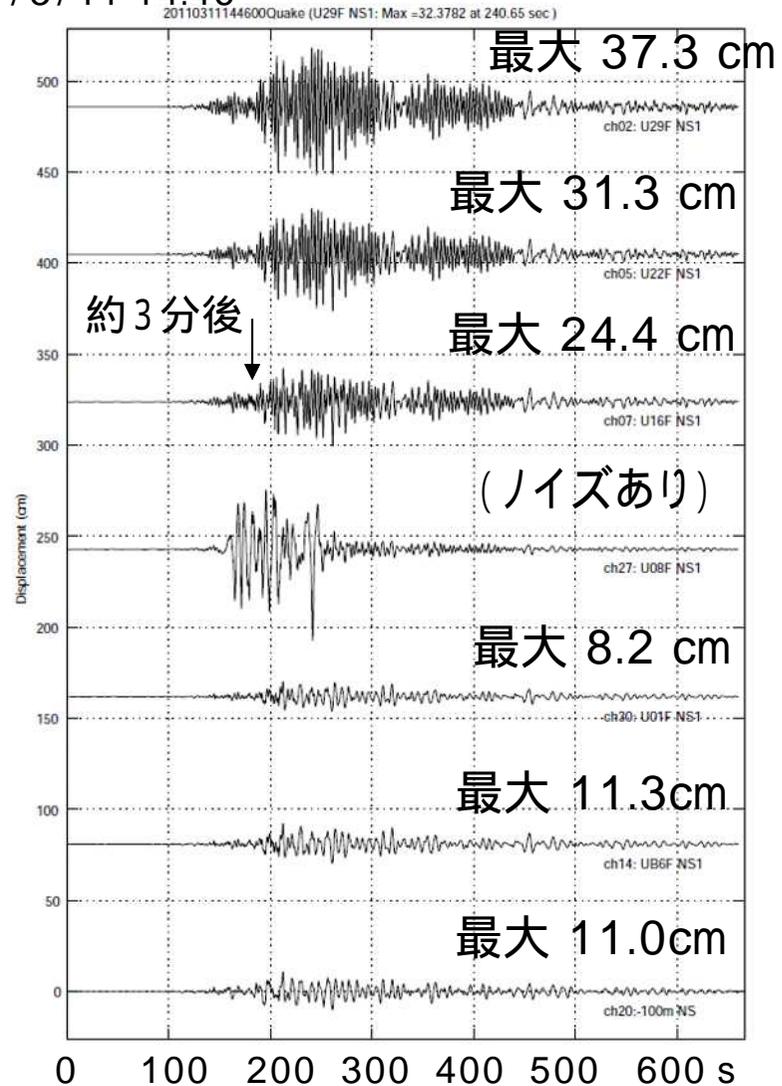
2011年東日本大震災(本震)による揺れ -工学院大学・新宿校舎の加速度と変位波形-

2011/3/11 14:46



南北方向の揺れ: 加速度 (短周期地震動)

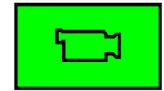
2011/3/11 14:46



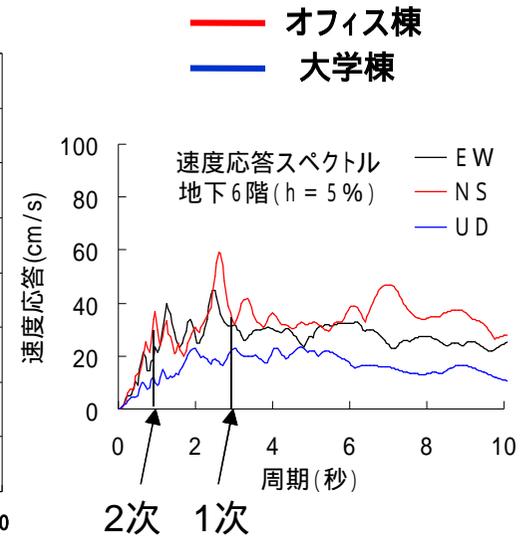
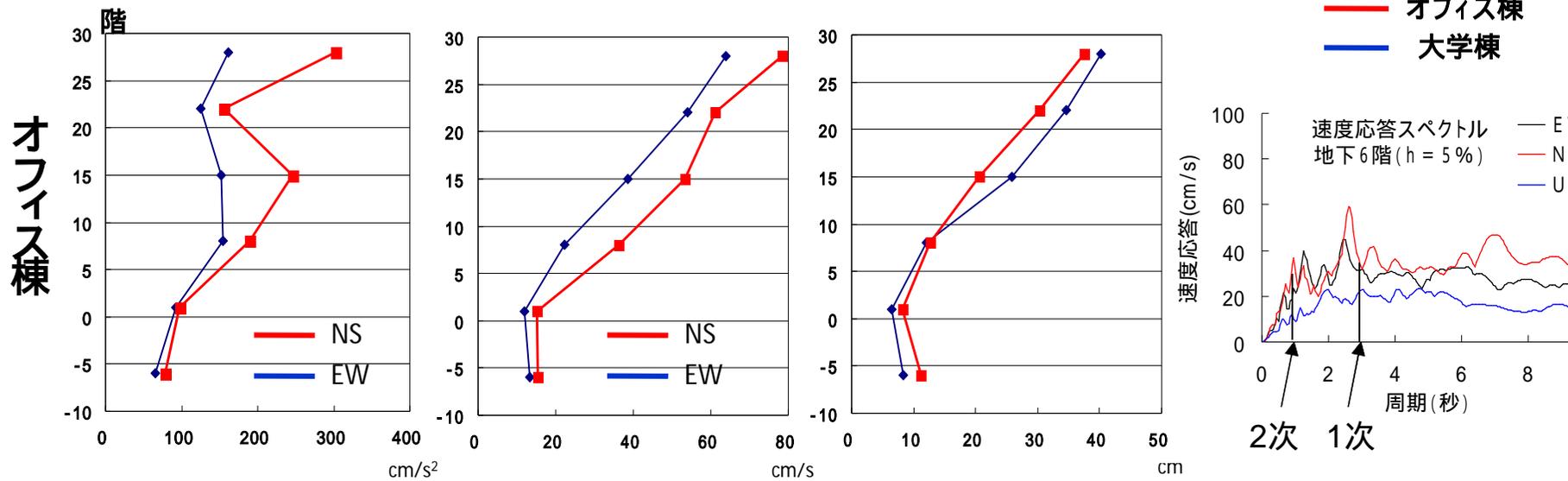
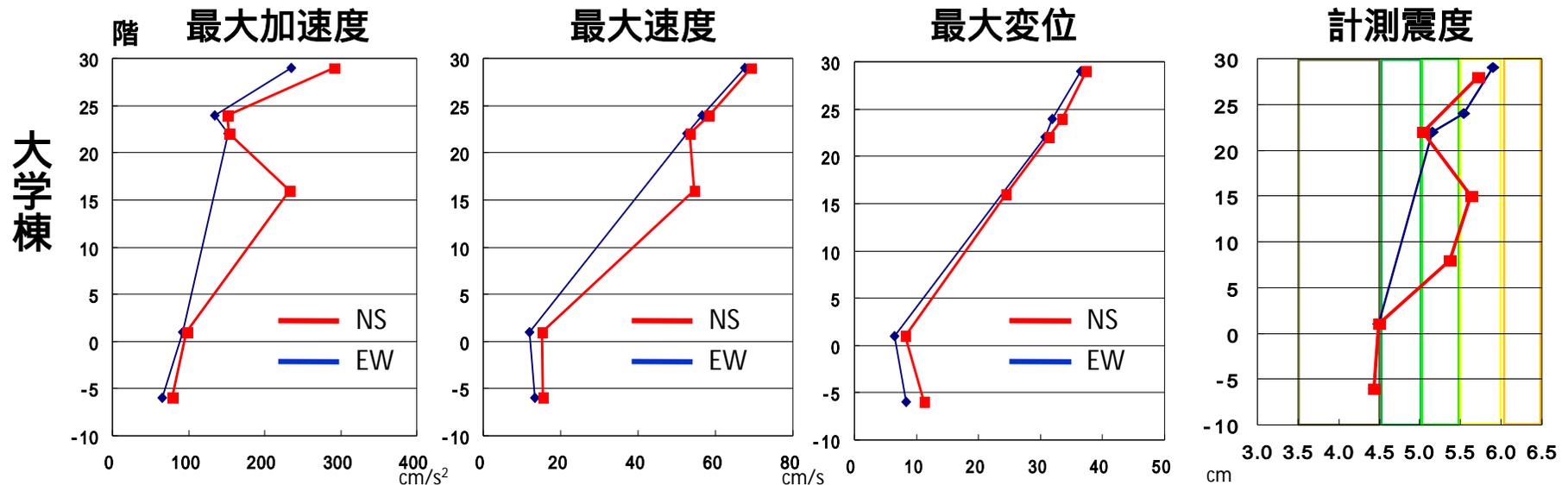
変位 (長周期地震動)

工学院大学新宿キャンパスでの揺れ

(最大加速度、最大速度、最大変位、計測震度)



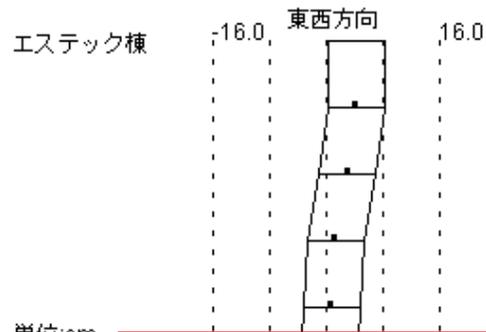
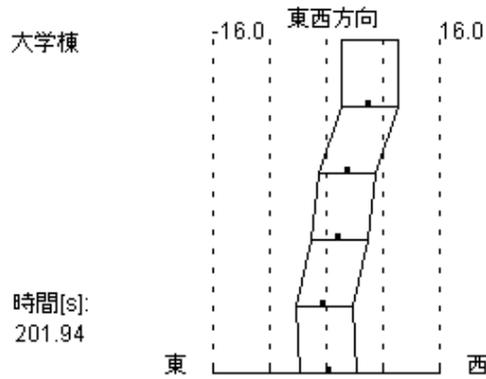
3D揺れ



工学院大学新宿キャンパスにおける対策事例

東日本大震災による建物被災モニタリング結果

2011/03/11 14:46:00 建物振動状況



単位:cm

色	簡易震度	層間変形角	説明
赤	6弱以上	1/100以上	被害が出ている可能性があります
黄	5弱~5強	1/200~1/100	軽微な被害が出ている可能性があります
青	0~4	1/200以下	大きな被害は出ていないと思われます

2011/03/11 14:46:00 簡易震度と層間変形



簡易震度:
最大加速度と最大速度から計算

層間変形角:
センサー設置階の変位とセンサー間の階高から算出

簡易震度と層間変形の説明

色	簡易震度	層間変形角	説明
赤	6強以上	1/50以上	被害が出ている可能性があります
黄	5弱~6弱	1/200~1/50	軽微な被害が出ている可能性があります
青	0~4	1/200以下	大きな被害は出ていないと思われます

2011年東日本大震災における 工学院大学の被害状況と対応(新宿:震度5弱)



28F (天井パネルの落下)



24F(本棚の転倒、間仕切り壁の大変形)



14F (天井パネルの落下)



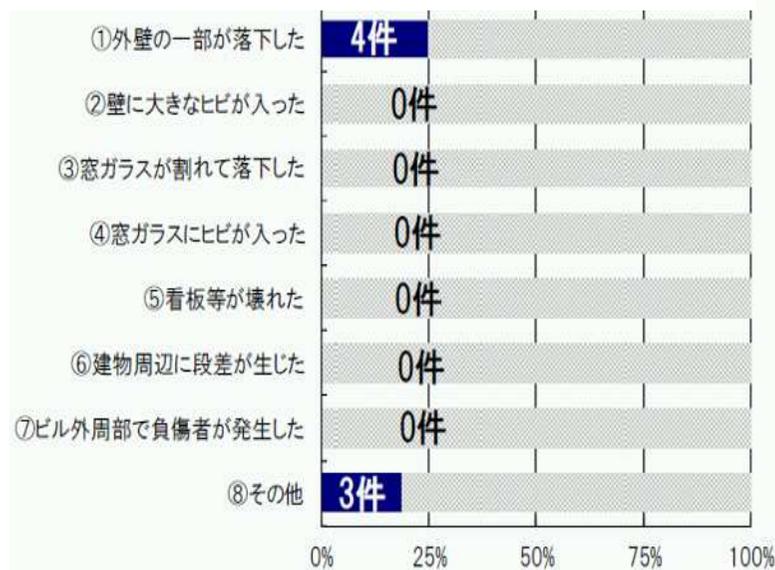
駅周辺の大混乱



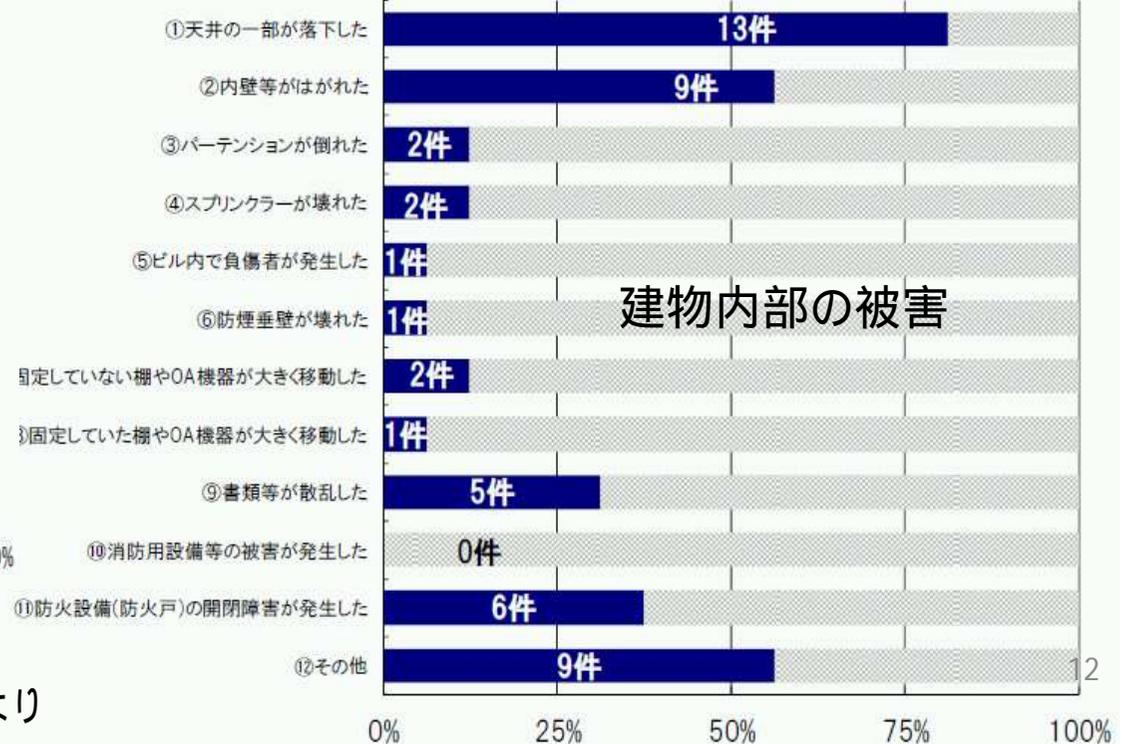
帰宅困難者の受入(約700名)

新宿駅西口地域の超高層建築 被害・対応に関するアンケート・ヒアリング調査 (回答: 16ビル・23テナント)

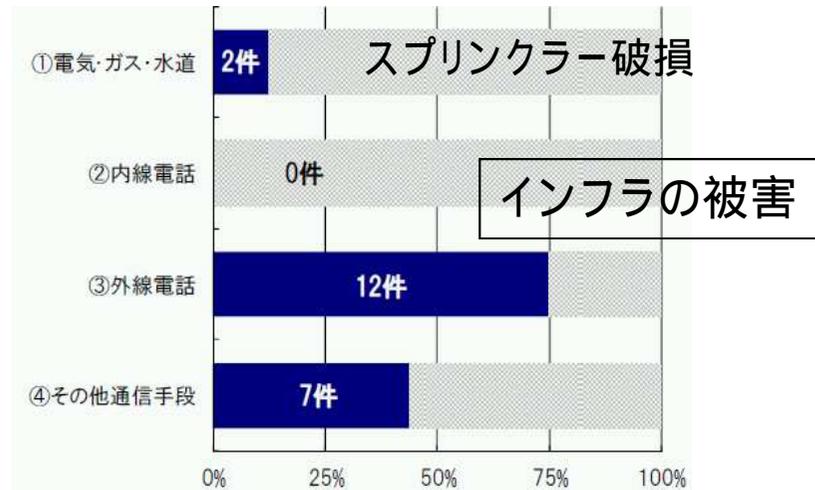
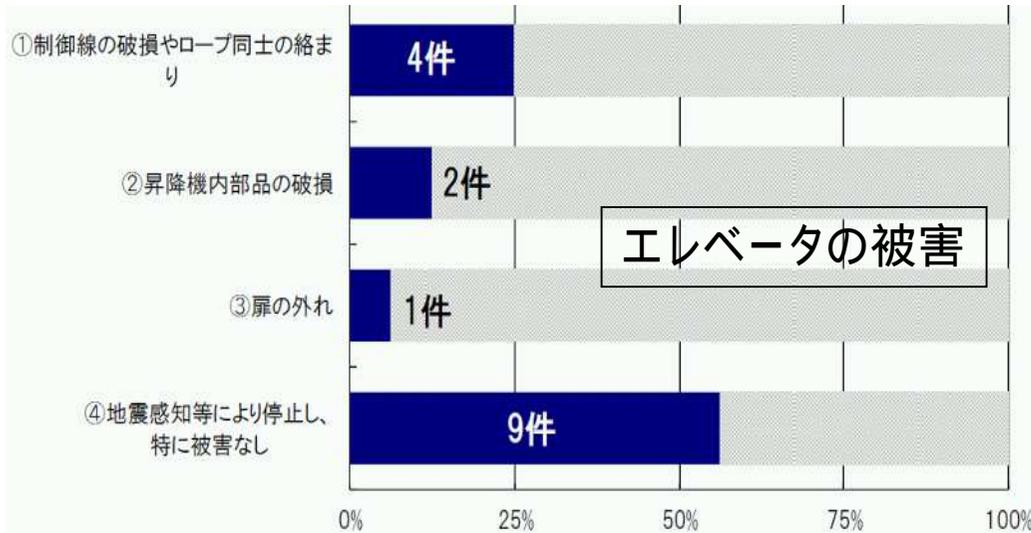
ビル名	竣工年代	地上(階)	入居テナント(社)	制震機構	ビル名	竣工年代	地上(階)	入居テナント(社)	制震機構
Aビル	1990年代	20階以上	200以上	回答なし	Iビル	2000年代	20階以上	10~100	有
Bビル	1980年代	20階以上	10~100	無	Jビル	2000年代	20階以上	10~100	有
Cビル	1970年代	20階以上	10~100	無	Kビル	1970年代	20階以上	10未満	無
Dビル	1990年代	20階以上	10~100	有	Lビル	1980年代	20階以上	10未満	無
Eビル	1990年代	20階以上	10~100	無	Mビル	1980年代	20階以上	10~100	回答なし
Fビル	1990年代	20階以上	10~100	有	Nビル	1980年代	20階以上	10~100	無
Gビル	1970年代	20階以上	10~100	有	Oビル	1970年代	20階以上	10未満	無
Hビル	2000年代	20階未満	10~100	有	Pビル	1980年代	20階以上	10未満	無



建物外部の被害



新宿駅西口地域の超高層建築 被害・対応に関するアンケート・ヒアリング調査 (回答: 16ビル・23テナント)



管理会社による館内放送の内容

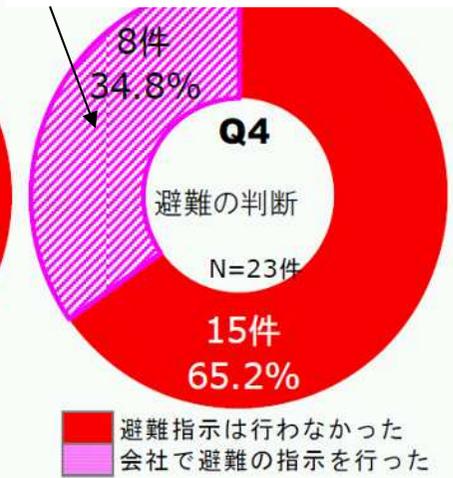
項目	詳細
地震に関する事項	地震発生
	余震の発生注意喚起
	建物等の被害状況
建物設備状況	ガス停止
	空調設備機器の点検状況
	エレベータの運行停止
安全確保	個人の身の安全確保
	建物内が安全であること
帰宅困難者対応	避難所の設置情報
	周辺交通機関の状況
	ビル内への宿泊
	備蓄品の配布状況

理由: 火災なし、耐震補強していた、システムが稼動した

理由: 従前の計画、倒壊が不安

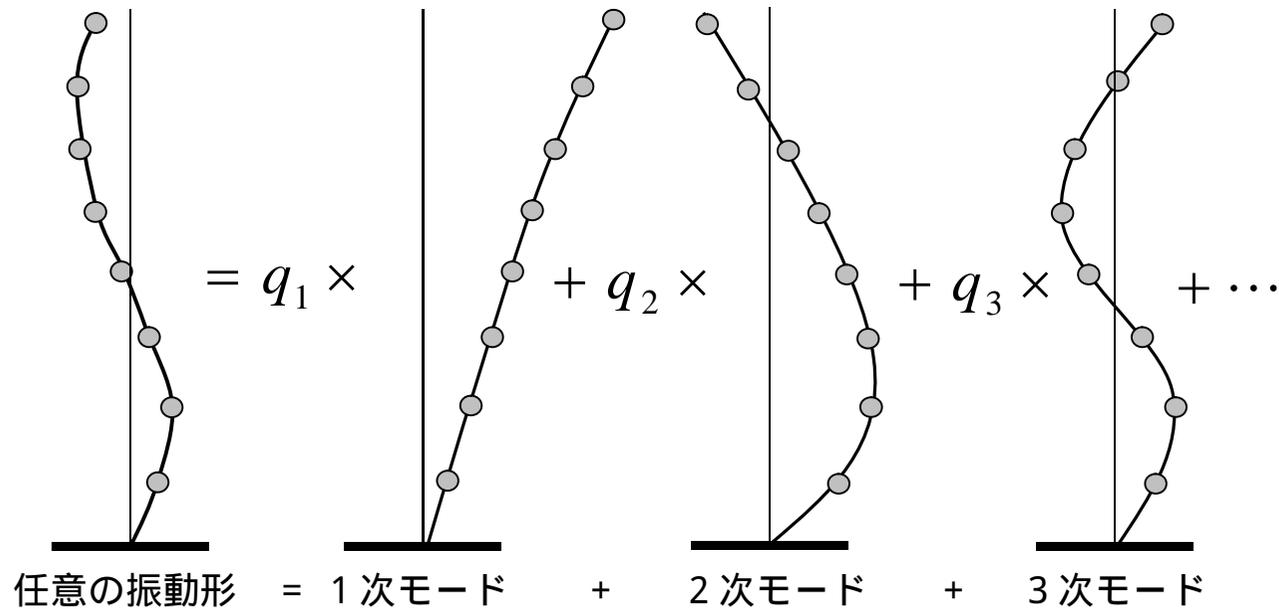


管理会社



テナント

長周期地震動予報(応答スペクトル)による高層建物の地震 応答推定: 応答スペクトル法(二乗和平方根法・SRSS法)



$$\{X\} = \sum_{i=1}^n q_i \beta_i \{U_i\} \approx q_1 \cdot \beta_1 \{U_1\} + q_2 \cdot \beta_2 \{U_2\} + q_3 \cdot \beta_3 \{U_3\}$$

$\{X\}$: 任意の振動形 $\beta_i \{U_i\}$: i 次モードの刺激関数

q_i : i 次モードの固有周期・減衰定数の1質点系の地震応答解

$$\{X\}_{\max} \approx \sqrt{(S_1 \cdot \beta_1 \{U_1\})^2 + (S_2 \cdot \beta_2 \{U_2\})^2 + (S_3 \cdot \beta_3 \{U_3\})^2}$$

S_i : i 次モードの固有周期・減衰定数の地震応答スペクトル値

応答スペクトル法で用いる高層建築各種パラメータの経験式 (可能であれば、構造計算書・実測値が望ましい)

固有周期の推定^{1)~3)}

$$T_1 = 0.11 \times N \quad \dots (1)$$

$$T_2 = 1/3 \times T_1 \quad \dots (2)$$

$$T_3 = 1/5 \times T_1 \quad \dots (3)$$

N:建物の地上階数

- 1) 市村将太, 他: 鋼構造超高層建築物の設計用パラメータに関する研究その1、剛性分布・固有周期・ベースシャー係数日本建築学会、1999
- 2) 市村将太, 他: 超高層鋼構造建物の弾性設計用パラメータに関する研究(その1)、各パラメータの定式化日本建築学会2000年
- 3) 日本建築学会: 建築物の減衰2000年pp.131-137

減衰定数の推定⁴⁾

$$h_1 = 0.81 \times f_1 + 1.05 \quad \dots (4)$$

f_1 : 1次固有振動数(Hz)

- 4) 横田治彦, 他: 振動試験および地震観測データに基づく鉄骨造高層建物の減衰性状 日本建築学会構造系論文報告集第453号pp.77-841993.11

応答スペクトル(h=5%)の補正

$$\text{告示式 } Fh = \frac{1.5}{1+10h} \quad \dots (5)$$

大宮・久田(日本建築学会大会、2014)より

刺激関数の近似⁵⁾

$$Xx1 \cdot \beta1 = -0.37n^2 + 1.86n - 0.06 \quad \dots (6)$$

$$Xx2 \cdot \beta2 = -3.04n^2 + 2.27n + 0.01 \quad \dots (7)$$

$$Xx3 \cdot \beta3 = 7.53n^3 - 10.11n^2 + 3.10n - 0.03 \quad \dots (8)$$

$$n = xl \quad \dots (9)$$

x:対象の階、l:建物の階数

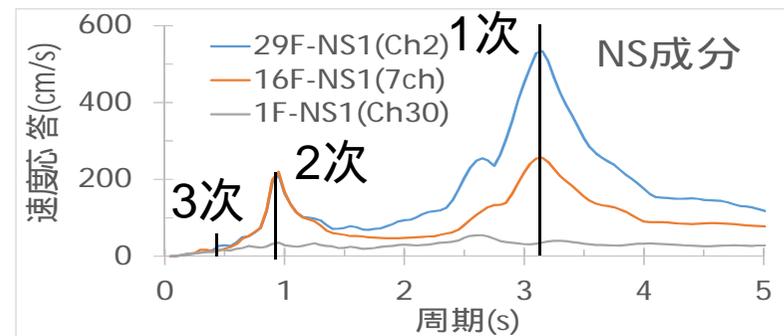
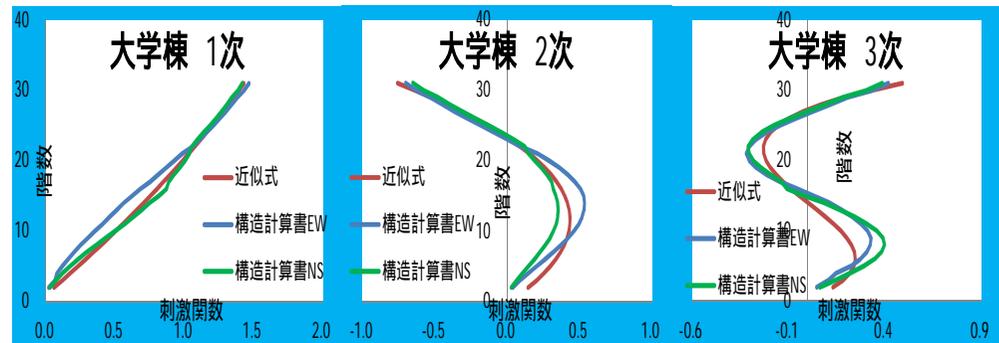


図 工学院大学で観測された東北地方太平洋沖地震の速度応答スペクトル(h=5%)

結果・観測との比較 (東日本大震災時の工学院大学・新宿校舎)

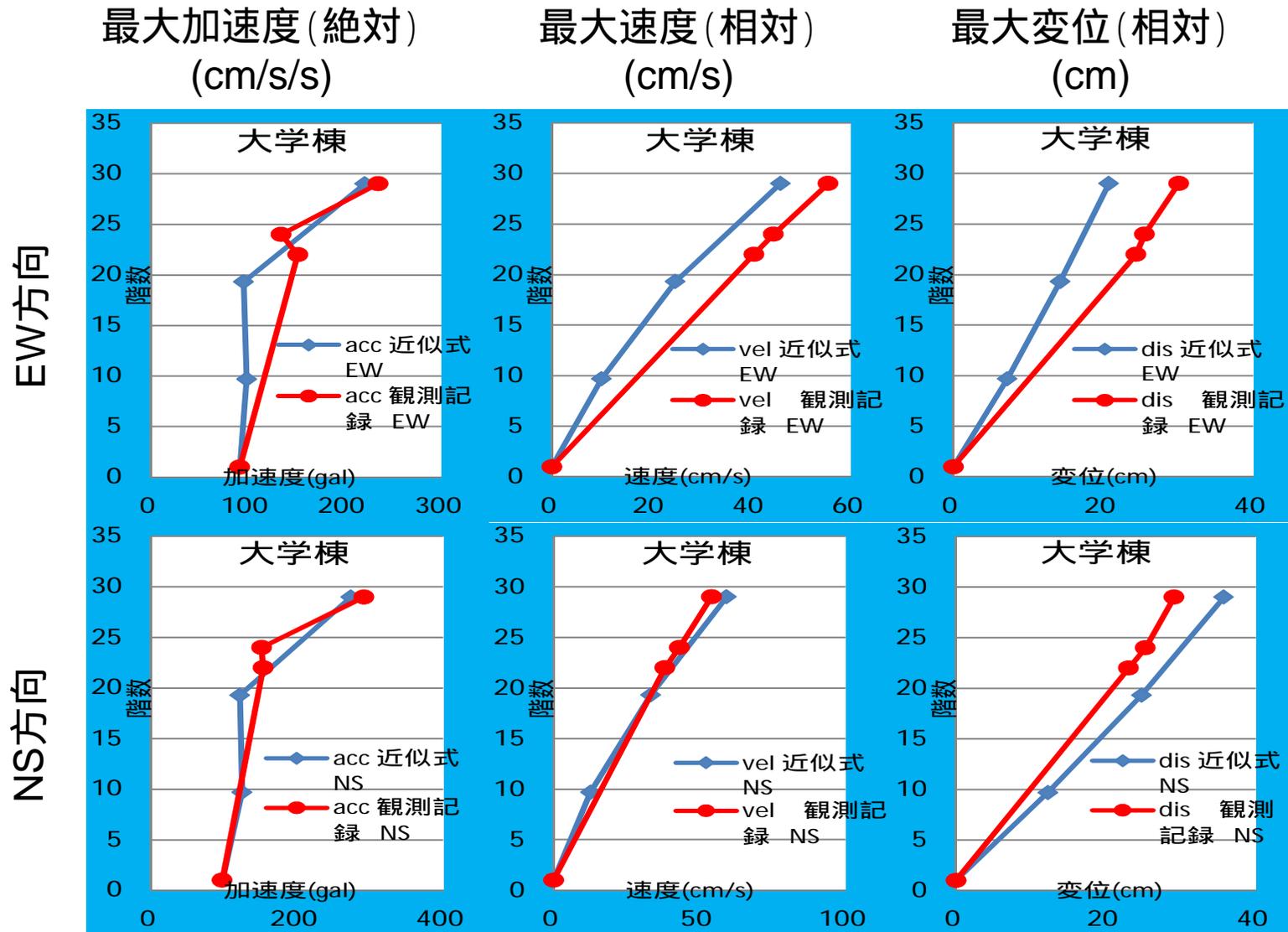
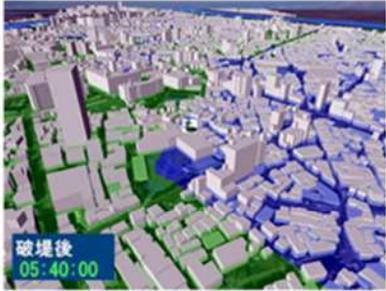


図3 結果と観測記録との最大値比較

SIP防災 -2・サブテーマ1：巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発

エリア特性に応じた複合災害の予測技術の開発



震災・水害・複合災害の想定



エリア災害予防のためのアプリケーションの開発



被災レベルに対応した事前行動計画の策定



災害関連情報(SIP防災): 揺れ・被害想定・豪雨等
テストフィールド: 新宿駅・北千住駅周辺エリア

配信

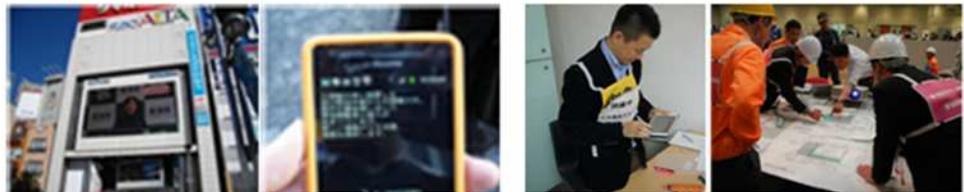
エリア災害対応支援アプリケーション開発



対応支援サーバーの開発 受信アプリの開発

配信

受配信



来街者・従業員・市民
(サイネージ、スマホ等)

災害対応従事者
(タブレットPC、PC等)



協力・連携: 新宿駅周辺防災対策協議会・都市再生安全確保計画(行動計画・指針の作成、社会実装)、都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト
(災害対応力向上のための教育訓練プログラム開発)

災害関連情報：観測点強震動指標・250mメッシュ震地情報 (防災科学技術研究所より提供)

○観測点強震動指標

(2015年から新宿で利用開始)

防災科研観測点強震動指標(主な情報)

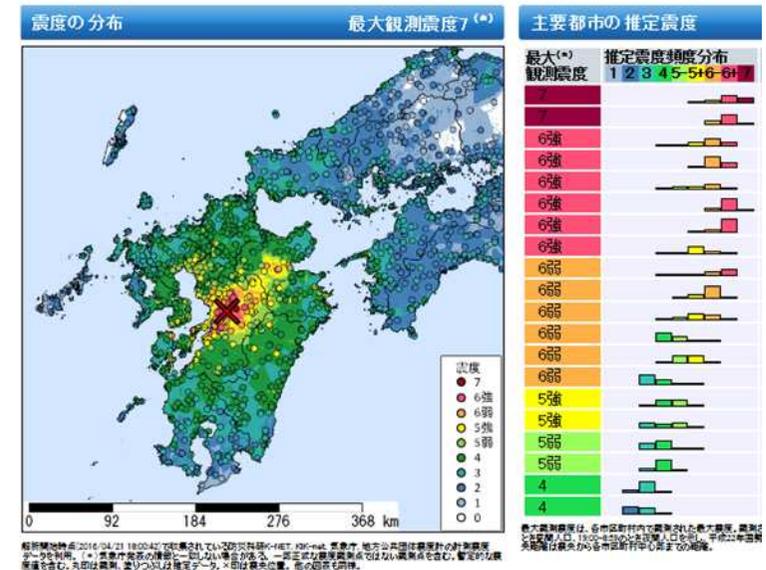
- ・送信開始時刻、観測点コード
- ・地震動最大加速度・速度
 - ・計測震度(短周期地震動)
- ・SI値
- ・加速度応答スペクトル(周期0.25～8秒)、
- ・絶対速度応答スペクトル(周期1.6～7.8秒)、
- ・長周期地震動階級(1～4)
- ・地震動継続時間リスト(リアルタイム震度用)

○250mメッシュ震地情報

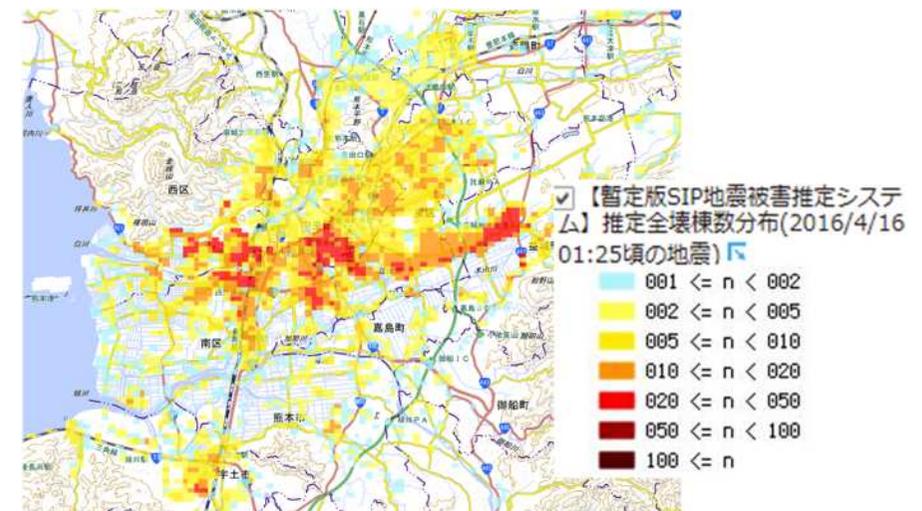
(2016年から新宿で使用予定)

- ・SIPより提供される面的地震動・建物被害推定データ(随時更新予定)
- 提供先はエリアの災害対応従事者を想定(広域被害情報、帰宅先・支店等の推定など)

M 7.1, 震源地:熊本県熊本地方, 深さ約10km, 2016/04/16 01:25頃発生(気象)



2016年熊本地震本震の震度分布



2016年熊本地震本震の全階家屋数推定⁸

震災時地域情報の提供（スマホ画面）


戦略的イノベーション創造プログラム
 Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

エリア災害対応支援アプリケーション
 （一般ユーザ）

新宿マップ
 関連情報

発災 → 残留退避 → 滞在 → 帰宅

行動指針 | 鉄道運行 | 一時滞在施設 | 医療機関

10時0分、
 江東区:築館：震度6.6（最大）

新宿：震度4.8

行動指針

新宿駅周辺地域の就業者・通学者の対応
 →所属組織で原則待機を継続し、各組織の自衛消防活動に協力する
 →一時滞在施設へ移動が必要な場合、施設情報を確認して移動する
[施設位置図](#)

一般の来街者の対応
 →施設情報を確認し、支援が必要な方を優先して一時滞在施設へ移動する
 →交通機関が復旧するまで、一時滞在施設で滞在する
[施設位置図](#)

過去地震情報 | 設定 | 更新


戦略的イノベーション創造プログラム
 Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

エリア災害対応支援アプリケーション
 （防災従事者A）

新宿マップ
 関連情報
 推定情報

施設危険予測
 高層階 4
 中層階 3
 低層階 2

発災 → 残留退避 → 滞在 → 帰宅

行動指針 | 鉄道運行 | 一時滞在施設 | 医療機関 | 被害情報

10時0分、
 江東区:築館：震度6.6（最大）

新宿：震度4.8

一時滞在施設情報 | エリア別表示▼

	種別	施設名称	受入	判定
11	公共	区立角筈区民センター	100-149人	安全
1	公共	淀橋市場	250-299人	確認中
2	公共	総合芸術高等学校	250-299人	確認中

過去地震情報 | 設定 | 更新

自衛消防訓練(震災対応:テナント地区隊)



自衛消防隊(地区隊)の編成



初期消火訓練(消火器)



救援訓練(バール)



応急救護訓練



傷病者搬送訓練



室内安全性確認訓練

自衛消防訓練(防災センター・本部隊、応急救護所)



本部隊の編制



建物使用性・室内安全性確認



情報整理・館内放送
(地震・建物・地域情報など)



傷病者搬送訓練



応急救護訓練



傷病者情報整理・共有

新宿駅周辺地域・西口現地本部訓練(地域情報共有・発信)



本部長と帰宅困難者
対策班の情報共有



情報整理・集約班
による情報整理



情報共有班による対応支援
システムへの情報入力

新宿ルール・行動指針による駅周辺滞留者誘導訓練(駅 避難場所 一時滞在施設)



新宿駅西口デジタル
サイネージ前での説明



エリア対応支援システム
による情報確認



新宿中央公園での
災害用トイレの確認