

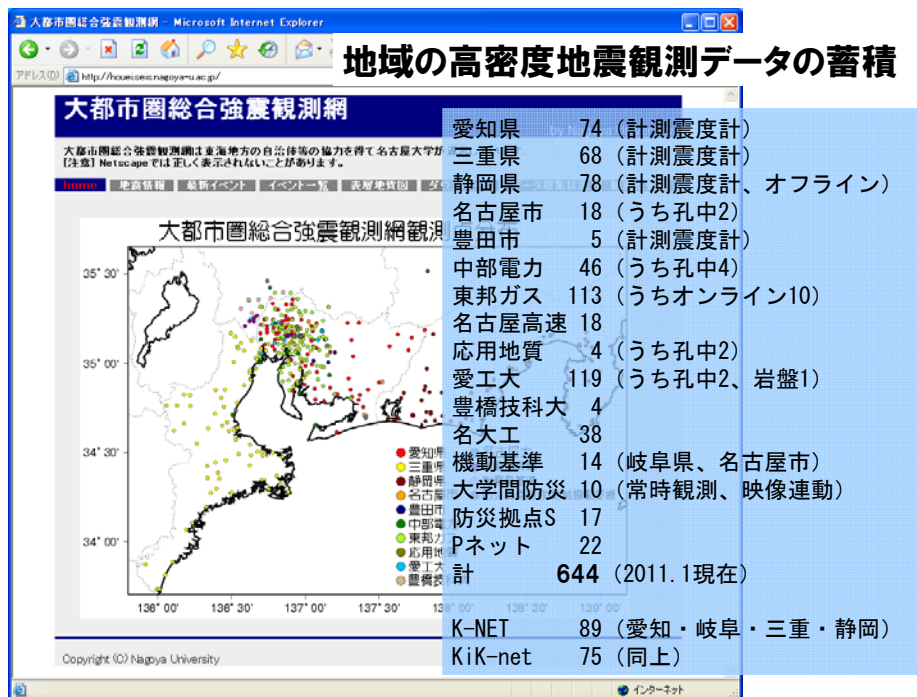
被害予測と被災度評価に向けた 建物強震観測データの整理・分析

名古屋大学 飛田 潤

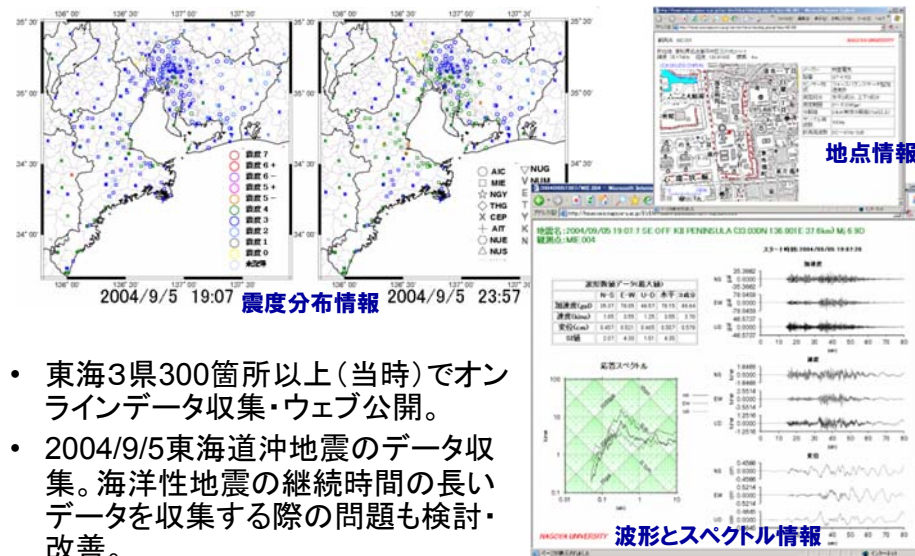


地盤・建物の強震観測記録の蓄積

- **様々な観測、建物、センサ等の記録を集約**
 地盤: 大都市圏強震動総合観測ネット(2000~)
 建物: 戦略的強震観測、古い観測機材の再利用、...
- **観測データの将来**
 地盤: K-NET等の基盤観測と組み合わせた面的観測結果
 建物: 建物の応答性状の確認、検討
 →モデル化手法検討、設計法検討など
 →その建物のモニタリング(健全性、劣化、損傷)
- **強震観測とモニタリング**
 現状では「似た機材・観測、異なる目的・結果」
 対象や目的に応じた観測システムの選択、データ必須



2004/9/5東海道沖地震の観測記録収集と整理



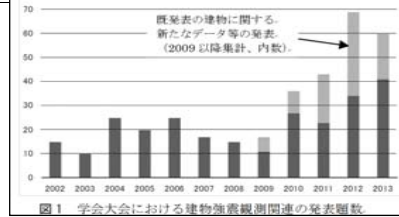
- 東海3県300箇所以上(当時)でオンラインデータ収集・ウェブ公開。
- 2004/9/5東海道沖地震のデータ収集。海洋性地震の継続時間の長いデータを収集する際の問題も検討・改善。

建物強震観測データベースの例(表)

日本建築学会 構造委員会 振動運営委員会 強震観測小委員会

No.	建物名称	大震観測番号	タイトル	著者	立地場所	階数・規模等	構造種別	免震・制振など	基礎構造	地震計設置位置	計測点数	地震計の種類	観測データの特性	備考	観測期間	3.11本震記録の有無
1	建築研究所 管轄研究本部	2004-2147, 2011-2160	地震観測に基づく建物耐震性能の向上に関する研究 建築研究所の建物を対象とした地震観測の実施	中島真司(東京理科大学) 内田忠生(東京理科大学) 大川出洋(東京理科大学)	茨城県つくば市	地下1階、地上7階	SRC造(一部RC造)鉄骨ラーメン構造	—	直接基礎	—	18	加速度計(AJE-8200)	卓越振動数(1.3次)0.8~0.9Hz、本	2003年に発生した3階地震の観測記録の分析、2004-2147には本館の	1979竣工~	○
2	建築研究所 管轄研究本部 (都市防災研究センター)	2005-2126, 2007-2170, 2007-2170, 2007-2170, 2008-21136, 2008-21437, 2008-21438, 2010-21319, 2011-21160, 2011-21431, 2012-21565, 2012-21723	地震観測に基づく建物耐震性能の向上に関する研究 建築研究所の建物を対象とした地震観測の実施	河島孝(東京理科大学) 大川出洋(東京理科大学) 井口龍典(東京理科大学)	茨城県つくば市	地下1階、地上5階、基礎面積5,000平米	SRC造(一部RC造)	—	直接基礎	—	11	加速度計(AJE-8200)	NS:1.45Hz, EW:1.45Hz、本館による振動数の低下:1.3~1.0Hz	周辺地盤の7点でも観測	1998竣工~	○
3		2005-2137, 2012-21205	免震構造の耐震性能向上に関する研究	藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設)	茨城県つくば市	地上3階	RC造、ラーメン新構造	免震	—	—	6	加速度計(AJE-8200)	—	—	—	○
4		2005-2140	ペリメータを用いた免震構造の耐震性能向上に関する研究	藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設)	茨城県つくば市	地上2階	在来軸組	免震	—	—	3	—	—	—	—	○
5		2006-21154	RC造・S造・中層階設計を用いた戸建て住宅の地震耐震性能向上に関する研究	藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設)	茨城県つくば市	2階建て	木造、鉄骨造	—	—	—	3	—	—	—	—	○
6	宇都宮大学工学部建築棟	2003-2117, 2004-2122	地震観測に基づくRC造建物の耐震性能向上に関する研究	藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設)	栃木県宇都宮市	地上5階、高さ20m	RC造	—	—	—	3	—	—	—	—	○
7	高層住宅 No.1	2004-2208	高層住宅の耐震性能向上に関する研究	藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設) 藤井隆(清瀬建設)	栃木県宇都宮市	地上10階、高さ160m	在来軸組工法	—	—	—	3	—	—	—	—	○

- 論文公表された建物(主に建築学会)の例を収集・整理。
- 建物を特定して、複数の論文発表例を1行にまとめる。
- 以前からの観測建物について、東日本大震災の記録の有無を調査。



建物強震観測データベースの分析

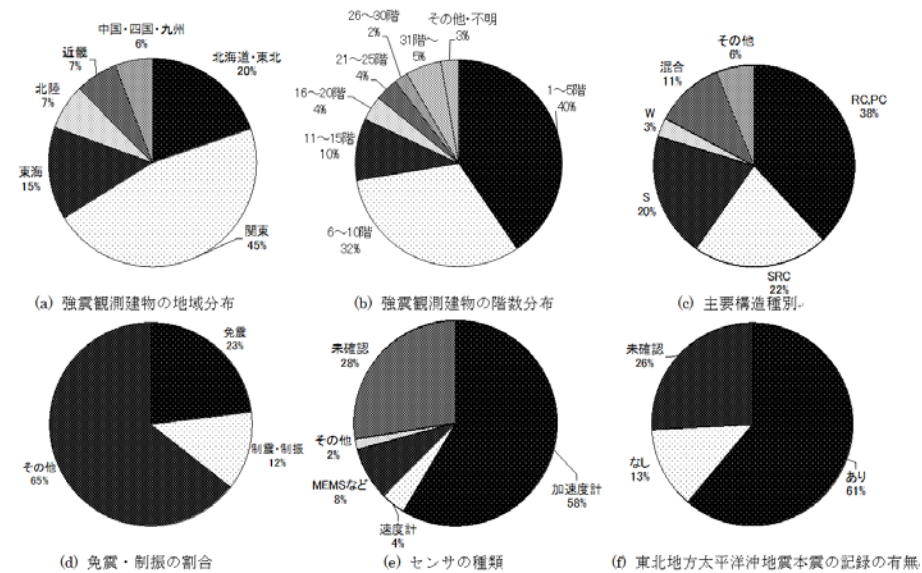
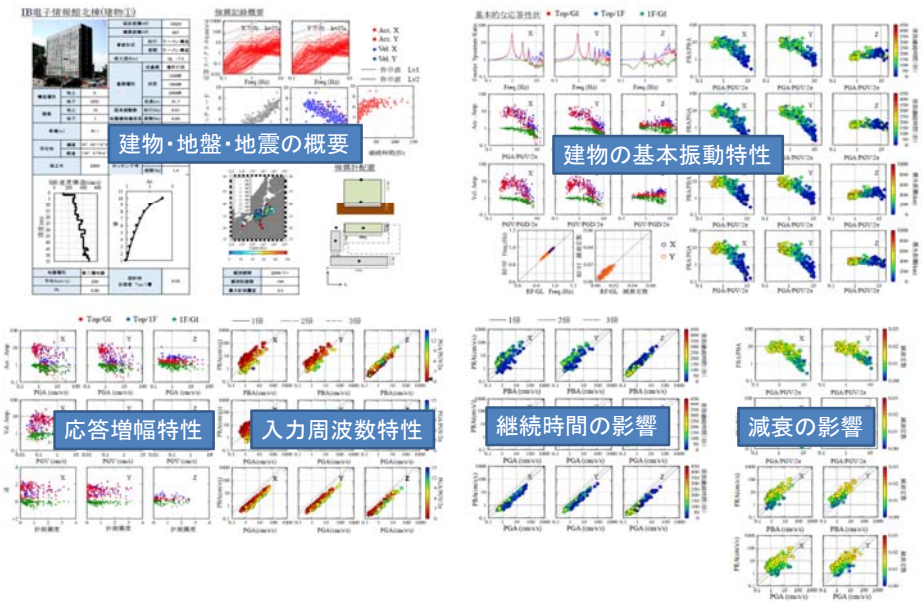


図2 建物強震観測データベースに基づく傾向分析 (487棟)

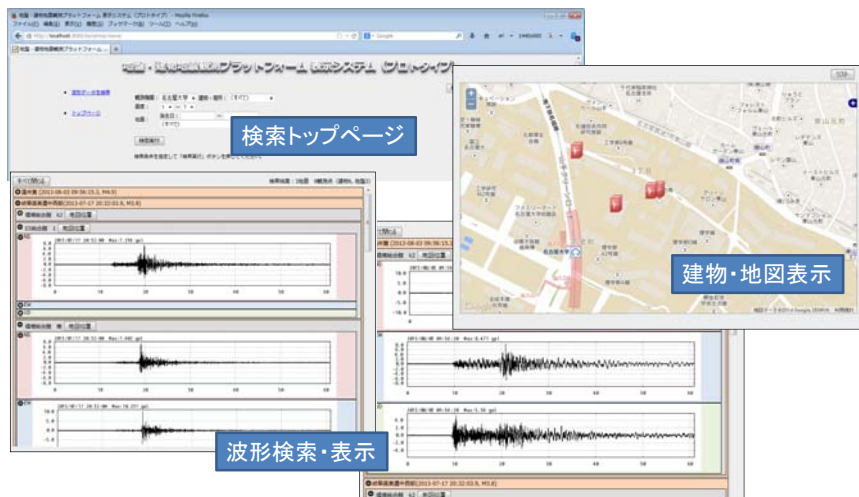
キャンパス内の強震観測建物

	PC	SRC	RC	S	免震
	PCaPC造 7階建て 2003年竣工	SRC造 10階建て 1995年竣工	RC造 4階建て 1963年竣工		
	PCaPC造 7階建て 2003年竣工	SRC造 6階建て 1982年竣工	RC造 3階建て 1979年竣工		
	SRC造(免震) 7階建て 2003年竣工	柱SRC造/梁S造 7階建て 2005年竣工	RC造 5階建て 2005年竣工		
	RC造(免震) 4階建て 2007年竣工	S造 10階建て 2000年竣工			

強震観測結果を建物ごとに整理



地盤・建物地震観測データベースの作成



観測波形データの確認、整理、ウェブ公開、デジタルデータ公開(パスワード制御)

旧型・廉価型強震計の活用

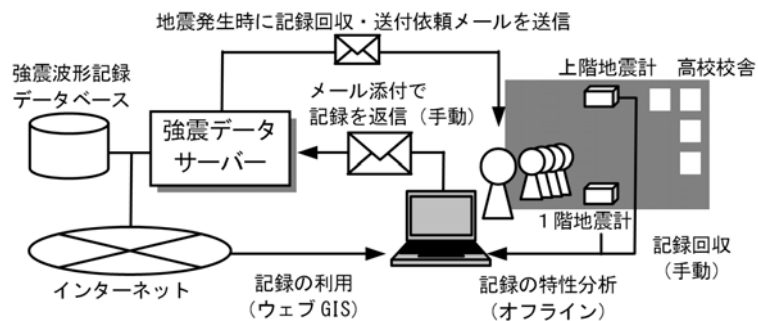
- 振動台などで機能・性能をテスト
- 旧型機材の種々の制約
 - 内蔵メモリ少
 - インターフェイス低速
 - 設定の自由度少
 - 信頼性?
- LAN接続機器の開発
 - データ保存・整理、転送、時刻更正などの機能



非専門家と連携した観測の例

高校の理科教員、生徒に地震計を貸し出し

- 簡素な観測、オフライン、手動等で記録収集
- データはメール等で大学に送付、サーバーで管理
- 確実性・即時性より、低予算で多数を広域に普及



高校校舎の観測例



図6 高校校舎の強震計設置状況例

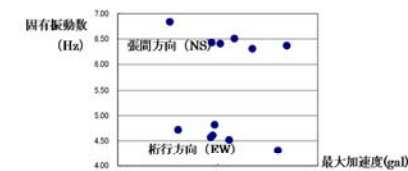


図8 各地震で推定された固有振動数の振幅依存性

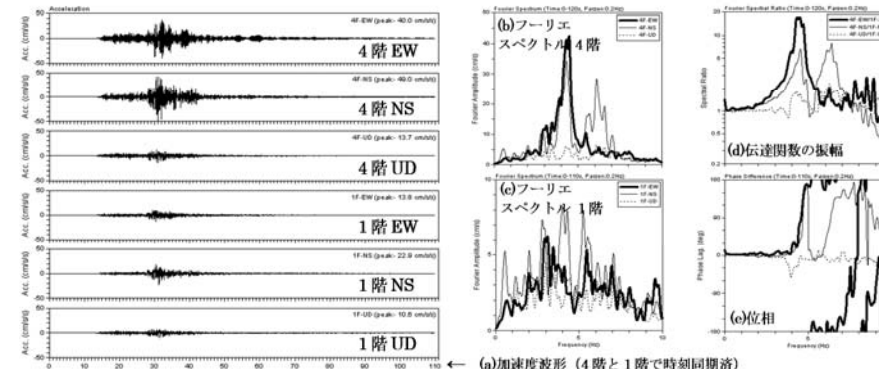


図7 高校校舎で観測された加速度記録の例とスペクトル・伝達関数(2009.8.11 駿河湾の地震)

建物の健全度モニタリング (構造ヘルスマニタリング)

- **センサ情報から、構造物の状態や変化を検出**
長期にわたる劣化の検出・診断・対応
大地震による損傷の検出・診断・対応
- **都市災害、広域大災害の多数の建物被害**
極めて多数の建物で被災後の対応判断が必須
非専門家による意思決定の根拠の必要性
専門家による調査の補助資料の必要性
特に、建物の**即時使用性判定**の重要性
- **構造物のライフサイクルも考慮した評価へ**
実用的には既存建物への設置可能性が重要
将来的には設計から撤去までを考えたモニタリングへ

地震災害における建物被害の経験

- **1995年兵庫県南部地震**
大都市域できわめて多数の被災建物
構造被害が目視で確認困難な例(特に鉄骨造)
- **2007年新潟県中越沖地震**
製造施設の被災による事業継続の問題
被災状況の的確な把握による早期復旧の重要性
- **2011年東北地方太平洋沖地震**
首都圏の多数の建物が被災、ただし損傷は不明
客観的な「即時使用性判定」の必要性

建物の健全性(損傷)情報

- **地震中の揺れ、変形、あるいは力の大きさ**
設計時の想定との比較で判断
実用的な計測が可能な段階。実建物での検証必要
- **建物の振動特性の変化**
固有振動数、モード形の変化など
平常時の変化も計測可能。損傷程度に対する感度が課題。
- **地震による建物の損傷**
直接的な被災度の判定につながる。
センサによる計測は実験・開発段階。
- **総合的な健全度(損傷度)の判定**
建物の使用者に対して必須
「危険か否か」の判断は構造耐力の余裕にも関係

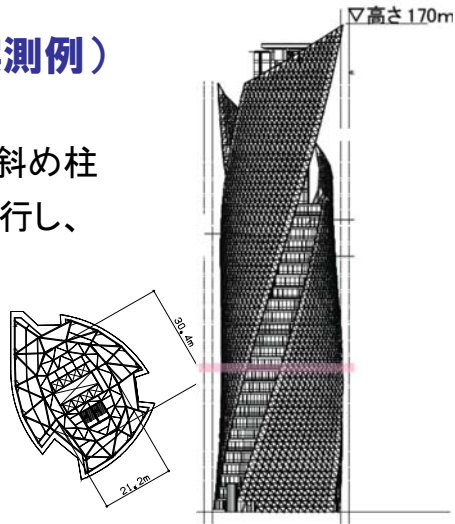


超高層建物の建設時の 固有周期および減衰の実測

・ 不整形な高層建物(実測例)

- 36階、高さ170m
- S造+CFT柱、外周は斜め柱
- 施工はコアの周りが先行し、外周はあとから。
- 建設が進むにつれてなるべく上階で計測

・ 他に整形建物など 複数の実測例を蓄積



建設中の固有周期と減衰の変化

・ 工事の進捗に伴う固有周期の変化は明確

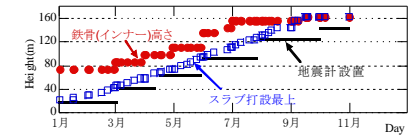


図3 建設状況と強震計設置階の変化

表2 建設中の建物高さを実測1次固有周期の関係

	回帰直線	相関係数
短軸	$T_{y1} = 0.019H$ (sec)	0.99
長軸	$T_{x1} = 0.014H$ (sec)	0.97
ねじれ	$T_{t1} = 0.007H$ (sec)	0.7

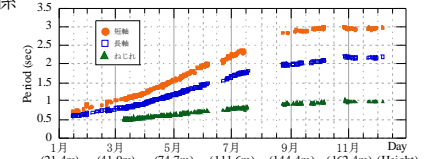


図4 固有周期の変化

表3 振動特性の設計値と実測値(竣工時)の比較

	短軸	長軸	ねじれ
設計1次周期(sec)	2.95	2.23	0.99
設計1次減衰定数(%)	2	2	2
実測1次周期(sec)	2.97	2.18	0.98
実測1次減衰定数(%)	0.50	0.65	-

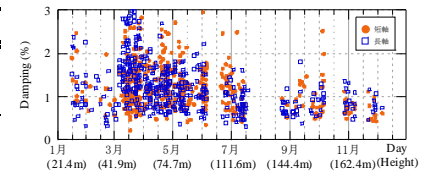
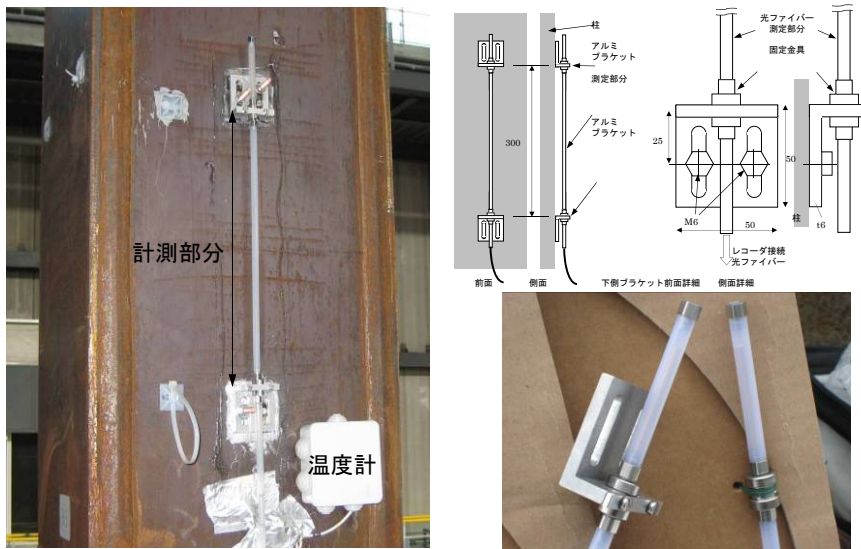
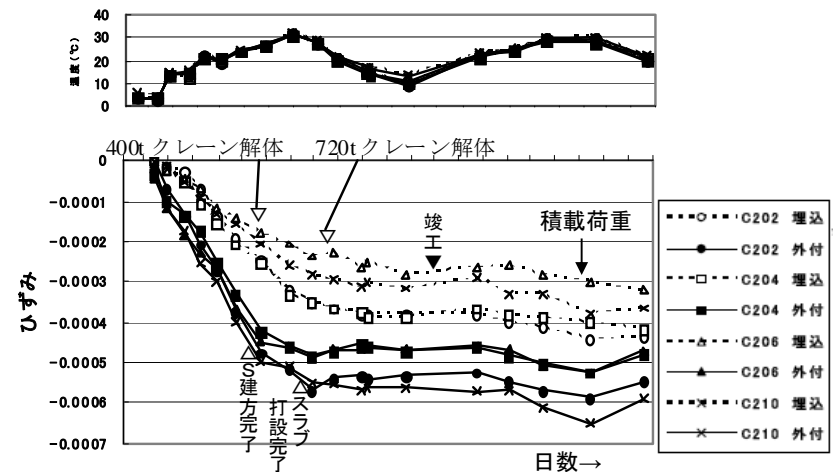


図5 減衰定数の変化

光ファイバセンサによる柱軸変形測定



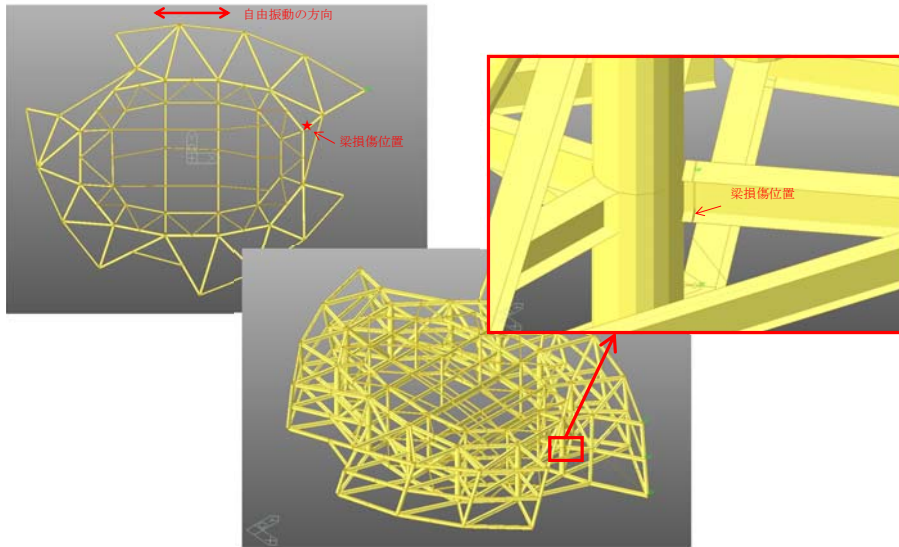
柱軸変形の変化(温度補正済)



施工の進展状況と柱変形計測値は整合する

部分的な損傷を想定した検討

梁下フランジ破断を想定し、応力変化を解析的にスタディ



損傷検出精度

梁下フランジ破断による応力の変化。
建物周期の変化はないが...

柱端の曲げ応力				柱端の曲げ応力					
階	健全モデル (kNm)	梁破断モデル (kNm)	変化率 (%)	階	健全モデル (kNm)	梁破断モデル (kNm)	変化率 (%)		
18F-C309	J	2.19E+01	2.19E+01	100.0%	18F-C205	J	7.52E+00	7.55E+00	100.4%
	I	-2.38E+01	-2.38E+01	100.0%		I	-8.03E+00	-8.06E+00	100.4%
	I	2.53E+01	2.52E+01	99.6%		I	7.52E+00	7.55E+00	100.4%
	J	-2.33E+01	-2.33E+01	100.0%		J	-8.03E+00	-8.06E+00	100.4%
17F-C309	J	2.41E+01	2.42E+01	100.4%	17F-C205	J	8.59E+00	8.66E+00	100.8%
	I	-2.63E+01	-2.64E+01	100.3%		I	-9.48E+00	-9.56E+00	100.8%
	I	2.48E+01	2.48E+01	101.0%		I	1.07E+01	1.08E+01	101.8%
	J	-2.25E+01	-2.27E+01	101.0%		J	-9.55E+00	-9.72E+00	101.8%
16F-C309	J	2.34E+01	2.29E+01	98.2%	16F-C205	J	5.60E+00	5.49E+00	97.9%
	I	-2.54E+01	-2.50E+01	98.2%		I	-5.93E+00	-5.80E+00	97.9%
	I	2.29E+01	2.14E+01	93.4%		I	4.09E+00	3.07E+00	75.1%
	J	-2.10E+01	-1.96E+01	93.3%		J	-3.69E+00	-2.76E+00	74.8%
15F-C309	J	1.97E+01	1.82E+01	92.8%	15F-C205	J	6.975E+00	5.97E+00	85.5%
	I	-2.15E+01	-2.00E+01	92.9%		I	-7.674E+00	-6.58E+00	85.7%
	I	2.19E+01	2.14E+01	97.7%		I	1.247E+01	1.22E+01	97.6%
	J	-2.00E+01	-1.96E+01	97.7%		J	-1.120E+01	-1.09E+01	97.6%
14F-C309	J	2.10E+01	2.13E+01	101.4%	14F-C205	J	1.02E+01	1.04E+01	102.2%
	I	-2.29E+01	-2.32E+01	101.4%		I	-1.10E+01	-1.13E+01	102.2%
	I	2.22E+01	2.23E+01	100.6%		I	9.34E+00	9.39E+00	100.5%
	J	-2.04E+01	-2.05E+01	100.6%		J	-8.58E+00	-8.62E+00	100.5%
13F-C309	J	1.89E+01	1.89E+01	99.9%	13F-C205	J	8.87E+00	8.84E+00	99.7%
	I	-2.08E+01	-2.08E+01	100.0%		I	-9.92E+00	-9.89E+00	99.7%
	I	1.97E+01	1.97E+01	100.1%		I	1.08E+01	1.08E+01	100.0%
	J	-1.79E+01	-1.79E+01	100.1%		J	-9.49E+00	-9.48E+00	99.9%

凡例 5%以上の変化率: 損傷が明らかに検出
1%~5%未満の変化率: 条件が良ければ検出可能

