

建物における地震・風観測モニタリングシステムの開発と適用

東北地方太平洋沖地震において実証された有用性

新居 藍子^{*1}・欄木 龍大^{*1}・長島 一郎^{*1}・篠崎 洋三^{*2}・木村 雄一^{*3}・青野 英志^{*3}

Keywords : seismic observation, monitoring system, wind observation, prompt e-mail report, long-period earthquake ground motion
 地震観測, モニタリングシステム, 風観測, 速報メール, 長周期地震動

1. はじめに

長周期地震動や強風による長時間におよぶ建物の揺れに対応する地震・風観測モニタリングシステムを開発した。地震観測と風観測を一つのシステムで行うとともに、地震時には、自動で記録を分析し配信する機能をもつ。観測記録の蓄積や技術の検証としての利用だけでなく、構造設計者、建物管理者がそれぞれ防災手段として有効に利用できることを目指して構築している。2006年に初適用し、その後機能の更新を重ねながら、10件以上に適用してきた。本報では、システムの概要を述べるとともに、本システムを、免震や制振等、地震対策技術を導入した建物に適用している例を紹介する。さらに、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震で得られた記録を示し、地震対策技術の効果が確認されたこと、本システムにより、各建物の状況が初期情報としてスムーズに関係者へ伝達されたことを示す。

2. 開発のコンセプト

従来の地震観測ネットワークでは、各観測点で得られたデータは、電話回線などの通信網を通じて拠点とする箇所に一度集約し、その拠点において処理、分析をするという方式がとられてきた（図-1 左図）。この方式は、各観測点のデータを縦覧しやすいという点で有効ではあるものの、拠点のサーバーや通信回線で不具合が発生するとネットワーク全体の機能を失うため、維持管理を徹底する必要があり、そのための労力、費用の負担が大きかった。また、情報の発信を手動で行

うため、関係者への情報伝達までに時間を要していた。

開発した地震・風観測モニタリングシステムは、各観測点において収録したデータを、観測点ごとに設置したPCにおいて自動分析し、分析結果をEメールで関係者に送信する（図-1 右図）。PCが高性能化したことにより、比較的安価な標準的なPCで観測データの分析・送信が可能となったため、このような観測点ごとに独立した方式が可能となった。

この方式では、維持管理に過剰な負担をすることなく、大地震時においても、情報を即時に必要とする関係先へ発信する役割を果たすことができる。また、万が一1つの観測点で不具合が発生しても、他の観測点に影響を及ぼさないため、リスクを最小限にすることができる。東北地方太平洋沖地震においても、この方式の有効性が確認された。

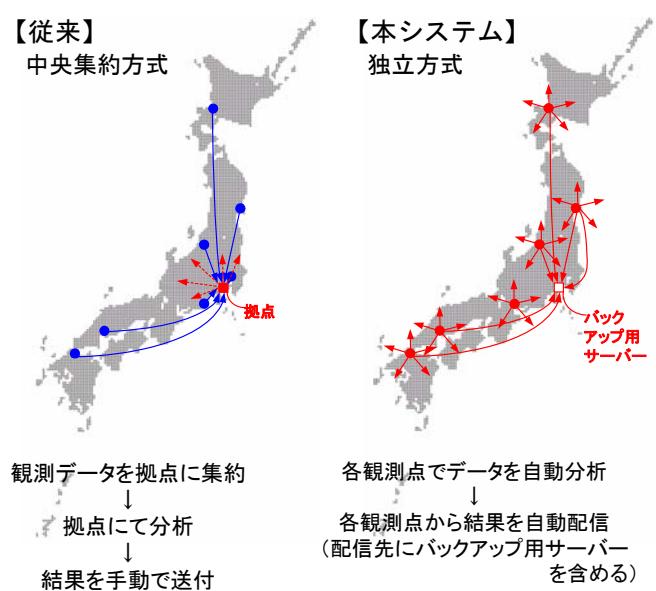


図-1 従来型と本システムの違い
 Fig.1 Conventional system and developed system

*1 技術センター建築技術研究所防災研究室

*2 設計本部構造II群統括

*3 設計本部構造計画グループ

3. システムの概要

3.1 システムの構成

システムの構成を図-2に示す。センサー、収録装置、モニタリングPC、無停電電源装置から構成される。収録装置は建物に設置されたセンサーとケーブルで接続されており、トリガ条件を満たすとデータが保存される。モニタリングPCは、収録装置とLAN回線で接続されており、地震時には収録装置のデータを自動で回収し、分析を行い、結果をEメールで登録者に自動配信する。地震の終了から数分程度で速報を発信することができる。これと並行して、主要なセンサーのデータは常時リアルタイムでモニタリングPCに伝送されており、このデータを保存することで、長周期地震動や強風で建物の揺れが長く継続する場合においても途切れることなくデータを確保できる。

3.2 システムの機能

3.2.1 地震時速報メール

地震時速報メールは、各計測点の最大値、計測震度、スペクトル、卓越周期等を自動で算出し、波形やスペクトルの図を添付の上送信される。送信する項目はメールアドレスごとに設定でき、構造設計者向けや建物管理者向けなど、用途に応じて選択ができる。

3.2.2 緊急通報機能

観測値や分析値に対して、判断基準となるしきい値を予め設定し、設定したしきい値を超えたことを地震時速報メールにて通報する。例えば、免震装置の点検の要否や鋼材ダンパーの損傷度などを、建物管理者が判断することができる。

3.2.3 応答予測

あらかじめ建物の解析モデルを設定しておく、観測された地震動を入力とした応答解析を行って得られた応答値を地震時速報メールに表示する。センサーを設置していない箇所の応答予測ができるため、例えば、層間変形の算出により、損傷の可能性のある箇所を推定できる。また、免震建物においては非免震建物のモデルを設定しておく、その応答を表示することにより、免震の効果を即時に定量的に示すことができる。

3.2.4 鋼材ダンパーの疲労モニタリング

鋼材ダンパーの累積損傷度をモニタリングし、地震時速報メールに表示する。交換時期を知らせることができる。

3.2.5 定時観測モニタリング機能

定期的に微動計測を行い、建物の固有振動数の変動をモニタリングする。

3.2.6 風観測機能

リアルタイムでモニタリングPCに伝送されるデータを利用し、風観測を同時に実施できる。モニタリングPCにおいて、取得したデータにデシメーション処理を施してサンプリング振動数を10Hzとした風観測用のデータを作成する。10分間に、地震または強風の記録が含まれているか判定を行い、地震または強風と判断された場合、それぞれ分類してリストとともにデータを保存する。仮に風速計を設置しない場合においても、建物の揺れを風による揺れか地震による揺れかを自動で判断する機能をもっており、機器を追加することなく地震観測と風観測を同時に実施できる。

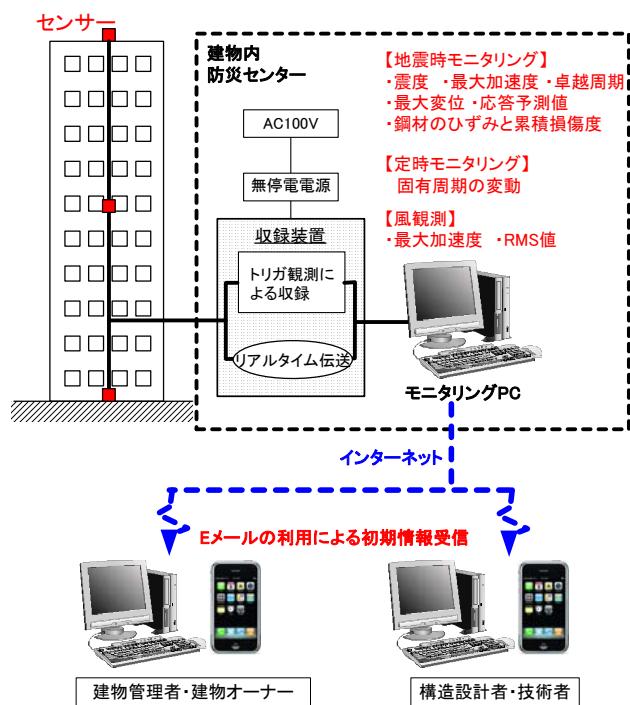


図-2 本システムの構成
Fig.2 Composition of developed system

4. 適用例

本システムは開発以来、機能の更新を重ねながら既に10件以上の建物に適用している。東北地方太平洋沖地震の発生時には、本システムから配信された地震時速報メールにより、建物の健全性が即時に確認され、免震や制振の効果も確認されるなど有効に活用された。ここでは、超高層建物、免震建物、制振建物に適用した3つの例について述べる。

4.1 超高層建物への適用

S造、地下4階、地上54階建ての超高層建物（新宿センタービル、図-3）に適用した例を示す。新宿センタービルは1979年竣工だが、2009年から2010年にかけて、長周期地震動対策として、変位依存型オイルダンパーを用いた制振補強が施工されている。本建物では竣工以来地震観測を継続して実施しているが、2010年8月に本システムに更新し、補強効果の検証を行っている。加速度計の設置箇所は、屋上(XYZ)、41階(XY)、28階(XYZ)、15階(XY)、1階(XYZ)、B4階(XYZ)、GL-65m(XZ)、GL-100m(XYZ)である。また、屋上には、風向・風速計が設置されている。観測成分は計24成分である。このうち屋上(XY)、28階(XY)、1階(XYZ)の加速度と風向・風速の9成分を常時リアルタイムでモニタリングPCに伝送して収録している。

本システムの導入以降、東北地方太平洋沖地震の記録を含む複数の地震観測記録を得ている。東北地方太平洋沖地震で得られた記録の最大値を表-1に、屋上の1階に対する相対変位波形（Y(短辺)方向）を図-4に示す。東北地方太平洋沖地震では、本システムにより、継続時間の長い地震を途切れることなく収録するとともに、直後に建物の健全度が判断できた。また、補強前の地震時と比較して減衰定数の増加がみられ、ダンパーによる制振補強効果が確認された¹⁾。

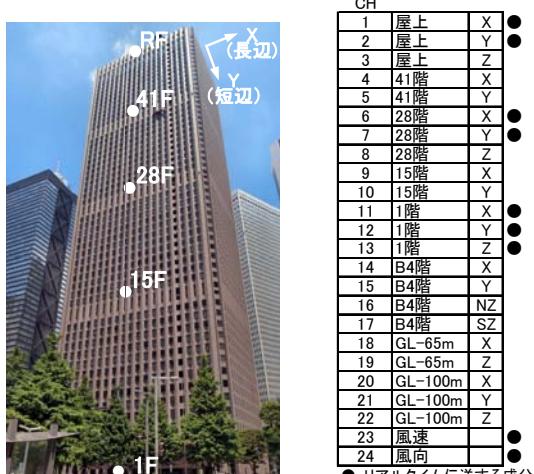


図-3 新宿センタービル
Fig.3 Shinjuku Center Building

表-1 東北地方太平洋沖地震における震度と最大値

Table1 Seismic intensity and maximum response

震度階 (計測震度)	最大加速度 (Gal)			最大変位 (cm)	
	X(長辺)	Y(短辺)	Z(短辺)	X(長辺)	Y(短辺)
RF	236.0	161.3	-	49.4	54.2
28F	112.7	171.3	-	26.3	33.3
1F	震度5弱 (4.5)	94.3	142.1	57.8	-

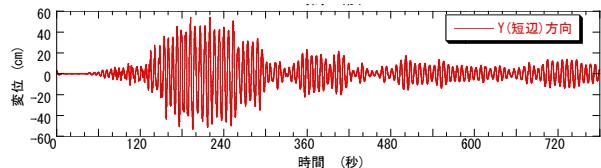


図-4 屋上で測定された1階に対する相対変位波形

Fig.4 Relative displacement wave

4.2 免震建物への適用

大成建設技術センター内に隣接して建つ2棟、J棟（免震建物）および本館（耐震建物）に適用した例を示す。J棟は、1988年竣工、RC造4階建で、日本で初めてすべり支承を使用した免震建物である²⁾。本館（耐震建物）は1979年竣工、RC造地下1階地上4階建である。J棟の竣工以来、地震観測を実施しており2006年に本システムに更新した。観測点は、J棟のR階、1階、ピットの加速度(XYZ)、免震層の変位(XY各2か所)、本館のR階、1階の加速度(XY)である。

東北地方太平洋沖地震において自動配信された地震時速報メールの一部分を図-5に示す。免震層の変形が4cm程度であり、すべり支承が1cm程度すべっている。J棟の頂部の最大加速度は、同程度の高さの本館の頂部と比較して約1/2であり、免震の効果が確認された。

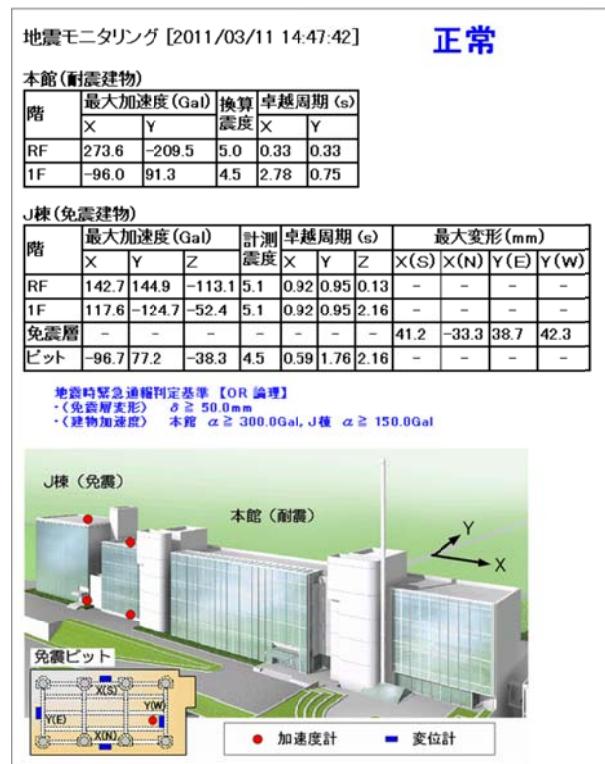


図-5 東北地方太平洋沖地震時の速報メールの一部
(大成建設技術センター J棟と本館)

Fig.5 Part of prompt seismic e-mail report

4.3 制振建物への適用

大成札幌ビル（図-6, 2006年竣工, RC造S造地下1階地上8階建て）に適用した例を示す。本建物は、地震時のエネルギーを吸収する部位と常時の鉛直荷重を支持する部位を分離する「TASMO」の名で開発された制振構造である³⁾。建物外



図-6 大成札幌ビル
Fig.6 Taisei Sapporo Building

周にチューブ状に配置された外壁を壁柱に利用し、壁柱同士は地震時のエネルギーを吸収する鋼材ダンパーによる境界梁で連結している。鋼材ダンパーは、極低

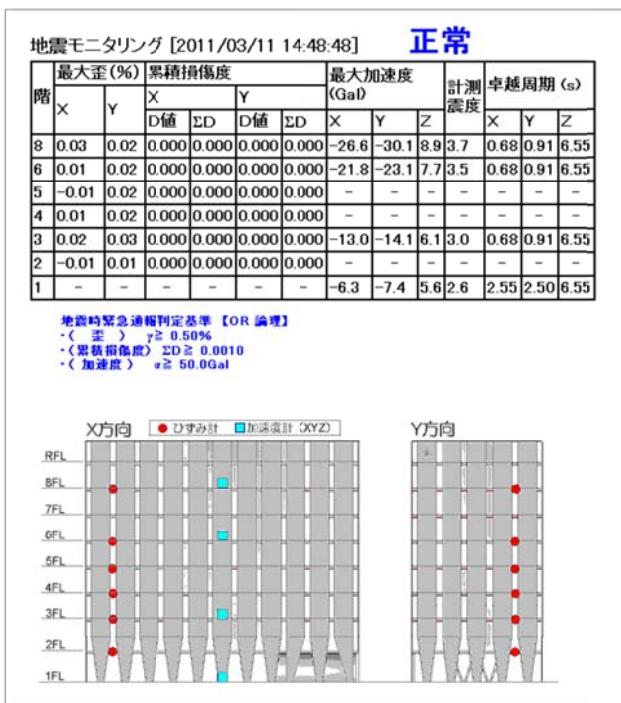


図-7 東北地方太平洋沖地震時の速報メールの一部
(大成札幌ビル)

Fig.7 Part of prompt seismic e-mail report

降伏点鋼材 LY100 を使用しており、接合部を交換可能なディテールとして、大地震を繰り返し経験した後に交換することで、建物の長寿命化を実現できる架構システムである。地震観測は、8,6,3,1 階において加速度を計測し、8,6,5,4,3,2 階で鋼材ダンパーの歪を計測し、累積損傷度をモニタリングしている。

東北地方太平洋沖地震で配信された地震時速報メールの一部を図-7に示す。鋼材ダンパーの歪、建物の加速度とも大きな値は観測されておらず、建物が健全であることが確認できた。

5. まとめ

開発した地震・風観測モニタリングシステムの構成と機能を示した。また、本システムを超高層建物、免震建物、制振建物に適用した事例を紹介し、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震で得られた記録から、それぞれの建物に適用した地震対策技術が有効に働いたことを示した。また、いずれの建物においても本システムにより地震時の初期情報を即時に得ることができ、有用性が実証された。

今後は、免制振建物はもちろん、既存の超高層建物や一般的の耐震建物まで、BCP 対応技術の一つとして幅広く本システムの提案を進める予定である。

参考文献

- 1) 欄木龍大、長島一郎、新居藍子、篠崎洋三、木村雄一、青野英志：東北地方太平洋沖地震における免震・制振建物の効果 観測記録の分析に基づく免震・制振効果の検証、大成建設技術センター報、Vol.44、2011.
- 2) 長島一郎、松原正安、河村壯一、他：すべり支承を用いた免震構法その1-8、日本建築学会学術講演梗概集B、1987-1988.
- 3) 篠崎洋三、小室努、有山伸之、渡辺征晃、西本信哉、河本慎一郎、武谷政國：エネルギー吸収集約型制振システム(TASMO)の開発と建築物への適用、大成建設技術センター報、Vol.44、2011.