

2. 建物振動実測の新たな方法とデータ公開

2.1 はじめに

従来、振動実測の主たる対象は、原子力関連施設などの重要構造物や大規模・超高層建物、免震・制震建物など振動を制御する構造物などであり、理論解析や高度な技術の検証という意味合いが色濃かった。一方、中低層建物の振動実測は、常時微動記録に基づく検討は数多くなされているものの、建物と地盤との動的相互作用効果に着目した詳細な強震観測はあまり行われていない^{例えば¹⁾}のが現状である。

この原因として、建設コストに占める調査・研究費用が原子力関連施設や超高層建物、免震・制震建物に比べ、中低層建物では圧倒的に高くなってしまふことが挙げられる。また、中低層建物の多くは軟弱地盤上に立地しているため、建物と地盤との動的相互作用効果が強い上、使用用途も多岐に渡るため耐震部材と見なされない2次部材が多く、平面的な偏心や高さ方向の剛性バランスの偏りが生じやすい。基礎構造も多種多様で、都市部では隣接して建物が存在する場合も多いため、建物の振動性状を把握するためには複数の観測点での同時観測が必要となり、さらに観測コストが割高になる傾向にある。中低層建物には数値解析による検討が困難な要素が多数含まれており、これらの幾つかが潜在的な余力と指摘されているが、理論的にも未解明な問題が多く取り残されたままの状態になっている²⁾。

一方で、2000年の建築基準法の改正により限界耐力計算法が導入され、建物と地盤との動的相互作用の影響を設計時に考慮できるようになった。設計法そのものとしては大きく進歩したと言えるが、動的相互作用効果の実証的な検討や、設計に用いる地震力設定の検証は十分ではないため、性能指向の耐震設計を促進するためにも実測記録に基づく検討は必要不可欠である。

実測記録を得るためには、観測機器そのもののコストの他に、設置コスト、設置後の保守管理・運用コスト、長期に渡る観測期間も必要となる。また、建物の多くは民間が所有しているため、所有者の考え方により、振動実測そのものの実施や記録の公開が行えない場合も多々ある。しかし、実測記録の有用性・必要性を広く社会に認知し、利用して貰うためにも、振動実測・観測より得られる膨大な記録を、収集・整理・利用するためのシステムが必要となる。

この様な背景から、本章では中低層建物の建物と地盤との動的相互作用効果を分析可能な高品質の実測記録を効率良く得るために、計画・実施した新たな振動実測の方法を示すと共に、得られた実測記録の整理・公開方法を示す。

2.2 戦略的強震観測・常時微動計測プログラム

通常、建物の振動実測・観測は竣工済みの建物を対象とするため、実測記録に基づいた統計的な分析には、多数の建物での振動実測が必要となる。しかし、観測プログラムを計画的に立案・実施すれば、1棟の建物でも複数の建物を対象にした観測とほぼ同等の成果を得ることができる。この実例として、中低層建物の動的相互作用効果を分解して分析することを目的に行った戦略的強震観測・常時微動計測プログラムの概略を図 2.1 に示す。この観測プログラムの特徴は下記の通りである。

(a) 建設中の建物を観測対象とする

基礎の建設に伴い、①地盤の切欠き、②基礎構築・地下階構築、③埋戻しが行われるため、各建設段階において周辺地盤と基礎で同時観測を行う。この記録より有効入力動に及ぼす切欠き効果、基礎の重量効果、埋戻しによる側方地盤の影響が把握可能である。

上部躯体の建設に伴い、④階数が増加する。躯体重量は主に床スラブの打設による変化が大きいことから、各階の床スラブが打設される毎に、周辺地盤・基礎・上部躯体最上階で同時観測を繰り返し行うことにより、ほぼ同一の地盤・基礎条件下で上部躯体の階数のみが増加する記録が得られる。この記録より固有振動数やモード減衰、有効入力動に及ぼす階数依存性が把握可能となる。また、有効入力動と基礎入力動の差も検討可能となる。

上部躯体の完成後、外壁や内部間仕切り壁などの⑤2次部材が付与されるため、2次部材付与に伴う上部構造物の剛性変化が把握可能である。

建物の供用が開始されると、⑥積載荷重のみが増加するため、竣工直後と供用後の実測記録を比較することにより、上部構造物の重量変化が相互作用に及ぼす影響が把握可能である。

単独建物が竣工後に⑦隣接建物が建設される場合、先行して建設された建物と隣接建物を建設段階毎に同時観測を行うことにより、隣接建物の階数変化も考慮可能な隣接建物間相互作用効果を把握可能である。

この様に建設段階毎を追って常時微動計測を行うと共に、建設期間中から強震観測を継続的に行うことにより、建設段階の異なる強震観測記録も得ることが可能である。

(b) 同規模で基礎と上部構造の組み合わせが異なる建物を観測対象とする

建設中の建物の観測からだけでも多数の有益なデータが得られるが、これらをさらに有効利用するために、同様の観測をほぼ同規模で基礎と上部構造の組み合わせが異なる建物を対象に実施する。ここから上部構造と基礎の剛性バランスが相互作用効果に及ぼす影響を把握可能である。

(c) ほぼ同一の上部構造で、地盤・基礎条件の異なる建物を観測対象とする。

小中学校などの校舎建築はほぼ同一の上部構造特性で、各地に一様に分布しているため、地盤条件と基礎条件の差異が動的相互作用効果に及ぼす影響³⁾を検討可能である。

(d) 平面増築により偏心が変化する建物を観測対象とする

中低層建物は複雑な形状を持つ建物が多いため、ねじれ応答や立体振動特性⁴⁻⁵⁾が地震時挙動に及ぼす影響を把握することも重要である。そこで平面増築が予定されている建物を観測対象にすることにより、偏心の変化に伴うねじれ応答や立体振動特性の変化が把握可能となる。

(e) 耐震改修される建物を観測対象とする

兵庫県南部地震以降、公共建物を中心として耐震改修が盛んに行われている。そこで耐震改修が予定されている建物を観測対象にすることにより、上部構造物の剛性変化が動的相互作用効果に及ぼす影響が検討可能となる。また、耐震改修による補強効果も検討可能となる。

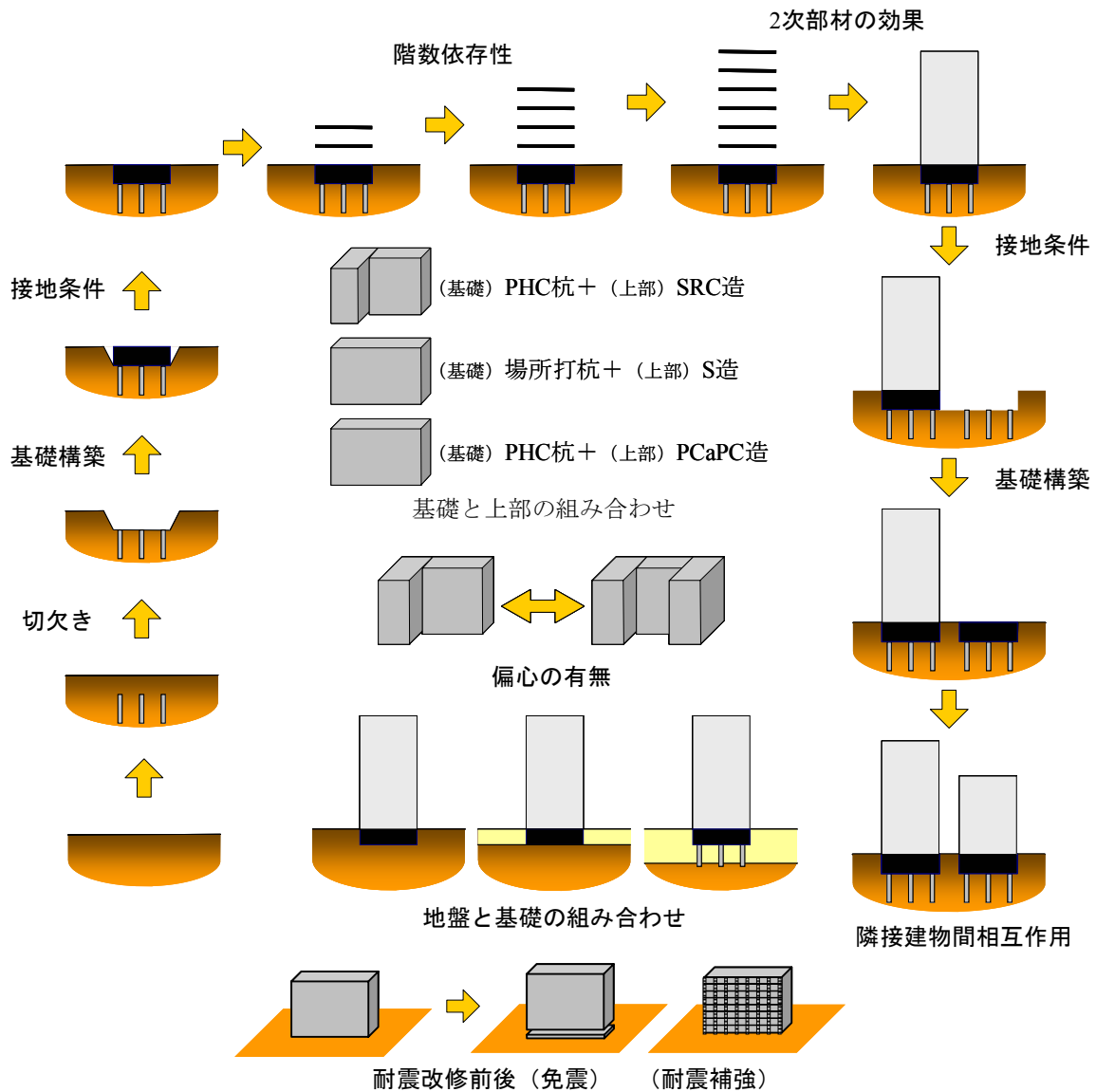


図 2.1 戦略的強震観測・常時微動計測プログラム

2.3 建設段階毎の常時微動計測

ほぼ同規模で構造種別・基礎形式の異なる3棟の建物を対象に、建設段階毎に常時微動計測を行った。3棟の建物は、名古屋大学東山キャンパス内に立地している鉄骨造10階建てのIB電子情報館（以下、S造建物と略記する）、プレキャストプレストレストコンクリート造7階建ての環境総合館（以下、PCaPC造建物と略記する）、鉄骨鉄筋コンクリート造10階建ての工学研究科新1号館（以下、SRC造建物と略記する）である。図2.2に対象建物の外観を、表2.1に建物概要を示す。

S造建物の常時微動計測は、図2.3(a)に示すセンサー配置で、床スラブが2フロア打設される毎に計測を行い、5階建て時以降は5階にも建物頂部と同様にセンサーを配置して計測を行った。S造建物は図2.4に示すようにスラブ打設に先行して鉄骨が順次立ち上がっていたことに注意する必要がある。

PCaPC造建物は、PC柱の建て方、PC梁の架設、PC鋼線の緊張、ハーフPC床版の架設、ハーフPC床版へのコンクリート打設の工程を繰り返すことにより建設されたため、常時微動計測は、床の剛床仮定が成立すると考えられるハーフPC床

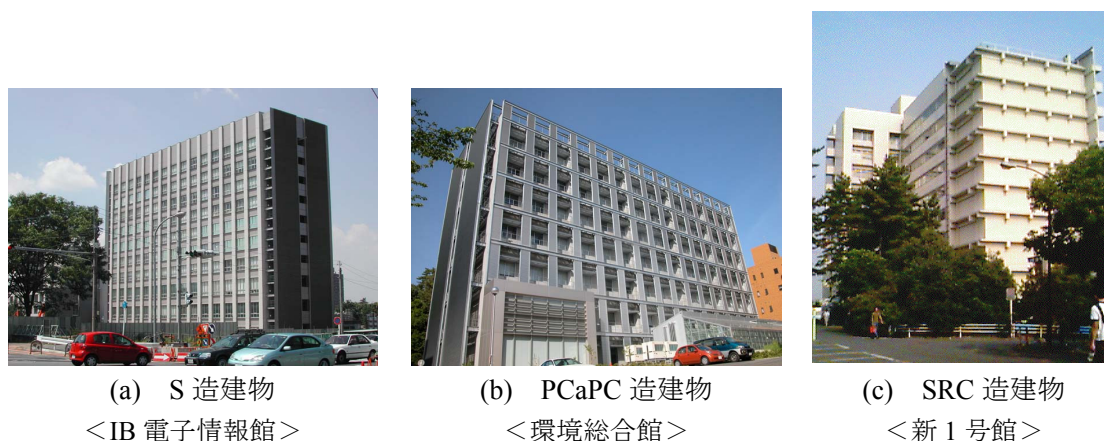


図2.2 建設段階毎の常時微動計測を行った対象建物

表2.1 建設段階毎の計測を行った対象建物概要

	IB電子情報館	環境総合館	新1号館（増築前）
構造種別	S造	PCaPC造	SRC造
骨組形式 (x方向)	ラーメン構造	ラーメン構造	耐震壁付きラーメン構造
(y方向)	ラーメン構造	耐震壁付きラーメン構造	耐震壁付きラーメン構造
階数 (地上-地下)	10 - 1	7 - 1	10 - 1
軒高	41.1m	29.7m	39.3m
建築面積	987 m ²	852 m ²	1,502m ²
基礎形式	杭基礎	杭基礎	杭基礎
(杭種別)	場所打ち 鋼管コンクリート	PHC杭	PHC杭
(杭長)	41.7m	32, 36m	45 - 48m
(杭径)	1200φ (拡底部1700φ) 1300φ (拡底部1900φ) 1400φ (拡底部2400φ)	800φ	500φ 600φ
根入れ深さ	GL-7.3m	GL-4.0m, GL-7.2m	GL-2.5m (一部GL-7.8m)

版へのコンクリート打設後に、図 2.3 (b) に示すセンサー配置で行った (図 2.5)。また、PC 部材の緊張前後での振動特性の変化を捉えるために、最上階の PC 部材の緊張前後にも計測を行った。

SRC 造建物の常時微動計測は、図 2.3 (c) に示すセンサー配置で、各階のコンクリート部分が打設される毎に計測を行った (図 2.6)。但し、ロックインの計測は 7 階建て時以降でのみ行った。SRC 造建物ではコンクリート部分の打設に先立ち、鉄骨が最上階まで組み上がっていたことに注意が必要である。

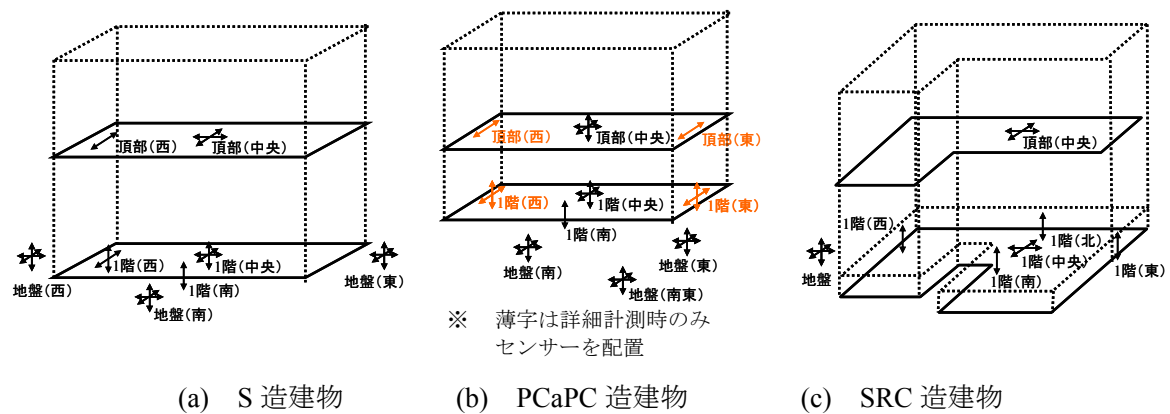
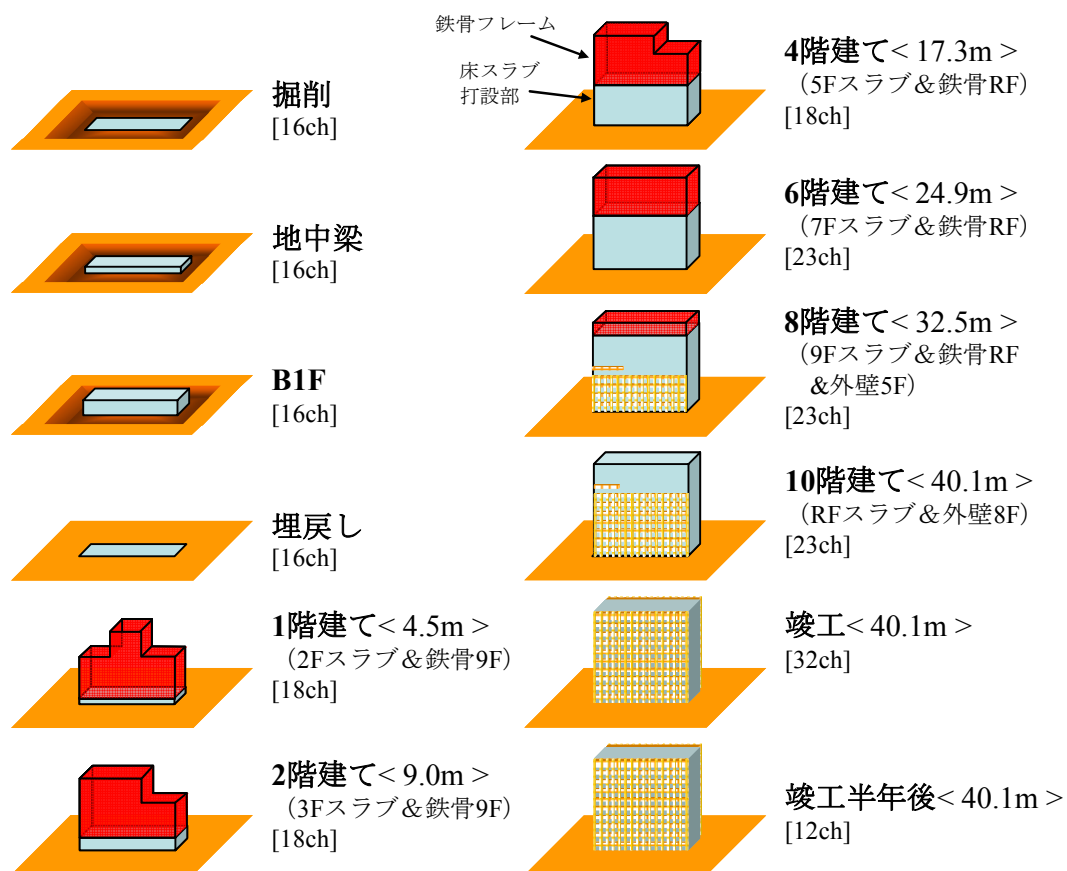


図 2.3 建設段階毎の常時微動計測のセンサー配置図



※ 全てのケースについて、計測時間は1,800秒とし、収録は変位成分を1秒計で200Hzサンプリングで行った。

図 2.4 S 造建物の常時微動計測時の建物状況

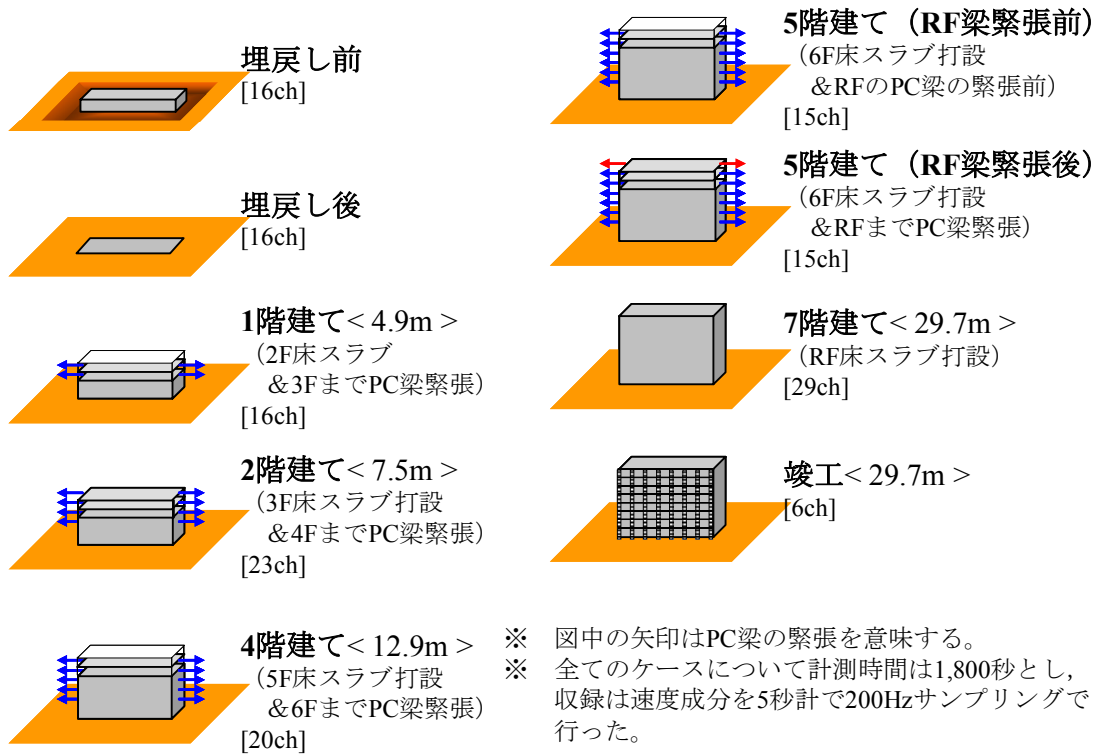
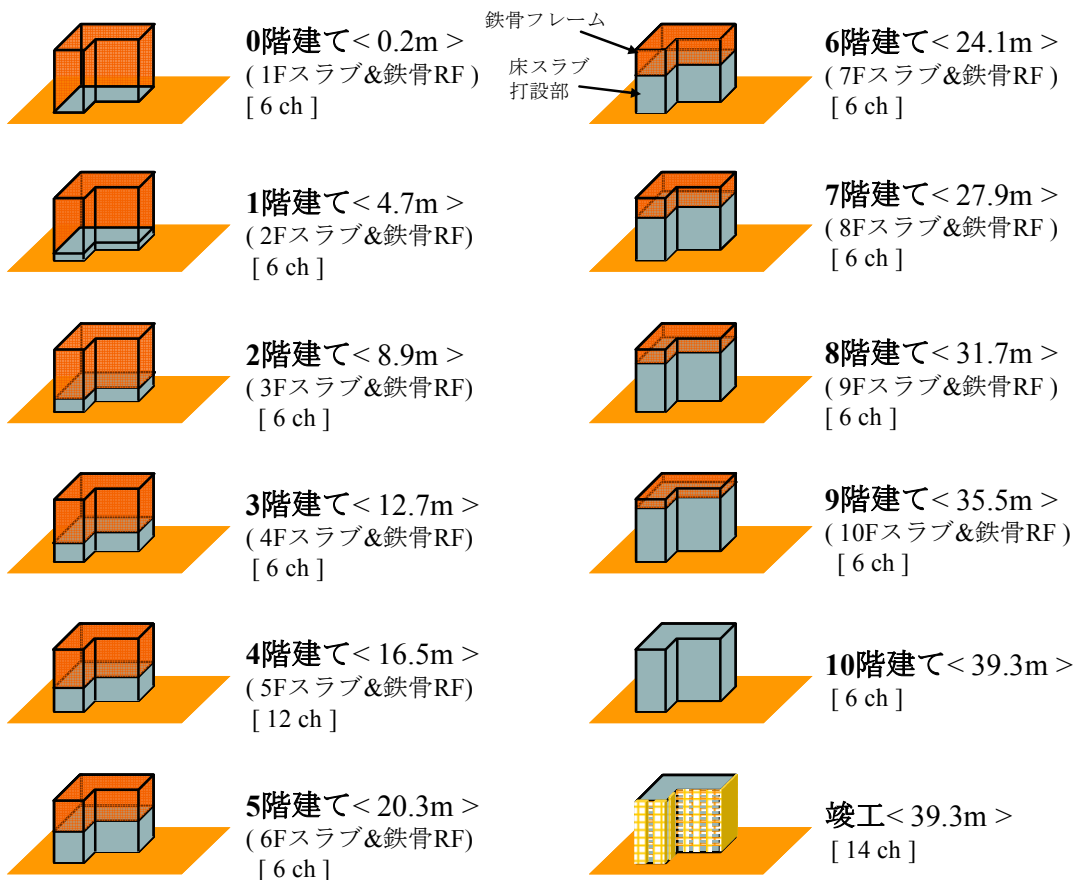


図 2.5 PCaPC 造建物の常時微動計測時の建物状況



※ 全てのケースについて、計測時間は600秒×3回とし、収録は速度成分を1秒計で100Hzサンプリングで行った。

図 2.6 SRC 造建物の常時微動計測時の建物状況

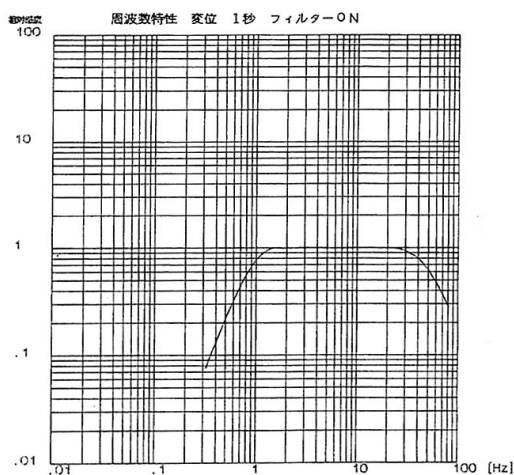
常時微動計測は全て、固有周期 1 秒の動コイル型常時微動計・専用アンプ・デジタルレコーダー・各種機器をつなぐケーブル類を用いて行った。常時微動計には、x, y, z の 3 成分を同時に計測できる 3 チャンネル動コイル型常時微動計（以下、3ch 微動計）と、水平・上下成分が独立した 1 チャンネル型常時微動計（以下、1ch 微動計）がある。3ch 微動計は、固有周期 1 秒の速度計として用いる場合には最大感度 10V/mkine，変位計として用いる場合には最大感度 40V/ μm で、周波数特性としては 2 - 10Hz でフラットな特性を示す。図 2.7 (b) にローパスフィルタを用いて 3ch 微動計と専用アンプを接続したときの周波数特性を示す。1ch 微動計は、固有周期 1 秒の速度計として用いる場合には最大感度 10V/mkine，変位計として用いる場合には最大感度 4V/ μm で、周波数特性は 3ch 微動計と同じである。図 2.8 (b) にローパスフィルタを用いて 1ch 微動計と専用アンプを接続したときの周波数特性を示す。



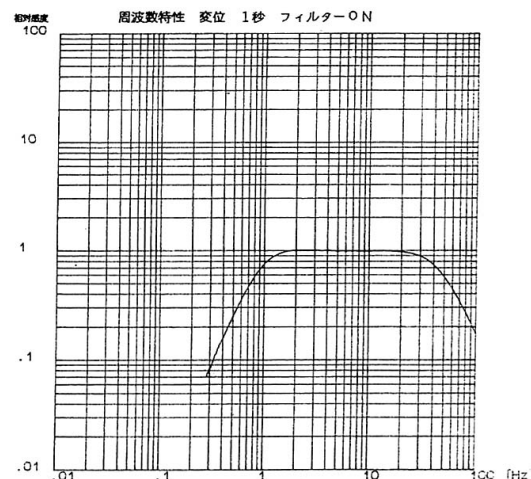
(a) 3チャンネル動コイル型常時微動計の写真



(a) 1チャンネル動コイル型常時微動計の写真



(b) 3チャンネル動コイル型常時微動計のフィルタ特性 (変位成分, 1秒計)



(b) 1チャンネル動コイル型常時微動計のフィルタ特性 (変位成分, 1秒計)

図 2.7 3チャンネル動コイル型常時微動計

図 2.8 1チャンネル動コイル型常時微動計

本論では、常時微動計測によって得られる記録から伝達関数を求めるため、各観測点に設置する微動計の特性が一致していることが保証される必要がある。そのため、計測に先立って、微動計の特性が一致していることを確認するために、検定試験を行った(図 2.9)。検定試験は、振動台上に微動計を設置し、実際に計測で用いるケーブルと接続して同時計測を行う。そして、基準センサー記録に対して伝達関数を計算し、計測で対象とする振動数帯域(1 - 20Hz)で、振幅が 1、位相遅れが 0、コヒーレンスが 1 となることを確認する。建物規模が大きい場合や建物が高い場合等は、収録機器を設置したステーションからの距離がセンサーによってまちまちになるため、センサーとアンプをつなぐケーブルの長さが大幅に異なることもある。ケーブルの長さは電気抵抗に影響するため、検定試験から得られる伝達関数の振幅が 1 を示さないことがある。この様な場合には、検定試験結果から得られる基準センサーに対する伝達関数の振幅比を用いて補正する。また、計測前の検定だけでなく、計測後の検定を行うことにより、計測中及び運搬・設置の際にセンサーが故障していないかを確認することも出来る。このように検定試験は、計測に使用する機器の異常や故障を発見するためだけでなく、振幅レベルの補正や、計測点の重要度に合わせて信頼性の高いセンサーを配置する場合の検討にも用いるため、重要な試験である。

常時微動記録は建設中の工事現場で収録するために、当研究室の計測車に各種計測機器を積み込み、これを計測ステーションとした(図 2.10)。

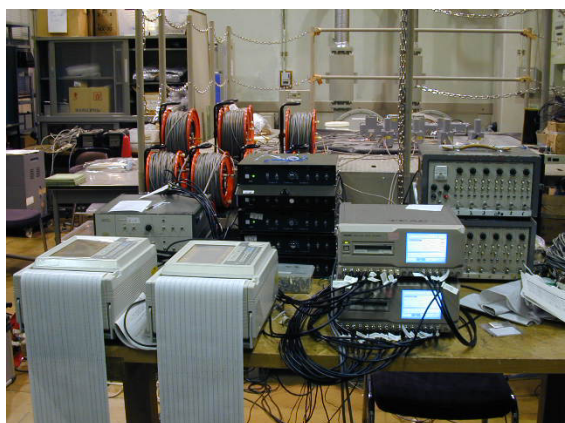


図 2.9 常時微動計の検定模様



図 2.10 計測車をステーションとした時の様子

2.4 建設中建物の強震観測

地震動は主に下方から実体波が建物に入射すると考えられるのに対し、常時微動では表面波の影響が大きいと考えられる。したがって、建物への入力特性が異なる地震記録と常時微動記録それぞれから得られる振動特性の差異を検討しなければ、常時微動記録に基づく分析の有用性を確認することはできない。そこで、S造建物とPCaPC造建物において、建設段階毎の常時微動計測を行うと共に、建設工事期間中に継続的な強震観測も行った。

建設中の建物を対象とした強震観測を行うためには、設置場所・電源・可搬性・時刻較正といった様々な問題を解決しなければならないため、建設中建物の強震観測記録に基づく検討は皆無である。しかし、2.2.1節で述べたように、建設中建物において得られる地震記録は非常に有益であるため、筆者らは加速度計内蔵型の収録機で可搬性の高いAltus Etna（図2.11）を用いて強震観測を行った。

S造建物では、ロッキング動も含めた振動特性の変化を観測できるように、図2.12(a)に示す3点に強震計を配置し、PCaPC造建物では、地盤・杭も含めた振動特性の変化を観測できるように、図2.12(b)に示す8点に強震計を配置して観測を行った。建物頂部の観測点は階数変化の影響を捉えるために、S造建物では、床スラブが2階分打設される毎に上階へ移設して2, 4, 6, 8, 10階で強震観測を行った。PCaPC造建物では、各階の床スラブが打設される毎に強震計を上階に移設して3, 4, 5, 6, 7階で強震観測を行った。建設現場では電源の確保が困難なため、図2.10に示すように自動車用の12Vバッテリーを電源として使い、約1週間毎にバッテリー交換を行って強震観測を続けた。

Etnaは通常、GPSを用いて時刻較正を行うが、S造建物とPCaPC造建物の建設現場では、GPSアンテナを取り付ける場所を確保できなかったため、時刻較正は行っていない。また、同期信号ケーブルの敷設も不可能であったため、S造建物とPCaPC造建物の建設中にEtnaで収録されたデータを用いる場合、初動と位相差に着目して時刻補正をした上で、分析を行っている。



図 2.11 可搬型強震計
(Altus Etna)

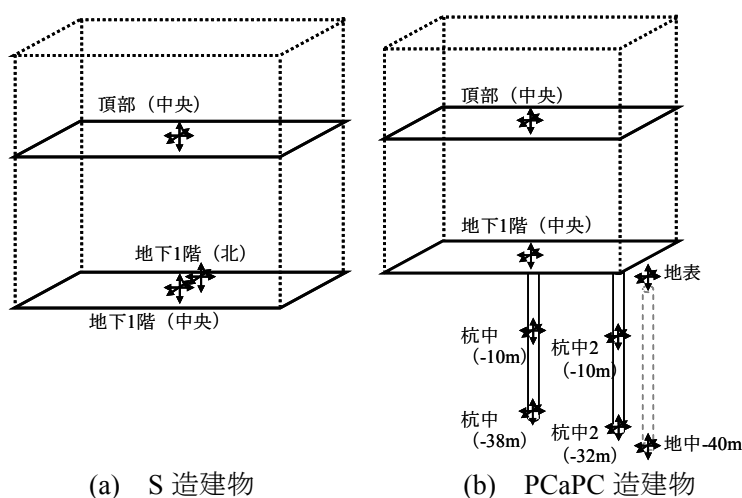


図 2.12 建設中建物の強震観測点

2.5 現場内 LAN を用いた建設中の高層建物の強震観測

建設業界では、CAD などの IT 技術を利用した業務形態が一般化してきた。近年では、建設現場においても作業員稼働数や入出退車両数の管理や、ペーパーレス化など施工管理に関わる部分にも IT 技術が活用されている。先進的な現場では、騒音・振動データの監視、工事写真の完全デジタル化が行われており、建設現場内に LAN を敷設しインターネットカメラを通じた安全性の監視なども行われつつある。本小節では、強震観測の新たな方法として、建設現場における IT 技術を活用した新たな強震観測の方法を述べる。

対象とした建物は、名古屋市内の洪積台地に立地する 18 階建ての S 造高層病院建物(図 2.13)で、粘性体制震壁を採用した制震建物である。強震観測は階数変化と内装付与が建物の固有振動数、減衰定数、建物と地盤との動的相互作用に及ぼす影響を観測できるように、地盤・建物 1 階中央・1 階端部・頂部の 4 地点に地震計を設置して行った。建物頂部の地震計は、上部構造物の構築と共に上階へ移設しながら観測を続けた。観測期間は約 20 ヶ月である。

強震観測に使用した強震計は、加速度計内蔵型の収録機で、時刻校正に GPS を用いるため、単独で強震観測が可能である。建設現場内では、複数の強震計を連動させるための同期ケーブルの敷設が困難であることから、トリガは独立とし、個々の強震計の GPS によるタイムスタンプを元に地震記録の時刻合わせを行った。この方法を採用することで、強震計を柔軟に設置・移動することが可能となるため、工事に伴う一時的な設置位置の変更や、上部構造の構築と共に設置位置を上階に移設することを実現した。

計測データは、現場内の LAN を利用して構築した強震観測ネットワークにより収集した(図 2.16)。強震計は LAN アダプタ(シリアル→TCP/IP プロトコル変換)を用いてネットワークに接続し、HUB で集約した後、現場事務所内に設置したパソコンを介して、インターネットに接続した。強震計を建設現場内のサブネットに収めることで有限な Global IP アドレスは一つで多点観測を実現した。

強震計のネットワーク化により、建設現場での強震観測でありながら



図 2.13 S 造高層病院建物の写真



図 2.14 S 造高層病院建物の建設模様

現場事務所及び現場外からリモートで強震計のデータ回収や動作確認，設定変更などが可能となる。建設現場などノイズが極めて多い状況下では，強震計に蓄積されるデータの収集，工事振動によるデータの消去を中心とするデータ管理の必要性が高いことから，強震観測ネットワークシステムの有用性が分かる。また，強震観測に使用する機器は，工事振動の観測にも利用可能であることから，リアルタイムの振動監視などにも機能を拡張することが可能である。



(a) GPS アンテナ (b) 強震計 (c) 養生後の強震計

図 2.15 現場内での強震観測の様様

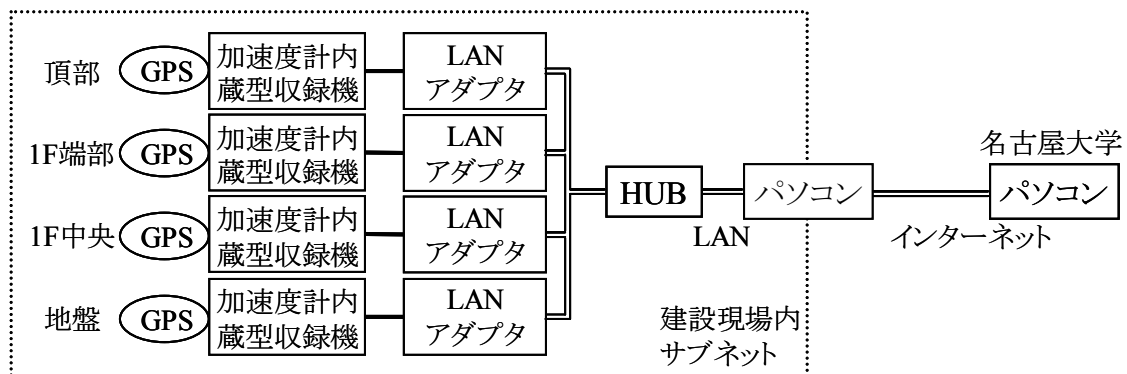


図 2.16 建設現場内の強震観測システムの概要

2.6 隣接建物増築時の強震観測・常時微動計測

一般的な中低層建物の隣接建物間相互作用に着目した実測・検討事例はごく僅か^{例えば 1)}である。そこで、2.2.2 節で対象とした S 造 10 階建て建物の周囲を取り囲むように隣接建物が建設される好機を利用して、隣接建物の建設が既存建物の振動性状に及ぼす影響を抽出するために詳細な実測を行った。図 2.17 に増築前後の写真を示す。

対象建物は、名古屋大学東山キャンパス内に立地する既存の S 造 10 階建ての IB 電子情報館（以下、既存建物と略記する）と、周囲に建設される RC 造 5 階建ての南棟、柱が SRC 造・梁が S 造の混合構造で 7 階建ての西棟、RC 造 1 階建て（一部 2 階建て）の中棟である。図 2.18

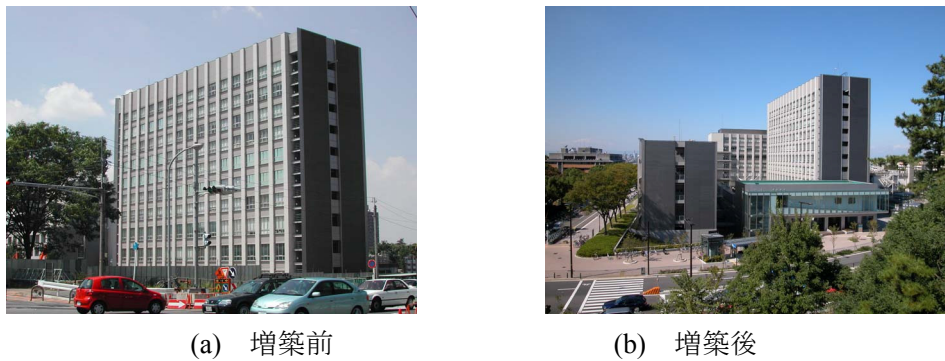


図 2.17 増築前後の S 造建物の写真

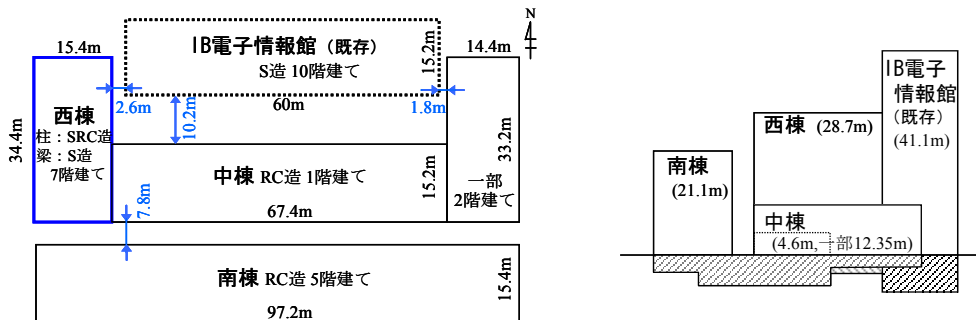


図 2.18 増築後の S 造建物の平面図（左）と東立面図（右）

表 2.2 IB 電子情報館と増築建物の概要

建物名	IB電子情報館	南棟	西棟	中棟
延床面積	10,525m ²	7,440m ²	3,322m ²	2,860m ²
階数	地上 10階 地下 1階	5階 1階	7階	1階（一部）2階 1階
軒高	41.1m	21.95m	31.34m	4.6m（一部）12.35m
構造種別	地上 S造 地下 SRC造	RC造 RC造	柱：SRC造, 梁：S造	RC造 RC造
骨組形式	X方向 ラーメン構造 Y方向 ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構造	ラーメン構造 耐震壁付き ラーメン構造	ラーメン構造 ラーメン構造
根入深さ	GL-7.5m	GL-3.5m (一部) GL-6.6m, 10.4m	GL-3.75m	GL-7.0m (一部) GL-9.8m
基礎種別	杭基礎 場所打ち杭	PHC杭	PHC杭	PHC杭
	杭径 1300φ, 1400φ, (拡底部)1900φ, 2400φ	400φ, 600φ	600φ	600φ
	杭長 41.7m	16 - 24m	23m	16 - 26m

に各建物の平面図，東立面図，表 2.2 に各建物の概要を示す。

実測は，既存建物に設置されている強震計も活用して，以下の 3 種類を行った。

- ① 既存建物に設置されている強震計（図 2.19）を用いて，隣接建物の建設工事期間中に常時微動計測を行った。約 4 日毎に強震計を手動で動作させ，加速度成分を 100Hz サンプリングで 10～30 分間収録した。この記録から，既存建物の長期的な振動特性の変化を検討する。
- ② 微動計を用いて，西棟を建設段階毎に図 2.19 に示すセンサー配置で常時微動を高密度同時計測した。計測は，西棟の 1F，2F，3F，5F 床スラブが打設された直後に当該床に建物上部観測点を設置し，5 秒計で速度成分を 200Hz サンプリングで 30 分間収録した。同時に，既存建物で強震計を手動で動作させて常時微動計測を行っている。この記録から，西棟の建設段階毎の振動特性の変化と，既存建物の振動特性の変化を検討する。
- ③ 既存建物では竣工してから継続的に強震観測を行っており，隣接建物の着工前までに 27，工事期間中に 12，隣接建物の躯体完成後に 35（2004 年 10 月末日まで）の地震記録を得ている。隣接建物竣工後は，隣接建物間相互作用も観測できるように，図 2.20 に示すセンサー配置で強震観測を行っている。これらの記録から，隣接建物の前後で地震時の振動特性の変化を検討する。

以上，3 種類の計測日時と工事の進展状況を図 2.21，表 2.3 に示す。

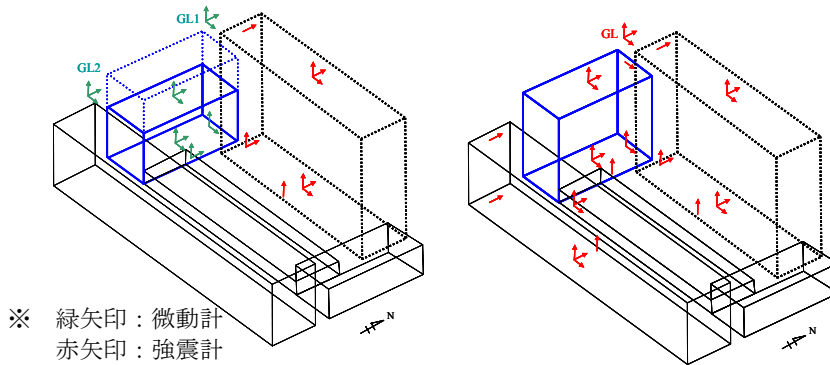


図 2.19 隣接建物建設時の常時微動観測点

図 2.20 隣接建物竣工後の強震観測点

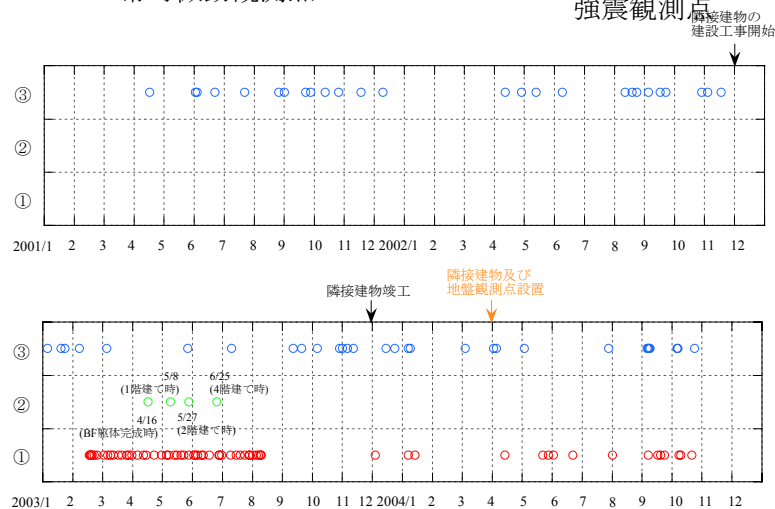


図 2.21 観測データ概要

- ① 強震計を用いた簡易常時微動記録
- ② 西棟の建設段階毎の常時微動記録
- ③ 強震観測記録

2.7 まとめ

本章では、建物振動実測の現状と課題を整理し、一般的な中低層建物の実測記録が質・量とも不足していることを把握した。この状況を従来の建物振動実測方法を用いて打開するには、膨大な資金と時間が必要となるが、本章では新たな建物振動実測の方法として、中低層建物の振動性状に及ぼす各種要因の影響を抽出することを目的に、戦略的強震観測・常時微動計測プログラムを作成、実施した。強震計などハードウェア、資金、時間の不足を補うために、建設中建物や増築前後の建物、地盤・基礎・上部構造の違いに着目をするソフト面で工夫することで、1棟の建物から複数の有益なデータを得ることが可能なことを示した。

表 2.3 計測日時と工事の進展状況

		南棟	西棟	中棟
02	12 上旬	杭打ち	杭打ち	杭打ち
02	12 中旬	一次根切り	一次根切り	一次根切り
03	01 中旬	根切り	基礎捨てコン	根切り
03	02 上旬		基礎梁完成	
03	02 17		鉄骨建方 第1節	
03	03 01		帯筋	BF床(東)
03	03 05			BF躯体配筋(東)
03	03 11		埋戻し	BF型枠(東)
03	03 20		鉄骨建方 第2節	
03	03 25		3FL鉄骨	
03	03 27		5FL鉄骨(途中)	BF躯体(東)
03	04 05	掘削		
03	04 11	捨てコン	鉄骨建方終了	
03	04 14		1F配筋	
03	04 16		地下躯体	
03	04 22	基礎梁		
03	04 30		1F躯体型枠	基礎、埋め戻し(北)
03	05 04		1F躯体	鉄骨建方(北)
03	05 08			
03	05 15	BF躯体		
03	05 22		2F躯体	
03	05 27			
03	06 01	1F躯体		
03	06 03		3F躯体	
03	06 17		4F躯体	
03	06 25			
03	06 27	2F躯体	5F躯体	
03	07 08			1F躯体(東)
03	07 14		6F躯体	1F躯体(西)
03	07 18	3F躯体		
03	07 27		7F躯体	2F躯体(東)
03	08 04	4F躯体		
03	08 06		RF基礎	
03	08 11	5F躯体		
03	11 中旬	竣工		

計測日



参考文献

- 1) 松山智恵, 福和伸夫, 飛田潤: 強震観測・強制振動実験・常時微動計測に基づく隣接する中低層建物の振動特性, 日本建築学会構造系論文集, No.545, pp.87-94, 2001.7
- 2) 飛田潤, 福和伸夫: 建物の地震時挙動に関する問題点の整理, 第3回強震データの活用に関するシンポジウム, 建築学会, pp.1-12, 2002.12
- 3) 八木茂治, 飛田潤, 福和伸夫: 常時微動計測による低層 RC 造建物の伝達関数に地盤・建物動的相互作用が及ぼす影響, 構造工学論文集, pp.435-444, 2000.3
- 4) 岡田純一, 福和伸夫, 飛田潤: 観測記録に基づく SRC 造 10 階建物の平面増築による振動特性変化, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.437-444, 2002.3
- 5) 飛田潤, 西山拓一, 福和伸夫, 西阪理永, 村橋亮: 常時微動計測に基づく 10 階建 SRC 造建物の立体振動性状, 第 10 回日本地震工学シンポジウム, pp.1677-1682, 1998