

モード学園スパイラルタワーズにおけるライフタイムモニタリング

Life time monitoring applied to Mode gakuen Spiral Towers



西澤崇雄
Takao Nishizawa
(株)日建設計構造設計部門
主管



大野富男
Tomio Ohno
(株)日建設計構造設計部門
技師長



飛田 潤
Juno Tobita
名古屋大学災害対策室
教授



福和伸夫
Nobuo Fukuwa
名古屋大学大学院環境学研究科
教授

Summary
We have been measuring the buildings by mounting optical fiber sensors capable of measuring static and dynamic displacement on some columns in the process of being constructed, in order to grasp and verify their performance. We analyzed the results of the measurement and reached the conclusion that measurement using optical fiber sensors is applicable to (1) evaluations of the performance of buildings, structural systems, and construction

1. はじめに

提案するライフタイムモニタリングは建物の建設途中から使用期間終了まで長期間の構造モニタリングを実施し、構造安全性の確保、被災後の損傷度推定、構造設計法への解析モデルしかなく、適切な評価が困難なが実情である。ライフタイムモニタリングでは、施工途中からの計測結果の分析により、SHMで課題として残る、信頼性の高い構造解析モデルの作成を可能としている。

ライフタイムモニタリングの概念図を図1に示す。建設途中から使用期間終了までの長期の計測であること、そしてその間の代表的な建物の状態に対応する構造解析モデルを作成し、計測結果とつぎあわせた分析を行うところに特徴がある。分析結果は、①性能把握：竣工直後の建物が設計で意図した通りに挙動しているかの確認、②改修性能把握：耐震改修による建物の挙動が設計で意図した通りかの確認、③損傷推定：地震後の構造躯体の損傷程度の推定に利用する。さらに、分析の途中で得られた知見は④設計法への

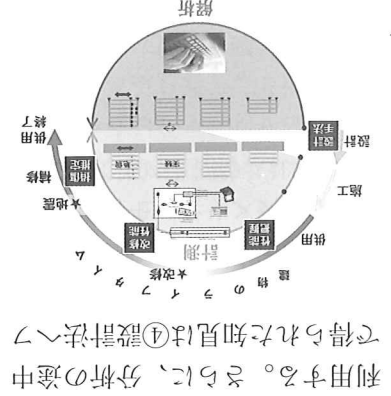


図1 ライフタイムモニタリング概念図

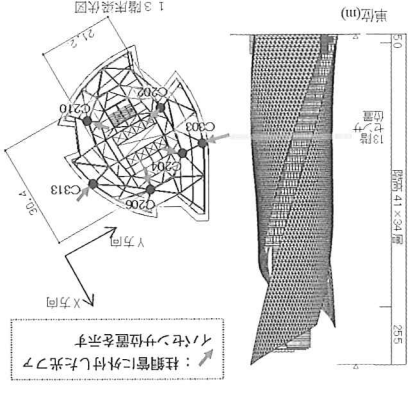


図2 モニタリング対象建物とライフタイムセンサ位置

| | | |
|---|--|---|
| <p>設計段階</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ライフットと協議/要請する損傷推定のレベル決定 ・建築物使用の可否判断のみ、損傷構造部材の特定 ・センサ配置計画/構造解析から効率的な計測位置を計画 | <p>施工段階</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工計測/静的計測：軸力変化、動的計測：建物周期 ・信頼性の高い構造解析モデルの作成 | <p>竣工後</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自由振動実験/センサ位置の部材の変動軌跡計測 ・構造モデルに反映/重量が変化が測れない変化か、どちらか ・間欠的計測/静的軸力変化、建物周期を計測 ・損傷推定/被災後、自由振動実験を再実施 |
|---|--|---|

図3 ライフタイムモニタリングのフロー

柱軸歪みの変化を把握する¹⁾。さらに動的計測を行い施工中の固有周期の変化を記録する。施工段階の異なる2時点以上で計測された周期、柱の変化を計測し施工の進捗に伴う建物重量の増加に対する測としてしている。施工段階では、施工の進捗による静的変位の上決定するが、本建物に対する適用は試験的適用であったことから、建物のなるべく下層階の1フロアのみでの設計時に計画するセンサ配置の疎密は、ライフットと協議でも構造体の歪み変化を捉える高い精度を有している¹⁾。

図2に建物の概要およびライフタイムモニタリングの概要

設計技術の高度化が図られることが期待できる。

ねることである。実建物の情報蓄積され、建築技術および構造

モードバックされ、以後の同様の建物設計をより現実

軸歪みの計測結果を用いて構造解析モデルのチューニングを行う²⁾ことで、信頼性の高い構造解析モデルの作成が可能である。竣工後は、直後に将来に再現することが出来る起振機などを用いた自由振動実験を行い、部材の動的歪変化を記録する。万一被災した場合には、自由振動実験を再現し被災前の動的歪み変化と比較検討することで、損傷の推定が可能となる。その後は間欠的に柱軸歪みや建物周期を計測する。実建物は竣工後も建物重量が変化している¹⁾。このため建物周期だけの計測では、建物の剛性あるいは重量が変化したのかを特定することは出来ない。このため竣工後も間欠的に計測することで、建物重量の変化を捉えることができ、作成した信頼性の高い構造解析モデルを更新することができ、常に精度の高い損傷度推定が可能となる。

3. モニタリング結果の概要

施工の進捗に伴う柱軸方向歪みの計測結果の例を図4に示す。図は温度補正を行い、温度による歪み変化を取り除いた計測結果である。施工の進捗に伴う重量の増加など重量変化に応じて変化している。また、CFT柱の充填コンクリートと鋼管の軸方向歪みが一致していないことは初めて明らかとなった挙動である。この歪みの不一致は充填コンクリートの収縮による影響だけでは説明できず、柱の静的軸力に対して、充填コンクリートと鋼管は異なる歪みを生じた複雑な挙動で負担していると考えられる。充填コンクリートの収縮挙動を考慮した詳細な分析については今後の論文にて公開していく予定である。

施工途中の動的計測の結果を利用して解析モデルのチューニングを行った結果を表1～2に示す。チューニングは固有周期および静的計測結果による柱軸力により分析する。解析モデルは竣工直後の積載荷重がない状況に対応する構造解析モデルを作成し、実建物と固有周期の一致の程度を

解析モデルに反映し実建物との整合を確認した(表2)。計測周期が微動周期であることに注意が必要だが、図5に示すようにアスペクト比の大きい建物では微動周期と地震時の周期の一致の程度が良い²⁾と考えられ、これらを踏まえて信頼性の高い構造解析モデルを作成することができる。

図6～7は竣工直後にAMDを起振機として実施した自由振動実験での柱軸方向変位の計測結果を示している。トラス架構の200番台の柱では埋込と外付の挙動が一致するが、ラーメン架構となる300番台の柱ではこれらが一致していない。これは外付センサが柱端の鋼管に外付けされているために柱軸方向歪みに加え、部材曲げ歪みが加算されているためである。図8に2節に説明する手順で作成した信頼性の高い3次元骨組みの構造解析モデルによるセンサ位置の歪みのシミュレーション結果を示す。解析結果は計測結果と一致する傾向を示し、センサは部材端の曲げ応力を検出していることが分かる。これを利用して被災時の損傷度推定への利用が可能である。少数の鉄骨梁の下フランジ破断といった損傷が生じた場合で、建物の固有周期に有意な変化が無い場合でも、破断部材まわりの曲げ応力は大きく変化し、損傷を検出できることを解析的に検証している³⁾。

4. まとめ

提案するライフタイムモニタリングの概念・適用の手順を説明し実建物における適用事例を示した。この結果、精度良く建物の重量や剛性、応力負担状況などを把握することができ、建物構造の状況把握や損傷度推定に有用であることを示した。東日本大震災においても、震度3程度の揺れの遠隔地の超高層建物において、構造体の健全性を確認したいとの要望が顕在化しており、本論で提案する技術の発展と普及が望まれる。

参考文献

- 1) 西澤崇雄、大野富男、飛田潤、福和伸夫：光ファイバセンサによる高層建築物建設時の柱軸力変化の計測、日本建築学会技術報告集、第15巻第31号、pp.751-756、2009.10
- 2) 西澤崇雄、大野富男、飛田潤、福和伸夫：設計から竣工後までの長期的な品質確保のための光ファイバセンサによる高層建物の構造性能把握に関する研究、日本建築学会構造系論文集No.658、pp.2247-2255、2010.12
- 3) 西澤崇雄、大野富男、飛田潤、福和伸夫：構造性能把握のためのライフタイムモニタリングの提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、2011.8

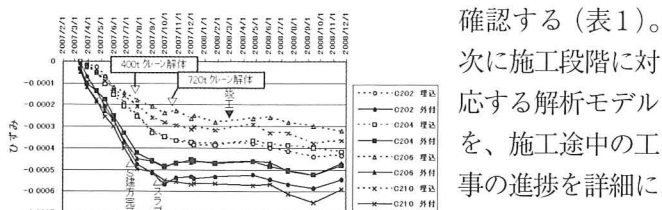


図4 柱歪の経時変化 (C200番台の柱)
Fig.4 Secular change of column strain (Columns of the 200th level)

表1 実測周期と解析周期の比較
Table 1 Comparison between measured and analyzed periods

| M建物 竣工直後 | T ₁ (短辺方向) | | T ₂ (長辺方向) | | T ₃ (ねじれ) | |
|--------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|----------------------|----|
| | 秒 | 比率 | 秒 | 比率 | 秒 | 比率 |
| M0モデル | 一般設計時モデル | 2.98 (0.99) | 2.24 (1.01) | 0.96 (0.98) | | |
| M0-RWモデル | 詳細質量モデル | 3.17 (1.05) | 2.38 (1.07) | 1.01 (1.03) | | |
| M0-RV-RLLモデル | 修正LLモデル | 2.99 (0.99) | 2.24 (1.01) | 0.96 (0.98) | | |
| 実測値 | 実測値 | 3.01 (1.00) | 2.22 (1.00) | 0.98 (1.00) | | |

表2 実測周期(施工中)と解析周期の比較
Table 2 Comparison between measured(during construction) and analyzed periods

| M建物 施工中 | T ₁ (短辺方向) | | T ₂ (長辺方向) | |
|----------|-----------------------|-------------|-----------------------|----|
| | 秒 | 比率 | 秒 | 比率 |
| M0-Uモデル | 詳細質量モデル | 1.93 (0.99) | 1.48 (1.00) | |
| 実測値(施工中) | 実測値(施工中) | 1.94 (1.00) | 1.48 (1.00) | |

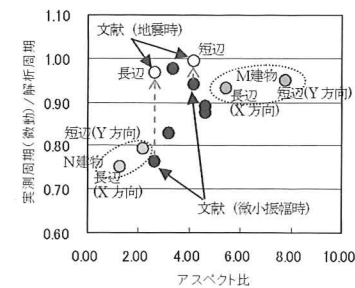


図5 アスペクト比と実測周期/設計周期
Fig.5 Aspect ratio and Measurement period/Design period

図6 柱軸方向計測変位 (X方向加振 C202)
Fig.6 Axial-direction displacement of column due to free vibration (X direction excitations/C202)

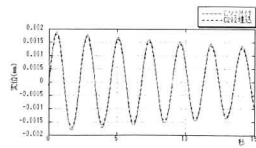


図7 柱軸方向計測変位 (X方向加振 C313)
Fig.7 Axial-direction displacement of column due to free vibration (X direction excitations/C313)

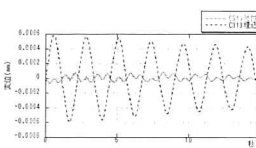


図8 柱軸方向計測変位 解析との比較 (M建物 X方向加振 C313)
Fig.8 Comparison between measured and analyzed free vibration waveforms (X direction excitations/C313)

