

時間領域のモード解析

— RC 造建物の動的特性の検討 —

株式会社バイブラントシステム開発
Vibrant System Development Co.,Ltd.

〒207-0014 東京都東大和市南街 5-39-16
TEL (FAX) 042-507-2731
E-mail ando@vsdc.co.jp
URL <http://www.vsdc.co.jp>

目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 1. はじめに ----- | 1 |
| 2. 建屋が初期状態の場合 ----- | 2 |
| 3. 建屋が弱 L 2 入力後の場合 ----- | 13 |
| 4. 建屋が終局状態の場合 ----- | 24 |
| 5. おわりに ----- | 32 |

1. はじめに

近い将来、発生が予想される海溝型巨大地震による長周期地震動の超高層ビルに対する影響が懸念されています。2011年の東北地方太平洋沖地震では、堆積層の厚い大都市圏において超高層ビルの非構造部材損傷等の被害が発生しました。そこで長周期地震動に対する超高層ビルの応答性状を把握し、耐震性能を検証するため、2012年に既存の超高層RC造建物を対象とした振動試験「長周期地震動に対するRC造建築物の安全性検証方法に関する検討^{1) 2) 3)}」が、防災科学技術研究所兵庫耐震工学センターのE-ディフェンスを使用して大林組技術研究所によって実施されました。ただし、試験では、実在する階高3m、高さ60mの超高層RC造建物の1/4縮尺、即ち、階高0.75m、高さ15mのRC造建物が代用されています。図1にその建物を示します。振動試験は入力地震波として2011年東北地方太平洋沖地震の観測波および南海トラフを震源とする三連動地震を想定して作成された模擬波が使用され、建物の健全な状態から終局状態に至るまで行われました。

振動試験データは、その後、防災科学技術研究所のASEBI¹⁾で公開されましたが、ここに、同データに対して時間領域のモード解析^{4) 5) 6)}を適用して固有値および固有ベクトルを求め、RC造建物の状態変化に伴う動的特性の推移について検討を試みました。振動試験は水平2方向(x, y)および上下方向(z)の各方向別に行われたため、解析はそれぞれ個別に行いました。使用したデータは表1に示す3ケースの加速度記録です。以下に各ケースの解析結果について紹介します。

表1 解析に使用したデータ

| ケース | 建物の状態 | 加振条件 |
|-----|--------|----------------|
| 1 | 初期状態 | ランダム波 3軸_30gal |
| 2 | 弱L2入力後 | ランダム波 3軸_50gal |
| 3 | 終局状態 | ランダム波 3軸_50gal |

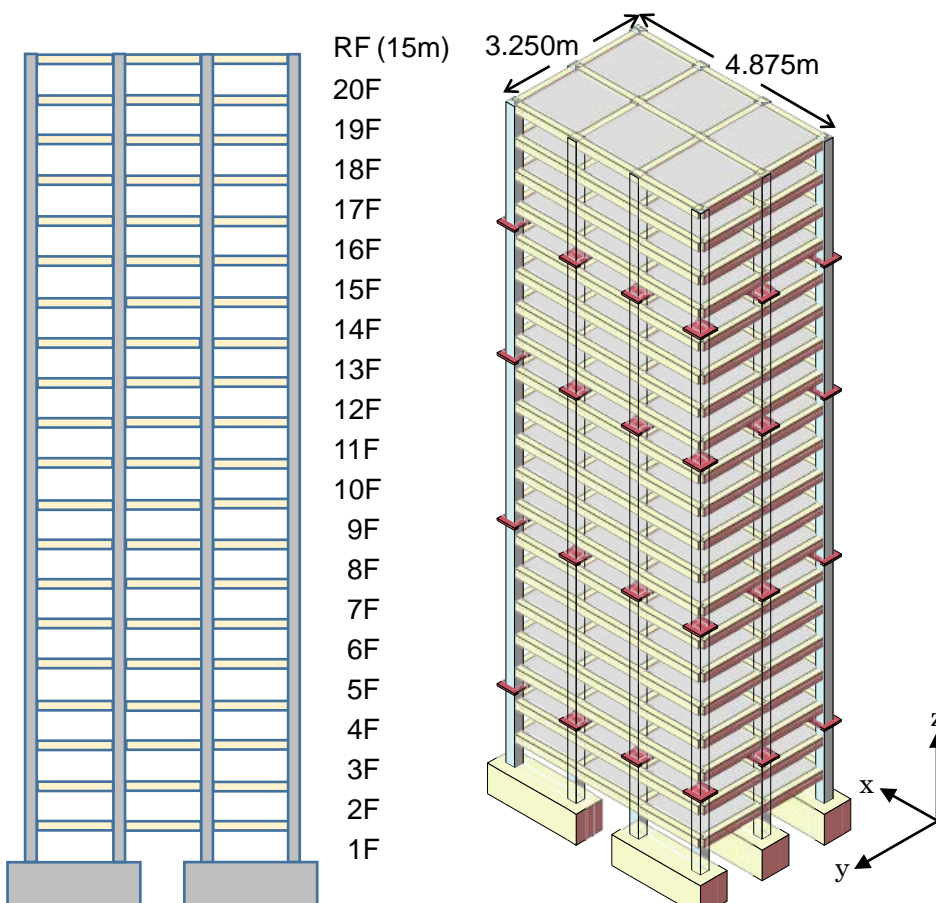


図1 解析対象建物の軸組図および外観図¹⁾

2. 初期状態の解析結果

時間領域のモード解析は、運動方程式上、1Fの記録を入力波、奇数階の記録をその応答と見なして実施しました。解析より1Fと各奇数階間の周波数特性が明らかになります。ただし、解析では、x成分について50Hzまで、y成分について10Hzまで、z成分については20Hzまでをそれぞれ対象としました。解析で使用したx、y、zの3成分の波形の一部を図2-1~3に示します。ここにAに付く番号は階数を意味します。解析では0.0~40.96秒間(8192個、サンプリング周波数は200Hzです)の記録を使用しました。

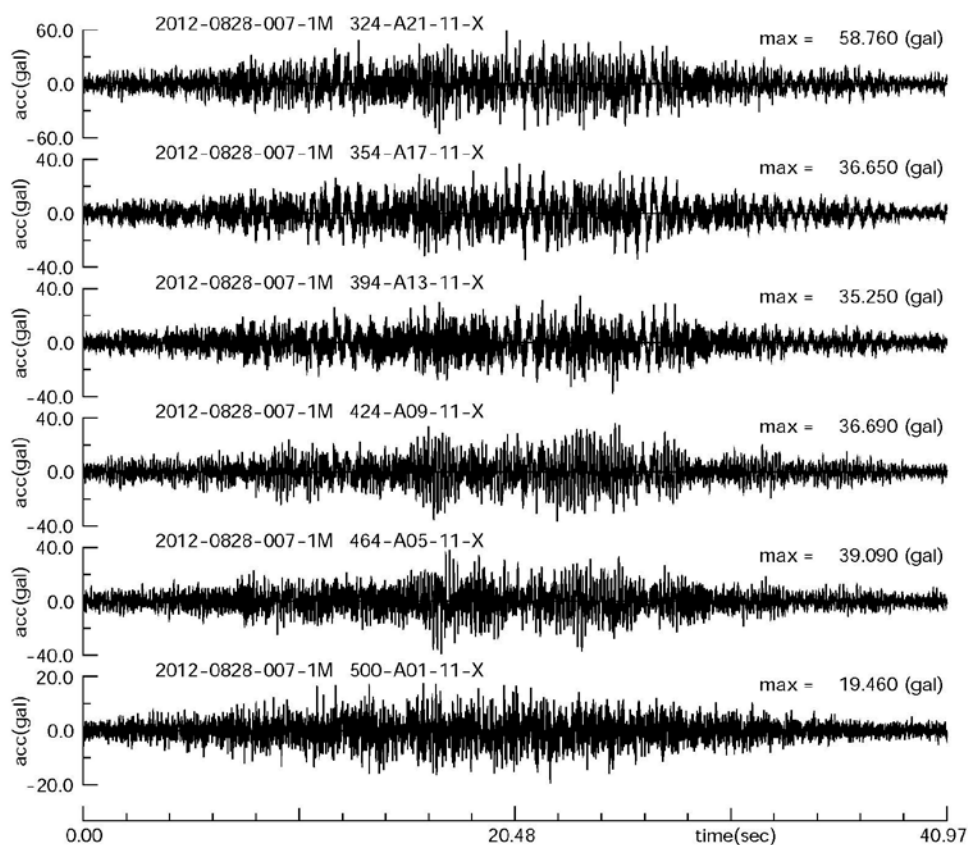


図 2-1 初期状態の x 成分

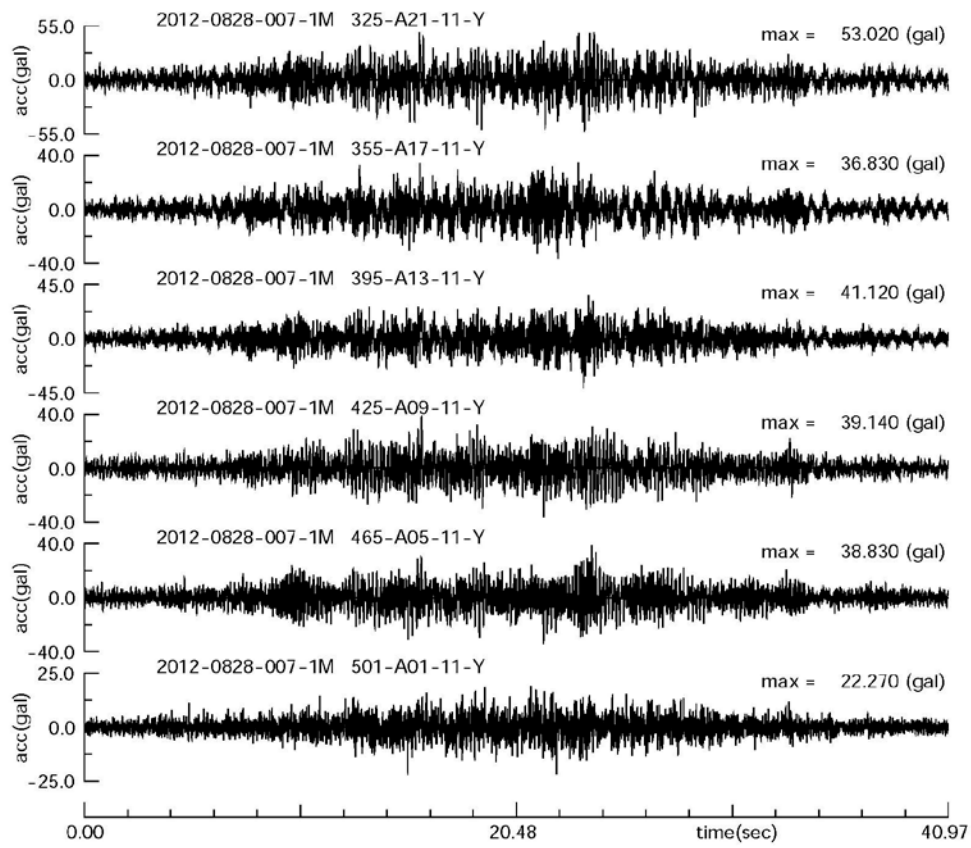


図 2-2 初期状態の y 成分

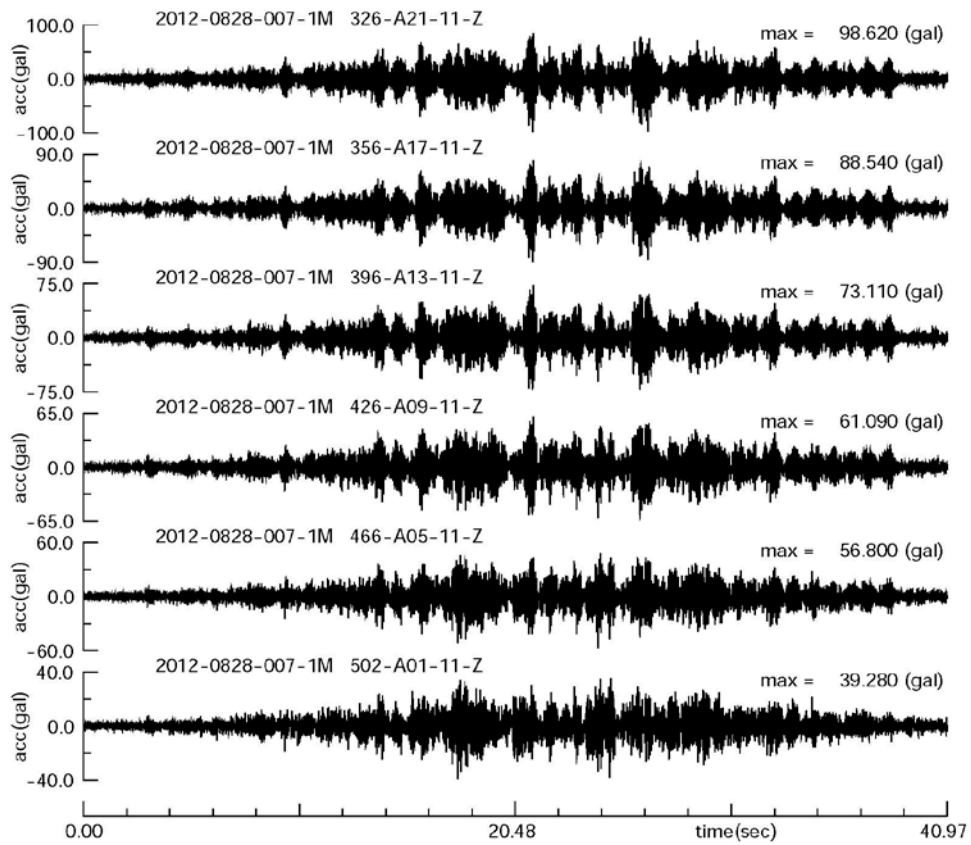


図 2-3 初期状態の z 成分

2.1 x成分の解析結果

時間領域のモード解析より 10 個のモードが求められました。それらモードの固有周波数、固有周期、減衰定数および刺激係数を表 2.1-1 に示します。刺激係数より、応答に対して第 1 次モードが支配的であることがわかります。

表 2.1-1 x成分の解析結果

| No. | 固有周波数(Hz) | 固有周期(sec) | 減衰定数(%) | 刺激係数 |
|-----|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 1.882 | 0.531 | 1.56 | 0.480 |
| 2 | 6.027 | 0.166 | 1.07 | 0.223 |
| 3 | 11.000 | 0.091 | 0.98 | 0.102 |
| 4 | 15.931 | 0.063 | 0.84 | 0.059 |
| 5 | 20.037 | 0.050 | 1.32 | 0.023 |
| 6 | 21.930 | 0.046 | 0.92 | 0.028 |
| 7 | 26.927 | 0.037 | 0.96 | 0.033 |
| 8 | 32.646 | 0.031 | 0.94 | 0.025 |
| 9 | 38.702 | 0.026 | 1.03 | 0.017 |
| 10 | 44.820 | 0.022 | 0.86 | 0.010 |

(1) 加速度波形の比較

一部の階について、解析より求められた 10 個のモードの和による加速度応答と振動試験記録との比較図を図 2.1-1~4 に示します。ここに、図 2.1-3、4 は図 2.1-1~2 の主要動部を拡大した比較図ですが、再現性は良好です。他の階も同様です。

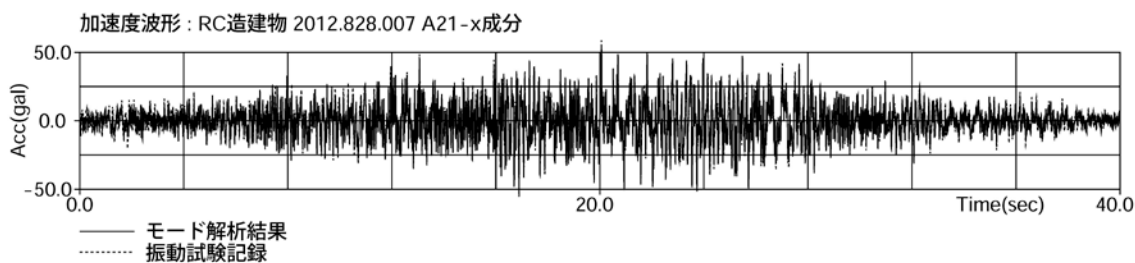


図 2.1-1 A21 の加速度波形の比較

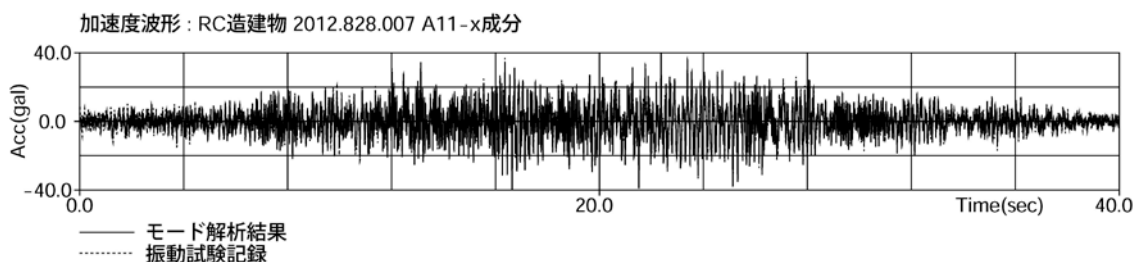


図 2.1-2 A11 の加速度波形の比較

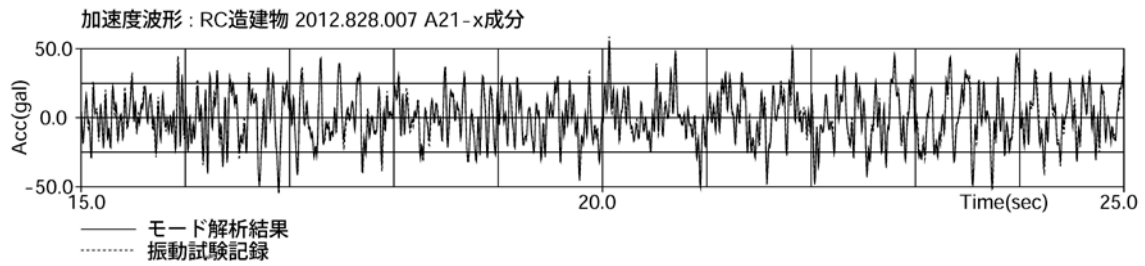


図 2.1-3 A21 の加速度主要動部の波形の比較

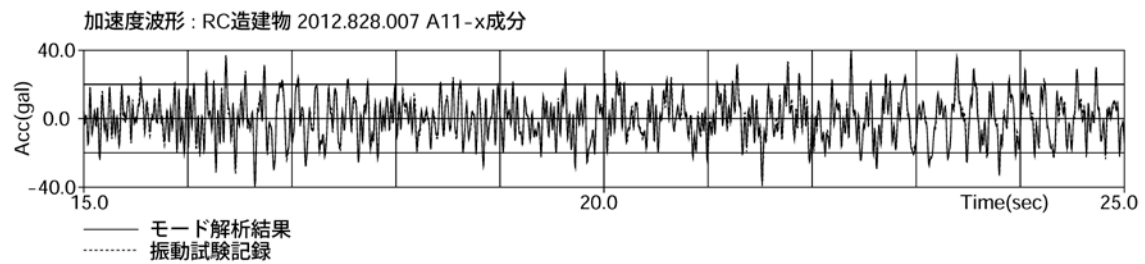


図 2.1-4 A11 の加速度主要動部の波形の比較

(2) 伝達関数の比較

図 2.1-5~8 に解析より求められた 10 個のモードの和による伝達関数と振動試験記録のスペクトル比との比較図を示します。図 2.1-7、8 は 10Hz 以下の 2 つのモードを拡大して示した図ですが、解析結果はピーク周波数をよく捕らえています。

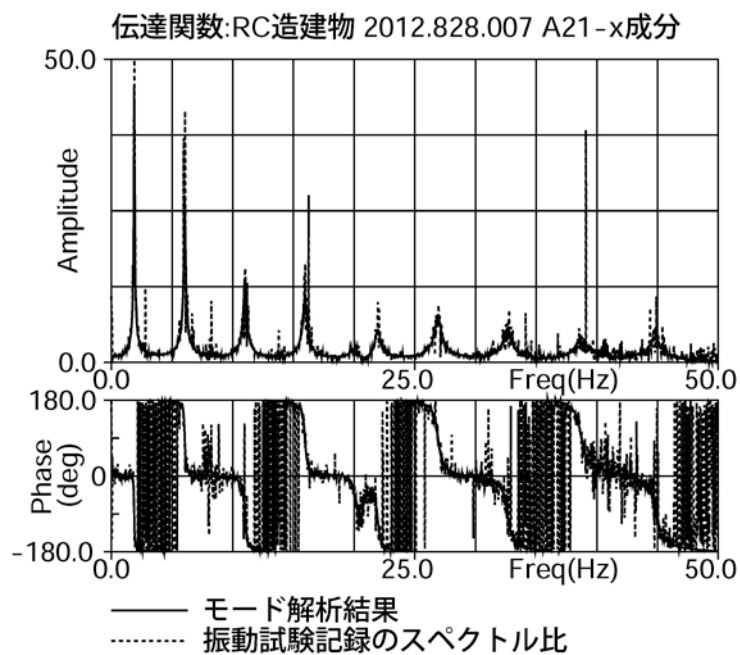


図 2.1-5 A21 の伝達関数の比較

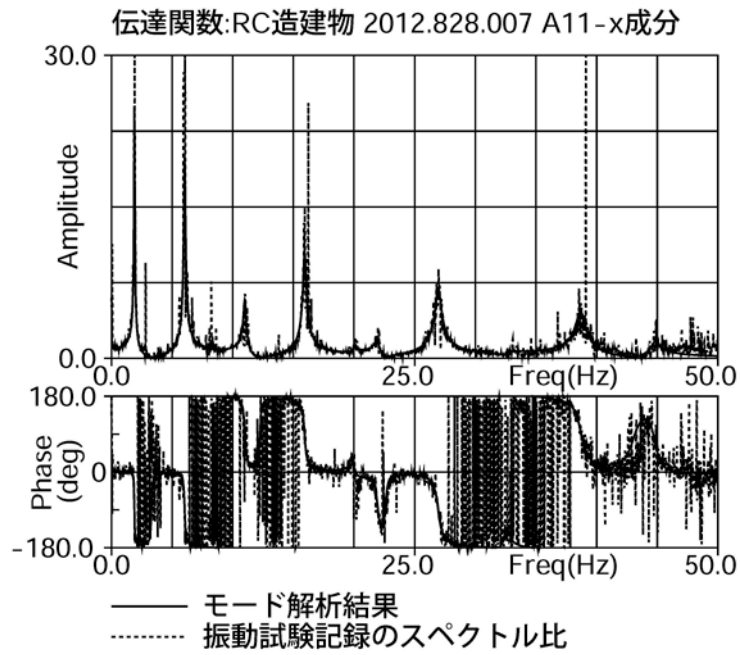


図 2.1-6 A11 の伝達関数の比較

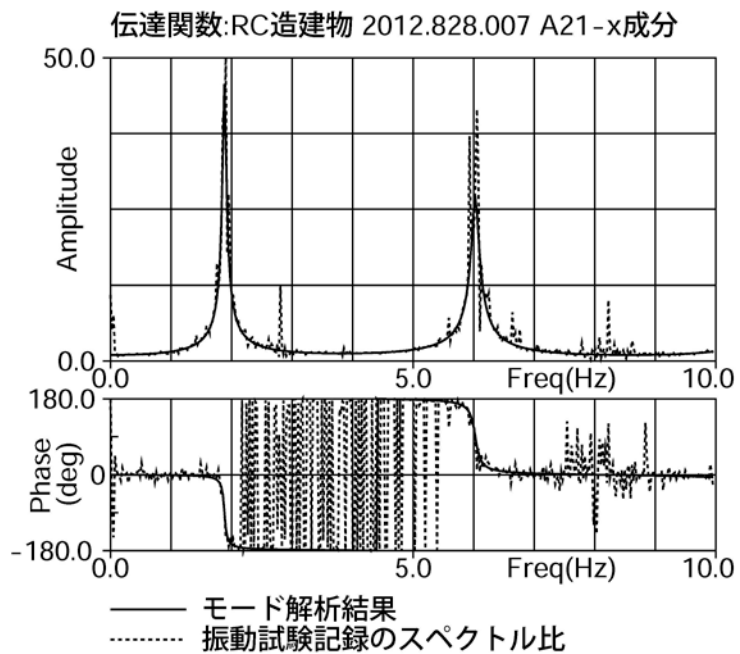


図 2.1-7 A21 の伝達関数の比較 (10Hz まで)

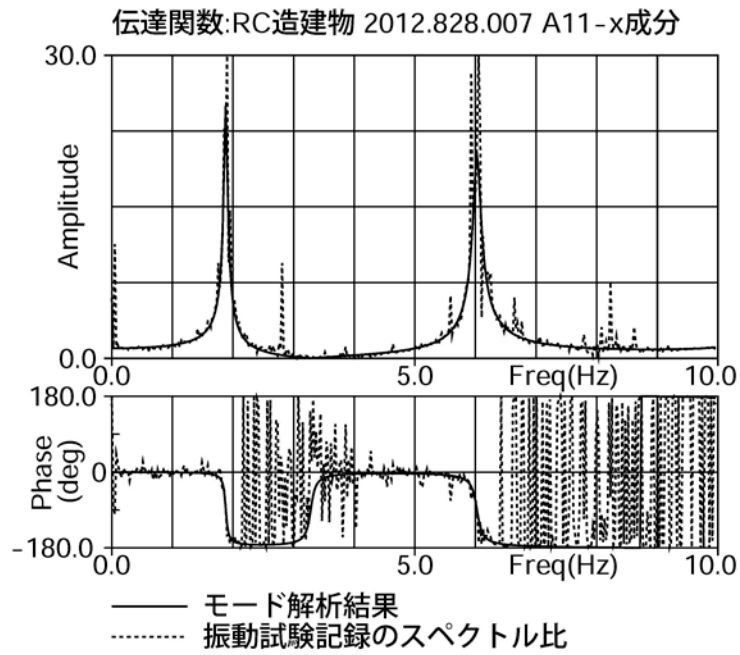


図 2.1-8 A11 の伝達関数の比較 (10Hz まで)

(3) モード形状

解析より求められた 10 個のモードの内、応答に対して寄与率の大きい第 1 次～3 次のモードの形状を図 2.1-9 に示します。これらは時間領域のモード解析のパラメータのひとつである刺激関数であり、各モードについて最大値を一定の長さに規格化して描いています。いずれも並進モードです。

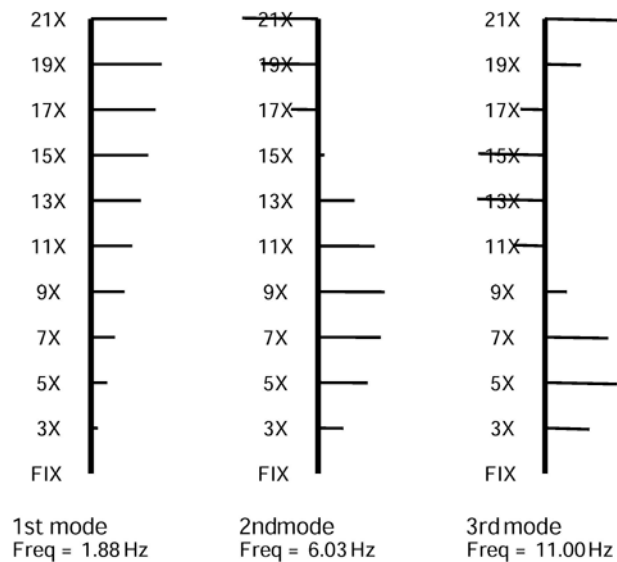


図 2.1-9 x 方向のモード形状

2.2 y成分の解析結果

前述しましたようにy成分は高次モードの解析が難しかったため10Hzまでを対象とし、解析では10Hzのローパスフィルターをかけた記録を使用しました。

時間領域のモード解析より2個のモードが求められました。それらモードの固有周波数、固有周期、減衰定数および刺激係数を表2.2-1に示します。モード構成はx成分と同様であり、図2.2-5に示したモードも同じような形状をしています。ただし、刺激係数は異なり、第1次モードより第2次モードの方がかなり大きく、その特性は図2.2-1、2の加速度波形に現れています。一般に建物の場合、刺激係数は第1次モードが他のモードに比較して大きいので、試験対象建物が実在超高層RC造建物の動的特性を反映した構造であったのかどうか、疑問に思われます。

表 2.2-1 y成分の解析結果

| No. | 固有周波数(Hz) | 固有周期(sec) | 減衰定数(%) | 刺激係数 |
|-----|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 1.688 | 0.592 | 1.57 | 0.103 |
| 2 | 5.592 | 0.179 | 1.08 | 0.897 |

(1) 加速度波形の比較

解析より求められた2個のモードの和による加速度応答と振動試験記録との比較図を主要動部を拡大して図2.2-1~2に示します。再現性は良好です。

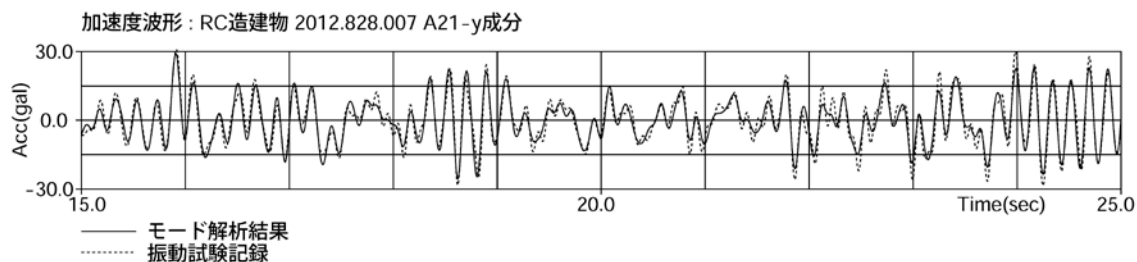


図 2.2-1 A21 の加速度主要動部の波形の比較

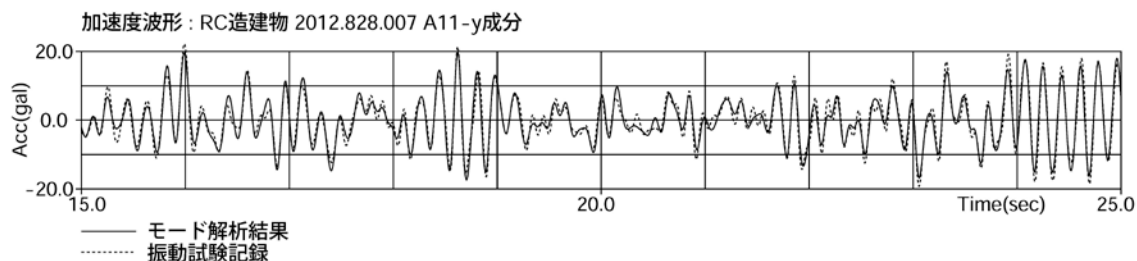


図 2.2-2 A11 の加速度主要動部の波形の比較

(2) 伝達関数の比較

図 2.2-3~4 に、解析より求められた 2 個のモードの和による伝達関数と振動試験記録のスペクトル比との比較図を示します。ピーク周波数はよく捕らえられています。

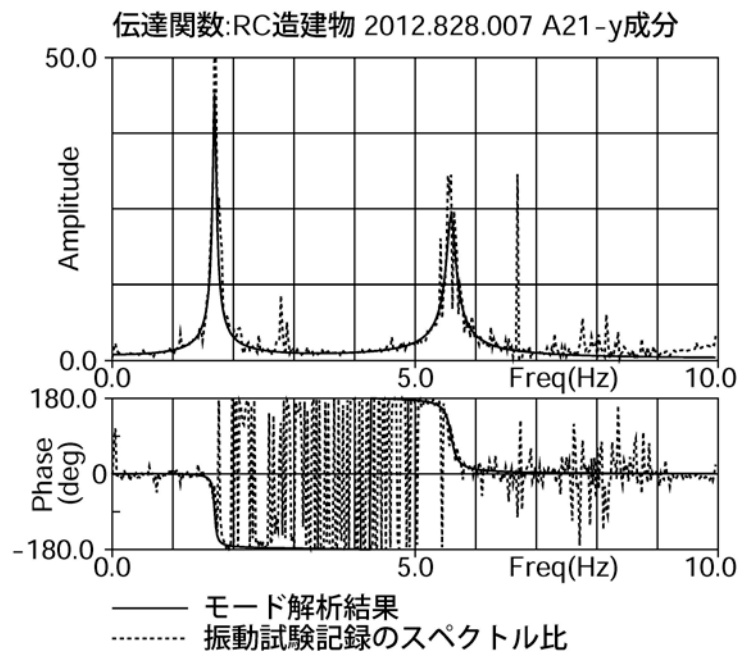


図 2.2-3 A21 の伝達関数の比較

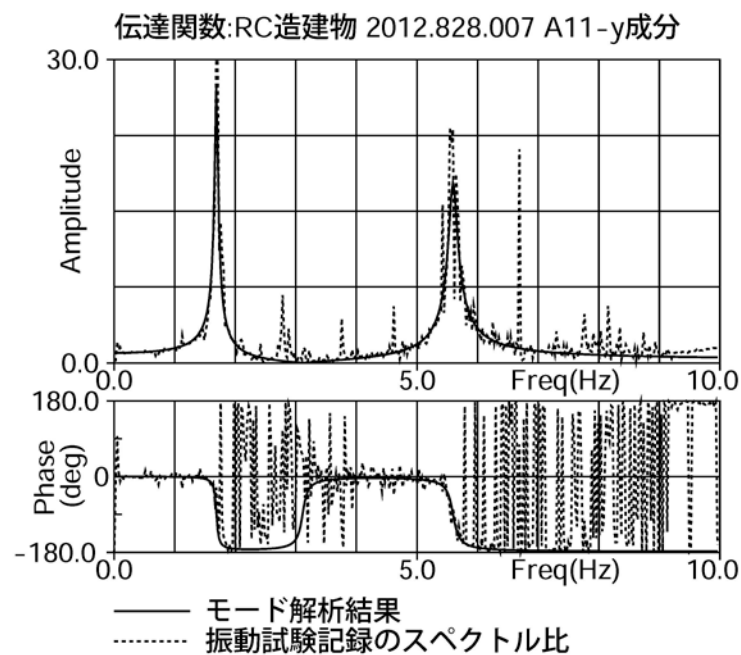


図 2.2-4 A11 の伝達関数の比較

(3) モード形状

解析より求められた 2 個のモードの形状を図 2.2-5 に示します。解析より求められた刺激関数より、各モードの最大値を一定の長さに規格化して描いています。第 1 次、第 2 次ともに並進モードです。

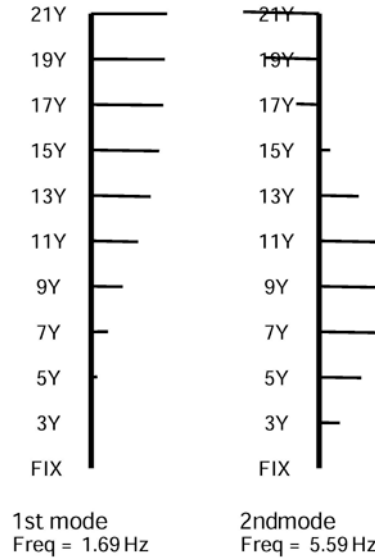


図 2.2-5 y 方向のモード形状

2.3 z 成分の解析結果

前述しましたように z 成分は 20Hz までを解析の対象とし、記録に対して 20Hz のローパスフィルターをかけて解析を行いました。求められたモードは 1 個であり、そのモードの固有周波数、固有周期および減衰定数を表 2.3-1 に示します。

表 2.3-1 z 成分の解析結果

| No. | 固有周波数(Hz) | 固有周期(sec) | 減衰定数(%) |
|-----|-----------|-----------|---------|
| 1 | 14.659 | 0.068 | 2.22 |

(1) 加速度波形の比較

解析より求められた 1 個のモードによる加速度応答と振動試験記録との主要動部の比較図を図 2.3-1~2 に示します。再現性は良好です。

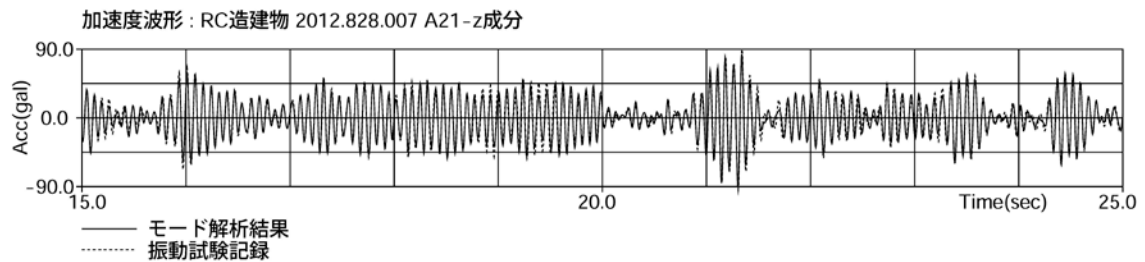


図 2.3-1 A21 の加速度主要動部の波形の比較

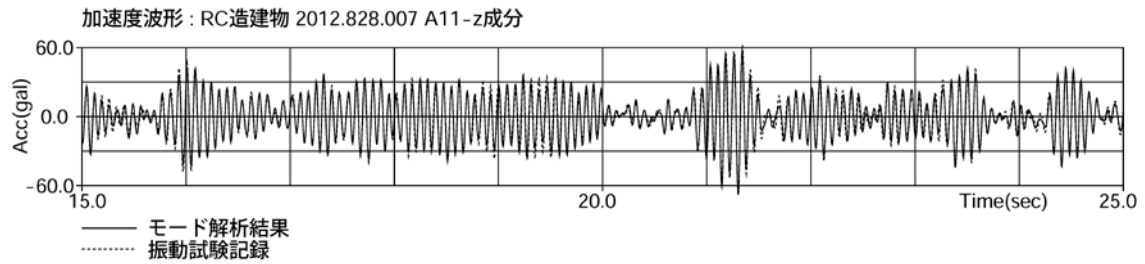


図 2.3-2 A11 の加速度主要動部の波形の比較

(2) 伝達関数の比較

図 2.3-3~4 に解析より求められた 1 個のモードによる伝達関数と振動試験記録のスペクトル比との比較図を示します。ピーク周波数はよく捕らえられています。

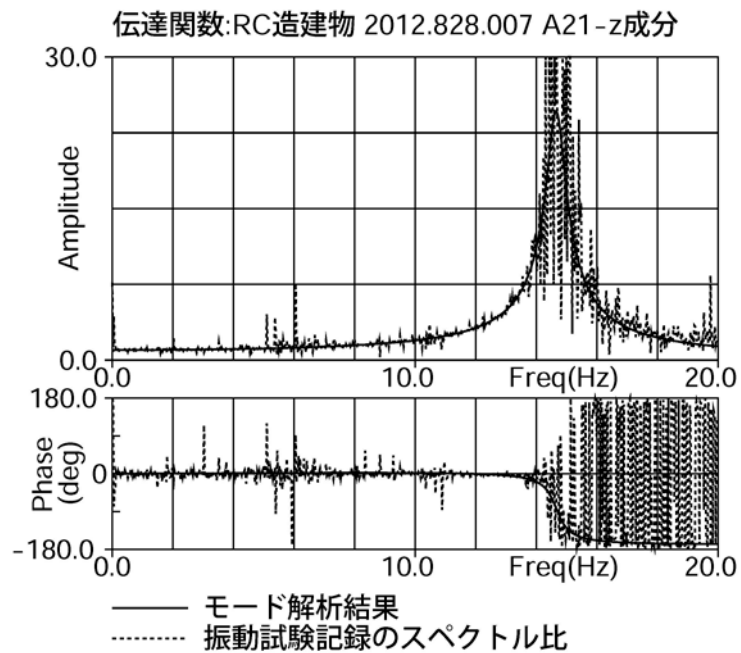


図 2.3-3 A21 の伝達関数の比較

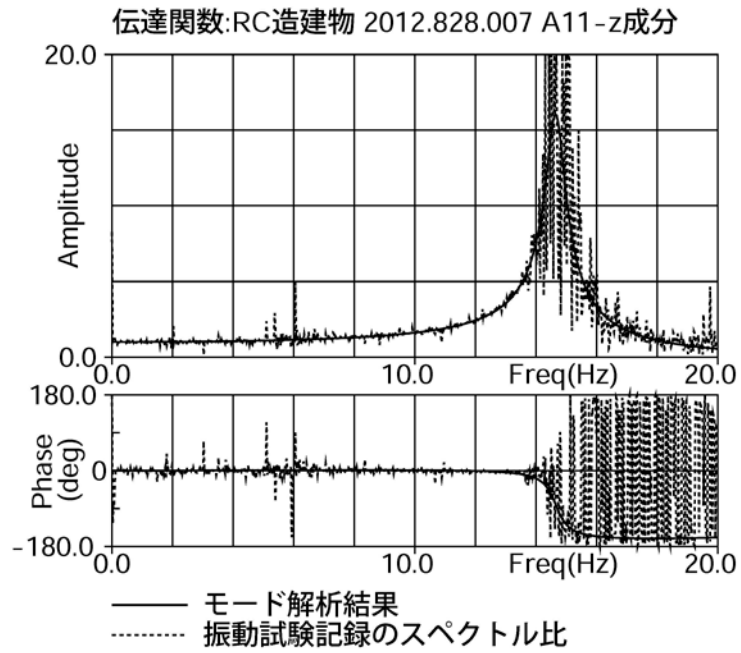


図 2.3-4 A11 の伝達関数の比較

(3) モード形状

解析より求められた 1 個のモードの形状を図 2.3-5 に示します。解析より求められた刺激関数より、モードの最大値を一定の長さに規格化して描いています。

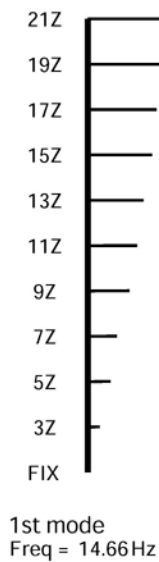


図 2.3-5 z 方向のモード形状