

2 層ラーメン構造の結合部損傷による振動特性変化の検討

Investigation of Vibration Characteristics Change of Two-story Rigid Frame Structure due to Damage of Connection

北見工業大学

北見工業大学

北見工業大学

太平洋総合コンサルタント(株)

○ 学 生 員 成 田 美 和 子 (Miwako Narita)

フェロー 大 島 俊 之 (Toshiyuki Oshima)

正 会 員 山 崎 智 之 (Tomoyuki Yamazaki)

正 会 員 工 藤 英 雄 (Hideo Kudo)

1. はじめに

土木構造物は、通常、長年にわたって供用される建築物であり、徐々に進行する経年劣化とともに突発的な地震や暴風などによる損傷が生じる。今後、合理的に維持管理していくためには、構造物の健全度評価あるいは何らかの損傷を推定することが重大な課題であると考えられる。本研究では、構造物の振動特性を知ることによって、構造物の状態の推定を行うための基礎的研究として、2 層ラーメン構造をモデルに健全状態と損傷状態での振動特性の変化を検討した。

2. 実験供試体

実験供試体を図-1 に示す。加振方向面を正面とし、加振直角方向面を側面とする。厚さ 4mm、幅 40mm のアルミニウム板により作成した。振動台の性能限界により各層にスチール板をおもりとして設置した。結合部は M4 のボルト 9 本で固定し、それを健全状態として、損傷状態は固定しているボルトの本数を 5 本、3 本、1 本に減らすことによりモデル化した。

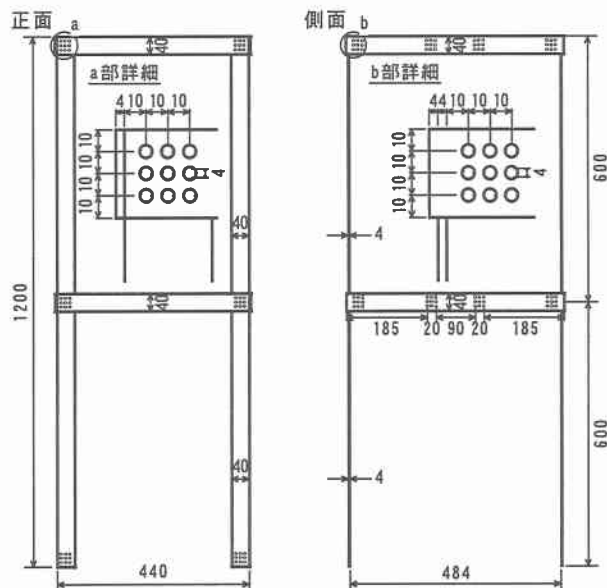
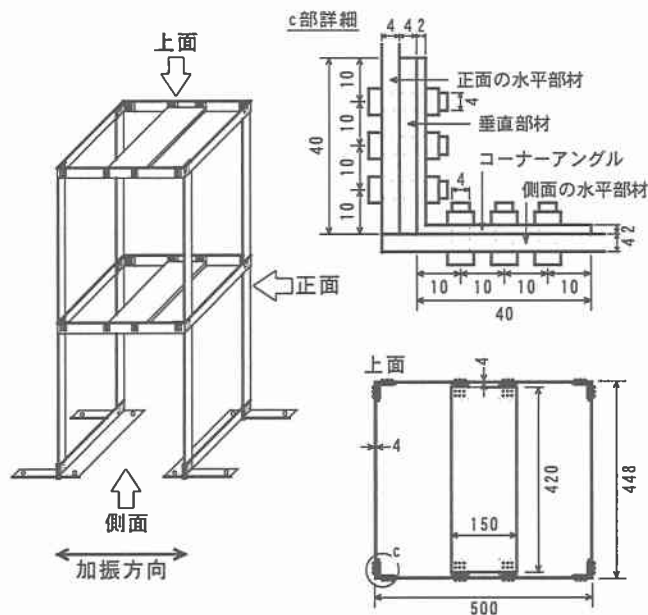
3. 加振実験(ケース 1)

3.1. 実験手法

図-2 に示す 9 本のボルトの固定状態に対して、振動台による正弦波加振実験を行い、各層側面中央部の加振方向の応答加速度を測定した。振動台の入力波は振幅 2mm の正弦波を 15 サイクルとし、振動数を徐々に上げながら各振動数について測定した。また、計測するときのサンプリング周期は 0.01sec(100Hz)とし、計測時間は加振後の減衰自由振動波形を得るために 50sec とした。



図-2 ボルトの固定状態(ケース 1)



単位:mm

図-1 実験供試体

3.2. データ処理

得られたデータから共振曲線を求め、振動特性を推定した(図中「共振曲線」と表示)。その結果から、卓越する振動数に最も接近すると思われる振動数を振動台の入力波の振動数としたときに得られたデータの減衰自由振動波形から直接読み取る方法(図中「波形」と表示)とスペクトル解析による方法(図中「スペクトル」と表示)で振動特性を推定し、比較した。なお、波形から直接読み取る方法では、バンドパスフィルタ処理を行って得られた波形を用いて行った。

また、それぞれのボルトの固定状態での波形の比較を行った。

3.3. 実験結果

供試体の2層目での応答加速度データを用いて得られた共振曲線と、固定しているボルトの本数と振動特性の変化を図-3に示す。

図-3(b) および(c)から、固定しているボルトの本数の減少とともに固有振動数が小さくなっていることがわかる。これは結合部の剛性の低下によるものと思われる。また、求める方法によるばらつきは少ないこともわかる。

図-3(d)の1次振動の減衰定数については、波形からの結果とスペクトル解析による結果では、固定しているボルトの本数が1本になると小さくなっているが、共振曲線からの結果では急激に大きくなっている。

そこで、加振停止直後の減衰自由振動波形に着目し、その波形から減衰定数を求めた(図中「波形(直後)」と表示)。それぞれのボルトの固定状態での1次固有振動数に最も接近すると思われる振動数で加振したときの波形を図-4に示す。なお、この波形は1.5Hz~2.2Hzのバンドパスフィルタ処理を行って得られた波形である。この波形に着目して求めた結果、共振曲線から求めた減衰定数と同様の傾向が得られた。これは、加振停止直後急激に減衰するため、推定方法によって誤差が生じたのではないかと考えられる。

図-3(e)の2次振動の減衰定数については、固定しているボルトの本数の減少とともに共振曲線による結果が小さくなっている。これは、振動台の入力波を15サイク

ルとしたため、2次固有振動数付近の振動数での加振では、有効な応答加速度波形振幅が得られなかったのではないかと考えられる。1次振動と同様に、加振停止直後の減衰自由振動波形から求めた結果、固定しているボルトの本数が1本になると大きくなる傾向が得られた。この加振停止直後の減衰自由振動波形を図-5に示す。なお、この波形は5.0Hz~6.0Hzのバンドパスフィルタ処理を行って得られた波形である。

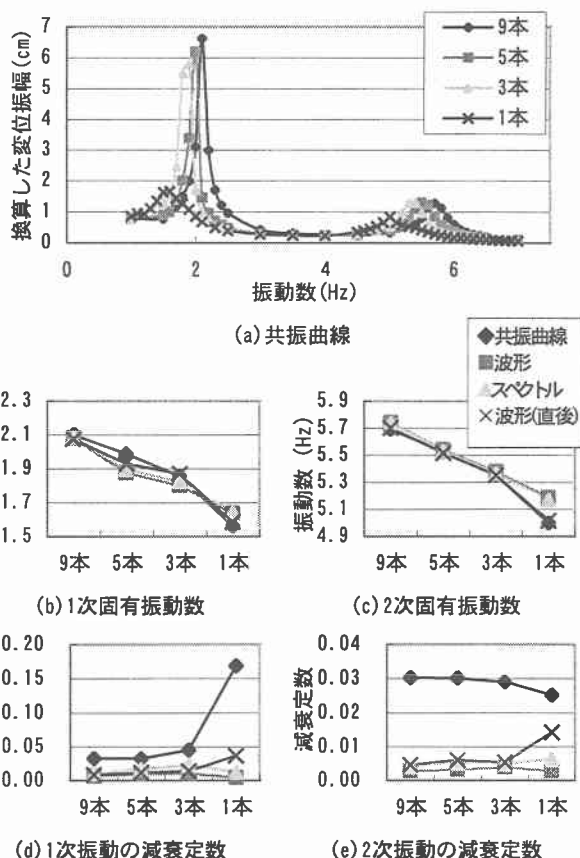


図-3 実験結果(ケース1)

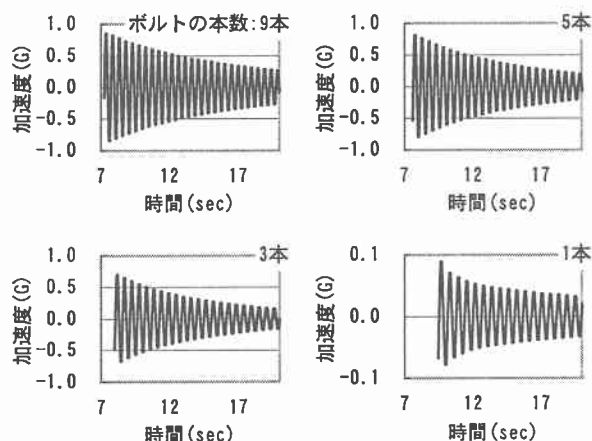


図-4 加振停止直後の減衰自由振動波形(1次加振)

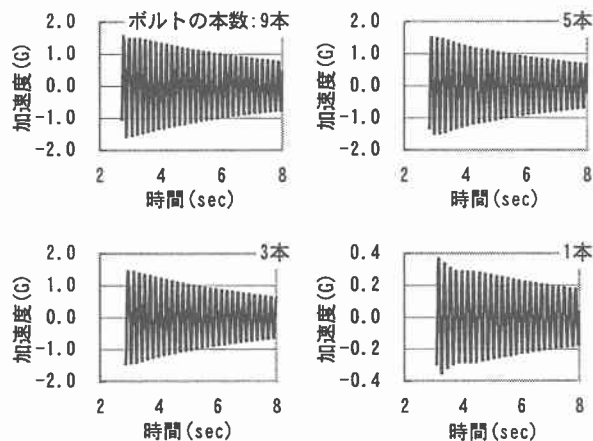


図-5 加振停止直後の減衰自由振動波形(2次加振)

この減衰の変化は、固定しているボルトの本数が1本になると回転の拘束が弱まり、個々の部材がそれぞれ相対的に動くようになるため、部材と部材が擦れ合い、より大きな摩擦が生じたためではないかと思われる。

次に、図-6に示す健全状態の1次および2次の固有振動数に最も接近すると思われる振動数でそれぞれのボルトの固定状態を加振したときの加振時の振動波形を用いて比較を行った。固定しているボルトの本数の減少とともに振幅は小さくなっている。また、9本で固定しているときには見られないうなりの現象が見られるようになっている。同様の振動数で加振実験を行っても、固定しているボルトの本数によって、波形は大きく異なることがわかる。

4. 加振実験(ケース 2)

4.1. 実験手法

同供試体に対して、図-7に示すように供試体正面のボルトの固定状態を一定にして側面のボルトの固定状態を9本、5本、3本、1本と変化させるタイプ1~3と、逆に側面のボルトの固定状態を一定にして正面のボルトの固定状態を変化させるタイプ4~6の全6タイプについて振動台による加振実験を行い、各層側面中央部の応答加速度を測定した。計測するときのサンプリング周期は0.01secとし、計測時間は40secとした。

4.2. データ処理

得られたデータからスペクトル解析による方法で振動特性を推定し、加振実験(ケース 1)のスペクトル解析による方法で得られた振動特性と比較した。

4.3. 実験結果

供試体の2層目での応答加速度データを用いて得られた実験結果を図-8に示す。

図-8(1)・(a)および(b)から、固定しているボルトの本数によって固有振動数の変化は小さい。また、図-8(2)・(a)および(b)から、(a)では多少の違いがあるが、加振実験(ケース 1)と同様の傾向が見られる。これより、固有振動数の変化は供試体側面のボルトの固定より正面のボルトの固定が大きく影響していることがわかる。これは、今回の供試体では、垂直部材との剛結条件(回転しやすさ)は正面のボルトの方が直接的に変化するためではないかと考えられる。

図-8(1)・(c)および(d)と図-8(2)・(c)および(d)の減衰定数については、固定しているボルトの本数が1本になると大きくなる傾向が見られた。

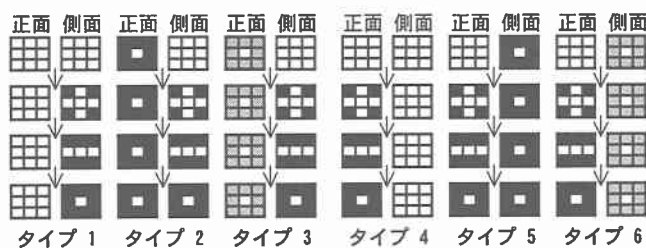
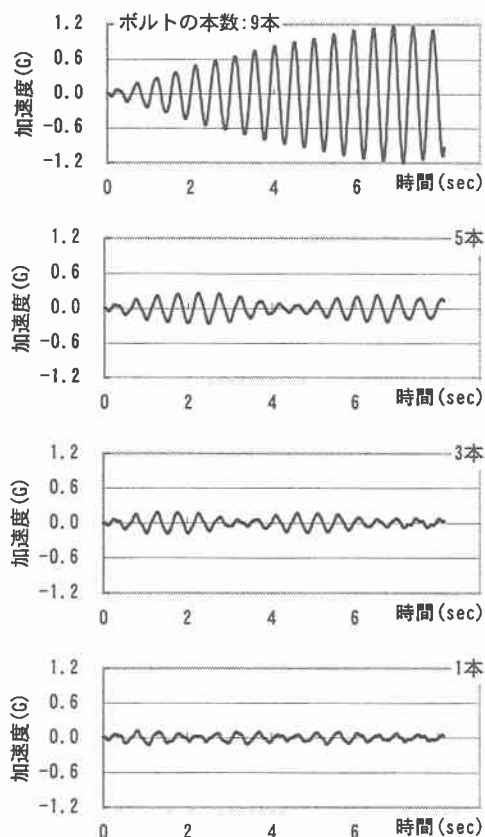
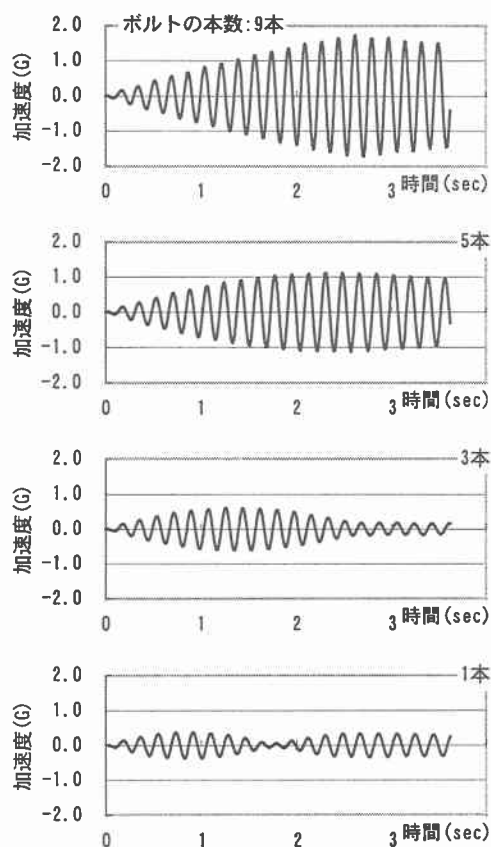


図-7 ボルトの固定状態(ケース 2)



(a) 振動台入力波: 2.1Hz



(b) 振動台入力波: 5.7Hz

図-6 加振時の振動波形

5. 数値計算による比較

5.1. 数値計算のモデル化

実験により得られた結果と比較するため、実験供試体を節点数 12、要素数 16 とする立体骨組要素でモデル化を行った。おもりについては質量を各層 4 つの水平部材に分担させることにより設定し、損傷状態はこの各層の 4 つの水平部材の剛性を減少させることにより設定した。

このモデルにおいて、質量マトリックスは整合質量を用いて作成し、固有値解析には QR 法を用いて水平振動モードの固有振動数と固有ベクトルを求めた。

5.2. 数値計算結果

数値計算結果と加振実験(ケース 1)のそれぞれの方法で求めた実験結果の平均値との比較を図-9 に示す。なお、各層の 4 つの水平部材の剛性を同じ割合で減少させて数値計算を行った結果、固定しているボルトの本数が 9 本のときの剛性を 100% とすると、5 本は 5%、3 本は 3%、1 本は 1% としたときの値に近似する結果となり、そのときの値を用いて比較を行った。図-9(b) では数値計算値が若干低い値となったが、図-9(a) ではほぼ一致する結果が得られた。

また、健全状態において固有ベクトルを求めた結果、図-10 に示す水平 1 次および 2 次振動モードが得られた。このときの各次の固有振動数は図-9 の〈9 本〉で示す値であり、良い結果が得られたと思われる。

6. まとめ

本研究によって以下のような結果が得られた。

- (1) 損傷の発生による剛性の低下によって固有振動数は小さくなる傾向となり、今回の供試体では、加振直角方向面よりも加振方向面の結合部の損傷が大きく影響している傾向となった。
- (2) 固定しているボルトの本数が小さくなると減衰定数は大きくなる傾向となった。これは、今回の供試体で得られた結果であり、実際にはボルトのゆるみの発生によって摩擦が大きくなるか否かは不明であり、明確なメカニズムの解明は今後の検討課題である。

謝辞

本論文を作成するにあたり、北見工業大学土木開発工学科の Mohd Risham Jaafar 氏(マレーシア留学生)に実験の実施を御協力いただきました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 橋梁振動研究会:橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、1993.10.

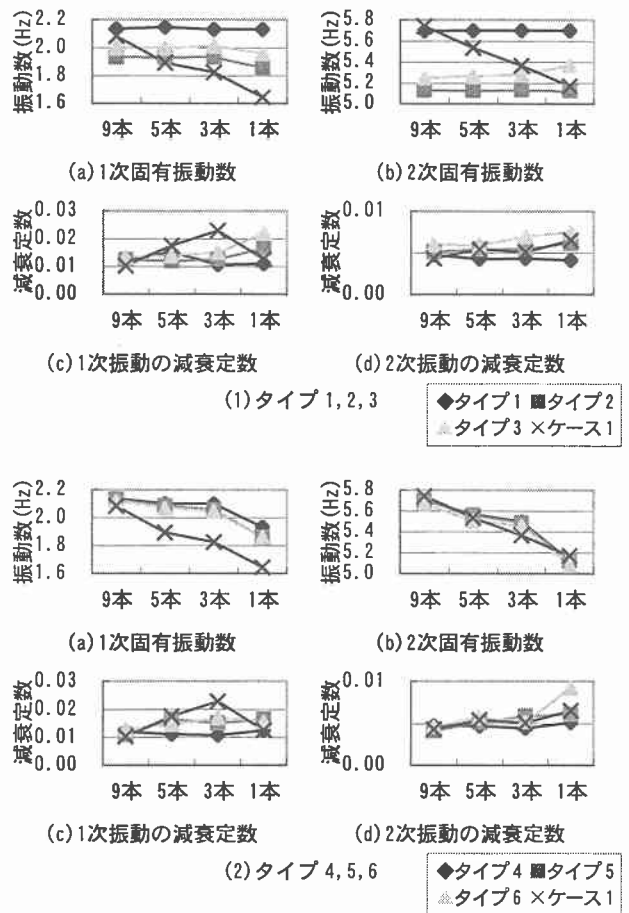


図-8 実験結果(ケース 2)

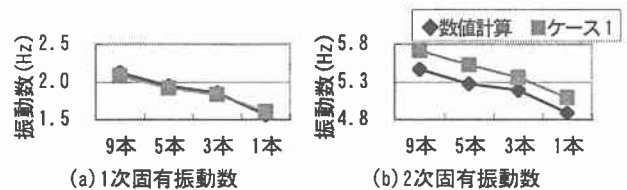


図-9 数値計算結果と実験結果(ケース 1)の比較

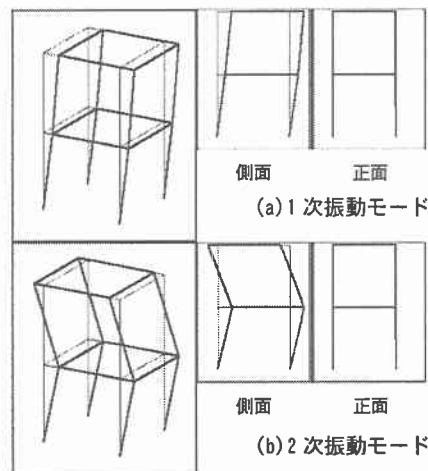


図-10 振動モード図