

ボルト結合構造物の振動特性 (ボルト結合部の厚さの影響)

Dynamic Characteristics of Structure with Bolt Joint (Effect of Thickness of Bolt Joint)

青木 繁¹⁾

Shigeru AOKI¹⁾

Abstract : Bolt joint is widely used for construction of many structures. The dynamic characteristics of the structure with bolt joints are important for design of machines, buildings and so on. The effect of bolt joint on the dynamic characteristics, especially, thickness of auxiliary plates is investigated. Two types of cantilever type specimens are made. Specimen I is with bolt joint at the center of specimen. Specimen II is with bolt joint at the node of the second vibration mode. As the dynamic characteristics, the damping ratio and the natural frequency of the first and the second vibration modes are measured. Wave form of free vibration is measured and the damping ratio is obtained. The resonance curves are obtained by frequency sweeping method and the frequency response functions are obtained by using impulse hammer and the damping ratio and the natural frequency are obtained. The damping ratio of the first vibration mode increases with the increase of thickness of auxiliary plates. The natural frequency of the first vibration mode is lower with the increase of thickness. Effect of bolt joint on the dynamic characteristics of the second vibration mode is different for location of bolt joint.

Key Words : Vibration, Bolt Joint, Damping Ratio, Natural Frequency, Impulse Hammer, Resonance Curve

1. 緒言

ボルト結合は多くの構造物に用いられ、種々の条件で使用される。ボルト結合は当然のことながら、振動環境で使用されることも多い。このような環境で使用されるボルト結合が含まれる構造物に対して振動解析をする場合にはその振動特性を明らかにし、モデル化することが重要となる。

ボルト結合に関して、静的な荷重を受けた場合の強度[1]や周期的な荷重を受けた場合の疲労強度[2]に関する研究がなされている。また、ボルトに生じる力[3]、ボルトの変形を求めるための剛性[4-5]に関する研究、衝撃や振動によるボルトの緩み[6]、減衰能[7-8]に関する研究などもなされている。ボルト結合にも多くの種類があり、広く使われていることから、ボルト結合部の振動特性を求めるために、多くのデータを積重ねることが重要であると考えられる。

著者はこれまでに簡単な試験片を用いた加振実験によってボルト結合が構造物の1次振動特性に与える影響について検討した。さらに、ボルト結合構造物が不規則振動入力を受けた場合を想定して、理論解析によってボルト結合が構造物の不規則振動特性に及ぼす影響について検討した[9]。

本報告では、ボルト結合部に補助板が使われることもあることを考慮して、ボルト結合に用いられる補助板の

厚さがボルト結合構造物の振動特性に及ぼす影響について検討した。基礎的なデータを得るために、結合部が1箇所である簡単な試験片を用いた。振動特性として1次振動および2次振動における減衰比および固有振動数に注目した。まず、ボルト結合の位置が異なる試験片を製作し、自由振動によって減衰比を求め、正弦波加振実験によって減衰比および固有振動数を求めた。さらに、インパルスハンマーによって試験片の伝達関数を求め、減衰比および固有振動数を求めた。比較のために、ボルト結合のない試験片の振動特性も求めた。

2. 加振実験による振動特性の推定

簡単な試験片を用いた加振実験によって、ボルト結合が構造物の振動特性に及ぼす影響について検討した。

2.1 実験方法

図1に示すように試験片は長さ550mm、幅60mm、厚さ6mmのものを標準とした。図の・の位置でボルト結合した。材質は一般構造用圧延鋼材(SS400)とした。以下の2種類の試験片を作製し、結合部の補助板の厚さを2mm、4mm、6mmと変化させた。また、ボルト結合しない試験片を厚さ0mmとした。

・試験片Ⅰ：長さ550mmの板を半分にした場所をボルト結合した試験片

¹⁾東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 機械システム工学コース

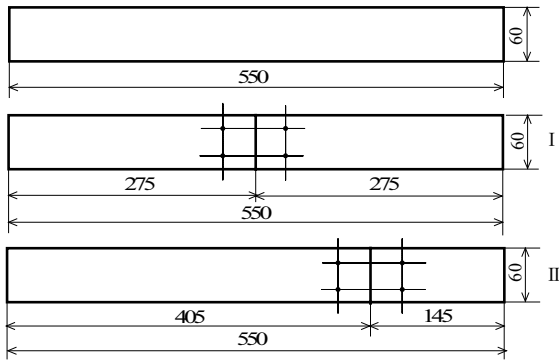


図1 試験片の寸法とボルト結合の位置(mm)

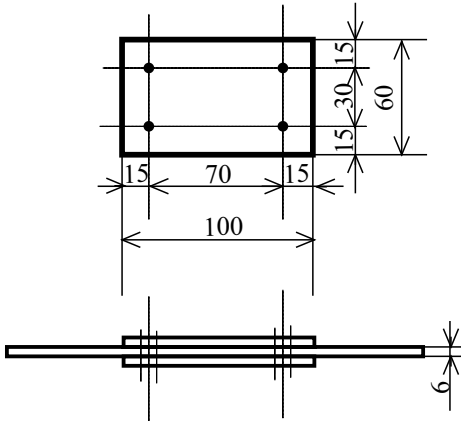


図2 結合部の拡大図(mm)

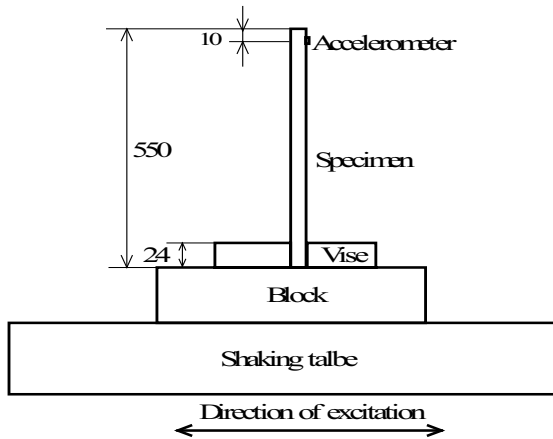


図3 試験片の加振方法(mm)

・試験片Ⅱ：長さ 550mm の板を 405mm と 145mm で切断し、ボルト結合した試験片

図2に結合部の拡大図を示す。ボルトの大きさは M8 としてナットで締めた。締付トルクは 60kgf・cm(5.88Nm) で一定とした。図3に示すように試験片の一端 24mm (図1の左側)を水平振動台上の万力でくわえ、垂直に固定した。試験片の上端から 10mm の位置に加速度ピックアップを取付けた。

自由振動による実験において、減衰比は後述する正弦波加振実験で求めたそれぞれの試験片の1次および2次の振動数で加振し、入力を遮断することによって得られた減衰波形から対数減衰率を用いて求めた。正弦波加振実験では入力加速度振幅を0.1Gで一定として共振曲線を求

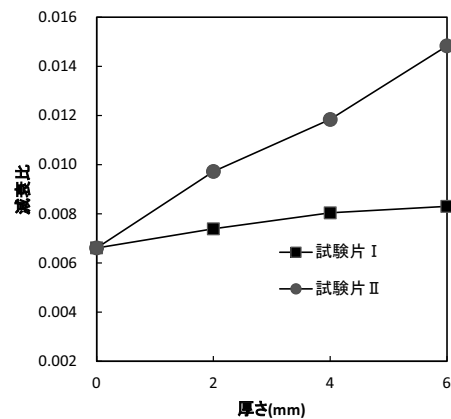
めた。得られた共振曲線から半パワー法で減衰比を求め、ピークとなる振動数を固有振動数とした。減衰比を求めるときには1次振動と2次振動の固有振動数が離れているために、それぞれ独立であるとした。

インパルスハンマーを用いた測定では、試験片に取付けたピックアップおよびハンマーで得られた信号からFFTアナライザーを用いて周波数応答関数を求め、正弦波加振実験と同様に減衰比と固有振動数を求めた。ピックアップは打撃する側と反対側に取付けた。取付け位置と打撃位置は試験片上部と下部の間の周波数伝達特性を比較する目的で次の組合せとした。①ピックアップを試験片の上端から10mmの点に取付け、上端から350mmの点を打撃する。②ピックアップを試験片の上端から10mmの点に取付け、上端から10mmの点を打撃する。③ピックアップを試験片の上端から350mmの点に取付け、上端から10mmの点を打撃する。

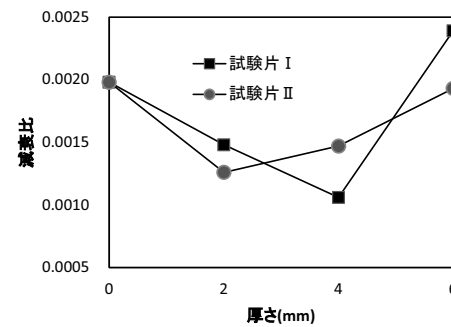
自由振動と正弦波加振実験では3回、インパルスハンマーでは6回の測定結果の平均値を求めた。

2.2 実験結果

図4(a)および(b)にそれぞれ自由振動で測定した1次および2次振動における減衰比を示す。1次振動では補助板が厚くなるにつれて減衰比が大きくなる傾向が見られる。とくに、試験片Ⅱの方が減衰比が大きくなっている。試験片Ⅱの方がボルト結合部の位置が自由端に近いため

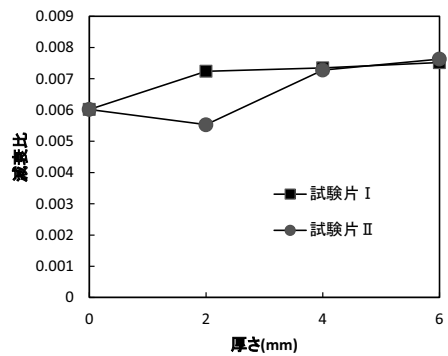


(a) 1次

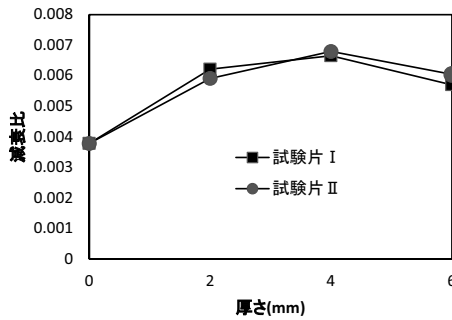


(b) 2次

図4 自由振動による減衰比の測定結果

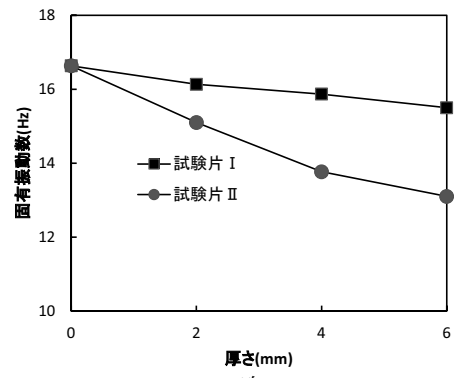


(a)1次

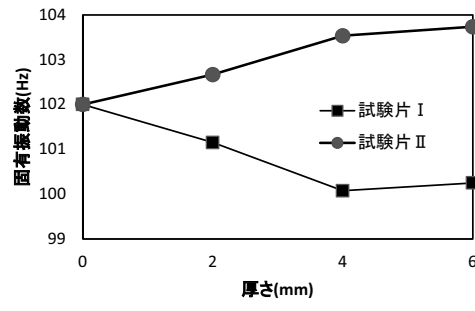


(b)2次

図5 正弦波加振実験による減衰比の測定結果



(a)1次



(b)2次

図6 正弦波加振実験による固有振動数の測定結果

に振幅が大きく、エネルギー吸収量が大きくなるためであると考えられる。2次振動に対しては、補助板があると減衰比が小さくなる傾向があるが、補助板の厚さに対して全体的にはっきりした傾向は見られない。

図5(a)および(b)にそれぞれ正弦波加振実験から求めた1次および2次振動における減衰比を示す。1次振動に対しては、補助板が厚くなるほど減衰比が大きくなる傾向がある。2次振動に対しては、補助板があると減衰比が大きくなっている。図6(a)および(b)にはそれぞれ1次振動および2次振動における固有振動数を示す。1次振動に対しては補助板が厚くなるほど固有振動数が低くなっている。とくに試験片IIのときに固有振動数の低下率が大きい。これはボルト締結部があると質量が増加することによって固有振動数が低下し、試験片IIのボルト締結

部の方が自由端に近いために、質量の効果が大きくなると考えられる。2次振動に対しては試験片Iでは補助板があると固有振動数は低くなり、試験片IIでは高くなる。このことは、試験片Iではボルト結合部が2次振動の腹の近くにあり、試験片IIでは節の近くにあることと関係すると考えられる。すなわち、試験片Iでは質量の効果が大きく、試験片IIでは小さくなるためと考えられる。

表1および表2にそれぞれインパルスハンマーで測定した1次および2次振動における減衰比および固有振動数を示す。ピックアップおよび打撃の位置によって値にややばらつきはあるが、ほぼ同じ傾向を示している。そのために、全体の平均を求めた。

図7(a)および(b)にはそれぞれ1次振動および2次振動における減衰比を示す。ほぼ自由振動で得られた結果と

表1 インパルスハンマーを用いた1次振動に対する減衰比と固有振動数の測定結果

	厚さ	減衰比			固有振動数		
		測定方法			測定方法		
試験片		①	②	③	①	②	③
試験片 I	0mm	0.00417	0.00496	0.00368	16.2	16.2	16.6
	2mm	0.00605	0.00456	0.00697	15.5	15.3	16.4
	4mm	0.00727	0.00737	0.00528	14.7	14.4	16.0
	6mm	0.00693	0.00774	0.00495	14.2	13.8	15.4
試験片 II	2mm	0.00549	0.00442	0.00428	14.9	14.9	15.2
	4mm	0.00891	0.00911	0.00705	13.7	13.6	14.0
	6mm	0.01057	0.01269	0.01043	12.8	12.8	13.0

表2 インパルスハンマーを用いた2次振動に対する減衰比と固有振動数の測定結果

試験片	厚さ	減衰比			固有振動数		
		測定方法			測定方法		
		①	②	③	①	②	③
	0mm	0.00432	0.00462	0.00420	102.8	102.9	103.6
試験片 I	2mm	0.00494	0.00659	0.00548	103.0	103.2	102.2
	4mm	0.00511	0.00482	0.00495	104.0	103.3	102.5
	6mm	0.00380	0.00494	0.00461	102.2	100.8	100.5
試験片 II	2mm	0.00470	0.00424	0.00402	105.0	105.5	106.8
	4mm	0.00517	0.00448	0.00368	106.0	104.7	106.4
	6mm	0.00453	0.00390	0.00441	106.1	105.0	105.6

同様な傾向が見られる。すなわち、1次振動に対しては補助板が厚くなるほど減衰比が大きくなり、試験片IIの方が増加率が大きい。2次振動に対しては、補助板の厚さに対してははっきりした傾向が見られない。

図8(a)および(b)にそれぞれ1次振動および2次振動における固有振動数を示す。正弦波加振実験で得られた結果とほぼ同様である。すなわち、1次振動に対しては補助板が厚くなるほど固有振動数が低くなっている。とくに試験片IIのときに固有振動数の低下率が大きい。2次振動に対しては試験片Iでは補助板があると固有振動数は低くなり、試験片IIでは高くなる。

図7の結果から、減衰比は自由振動と同様な結果となり、この結果は衝撃的な入力に対する減衰比の特徴であると考えられる。図8の結果から固有振動数に関しては正弦波加振実験と同様な傾向となり、入力にかかわらず得られる特徴であると考えられる。

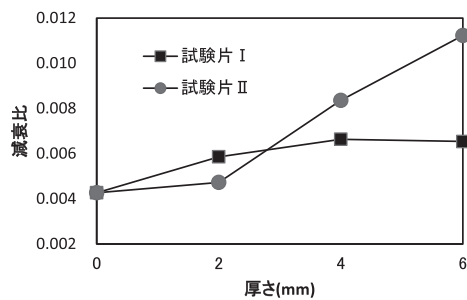
図4から図8の結果をまとめると次のようになる。

1次振動に対する減衰比はボルト結合部があると大きくなり、補助板が厚いほど大きくなる。衝撃的な入力に対しては試験片IIの減衰比の方が大きくなる傾向がある。2次振動に対する減衰比に対しては1次振動に対する減衰比よりも小さい。補助板の厚さに対してははっきりとした傾向が見られなかった。

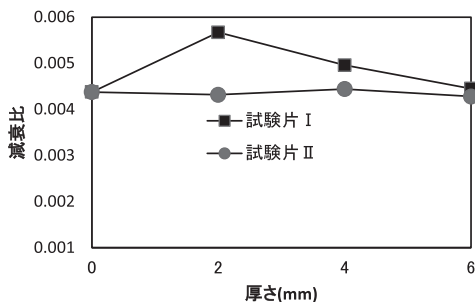
固有振動数に関して、1次振動に対しては補助板が厚くなるほど固有振動数が低くなっている。とくに試験片IIのときに固有振動数の低下率が大きい。2次振動に対しては試験片Iでは補助板があると固有振動数は低くなり、試験片IIでは高くなる。

3. 結言

ボルト結合は多くの構造物に用いられ、種々の条件で

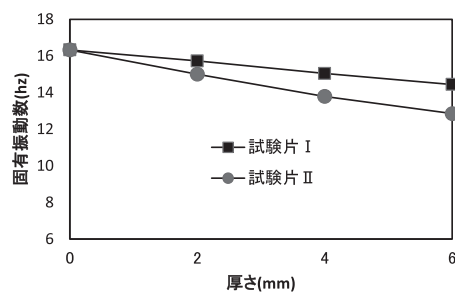


(a)1次

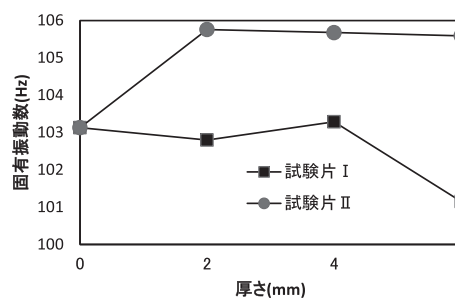


(b)2次

図7 インパルスハンマーによる減衰比の測定結果



(a)1次



(b)2次

図8 インパルスハンマーによる固有振動数の測定結果

使用される。振動環境で使用されることも多く、振動解析をする場合にはその振動特性を明らかにし、モデル化をすることが重要となる。本報告では、ボルト結合部に補助板が使われることもあることを考慮して、ボルト結合に用いられる補助板の厚さがボルト結合構造物の振動特性に及ぼす影響について検討した。基礎的なデータを得るために、結合部が1箇所である簡単な試験片を用いた。振動特性として1次振動および2次振動における減衰比および固有振動数に注目した。試験片として、一端を固定した片持ちはりを用いて加振実験をした。2次振動モードの腹の付近にボルト結合部のある試験片Ⅰと節の付近にボルト結合部のある試験片Ⅱを製作した。自由振動によって減衰比を求め、正弦波加振実験およびインパルスハンマーによる打撃試験によって減衰比および固有振動数を求めた。得られた結果を以下に要約する。

1. 1次振動に対しては、補助板が厚くなるほど減衰比が大きくなる傾向がある。衝撃的な入力に対しては試験片Ⅱの減衰比の方が大きくなる傾向がある。2次振動に対しては、1次振動よりも減衰比が小さく、補助板の厚さに対する傾向がはっきりしなかった。
2. 1次振動に対しては補助板が厚くなるほど固有振動数が低くなる。とくに試験片Ⅱに対して固有振動数の低下率が大きい。2次振動に対しては試験片Ⅰでは補助板があると固有振動数は低くなり、試験片Ⅱでは高くなる。

4. 参考文献

- [1] 川原重明, 清水武, 中谷誠, 森拓郎, 小松幸平: ラグスクリーボルト (LSB) 接合部の引張強度実験 その 2—加工穴, 柱頭の端距離がラグスクリーボルト接合部の強度性能に及ぼす影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造Ⅲ, 木質構造, 鉄骨構造, 鉄筋コンクリート構造, pp.99-100, 2007
- [2] 萩原正弥, 古川朗洋, 加藤靖弘, 篠原信征, 石田和也, 山田将士: ダブルナットねじ締結におけるボルトの疲労強度 (ロック力及びナット高さの影響), 日本機械学会論文集 (C 編), 79-800, pp.1189-1195, 2013
- [3] 田中稔, 北郷薫: ねじ締結体における内力係数の簡単な求め方, 室蘭工業大学研究報告理工編, 40, pp.75-83, 1990
- [4] 沢俊之, 丸山一男: ねじ締結部におけるボルト頭部およびナットの変形について, 日本機械学会論文集, 41-346, pp.1917-1925, 1975
- [5] 伊藤誼, 益子正巳: 工作機械のボルト結合部剛性に関する研究 (第 5 報, 締結ボルト本数と締結位置の影響), 日本機械学会論文集, 37-296, pp.817-825, 1971
- [6] 泉聡志, 横山喬, 岩崎篤, 酒井信介: ボルト結合体の締付けおよびゆるみ機構の三次元有限要素法解析, 日本機械学会論文集 (A 編), 71-702, pp.204-212, 2005
- [7] 平居嵩朗, 鞍谷文保, 小出一志, 城戸一郎: 部分的な重なりを有する平板接合構造の簡易減衰推定法, 日本機械学会論文集, 80-812, 2014
- [8] 益子正巳, 伊東誼, 溶接接合部とボルト結合部の減衰能, 日本機械学会 RC-SC20 研究成果報告書, pp.351-363, 1974
- [9] 青木繁: ボルト結合のある試験片の振動特性, 東京都立工業高等専門学校研究報告, 39, pp.1-5, 2003