

柔剛論争における柔構造に関する研究

—その5 舞鶴に実存する柔構造建物の振動特性—

日大生産工(院) ○河地 駿介 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工 水野 僚子 日大生産工(院) 山中 美穂

1 まえがき

1923年に発生した関東大震災の後、大正末期から昭和初期にかけて「柔剛論争」¹⁾と呼ばれる論争が繰り返された。近年、既往の調査^{2,3)}により柔構造派であった真島健三郎博士(以下真島博士)が考案した柔構造理論で設計されたとする建物が実存するということが分かった。

そこで本研究では、それらの建物のうち海上自衛隊舞鶴地方総監部内に実存する「旧海軍機関学校庁舎」(以降庁舎)、「旧海軍機関学校生徒館」(以降生徒館)を対象に常時微動測定を行い、得られた振動特性から当時の建物の構造的特徴について把握することとした。

2 対象建物

2.1 建物位置

海上自衛隊舞鶴地方総監部には、1930年竣工の庁舎、旧海軍機関学校軍事学普通学講堂、旧海軍機関学校理化学講堂、生徒館と、1933年竣工の旧海軍機関学校大講堂が存在する。本報では、特に柔構造理論で設計されたと考えられている、庁舎および生徒館を取り上げる。

1947年に米軍によって撮影された航空写真に対象建物の位置を示す(写真1)。

2.2 建物概要

1894年から横須賀に設置されていた機関学

校は、関東大震災の影響で被災し、全焼するに至った。横須賀での復旧の見込みが立たなかったが、同時期に舞鶴鎮守府から格下げとなった舞鶴要港部が移転の候補地となり、1927年に海軍機関学校は旧舞鶴海兵団跡地への移転を決定し、翌1928年6月に着工、1930年3月竣工となっている⁵⁾。

構造設計に携わった汲川圭司氏は、文献6)で真島博士の耐震構造論に基づいて計算せよとの申し出があったとしている。

2.2.1 旧海軍機関学校庁舎

現在、海上自衛隊舞鶴地方総監部庁舎として使用されている庁舎は、外装として茶系スクラッチタイル仕上げ、壁用材料として鉄筋煉瓦が採用され、煉瓦割の寸法によって階高が決定したといった記述が残っており、実測による階高は1階が約4.37m、2階が約4.16mである。また、1943年から1947年の間に東側木造部が増築、1977年に西側鉄筋コンクリート造部が増築されており、増築部を除く長辺方向の長さは約

表1 庁舎建物概要

構造	鉄骨煉瓦造2階建て
延床面積	1625m ²
意匠設計	有田芳郎
構造設計	汲川圭司



写真1 位置図⁴⁾



写真2 庁舎外観

A study on Flexible Structure in Flexible Structure vs. Rigid Structure
— Part5 Vibration Characteristic of Existing Flexible Structure in Maizuru —

Shunsuke KAWACHI, Toshiaki FUJIMOTO, Ryoko MIZUNO and Miho YAMANAKA

42.0m, 短辺方向は約14.7mである。

また、庁舎の1階給湯室では、写真3にみられる真島博士の考案した単位架構⁷⁾において、ピン接合とした柱梁接合部に剛性を調整する目的で取り付けられたと考えられる湾曲した方杖(スプリングプレート)を確認することができた。



写真3 スプリングプレート

2.2.2 旧海軍機関学校生徒館

現在、海上自衛隊舞鶴地方総監部第四術科学学校として使用されている生徒館は、竣工当初、外装は庁舎と同じくスクラッチタイル仕上げだったが、現在は塗装が施されている。壁用材料としても同じく鉄筋煉瓦が採用され、実測による階高は1階が約4.26m, 2階が約4.25m, 3階が約4.52mである。また、1934年に東西方向に増築されており、増築部を除く長辺方向の長さは約85.4m, 短辺方向は約12.5mである。

西澤の報告²⁾によれば、生徒館と真島博士の文献⁷⁾での例題の寸法がほぼ一致していることがわかっている。しかし、庁舎で見られたスプリングプレートについては、「庁舎以外は取りやめにした」との注記⁶⁾がされており、実際に柱梁接合部において確認することはできなかった。

表2 生徒館建物概要

構造	鉄骨煉瓦造3階建て
延床面積	4507m ²
意匠設計	有田芳郎
構造設計	汲川圭司



写真4 生徒館外観

3 地震による被災経緯

旧海軍機関学校において、これまでにどのような地震が起きているかを調べるため、旧海軍機関学校近辺における震度観測記録を調べた。近隣に竣工から現在まで継続的な震度観測が行われている観測地点がなかったため、竣工の1930年から1948年までのデータは宮津測候所(直線距離で約16.5km)の観測記録を使用し、1949年から現在までのデータは舞鶴海洋气象台(直線距離で約5.6km)の観測記録を使用した。観測記録を基に震度3以上を記録した地震動を図1に示す。

最も古い震度3以上の地震記録である1930年7月2日17時18分から2018年6月18日7時58分までのデータを用いた。震度3以上の地震は87回あり、うち震度3が76回、震度4が11回であった。竣工後震度5弱以上の目立った地震動は無く、1923年からの観測が始まって以降、旧海軍機関学校近辺の最高震度は竣工の3年前の1927年3月7日18時27分に発生した北丹後地震の宮津測候所で観測された震度6である。この地震について西澤は「舞鶴は震源地が近かったことなどから、機関学校の施設の設計に当時の学術水準をはるかに抜きこんでた耐震設計法に基づく全鉄骨建築の建設を促進した可能性は否定できない」としている²⁾。

以上より、旧海軍機関学校近辺においては、これまでに構造躯体を大きく損傷させるほどの規模の地震が発生しておらず、庁舎、生徒館の建物についても振動特性調査の際に行った目視による確認では、大きな損傷などは見受けられなかった。

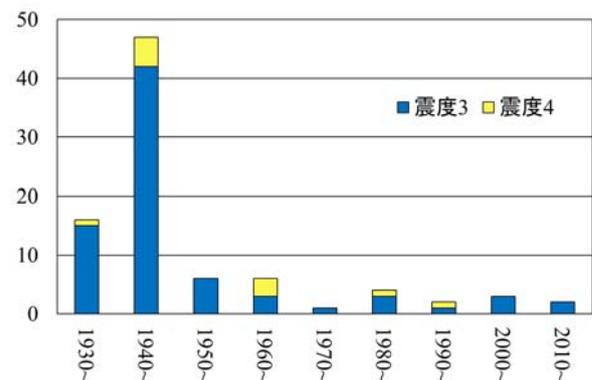


図1 竣工から現在までの地震頻度

4 振動測定

4.1 測定方法

測定は、サーボ式加速度計を2台用いて行った。加速度計を基準階となる1階と測定階に設置し、測定時間は各ケースで15分間とした。測定方向は水平2方向と鉛直1方向の計3方

向であるが、検討は水平 2 方向を対象とした。

4.2 測定場所

1 階平面図と断面図に測定機器の配置場所をプロットしたものの図 2 に示す。2 棟とも中央の階段室内に測定機器を設置して行った。加速度計と接続ケーブルは基本的に内部階段室に配線をした。

表 3 測定機器概要

製造社	IMV CORPORATION
振動計測装置	VM-0330/16 サンプリング周波数 12.8kHz/ch
ピックアップ	VP-5123HHV

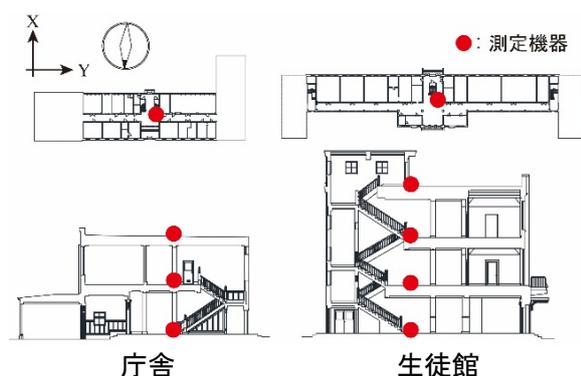
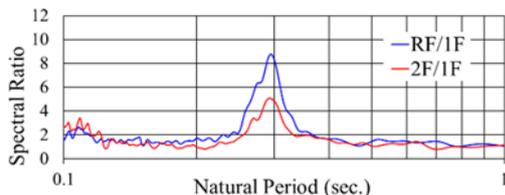


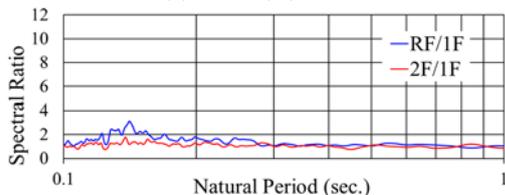
図 2 測定機器配置図

5 測定結果

測定より得られた加速度記録の中で振幅が安定しているものをフーリエ解析し、1 階と各階との伝達関数を求めた結果を図 3, 4 に示す。なおスペクトルの解析には全て Parzen ウィンドウを用い、そのウィンドウ幅は 0.2Hz とした。2 棟の建物において長辺方向に比べ、短辺方向のフーリエ振幅が大きいことがわかる。図 3(b)より、長辺方向のフーリエ振幅のピーク



(a) 短辺(X)方向

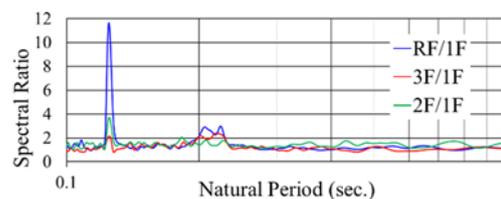


(b) 長辺(Y)方向

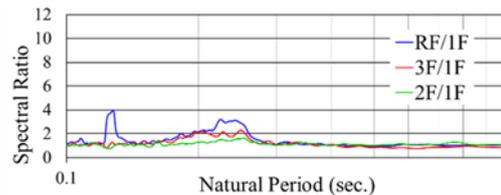
図 3 倉舎の伝達関数

があまり見られないが、これは東西方向に増築部分があることなどが影響している可能性がある。また図 4(b)より、0.12 秒付近に RF/1F のフーリエ振幅にピークが見られるが、これは短辺方向の影響が要因と考えられ、フーリエ振幅のピークは 0.241 秒と判断した。

伝達関数より推定した 1 次振動モードを図 5 に示す。横軸の振幅比は、 $(\delta_n - \delta_1)/\delta_1$ (ここで、 δ_n : n 階のフーリエ振幅、 δ_1 : 1 階のフーリエ振幅) で表している。2 棟の建物共にフーリエ振幅の最大値が R 階で見られることから、1 次モードにおける振動特性は R 階で評価した。

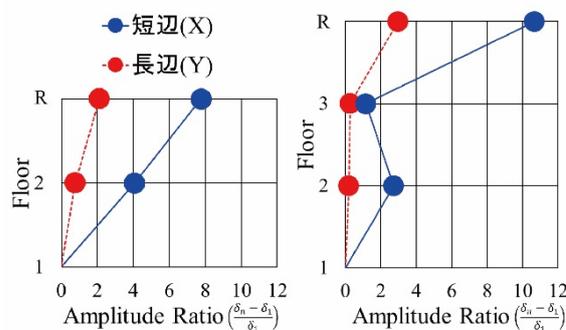


(a) 短辺(X)方向



(b) 長辺(Y)方向

図 4 生徒館の伝達関数



(a) 倉舎

(b) 生徒館

図 5 旧海軍機関学校の 1 次振動モード

6 考察

6.1 固有周期および減衰定数

測定結果から推定した固有周期、減衰定数を表 4 に示す。なお減衰定数は $1/\sqrt{2}$ 法で評価を行った。

表 4 振動特性

	倉舎		生徒館	
	短辺	長辺	短辺	長辺
固有周期(sec.)	0.296	0.141	0.125	0.241
減衰定数(%)	6.03	3.11	1.07	7.78

固有周期については、全ての建物において0.125~0.296秒の間に固有周期のピークが現れ、これが1次固有周期と推定され、柔構造派が大地震時に想定していた固有周期1.5秒という値に比べ、かなり短い値を示した。

減衰定数については、庁舎長辺方向、生徒館短辺方向では、一般的な鉄骨造の弾性1次モードに対する設計用減衰定数1%~3%とほぼ同様であることがわかった。しかし、その他に関しては減衰定数が大きくなる結果となった。

6.2 固有周期の比較

現在の一般的な鉄骨造の場合、建物の固有周期 T は建物高さ H に比例し、近似的に $T=0.03H$ で表される。これより、庁舎と生徒館の建物高さがそれぞれ約9.7m、14.5mであるため、固有周期は約0.291、0.435秒となり、庁舎短辺方向を除き、測定した固有周期は近似式よりも短いことがわかった。そこで測定結果が、現在の一般的な鉄骨造との関係にあるかを調べる目的で、建物高さと振動特性の関係を比較することとした。比較は、文献8)の建物の実測データを用いた。一般鉄骨造の建物高さと固有周期の関係に、測定建物の結果をプロットしたものを図6に示す。一般鉄骨造も建物高さと1次固有周期の関係は $T=0.03H$ に比べ短く、測定建物と同様の傾向を示すことがわかった。

また図6には、文献9)の在日米海軍横須賀基地内に存在する柔構造理論で設計されたとする3棟の建物の建物高さと固有周期の関係

をプロットした。庁舎、生徒館共に同様の傾向を示すことがわかり、旧海軍機関学校における振動特性も非構造部材などの剛性を含んだものであると考えられる。

7 まとめ

海上自衛隊舞鶴地方総監部内の建物の振動測定結果に基づき、振動特性について報告した。今回得られた知見は以下の通りである。

- 対象建物については、これまでに構造躯体を損傷させる規模の地震が発生しておらず、目視による確認においても大きな損傷は見られなかった。
- 微動における1次固有周期は、柔構造派が大地震時に目指していた固有周期1.5秒に比べ、短い値であった。
- 建物高さと1次固有周期との関係は、現在の一般鉄骨造建物や在日米海軍横須賀基地内に存在する建物と同様の傾向であった。

今後は、振動特性の解析をより進めるとともに、モデル化による架構の解析により更に検討したいと考えている。

「参考文献」

- 藤本利昭, 水野僚子, 山中美徳, 城戸基:柔剛論争における柔構造に関する研究, 日本大学生産工学部研究報告A2017年6月第50巻第1号, 平成29年6月
- 西澤英和:【近代技術編】舞鶴の鉄骨煉瓦造の海軍建築, 施工, 第408号, 平成11年10月
- 金澤裕之, 伊藤綾:旧海軍機関学校庁舎の建築史的意義, 戦史研究年報, 第21号, 防衛省防衛研究所, 平成30年3月
- 国土地理院:地図・空中写真閲覧サービス <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>
- 舞鶴市:舞鶴市史・通史編(下), pp48-52, 昭和57年7月
- 汲川圭司:翁の思い出-我が生ある限り, 鋼構造出版社, pp45-89, 平成5年11月
- 真島健三郎:地震と建築, 丸善, 昭和5年6月
- 日本建築学会 構造委員会 荷重運営委員会 建築物の減衰機構とその性能評価小委員会:建築物の減衰機構とその性能評価に関するシンポジウム, pp5-13, 平成25年3月
- 河地駿介, 藤本利昭, 水野僚子, 山中美徳:在日米海軍横須賀基地内に実存する柔構建造物に関する研究 その2 振動特性, 2018年度日本建築学会大会(東北), 平成30年9月

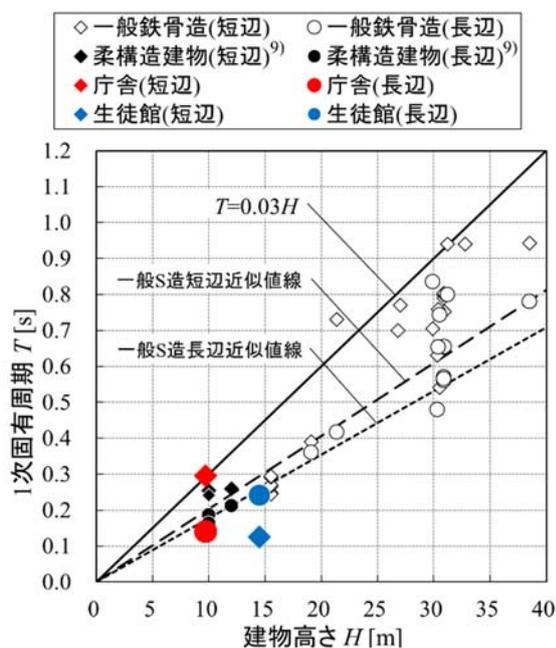


図6 建物高さと固有周期の関係