

在日米海軍横須賀基地内に実存する柔構造建物に関する研究

日大生産工 (院)
日大生産工

○山中 美穂
水野 僚子

日大生産工
日大生産工 (院)

藤本 利昭
河地 駿介

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)~8)}と呼ばれる論争が繰り広げられた。柔剛論争とは、佐野利器、武藤清ならびに真島健三郎らによって建物の水平剛性を高めた剛構造と、水平剛性を低くした柔構造のどちらが地震に対して優れた性能を有しているのかを論じ合ったものである。

佐野利器と武藤清は剛構造派であり、彼らの主張は「建物の水平剛性を高めることで固有周期を短く設計し、地震の主要動との共振を避けるべき」というものであった。一方、真島健三郎は柔構造派で「建物の水平剛性を低くすることで固有周期を長く設計し、地震の主要動との共振を避けるべき」という考え方であった。

この論争は、明確な決着がつかないまま第二次世界大戦を迎え終息するが、剛構造派の主張は、市街地建築物法や、その後制定された建築基準法⁹⁾において、今日まで引き継がれている。一方の柔構造については、当時の考え方はあまり知られておらず、更には論争当時の建物に実践されていたことはあまり知られていない。

近年、西澤の研究¹⁰⁾、中島らの研究¹¹⁾、¹²⁾により、当時の柔構造の提唱者である真島健三郎の設計思想に基づき建設されたと考えられる建築物が現存することが明らかになってきた。

そこで本研究では、当時の柔構造理論に基づいた架構の構造性能について考察を行うとともに、当時の柔構造建物のうち、在日米海軍横須賀基地内に実在する「旧横須賀鎮守府庁舎」(以下鎮守府庁舎)¹²⁾を対象に行った常時微動測定の結果に基づいた実存建物の構造性能との比較を行うことで、当時の理論と実施設計の差異を把握することを目的とした。

2 真島健三郎が提案した柔構造架構

真島健三郎が低層で周期の長い建物を実現させるために考案したのが、鉄骨造による単位架構と呼ばれる構造形式である。単位架構とは、図1に示すような剛接単スパンの矩形架構であり、それらを相互にピン接合で繋ぎ合わせることで建物全体を構成する構造形式である¹³⁾、¹⁴⁾。

単位架構を用いて建物を構成する手法は、建物の固有周期を伸ばす目的だけでなく、計算機のない時代に、手計算による架構の設計において、解析手法による誤差や誤りを最小限にとどめるための手法であり、真島健三郎の著書¹⁴⁾の中に例題としていくつかの架構の解析例が示されている。

代表的な単位架構は、3階建ての建物において図1(b)に示すように、2階床梁の両端をピン接合とし、必要に応じて剛性調整用として、スプリングプレートと呼ばれる湾曲した弾性板の頬杖を取り付けた構造である。

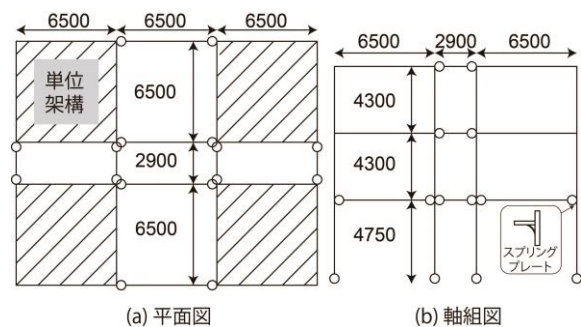


図1 単位架構

3 実存建物

3.1 建物概要

前述の通り、近年まで真島健三郎の単位架構は実際の設計には応用されていないものと考えられていたが、単位架構を採用したと推察される建物が実存することが分かってきた^{10)~12)}。その中で、本報告で検討対象としたのは、在日

A Study on Flexible Building Structures in U.S Fleet Activities Yokosuka

Miho YAMANAKA, Toshiaki FUJIMOTO,
Ryoko MIZUNO and Shunsuke KAWACHI

米海軍横須賀基地内にある鎮守府庁舎(写真1)である¹²⁾。建物概要を表1に示す。鎮守府庁舎は、関東大震災により倒壊した前庁舎に代わり建設されたもので、1926年10月に竣工した建物である。得られている建物の特徴を列記すると、陸屋根は鉄筋コンクリート、内壁は主に鉄網ラス張りモルタルおよび漆喰仕上げ、各スラブは1階がコンクリート叩き、2、3階が鉄筋コンクリートとする建築仕様が当時の新聞記事に残されている。建物の高さは約13mで、各階の階高は1階が約4.3m、2階が約4.0m、3階が約4.1mである。

図2に鎮守府庁舎の1階平面図¹⁵⁾を示すが、平面形状・柱スパン、階高、および柱断面等が、単位架構の応用例題^{13), 14)}とほぼ一致することがわかっている¹²⁾。

柔構造派である真島健三郎の理論が取り入れられた建物としては確認されている中で最も古いものと考えられているが、構造図面等は見つかっていない。



写真1 旧横須賀鎮守府庁舎

表1 旧横須賀鎮守府庁舎建物概要

構造	鉄骨造 2階建て
竣工	1928年
延床面積	1214 m ²
設計	不明
施工	不明

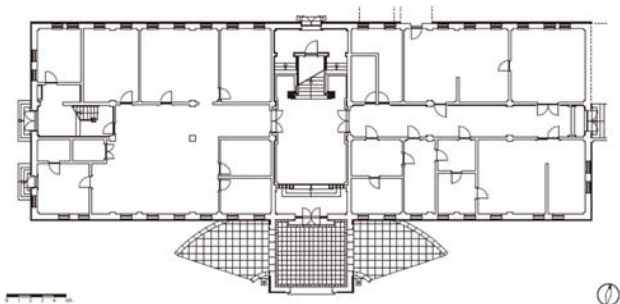


図2 旧横須賀鎮守府庁舎1F平面図¹⁵⁾

3.2 振動測定結果概要

今回、対象建物について常時微動測定を行う機会を得ることができた。表2に測定結果の一覧を示す。測定結果の詳細については前報^{16), 17)}を参照されたい。

柔構造理論では、建物の固有周期を地震の固有周期よりも伸長させ、地震との共振を避けるべきだと考えており、建物の固有周期が1.5秒を超えることが望ましいとされた。しかし実存建物の固有周期は0.26および0.21秒程度と、推測よりも短いものであった。

表2 常時微動測定結果一覧

	短辺(X)方向	長辺(Y)方向
固有周期(sec.)	0.260	0.212
固有振動数(Hz)	3.85	4.73
減衰定数(%)	2.58	3.20

4 例題架構

4.1 架構概要

前述の通り、対象建物の計画は、真島健三郎の著書中の応用例題^{13), 14)}とほぼ一致することがわかっている¹²⁾。そこで著書中^{13), 14)}のモデルと、対象建物の実測調査データ¹²⁾を参考に、柱脚・梁端部の支持条件を変数とした架構の比較により、単位架構の特徴を考察した。

図4に示すように、Case1は全節点を剛接合、柱脚を固定とした。Case2は単位架構同士をつなぐユニットの梁両端部をピンとした。Case3はCase2の条件に加えて柱脚をピンとした。Case4はさらに1Fの梁両端部をピン接合とした架構で、Case4が真島健三郎の提案した架構であるが、スプリングプレートは考慮していない。建物質量は、文献14)に示された値を基に設定した。また、部材の断面については、文献14)に示された各組立材と断面性能が概ね一致する角形鋼管とH形鋼を用いた。その断面性能および寸法は表3、図3に示す通りである。また各階の重量を表4に示す。

表3 断面性能一覧

	柱1F2F	柱3F	梁
A (cm ²)	138.7	102.7	83.37
I (cm ⁴)	35100	14300	23500

表4 各階重量

	1F	2F	3F
各階重量 (kN/m ²)	8.5	8.5	7.65

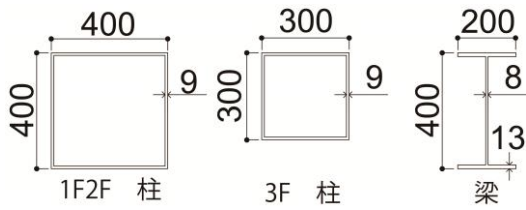


図3 柱・梁断面図

4.2 解析結果

荷重条件は地震荷重を想定し、現在の設計基準¹⁸⁾を基に決定した。地震力を算定する際、地域係数 (Z) は $Z=1.0$ 、地盤は第2種地盤を想定し、標準せん断力係数 (C_0) は $C_0=0.2$ とした。各Caseの設計用地震力の一覧を表5に示す。以上の条件に基づき、各架構の固有周期、層間変形角について比較を行った。

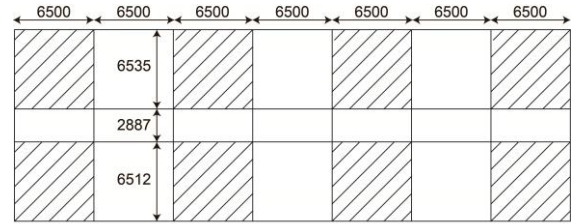
固有周期は、表6に示すようにCase1においても建物高さによる略算値 ($T=0.4$ 秒) の約2.5倍で、水平剛性の低い架構といえる。単位架構同士を接続するユニットの梁端接合部をピンとしたCase2の固有周期や、柱脚をピンとしたCase3の固有周期の伸長に比べ、Case4では固有周期が3秒を超えて大幅に伸長しており、2F梁の両端部をピン接合とすることが、固有周期を伸長させることに効果的であることがわかる。

表7に層間変形角を示すが、現在の設計基準¹⁸⁾における層間変形角の制限値 $\delta/h \leq 1/200$ (ここで、 h : 階高) は各Case共に満たしていない。層間変形角の緩和値である $\delta/h \leq 1/120$ はCase1の全層、Case2、Case3、Case4の一部ではかろうじて満足しているものの、いずれの架構も大きな変形を伴うことがわかる。特にCase3、Case4では下層階の層間変形角が著しく大きくなっていることが特徴的である。

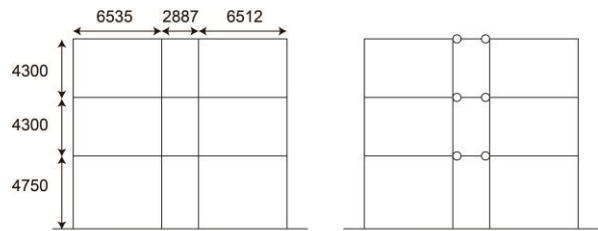
これらのことから真島健三郎が、低層の建物で固有周期を伸ばすために、下層階の部材の支持条件としてピン支持を用いた手法は固有周期を伸ばすためには有効であることは明らかであるとともに、当時から懸念されていた通り大変形を引き起こすこともわかった。

当時の考えでは、架構は変形能力(靱性)を確保するため鉄骨架構とし、壁は薄い鉄筋コンクリートあるいは鉄網モルタル吹き付け等の軽微なものとした。架構の変形量が増大することに対しては、風や小地震といった微動の範囲では、壁を振動の抑制に有効に働かせ剛性を確保することで、微動の範囲では変形を制御する。また、大地震の際には壁や接合部の亀裂や破壊により、変形能力に優れた鉄骨柱と梁の架構の

みの固有周期で地震との共振を避け、抵抗させることを想定していた³⁾。

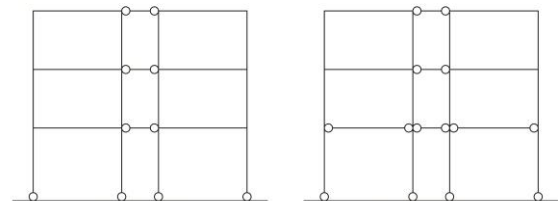


モデル平面図



(a) Case1

(b) Case2



(c) Case3

(d) Case4

モデル軸組図

図4 モデル一覧

表5 地震力算定

階	w_i (kN)	Σw_i (kN)	a_i	A_i	C_i
3	5928	5928	0.31	1.75	0.38
2	6583	12511	0.66	1.29	0.27
1	6590	19101	1.00	1.00	0.20

表6 固有周期一覧

T	Case1		Case2		Case3		Case4	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
	1.08	1.08	1.25	1.28	1.93	2.01	3.27	3.27

表7 層間変形角一覧

階	Case1		Case2		Case3		Case4	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
3	1/160	1/156	1/132	1/131	1/176	1/172	1/171	1/170
2	1/152	1/151	1/121	1/112	1/126	1/111	1/67	1/67
1	1/189	1/190	1/171	1/157	1/70	1/62	1/41	1/41

5 まとめ

真島健三郎が提案した柔構造理論とその実践について、解析及び常時微動測定より得られた知見は以下のとおりである。

- ・ 在日米海軍横須賀基地内に実在する「旧横須賀鎮守府庁舎」を対象に常時微動測定を行った。鎮守府庁舎の微動における1次固有周期は、0.212秒および0.260秒であり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。
- ・ 真島健三郎の著書にある例題と実存建物の資料を基に、柱脚・梁端部の支持条件を変化させた架構モデルについて比較例を示した。この例から、理論的には低層で長い周期をもつ架構を完成させていたと考えられる。しかし、水平荷重時の層間変形角は、いずれの支持条件を持つ架構も現在の基準を大幅に上回っており、剛構造派が懸念した通り、剛性が下がることによって、大変形を生じることが明らかである。
- ・ 実存建物とモデル化した例題の振動特性、特に固有周期に着目すると、モデル化した例題では全ての接合部を剛接合としたCase1においても、固有周期は1秒を上回っており、実存建物の振動測定結果に基づいた固有周期と比較して長くなっていることが分かった。
- ・ 真島健三郎の考えた柔構造は、風や小地震に対しては、内・外壁により振動を抑制し、大地震の際には壁や接合部の破壊により固有周期が延び、地震との共振を避けるというものである。振動特性調査の結果得られた固有周期は内・外壁などの剛性の含んだ値であり、実存建物においても内部鉄骨架構は、長い固有周期を持っている可能性があると考えられる。鎮守府庁舎の固有周期は大地震時に延びるものと推測できるが、1.5秒以上になるかについては明らかではない。但しこのような建物が、建設から80年経った今でも実存していることは事実である。

建物用途の性質上、調査には限界があり、実存建物の構造性能については不明な点も多い。今後は同時期の海軍建築の常時微動測定や建物解体時の部材・材料調査も決まっており、実存建物の図面調査も含め多角的に建物の耐震性ならびに振動特性について検討を行い、柔構造架構論とその実施設計について明らかにしていきたい。

「謝辞」

本論文の作成にあたり、荒木良子氏をはじめ在日米海軍横須賀基地の皆様にご協力いただきました。心より御礼申し上げます。

「参考文献」

- 1) 南出孝一：建築柔剛論争，1990.1
- 2) 佐野利器：家屋耐震構造要梗，建築雑誌，日本建築学会，1915.3
- 3) 真島健三郎：耐震家屋構造の選択について，土木学会誌，1924.4
- 4) 佐野利器：耐震構造上の諸説（抄），建築雑誌，日本建築学会，1926.10
- 5) 真島健三郎：佐野博士の耐震構造上の諸説（評論）を読む，建築雑誌，日本建築学会，1927.4
- 6) 武藤清：家屋の耐震設計方針について，建築雑誌，日本建築学会，1929.11
- 7) 武藤清：真島博士の柔構造論への疑い，建築雑誌，日本建築学会，1931.3
- 8) 真島健三郎：柔構造論に対する武藤君の批評に答えさらにその余論を試み広く諸家の教を仰ぐ，建築雑誌，日本建築学会，1931.5
- 9) 石川孝重，平田京子：日本近代建築法制の100年—市街地建築物法～建築基準法—市街地建築物法・建築基準法と建築学会—市街地建築物の構造規定と建築学会—，ビルディングレター，日本建築センター，pp.1-28，2018.8
- 10) 西澤英和：近代技術編 舞鶴鉄骨煉瓦造の海軍建築 その1，歴史的建造物—保存再生技術の変遷 施工，1999.10
- 11) 中島久男，清水慶一，水野僚子，湯本桂：横須賀海軍工廠造船部造機部製図工場における柔構造について—横須賀市近代化遺産調査(13)—，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，2006.9
- 12) 湯本桂，清水慶一，中島久男，水野僚子：旧横須賀鎮守府庁舎と真島健三郎「重層架構建築耐震構造論」の対応について—横須賀市近代遺産調査(14)—，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会，2006.9
- 13) 真島健三郎：重層架構建築耐震構造論，土木学会誌，第12巻，第2号，1926.4
- 14) 真島健三郎：地震と建築，丸善，1930.6
- 15) 独立行政法人 国立科学博物館 産業技術史資料センター：横須賀市近代遺産実測図面集，p8-19，2011.3
- 16) 山中美德，藤本利昭，水野僚子，河地駿介：柔剛論争における柔構造に関する研究—その3 在日米海軍横須賀基地内に実存する柔構造建築物の概要—，日本大学生産工学部学術講演概要，2017.12
- 17) 河地駿介，藤本利昭，水野僚子，山中美德：柔剛論争における柔構造に関する研究—その4 実存する柔構造建築物の振動特性—，日本大学生産工学部学術講演概要，2017.12
- 18) 建築研究所他 監修，国土交通省住宅局建築指導課他 編集：建築物の構造関係技術基準解説書（2015年版），全国官報販売協同組合，2015.6