

柔剛論争における柔構造に関する研究

－その6 目黒に実存する柔構造建物－

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

1. まえがき

防衛装備庁艦艇装備研究所内の諸施設の建て替え工事に伴い、昭和初期に竣工した海軍建築が解体されることになった。この建物は「柔剛論争」¹⁾の柔構造派であった真島健三郎博士（以下真島博士）が海軍建築局長時代に設計が行われているが、当時の設計図等の史料は残っておらず、どのような設計が行われていたのかわかっていない。

そこで本研究では、「旧海軍技術研究所科学及電気研究場」²⁾（以下科学及電気研究場）を対象に、解体時の調査と、調査によって判明した断面性能に基づく建物モデルによる解析結果より、構造的特徴について考察する。

2. 対象建物

対象建物の概要を表1に示す。真島博士が海軍建築局長であった1923年～1932年の間に竣工し、防衛装備庁艦艇装備研究所本館として使用されていた科学及電気研究場は、「理学及電気研究場」と呼称されていた時期も存在する。対象建物に関する竣工当初の史料は残っておらず、設計担当も不明であるが、文献3)では、海軍の耐震構造の設計主旨とその建物として、海軍技術研究所が挙げられており、真島博士と関係があったことがわかっている。

真島博士の考案した柔構造理論は、「架構は変形能力を確保のために鉄骨架構とし、壁は鉄筋コンクリート等の軽微なもの」⁴⁾としており、低層で周期の長い建物を実現させるために、単位架構と呼ばれる構造形式を考案しているが、

対象建物の構造は鉄骨鉄筋コンクリート煉瓦造であるという記録が終戦後の建物リストに残っている⁵⁾。建物規模は、実測値で梁間約16m、桁行約133m、塔屋を含めた高さは約17mであり、同時期の海軍庁舎と比べ規模が大きい。

これまでの研究⁶⁾により、対象建物に関しては解体前の2017年6月30日に常時微動測定が行われており、実測による振動特性は表2のようになっている。なお、長辺方向に関してはスペクトル比に明確なピークが認められなかったことから、長辺方向の振動特性はわかっていない。得られた振動特性に関しては、架構の鉄骨がコンクリートで被覆されていたこと、内外壁が数多く配置されていたことから、鉄骨架構に比べ、一般的なRC造、SRC造と同様に、固有周期が短くなったということがわかっている。

表2 短辺方向の振動特性

固有周期 (sec.)	0.341
減衰定数 (%)	1.12

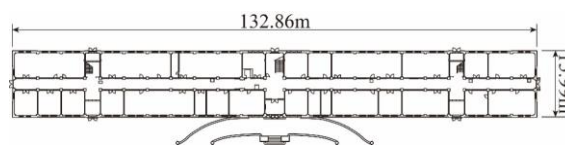


図1 基準階平面図



写真1 科学及電気研究場

表1 建物概要

竣工	1930 年
構造	鉄骨鉄筋コンクリート煉瓦造
階数	地下付 3 階建て一部 4 階
建築面積	2124m ²

A study on Flexible Structure in Flexible Structure vs. Rigid Structure

－ Part 6 Existing Flexible Structure in Meguro －

Shunsuke KAWACHI, Toshiaki FUJIMOTO and Ryoko MIZUNO

3. 解体時の調査

2018年9月から2019年5月まで行われていた科学及電気研究場の解体に伴い、柱梁等の躯体等に関する調査を行った。

3.1 非構造部材

内外壁には鉄筋煉瓦が採用されており、内壁に関しては長手積み、外壁に関してはイギリス積みであった。また多くの煉瓦は、鉄筋を通すための通し穴があり、一部の煉瓦には「特許」の刻印があることを確認し、内外壁の縦筋に関しては2種類の鉄筋が交互に配筋されており、平均直径はそれぞれ12.3mmと9.3mmで、平均鉄筋間隔は249.7mmであった。

内外壁に用いられていた鉄筋煉瓦に関しては、「特許」という刻印から金森式鉄筋煉瓦であると考えられる⁷⁾。この鉄筋煉瓦は他の海軍建築や柔構造建物にも採用されていることがわかっている。

3.2 構造部材

一般階の柱（以下 C_1 ）に関しては、図2に示すような山形鋼（L-100×100×13）と鋼板（PL-10）を用いた組立柱であることが確認できた。組立鉄骨はコンクリートで被覆されており、かぶり厚さは50mmであった。また、直径6mmの丸鋼による軸方向筋や横補強筋が配筋されていることを確認した。塔屋の柱（以下 C_2 ）に関しては、一般階柱の形状と異なり山形鋼（L-90×90×9）と鋼板（PL-10）を用いた箱型の組立柱であることが確認できた。

梁に関しては、図3に示すような山形鋼（L-100×100×13）と鋼板（PL-10）を用いた梁せい500mmの箱型の組立梁（以下 G_1 ）と、山形鋼（L-80×80×10）と鋼板（PL-10）を用いた梁せい300mmの箱型の組立梁（以下 G_2 ）、 G_2 と同様の山形鋼と鋼板を用いたH形の組立梁（以下 G_3 ）が存在することが確認できた。この他にも

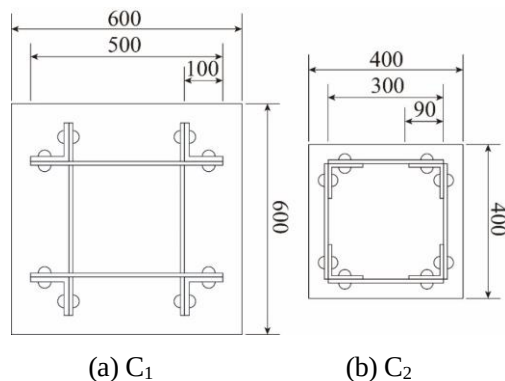


図2 組立柱

G_1 、 G_2 に関しては、細部の異なる複数の断面形状が存在した。 G_1 は、一般階の居室部分の矩形架構を構成し、 G_2 でその矩形架構を繋ぎ合わせることで、廊下部分の梁を構成していることが確認できた。また、 G_3 は塔屋の天井に用いられていることが確認できた。梁の組立鉄骨は、柱と同様にコンクリートで被覆されており、直径6mmの丸鋼による軸方向筋や横補強筋が配筋されていることを確認した。

文献5)において、構造種別は鉄骨鉄筋コンクリート煉瓦造という記述が残っていたが、柱梁の鉄筋量は、現在の鉄骨鉄筋コンクリート構造に比べ極めて少なく、コンクリートの剥落防止のための鉄筋と考えられる。よって被覆コンクリートは耐火被覆として用いられたとも考えられるが、柱梁の構造種別としては鉄骨コンクリート造、壁は鉄筋煉瓦造であるといえる。柱断面の形状に関しては、塔屋を除くすべての階で同一断面であることが確認できたが、梁断面に関しては、複数の断面形状が存在することがわかった。これはスパンの違いや施工面での影響が要因であると考えられる。

柱梁接合部に関しては、図4に示すような形状であることが確認できた。梁の鉄骨は柱に貫通しておらず、梁の山形鋼は直接柱に接合されておらず、柱との接合は加工された鋼板を介し

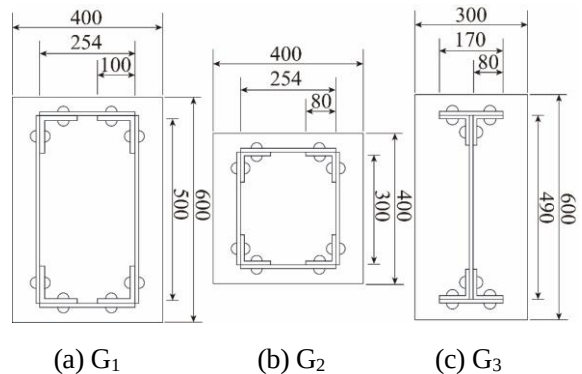


図3 組立梁

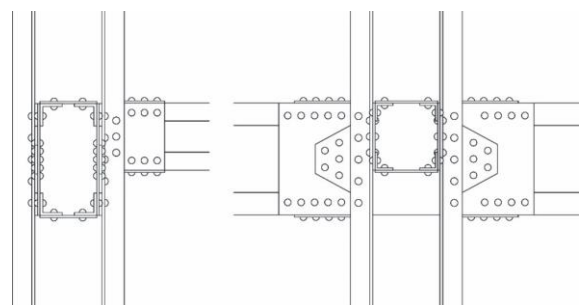


図4 柱梁接合部

て行われていることが確認できた。この接合方法では梁鉄骨による曲げモーメントの柱への伝達は難しい。鋼材はリベット接合で行われており、接合される梁の形状により、複数の種類があることが確認できた。

このように梁の軸方向材を柱に貫通させず、加工した鋼板を介して接合していたことから、ピン形式を想定した接合方式になっていることがわかった。真島博士の柔構造の考え方⁴⁾は、大地震に対して建物の固有周期を長くすることで地震との共振を避けるというものである。風や小地震に対しては、外壁及び間仕切り壁を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にして剛性を高めることで振動を抑制し、大地震の際には壁の亀裂や接合部分などが破壊することにより鉄骨骨組のみの剛性となり、固有周期が延び、地震との共振が避けられるというものである。解体時の調査により、柱梁接合部が、ピン接合のような形式であることから、文献⁸⁾に示されるような接合部の形状とは異なるものの、真島博士の理論が実施されていたものと推定される。

床スラブには鉄筋コンクリートが採用されており、各階の室内の床スラブ厚さは、2階は140mm、3階は120mm、R階は138mmであった。また、廊下部分の床スラブに関しては、全ての階でスラブの上に厚さ100mm程度のコンクリートが打増しされていた。

地下の基礎部に関しては、コンクリートで被覆されており、フーチング形状であることを確認することができた。基礎に関しても、真島博士の考案した構造形式では1階柱脚はピン形式としている⁹⁾。解体調査での目視による確認では近くに遺構として保存してある物理化学及材料研究室の基礎と同様に1階柱脚はコンクリートで覆われているものの、組立柱の山形鋼の寸法は、遺構から確認できた寸法と同様であった。よって、被覆コンクリートにより剛性が高くなっている可能性はあるが、内部鉄骨はベースプレート形式の露出柱脚型であり、接合部と同様に、鉄骨柱脚はピン形式を想定しているものと推察される。

4. 建物モデルによる検討

前章に示した通り、解体調査に伴い、架構の断面形状等が判明した。対象建物の実測調査データと文献⁵⁾を参考に、建物の構造的特徴を考察した。

4.1 架構概要

解析に用いたモデルの短辺方向の軸組図を図5に、設定した各階の重量については表3に示す。また、柱梁部材のコンクリート断面を表4、5に示す。なお、鉄骨部材については実測した各組立材と断面性能が概ね一致する交差型H形鋼、H形鋼を用いた。また、コンクリートに関しては $F_c=21\text{ N/mm}^2$ とし、架構の接合部に関しては剛接合とした。

4.2 解析結果

以上の条件に基づき、固有値解析により、対象建物の固有周期について検討を行った。結果を表6に示す。解析より得られた固有周期は、一般的なRC造、SRC造の建物高さによる略算値($T=0.254$ 秒)よりも長くなることがわかり、短辺方向に関しては、実測した1次固有周期である0.341秒と良い対応を示すことがわかった。

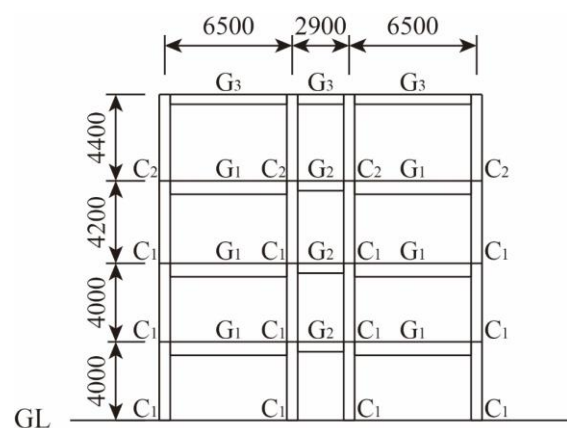


図5 短辺方向の架構

表3 各階重量一覧

	1F	2F	3F	RF
各階重量 (kN)	23271	20944	21605	2785

表4 柱断面性能一覧

	C1	C2
b×D (mm)	600×600	400×400

表5 梁断面性能一覧

	G1	G2	G3
b×D (mm)	400×600	400×400	300×600

表6 固有周期（解析値）

	短辺方向	長辺方向
固有周期 (sec.)	0.322	0.352

長辺方向の固有周期は、実測では得られなかったが、解析結果によれば、0.352秒であると推測される。

また、固有値解析より得られた1次振動モードを図6に示す。モード分布は、R階を1として規準化して示した。また、同図には解体前に行われた実測によって得られた短辺方向の1次振動モードの比率についても合して示している。振幅比の比率に関しては、 $(\delta_n - \delta_1)/\delta_1$ （ここで、 δ_n ：測定階のフーリエ振幅、 δ_1 ：1階のフーリエ振幅）の値について、測定階の値をR階の値で除したものとしている。短辺方向に関しては、実測値とモデルによる解析は比較的良好対応を示すことがわかった。参考までに、長辺方向のモード形状を同図に示す。実測値の1次固有周期におけるモード形状に関しては、微小ではあるが、上の階につれ振幅が大きくなるため、曲げせん断系のモード形状を示すことがわかっていて、解析モデルによるモード形状に関しては、短辺方向、長辺方向共に1階の振幅が大きいモード形状を示しており、せん断系のモード形状を示すことがわかった。

以上より、剛接合と設定した固有値解析による振動特性の数値やモード形状が、実測値と同様の傾向を示すことがわかった。よって微動における接合部は、解体時に判明した内部鉄骨の形状から想定されるピン接合ではなく、被覆されているコンクリートによる剛接合であると推測される。

5. まとめ

科学及電気研究場の振動測定並びに解体時の調査に基づき、構造的特徴について報告した。

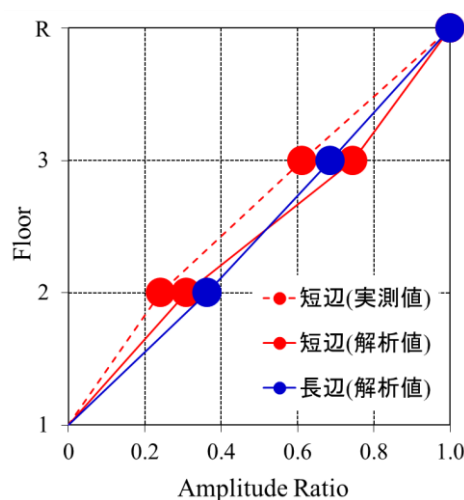


図6 振動モード

今回得られた知見は以下の通りである。

- ・柱梁の構造は、組立鉄骨による鉄骨コンクリート造であり、内外壁に関しては金森式鉄骨煉瓦による鉄筋煉瓦造であった。
- ・柱梁接合部は、梁鉄骨の納まりより、ピン接合を想定した形状と考えられ、真島博士の考案した柔構造理論を実践したものと考えられる。基礎部は、柱脚がコンクリートに被覆されており確認できないが同様の建物よりピン形式を想定したものと推察される。
- ・微動における固有周期は、コンクリート被覆の柱梁と鉄筋煉瓦の内外壁により、柔構造派が大地震時に想定していた周期に比べ短い値であった。
- ・本調査により、内部鉄骨の多くの接合部でピン形式を想定したディテールとなっていることから、大地震時の周期はコンクリート等が破壊されることによって伸長するものと推察される。
- ・モデル化による架構の短辺方向の振動特性は、実測した短辺方向の1次固有周期、1次のモード形状と良好対応を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 藤本利昭, 水野僚子, 山中美穂, 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A 2017年, 第50巻 第1号, pp.29-35, 平成29年6月
- 2) 水野僚子, 藤本利昭, 中島久男, 湯本桂, 山中美穂, 河地駿介: 旧海軍技術研究所科学及電気研究場にみる真島健三郎の柔構造理論の影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, pp.1031-1032, 平成30年9月
- 3) 「如何なる構造を以て地震に対するべきか—耐震構造に関する海軍省真島博士の所説(1)」, 土木建築工事画報, 第5巻 9号, 昭和4年9月
- 4) 真島健三郎: 耐震家屋構造の選択について, 土木学会誌, 第10巻 第2号, pp.297-312, 大正13年4月
- 5) 防衛研究所戦史研究センター所蔵「第2海軍技術廠引渡目録」
- 6) 河地駿介, 藤本利昭, 水野僚子, 山中美穂: 海軍建築における柔構造理論に関する研究その2 防衛装備庁艦艇装備研究所内の実存建物, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, pp.1411-1412, 令和元年9月
- 7) 野村秀明: 近代化遺産・近代遺跡調査概要集 I—2002~2004(平成14~16)年度—, 横須賀市文化財調査報告集, 第44集, 横須賀教育委員会, pp.73-78, 平成19年3月
- 8) 真島健三郎: 地震と建築, 丸善, 昭和5年6月
- 9) 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, 大正15年4月