

令和 2 年 6 月 20 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06695

研究課題名(和文)海軍施設における真島健三郎の柔構造理論の展開に関する研究

研究課題名(英文)A study on the theory and practice of Flexible Structure Advocated by Kenzaburo Mashima in Navy Facilities

研究代表者

水野 僚子 (MIZUNO, Ryoko)

日本大学・生産工学部・助教

研究者番号：80736744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：真島健三郎が提唱した柔構造理論は、海軍の昭和初期の建物において単位架構の平面プラン、鉄骨の組立材をコンクリートで被覆し、著書に書かれている弾機鋼板曲形方杖の使用は一部にしか見られなかったが、外壁や間仕切りは鉄筋煉瓦または鉄網モルタル吹き付けで、真島の設計主旨に沿うものであった。目黒の調査では柱梁部材の鉄筋量が少なく、梁の内部組立鉄骨の軸方向材は直接柱に接合されていないことから、大地震時には梁端部がピン接合として挙動することを意図して設計されたものと推察される。ただし、振動測定調査から、小地震時には柱梁の鉄骨コンクリートや少量の鉄筋が有効に働き剛節架構として挙動すると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

申請者がこれまでに行ってきた横須賀市での調査の上に、目黒や舞鶴に残る海軍庁舎の実測調査のほか、振動測定や解体調査といった実地調査を新たに行うことによって、海軍で採用されていた耐震構造の解明が進み、真島健三郎の思想がどのように実践されていたかを検証できる。そして、本研究はこれまで触れられることの少なかった海軍建築や実態のよくわかっていなかった真島の柔構造の解明につながり、日本の建築技術史を形づくることになる。

研究成果の概要(英文)：The flexible structure theory proposed by Kenzaburo Mashima consisted of “unit frame” in a building in the early Showa period of the Navy, and used steel-framed assembly materials covered with concrete. The use of spring plates described in the book was only partially seen. However, the walls were sprayed with reinforced bricks or steel net mortar, and were in line with the design principles of Mashima. In the study in Meguro, the amount of rebar in the beam/column member was small, and the axial members of the beam's assembled steel frame were not directly joined to the column. Therefore, the end of the beam was designed to behave as a pin joint during a large earthquake. However, by vibration measurement, it is considered that the steel frame concrete of column and beam and a small amount of reinforcing bars work effectively and behave as a rigid joint frame at the time of a small earthquake.

研究分野：近代建築史

キーワード：建築技術史 真島健三郎 柔構造 耐震 柔剛論争

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

真島健三郎は、旧札幌農学校を卒業した土木出身の海軍技術者で、関東大震災後におこった「柔剛論争」の一人として建設技術史の中では有名な人物である。真島が提唱した「柔構造」は、架構を粘りのある柔らかさで設計し、地震で多少変形して壁体が損傷を負ったとしても倒壊しなければよいとするものであった。この理論は、柱梁の接合部を剛にして変形しないことを重視した「剛構造」を提唱する佐野利器・武藤清らと対立した。結局は大学研究者による剛構造理論に基づいて、一般建造物の耐震についての法的な制度が整えられ、柔構造は敗者となるが、その後の技術発展によって昭和 43 (1968) 年の霞ヶ関ビルでは柔構造が取り入れられ、今では多くの高層ビルであたりまえのように採用されている。

この真島は論争当時、海軍省の建築局長になっており、海軍の建物の建築方針に大きな影響を与えたと考えられる。その一つとして、『舞鶴赤煉瓦建造物群調査』(財団法人日本ナショナルトラスト、平成 9 (1997) 年 3 月、その後西澤英和氏によって雑誌『建築の技術 施工』に舞鶴の物件と真島について掲載されている)に取り上げられた旧海軍機関学校庁舎および生徒館にその様子を見てとることができる。しかし、舞鶴の建物の報告以外に真島の耐震理論がどうなっていたか触れたものはない。

また、海軍の建築自体についても不明な点が多い。その理由の一つとして、建物が一般的に調査しにくい場所に残っているため事例が数少なく、その解明が進んでいなかったことがあげられる。そのため、海軍建築では当時の最先端の技術が導入されてきたと考えられるが、日本の建築技術史の中で触れられることは少ない。しかし、申請者は横須賀市において調査の蓄積があり、真島が著書や論文に残している柔構造理論の一端を昭和初期の庁舎・事務所建築において痕跡を見つけてきた。

2. 研究の目的

大正末期から昭和初期に繰り広げられた「柔剛論争」は、建設界の構造論争として有名である。建築構造の学者たちが「剛構造」を推進したのに対し、土木出身の真島は「柔構造」を一人提唱した。結局は前者の理論をもとに一般の構造設計は進んでいくことになるが、一方で真島の提唱する柔構造の情報は少なく、実施に至っていたのかなどその時の動きはわかっていない。

真島は当時、海軍の建築局長として自身の考える構造理論を実践できる立場にあった。本研究では昭和初期の海軍施設について実地調査を行うことで、真島が考える柔構造理論の実践の試みを検証し、その思想と展開について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、真島の柔構造理論がどのように展開していたかを明らかにするため、(1)資料調査のほか、実地調査として(2)実測調査、(3)振動測定、(4)解体調査を行った。まず、資料調査では、昭和初期の建築技術や海軍の技術者についての資料の収集を行い、関東大震災後の耐震構造論や海軍の建築体制といった背景を把握した。次に、現存する昭和初期の旧海軍の庁舎・事務所建築について、実測調査を行うことで、真島の著作物との共通事項を探った。そして、振動測定を行うことによって建物の振動解析から建物の構造的な面を測った。さらに、解体されることになった建物については、駆体などの調査を行うことで、真島の柔構造理論が実践にいたった部分を検証した。

4. 研究成果

(1) 資料調査

まず、大正末期から昭和初期の技術者や構造学者の資料調査・収集によって、当時展開された柔剛論争や真島の柔構造理論がどのようなものであったかを把握した。低層建築の設計が主だった当時の日本では剛構造派が優位であったことは自然であるが、真島の著書で提唱されている単位架構をみると、低層で長周期をもつ架構を理論上完成させていたと考えられる。

そして、真島が活躍した時期の土木技術者や構造技術の背景から、当時の地震研究所における研究者のつながりも垣間見える。また、著書『地震と建築』(昭和 5 年)で触れているアメリカのサンフランシスコ地震(1906 年 4 月 18 日)の実情を鑑みてつくられた建物について触れており、アメリカでも検討されていた柔構造の参考事例として紹介している。

さらに、丸ノ内ビルヂングや日本工業倶楽部といった同時期の事務所建築の調査報告書の収集も行い、調査した建物を分析する上での比較資料として使用した。

真島が海軍省の建築局長として在籍した大正 12 年～昭和 7 年において、実際の建物への使用が行われたと考えられるが、『海軍施設系技術官の記録』(昭和 47 年刊行)などから、鉄筋コンクリート造を採用する昭和 10 年代まで建設された可能性が推察される。

なお、真島の関わりについて記された建物としては、横須賀の旧横須賀鎮守府庁舎、目黒の旧海軍技術研究所科学及電気研究場、舞鶴の旧機関学校の庁舎および生徒館がある。

(2) 実測調査

申請者は横須賀市において、いくつもの海軍施設の調査を行ってきたが、そのうち本研究にかかわる建物としては、旧横須賀鎮守府庁舎(大正 15 年竣工)、旧横須賀海軍工廠造船部造機部製図工場(昭和 2 年竣工)、旧横須賀海軍工廠庁舎(昭和 2 年竣工)、旧横須賀海軍病院庁舎及び兵

舎（昭和3年竣工）、旧海軍水雷学校第四兵舎（昭和4年竣工、平成20年解体）、旧海軍航空技術廠庁舎（昭和7年頃竣工、平成16年解体）、旧横須賀海軍工廠造船部食堂及休憩所（昭和9年竣工、平成21年解体）、旧横須賀海軍病院練習部第一講堂（昭和5年竣工、平成20年解体）がある。

本研究では、さらに目黒に残っていた旧海軍技術研究所科学及電気研究場（昭和5年頃竣工、令和元年解体）を調査した。この建物は真島が建築局長時代の海軍の庁舎としては非常に規模が大きい建物であった。このほか、すでに紹介済みであったため、当初は計画していなかった舞鶴に残る旧機関学校の庁舎および生徒館（昭和5年竣工）を含む4棟についても、設計を担当した技手・汲川圭司氏による著書『翁の憶い出』に詳しい記述があることから、詳細調査を行った。

単位架構

真島は低層で周期の長い建物を実現する上で、単位架構というユニットを考案していた。単位架構とは剛接単スパンの矩形架構のことで、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った。ピン接合であるかどうかは解体されない限りわからないが、いずれの建物の平面プランは単位架構によって形づくられていると推察される。中でも、旧横須賀鎮守府庁舎は平面、断面ともに著作物に出てくる事例に近いスパンの建物になっており、年代的に見ても、真島の柔構造理論を取り入れた最初の建物と考えられる。

弾機鋼鈹曲形方杖（スプリングプレート）

真島の著作物にはピン接合を実現するための案として弾機鋼鈹曲形方杖（スプリングプレート）が上げられている。この弾機鋼鈹曲形方杖について使用が見られたのは、旧横須賀海軍工廠造船部造機部製図工場、旧横須賀海軍工廠庁舎、旧機関学校庁舎においてと一部であったが、真島が考えていた理論が実践された事例と言える。

(3) 振動測定

振動測定は実測調査を行った建物のうち、旧横須賀鎮守府庁舎、旧横須賀海軍病院庁舎及び兵舎、旧海軍技術研究所科学及電気研究場、旧機関学校庁舎の4棟において行った。採取した常時微動測定のデータから建物の固有周期を考察すると、実際に建てられた建物は柔構造の理論が目指す値よりも相当短く、その値は一般の鉄骨造や大正時代の高層建物に近い値であることがわかった。その理由としては壁やモルタルの被覆などの非構造体部分が耐力として効いている可能性が考えられる。

(4) 解体調査

解体調査については、当初計画していた建物とは異なる物件になったが、2棟の解体物件があったため、現地調査を行った。一つは目黒の旧海軍技術研究所科学及電気研究場が実測調査後に解体されることとなったため、確認調査を行った。もう一つは、昭和10年竣工と言われている旧横須賀鎮守府倉庫で、旧横須賀鎮守府庁舎の近くにあった建物であるため、使用された鋼材などのヒントになる可能性があったため、部材の強度や成分の分析を行った。

駆体構造

旧海軍技術研究所科学及電気研究場の駆体は、旧海軍航空技術廠庁舎や旧海軍水雷学校第四兵舎などの解体でも見られた鉄骨の組立柱でできている。柱梁はコンクリートで被覆された組立柱で、柱梁に使われている鉄筋量は現在の鉄骨鉄筋コンクリート構造に比べて少なく、コンクリートの剥落防止のための鉄筋と推察される。梁は箱型の組立梁で、居室部分は梁せい500mmで矩形架構を構成し、それらを廊下部分の梁せい300mmでつなぎ合わせていた。柱梁接合部は、梁は柱に貫通しておらず、梁の山形鋼は柱に鋼板を介してリベット接合されていた。このような接合部では、梁鉄骨による曲げモーメントの柱への伝達は難しいと考えられる。

鋼材

旧海軍技術研究所科学及電気研究場では、旧海軍航空技術廠庁舎と同様に一部で八幡製鐵所のロールマークを確認している。旧横須賀鎮守府倉庫の解体調査では、鋼材にロールマークなど生産場所を特定できるような情報はなかったが、収集した部材を用いて引張試験と成分分析を行った。引張試験ではアングル材の強度と延びに差異が見られたことから、成分分析を行うと、元素の数値に差異が認められたため、同一形状の部材でも構成している鋼材に異なる鋼材が使用されていると推定された。また、成分分析では窒素量から転炉材か平炉材かを検討することが可能であると考えられる。

外壁や間仕切り壁

真島の著作物によれば外壁や間仕切りは鉄筋煉瓦または鉄網モルタル吹き付けで、軽く変形しやすく修理しやすいものになると書かれている。旧横須賀鎮守府庁舎と旧横須賀海軍工廠庁舎では、一部改修工事の時に鉄網モルタル吹き付けであることがわかっている。一方、旧海軍航空技術廠庁舎のほか、旧海軍技術研究所科学及電気研究場と旧機関学校庁舎は煉瓦壁であることがわかっている。また、旧海軍技術研究所科学及電気研究場では内外壁に鉄筋煉瓦を使用していて、一部の煉瓦に「特許」の刻印が見られたことから、舞鶴の旧機関学校庁舎においても指摘されていた金森式鉄筋煉瓦であると考えられる。

基礎

旧海軍技術研究所科学及電気研究場の地下に見られる基礎部はフーチング形状で、この部分は解体されなかったため、内部については判明しなかったが、同時期に建てられた物理化学及材

料研究室の基礎遺構から、ベースプレート形式の露出型柱脚であり、鉄骨柱脚は真島の提案したピン形式を想定していると推定される。

また、解体時に採取した水雷学校第四兵舎の基礎に充填されていた白い採取物について、成分分析を行ったところパラフィンである事が確認できた。これにより、真島の著作物にみられた、基礎にパラフィン油脂を塗布することでアンカーボルトとコンクリートの膠着を絶縁するということが行われていたことがわかった。解体現場での調査は制限があるため、このような白い充填物が確認できたのはまだこの1棟のみであるが、これも建築局長である真島の柔構造理論にもとづいた設計指示のもと建築されていた特徴の一つと考えられる。

以上のように、真島健三郎が提唱した柔構造理論は、海軍の昭和初期の建物において単位架構の平面プラン、鉄骨の組立材をコンクリートで被覆し、著書に書かれている弾機鋼板曲形方杖の使用は一部にしか見られなかったが、外壁や間仕切りは鉄筋煉瓦または鉄網モルタル吹き付けと、真島の設計主旨に沿うものであった。目黒の調査では柱梁部材の鉄筋量が少なく、梁の内部組立鉄骨の軸方向材は直接柱に接合されていないことから、大地震時には梁端部がピン接合として挙動することを意図して設計されたものと推察される。この設計意図は真島の考案した柔構造理論が基本思想となり形になったものと考えられ、その理論をもとに実践された構造を理解することができた。ただし、振動測定とモデル解析によれば、常時荷重や小地震時には柱梁の鉄骨コンクリートや少量の鉄筋が有効に働き剛接架構として挙動すると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 藤本利昭・水野僚子・山中美穂・城戸基	4. 巻 50
2. 論文標題 柔剛論争における柔構造に関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本大学生産工学部研究報告A	6. 最初と最後の頁 29-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 河地駿介・藤本利昭・水野僚子・山中美穂
2. 発表標題 防衛装備庁艦艇装備研究所に実在した海軍建築の構造性能に関する研究
3. 学会等名 第13回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中美穂・藤本利昭・水野僚子・河地駿介
2. 発表標題 海軍建築における柔構造理論に関する研究 その1 架構の性能
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河地駿介・藤本利昭・水野僚子・山中美穂
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野僚子・藤本利昭・中島久男・湯本桂・山中美穂
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中美穂・藤本利昭・水野僚子・河地駿介
2. 発表標題 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 その1 建物概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河地駿介・藤本利昭・水野僚子・山中美穂
2. 発表標題 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 その2 振動特性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho Yamanaka, Toshiaki Fujimoto, Ryoko Mizuno and Shunsuke Kawachi
2. 発表標題 A Study on the Vibration Characteristic of Flexible Building Structures
3. 学会等名 International Symposium on Architectural Interchange in Asia
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野僚子・永井香織・藤本利昭・中島久男・湯本桂・山中美穂
2. 発表標題 旧海軍水雷学校第四兵舎にみる真島健三郎の柔構造理論の影響について
3. 学会等名 日本建築学会 大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中美穂・藤本利昭・水野僚子・城戸基
2. 発表標題 柔剛論争における柔構造に関する研究 その1 柔剛論争の概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 城戸基・藤本利昭・水野僚子・山中美穂
2. 発表標題 柔剛論争における柔構造に関する研究 その2 柔構造架構論の概要と例題
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤本 利昭 (FUJIMOTO Toshiaki) (30612080)	日本大学・生産工学部・教授 (32665)	