

柔剛論争における柔構造に関する研究

－その2 真島健三郎が提案した柔構造－

日大生産工（学部）

○城戸 基

日大生産工

藤本 利昭

日大生産工

水野 僚子

1. はじめに

1923年の関東大震災の後、「柔剛論争」と呼ばれる論争が繰り広げられた（前報、その1参照）。その中で、剛構造派の主張は建物の構造を硬く造り、固有周期を短くして地震との共振を避けるべきという考え方で、現在の建築基準法などにおいて、その考え方が引き継がれている。それに対して、柔構造派の真島健三郎の主張は建物の構造を柔らかく造り、固有周期を長くして地震との共振を避けるべきという考え方であるが、その詳細はこれまであまり明らかになっていない。しかしながらこの柔構造の考え方は、現在の超高層建築の設計手法の基礎になっているとも考えられ、歴史上再評価されるべきである。

そこで本研究では、真島健三郎の著書『地震と建築』¹⁾および西澤英和教授の文献²⁾、³⁾を参考に、真島健三郎の設計手法を示すとともに、その方法に基づき設計されたと考えられている舞鶴の鉄骨煉瓦造の海軍建築物を例に、その構造の特徴について検討する。

2. 単位架構を用いた柔構造

真島健三郎は、昭和5年（1930）3月に舞鶴機関学校を竣工した直後の同年6月に丸善株式会社から『地震と建築』¹⁾という本を出版した。この本では、真島健三郎が関東大震災後に続々と発表した学術論文^{4)～6)}についてより詳しく振動理論の立場から解説するとともに、単層から高層架構を一種のモード解析法によって理論的に設計する手法を多数の数式を用いて論述したものであり、当時の地震学の知見や観測結果を踏まえ、日本の耐震設計はいかにどうあるべきかについて述べている。つまりこの本は、柔剛論争において真島健三郎が主張した柔構造の詳細が記述された集大成の資料と言える。この本によれば、図1のハッチに示すような梁間・桁行き6.5m、階高（1階4.75m、2～3階階高

4.3m）の単スパン矩形剛接架構を単位とし、これらを小梁によって両端を単純支持連結した架構が掲載されている。これらの柱は、第1層、2層の柱には柱幅400mm、柱せい300mm、第3層の柱には柱幅250mm、柱せい300mmでL-75の山形鋼を用いた組立箱型断面柱が、梁には梁幅150mm、梁せい400mmでL-75の山形鋼を用いた組立I型断面梁が提案されている。また、柱と梁の接合部には図2に示すような「スプリングプレート」と呼ばれる湾曲した方杖が設置され、これについては図3のようなモデルによる解析手法が示されている。

このスプリングプレートは、梁端接合部を向上させるためのものではあるが、剛接合を目指したものではなく、ピン接合とした梁端の剛性不足を補う目的で設置するものであり、バネ鋼で造られた弾性緩衝機構であるとされている。近年では、梁端部に頬杖型の制振装置（ダンパー）を組み込んだ架構形式などが提案されているが、当時はまだ減衰機構を付加してエネルギー消費を行うといった考え方はないものと考えられる。よって弾性設計における架構剛性の調整部材と言え、現在で言う半剛接合形式の原型とも考えられる。

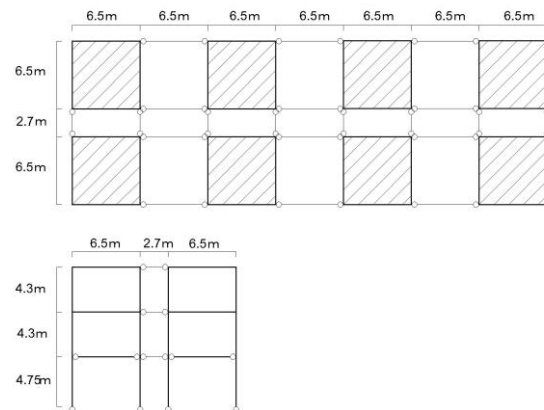


図1 真島健三郎の例題建物

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

－ Part2 The Flexible Structure proposed by Kenzaburo Majima －

Hajime KIDO, Toshiaki FUJIMOTO and Ryoko MIZUNO

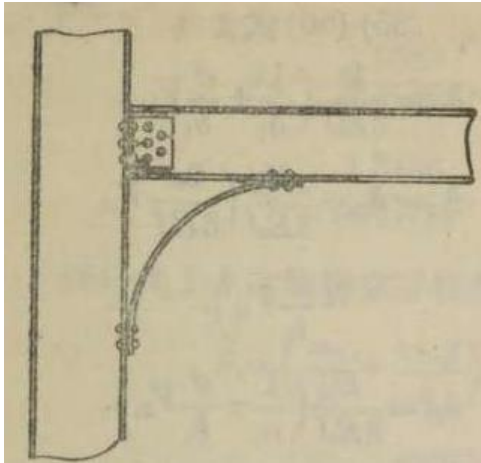


図2 スプリングプレートの詳細
[出典:文献1), 127頁]

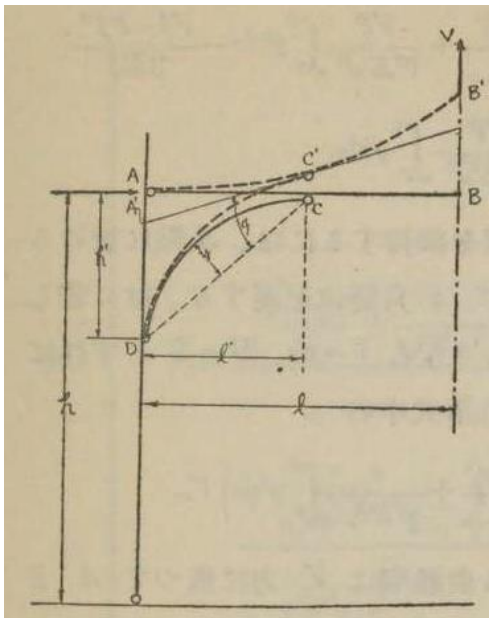


図3 スプリングプレートの解析
[出典:文献1), 95頁]

3. 舞鶴機関学校の鉄骨煉瓦構造建築

3.1 建物の概要

本報告で示す旧舞鶴機関学校は、現在の京都府の舞鶴市に昭和3年（1928）6月着工、同5年（1930）3月に竣工した鉄骨煉瓦造であり、旧日本軍の根幹として帝国海軍兵科将校になる生徒や将来尉官になる選修学生を養成する施設である。

代表的な建物の規模を表1に示す。

これまで、『地震と建築』に示された図1の架構形式は、鉄骨造による柔構造建築の例題と考えられていたが、これらの建物は、西澤氏²⁾の調査の結果、真島健三郎の柔構造理論に基づ

き設計された鉄骨造建築であると報告されている。

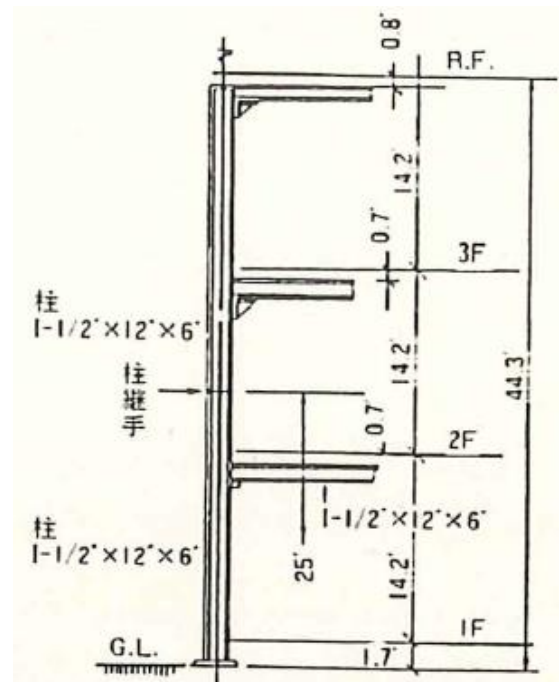
表1 代表的な建物の規模

庁舎（2階建て） （現総監部庁舎）	1階/250.83坪
	2階/240.83坪
	計491.66坪
生徒館（3階建て） （現第4術科学学校）	各階/454.50坪
	計1363.50坪

3.2 各部の設計寸法について

西澤氏²⁾の報告によれば、機関学校の設計と建設に関わった汲川圭司の著書「翁の思い出」からも機関学校生徒館と真島健三郎の例題がほぼ一致していることがわかっている。

これらを比較すると文献²⁾によれば、生徒館は、図4(a), (b)に示すように戦前の資料であることから寸法表示はインチ、フィートで記載されているが、例えば3階建の生徒館では基準階高が $14.2' \div 4.25\text{m}$ 、1階階高を $14.2' + 1.7' = 15.9' \div 4.73\text{m}$ 、張間方向スパンを $21.0' \div 6.3\text{m}$ で、両者はほぼ一致する。また庁舎の平面計画は、図5に示すように廊下幅 $9.0' \div 2.7\text{m}$ 、張間桁行スパン $21.0' \div 6.3\text{m}$ で、図1に示した平面寸法とほぼ同様である。



(a) 生徒館鉄骨断面

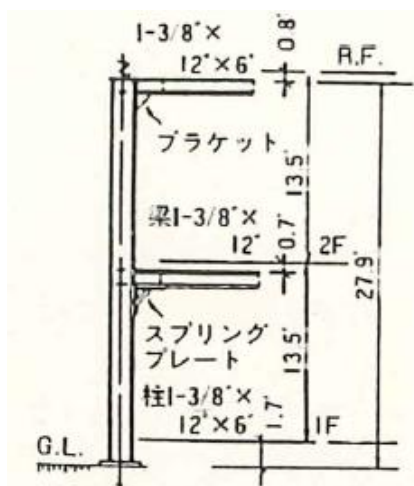
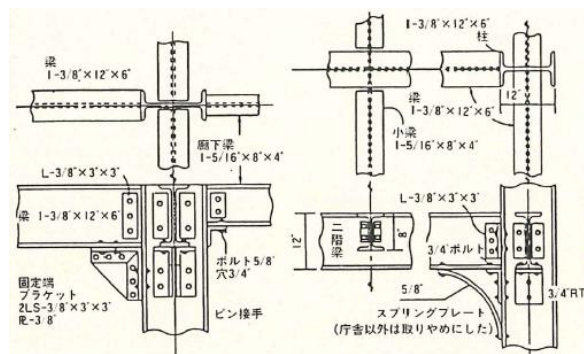


図4 旧機関学校庁舎と生徒館の鉄骨軸組
[出典:文献8), 71頁]



舞鶴以外にも横須賀の海軍建築として真島健三郎が提唱した柔構造を採用したと考えられる建物が存在することが、文献7)で報告されている。海軍建築という性格上、これまであまり明らかとなっていなかったが、他にも同様の柔構造建築が存在する可能性を示唆している。

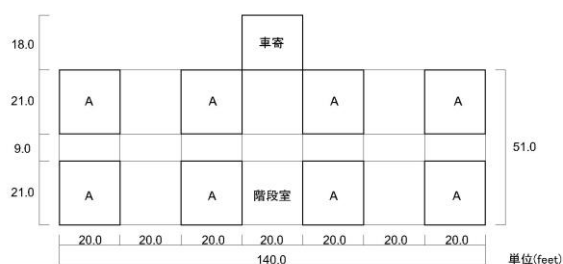


図5 旧海軍機関学校庁舎計画時平面図

また、鉄骨断面と接合部に関しては、図6のような庁舎のスケッチが示されている。柱は断面せい12.0"≒300mm、幅6.0"≒150mmのI形鋼、大梁も柱と同寸で、小梁は断面せい8.0"≒200mm、幅3.0"≒75.0mmである。柱と梁の接合部はウェブをピン接合として、梁の下端にブラケットを設けた形式としている。また、図中の庁舎2階柱梁取付け詳細には、スプリングプレートが描いてあり、更に「庁舎以外は取りやめにした」との注記がされている。これらの接合詳細は、真島健三郎の著書の図とほぼ同じである。但し、柱については山形鋼を利用した組立箱型断面ではなく、せいが一回り小さいロールI形鋼になっている点、同様に梁や小梁も組立I形断面がロールI型鋼になっている点異なる。西澤氏の報告によれば、汲川圭司の著書より時代背景や軍の方針によって艦隊の建造用引当鋼材が余っており鋼材リストの交付がされ、先に貸与されたイギリスのドーマ

ン・ロング柱のカタログと照合してみたところ寸法、形状が全く同じであり、山形鋼のリストを示していることから、舞鶴機関学校では箱型断面ではなくI形鋼が引当てられたために、これを柱や梁に使い設計したことが推察される。

4. 真島健三郎の考える単位架構

真島健三郎の耐震鉄骨架構の構造計画の最大の特色は、図1に示すような剛接単スパンの矩形単位架構と、これら架構群を相互にピン接合するという構法である。

このような構法を採用した最大の理由として、現代のように大型計算機のなかった1920年頃には、真島健三郎の動的理論で要求されるような精度の高い架構の応力解析の手法がまだ確立されていなかったことが指摘される。現在では広く知られている手計算レベルの計算手法である「撓み角法」の基礎理論は1914年にWilson&Maneyによって提唱されたが、当時は理論的には厳密であるものの多層多スパン架構の実用解析にはほど遠いものであったとされている。実用的な近似解法として用いられる「固定モーメント法（固定法）」は1925年にHardy Crossにより発表されたが、大震災当時はまだ知られていなかったと考えられる。

一方、当時の日本では内藤多仲の近似解法が関東大震災直前に発表されたが、この解法も真島健三郎の理論を実現するには精度的な制約があった。なお、真島健三郎は昭和5年（1930）に出版された坂静雄著「高層架構論」（文啓社

書房)に到って初めて目的に沿いうる架構解析手法が実現出来そうだと述べている。

『地震と建築』で示した真島健三郎の解析手法は、図7に示すように、水平力を受けて逆対称変形する架構を想定し、これを梁の反曲点で切断して、不静定力として各層1つの梁せん断力 V_i (梁の反曲点をローラ支持した場合の反力に相当する)を考えれば、各層梁の反曲点位置での鉛直変位が0となることを条件に、層数に等しい V_i を未知数とする方程式を解くという方法である。

このようなTree structure (樹状構造、現在で言う魚骨モデルに類似したようなモデル)が成り立つ構造を考えた場合、梁の反曲点がスパンの中央になる単スパンの単位架構が当時最も精度よく解析できるモデルとして最適であったことも単位架構を採用した大きな理由と考えられる。

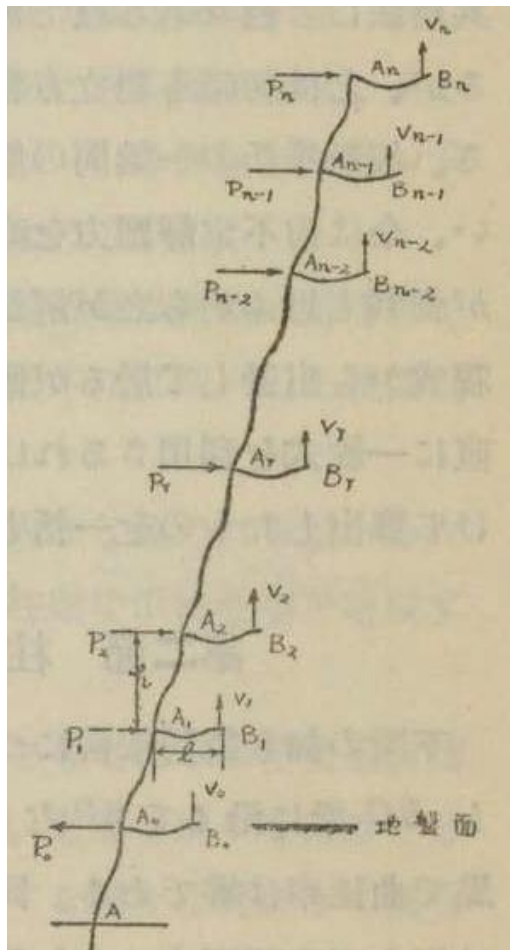


図7 単位架構モデルの解析
[出典:文献1), 68頁]

5. まとめ

真島健三郎の提案した単位架構の特徴は、以下の通りである。

- 大型計算機のない時代に厳密な理解論が容易に求める構造形式として、単位架構という単純な骨組を組み合わせた架構形式を考案した。
- 自ら提案した架構を弾性連続体と仮定した振動モード解析により、1次だけでなく高次の振動モードを想定した架構設計法を提案した。
- 提案した設計法を基に柱と梁の接合に剛接合、ピン接合、更には弾性緩衝機構を組み合わせることで、架構の周期が調整可能となる架構を提案した。

以上の考え方は、現在の高層建築などの設計の基礎ともなることと考えられ、今後更に単位架構の特徴について検討を進める予定である。

<謝辞>

本報告では、参考文献2), 3)の西澤英和教授の報告を多く引用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

「参考文献」

- 1) 真島健三郎：地震と建築，丸善，1930年6月
- 2) 西澤英和：＜歴史的建造物－保存再生＞技術の変遷 隔月連載8【近代技術編】舞鶴の鉄骨煉瓦造の海軍建築－その1，建築の技術 施工，1999.10
- 3) 西澤英和：＜歴史的建造物－保存再生＞技術の変遷 隔月連載8【近代技術編】舞鶴の鉄骨煉瓦造の海軍建築－その2，建築の技術 施工，1999.12
- 4) 真島健三郎：耐震家屋構造の選択について，土木学会誌，大正13年4月
- 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，昭和2年4月
- 6) 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，昭和6年5月
- 7) 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，F-2，pp.435-436，2006
- 8) 汲川圭司：翁の思い出－我が生ある限り，鋼構造出版社，1993年11月