

日本の近代建築を支えた構造家たち

[論文]

竹内 徹*, 浜田英明**

Structural designers who carved Japanese modern architecture

Takeuchi Toru, Hamada Hideaki

Compared with architects, not many people can list-up the names and achievements of structural designers. However, behind every great architects there are always structural engineers who supported them. In response to a request from the Museum of Modern and Contemporary Architecture, the Japan Structural Designers Club has been researching materials left by talented structural designers collaborating with Hamada laboratory at Hosei University since 2017. In this paper, based on the results of the survey, the achievements of representative Japanese modern structural designers are overviewed and discussed.

キーワード：構造家、耐震設計、空間構造、構造デザイン

1. はじめに

過去に大きな業績を残した建築家の名前を列記することは容易であるが、構造家の名前と業績を列記できる人は必ずしも多くない。しかし名建築家の陰には必ずそれを支えた構造家の存在がある。日本構造家倶楽部では文化庁国立近現代建築資料館からの依頼を受け、2017年より法政大学浜田研究室と協力しながら主要な構造家が残した資料の所在概要把握調査を行ってきた。本稿ではその調査の結果を踏まえ、調査の対象となった代表的な日本近代の構造家について紹介していきたい。

調査を実施したWG委員は以下のとおりである。

主査：竹内徹、委員：新谷真人、伊藤潤一郎、金箱温春、小堀徹、佐々木陸朗、多田脩二、中田捷夫、満田衛資（以上日本構造家倶楽部）、小澤雄樹（芝浦工業大学）、川口健一（東京大学）、原田公明、安藤顕祐（日建設計）、浜田英明（法政大学）、藤本貴子（法政大学2020-）、顧問：難波和彦。

図1に2018年のシンポジウム資料としてまとめた構造家の系譜例を示す。関東大震災～戦前に活動したエンジニアを第一世代、戦後～1970年代の高度成長期に活躍したエンジニアを第二世代とすると、現在は第二世代の教え子である第三世代が1980年以降活躍し、引退を迎えつつある状態と言える。第二世代のエンジニアが残した図面、計算書、スケッチ、模型類等のアーカイブは現在第三世代が受け継いでいる場合が多いが、同世代の引退・逝去に伴い逸散、廃棄される危険性が高い。WGではまず「構造家に焦点をあてるのか、構造技術に焦点を当てるのか」という議論を経た上で明治以降～1970年代に至るまでの主要な構造設計作品約

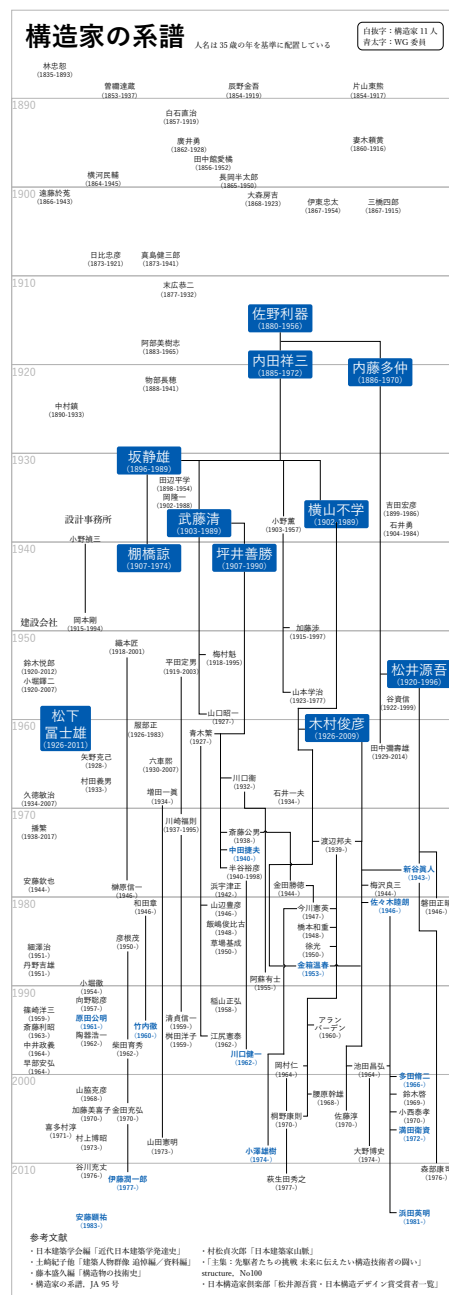


図1 日本の構造家の系譜

*東京工業大学教授、博士(工学) **法政大学教授、博士(工学)

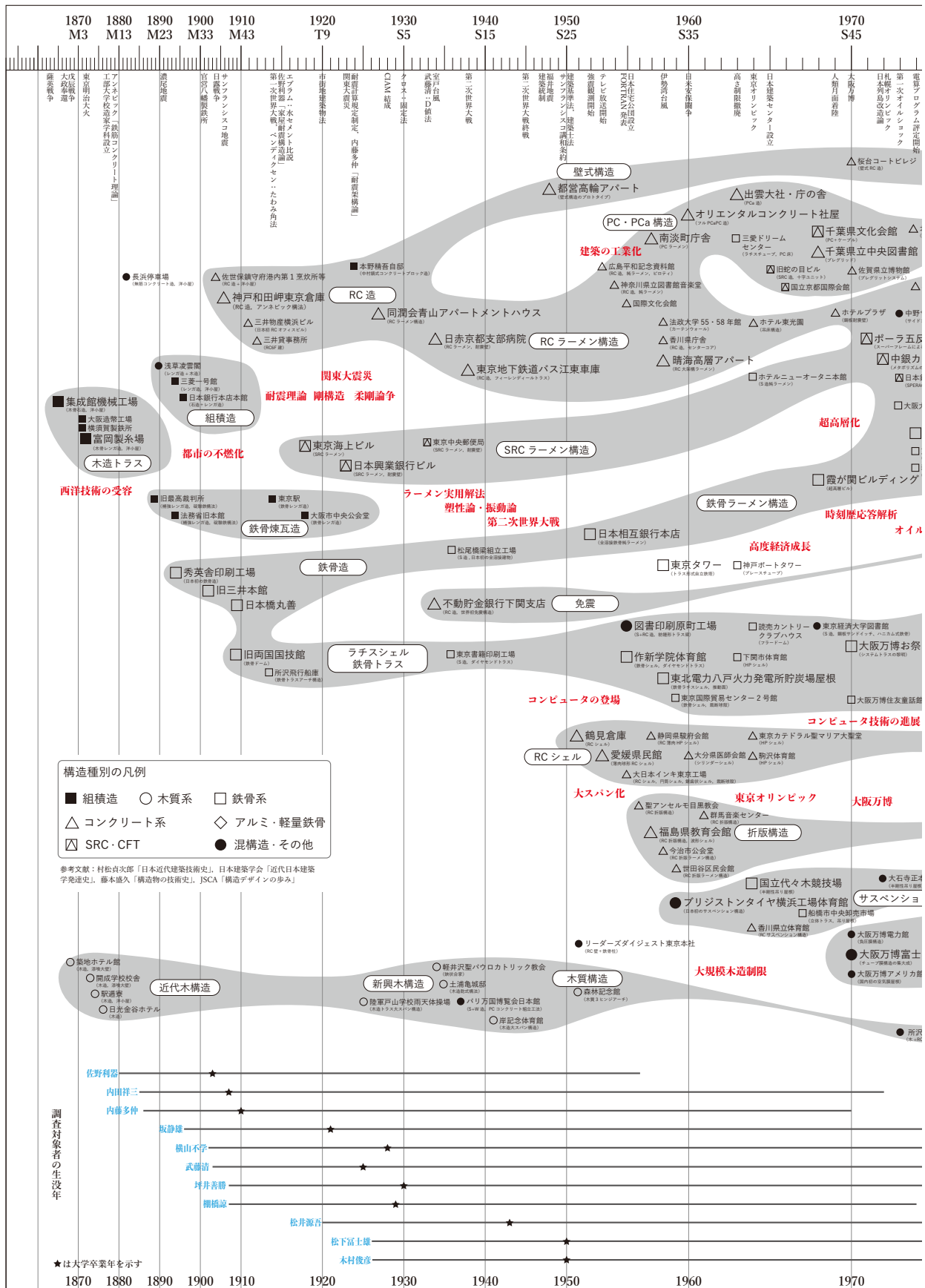


図2 日本の構造デザインの系譜 -1

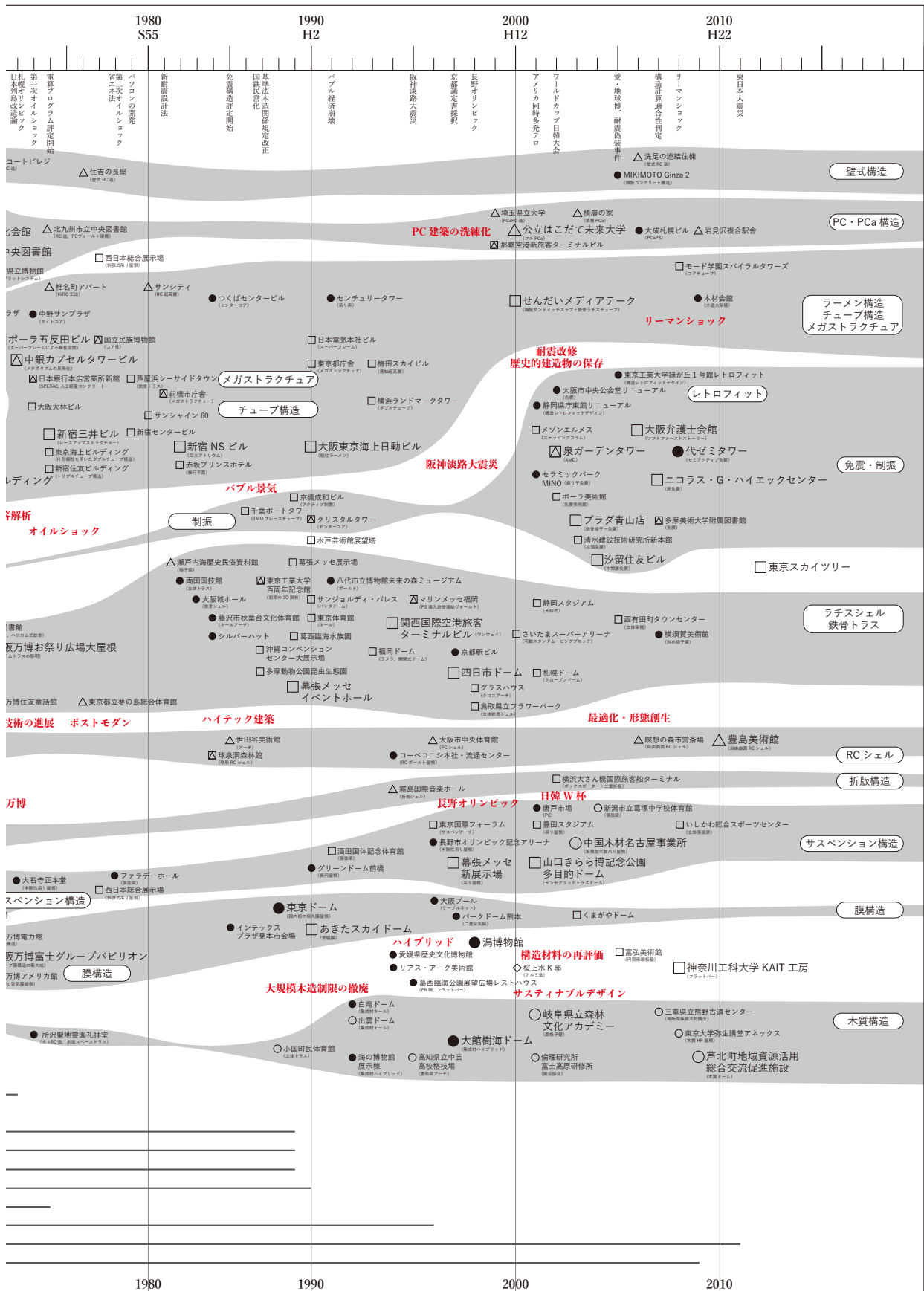


図2 日本の構造デザインの系譜-2

200件を抽出、その潮流をリードした11名の構造家（構造エンジニア）を選出し調査を行った。2018年度調査で選ばれたのは図1中に箱書きで記述した人たちである。

以下、これらの構造家が生きた時代について振り返りたい。図2は明治以降、2010年ころまでの構造技術の変遷と代表的な構造作品を配置したものである。この年表に沿い、大きく分けて明治以降、大阪万博1970年くらいまでの領域とそれ以降の領域、そして耐震構造から超高層ビルにいたるその領域と、大スパン空間構造に関する領域と分けて眺めていく。

2. 耐震設計と建築構造専門領域の確立

明治以前の低層木造建物で構成されていた東京（江戸）の街は火災に非常に弱かったため、明治政府は西洋式の建築技術・教育の導入と共に欧州式の煉瓦造を導入することで不燃化を図った（図3）。しかし、こういった煉瓦造・組積造は地震に非常に弱い。サンフランシスコ地震が1906年に起こり大きな被害が出たのを見て、佐野利器（1880-1956）は1920年に市街地建築物法の導入に尽力し、世界初の耐震基準（ベースシア0.1）が設定された（図4）。そのあと3年後に発生した関東大震災は既存の煉瓦造建物を壊滅状態に至らしめた（図5）。その



図3 都市不燃化を目指した煉瓦造の導入

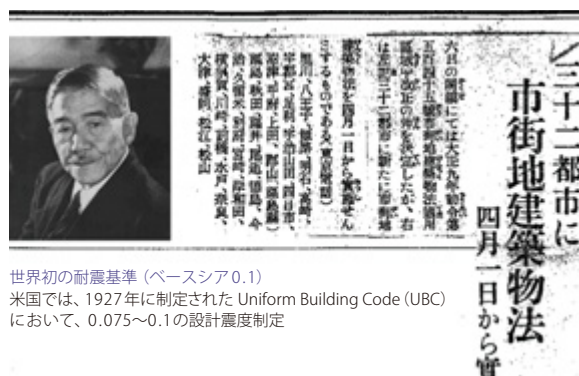


図4 佐野利器と耐震設計規準の制定



図5 1923 関東大震災による被害



図6 内藤多仲と日本興業銀行

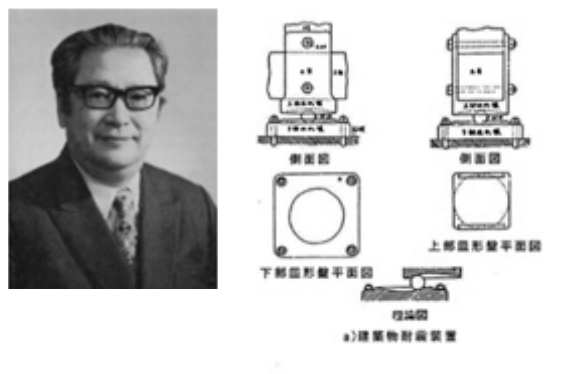


図7 棚橋諒と大正期の免震特許構法例

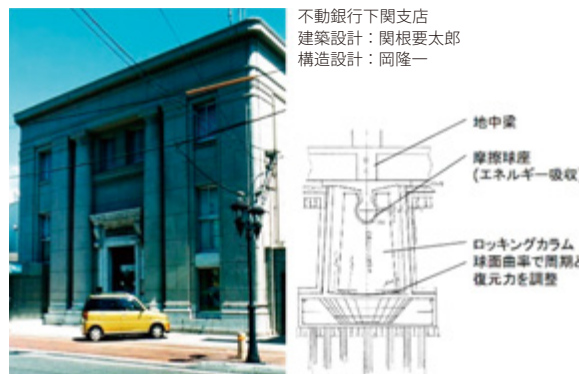


図8 免震構法実施例（不動銀行下関支店）

ころ鉄筋コンクリートによるラーメン構造骨組に壁を挿入した耐震構造が提案され、それを日本興業銀行の構造設計で実践したのが内藤多伸(1886-1970)である(図6)。同氏の言う「トランクの間仕切り」のように配置された耐震壁によってこの建物は関東大震災を無傷で生き延び、耐震壁を配置したラーメン構造(柱梁剛接合)が我が国のスタンダードな建築構造の姿になっていく。また、欧州では1900年以前から鋼鉄の量産化が始まり、それと同時に工業化も非常に勢いで進んでいった。日本でも1901年の八幡製鉄所の操業と鉄骨造の導入後は鉄骨構造と煉瓦造、あるいはRC造を組み合わせ

東京駅や国会議事堂等の主要なインフラが整備されていった(図9)。我が国の主要大学の建築教育においても、この震災が建築構造分野の専門領域を拡充する契機になった例が多い。

1920~1930年代には、建物を固く作るべきだという佐野利器らと、柔らかく作れば地震力を低減できるという海軍の真島健三郎らとの間で著名な剛柔論争が起こり、その後、棚橋諒(1907-1974)によるポテンシャルエネルギー論が提示された(図7)。ただし当時は強震記録が得られなかったため、この議論は結論が出ず終わってしまう。その一方でこの時代、数多くの免震構造

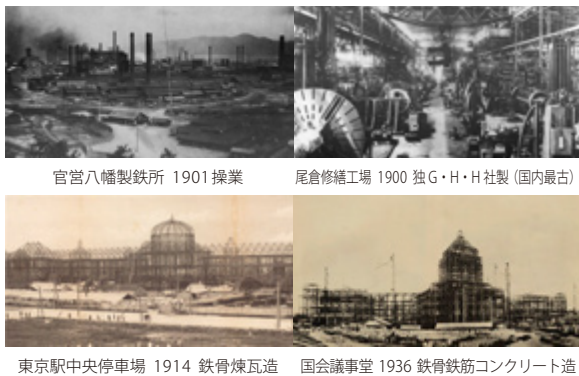


図9 鉄鋼業と鉄骨造の導入 (1900-1940)



図10 1948 福井県北部地震と耐震設計規準改定



図11 G.W. Housnerと強震記録

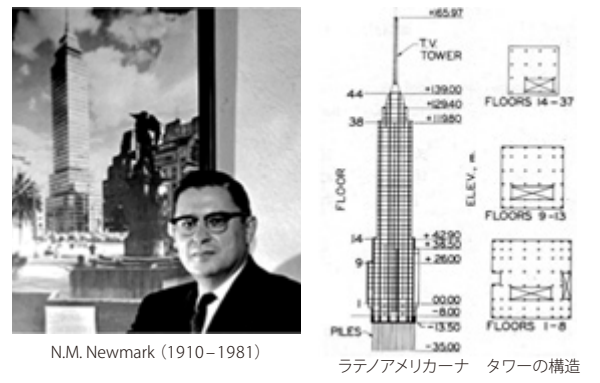


図12 N.M. Newmarkと時刻歴応答解析



図13 武藤清らによる動的設計法の導入

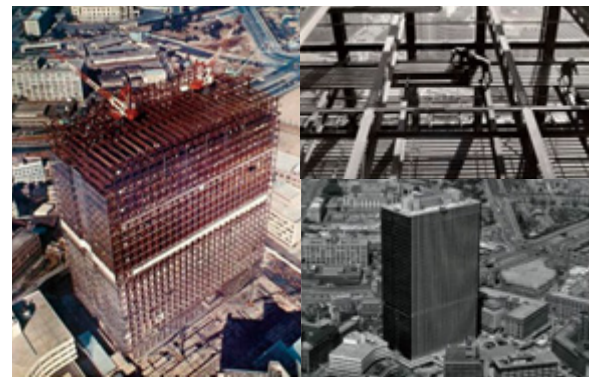


図14 高さ制限の撤廃と霞が関ビル建設(1968)

の特許が出願されるとともに、世界最初の免震構造である不動銀行下関支店ビルが関根要太郎と岡隆一らによって1934年に実現している(図8)。ただし当時まだ積層ゴムは存在しておらず、ロッキングコラムを基礎に埋め込むことで長周期化を図っている。

これらの初期耐震設計を施した街づくりは第2次世界大戦により一度壊滅し、焼け野原となる。戦後復興の最中、福井地震が1948年に発生し(図10)、建築基準法の震度は0.2に引き上げられる。このころようやく精度のよい強震記録が米国で得られるようになり、その応答特性を用いた Housner による応答スペクトル法の確

立(図11)、そしてコンピュータの発達により実現した Newmark の時刻歴応答解析手法(図12)が確立した。これを受けて、かつての剛構造論者であった武藤清(1903-1989)による時刻歴応答解析を用いた柔構造の研究が行われ(図13)、その結果、1920年以來の100尺(31m)の高さ制限が撤廃され、1968年には初めての超高層ビルである霞が関ビルの建設に至った(図14)。

3. メタボリズムと空間構造デザインの発展

一方、空間構造の世界では鉄筋コンクリートが発明されたあと、ヨーロッパを中心にそれまでの柱梁構造と



図15 坪井善勝とシェル構造、代々木体育館

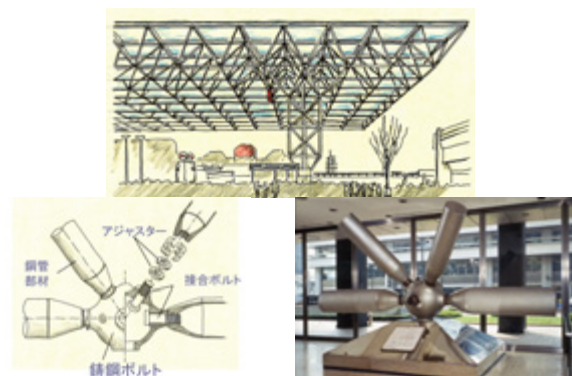


図16 大阪万博(1970)お祭り広場大屋根トラス

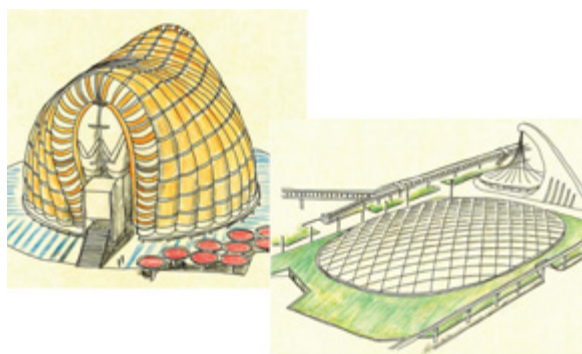


図17 大阪万博富士パビリオン、米国館(空気膜構造)



図18 PC構法の発展:蛇の目ビル(1965)



図19 京都国際会館と木村俊彦



住友児童館:組柱により支えられ宙に浮遊する単層ラチスドームユニットは、木村俊彦により単純メタボリズムの具現化。部屋ユニットは自由な振動モデルを用いて解析・設計された。タカラ・ビューティリオン:黒川紀章によるメタボリズムの具現化。部屋ユニットは自由に組み替え、移動が可能。

図20 大阪万博におけるメタボリズム

異なるシェル構造が開発され、1930~1950年代にトロハ、ネルビー、キャンデラ等によって様々な空間構造デザインが実現していった。これを受けて日本におけるコンクリートシェルの発展を牽引したのが坪井善勝(1907~1990)である。坪井は学術的研究と並行し、様々なRCのシェル構造や代々木体育館(図15)、大阪万博大屋根(図16)等の鋼構造デザインを実現していった。

代々木体育館は1964年の東京オリンピック水泳競技場として整備されたものであり、ケーブルを大胆に使用した吊構造による造形の美しさより、現在でも我が国を代表する建築作品の一つとして評価されている。

大阪万博大屋根では、鋳鋼製の接合ノードを用いた立体スペースフレームシステムの開発により108m×292mの空中展示空間を実現し、その後の我が国の構造デザインやシステムトラスの開発に大きな影響を与えた。1970年の大阪万博ではこれ以外にも多くの先進的な構造技術が試みられた。図17の富士パビリオン、アメリカ館に代表される空気膜構造はその代表的なものである。

大阪万博以降、経済の高度成長は鈍化するが、建築技術は成熟段階に入る。一つのトレンドは工業化であり、プレキャストコンクリートを用いた、様々な建築の形



図21 メタボリズムの実践(1970代)



図22 松井源吾と力学に基づく構造形式の多様化



メタボリズムの延長線上で内装・設備まで建築ユニットをメーカーで製造し、家ごとトラックに載せて移動・挿入することで建設・引越しの概念が実行された。ASTMでは5層ごとのメガトラス階に空中公園が設けられた。振動解析で用いられた地震力は2次設計時PGA 400galであったが、風振動に対する設計は不十分であった。

図23 工業化住宅の集成(1979-82)



図24 超高層建物の一般化とボックス断面鋼柱の普及

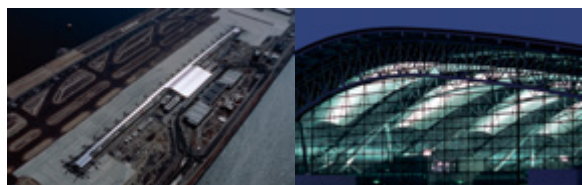


図25 超高層建物のデザインの多様化(1990-)



図26 恒久膜構造の一般化

態・施工法が追求された。その旗手が前川國男や木村俊彦(1926-2009)であり、図18、19に示すような名作が生まれ出されていった。同時にこの頃、建築を増殖させていく、あるいは移動させていくメタポリズムの概念が夢を持って試みられた(図20, 21)。その終着点が大手ゼネコンと鉄鋼メーカーによって推進された芦屋浜高層集合住宅(図23)と見えよう。住居一戸をトラックで運搬し、メガフレームに差し込んでいくということも大真面目に検討されたが、結果的には運搬コストなどにより経済的合理性が成立しなかったことから、徐々にその熱は冷めていった。



関西空港ターミナルビル 1994

幕張メッセ 1989

図 27 空間構造のデザインの多様化 (1990-)

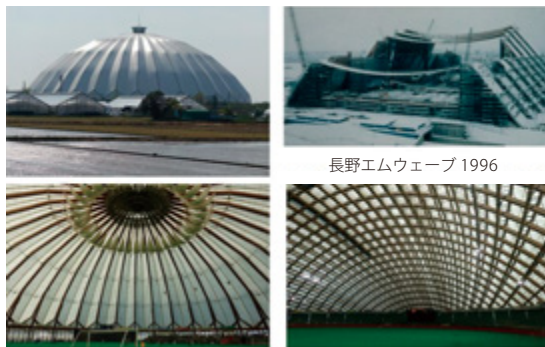
グレーディングシステムによる透明建築の実現 (1984-95)



東京国際フォーラム 1996

日本長期信用銀行本店
ガラスキューブ 1993

図 28 透明建築の展開 (1990-)



出雲ドーム 1992

大館樹海ドーム 1997

図 29 ドーム建築による木構造の復権

この時代を通じて活躍した構造家の一人に松井源吾(1920-1996)がいる。松井源吾は大学で教鞭をとりながら力学原理に基づいた構法開発を行い菊竹清訓等の建築家と組み、新しい構造デザインに基づく作品群を生み出していった(図22)。

一方、1980年代には超高層建物はかなり一般的となり、箱型断面の鋼材柱部材が量産されるようになって、これが日本の鉄骨骨組の標準となっていく。初期は整形な超高層ビルが多かったが(図24)、解析技術の進歩とともに多様な超高層ビルのデザインが実現するようになった(図25)。

一方、空間構造は1980年代後半のバブル経済以降、長野オリンピックやワールドカップ等に伴う、ドーム建設ブームがあった。この時代には、日本初の恒常的な空気膜構造である東京ドーム、そして鋼管骨組膜の名作である秋田スカイドーム、そして二重空気膜のパークドーム熊本や、張弦梁を使用するテンション構造を用いた前橋ドームなどが実現していった(図26)。また鋼構造分野でも、それまで隆盛を誇っていたシステムトラスに変わり空港や展示場を中心に溶接鋼管トラスや形鋼の組合せによる有機的な構造デザインが指向されるようになった(図27)。

ガラス被膜で覆われた透明建築が多く実現したのもこの時代である(図28)。1980年代後半にヨーロッパで展開されたサッシュレスガラス構法、ケーブル等を用いたファサードデザインに影響を受けたもので、我が国の耐震・耐風条件に合うよう改良された構法が1990年以降一般化され、広く普及した。

一方、大規模木造建築は1959年に建築学会による大規模木造禁止宣言後長く途絶えていたが、1990年以降、屋内競技場を中心に多くのドーム建築が集成材を用いてデザインされるようになり(図29)、炭素固定による木質材の地球環境問題への親和性も後押しとなって一般建築への普及が試みられている。

4. 構造資料調査WGの活動

以上、駆け足で明治以降の構造デザイン史を眺めてきた。構造資料調査WGでは、まず2017~2018年度に具体的にこの時代に生きた11名の構造家、佐野利器、内田祥三、内藤多伸、武藤清、坪井善勝、坂静雄、棚橋諒、横山不学、松井源吾、松下富士雄、木村俊彦の残存資料の調査および所在のリストアップ化を行うとともに、保存すべき資料とその保存方法について議論し取りまとめを行った(図30, 31)。また、2019年度は調査をより後代の第3世代に広げ、横河民輔、織本匠、平



図30 近現代資料館構造資料調査WGの検討



図31 構造資料調査の様子（木村俊彦、2018）

田定男、鈴木悦郎、谷資信、山口昭一、矢野克巳、田中彌壽雄、村田義男、播繁、渡辺邦夫の11名に関する資料調査を追加実施した。これらの成果は国立近現代建築資料館のウェブサイトより公開されている。2019年5月には調査結果報告を兼ねて法政大学にてシンポジウム「日本の近代建築を支えた構造家たち」を開催した。同シンポジウムには200名を超える参加者が詰めかけ、建築関係者の関心の高さを伺わせた(図32)。

一方、1990年以降の構造家資料においては図面や計算書等の電子化が一段と進んでおり、後代の構造資料継承に関してはその対応も喫緊の課題となってきている。特に知的財産権の運用厳格化やデジタルデータのインターネットを通じた拡散性の増大により、構造家がまだ存命の内に没後のデジタル資料の所有権移管や公開の是非についての意思を記録しておくこと、また、電子化を視野に入れた残すべき資料の種類や移管書式の整備等について、当該構造家を交えてまとめていくことが早急に求められる状況となっている。構造資料以



図32 シンポジウムの開催（2019.5）

外の分野でも21世紀以降、設計情報の電子化が進んでおり、これ等の情報をいかにアーカイブとして構築し、継承するかの方策を見出すことは近現代建築資料館にとっても今後の課題となると考えられる。また、電子化が先行する構造資料調査についてのデジタルデータ収集方針策定を進めることは、建築にかかわる他の電子情報をいかに継承していくかの方針についても貴重な参考情報となると思われる。

2020年度では、その第一段階として、2017～2019年の3か年にわたる構造家の概要資料調査の成果をふまえて、複数の存命構造家の資料について調査を進めるとともに、デジタル資料アーカイブ構築のための課題を整理し、ネットワーク化を含む構造資料の電子化継承にかかわるさまざまな可能性について検討を始めている。

参考文献

- 日本建築学会編：近代日本建築発達史, 1969-1972
土崎紀子他：建築人物群像追悼編／資料編, 住まいの図書館出版局, 1995
藤本盛久編：構造物の技術史——構造物の資料集成・事典, 市ヶ谷出版社, 2001
構造家の系譜, JA95号, 2014.9
国立近現代建築資料館：我が国の近現代建築に関わる構造資料の概要把握調査報告書(平成29年度, 平成30年度, 令和2年度), 2017-2020

図版出典

- 図1, 図2 法政大学浜田研究室作成：日本の構造家の系譜, 我が国の近現代建築に関わる構造資料の概要把握調査平成30年度報告書, 国立近現代建築資料館
図3 〈左上〉東京風景, 小川一真出版部, 1911, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/764167/16>
〈左下左〉鉄道院東京改良事務所：東京市街高架鉄道建築概要, 1914, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1914851/19>
〈左下右〉たましん地域文化財団／デジタルアーカイブ, <https://trc-adeac.trc.co.jp/html/Mirador/1392015100/1392015100200010/039-011>
〈右〉東京景色写真版, 江木商店, 1893, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/764109/39>
図4 〈左〉建築雑誌, 1956.12
〈右〉大阪朝日新聞, 1928.3.7(神戸大学経済経営研究所新聞記事文庫), <http://www.lib.kobe-u.ac.jp/sinbun/index.html>
図5 国立科学博物館地震資料室, https://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/namazu/03kanto/03kanto.html
図6 〈左〉建築雑誌, 1970.12
〈右〉内藤多伸：架構建築耐震構造論, 1924, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/979174/169>

- dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/979174/169
図7 〈左〉京都大学：満田衛資委員より提供
〈右〉日本免震構造協会：免震構造入門, オーム社, 1995
図8 〈左〉関根要太郎研究室@はこだて, <https://fkaidofudo.exblog.jp/5909770/>
〈右〉岡隆一：建築物免震構造の研究, 建築雑誌, No.527, pp.1425-1450, 1929.11
図9 〈左上〉製鉄所購買会編：製鉄所写真帖, 1914, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/966058/23>
〈左下〉鉄道院東京改良事務所：東京市街高架鉄道建築概要, 1914, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1914851/14>
〈右上〉製鉄所共済組合購買部：製鉄所写真帖, 1932, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1112164/26>
〈右下〉参議院ウェブサイト, <https://www.sangiin.go.jp/japanese/70/70-3.html>
図10, 図11, 図12 柴田明德：時代で見る耐震工学の今と昔, Source：NTT Facilities Research Institute Inc. <https://www.sein21.jp/TechnicalContents/Shibata/Shibata0104.aspx>
図13 〈左〉日本コンクリート工学会, https://www.jci-net.or.jp/j/jci/voice/voice_list.html
〈右上・右下〉国立科学博物館：日本を変えた千の技術博：竹内徹
図14 〈左〉Blog 荷風!, 2006.4.20, https://www.kajima.co.jp/news/digest/jan_2005/kajimakiko/index-j.html
〈右上〉三井不動産：霞が関ビルディング, 1968, p.60
〈右下〉鹿島守之助：創造の生活, 1968, 口絵
図15 〈左〉中田捷夫氏提供
〈左下〉【ARC STYLE】, http://www.arcstyle.com/nagasaki/407_yumiharidake.html
〈右〉川口衛構造設計事務所, <https://kawa-struc.com/>
図16 〈上・左下〉描画：竹内徹
〈右下〉撮影：竹内徹
図17 描画：竹内徹
図18 新谷真人氏提供
図19 〈左〉画像提供：国立京都国際会館, https://www.ickkyoto.or.jp/planner/users_guide_and_tariff/guide_brochure/
〈右〉シンポジウム 日本の近代建築を支えた構造家達パフレット, 法政大学, 2019.5
図20 新建築, 1970.5
図21 〈左〉撮影：Jordy Meow / CC-BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nakagin.jpg>
〈右上〉磯崎新《空中都市-渋谷計画》CG(制作：芝浦工業大学有志研究室, デジタルハリウッド大学院小倉研究室)：メタポリズムの未来都市展——戦後日本・今甦る復興の夢とビジョン, 2011, <https://www.mori.art.museum/blog/2011/08/4-3.php>
〈右下〉公益社団法人ロングライフビル推進協会(BELCA), <http://www.belca.or.jp/1125.htm>
図22 〈左上・左下〉シンポジウム 日本の近代建築を支え

た構造家達パンフレット, 法政大学, 2019.5

〈中〉撮影: 竹内徹, 松井源吾作品集1955-1988 (構造家松井源吾ウェブサイト), <https://genko-matsui.musalab.co.jp/>

〈右〉撮影: 二川幸夫, 松井源吾作品集1955-1988 (同上)

図23 季刊カラムNo.50, 1974.1

図24 〈左〉季刊カラム, No.59, 1975.12

〈右〉撮影: Okajun / CC-BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo_Shinjuku_Oka2.JPG

図25 〈左〉撮影: Jo / CC-BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Osaka_Tokio_Marine_Nichido_Bldg_20061105-001.jpg

〈右〉撮影: Jun-URA / CC-BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Century_Tower_Juntendo.JPG

図26 〈左上〉撮影: Carpkazu / CC-BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Tokyo_Dome#/media/File:Tokyo_dome.JPG

〈左下〉撮影: 竹内徹

〈右上〉秋田県総合公社ブログ, <https://plaza.rakuten.co.jp/akitasogokosya2/diary/201101250000/>

〈左下〉松田平田設計, <https://www.mhs.co.jp/work/greendome-maebashi/>

図27 〈左・右上〉岡部憲明アーキテクチャーネットワーク, <http://www.archinet.jp/jp/projects/chronological/kia>

〈右下〉幕張メッセウェブサイト, <https://www.m-messe.co.jp/organizers/layout/layout#layoutPhoto>

図28 〈左・中〉日経アーキテクチュア, 1993.12

〈右〉撮影: Kakidai / CC-BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo_International_Forum_Glass_Building_3.jpg

図29 〈左上・左下・右下〉撮影: 竹内徹

〈右上〉播繁氏提供

図30, 図31 国立近現代建築資料館: 我が国の近現代建築に関わる構造資料の概要把握調査平成29年度報告書, 2017

図32 〈上〉シンポジウム 日本の近代建築を支えた構造家達パンフレット, 法政大学, 2019.5

〈中・下〉会場撮影: 桐原武志

※以上、ウェブサイトについてはすべて2021年7月26日最終閲覧

(2021年5月5日原稿受理)