

日本大学生産工学部図書館の構造性能に関する研究

— 空中架構方式の栃木県庁議会棟との比較 —

日大生産工(院) ○戸梶 剛志 日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

「日本大学生産工学部図書館」(以下「図書館」)は、設計:大高正人、構造:木村俊彦の協働作品で、躯体にプレストレストコンクリート(Prestressed Concrete:以下PC)を使用した先駆的で突出した事例と考える。昨年にはドコモモ(DOCOMOMO=Documentation and Conservation of buildings, sites and neighborhoods of the Modern Movement)と呼ばれるモダン・ムーブメントにかかわる建物と環境形成の記録調査および保存のための国際組織が選定する建築物に追加されるなど、この図書館の歴史的価値は非常に高まってきている。

この建物は中央棟、書庫棟、閲覧室棟の三つの棟で構成されており、これらの棟はそれぞれ特徴的な構法が採用されている。中でも左右に位置する閲覧室棟は二組のSRC造大架構とPC部材により構成された「空中架構方式」と呼ばれる独特な構造形式が採用されている。空中架構方式とは、2階部分の高さを有する大架構に3階部分の柱・梁部材を載せ、2階部分の柱・梁部材を吊り下げる方式であり、この図書館の代表的な構法となっている。またこの空中架構方式は、すでに取り壊されてしまったが、図書館が建設される以前に竣工した「栃木県庁議会棟」¹⁾(以下「議会棟」)に採用されたのが最初であり、架構形式が図書館と異なっている。

そこで本研究では、閲覧室棟の構造的特徴を述べたうえで、構造解析プログラムによって図書館と議会棟それぞれのモデル化を行い、空中架構方式としたこの建物の構造性能を議会棟と比較しながら、構造解析により検証する。

2. 建物概要

図1に図書館外観、表1に建物概要を示す。日本大学生産工学部津田沼キャンパスの南西に位置する図書館は、1998年に一部が耐震補強されながら現在も利用されている。図2に図書



図1 図書館外観

表1 建物概要

竣工	昭和48年(1973年)
用途	図書館
構造	RC造、SRC造、PC造
階層	地下1階、地上8階、塔屋2階
建築面積	1711.39m ²
延床面積	5181.68m ²

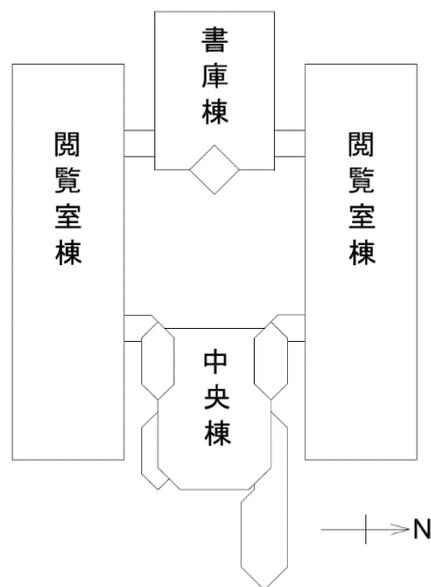


図2 配置図

Study on the Structural Performance of the Library of the College of Industrial Science and Engineering, Nihon University
 — Comparison with the Tochigi Prefectural Government Assembly Building with Aerial Frame System —

Tsuyoshi TOKAJI and Toshiaki FUJIMOTO

館全体の位置関係を表す配置図を示す。中2階に受付がある中央棟を中心として、その後方に8階建て高さ31mの書庫棟が、両脇に3階建て高さ13mの閲覧室棟が位置している。閲覧形式は、自由開架式による完全なデパートメント方式で計画されている。

また設計者の大高正人は自身の建築思想に「PAU」という概念を掲げている。これは建築材料を工業化するための開発である「Prefabrication」、建築にアートを取り入れた「Art&Architecture」、そして都市計画の「Urbanism」の三つの頭文字をとったものである。図書館にもこの思想が取り入れられており、様々な箇所にその特徴が見受けられる。

中央棟の両脇に位置する閲覧室棟は二組のSRC造大架構にPC部材を吊り下げた空中架構方式が採用されている。この空中架構方式は、1章でも述べたが、すでに取り壊されてしまったが、図書館が建設される以前に竣工した「栃木県庁議会棟」に採用されたのが最初である。この建物では、図3(a)の議会棟の空中架構方式軸組図に示すように2階部分の柱と梁を完全に吊り下げた左右対称形の架構形式となっており、1階部分はピロティーとして開放させている。一方で図書館は図3(b)の図書館の空中架構方式軸組図に示すように、1階の柱PC1を架け替えて配置した架構形式となっている。PC1を架け替えて配置した理由として、閲覧スペースの確保と併せて中央棟と一体となった連続のある大空間を作り出すためであると考えられる。また議会棟よりも複雑な架構形式であることから、この空中架構方式の検証としての意味も込められている。施工順序としてはまず片側に1階の柱PC1を立ち上げ、2階の梁PG2を結ぶ。さらに2階の柱PC2を反対側に配置し、1、2階部分を形成する。次に3階の梁PG3を大架構に架け渡し、PC2と繋ぐ。PG3から3階の柱PC3を立ち上げ、PGRを結ぶことによって3階部分を形成し、この空中架構方式を完成させている。この架構を2.7m間隔で配置することにより閲覧室棟を形作っている。これらはすべてプレキャスト部材である。PC部材へのプレストレスの導入はポストテンション方式が採用されており、主筋として柱にはPC鋼棒Ⅲ種、梁にはPC鋼棒Ⅲ種と7本よりストランドが、補助筋にSR24が使用されている。またコンクリートの設計基準強度は $F_c = 450\text{kg} / \text{cm}^2$ が用いられている。

また空中架構方式を構成している大架構は、SRC造の高さ11.1m、横幅40.5m、1層3スパンの両端5.4mの片持ち梁を有した架構となっ

ている。図4に大架構の桁行方向軸組図を示す。柱脚部分は3スパンを地中梁で繋がれている。柱は十字形断面であり、柱脚から柱頭にかけて柱幅が縮小していく形状となっている。すべての柱および梁には、鉄骨部材として山形鋼(L-130×130×12)が挿入されており、これらを帯板で繋ぐ形式となっている。鋼材はSS41が使用され、鉄筋にはSD30の異形棒鋼と、SR24の丸鋼が使用されており、コンクリートの設計基準強度は $F_c = 210\text{kg} / \text{cm}^2$ が用いられている^{2)~4)}。

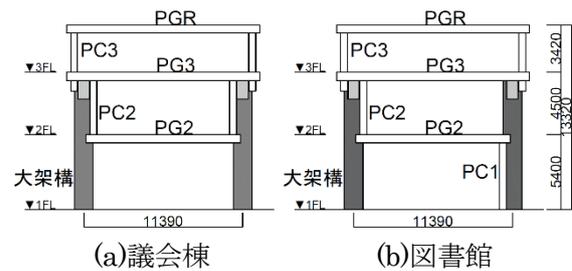


図3 空中架構方式軸組図

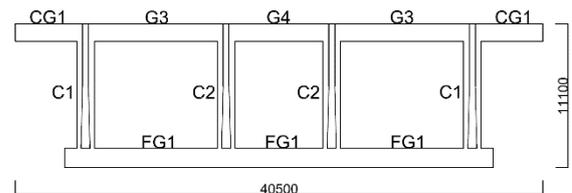


図4 大架構桁行方向軸組図

3. 当時の計算手法

構造設計を担当した木村俊彦構造設計事務所の構造計算資料⁵⁾を閲覧することができたため、当時の計算手法を調査した。当時計算は手計算で行われており、空中架構方式に関しては鉛直荷重時、水平荷重時ともにたわみ角法が用いられていた。鉛直荷重時は空中架構方式を3階部分と1、2階部分の二つの架構に分けて応力計算が行われていた。そして最後に求めた応力を足し合わせて、断面計算がされている。水平荷重は水平震度 $K = 0.2$ として計算が進められていることが確認できた。一方SRC造の大架構は、鉛直荷重時は固定モーメント法を、水平荷重時はD値法を用いられていることが確認できた。

4. 解析モデル概要

構造解析にはユニオンシステム株式会社の一貫構造計算プログラム「Super Build/SS7」⁶⁾を使用し、当時の設計資料^{7)~8)}を基に閲覧室棟のみを対象とした3Dモデルを作成した。図書館は先ほど述べた十字型の柱や、PC部材も

特殊な形状の断面を採用していることからそのまま入力できないため、このような部材は等価な断面二次モーメントとなる断面として入力した。またSRC部材の鉄骨は山形鋼が使われているが応力解析上は無視した。接合部は剛接合、柱脚は固定とした。大架構とPC部材の載荷部分に関しては、大架構の上端を3FLとして設定し、PG3の押さえ位置を下面としてモデル化した。またこの時点で弾性解析を行い、計算結果から選定読込された鉄筋数を入力した。議会棟についても架構形式以外は同じ条件でモデル化した。

これらのモデルを用いて、立体フレーム動的弾塑性応答解析ソフトウェア「SS21 / 3D・Dynamic PRO」⁹⁾による解析を行った。また耐力計算を行わないとこのソフトウェアでの解析が出来ないため、鉄筋数入力後に耐力計算をした結果を用いた。なお事前に行った固有値解析より、モデルの一次固有周期は、図書館が $T=0.537s$ 、議会棟が $T=0.490s$ であったため、この値を用いて弾性応答解析を行った。そして、減衰定数は $h=3\%$ とした。使用した地震動の加

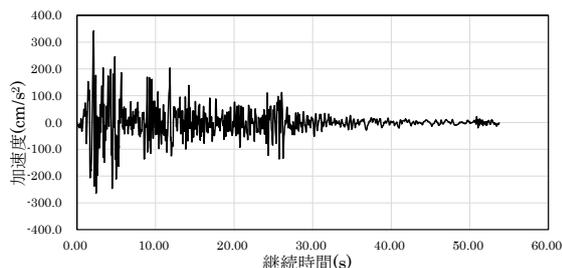


図5 El-Centro NS波

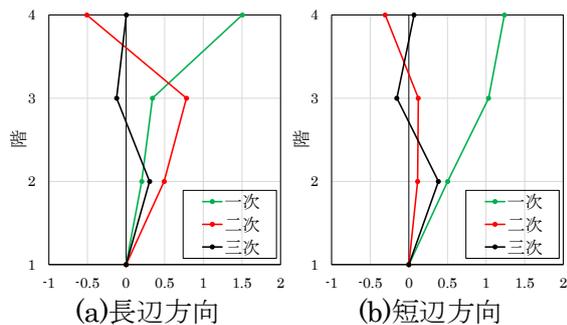


図6 議会棟の固有モード

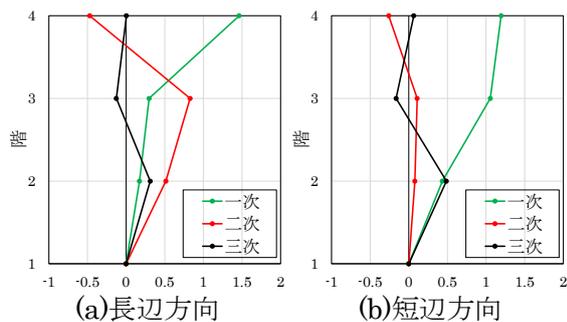


図7 図書館の固有モード

速度波形は、一般社団法人建築性能基準推進協会¹⁰⁾からダウンロードした観測地震波のEl-Centro NS波を使用し、建物の長辺方向、短辺方向それぞれに作用させた。図5にこの地震波の加速度波形を示す。

5. 解析結果

まず応答解析結果の前に固有値解析の結果を記す。表2に各次の固有周期、図6(a), (b)に長辺方向と短辺方向の議会棟の固有モード、そして図7(a), (b)に長辺方向と短辺方向の図書館の固有モードを示す。議会棟と図書館の長辺方向と短辺方向とともに固有モードの違いは見られなかった。

図8(a), (b)に長辺方向と短辺方向の最大変位を示す。長辺方向では図書館と議会棟で差は見られないが、どちらも4Fで変位が大きくなっている。また短辺方向では3Fと4Fで議会棟よりも図書館の方が変位が大きくなっている。

図9(a), (b)に長辺方向と短辺方向の最大速度を示す。最大変位と同じように長辺方向では図書館と議会棟で差は見られないが、4Fで速度が大きく増加している。また短辺方向では3Fと4Fで議会棟よりも図書館の方が速度が大きくなっている。

表2 固有周期

	固有周期(s)		
	一次	二次	三次
議会棟	0.49	0.141	0.064
図書館	0.537	0.145	0.066

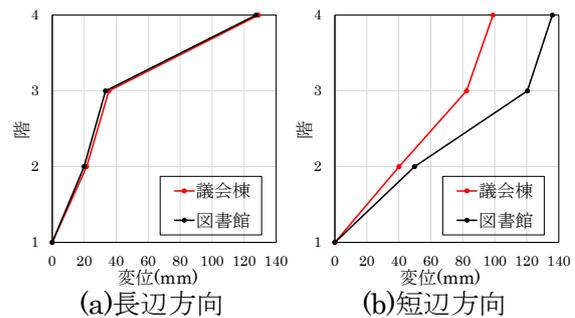


図8 最大変位

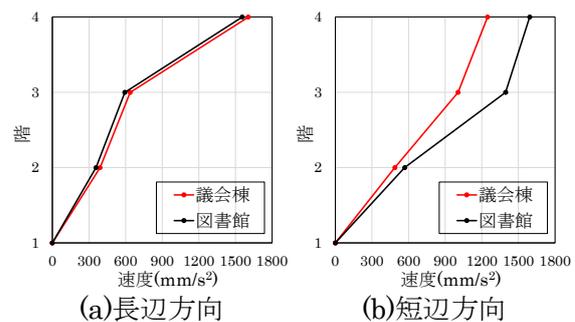


図9 最大速度

図10(a), (b)に長辺方向と短辺方向の最大絶対加速度を示す。最大変位, 最大速度と同じように加速度も長辺方向では図書館と議会棟で差は見られないが, どちらも4Fで加速度が大きく増加している。また短辺方向では3Fで議会棟よりも図書館の方が加速度が大きくなっている。

このように最大変位, 最大速度, そして最大絶対加速度において長辺方向, 短辺方向どちらも同様な結果となった。長辺方向に関しては, どれも4Fで議会棟と図書館のどちらも値が大きくなったが, これは最上部の層が大架構に載荷されている部分であり, 他の層よりも剛性が低いため, より水平力を受けやすいと考えられる。また短辺方向に関しては, どれも3Fで図書館の方が値が大きくなったことから架構形式の違いによる影響と考えられる。だが議会棟は完全に吊り下げた架構であるが, 図書館は片側が1Fで接合されていることから, この架構の方が剛性が高く今回の結果とは真逆となると推察したが, 実際の結果としては図書館の架構がより影響を受けやすいことが分かった。

図11(a), (b)に長辺方向と短辺方向の最大層せん断力係数を示す。長辺方向では議会棟と図書館ともにほぼ同様な結果となった。対して短辺方向では全体的に図書館の方が大きな値となった。このことから図書館の方が短辺方向では架構方式の違いによってより水平力を受けやすい建物であると考えられる¹¹⁾。

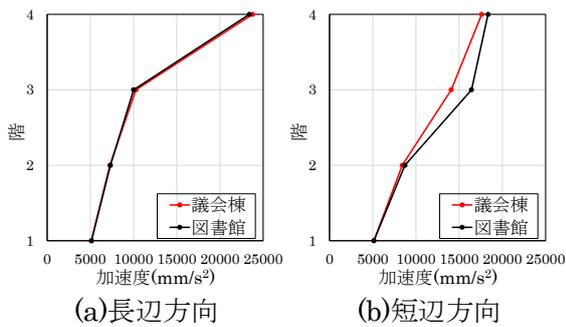


図 10 最大絶対加速度

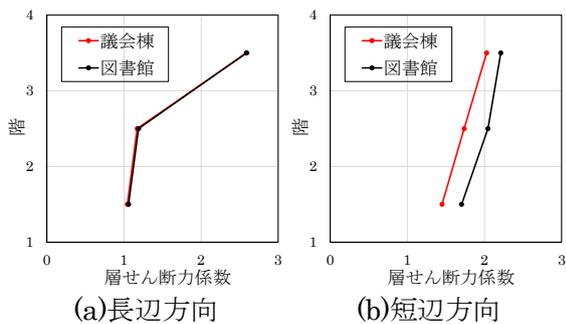


図 11 最大層せん断力係数

6. まとめ

日本大学生産工学部図書館は大高正人と木村俊彦の設計による非常に興味深い建物である。中央棟や書庫棟, そして空中架構方式を採用した閲覧室棟など特殊な構法を用いており, それが現在再評価され, ドコモ選定建築物に追加されたものと考えられる。特に空中架構方式が採用された現存する唯一の建物であり, 当時の構造計算資料が残っていることからとても貴重なものである。

本研究では, 空中架構方式を採用した栃木県庁議会棟と比較しながら, 固有値解析そして弾性範囲内での地震応答解析に取り組んだ。固有値解析において固有モードに二つの建物で変化はなかった。応答解析結果として, まず図書館の長辺方向に関しては, 大架構に載荷された架構を等間隔で配置しており, この層の剛性が低く, より水平力の影響を受けやすいことが分かった。また短辺方向では層せん断力係数より全体的に議会棟よりも水平力を受けやすい建物であることも確認できた。さらに最大変位や最大速度, そして最大絶対加速度が3F部分で図書館の方が大きくなったが, 架構形式として図書館の架構の方が剛性が高く, 議会棟の架構の方がより影響を受けやすいのではないかと推察とは真逆の結果となった。今回使用した地震波は比較的大規模なものであるため, 今後は中規模の地震波を用いて解析を行い, この推察結果が妥当であるかの検証を行ってきたい。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャ: 昭和モダン建築巡礼, 2007, pp38-41.
- 2) 箕原敬, 松隈洋: 建築家 大高正人の仕事, エクスナレッジ, 2014.
- 3) 高田勲: 新建築 1974年3月号, 新建築社, 1973, pp.243-250.
- 4) 木島昇: 建築文化 1974年3月号, 彰国社, 1973, pp75-98.
- 5) 木村俊彦構造設計事務所: 日本大学生産工学部図書館新築工事構造計算書, 1972.
- 6) ユニオンシステム株式会社: 一貫構造計算ソフトウェア「Super Build/SS7」, (参照 2023-10-5).
- 7) 株式会社大高建築設計事務所: 日本大学生産工学部図書館新築工事図面, 1972.
- 8) 株式会社石本建築事務所: 日本大学生産工学部 16号館耐震補強工事図面, 1998.
- 9) ユニオンシステム株式会社: 立体フレーム動的弾塑性応答解析ソフトウェア「SS21/3D・Dynamic PRO」(参照 2023-10-5).
- 10) 一般社団法人建築性能基準推進協会: 代表的な観測地震波, (参照 2023-10-5).
- 11) 日本建築学会: 地盤振動と強震動予測, 2016.