

(33) 日本大学生産工学部図書館の 構造性能に関する研究

-空中架構方式の構造解析-

戸梶 剛志¹・藤本 利昭²

¹正会員 日本大学大学院生産工学研究科 建築工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1丁目2-1)
E-mail:cits22003@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学生産工学部建築工学科 教授・博士(工学) (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1丁目2-1)
E-mail:fujimoto.toshiaki@nihon-u.ac.jp

「日本大学生産工学部図書館」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。この建物は中央棟，閲覧室棟，書庫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大架構で構成された PC 部材による空中架構方式が採用されている。空中架構方式とは，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。そこで本研究では，構造解析プログラムを用いて閲覧室棟をモデル化し構造解析を行ったうえで，閲覧室棟の構造性能を検証する。

Key Words: *masato otaka, toshihiko kimura, prestressed concrete, aerial frame system, structural analysis*

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。

そこで本研究では，三つの棟の構造的特徴を述べ，空中架構方式とした閲覧室棟の構造性能を構造解析プログ

ラムを用いた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，様々な箇所にもその特徴が見受けられる。



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

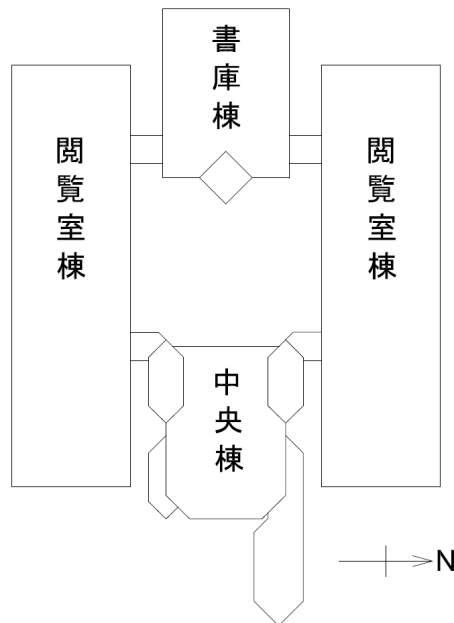


図-2 配置図

(1) 閲覧室棟

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、すでに取り壊されてしまっていたが、図書館が建設される以前に竣工した「栃木県庁議会棟」(以下「議会棟」)に採用されたのが最初である。この建物では、図-3 の議会棟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-4 の図書館

空中架構方式梁間方向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 $F_c=450\text{kg/cm}^2$ が用いられている。

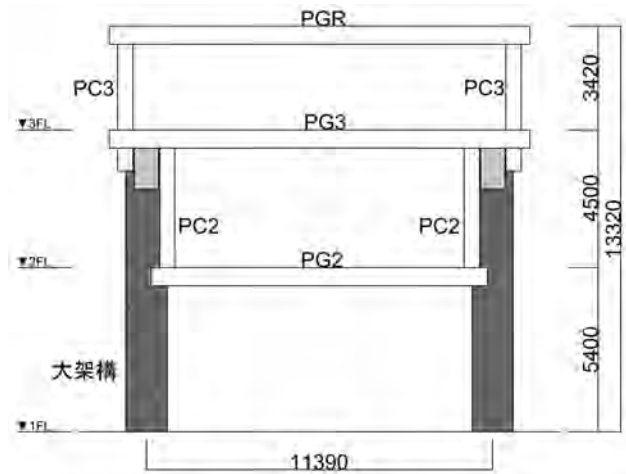


図-3 議会棟空中架構方式軸組図

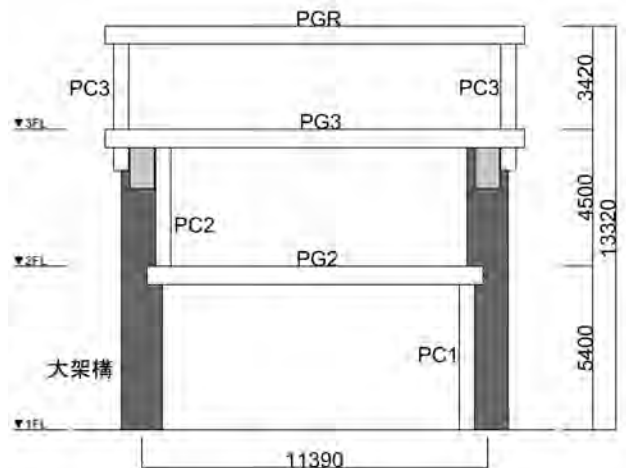


図-4 図書館空中架構方式梁間方向軸組図

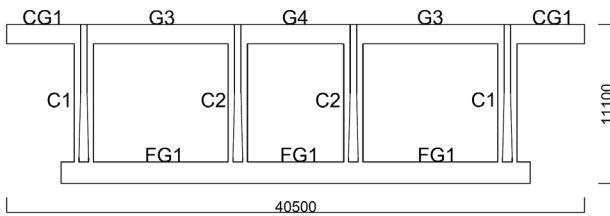


図-5 大架構桁行方向軸組図

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-5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 $F_c=210\text{kg/cm}^2$ が用いられている。

(2) 中央棟

図書館の中心にある中央棟は、ラウンジとメインフロアにより構成されている。利用者の導線はスロープからラウンジを経て中2階の受付があるメインフロアへと繋がっている。このラウンジとメインフロアの天井にはジョイストスラブが採用されている。ジョイストスラブとは梁を狭い間隔で敷き並べたものであり、これによって両脇の閲覧室棟と一体となり、柱のない大空間を作り出している。図-6にPC梁断面図、図-7にジョイストスラブ詳細図を示す。このジョイストスラブは、現場のプラントで製作されたT型断面のPC部材であり、PGと同じようにPC鋼棒Ⅲ種とさらに7本よりストランドを用い、プレストレスが導入されている。それぞれのPC梁は格子状に配筋されたジグザグ筋をアンカープレートで繋ぎ合わせることで接合し、一体化を図っている。

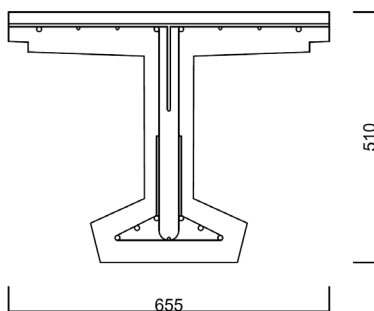


図-6 PC梁断面図

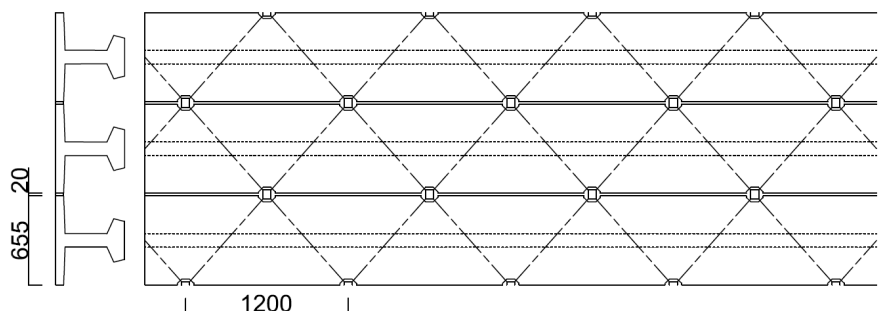


図-7 ジョイストスラブ詳細図

(3) 書庫棟

中央棟の後方に位置する書庫棟は、2階建ての塔屋をもった地下1階、地上8階建ての建物である。地下1階から地上3階まではSRC造、地上4階からはRC造となっている。1998年に耐震補強工事が行われ、1階から3階までにかけて鉄骨ブレースが設置された。3階から上は書庫となっており、奇数階のみに梁を配置し、偶数階にはスラブのみを配置した特徴的な構造となっており、偶数階はスラブのみで書物の荷重を支える形となっている。

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²⁾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値法が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」³⁾を使用し、当時の設計資料⁴⁾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。今

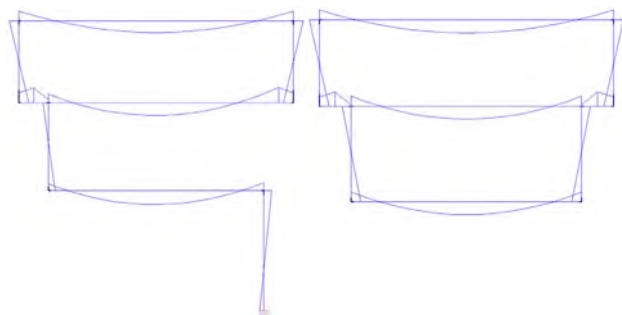
回の解析では応力状態の把握が目的のため、鉄筋は考慮していない。接合部は剛接合、柱脚は固定とした。大架構と PC 部材の載荷部分に関しては、大架構の上端を 3FL として設定し、PG3 の押さえ位置を下面としてモデル化した。

5. 解析結果

2 章 (1) でも述べた通り、議会棟は同様に空中架構方式が採用されていることから、解析に際しては議会棟のモデルも併せて作成し、閲覧室棟との応力状態の差異を確認した。この時、架構形式以外の条件は同じとした。

(1) 鉛直荷重時

図-8 (a), (b) に閲覧室棟と議会棟の曲げモーメント分布、表-2、表-3 に鉛直荷重時の梁と柱のモーメント値を示す。表-3 の LR は左右の柱を表している。表の右側の数値はそれぞれ閲覧室棟の値を議会棟の値で除したものである。またそれぞれ架構条件が同じものを比較している。鉛直荷重時、モーメント値には差異が見られたが、曲げモーメント分布は架構形式を変えたことによる変化は見受けられなかった。表-2 より梁の曲げモー



(a) 閲覧室棟 (b) 議会棟
図-8 曲げモーメント分布 (鉛直)

表-2 梁のモーメント値 (鉛直)

部材	閲覧室棟(kNm)			議会棟(kNm)			閲覧室棟/議会棟		
	左端	中央	右端	左端	中央	右端	左端	中央	右端
PGR	145.1	181.4	146.9	142.9	184.5	142.9	1.02	0.98	1.03
PG3	128.6	193.9	149	149	180.2	149	0.86	1.08	0.86
PG2	99	215.4	117.6	138.5	185.3	138.5	0.71	1.16	0.85

表-3 柱のモーメント値 (鉛直)

部材	閲覧室棟(kNm)		議会棟(kNm)		閲覧室棟/議会棟	
	柱頭	柱脚	柱頭	柱脚	柱頭	柱脚
LPC3	145.1	151.3	142.9	135.6	1.02	1.12
RPC3	146.9	149.7	142.9	135.6	1.03	1.10
LPC2	84.2	99	123.3	138.5	0.68	0.71

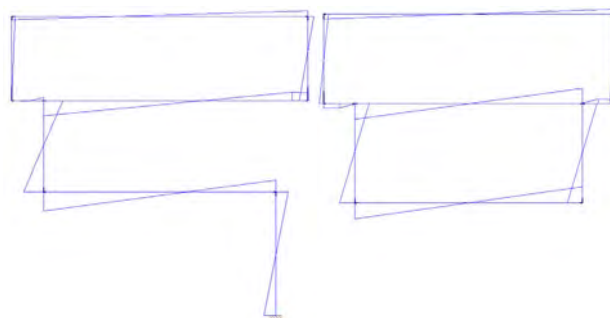
ントについて比較してみると、PGR はほぼ同様であるが、PG3, PG2 では差が大きくなっている。このことより架構形式の違いによってモーメント値に変化が生じたことが分かり、これは架構形式の違いによる架構の固定度の差によるものと考えられる。表-3 より柱の曲げモーメントは LPC3, RPC3 は近い値を示したが、LPC2 では差が大きくなっており、値は議会棟の方が大きかった。

(2) 水平荷重時

水平荷重時はプログラムによって算定した地震力を用いた。この時、地域係数は $Z=1.0$ 、地盤種別は第 2 種地盤とし、標準せん断力係数は $C_0=0.2$ とした。また固有周期は略算式である $T=0.02H=0.264$ (s) を用いて、振動特性係数は $R_f=1.0$ とした。表-4 に閲覧室棟と議会棟の地震力の一覧を示す。閲覧室棟、議会棟どちらもほぼ同様の結果であった。また地震力は閲覧室棟と議会棟ともに 3 階が一番大きくなっていることが分かる。これは 3 階部分から部材を吊り下げていることにより、PG3 が下部の重量を負担しているためであると考えられる。図-9 (a), (b) に閲覧室棟と議会棟の曲げモーメント分布、表-5、表-6 に鉛直荷重時の梁と柱のモーメント値を示す。水平荷重時、鉛直荷重時と同じようにモーメント値には差異が見られたが、曲げモーメント分布は架構形式を変えたことによる大きな変化は見受けられなかった。RPC3 では閲覧室棟の値が大きくなったが、LPC3 では議会棟の値が大きくなった。対して LPC2 では閲覧室棟の値が大きくなった。PG2 では左端部は閲覧室棟が、右端部では議会棟がそれぞれ大きくなった。

表-4 地震力

	階	wi (kN)	Σwi (kN)	ai	Ai	Ci	Qi (kN)	Pi (kN)
閲覧室棟	RF	3245.4	3245.4	0.211	1.581	0.316	1025.9	1025.9
	3F	7345.8	10591.1	0.687	1.154	0.23	2443.2	1417.4
	2F	4840.2	15431.3	1	1	0.2	3086.3	643.1
議会棟	RF	3245.4	3245.4	0.209	1.585	0.316	1028.4	1028.4
	3F	7508.4	10753.8	0.69	1.152	0.23	2476.5	1448.2
	2F	4833.2	15586.9	1	1	0.2	3117.4	640.9



(a) 閲覧室棟 (b) 議会棟
図-9 曲げモーメント分布 (水平)

表-5 梁のモーメント値 (水平)

部材	閲覧室棟 (kNm)		議会棟 (kNm)		閲覧室棟/議会棟	
	左端	右端	左端	右端	左端	右端
PGR	48.1	79.7	67.8	67.8	0.71	1.18
PG3	226.8		213.6		1.06	
PG2	285.9	175.1	222.3	222.3	1.29	0.79

表-6 柱のモーメント値 (水平)

部材	閲覧室棟 (kNm)		議会棟 (kNm)		閲覧室棟/議会棟	
	柱頭	柱脚	柱頭	柱脚	柱頭	柱脚
LPC3	48.1	3.1	67.8	59.7	0.71	0.05
RPC3	79.7	119.9	67.8	59.7	1.18	2.01
LPC2	271.4	285.9	206.7	222.3	1.31	1.29

表-7 に閲覧室棟と議会棟の各階の最大層間変形角を示す。現在の設計基準における層間変形角の制限値 $\delta/h \leq 1/200$ (h : 階高) はすべてで満たしていることが確認できた。そして3階では議会棟の方が大きくなったが、2階では閲覧室棟の方が大きくなった。

表-7 層間変形角

階	閲覧室棟	議会棟
3F	1/1130	1/1024
2F	1/397	1/573
1F	1/663	

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。ジョイストスラブを用いた中央棟、梁を奇数階のみに配置した書庫棟、そ

して空中架構方式を採用した閲覧室棟などそれぞれ特殊な構法を用いており、それが現在再評価され、ドコモ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も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、構造解析に取り組んだ。架構形式の違いによってモーメント値に変化が生じたのは、架構の固定度の違いによるものと推察するが、これはやはり議会棟の架構は吊り下げた部材も左右対称であるのに対し、左右非対称である図書館は、部材端部の固定度による影響が生じやすいと考えられる。図書館の架構形式を議会棟から変更したことは、中央棟と一体となった大空間を作り出すという側面もあるが、大高と木村は議会棟よりも不安定な架構であっても、空中架構方式というものが成立するかどうかを自分たちへの挑戦的な意味合いも込めてこの架構形式を採用するに至ったのではないかと考えられるのではないかと。今後はさらに比較項目を増やし、この日本大学生産工学部図書館の設計思想を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャ：昭和モダン建築巡礼, pp38-41, 2007.
- 2) 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.
- 3) 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 2023-8-10).
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 箕原敬, 松隈洋：建築家 大高正人の仕事, エクスナレッジ, 2014.
- 7) 高田勲：新建築 1974年3月号, 新建築社, pp.243-250, 1973.

(Received August 25, 2023)

NIHON UNIVERSITY COLLEGE OF INDUSTRIAL ENGINEERING LIBRARY RESEARCH ON STRUCTURAL PERFORMANCE -STRUCTURAL ANALYSIS OF AERIAL FRAME SYSTEMS-

Tsuyoshi TOKAJI and Toshiaki FUJIMOTO

The “Nihon University College of Industrial Engineering Library,” a collaborative work by Masato Otaka (design) and Toshihiko Kimura (structure), is a pioneering and outstanding example of the use of prestressed concrete in a building frame. The reading-room wing of this building is based on an aerial frame system, in which a large frame supports the columns and beams of the third floor and the columns and beams of the second floor are suspended from the frame. In this study, the reading-room building is modeled using a structural analysis program and its structural performance is also verified using the structural analysis.