

RD「構造論争」・再考 — 構造設計者から — VOL.2

金田 勝徳 (構造家・株式会社 構造計画プラス・ワン 会長)

◆内藤多伸グループによる振動実験*9)

前回記述した坪井、竹山とワイドリンガーとの誌上論争は、多くの点で議論がかみ合わないまま終始したように感じられる。そのなかで、わずかに議論がかみ合った論点の一つは、RDビルの固有振動周期に関する見解の違いであろう。

坪井と竹山は、そろってRDビルの振動周期が2階建RC構造にしては長周期であり、水平剛性が低すぎて耐震性に問題があると主張している。それに対して、ワイドリンガーはRDビルの固有周期を通常と同規模の構造と同じ程度の周期であると真向から反論して、RDビルの耐震性を巡る重要な論点となっている。

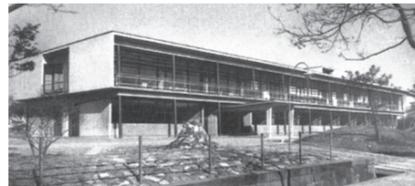
そこで内藤多伸を中心とした当時の早稲田大学内藤研究室が、RDビルの固有周期を確認するために実施した振動実験結果を、坪井たちの再批判が載った3カ月後の「建築雑誌」に発表した。実験では、起振機によって建物に発生させた微振動の加速度応答波形の解析と、振動方程式等による数値解析結果から固有周期を求めている*9)。

実験結果では、建物長辺方向(桁行方向)の固有周期が0.183secで、問題の短辺方向(梁間方向)はそれより短い0.12secとなり、この値は数値解析結果ともよく一致していると報告されている。発表論文は翻訳による誤解を防ぐため英文で執筆され、当時の「建築雑誌」としては珍しく英文のまま掲載されている。

内藤はこの結果から、RDビルが通常のRC造2階建ての固有周期に比べても明らかに短く、見た目より短周期であると結論づけている。その要因は、(当時としては)高強度コンクリートの使用と細い鋼管柱の採用に加えて、重量の重いRC壁をほとんど用いず、建物自重が通常のRC造に比べて極端に軽量化(extremely light)されていることにあると考察している。あわせて実験結果により、短辺方向の減衰比が1.7:1と大きな数値が確認されたとして“This suggest that the building may be kept safe even though it were shaken severely at time of the earthquake”と結論づけた。この実験報告の後に続く関連論文の発表がなく、一連の論争は実質的にこの論文発表を機に終止符が打たれた。

◆施工者からの報告*10)

RDビルは50年5月着工から丁度1年後の1951年4月に竣工している。現在なら地下1階、地上2階建、延床面積



リーダーズ・ダイジェスト東京支社 南面全景
(出典:『A・レーモンドの建築詳細』三沢浩 著/彰国社/2005年)

1,200坪の規模であれば、この工期1年はそれほど短工期ではないかも知れない。

しかし工事責任者だった竹中工務店の池田未造は、RDビルの施工記録に、「(当時は)戦中戦後を通して、優秀なる技術者及び労務者の減少」がはなはだしく、「高度な建築の施工は望み得なかった」と記述している。その上に、構造方式は「全く(経験のない)新方式」であり、施工に際しては「設計者から『精密機械を造るような構想のもとに施工せよ』との指示」を受けて、「工事の進捗と共に益々施工上の困難をきたした」と語っている。その苦労は、RC梁先端の鋼製柱との接合部のディテールを見ても窺い知ることができる(図5)。

この部分は、ワイドリンガーによれば「鋼管柱をより細くするための工夫」であり、そのために「2階柱の荷重が2階床の梁に伝わらないで、棒鋼によって1階柱に直接伝わる」ことを意図したディテールであったという。この設計意図を実現するために、2階の鋼管柱を支持する棒鋼(径42mmφ)が2階床のRC梁に触れることなく、RC梁に打ち込まれたガス管(外径44.5mmφ)の中に挿入されている。その上で、双方の間に潤滑油を注入して、2階梁下端と1階鋼管柱上部との間に設けた隙間(25mm)には、「極めて調合の悪いモルタルを充填している」とのことである。

コンクリート強度は $F_c=180\text{kg/cm}^2$ 程度が一般的であった時代に、骨材、セメントなどの選択と調合方法の繰り返し実験により、試験室での圧縮試験結果ではあるが、材齢一週強度で $F_c=300\text{kg/cm}^2$ を超える強度を得ている。さらに型枠は「コンクリートの見え掛面は内外問わず打ち放し」と指定された上に、曲面型枠が多用され、床面は勾配付きのジョイントスラブなど、「内外部とも非常に施工困難」な設計であったという。記録に残る「高強度」コンクリートの現場練りの苦労と、パイプレーターと木槌を併用した「極めて慎重な」施工方法には改めて敬嘆する。

こうした施工上の様々な困難を克服しながらの工期1年は、相当に短工期であったことは想像に難くない。構造設計に「大した意味はない」とする坪井も、これ等の施工上の成果には、「日本国内では初めて実施された打ち放しコンクリートに関しては、コンクリートの素地が正直に表現されていて、構造表現を単純に表していることに極めて賛成」している。さらに日本国内で初めて使用されたと言われるパイプレーターも含めた施工方法に関しても、「コンクリート工事を近代化するため

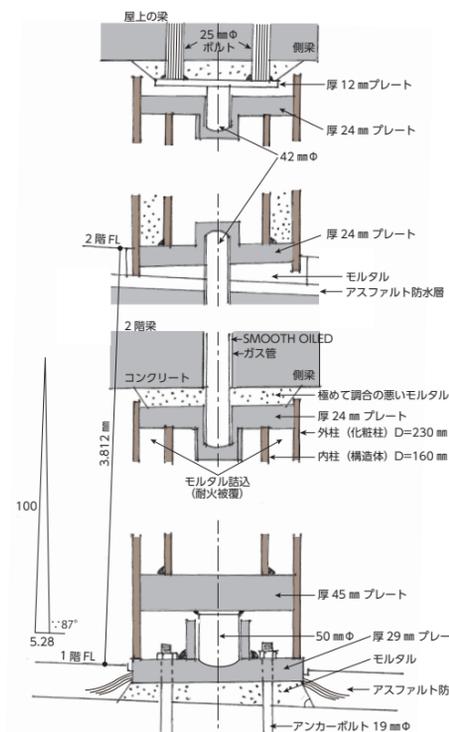


図5 RC梁と鋼管柱接合部詳細

	type-A	type-B	type-C			
解析モデル						
固有周期	1次モード 0.361sec.	1次モード 0.356sec.	1次モード 0.373sec.			
地震応答解析 (El-Centro)	Max Acc (cm/s ²)					
	MaxACC: 503.8	MinAcc: -427.9	MaxACC: 503.1	MinAcc: -428.4	MaxACC: 504.3	MinAcc: -416.7
	速度応答倍率					
	MaxVel: 33.5	MinVel: -74.2	MaxVel: 34.0	MinVel: -73.9	MaxVel: 35.3	MinVel: -75.2
速度応答倍率						
2.215			2.206	2.245		
静的解析水平変位 (C0=0.2)	R階: δ=8.1mm (δ/h=1/934)					
	2階: δ=4.1mm (δ/h=1/930)					
鋼管柱軸力	長期荷重時					
	2階: N=104.8 kN					
	1階: N=219.2 kN					
	水平荷重時					
2階: N=20.4 kN						
1階: N=48.2 kN						
鋼管柱曲げモーメント	長期荷重時					
	2階: M=0 kNm					
	1階: M=0 kNm					
	水平荷重時					
2階: M=1.2 kNm						
1階: M=3.2 kNm						
地上部分面積当たりの重量	R階: W/A = 6.99 kN/m ²					
	2階: W/A = 7.42 kN/m ²					

表1 梁間方向の構造解析結果一覧

にわが国に与える示唆は極めて大きい」と賛辞を惜しまない。加えてアントニン・レーモンドも「日本人の廉直、素晴らしい技術、仕事に対する誇りは、戦争と共に死滅してしまわなかったことを証明するものであった」と讃えている*11)。

現在では当たり前になっているコンクリートの品質管理や、打ち放しコンクリートの施工方法が、それまでに比べて飛躍的に向上したのはRDビルの工事以降とされている。

◆RDビルの構造解析結果

70年前の論争の焦点となった事項について、双方の主張の妥当性を確認するため、論争的になった梁間方向の架構について、静的・動的構造解析を行った。

解析モデルは、先端の鋼管柱と梁をピン接合としたtype-Aと、剛接合としたtype-B、及び、剛接合でかつ鋼管柱を傾けずに鉛直に立てたtype-Cについて解析を行った。なお解析に当たって、床積載荷重は800N/m²(事務室の地震荷重算定用積載荷重)、コンクリートのヤング係数は $2.46 \times 10^4\text{N/mm}^2$ ($F_c=240\text{kg/cm}^2$ と仮定)とした。また解析プログラムはmaidas GEN(MIDAS IT社製)を使用した。

解析の結果を表1に示す。固有周期については竹山の概算(0.6秒)より短く、内藤の実験結果(0.12秒)よりも長い0.36秒前後となった。全く偶然ではあるが、固有周期の解析結果は、竹山の計算結果と実験結果との中間値になった。

周期が竹山の概算より短いのは、内藤の指摘の通り「通常のRC造に比べて極端に軽量化されている」ことによって考えられる。表1に示すように、単位面積当たりの建物自重は7kN/m²程度で、およそ一般的なRC造の1/2.0~

1/2.5程度である。また解析結果が実験結果より長周期となっているのは、実験が微振動実験のため、非構造部材の間仕切壁などが剛性に寄与しているのではないかと考えられる。また梁伏図に書き込まれている平面中央付近の間仕切壁が仮にRC造とすると、固有周期は実験結果に近くなると考えられる。

鋼管柱とRC梁とのピン接合と剛接合の比較については、周期、地震時の応力分布、変形量などに、鋼管柱のサイズに影響を及ぼすほどの違いは見られない。さらに鋼管柱の傾きも、傾きのない鉛直柱とした場合とほとんど差異はない。これらの工夫は、坪井の指摘の通り構造上は「大した意味はない」と言えよう(VOL.1 図1)。

現在の法規準に沿って、ベースシア係数 $C_0=0.2$ として解析を行った結果、層間変形角も、部材応力も法規上は問題のないレベルに収まっている。唯一、柱のせん断補強筋が9φ-@240で頼りないが、この点は当時の一般的なせん断補強の方法でもあった。ちなみに現行法規を当てはめて、柱の設計用せん断力の割り増し係数を2とした場合に必要とされる柱のせん断強度が、僅かながら足りない結果となった。しかし全体的には、現代の耐震設計にも通用するそれなりの耐震性を有していたと考えられ、この点も建物の軽量化が大きく影響しているものと考えられる。

こうした結果も踏まえるなら、坪井が「反駁論への感想」*6)の中で言っている「(RDビルの構造は)構造そのものの特殊性と感じ、これが一般性を持つとは言えない」ので、「日本におけるRDビルに最適であるかどうかは議論しない」との論評が、1950年当時における構造技術発展の途についたばかりの日本の状況を良く言い表しているように思える。



写真1 「集合住宅20K」

写真2 「洗足の連結住棟」外観

写真3 「洗足の連結住棟」内観

◆RDビルと類似した構造形式で今設計した集合住宅

今となつては寡聞を恥じ入るしかないが、筆者自身はこれまでこの論争についての知識はほとんど持ち合わせていなかった。そのため、知らずにRDビルとよく似た構造方式で「集合住宅20K」（2004年5月竣工）^{*11)}と「洗足の連結住棟」（2006年6月竣工、日本建築学会賞受賞）^{*12)}という集合住宅の構造設計に携わっている。意匠設計はいずれも北山恒+architecture WORKSHOPである。

「20K」の構造はRDビルの柱（460mm×1,000mm）の代わりに、厚さ500mm（最下階）～300mm（最上階）×長さ約6,500mmのRC間仕切壁を壁柱としている。壁柱両側の床面については、RDビルでは柱側から先端に向かって約970mm～550mmのテーパを付けた梁を約8.2m延ばしているの対して、「20K」は厚さ420mm～200mmのテーパ付き無梁板を約4.7m跳ね出した5階建の集合住宅である。

建築家北山から示された当初案は、構造要素がこの壁柱とそこからキャンティレバー状に伸ばした無梁板だけの構造だった。しかしそのままでは地震時の揺れ幅や、部材の発生応力が大きくなることから、地震に対する安全性の確保も難しい。また床板の生活振動による振動障害に対する居住性の担保もできないだけでなく、はなはだしく経済性を損なうことが考えられた。

その対案として、クレーン車の両側に転倒防止のために張り出すアウトリガーと同じ効果を得るため、RDビルと同じように床板の先端近くに鋼管柱を立てることとした。このことによって、「20K」の梁間方向はスパン4.7×2=9.4mの無限連続ラーメン構造、桁行方向は独立壁式RC構造となり、鋼管柱のない当初案における懸念事項を解決することが可能となった（図6、写真1）。

「20K」の工事中に、北山氏から「20K」を1ユニットとして、それを連結した集合住宅の計画案の相談を受けた。その基本計画では、各ユニット中央の壁柱が同じ方向でなく、90度回転しながら各ユニットが床板で連結されていて、「洗足の連結住棟」と名付けられていた。

当初北山氏から示された計画案では、各ユニット中央の壁柱のあり方のバランスが良くなかった。それを少し変更して、バランス良く一戸毎に壁柱の方向を90度回転した上で、各

ユニットを剛強な床板で連結して梁間方向、桁行方向共、壁式RC構造とした。こうすることで「20K」と同じ設計コンセプトを、より経済的かつ容易に実現している（図7、写真2、3）。

このように「20K」を連結することで生まれた「洗足」の構造システムは、はからずもRDビルの構造論争で坪井と竹山が主張した、耐震壁を長辺・短辺の両方向に配置する有効性を具現化する設計となった。

◆建築家達が見た「RD構造論争」

RDビルの竣工した1951年当時は、ワイドリンガーが37才、坪井善勝が44才、竹山謙三郎が43才で、3人が共に働き盛りの壮年期であった。さらにこの論争の後も、それぞれ構造設計界に多くの足跡と共に、世にその名を残す建築構造の専門家である。その日米の3人によって繰り広げられた論争は、多くの建築家からも関心と呼ぶこととなった。

ポール・ワイドリンガーからの反論を日本語に翻訳した建築家・野生司義章は、この3人を「正しい良い意味での保守主義を竹山、坪井が代表し、ワイドリンガーが進歩主義を代表している」と位置付け、「進歩主義と保守主義はエンジニアリングの両輪でなければならない」と論じている。野生司はそれでもなお、「日本の構造エンジニアが耐震問題ばかりに気を取られて、一定の型に固まりかけ、立ち遅れているのではないかと疑っている^{*4)}。

この点については、坪井も批判文の中で、「日本の構造設計者が耐震性を強調するあまり、設計そのものを委縮させている傾向が強い」と認めている。

松隈洋（京都工繊大）は、RDビルを「重く不自由で不経済な『耐震構造』の分厚い壁を取り払って建築の自重を軽くし、経済的で透明感のある空間を実現させた建築」として、日本の近代建築の出発点と位置づける。さらに一連の構造論争については、「（RDビルの様な構造を）さらにと現実化してしまったレーモンドと異国の構造家ワイドリンガーに思わず『やっかみ』をばつ付けてみたかったのでは」と推測している^{*13)}。

しかし坪井、竹山が「やっかみ」から、これらの批判を展開しているとは思えない。これまで見てきた二人からの批判は、少々荒っぽい言葉使いが見受けられることはともかくとして、それぞれの立場から真摯に「耐震性が強く求められる日本のあるべ

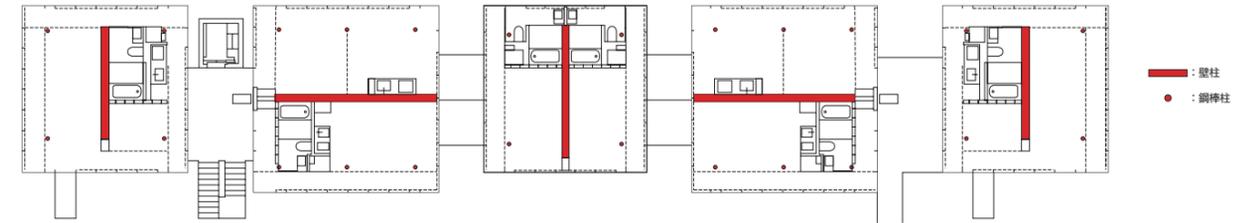


図7-b 洗足の連結住棟 基準階平面図 縮尺1/300

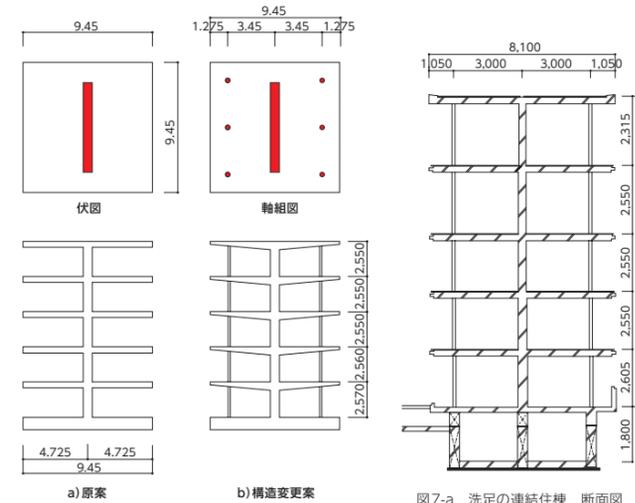


図6 「20K」伏図・軸組図

図7-a 洗足の連結住棟 断面図 縮尺1/300

き建築構造」論を展開している。これらは、敗戦から間もない当時と現在の日米間の格差や、経済情勢の違いによる多少のズレはあるものの、現代にも十分通用する論理と言えよう。

また建築家三沢浩は、RDビルを「日本が初めて見た総ガラス張りの本物の近代建築」としたうえで、その構造を「明るく、軽快で、透明感にあふれ、見ただけでも単純明快で正直な構造」と評価する^{*14)}。

現在、多くの建築の設計コンセプトにもこれらと同じ言葉が当たり前のように言われている。そのさきがけが、RDビルではないか。そして、RDビルの建設を境にして、透明ガラスで囲まれた建築が、それまでの鬱積した閉塞感を一気に解消するかのようにして、日本国内に次々と建設されている。

◆RD論争以降の構造設計界

改めてこれら一連の論争を見直すと、当時の日本の構造研究者や設計者が多くの地震被害体験を通して、いかに耐震壁を重要視していたかを窺い知ることができる。それに比べれば、当時の米国の東海岸地域を主な活動の場としていたワイドリンガーは、地震動による建造物の挙動や、耐震安全性の確保についての関心が薄かったのかも知れない。この論争が多くの点ですれ違った原因は、このことにあったと考えられる。

RDビルが設計された頃の1950年は、日本の建築構造設計にとって大きなターニングポイントであったとしばしば言われる。1950年にそれまでの市街地建築物法に代わる日本初の建築基準法・同施行令が施行された。それに合わせるよう

にして、構造計算が法令で細かく規定されたことをコンピュータで検証する時代に移行し始め、構造設計の大衆化が言われるようになった。

他方、飛躍的な進歩をし続けるコンピュータを味方として、それまで研究レベルの関心事であった骨組の動的地震応答解析や終局強度設計が、実務的な構造設計に活かされる技術となり始めた。また、多くの研究所、大学などに大型実験施設が整備され、強震観測用の地震計も各地に設置され始めたのもこの頃だった。

このように50年代は、戦時中の耐爆設計に代わって、耐震設計に関する研究が一気に加速して活気を呈した時代であった。その成果が60年代の超高層建築時代へとつながり、70年代末期には大型実験施設を利用した日米共同耐震実験研究に発展していった。

1950年から現在までの70年間は、数々の震災経験を目の当たりにしながら、各種の構造技術が発展を遂げ、関連する基・規準も目まぐるしく改正された時代であった。その間にも耐震壁や耐震ブレースは、変わることなくその有効性が言われ、現在もRD構造論争当時にも増して建築の安全性と経済性を高める重要な構造要素と認識されている。そしてこの論争の焦点にもなったラーメン架構と耐震壁やブレースとの合理的な組み合わせが、現代のガラスに囲われた建築デザインを支えるキーポイントにもなっている。（了）

参考文献

- *4) ポール・ワイドリンガー、野生司義章訳「竹山謙三郎、坪井善勝両氏の論文に答えて」建築雑誌 1952年2月号
- *6) 坪井善勝「ワイドリンガー氏の反駁論への感想」同上 1952年5月号
- *9) Tacyu Naito "VIBRATION TEST OF THE READER'S DIJEST BUILDING IN TOKYO" 日本建築学会 建築雑誌 1952年8月号
- *10) 池田未道「リーダーズ・ダイジェスト東京支社建築工事に就いて」建築雑誌 1951年11月号
- *11) 新建築 2005年2月号「集合住宅20K」
- *12) 新建築 2006年6月号「洗足の連結住棟」
- *13) 松隈洋「戦後日本近代建築の出発点」建築文化 1991年1月号
- *14) 三沢浩「アントニン・レーモンドの建築」SD選書 鹿島出版会 2007年10月

執筆者プロフィール

金田 勝徳（かねだ かつのり）
1944年生まれ。1968年日本大学理工学部建築学科卒業。
一級建築士、構造設計一級建築士、JSCA構造士、工学博士（授与校：東北大学）。
1968年(株)石本建築事務所入社、1986年(株)ディー・アイ・エス・エンドパートナーズ 取締役を経て、1988年(株)構造計画プラス・ワン 設立 代表取締役。2017年～同社 会長。
2020年1月～日本構造家倶楽部 会長。
主な受賞として、1993年日本構造技術者協会賞（酒田市国体記念体育館）、2000年第10回松井源吾賞（神原信一氏共同受賞：埼玉県立大学）、2001年住宅建築賞（蜂屋／川村氏共同受賞 東京建築士会主催）、2010年日本建築学会賞（作品）（北山恒氏共同受賞：洗足連結住棟）、2016年日本建築学会作品選奨（北山恒氏共同受賞：祐天寺連結住棟）、2019年日本建築学会作品選奨（宇野亨氏共同受賞：北方町庁舎）などがある。