

シミュレーション “浅草凌雲閣を救え”

中原 光春 (鹿島 小堀研究室)

概要

近年日本各地では釧路沖地震、能登半島沖地震、さらには奥尻島に多大な被害を与えた北海道南西沖地震とあいついだ。また、本年は新潟地震から30周年に、昨年に関東大地震から70周年にあたっていた。一方、防災啓蒙の観点でいうと、災害が繰り返すにもかかわらず、防災意識はその継続が難しいとも言われている。

本論文は、関東では1923年の関東大地震以来、大規模の地震が発生していないことから、どうしても低下しがちな防災意識を、一つの興味ある例題を実施することで、歴史的な関心と現代技術への興味を高め、防災意識の向上をめざすものとして位置付けられる。

とりあげた例題は、明治23年に建設された当時の超高層ビル“浅草凌雲閣”である。この建物は1923年の関東大地震で崩壊した。この崩壊を防ぐため現代技術を70年前にタイムスリップさせ、救済のシミュレーションを実施したものである。その結果現代技術は多くの難問を克服できることが判明した。しかし、著者は地震はあくまで人知を超えたものであり、謙虚に技術の発展を捉え、今後の技術開発の重要性を認識すべきであると主張したい。

なお、本論文は、(財)震災予防協会の発行する「地震工学振興会ニュース」No.136号に掲載されたものである。

ロマン一題 ” 浅草凌雲閣を救え” -70年前への技術のタイムスリップ-

中原 光春*

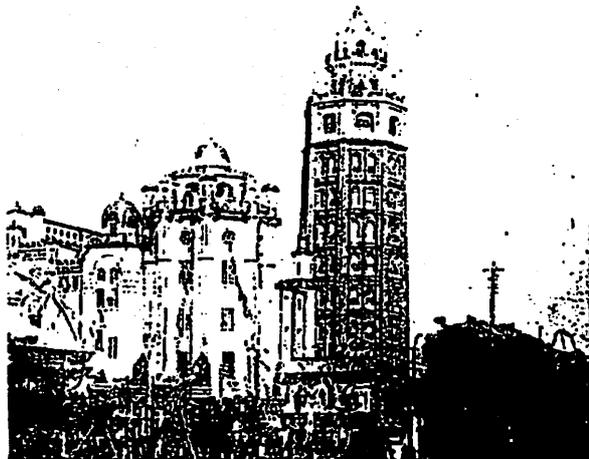
今から70年前の関東大地震において倒壊した建物は多いが、象徴的なものとして浅草凌雲閣があげられよう。一方、建築技術者、研究者にとって、建物は愛着のある我が子のようなものである。それ故建物が破壊した姿を見ると非常な悲しみを覚えるのである。そこで歴史の”if”として、私達が持つ現代の最新技術を70年前にタイムスリップさせ、凌雲閣をなんとかして救おうと考えたのである。ひとつのロマンとしてお読みいただきたいと思う。

1.凌雲閣の歴史

1890年(明治23年)浅草公園内に12階建ての展望塔が竣工した。ウィリアム K. バルトン氏の基本設計によるものである。氏は内務省衛生局に勤める永井久一郎(作家永井荷風の父)の要請によりイギリスから東京帝国大学に招聘された方であり、東京の上下水道、写真学の進歩などは氏の業績でもある。凌雲閣は八角形平面の建物で10階までが煉瓦造、11、12階は木造であった。日本で初めてエレベータを備えた建物であり、”雲の峰、凌雲閣に並びけり(正岡子規)”と詠まれ民衆に親しまれていた。しかし、1923年の関東大地震の際、8階より上部が破断崩壊し、その約3週間後の9月23日に赤羽の工兵隊により爆破処理され、この建物は消滅したのである。

2.凌雲閣の概要

所在地	浅草千束町2丁目3番地(現在 台東区浅草2丁目13、14辺り)
竣工	1890年(明治23年)11月10日(エレベータの日)
建築面積	34坪
軒高	158尺(47.9m)
最高高さ	173尺(52.4m)
主要構造	1-10階煉瓦造、11、12階木造
基礎	煉瓦造布基礎
地盤	松杭の上コンクリート厚2.5尺(76cm) 掘削深さ18尺(5.45m)
支持地盤	沖積層
主要用途	展望台、店舗など
特種設備	ロープ式エレベータ(7馬力の電力は東京電灯会社、現東京電力が配電)
施主	十二階株式会社(発起人福原庄七)
施工者	福原庄七、和泉幸次郎



写1 明治末期の凌雲閣(台東区文化財報告書より)1)

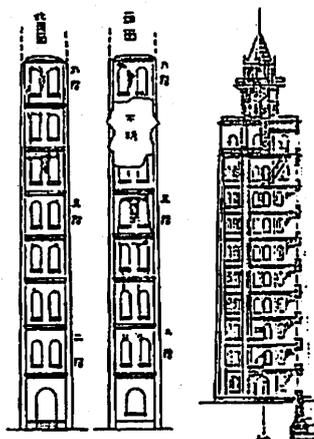
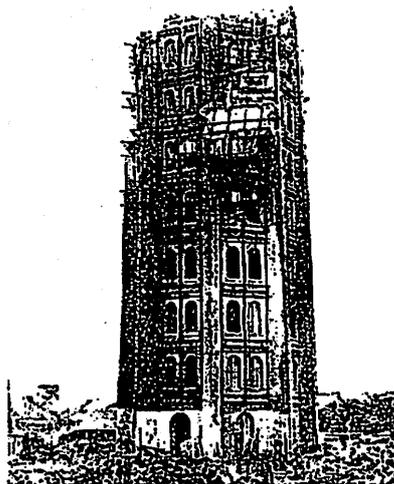


図1 凌雲閣構造図(震災予防調査会100号より)2)



写2 凌雲閣の震害(震災予防調査会100号より)2)

* 鹿島小堀研究室 企画管理部 工博

3. 凌雲閣はなぜ、どのように壊れたのか？

凌雲閣の崩壊時の様子を示す文献は少ない。吉村昭著の「関東大震災」によれば、「地震時に展望台（10階か？）に12、13人が居たらしい。また8階より上部が折れるようにたおれたのを、地上の人（小櫃政男）が見ている。一方、この時転落した人達のうち1名は無事であった。補助足袋の大看板に奇跡的にひっかかったのである。」という内容が記されている。

さて、崩壊をできるかぎり再現するためには、次の作業が必要となった。

- 1) 振動モデルの作成
- 2) 実物建物の測定周期
- 3) 立地地盤の条件
- 4) 地震波の作成
- 5) 煉瓦耐力評価

これらを、資料調査と仮定条件のもとで、8階位置で、折れるように壊すことができるのだろうか？ とにかく、シミュレーションできなければ、なにが救済にどの程度必要かわからないわけである。

1) 振動モデルの作成

塔上建物であるので、まずは基礎を含め13質点の曲げせん断棒、地盤スウェイロッキングのモデルを作成することにした。震災予防調査会報告書97号で、渡辺らは、凌雲閣の構造図、各階高さ、各階煉瓦の壁厚、総重量を報告している。重量は総重量を階高、壁厚に比例配分した。（表1参照）

2) 実物建物の測定周期

大正8年の8月5日に東京を台風が襲った。この時東京帝國大学の森房吉博士は、この凌雲閣の振動波形を記録している。3) 即ち、地盤を含んだ全体周期は1.02-1.14秒で平均1.08秒という結果であった。この結果を後に今村明恒博士

表1 凌雲閣諸元

階	十	九	八	七	六	五	四	三	二	一	階
根	階	階	階	階	階	階	階	階	階	階	階
高	一	一	一	一	一	一	一	一	一	一	高
サ	五	〇	七	六	五	二	二	二	二	二	サ
壁	〇	〇	〇	〇	五	五	五	五	五	五	壁
厚	四	同	木	二	二	二	二	二	二	二	厚
窓	一	四	四	八	六	六	六	六	六	四	窓
戸	一	四	四	一	一	一	一	一	一	一	戸
口	一	四	四	一	一	一	一	一	一	一	口

が、検討を加え、建物のみで0.9秒でありさらに地震時の建物固有周期を主要動の初期において1.93秒、崩壊の直前においては2.3秒と推定している。これらの情報は、地盤条件より地盤ばねを算出する際や、煉瓦の剛性を推定する場合に利用することにした。

3) 立地地盤の条件

浅草公園内の敷地の地盤資料はなかったので、近傍の地盤データを利用して類推することにした。仮定した地盤は表2に示すとおりである。この地盤データから、凌雲閣の地盤ばねを算出した。

4) 地震波の作成

関東大地震の記録は東京大学地震研究所で、極めて初期部分が存在するのみで、地震応答解析を実施するに足る波形はない。そこで関東大地震を発生させた断層をモデル化し、半経験的手法によって、地震波を作成した。原波の最大加速度は400galで大きなパワーを持つ波である。これを3) で設定した地盤の深さ30m位置に入力して、凌雲閣への入力波とすることにした。

5) 煉瓦耐力評価

煉瓦は当時荒木田の土を用いて、製造されており、約330万個の煉瓦が凌雲閣に使用されている。凌雲閣を爆破した際の煉瓦破片が、「東京都江戸東京博物館」ならびに「浅草文庫」に展示されている。明治期の煉瓦の耐力についてはおよそせん断応力度で1-5kg/cm²、圧縮強度で100kg/cm²程度であるがばらつきも大きく、また比重は2.0弱と報告されている。但しヤング率については凌雲閣が明治27年6月20日の地震で被害を受けていたこと、地震応答計算の場合の剛性はひずみのレベルで変化することを考え、まず計算諸元をそろえて固有値解析を行い今村博士推定の周期にあう剛性に修正した。

崩壊シミュレーション結果

地震応答解析の結果、応答せん断力、曲げモーメントを図2に示すが、破線の耐力を見ると、8階でせん断耐力に達していることがわかる。この時（作成地震波の場合では22秒位置）の崩壊をコンピュータグラフィックスで表現したものを図3に示す。

以上の解析を通じて、ほぼ倒壊の様子を再現できたのである。

これらの結果を振動的に考察すると、

- (1) 柔らかい地盤のため応答が非常に大きくなっている。
- (2) 煉瓦は粘りがなく、耐力も不足している。
- (3) 2次モードでの振動も卓越しており、丁度高さの1/3程度のところから崩壊している。

などがわかる。これらを解決すれば、凌雲閣は崩壊することはなかったと考えられる。この解決のための技術、現代では十分存在するのではないだろうか？

表2 仮定した地盤条件

深さ (m)	剪断波速度 (m/s)	密度 (t/cm ³)	ポアソン比
4	100	1.6	0.47
11	160	1.6	0.47
14	120	1.8	0.45
17	150	1.5	0.47
19	210	1.8	0.45
22	270	1.8	0.45
30	290	1.8	0.45
	400	1.9	0.40

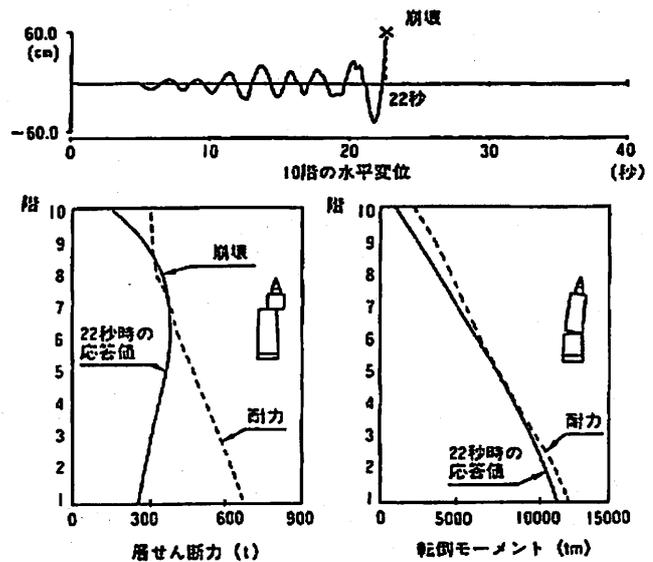


図2 崩壊のシミュレーション

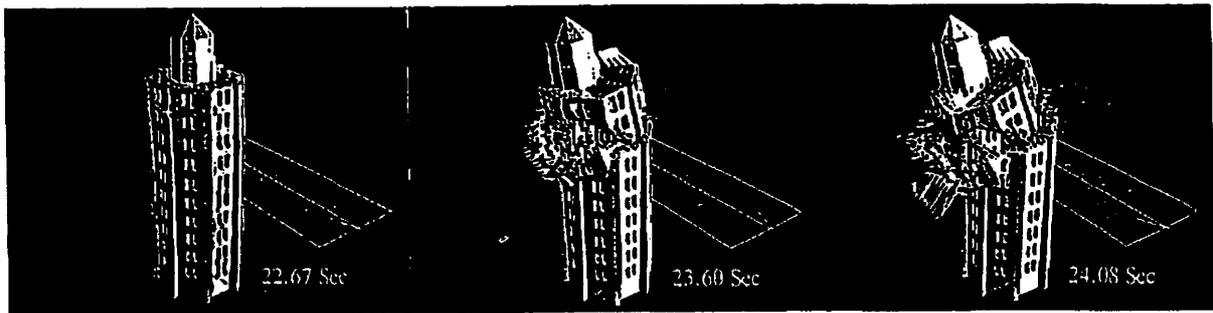


図3 煉瓦の崩壊のコンピュータグラフィックス

4. 凌雲閣を救う

救済方法は3段階に分けて、実施した。

ステップ1.

まず崩壊の主な原因である軟弱な地盤の改良と煉瓦の耐力向上を行なう。地盤改良として超高圧ジェット噴射とモーター回転による改良剤の注入を行なうことで、安定的に大規模に地盤改良を行なえる。またこの工法は建物の外側から基礎直下の地盤を改良できるのである。また、煉瓦の耐力向上のために、プレストレスを導入することにした。煉瓦に鉛直方向の溝を設け、「PC鋼より線」を配して締め付ける。施工的には水でコンクリートを切断するウォータージェットを利用する。煉瓦であれば苦も無く施工できる。このような改良をおこなってから、地震応答解析を実施した。図4に応答結果を示すが、地盤が堅くなった影響で固有周期が短くなり、せん断力では応答が耐力を下回ったものの、曲げモーメントが大きくなりまだ崩壊の危険があることがわかる。

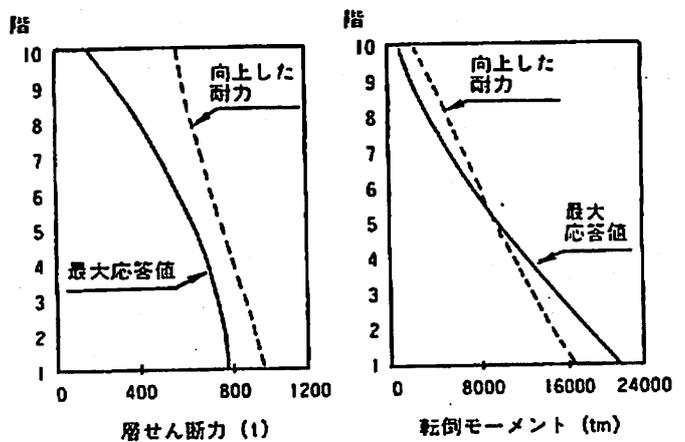


図4 ステップ1における応答結果

ステップ2 .

応答のうち曲げモーメント即ち、鉛直方向の引っ張りに対する対策として、パッシブ型制震装置を用いて、応答自身を低減させることとした。建物外周に剛な基礎（杭と地盤アンカーで上下方向変形を固定）を4箇所設け、建物基礎との間をダンパーで結ぶ。これにより、建物基礎のロッキングを制震する。ダンパーには高性能オイルダンパーを採用している。減衰力が200tのものを8台（C=40t/kine、ストローク5cmの性能）使用する。図5の応答結果を見ると、耐力は応答を上回り、ほぼ崩壊の危険から免れることがわかる。

ステップ3 .

ステップ2までの対策で、なんとか大丈夫という段階にはきたが、一層の安全性と快適性を確保するための最新鋭技術として、アクティブ型制震装置を設置する。即ち、9階位置にパッシブ動吸振器（DD）の上に小型のアクティブマストライバー（AMD）装置を載せた複合制震システム(DUOX)を設置する。ここではAMD重量10tonを2台、DD重量40tonを用いている。これにより、図6に示すように関東大地震クラスの地震に対しても万全の救済となったと言えよう。

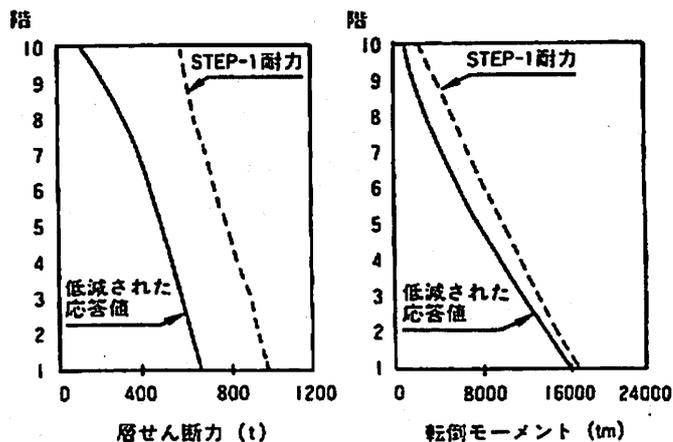


図5 ステップ2における応答結果

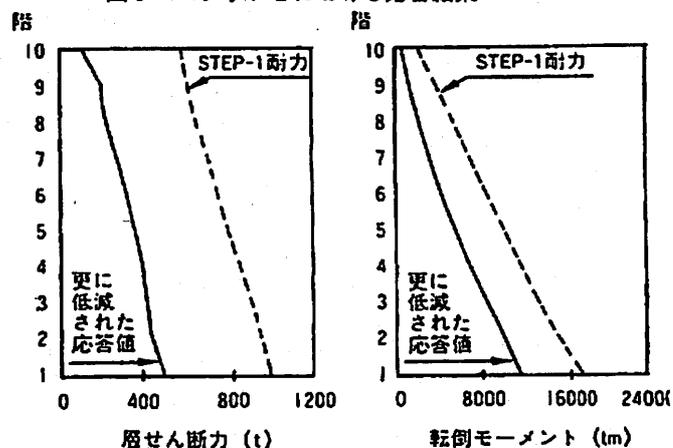


図6 ステップ3における応答結果

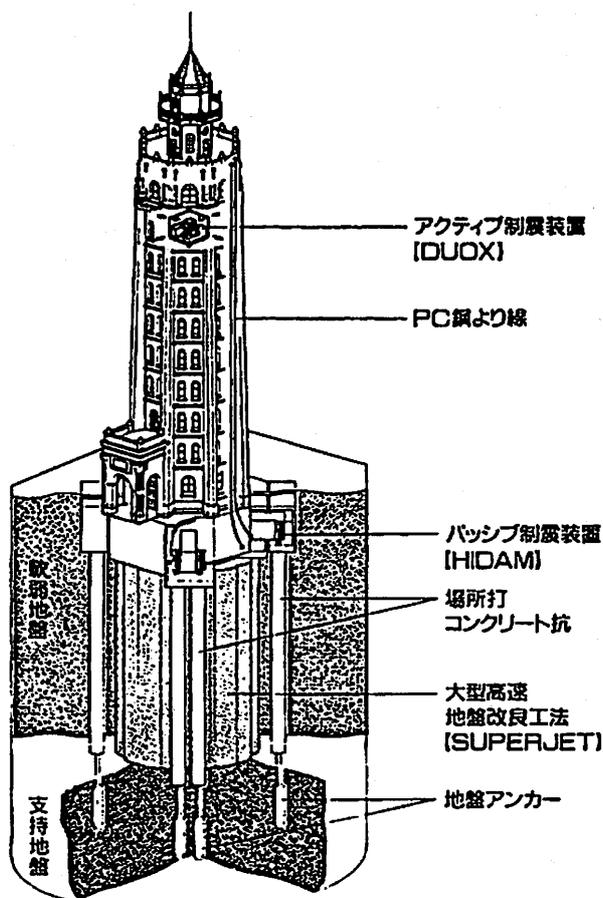


図7 浅草凌雲閣を救う技術

5.まとめ

浅草凌雲閣を救うため駆使した現代技術を総括すると、図7に示すように多種多様である。現代と70年前とは技術の進歩の点で格段の違いがあるとも言える。しかし、現在においても地震は解明されていないことを考えると、今後も謙虚に研究を続け、技術の進歩を図っていかねばならない。

「謝辞」

このプロジェクトは、小堀謙二京都大学名誉教授の御指導のもと、鹿島小堀研究室のプロジェクトで実施したもので、情報システム部初め、関係各部署のご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。また、今は静かに登山基地に眠るバルトン氏にはいささかお騒がせしたのではないかと恐縮しております。

(参考文献)

- 1) 台東区文化財報告書第五集「浅草六区」、昭和62年3月、台東区教育委員会
- 2) 震災予防調査会報告第100号(丁)、1926年10月 震災予防評議会
- 3) 浅草凌雲閣振動験測、1921年7月、建築雑誌