

669.14:69.032.22.

最近の建造物と鉄鋼*

梅 村 魁**

Recent Buildings and their Effect on Steel

Hajime UMEMURA

新潟地震、十勝沖地震とこのところわが国でも地震の被害が続く、一方諸外国でも大きな被害の出たことが報じられている。日本列島の南方でも日向灘やえびの地震などが続いているが一樣に地震の活動期にはいつた感がなくはない。

このような時期にあつてわれわれの住む国土を安定させるためにはこれらの自然災害に対して安全な諸施設を建設していく必要があり、この点建設資材としての鉄鋼に期待するところ大きなものがある。

今回は主として耐震構造の立場から最近の建造物と鉄鋼との関係を考えてみたい。

1. 超高層建築と鉄鋼

超高層建築が出現するまでは都市に建つ建物は主として鉄筋コンクリートか鉄骨鉄筋コンクリートであり、純粋な鉄骨造の建物は工場建築に限られてきた。超高層建築の出現ではじめて大規模な鉄骨造が都市にも進出し、この傾向は本格的鉄骨造と建築家との交渉の場を広め、お互にとつて大変有益なことを考えている。

さらに超高層建築を実現するためには、地震に対する設計法を新しく考えなおす必要があり、これが今日の動的解析の発達をうながし、その結果今まで過去の経験をおもなたよりとしていた耐震設計が一つの数理的原理の上に立つことができることとなつた。

このため地震のことを考えてもある確信をもつて新しい構造形式のものを採用できることとなり、ことは超高層だけでなく、一般鉄骨、鉄筋コンクリート、さらに工場施設一般まで一つの革新をもたらしつつある現状である。

さらに超高層にからんで、実大部材の耐力実験が数多く行なわれ、設計技術者と研究者との新しい交流の場を生み出し、諸外国に見られないわが国独特の構造技術の進歩が表われてきている。

このように超高層建築のもたらした影響はきわめて大きいのでまずその実現にいたる経過をふりかえつてみる。

わが国における建造物の動的な検討は、昭和の初期から行なわれてきたが、これを耐震設計に結んで実際に応用するようになったのは終戦後である。

それまでの耐震設計は、定量的には、ただ静的震度を

用いて、建物の水平方向に抵抗力を与えておくことで、満足しなければならなかつた。構造物振動論、あるいは構造物の固有周期、減衰性の研究などはあつても、これを総合的に設計に結びつけるまでにはいたらなかつた。何といつても、外力としての地震力を、まともに計算に取り入れることができなかったのがネックであつた。

終戦までの耐震設計は大正 5 年震災予防調査会報告 83 号甲、家屋耐震構造論上編：佐野利器によつてその方針がきめられ、大正 12 年の関東震災の翌年に市街地建築物法に震度の規定がはじめて取り入れられたものである。すなわち建物重量の 10% 以上を水平方向に加えて骨組を設計する。この設計法でいくと重量の重い構造すなわち鉄筋コンクリート系の建物の断面をきめるのにこの耐震規定が大きく影響するが、純鉄骨系の建物にはあまり影響しない結果となり、耐震構造の研究がおもに鉄筋コンクリート系にかぎられたような形で進んだことは耐震構造の面からみるとかならずしも健全なものとはいえない。

さらに設計用の震度として建物重量の 10% という値が一般の地震被害を解析したことのない設計者に地震のときの外力もこの程度の値にしかならないような感じをいだかせていつたこともいえない。

戦時中、たまたま耐爆構造の研究の必要に迫られ、外力としての爆圧の測定を行ない、これに対する構造物の振動、破壊の研究を武藤清教授のグループで行なつた。これは、ちょうど現在の動的設計と同じ方針であり、その概略は、その後研究の進んだイールドヒンジの概念まで導入した考え方が「建築物の動的解析」日本鋼構造協会編彰国社刊に論じてある。

私は約 30 年前卒業論文でこの動的な取り扱い方を武藤教授から習つたのであるが、10桁の数字の計算を手廻しの計算器で一夏かかつて行なつた。このような計算は今日では電子計算機で一瞬で片づくものであるが、いまだに馬鹿な計算をやつたとは思えない。高次の振動が梁端において、とくに曲げの項でなかなか消えてこないことなどはつきり思い出す。電子計算機で簡単に結果だけが出てくるとその途中の経過がわからないし、物の本質への追求が不足することは避けえない。別に旧式な計

* 昭和43年9月本会講演大会特別講演会にて講演

** 東京大学工学部 工博

算法に帰れというわけではないが、最近の電子計算機の使い方にも反省する必要がある、電子計算機の特徴をより有効に発揮すべきであろう。

話は脇道にそれたが衝撃力による破壊を対象にした設計がいかにか静的な考え方では処理できないかを味わつた時代であつた。

終戦後、建築規格 3001 が 1948 年に制定され、これが発展して昭和 25 年の建築基準法となり、地域別震度、構造地盤別震度など、静的震度が多少修正されたのは周知のとおりである。

当時、戦災の復興のため、新不燃建築として、壁式鉄筋コンクリート、組立て鉄筋コンクリート、補強ブロックなどの普及がはかられたが、この種の地震経験を經ない構造法の耐震力を判定するために、日本建築学会内に耐震試験委員会が 1948 年に設置され、1950 年に“各種建築物の耐震度に関する研究報告”として発表されている。

この委員会で、現在も使用されている建設省建築研究所の大型起震器が製作され、実物の大振動実験が行なわれたことは、今までにない画期的なことであつた。

一方、アメリカにおいて、1930年代から強震観測が実施されエルセントロの強震記録および現在の応答スペクトルの研究が Housner 博士などによつて発表され、動的設計が解析および構造物の実際強度両面から追求される端緒が開けたのが、1950 年頃とみてよからう。

またわが国の強震計が研究され始めたのも、1950 年で、その第 1 号が東大地震研究所に据えられたのが 1952 年であり、その後 430 台に増加している。

この日本の強震計の写真を図 1 に示す。

写真のものは床に据えつけるもので、3つの針はそれぞれ、水平 2 方向と上下動を記録するもので、同じ性能のもので壁に固定しておくものも造られている。

このような強震計が全国に渡り、地表面、建物の基礎床、中間床、屋上床などに置かれている。その分布図を図 2 に示してあるが、全国的にみて偏在していて、将来の地震に対して万全といえない。これらの強震計は国の費用だけでなく、民間の援助で購入してもらい据えつけたものが相当の数に及んでいる。とくに建築物に据えたものはほとんどいつてよい。その建物で中地震時の震れ方が

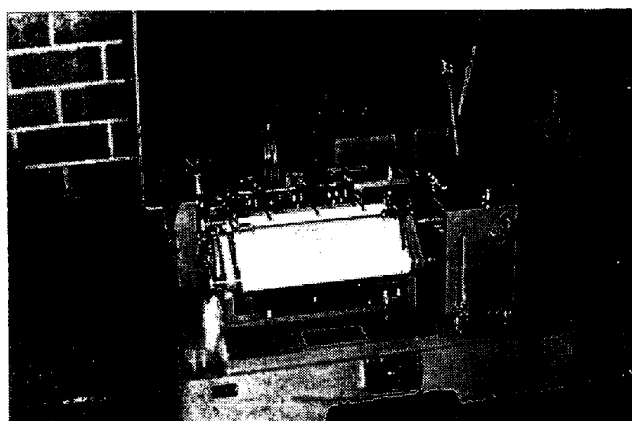


図 1 強 震 計

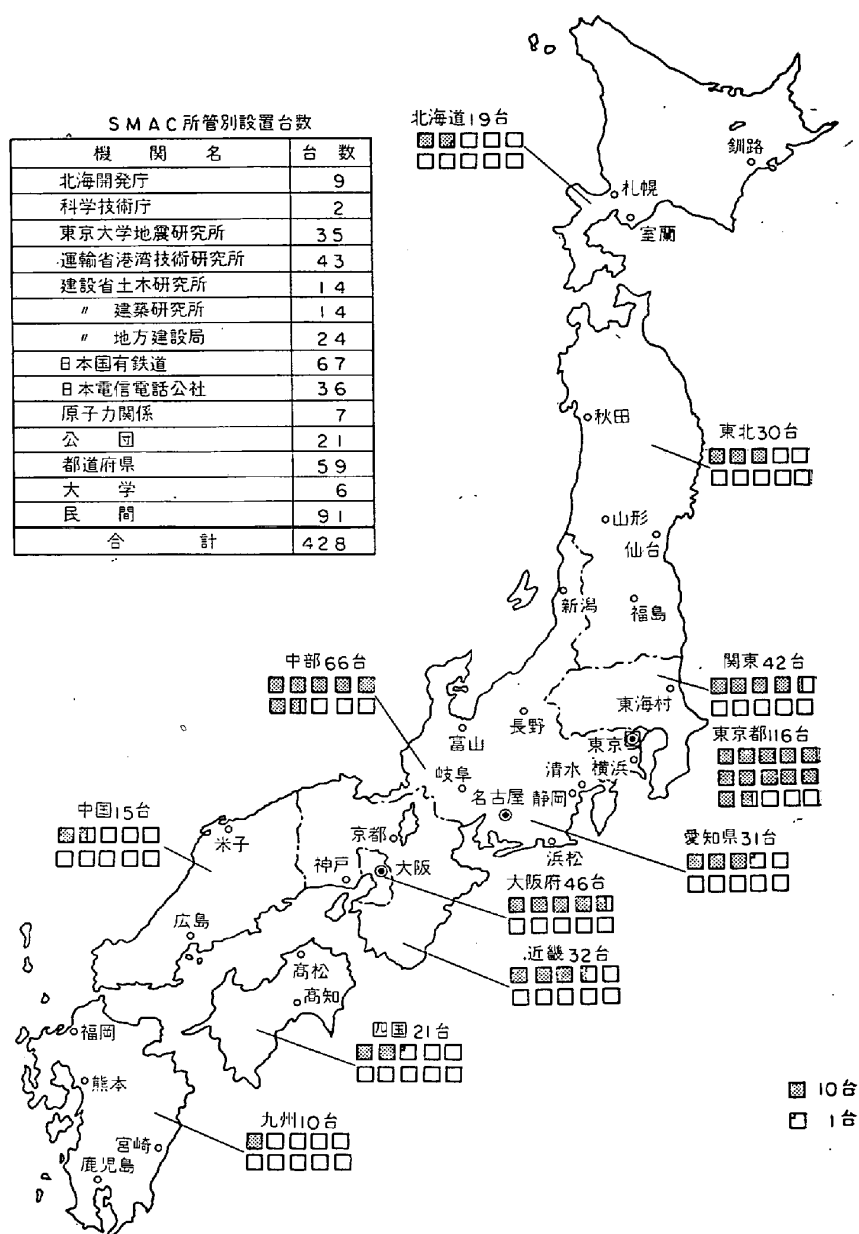


図 2 SMAC型強震計設置分布図

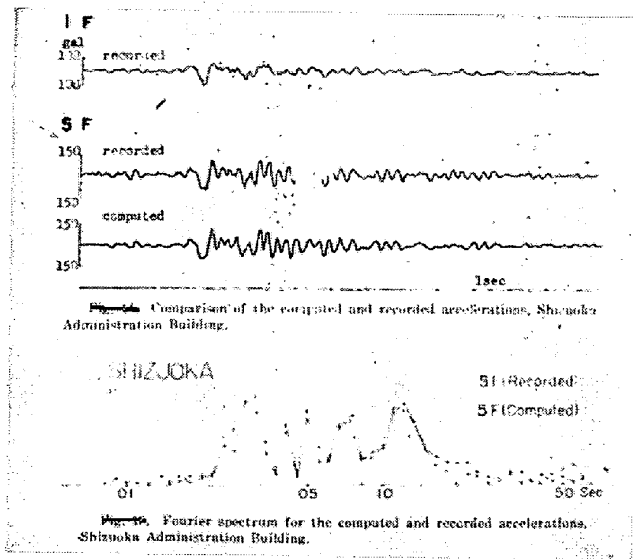


図 3 強震計記録とその解析
(東京大学地震研究所大沢胖教授による)

はつきりとわかるので建物の耐震診断になるとともに、将来の耐震設計には大変貴重な資料を提供してもらえることになるので、この紙面をかりて新しい強震計の設置をお願いする次第である。

記録とその解析の一例を図 3 に示す。

図 3 は 5 階建の建物でその 1 階と 5 階に強震計が据えてあり、ある地震のときに 1 階と 5 階で取れた記録を上図の 2 つに示したものである。1964 年の新潟地震のときにも、転倒した川岸町アパートの隣りのアパートに 1 階と屋上に強震計が据えてあり、建物のゆれ方をよく示している。図 3 もそのような一例であるが、図中上から 3 番目は解析により求めた結果である。下段の図は 2 番目と 3 番目の波をフーリエ解析した結果で、実測波と解析波との類似性を示すものである。このように実測と解析とがよく一致するためには、解析の際にどのような仮定でどのような計算方法を取ったかが問題で、その仮定と計算法の妥当性を確かめるためには強震計記録はかかすことのできないものであり、この点で将来の合理的な耐震計算へとつながるものであり、超高層実現の一つの決め手にもなるものである。

一方超高層建物の設計に関して、京大棚橋、小堀教授が Skyscraper の振動に関して論文発表を行なったのが 1952 年から 1954 年にかけてであり、これはわが国における超高層の耐震を数理論的に論じた最初のものである。

また実物大構造物の強度、剛性の実体を知るため、東大において大型構造物試験機が計画されはじめたのも、1954 年頃からで、これは 1959 年に完成し、超高層の実施設計にさかんに利用されている。

また、1956 年から日本建築学会内に火力発電所耐震構造委員会が発足し、吊下げ構造物とその支持フレームに関する耐震設計要項を 1957 年に作成した。当時として

は、まだ具体的な動的設計にまでは、完成されていないけれども、現在の形にうつる一歩手前のものである。

さらに 1958 年、国鉄の東京駅を 24 階建として、新たに計画することの提案があり、1959～1961 年にかけて“建築物の適正設計震度に関する研究”という題目で、超高層建物の実施設計、動的応答の検討がはじめて手がけられ、これが現在の超高層建物実現の大きな転機となった。

この研究の成果を総合して考えると、構造技術的にはなおいく多の問題点を残していたが、地上 25 階程度の高層建築については、十分実現の可能性があることが結論された。しかし、これには適正震度を採用しうするための法的処置や、軽量化、骨組の構成その他になお検討すべき諸問題が残っていた。

すなわち、

1. 超高層建築を試算設計し、電子計算機などによつて強震時および激震時応答と被害程度を確かめ、適正震度を確立するとともに、これに対応する法的措置を講ずること。

2. 高強度鋼の使用と、その各部構造法の研究を行ない、その強度のみならず耐震上重要な弾塑性の特性を明らかにするとともに、床壁などの軽量構造法の研究を行なうことなどであつた。

ちょうど、前記東京駅の検討中に東洋レーヨン科学振興会研究助成により、地震応答用のアナログ計算機 SERAC が 1960 年に設計された。これは 8 質点線形、5 質点非線形応答が得られるアナログ型のもので、地震波に対する多質点系非線形応答計算が自由に行なえるきつかけを作つたもので、三井霞ヶ関ビルの実施設計にもつながるものである。SERAC で行なつた研究については SARAC 報告 No 1～No 6 が発行されている。

東京駅の研究にあたつて、1961 年に行なわれた 29 質点のデジタル計算は、その後のこの種の計算のさきがけである。

かくて 1963 年の日本建築学会技術指針につながり、1964 年の超高層実現へと続くのである。

現在の超高層建築に見られる耐震設計の方針

現在の超高層建築の耐震設計に見られる共通した方針は「建築物の周期に応じて最下層の剪断力係数を 0.2 よりも低減し、さらに適当地震波を建物基礎にあたえて上部構造の応答を単に弾性範囲だけでなく、塑性範囲にわたつて検討し、部分的に大きな変形の生ずる場合には骨組を修正して適当な骨組の設計につとめている。」ことである。さらに、骨組の各部分について新しい接合法や骨組形式を採用した場合には、それら部分の実大または模型実験を実施し、あるいは骨組全体の模型振動実験を行なつて、塑性にいたるまでの性質を検討しているものもある。

このように設計された建物が中地震、大地震のときに

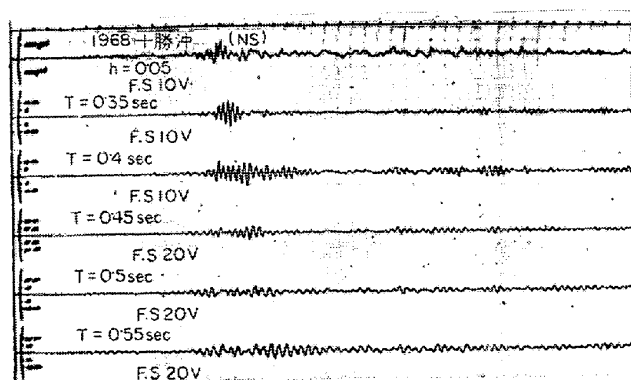


図4 1968 十勝沖地震による各種固有周期を持つ建物のゆれ方の解析例

どのようにゆれるかを定量的に検討する方法を動的耐震解析と呼んでいる。このような方法は今まで述べてきた蓄積により次第にでき上がったもので、地震の複雑性からみて今後なおいく多の問題を解決しておかなければならないが、その糸口は電子計算機であり、先に述べた手廻し計算器ではとても今日までの展開はありえなかつた。電子計算機のまさに有効な利用法であろう。このような動的解析の第一の特徴は構造物の固有周期に応じて同じ地震でもその反応が全く違うということである。図4にその一例を示す。

図4の一番上の波は十勝沖地震のときに八戸の港湾で取れた記録である。最大加速度は 230 cm/sec^2 程度で新潟地震のときの新潟市川岸町のものより大きい。

図4の二番目の波以下は固有周期が $0.35 \text{ sec} \sim 0.55 \text{ sec}$ のものの最上段地震波に応じた反応で 0.45 sec 以下は振動のスケールが半分になつていて 0.35 sec , 0.40 sec のものと比べると振幅を倍に拡大する必要がある。いずれにしてもその固有周期に応じてその応答が種々変わることがわかる。このような検討を現在の超高層の設計にあたつては行ないながら最後の断面が決められているのである。

以上のようにしてすでに 50 に近い 45m 以上の超高層が完成あるいは建設中である。

これらの構造の特色は 20 階以上はほとんど純鉄骨でカーテンウォール形式、耐火被覆であるが、20階以下になると鉄骨鉄筋のものがふえてくる。将来は純鉄筋で20階といったものも生まれると思われる。

したがって鋼材としては厚板ワイドフランジもあるし低層の鉄骨鉄筋に見られる組立のものも用いられている。

鉄筋になれば太物の異形が用いられよう。

接合部は現場ハイテン使用が多かつたが現場溶接が次第に復活しつつある。

なお高強度鋼は地震時に建物を弾性限界にとどめるにも必要で種々に活用されよう。

研究問題としてはやはりジョイント部分の脆性破壊をさけることが必要で繰返し力、集中応力などの研究はかせない。厚板になればなおさらである。

構造形式としては一つにこだわることなく建物の平面立面に応じて自由な組み合わせが考えられる。

また震力軽減のためには建物を一種の機械と考えて動的な設計を行なうこともあろうかと思う。

設計外力としての風荷重も次第に動的な解析が行なわれるようになるだろう。

2. 一般建物と鉄鋼

超高層の動的設計に刺激されて一般の建物も動的な解析を加味したものとなり、建物の性質が今までのものとは次第に変わつてくると思う。高強度鋼はやはり多く用いられよう。

都市の一般建物はコンクリートとの併用が多からうから鉄鋼とコンクリートの新しい組み合わせ部材も考えてよからう。

3. 工作物と鉄鋼

動的解析の方法は建築物にかぎらず鉄塔、煙突、タンク、水槽、工場の各種構造、発電所ボイラーなどあらゆる方面の構造物に適用されその構造を変えてゆくであろう。