

性能設計と情報公開

伯野元彦¹

¹フェロー会員 工博 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒390-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

兵庫県南部地震の後、あのように1000年に一度というような滅多に起こらない強震に対してまで弾性設計はできないと、所謂二段階設計、つまりそのように強い地震に対しては多少の破壊はゆるすが、崩壊は許さないというように、各構造物の耐震基準は改定されつつある。つまり性能設計に移行しつつある。性能設計とは耐震に例を取れば“兵庫県南部地震程度の地震では部分的に破壊はする事もあるが崩壊はしない”という“性能”を持つ構造物を設計することである。換言すれば神戸の地震以上の地震が来れば、崩壊する事も有り得るということをはっきり謳ったという点で画期的な事なのである。国民の皆様は、或る構造物が耐震設計されていると聞けば、どんな地震にも耐えると思っている。或る程度以上の地震には耐えられませんというはっきりした情報公開が必要である。

Key word: Performance design of structure, Freedom of information

1. はじめ

兵庫県南部地震の後、あのように1000年に一度というような滅多に起こらない強震に対してまで弾性設計すなわち許容応力設計はできないと、所謂二段階設計、つまりその構造物が耐用年数以内に1回遭うかもしれない程度の地震に対しては、亀裂一つ入らないように従来どうりの許容応力設計法で設計しよう、しかし1000年に一度というようなとんでもなく強い地震に対しては多少の破壊はゆるすが、崩壊は許さないというように、各構造物の耐震基準は改定されつつある。つまり性能設計に移行しつつある。性能設計とは耐震に例を取れば“兵庫県南部地震程度の地震では崩壊しない”という“性能”を持つ構造物を設計することである。換言すれば神戸の地震以上の地震が来れば、崩壊する事も有り得るということをはっきり謳ったという点で画期的な事なのである。国民は、或る構造物が耐震設計されていると聞けば、どん

な地震にも耐えると思っている。或る程度以上の地震には耐えられませんというはっきりした情報公開が必要である。

2. 従来の耐震設計

従来の耐震設計は、震度法にせよ動的解析にせよ、或る大きさの地震を考えその地震によって生じる応力を或る許容値以内に収めるという、所謂許容応力度法によって設計されてきた。許容応力度は極限応力度に比べて、十分小さくとってあるので、たとえ構造物の応力度が許容値に近づいたとしても亀裂一本入る事はない、つまり弾性範囲内に留まるようになっているのである。一応その震度法で耐震設計された構造物がばたばたと兵庫県南部地震では崩壊した。この原因究明が精力的に行われた。何しろ1948年の福井地震以降兵庫県南部地震まで死者が1000人以上出た地震は日本ではなかったのだから人々のショックは大きかった。そ

の間でも死者が100人を超えたのは、1983年の日本海中部地震と1993年の北海道南西沖地震だけであり、その主な原因は両地震とも津波であった。勿論その間物が全く壊れなかった訳ではない、よく知られている様に、1964年の新潟地震では大規模な液状化が起こったし、1968年の十勝沖地震では学校のRC校舎の短柱のせん断破壊が数多く起こり道路及び鉄道の盛土の破壊が目立った、また当時建設中であった東北新幹線のRC橋脚にその程度は軽いながら多くのせん断亀裂が発生した。これらを教訓として世界的に土の液状化研究が始まったし、建築の分野では短柱のせん断破壊の研究が始まり、土木の分野では盛土の地震に対する弱さが認識され東北新幹線以後の山陽、上越、各新幹線では盛土は姿を消しRC高架橋が取って代わる事となった。ただこうして、取って代わったRC高架橋が兵庫県南部地震でせん断破壊によって数多く桁が落ちた事は私を含めた関係者にとってショックに違いなかった。一方建築分野では、先に延べた1968年十勝沖地震の短柱のせん断破壊と1978年の宮城県沖地震の同様な短柱せん断破壊の結果から、1981年に新耐震設計法を設定し、帯筋の間隔を密にする事でせん断強度をあげ粘り強さをあげるように改定した。一方、土木構造物では、先にも述べたように建設中であった東北新幹線のずんぐりした橋脚に多少のせん断亀裂が入ったが、長柱構造物が多かったため、曲げ亀裂が多く、建築とは異なり、せん断破壊がそれほど注目を集める事も無く、1981年の新耐震設計法でも、特にせん断破壊を防止する改定は行われなかった。その弱点が1995年の兵庫県南部地震で露呈したものといわれている。一方阪神高速道路のピルツ工法区間の630mに亘る横倒れ倒壊は、共振による曲げ破壊によるといわれている。以上いずれにせよ、従来十分安全性を保證できると思われていた耐震設計法で

設計された土木構造物が多数倒壊したのである。この設計法で良いのかとの疑問が出てきたのは当然である。そしてこのようなひどい被害が何故起こったのかという点に関して色々研究された結果どうも地震動そのものが、かなり構造物を破壊する能力の高いものである事が分かってきたのである。

2. 性能設計

1995年の兵庫県南部地震の地震動が、今までに無いような破壊力を持っている事が、色々な解析の結果分かるにつれて、このような破壊力を持つ地震動に対しても従来の亀裂一本入らないという弾性設計法を採用しなければならないのかという素朴な疑問が、設計者の間に湧いてきた。そして性能設計という考え方が出てきたのである。これまでは相当強い地震にも、この構造物は耐えられますよといった、相当強い地震とはどの程度かとの質問に対しては、過去の経験から言って関東大地震には耐えられますよと言ってきた。これはでたらめの事ではなくて、設計震度0.1なにかで設計された鉄筋コンクリートビルが関東大地震で何事も無く生き残ったと言う事実があるのである。現在、一般には設計震度0.2であるから、関東大地震の震源にもっと近くても耐えられるのではなかろうかという訳である。今度の兵庫県南部地震の後の人々の反応を見れば分かる事であるが、いやしくも耐震設計された構造物はどんな強い地震がきても壊れてはいけないのである。これは設計者にとっては非常に困った事である。何故なら、この地震でも亀裂一本生じない様に設計するためには、設計震度を上げなければならないが、どのくらい上げたら良いのか分からないのである、0.3にすれば良いのか、0.4にすれば良いのか分からないのである。これは従来の地震工学が先にも述べたように経験に基づいているからである、経験

に基づき過ぎているからである。極言すれば、設計震度0.3なら0.3で良いと証明するためには、0.3で設計して構造物を作り、その後偶然兵庫県南部地震がその付近で起こり、そしてその構造物が健在であったとき始めて証明されるのである。これは、耐震設計法である震度法と、実際の現象とが余りにも違う事に原因がある。震度法では、地震力を静的な力に置き換えている。これがそもそもの間違いなのである。静的に加えられた地震力に対して弾性域内で挙動するように設計された構造物が、動的な地震力によって壊れた場合、加えられた等価な静的地震力を求める事は大変難しい、ほとんど不可能と言っている。それは破壊が非線形現象だからである。以上のような理由から、1000年に一度と言うようなとんでもなく強い地震に対しては、従来の震度法と、許容応力度設計法では対処しきれないと言う事になった。そして、そのような強い地震に対しては非線形動的解析を行い、対処しようとしている。所謂二段階設計法である。しかしこの場合でも、神戸の地震よりはるかに強い地震がきたらどうするのかと言う問題は残る。その解答として出されたのが、性能設計の考え方なのである。つまり地震に対して安全な構造物を作る場合、地震を考えない場合に比べて余分に費用がかかるという事である。その費用は、強い地震を考えれば考えるほど余計にかかる。性能とはこのくらいの地震までは安全であるという事を示している。つまりとんでもない地震まで考える場合には、とんでもない費用がかかるという事である。日本では原子力発電の構造物が、もっとも強い耐震設計をしていると思うが、その費用は普通の大体10倍である、建物上屋が300億、基礎が200億程度である。これまで度々いわれてきた事であるが、“日本人は、空気と安全は、ただだと思っている”という事をそろそろ捨てなければならない時期にきてい

るのではなかろうか。

3. 性能設計するためには、破壊解析が必要では？

以上述べたように、性能設計では、これだけの地震までは崩壊しない事を保証します、といわなければならない。現在の技術力では、なかなかそこまで言えないのではあるまいか。それは、実験にしろ解析にしろ構造物の崩壊を扱った研究が余りにも少ないからである。未だ不十分とは思いますが、拡張個別要素法を用いた構造物崩壊シミュレーションを行っているのでその結果を図1～3に示す。

4. 性能設計と情報公開

すでに述べたように性能設計は、これこれの地震までは大丈夫ですと保証する設計であるから、逆に言えば、その地震以上の地震が運悪く来た場合は、保証しませんよと言っているのである。今後は、なかなか難しい事ではあるが、この事を人々に知っていただけるように情報公開する必要がある。

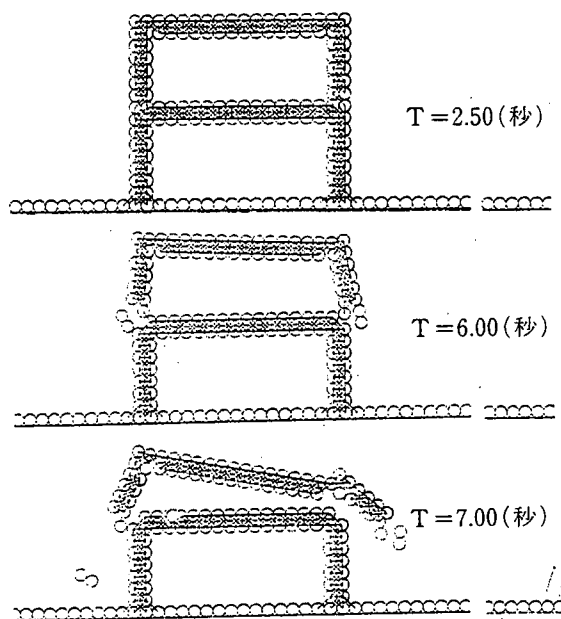


図1 二階橋の崩壊

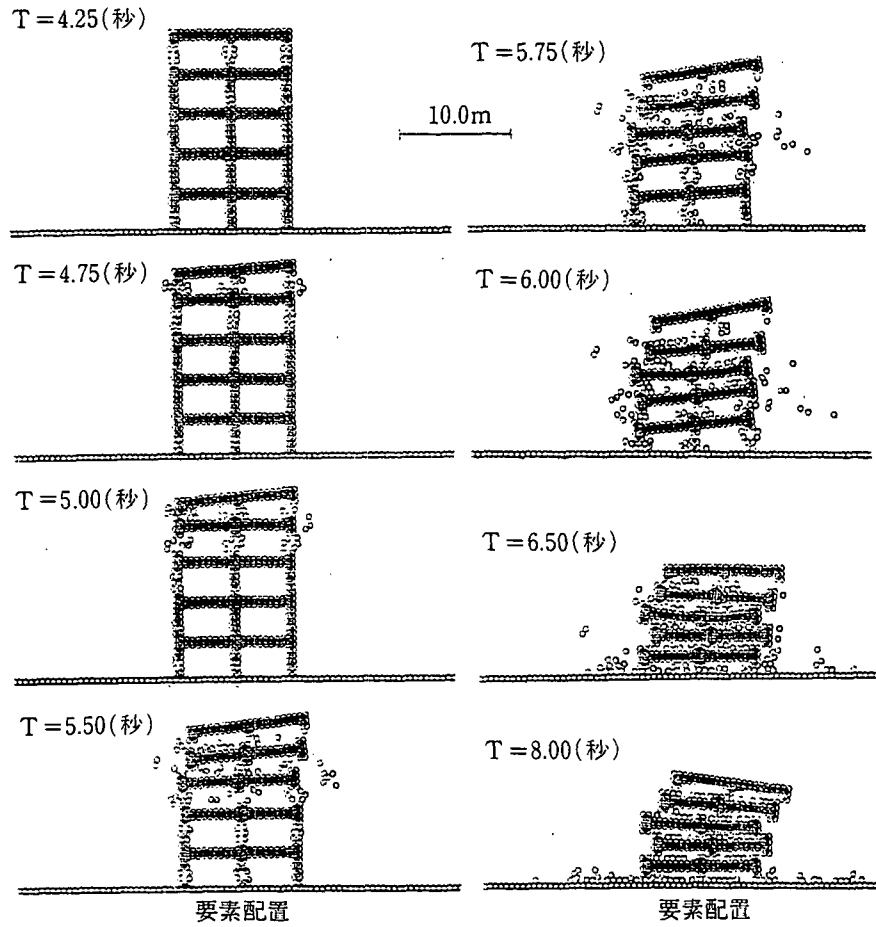


図2 フレームのペシャンコ崩壊

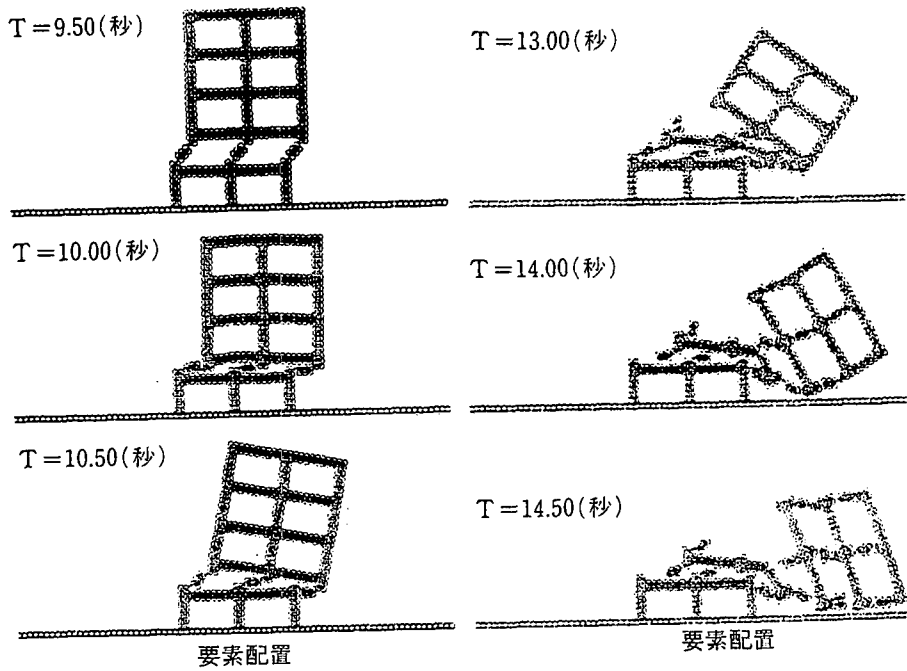


図3 フレームの横倒れ崩壊