

特別セミナー1
構造物の破壊の予測

目黒 公郎 [東京大学生産技術研究所 国際災害軽減工学研究センター]

兵庫県南部地震では、多数の建築・土木構造物が崩壊し、多くの尊い生命が奪われた。崩壊に至るまでの破壊挙動の解明がいかに重要であるかが再認識されたわけである。今日、災害に対する事前投資(準備)、直後対応、復旧・復興戦略を総合的に評価して、最も効率良く地震災害を軽減する対策のあり方、またその立案法が求められている。

構造物に関して言えば、新しく建設する場合には、性能設計と施工をいかに行うかが、既存構造物に対しては、耐震性の評価とその評価結果に基づく補修・補強対策をいかに進めて行くかが課題となっている。工学的には、想定し得る外力に対して、経済的で機能的な構造物をいかに建設するかがポイントとなる。もちろんこの「機能」には、災害時の利用者の安全確保(少なくとも重傷や死には至らしめないこと)が入る。

兵庫県南部地震であれだけ無残な被害を経験したにもかかわらず、今、我々のまわり、すなわち構造物の設計や施工に携わるコミュニティーを見渡すと、依然として破壊現象(特に原型を留めないほどの崩壊)に対する注意が不十分ではないかと思われてしかたがない。

現在の設計においても、崩壊などの破壊挙動は設計思想の範疇外である。「壊れてはいけない。壊れないものを作ることが設計である」という人もいる。しかし、「壊れないもの」をつくるためには「壊れるという現象」を十分理解しなくてはならない。安全性の照査はもちろん重要である。しかしこれにしても想定地震外力に対しての確認である。

「この構造物は、想定を越えるこれだけの地震外力を受ければ、このように挙動し、最後にはこのような形で崩壊する。それに要する時間は〇〇秒である。」などの検討は一切なされていない。これらの検討を行って初めて、有事に際しての具体的な対策の立案が可能になるし、そもそも災害とは、想定を越える状況が起こったことによるアクシデントなのであるから、想定を越えた状況下での検討をしなくては意味はない。またこのような検討と評価こそが、「性能設計法」移行への不可欠なステップでなくてはならない。

しかし現実はそのようになってはいない。このように重要な検討がこれまで行われてこなかったのはなぜだろう？

制度的にやる必要がないものを取ってやらないというのは、経営的には理解できる。しかし、エンジニアのモラルとしてはどうか？ また、実施するための物理的な環境はどうだったのか？

ここにも大きな問題があったと考えられる。すなわち、我々エンジニアがつくった構造物が犠牲者を生んでいるという事実認識の欠如と、このような検討を具体化するための技術や施設が完備していなかったことである。前者の事実認識の欠如については講演で補足するが、後者の技術や施設に関して言えば、幸いにして実験環境としては、実物大構造物の崩壊現象を再現できる(であろう)3次元大型震動台が、科学技術庁によって平成16年の

完成を目標に具体化してきた。残るは数値解析法である。風洞実験設備とコンピュータによる数値風洞技術が、相互に補完し合って現象の究明をはかってきたように、破壊現象を高精度に、しかもシンプルなモデルで再現できる数値解析法が提案されれば、上で述べたような課題も今後は随分改善されるであろう。

前置きが随分長くなってしまったが、今回ご紹介する「破壊現象を追跡する新しいモデル」は、そう遠くない将来に、上記のような問題を解決する1つの大きな武器になるであろうと私が考えているものである。アイデアそのものは随分前から持っていたが、具体的にプログラムの開発を手掛けたのは最近である。故にまだ正式な名前もなければ、実績も全く不十分である。しかしその潜在能力は非常に高く(開発者が自分で言っているのだから、割り引いて考えていただきたい)、皆さんにお役に立てる道具になると確信している。

最終目標はもちろん、「崩壊に至るまでの破壊現象を、高い精度で、しかも簡単なモデルで解析すること」である。これまで私は、個別要素法(Distinct Element Method, DEM)やこれに改良を加えた拡張個別要素法(Extended DEM, EDEM)を用いて、連続体から非連続体に至るまでの破壊現象のシミュレーションを行ってきた。これらの手法は、取り扱える変形あるいは破壊の程度に特に制限がなく、要素同士の剥離、滑り、再接触、初期と違う要素との新たな応力場の形成などの現象が容易に取り扱えることから、破壊現象を取り扱う手法としては、高いポテンシャルを持つ手法と言える。ただし現在の問題点は、高い精度で定量的な議論をできるまでに至っていない点である。これは有限要素法(FEM)が適用可能な変形領域で、両者の解析結果を実験や実現象と比較した場合に、明らかにFEMの解析精度が高いことから伺われる。

今回紹介する手法は、FEMの解析精度とEDEMの適用性を合わせ持つだけでなく、それぞれの欠点を補う特長も有する手法と位置付けている。このモデルを用いると、座屈などの大変形問題や完全に崩壊に至るまでの破壊過程が、リーズナブルなCPUタイムで、しかも驚くほどの高い精度で追跡できる。FEMにおけるジョイント要素のように、クラックの発生位置や進展方向を予め仮定するなどの必要性は一切なく、破壊は任意の位置に発生し、自由な方向に進展していく。クラックの発生による応力状況の変化や境界条件の変化によって進展する進行性破壊現象を高い精度で解析できる手法となっている。またDEMやEDEMが苦手とする静的な問題への適用性、用いる要素の形状や配置の影響による解の不安定性の問題もない。解析に要するCPUタイムも圧倒的に短いなどの特長を有している。繰り返しになるが、本手法は近い将来、大変形や破壊を伴う構造解析において中心的な手法になると期待している手法であるので、今回の講演会ではまずはその存在を知っていただき、今後の大いなる展開を期待していただきたい。

最後に、ここで紹介するような手法が必要である最大の理由を確認しておく。

地震の際に亡くなった人のことを、我々はよく「地震の犠牲者」と呼ぶが、彼らの多くは地震そのもので亡くなっているのではない。「地震は人を殺さない。我々のつくった構造物が人を殺しているのである。」

我々エンジニアの責任は重い。地震被害のメカニズムを理解し、最適な対処法を立案・実行し、地震による構造物被害を原因として発生する死傷者を減らすことのできるのはエンジニアである我々なのだ。

講演会では受講者の皆さんの知的好奇心を刺激するだけでなく、エンジニアとしての良

心に直接訴える話をしたいと考えている。それは皆さんが、これから何10年という長期間にわたって、構造計算や耐震設計、新しい施工技術や材料の開発、そして施工そのものにとずさわっていく人材だからである。皆さんが、日本の、そして世界の構造物の性能を決める立場にあるためである。

以下に私の講演のキーセンテンスとキーワードを列挙しておく。

- エンジニアリングにおける「つくること」と「こわれること」の意味
- 災害は進化するというが．．．
 - 日本の地震被害はどうか？
- 過去の地震被害を眺めてみると．．．
 - 我々は何を学んできたのだろうか？
- なぜ地震時の構造物の動的破壊挙動を知る必要があるのか？
- 兵庫県南部地震では何が起こったのか？
 - 最も悲惨な出来事は何だったのか？
 - 何を教訓とすべきか？
 - 何が人を殺したのか？
 - 地震か？ 社会か？ それとも．．．
 - 6,400余人、特に直後の5,500余人の犠牲者はどうして亡くなったのか？
 - いつ、どこで、どのように．．．
- エンジニアは犠牲者の死体を見るべきである。
 - 数としての死者でない1人1人の死体を見るべきである。
 - その積み重ねが犠牲者の数である。
- 死傷者を減らすためには？
 - 我々エンジニアは何ができる？

だから、我々エンジニアは、．．．．