

論 文 の 内 容 の 要 旨

論文題目 Improved Applied Element Method for Numerical Simulations  
of Structural Failure and Collapse

(和訳：改良応用要素法による構造物の破壊挙動の数値解析的研究)

氏 名 エルホーリ サイド アブド エルファッティア サイド

近年、重要構造物の設計においては、従来の設計では想定されていなかった各種の巨大な災害や事故などによって作用する外力をいかに考慮するかが大きな問題となっている。このような想定を超える巨大外力によって世界各地で発生した事故や災害が注目を集めている。例を挙げれば、英国で1968年にガス爆発を原因として発生した Ronan Point アパートの崩壊は、進行性破壊現象の追跡とその防止対策の重要性を認識させた最初の事例である。1995年には、米国のオクラホマ市で爆弾を搭載した車両を用いたテロにより Alfred P Murrah ビルが被害を受けた。このビルは爆発の影響で重要な3箇所の柱に重大な損傷を受けた。最近の事例として最も注目を集めたものは、2001年9月11日の旅客機を用いた米国ニューヨーク市での同時多発テロ事件による世界貿易センター (WTC) ビルとその周辺のビルの崩壊現象である。WTC ビルの崩壊は、単体の建物が崩壊したことによる災害としては米国史上最悪の事例であり、多数の人命の損害を伴っている。またこの災害では、崩壊した建物から発生した大量の瓦礫が周辺の建物に被害を与える現象も起こった。このような挙動を分析し、その対策を講じる上では、これらの挙動を追跡できる数値解析法が必要であるが、今日、安価な電子計算機環境で高精度にこれを実現できる手法はない。有限要素法 (FEM) と個別要素法 (DEM) を組み合わせた手法や、拡張個別要素法 (EDEM)、応用要素法 (AEM) などが、崩壊挙動を近似できる手法として提案されているが、これらの中にも大規模な鉄骨構造物の崩壊過程を追跡できる手法はない。

そこで本研究では、安価な電子計算機環境でも大規模な鉄骨構造物の崩壊過程を高精度に追跡できる手法の開発を試みる。具体的には AEM を基にした新しい解析手法の開発を行う。AEM は歴史は浅いが、微小な外力しか作用していない構造的に健全な状態から、完全崩壊するまでのトータルな挙動を追跡できる有力な手法として、最近少しずつ認識されてきている。これまでは、コンクリート構造や地盤、組積造建物の解析などに活用され実績を挙げてきている。しかし、この手法を大規模な鋼構造物に適用しようとする、従来の AEM のアプローチ法では、用いる要素のサイズを小さくし多数の要素を用いない限り、複雑な断面を有するスチール部材の挙動の精度の高い解析結果を安定して得ることは難しい。これでは大規模な鋼構造のビルなどを解析対象とした場合、長大な計算時間や大きな記憶容量が必要となり、現実的な解析を行うことは困難であった。

本研究はこのような点を踏まえて、効率的で高精度な解析手法を提案し、これを用いて地震や火災などに構造物被害を軽減することを目的としている。具体的には AEM を基に解析モデルの自由度を適切に落とすための理論を構築し、従来は小さな要素の組み合わせとして扱っていた柱や梁などの部材を、その断面形状の力学的特性を取り込んだ1つの要素としてダイレクトにモデル化する手法を提案した。そして、静的・動的荷重条件下での弾性挙動に提案手法をまず適用し、その効果と精度を検証した。次に検証を終えたモデルを用いて、塑性域の進展と終局強度と破壊メカニズムの評価を、い

くつかの事例解析の結果を用いて行った。続いて、米国で1994年に起こったノースリッジ地震や1995年の兵庫県南部地震の際に報告された鉄骨剛接合フレーム構造物の被害を対象に、破壊メカニズムの検討を行った。その結果、強震動を受けた鉄骨ビルの各種の破壊現象の再現とそのメカニズム分析に成功した。

次に鋼構造物で重要となる材料の温度による影響を考慮した解析モデルの検討を行った。高熱を受ける鋼構造のフレーム建物の挙動を解析する手法の提案は、非連続体解析手法に熱の問題を導入した最初の研究として位置づけられる。提案手法を用いた解析結果を他の数値解析手法や大規模火災実験の結果と比較することにより、提案手法の解析精度を確認した。

最後に、高層ビルに火災が発生した際に、火災の規模や発生箇所の違いがビル全体の崩壊挙動に与える影響について検討した。解析結果からは、特定の場所の火災についてはそれが局所的なものであってもビル全体の崩壊挙動に大きな影響を与えることが分かった。解析によって得られた結果は、米国同時多発テロの際に観測されたWTC北ビルと定性的に調和する結果であった。シミュレーション結果からは、周辺ビルの被害に影響を及ぼす崩壊ビルからの瓦礫の挙動の追跡や、崩壊に要する時間の議論も可能であることがわかった。

最後に全体をまとめると、本研究で提案する改良型の応用要素法は、想定を超える強い地震動や大規模火災などの外力を受ける大規模鋼構造物の完全崩壊挙動を解析できるものである。複雑な断面形状の力学的特性を1要素として取り込む新しい要素の導入で、解析精度を維持したままで解析対象モデルの自由度を落とすことを可能にした。結果として、安価な電子計算機環境で、高精度にしかも短いCPU時間で大規模な構造物の複雑な破壊現象の解析が可能となった。本研究による提案手法は、大規模鉄骨ビルの崩壊メカニズムの理解の推進と防災対策に貢献するものとなっている。