

地震、津波荷重を考慮した構造物の時刻歴応答解析の基礎的手法の確立

徳島大学 学生会員 ○前野寛人 徳島大学 正会員 中田成智

1. 序論

近年、東北地方太平洋沖地震、それに伴う津波や2019年10月に千葉で甚大な被害をもたらした台風19号など大規模な自然災害が頻発しており、今後も南海トラフ巨大地震などが起こることが予測されている。被害を軽減するには、構造物の応答解析をすることであらかじめ倒壊する恐れのある構造物を知り耐震化を行うことや倒壊が多くみられた地域に人を発災後即時に送ることなどが考えられる。したがって、構造物の被害状況を想定することも大切であると考え。構造物の応答を知る手段として数値解析がある。現在、数値解析を用いた地震による荷重を考慮した応答解析は多数存在するが、複数の自然災害による荷重を考慮した応答解析プログラムはあまり見受けられない。そこで本研究の目的は、様々な自然災害における荷重を考慮した構造物の応答解析ができる基礎を構築することとする。

2. 構造物の動的応答解析手法

本研究では、構造物について立てた運動方程式を数値解析にて解くことで応答を求める。解析手順の概略は図-1のようになり、大きく4つのステップに分けられる。

- ・ステップ1として構造物を質点系モデルで表す。
- ・ステップ2として一般的には力学特性を考慮した力学モデルから剛性係数を算出するが本研究では力学特性に着目せず、固有振動数から剛性係数を算出する簡易的な方法によって、剛性係数を算定する。
- ・ステップ3として固有値解析から求めた1次および2次固有角振動数と各次の減衰定数をレーリー型減衰¹⁾を用いて、減衰マトリクスを算定する。
- ・ステップ4として構造物にかかる荷重を質点に与える。しかし、質点系モデルでは、質点のみにしか力、変位を与えることができないため、荷重が分布荷重であると等価な集中荷重に変換をしなければならない。質点荷重をNewmarkの β 法に入力することで変位を求め、構造物の応答を見る。

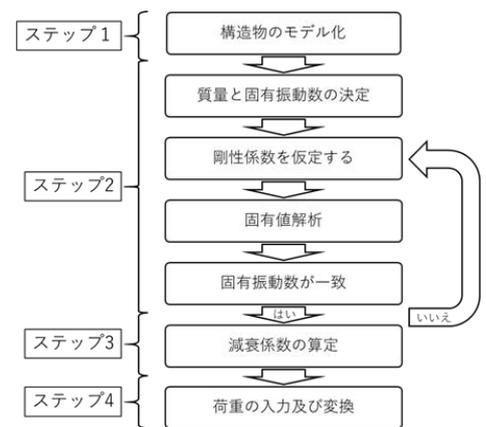


図-1：解析手順の概略

2.1. 分布荷重を等価な集中荷重に変換する過程

3階建の建造物を例にして変換過程を表したものが図-2となる。

- 全体に働く分布荷重を各要素に注目して、各要素について分布荷重の総和を求める。
- 各要素に働く等価な集中荷重からモーメントのつり合い式を用いて、作用点を算定する。
- モーメントのつり合い式と水平方向のつり合い式を用いて各ノードに働く等価な集中荷重に要素ごとに変換する。

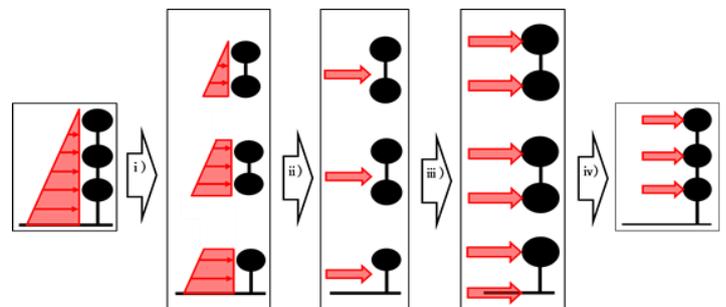


図-2：分布荷重を等価な集中荷重に変換する過程

- 要素ごとの各ノードの集中荷重を、モデル全体のノードにかかる集中荷重にノードごとの和を出すことにより変換する。

上記の i)～iv)の過程を踏むことで分布荷重を等価な集中荷重に変換することとする。

3. パラメータ設定

本研究で取り扱う構造物は、各階の天井高が 3m の 2 階建て RC 造の住宅とする。また、1 階と 2 階は同じ質量、面積、剛性とする。各階の質量は 192,000[kg]、剛性は 850,700[kN/m]、1 次固有振動数は 5.55[Hz]とする。

本研究では地震と津波を見立てた荷重を考慮するものとする。

地震荷重は、兵庫県南部地震の南北方向の加速度の値²⁾から求めた値を図-3のように集中荷重として 1 階部分に与える。津波荷重は津波波圧算定式³⁾から求めた値を三角形分布の荷重として図-4のように与える。

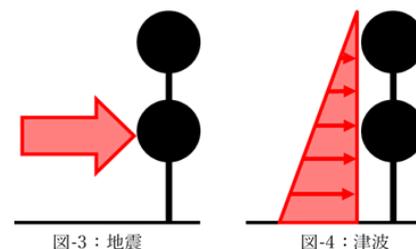


図-3：地震

図-4：津波

4. 数値解析の結果

地震荷重では解析時間 60 秒、時間ステップ幅 0.02 秒として入力し、応答解析を行った際の最上階の変位は図-5のようになった。また、津波荷重では解析時間 10 秒、時間ステップ幅 0.01 秒として入力し、応答解析を行った際の最上階の変位は図-6のようになった。図-5 及び図-6 より周期を求めた値が、1 次固有周期とほぼ一致した。

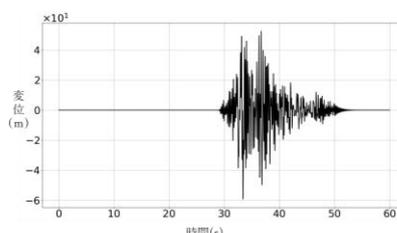


図-5：最上階の変位の波形

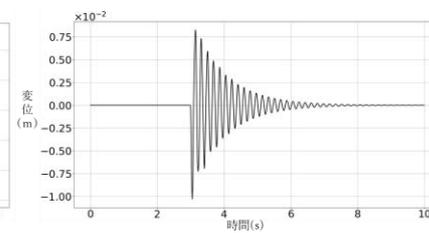


図-6：最上階の変位の波形

5. 考察

地震荷重、津波荷重を構造物に与えた時の応答解析は固有周期の観点から考察すると正しく行われたと考えられる。しかし、本研究では地震動波形から得られる地震荷重を地動として扱っていないこと、津波荷重がステップ入力であることなどの問題点も挙げられる。したがって、固有周期は一致していながらも、実際の構造物の揺れを表せていない結果となった。

本研究では、剛性係数や荷重の種類を変えて行った解析がないため、様々なパターンの比較をして、構造物として正しく応答解析ができているかの検証ができていない。よって、様々なパターンの応答解析を行う必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、様々な自然災害における荷重を考慮した構造物の応答解析ができる基礎を構築することを目的として数値解析を行った。1 次固有振動数と質量から剛性係数を調整した。そして、荷重を Newmark の β 法に入力することで応答解析を行った。この手法では固有周期は実際の構造物の揺れと同じ応答を解析できる。したがって、数値解析により多自由度の運動方程式を解くことができたため、本研究の目的である基礎を構築することはできたと考える。しかし、本研究の構造物の応答解析は実現象を表すにはまだまだ不十分となった。より実現象に近い解析を行うには、本研究では重みを置いていなかった構造物のモデル化をより詳細にすること、実際の構造物は三次元なので三次元解析を行うこと、線形解析ではなく非線形解析を行えるようにすることなどの問題点を解決しなければならない。

また、実際は地震が起こった後に津波も来るために、個別に応答解析をするのではなく地震と津波を一つの入力として、同じ解析で応答解析をすることが必要だと感じた。

参考文献

- 1) 柴田明德：最新耐震構造解析第 3 版，(2016)，森北出版株式会社
- 2) 気象庁：強震波形，1995 年兵庫県南部地震，観測地点(神戸中央区中山手)，
- 3) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドラインの検討会，(2017)