
3次元 FEM モデルを用いた非線形地震応答解析における 減衰モデルの検討

目 的

原子力建屋の3次元FEMモデルを用いた地震応答解析では、一般的にRayleigh減衰が使用される。Rayleigh減衰は、減衰比が振動数に依存する課題がある一方、幅広い振動数において一定の減衰比で評価できる拡張Rayleigh減衰が近年提案されている。今回、新たな試みとして拡張Rayleigh減衰を実機モデルに適用し、従来の減衰モデルと比較検討を行い、3次元FEMモデルに対する非線形地震応答解析における適用性を検証した。

主な成果

1. 3次元 FEM モデルの非線形地震応答解析

地震応答解析モデルは図1に示すような基礎及び地盤を一体化したモデルとし、鉄筋コンクリートの材料構成則や基礎底面の浮上に非線形特性を考慮した。入力地震動は、水平方向に2波、鉛直方向に1波を作成し、3方向の地震動を同時入力することとした。基礎底面位置における地震動の最大加速度は、水平1と水平2で $6.8[\text{m/s}^2]$ 及び鉛直で $3.5[\text{m/s}^2]$ である。これらの解析諸元により地震応答解析を実施した。

2. 減衰モデルの検討

減衰モデルは表1、図2に示す4ケースとし、既往研究でモード減衰（ひずみエネルギー比例型減衰）とほぼ等価な結果が得られている拡張Rayleigh減衰（ERay）を目標（精解）とするモデルとした比較検討を行った。なお、拡張Rayleigh減衰を実機モデルに適用する解析は著者の知る限り初めての試みであったが、妥当な解析結果が得られた。

全体Rayleigh減衰（Ray1, Ray2）では、基準振動数の設定次第で応答が過小や過大な結果となることが示された。要素別Rayleigh減衰（Ray0）では、拡張Rayleigh減衰（ERay）と同等か、あるいは保守性のある結果であることが示されたため、妥当性を有するモデルであるといえる。また、連成による影響が顕著に表れる場合では、むやみにRayleigh減衰の振動数を変えて、連成同士の一方向の減衰比を過大評価することは危険側の設定につながるため慎重であるべきと考えられる。そういったケースでは、拡張Rayleigh減衰モデル（ERay）は、幅

広い振動数において一定の減衰比で評価でき、実用性を有しかつ合理的な応答を得ることが可能であるため、将来的に期待できる減衰モデルであると考えられる。

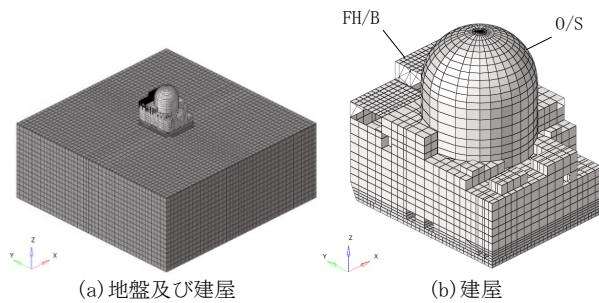
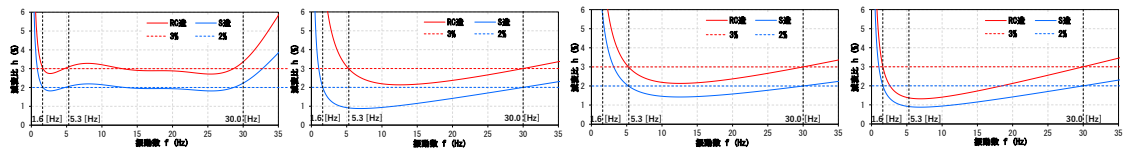


図 1 地震応答解析モデル

表 1 減衰モデルの解析ケース

ケース名	減衰モデル	設定する振動数
ERay	拡張 Rayleigh 減衰	ALL: $f_{lim}=35.0$ [Hz]
Ray0	要素別 Rayleigh 減衰	Gr1: $f_1=5.25$ [Hz], $f_2=30.0$ [Hz], Gr2: $f_1=1.61$ [Hz], $f_2=30.0$ [Hz]
Ray1	全体 Rayleigh 減衰	ALL: $f_1=5.25$ [Hz], $f_2=30.0$ [Hz]
Ray2	全体 Rayleigh 減衰	ALL: $f_1=1.61$ [Hz], $f_2=30.0$ [Hz]



拡張 Rayleigh 減衰[ERay] 要素別 Rayleigh 減衰[Ray0] 全体 Rayleigh 減衰[Ray1] 全体 Rayleigh 減衰[Ray2]

図 2 減衰モデル

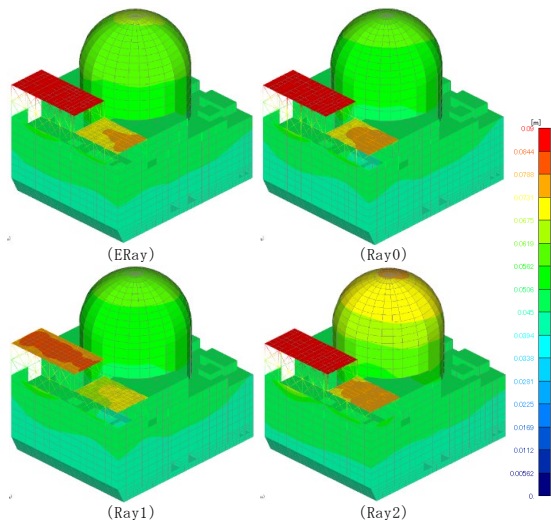


図 3 合成変位の最大値分布

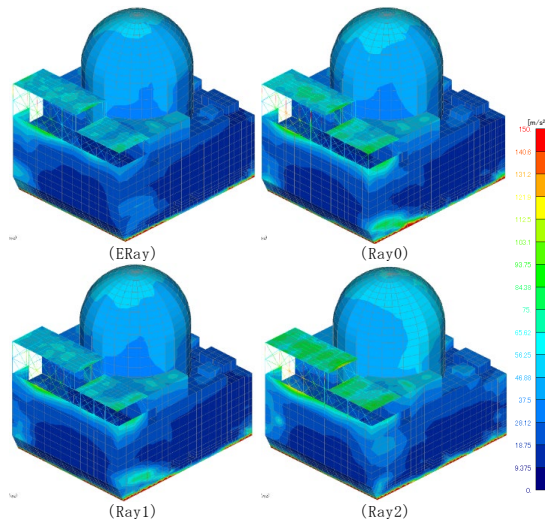


図 4 合成加速度の最大値分布

研究担当者	西内佑太，増田博雄 (株式会社四国総合研究所 土木技術部) 日根居亮佑，坂本潤哉 (四国電力株式会社 土木建築部)
キーワード	Rayleigh 減衰，拡張 Rayleigh 減衰，因果的履歴減衰，非線形解析，基礎浮上り，時刻歴応答解析，3 方向同時入力，3 次元 FEM モデル
問い合わせ先	株式会社四国総合研究所 経営企画部 TEL 087-843-8111 (代表) E-mail jigyo_kanri@ssken.co.jp https://www.ssken.co.jp/

[無断転載を禁ず]