

7) 国際地震工学センター

7) - 3 様々な特性を有する地震動に対する場合の応答変位予測法の精度向上に関する基礎的研究【安全・安心】

A Fundamental Study on the Improve the Estimation Accuracy of the Response Displacement for Seismic Motion with Various Characteristics

(研究開発期間 令和4～6年度)

国際地震工学センター
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineerin

構造研究研究グループ
Dept. of Structural Engineering

大塚 悠里
OTSUKA Yuri
北 佐枝子 (令和5～6年度)
KITA Saeko
中川 博人 (令和5～6年度)
NAKAGAWA Hioto
平石 久廣 (客員研究員)
HIRAISHI Hisahiro

小豆畑 達哉
AZUHATA Tatsuya
林田 拓己 (令和5～6年度)
HAYASHIDA Takumi

This study investigated how to improve the estimation accuracy of the response displacement based on equivalent linearization, considering the irregularities in the shape of the response spectrum, such as the differences in earthquake type and soil effect. The main finding of this study revealed the “Concentrated Areas of Response Displacement” that the maximum response displacement was almost constant regardless of the base shear coefficient in areas where the acceleration response spectrum decreases rapidly after the predominant period.

【研究開発の目的及び経過】

近年、建築物には大地震に対して、安全性の他に一定の継続使用性が要求される場合が多くなっている。このためには、非線形領域における建物の性能を地震時の応答変位と関係づけて捉えることが合理的である。また、世界的な傾向としても変形を基準にした構造性能の規定化は検討が進められており、例えば、米国では変形角に応じて Serviceability、Immediate occupancy 等の性能を定めている。このため、性能設計の普及発展のためには、応答変位を精度よく予測できる手法を確立することが重要であり、ひいては、建築物の性能及び入力される地震動の特性を把握することが必要となる。

地震動の特性は、震源域における特性や海溝型地震、内陸地震(直下型)などの地震動の種類(図1)、地盤の増幅特性(図2)が影響する。図1に強震観測記録による海

溝型地震、内陸地震(直下型)の地震動を、図2に解放工学的基盤に告示波を用い、文献¹⁾の方法により表層地盤の増幅特性を考慮した地震動の加速度応答スペクトル S_a を示す。地震時における建物の応答はこれらの地震動の特性の影響を大きく受ける。また、多くの場合で応答スペクトルは平滑一様でなく、地盤増幅等の影響を受け、ある周期帯で際立ったピークを有するような不規則なものとなる。

本研究では、地震動の特性による揺れの違いや応答スペクトルの形状の不規則性を考慮し、等価線形化法に基づく応答変位予測法の精度向上を目標に検討を行う。具体的には、(1)地震動の違いによる建築物の応答特性に関する検討、及び(2)応答スペクトルの形状に応じた建築物の応答変形に関する検討を行う。(1)、(2)の検討により、地震動による建築物の応答特性が明確にされた場

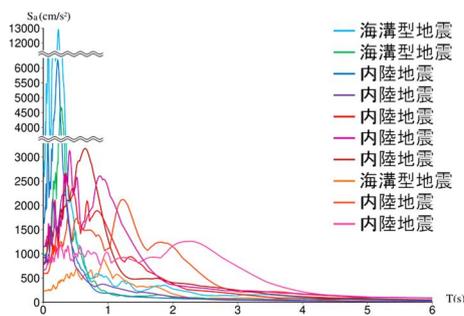


図1 地震動の種類

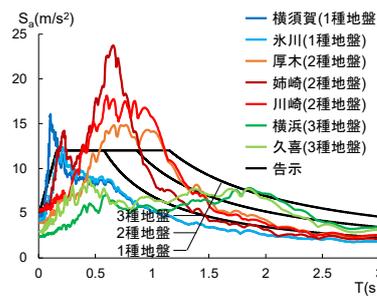


図2 表層地盤の増幅特性

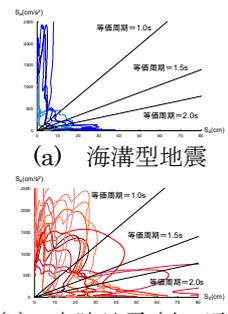


図3 地震動の種類ごとの S_a - S_d 曲線 (等価減衰定数=15%)

合、変位応答予測法の精度向上が見込める。しかしながら、設計時には地震動特性はある幅をもって想定されることが多い。そこで、(3) 地震動特性のばらつきを考慮に入れた必要余裕度に関する検討を行う。

【研究開発の内容】

- (1) 地震動の違いによる建築物の応答特性に関する検討：海溝型地震、内陸地震(直下型)の強震観測記録を収集し、建築物の応答変形の観点からこれらの地震動の差異を明らかにする。
- (2) 応答スペクトルの形状に応じた建築物の応答変形に関する検討：応答スペクトルの形状と建物の復元力特性を用いることで、建築物の保有する耐力と最大応答変形の間接関係を応答スペクトルに基づき論ずる。
- (3) 地震動特性のばらつきを考慮に入れた必要余裕度に関する検討：複数の地震動を用いた弾塑性応答結果を行い、漸増動的解析(IDA)とCornellの2つの方法から、建築物の最大応答変位を統計的に評価する。

【研究開発の結果】

- (1) 地震動の違いによる建築物の応答特性に関する検討(文献²⁾で成果を発表)

日本で観測された海溝型地震、内陸地震(直下型)に分類した地震の強震観測記録を収集し、加速度応答スペクトル S_a と変位応答スペクトル S_d の関係である S_a-S_d 曲線を用いて地震動の種類の違いによる応答スペクトルの形状の差異を明らかにした。図3に建物が有するが有する等価減衰定数として15%を仮定し算定した地震動の種類ごとの S_a-S_d 曲線を示す。短周期で S_a の値が最大値を示す地震動では、 S_d の増大に伴い S_a の値が急激に減少する。一方、比較的大きい周期で S_a の値が最大値を示す地震動では、 S_a-S_d 曲線が膨張するような形状を示す傾向があること明らかにした。収集した記録の範囲内では、前者は海溝型地震に比較的多く、後者は内陸地震(直下型)に多く見られた。

- (2) 応答スペクトルの形状に応じた建築物の応答変形に

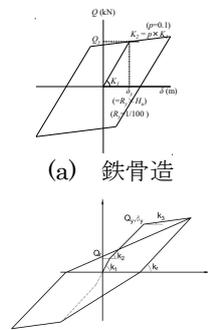


図4 検討に用いた上部構造の復元力特性

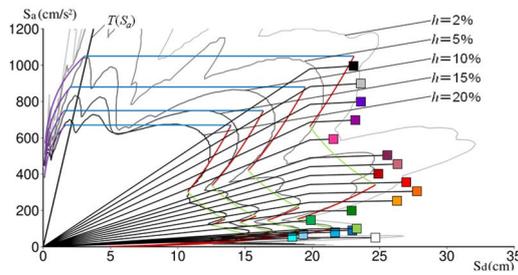


図5 ベースシア係数 C_B ごとの最大応答変形と S_a-S_d 曲線の関係 (JMA 神戸、鉄骨造 8階建てモデル)

関する検討(文献²⁾で成果を発表)

入力地震動に日本の代表的な強震観測記録を用い、上部構造には、鉄骨造建築物を想定した1質点系、復元力特性に純ラーメン構造の実状に近いとされている建物強度によらず降伏変形角が一定の Bilinear モデル(図4(a))を用いて時刻歴応答解析を行った。図5に入力地震動を JMA 神戸の NS 成分、上部構造を 8階建てモデルとし、建物強度(ベースシア係数 C_B)を 0.05~1.0 とした応答解析結果を示す。卓越周期 ($T(S_a)$) 後の加速度応答スペクトル S_a が急激に減少する領域において、ほとんどのベースシア係数 C_B で最大応答変形が同等ないし場合によっては狭い変形の範囲内で増減した。本研究では、この領域を「応答の溜り場」と呼称し、この領域では建物強度を大きくしても最大応答変形が一様または場合によっては狭い変形の範囲内で増減する。

- (3) 地震動特性のばらつきを考慮に入れた必要余裕度に関する検討(文献³⁾で成果を発表)

内陸地震(直下型)40波を対象に、変形性能のばらつきを考慮しつつ建築物の耐震性の検証を行った。検証においては、日本とエルサルバドル共和国の方法で設計された6階建て及び10階建ての鉄筋コンクリート造建築物(図4(b))を対象とし、漸増動的解析(IDA)とCornellの2つの方法による破壊確率を比較した。図6に変計角 $1/67$ (rad) に対する50年間の超過確率の比較を示す。簡略的なCornellの方法によっても、破壊確率を評価できることを明らかにした。

【参考文献】

- 1) 平石久廣他：首都圏における現行基準鉄筋コンクリート造建物の耐震性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第81巻、第722号、pp.769-777、2016
- 2) 大塚悠里、平石久廣：強震観測記録に基づく建築物の地震応答特性 応答の集中化現象に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第90巻、第829号、pp.304-313、2025.3
- 3) Eugenia Campos Carranza : Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings in San Salvador, El Salvador; Considering the Latest Seismic Hazard Analysis, A Master's Thesis、GRIPS、IISEE、BRI、2022.8

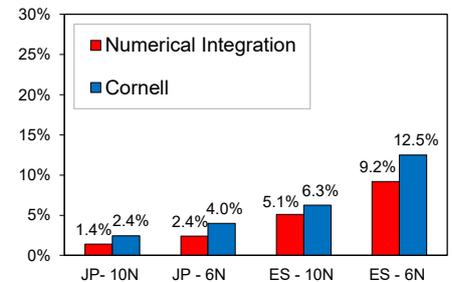


図6 変計角 $1/67$ (rad) に対する50年間の超過確率(鉄筋コンクリート造)