

連層耐震壁を有する10階建てRC造建物の解析モデルに応じた基礎構造部材の応力変動

(その1) 建物および解析モデルの概要

鉄筋コンクリート造 基礎構造部材 荷重増分解析
解析モデルカテゴリー 杭応力

正会員 ○津森崇行*1 同 中尾優樹*2
同 秋田知芳*3 同 稲井栄一*4

1. はじめに

杭基礎を含む下部構造は法的に2次設計を求められていない¹⁾ことなどから、大地震時における明確な目標性能や設計法など確立された方法がないのが実情である。大地震時の耐震性能を的確に評価するためには、上部構造、基礎構造部材、地盤の相互作用が考慮され、より実際に近い挙動が検討可能な一体モデルを使用することが望ましいと考えられている²⁾。これらの背景から鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)³⁾が刊行された。

指針(案)では基礎構造部材の設計応力を求めるための解析モデルは一体モデル、分離モデル1(複数杭モデル)、分離モデル2(単杭モデル)、分離モデル(単杭モデル一様地盤)の4つの「解析モデルカテゴリー」に分類されている³⁾(図-1)。杭基礎に関して、分離モデルは上部構造と下部構造の相互作用が考慮されていないことから、一体モデルと比べて応力が小さくなるケースが生じる。そこで、指針(案)では精度が良い一体モデルの応力に近づくように応力を割り増すことが示されており、その割り増し係数の値が表-1のように提案されている³⁾。割り増し係数は杭に作用する変動軸力の大きさによって使い分けられている。そこで、本研究では、軸力変動の大きい10階建て解析用建物を用いて、分離モデルに対する一体モデルの杭の応力の比である割り増し係数を算出し、指針(案)で示されている割り増し係数の妥当性を検証する。本報その1では建物および解析モデルの概要について述べる。

表-1 解析モデルによる杭の応力の
変動による割り増し係数³⁾

| モデル | 検討部位 | 曲げモーメント | せん断力 |
|--------|------|----------------------------|----------------------------|
| 分離モデル1 | 杭頭 | 1.0 | 1.5 (1.0) ^{*3} |
| | 杭中間部 | 2.0 (1.0) ^{*1} | |
| 分離モデル2 | 杭頭 | 2.0 (1.0) ^{*2} | 1.5 (1.0) ^{*4} |
| | 杭中間部 | 2.0 (1.0) ^{*1} | |

*1: 曲げモーメントが杭頭<杭中間部のとき
*2,*4: 杭にかかる変動軸力が長期軸力の20%以内の時
*3: 杭にかかる変動軸力が長期軸力の50%以内の時

表-2 地盤概要⁴⁾

| 地盤種別 | 土質 | 深度(m) | N値 | Cu(kN/m ²) | Φ(°) | ρ(g/cm ³) | Vs(m/s) | ν | qu(kN/m ²) | u |
|----------|----|-------|----|------------------------|------|-----------------------|---------|-----|------------------------|-----|
| 粘土 | C | 0~8 | 3 | 40 | 0 | 1.6 | 130 | 0.4 | 37.5 | 20 |
| シルト混じり細砂 | S | 8~12 | 10 | 0 | 29 | 1.8 | 150 | 0.4 | 125 | 50 |
| 細砂 | S | 12~18 | 20 | 0 | 35 | 1.8 | 200 | 0.4 | 250 | 100 |
| 砂礫 | S | 18~50 | 50 | 0 | 47 | 2 | 400 | 0.4 | 625 | 150 |

C: 粘性土 S: 砂質土
Cu: N値から算定された腐植土層、粘性土層の延着力
φ: N値から算定された砂質土層の内部摩擦角
Vs: K-NET観測点の速度構造に基づくせん断波速度
ν: ポアソン比
qu: 一軸圧縮強度(=12.5×N値)
u: 非線形パラメータとし、深度に応じてu=20~150とされている

2. 解析対象概要

解析対象建物は、既往の研究⁴⁾を参考にした杭基礎を有する10階建てのRC造解析用建物である。図-2に基準階伏図、図-3に軸組図(B通り)を示す。地下階はなく、桁行方向(X方向)が5スパンの純ラーメン構造、梁間方向(Y方向)が3スパンの連層耐力壁付きラーメン構造である。杭は現場打ちコンクリート杭(1900φ)であり、杭長は20mである。地盤は第2種地盤である。地盤概要⁴⁾を表-2に示す。

3. 解析概要

解析モデルの模式図を図-4に示す。上部構造は、柱部材や梁部材をフレーム置換し、壁部材は耐震壁をエレメント置換しモデル化する。床スラブは剛床仮定とする。基礎梁は弾性としてモデル化する。杭は参考文献^{2),4),5)}を参考にして100cmずつの要素に分割し、要素の節点に水平地盤ばねと杭周面摩擦ばねを取り付け、杭先端には杭先端地盤ばねを取り付け、杭周面の地盤の非線形性を考慮する。

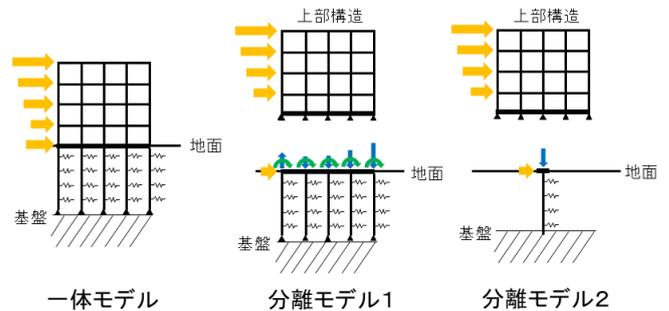


図-1 解析モデルカテゴリー³⁾

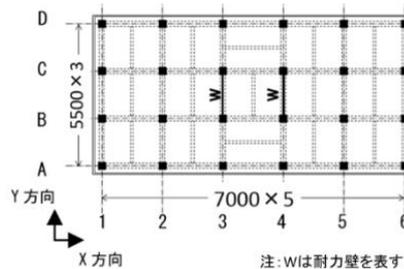


図-2 基準階伏図

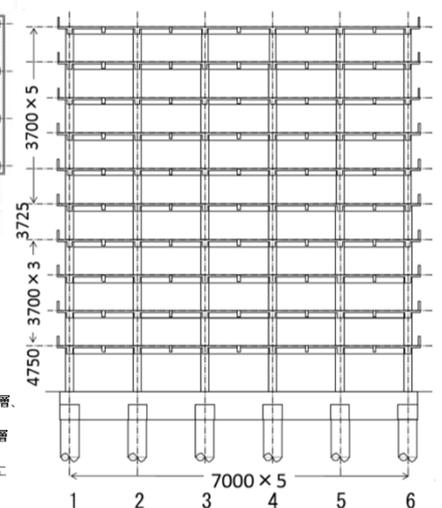


図-3 軸組図(B通り)

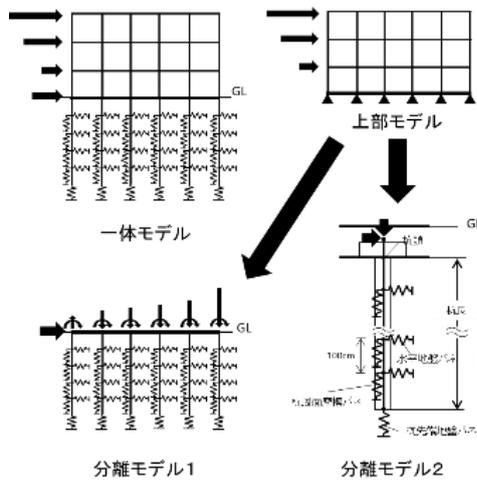


図-4 解析モデルの模式図

図-5 に水平地盤ばねの骨格曲線のモデル化を示す。水平地盤ばねは、参考文献⁵⁾に基づいて水平方向の極限地盤反力 P_{max} を求め、水平地盤反力 P と水平変位 d の関係を表す曲線を描き、 $d=0.1\text{m}$ のときの地盤反力を F_u とし、 $1/3F_u$ となる点を第1折れ点の地盤反力 F_c とする。また、第2折れ点後の剛性を初期剛性の $1/10000$ として、面積が等価となる点を第2折れ点とし、そのときの地盤反力を塑性地盤反力 F_y とした。

図-6 に杭周辺摩擦ばねのモデル化を示す。杭周面摩擦ばねは極限荷重 R_F を地盤の種類ごとに求め、その時の杭の沈下量が 0.01m (粘性土)または 0.02m (砂質土)である点と、極限荷重 R_F の 0.8 倍の荷重の時の杭の沈下量が粘性土または砂質土である点を求め、トリリニアでモデル化する^{2),4)}。なお、極限荷重以降の剛性は 0.001 としている。

図-7 に杭先端ばねのモデル化を示す。杭先端ばねは、極限荷重 R_{pu} を求め、その時の杭先端沈下量が杭径の 0.1 倍である点と極限荷重 R_{pu} の 0.5 倍の荷重の時の杭先端沈下量が S_p である点を求め、トリリニアでモデル化する^{2),4)}。なお、極限荷重以降の剛性は 0.001 としている。図-8 に杭のモデル図、図-9 に杭断面のモデル図を示す。杭部材は杭体と等価な剛性を持つ線材に置換し、軸方向に対して、部材を垂直に分割する材軸直交分割モデルを用いる。杭断面は 1900ϕ の杭を 100 分割したFiberモデルでモデル化した。また、杭の上部は主筋が 18 本入っているのに対して杭の下部は主筋が 12 本入っている。なお、本モデルでは杭長は杭頭から杭先端までの長さとした。

本解析では、立体フレームモデルを用いた荷重増分法による静的非線形解析を行う。各階に作用する水平力分布は A_i 分布に基づいて設定する。一体モデルは、基礎部分に作用する水平力は基礎梁部分の重量に水平震度 $k_0=0.1$ を乗じて算出する。分離モデル1は、上部モデルを増分解析し得られた支点反力と1階柱脚の曲げモーメントを下部モデル

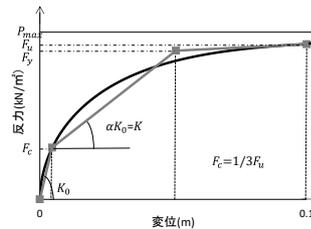
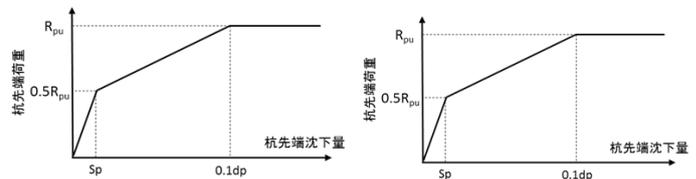


図-5 水平地盤ばね



粘性土 $R_F = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L_C \cdot \phi$ $R_{pu} = 100 \cdot N_{ave2} \cdot A_p$
 砂質土 $R_F = \frac{10}{3} \cdot N_S \cdot L_S \cdot \phi$ $S_p = 0.1d_p \left[\alpha \frac{R_p/A_p}{(R_b/A_b)_n} + (1-\alpha) \frac{R_p/A_p}{(R_b/A_b)_n} \right]^n$

N_S : 杭周地盤のN値(≤ 30) N_{ave2} : 平均N値 A_p : 杭断面積(m^2)
 L_S : 砂質土部分の長さ(m) $(R_p/A_p)_u$: 極限杭先端荷重(kN/m²)
 ϕ : 杭周長(m)
 q_u : 一軸強度(kN/m²) d_p : 杭径(m) R_p : 荷重(kN)
 L_S : 粘性土部分の長さ(m) α : 0.12 n : 3.31

図-6 杭周辺摩擦地盤ばね

図-7 杭先端地盤ばね

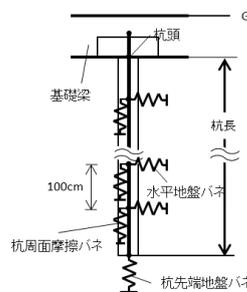


図-8 杭のモデル図

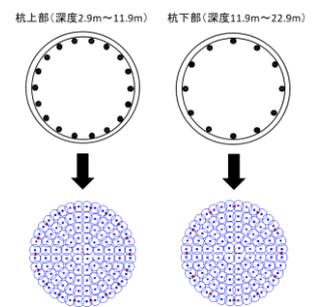


図-9 杭断面のモデル図

ルの基礎梁位置に作用させ、水平力を与え増分解析を行う。分離モデル2は、上部モデルを増分解析し得られた支点反力を各杭に作用させ、水平力を与え増分解析を行う。分離モデル2では杭頭は固定とする。本研究では、2次設計相当の大地震時における検討を行うためベースシア係数 $C_b=0.3$ 時の応力を算出する。なお、本研究では、水平力は上部構造と基礎の慣性力のみを考慮し、地盤変形による杭応力は考慮しないこととする。

4. まとめ

本報その1では本研究で使用した10階建てRC造解析用建物の概要と、解析方法について説明した。その2では解析結果を基に耐震設計指針案で示されている割り増し係数の妥当性の検証を行う。なお、参考文献はその2にまとめて記載した。

*1 山口大学大学院創成科学研究科 元大学院生
 *2 山口大学大学院創成科学研究科 大学院生
 *3 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)
 *4 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)

Former Graduate Student, Graduate School of Sci. and Tech. for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.
 Graduate Student, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.
 Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.
 Prof, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.