

Ⅲ - B29

軸力を考慮した杭の解析に関する一考察

東日本旅客鉄道（株） 正会員 香川 英司

東日本旅客鉄道（株） 正会員 佐藤 豊

1. はじめに

大規模地震を想定した杭基礎の構造解析では、地盤抵抗や杭体の曲げ剛性の非線形性を考慮した解析手法が導入されているが、地盤の非線形性を考慮した解析を行う際の構造物の非線形性の評価については、部材の剛性低下を一樣かつ線形で考えることが多い。今回、軸力をパラメータとして、杭基礎の一部を切り出した柱体の静的弾塑性解析を行い、終局変位と軸力比の関係、軸力比と塑性ヒンジ長との関係について検討した結果を報告する。

2. 柱体による解析例

(1) 柱体の形状

解析に用いたRC柱体のモデルは、 $\phi=130\text{cm}$ の円形断面で、柱高 $h=320.6\text{cm}$ 、 $(l/d=2.8)$ 、コンクリートの材料強度 $f'_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$ 、鉄筋配置はD29 $\times$ 24本（SD345）である。柱体は橋脚基礎の杭体の一部を切り出した断面と設定しており、軸力をパラメータとした杭体の変形性能を確認する事を目的としている。軸力（軸力比）は0tf、100tf（0.036）、200tf（0.07）、398.2tf（0.14）、530tf（0.19）の5通りとした。柱体のモデルは図-1のように節点を配置し、天端に変位増分により静的水平载荷を行った。

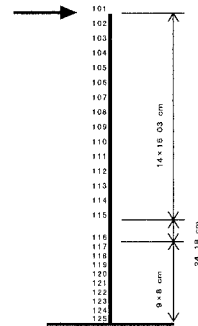
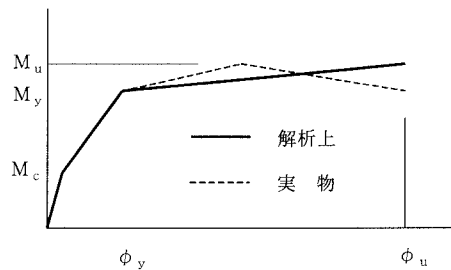


図-1 柱体のモデル

(2) 骨格曲線の仮定

部材の非線形性はトリリニアで考慮することとし、初期剛性および第2剛性倍率については、断面算定により算出した $M-\phi$ により決定している。実際の杭体の実験結果から見た骨格曲線は、降伏耐力となったのち最大耐力まで耐力は増大し、それを過ぎて耐力は降下して終局に至る。しかし、解析を行っていく過程で耐力低下勾配を取り扱う場合、解析結果が安定しないことがある。そこで第3勾配を与える際、降伏耐力（変位）を過ぎてから耐力が微増するように骨格を仮定し、終局変位時において最大耐力になるように設定することとした（図-2）。また、高軸力下では、降伏変位を過ぎて耐力は急激に低下し圧壊することが知られている。

図-2 M- ϕ 関係概念図

(3) 第3勾配の設定手順

第3勾配の設定にあたっては、部材の回転角から終局変位を決定した。終局時の回転角は、「炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強工法設計・施工指針²⁾」により定義することとした。地下鉄函

$$\theta_{CFuk} = \{3.9 - 8.3 \cdot \eta + 0.3 \cdot (V_{yd} \cdot l_a / M_{ud} / 100)\} \cdots \text{式-1}$$

ここに θ_{CFuk} : 部材保有角 (rad) η : 軸力比 (σ_d / f'_{cd}) $V_{yd} \cdot l_a / M_{ud}$: 曲げせん断耐力比

体RC柱では、柱の鉛直力保持と函体に有害な変形を生じさせない限界から補強部材角を定めており、部材の回転角（部材保有角）は、この指針で用いられている計算式（式-1）を準用した。

キーワード：杭基礎，静的解析，骨格曲線

東京都渋谷区代々木2-2-2 TEL 03-5334-1288 FAX 03-5334-1289

終局時の回転角から求めた終局変位と、事前に行った断面算定で求められた最大耐力が一致するまで、第3勾配を変化させながら収束解析を行い、両者が一致した時点の第3剛性倍率を採用した。（なお、1回目の収束解析の第3勾配は初期剛性の1/1000程度と仮定している。）

3. 解析結果

表1に解析条件と解析結果を示す。終局時における柱体下端での曲率じん性率および、柱体上端でとった変位じん性率の算定においては、それぞれ降伏時および終局時の鉄筋の抜け出しを考慮している。なお、曲率の定義は、各部材断面で算出される曲率のうち、降伏曲率を超えた範囲を塑性ヒンジ区間とし、その区間の曲率を平均して求めた（式2）。

$$\phi_{\text{AVE}} = \{ \phi_1 / 2 + \phi_2 + \dots + \phi_{n-1} + \phi_n / 2 \} / n - 1$$

…式2

（1）変位と曲率の関係

変位と曲率の関係を図3に示す。柱の天端の変位 δ を横軸、塑性ヒンジ領域の平均曲率 ϕ を縦軸にとり、柱の降伏時(1 δ)から終局時あるいは10 δ までを示している。軸力の増加に伴って、降伏変位と塑性ヒンジ領域の曲率も増していくが、高軸力になるほど、変位に対する終局曲率は大きくなり、反対に終局変位は増加しない。軸力200.0tfと398.2tfについては、終局時の曲率はほぼ同じ値となった。

（2）軸力比と塑性ヒンジ長の関係

図4は軸力比と塑性ヒンジ長の関係を示したものである。軸力比が大きくなるにつれて、終局時と10 δ 時の塑性ヒンジ長が近い値になっていく。塑性ヒンジ長を求める算定式³⁾によるものよりも短くなった。

表1 解析条件と解析結果総括表

	case1	case2	case3	case4	case5
軸力(tf)	0.0	100.0	200.0	398.2	530.0
軸力(kgf/cm ²)	0.0	7.5	15.1	30.0	39.9
降伏耐力(kN)	228.22	265.54	300.61	364.62	402.19
終局耐力(kN)	285.76	321.76	352.95	405.95	434.03
降伏曲率(cm ⁻¹)	3.11E-05	3.32E-05	3.57E-05	3.99E-05	4.31E-05
終局曲率(cm ⁻¹)	7.00E-04	7.80E-04	9.11E-04	8.94E-04	1.02E-03
降伏変位(cm)	0.970	0.990	1.020	1.130	1.190
終局変位(cm)	14.16	13.22	12.20	10.28	9.00
抜け出しを考慮した降伏変位(cm)	1.195	1.223	1.268	1.481	1.525
抜け出しを考慮した終局変位(cm)	14.437	13.480	12.503	10.620	9.370
第二剛性倍率	0.1501060	0.1547705	0.1556704	0.1572855	0.1528850
第三剛性倍率	0.00115	0.0009	0.00065	0.0006	0.00046
終局曲率じん性率	22.5	23.5	25.5	22.4	23.7
終局変位じん性率	12.1	11.0	9.9	7.2	6.1

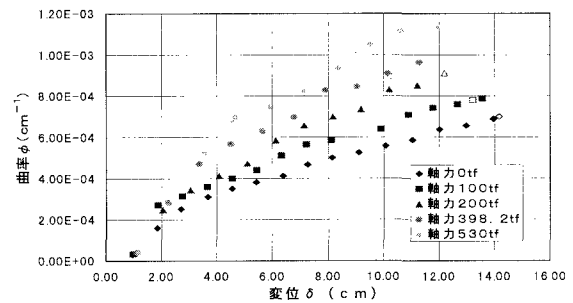


図3 変位と曲率の関係

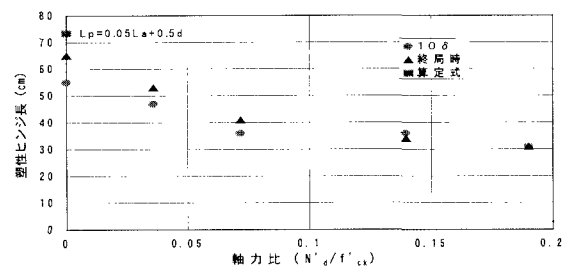


図4 軸力比と塑性ヒンジ長の関係

4. おわりに

軸力ごとに収束解析を行いながら、部材の骨格曲線の第3勾配を設定し解析を行った。終局時の曲率は高軸力になるほど大きくなり、また軸力比が大きくなると塑性ヒンジ長が短くなる傾向がみられる。

参考文献

- 1) 佐藤豊, 古山章一, レベル2地震を考慮した基礎の耐震設計の事例 第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集 平成10年1月
- 2) 炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強工法設計・施工指針 財団法人鉄道総合技術研究所 平成9年1月
- 3) Corley, W.G., "Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams," ASCE, Proceedings, V.92, ST5, Oct. 1966