

レベル2地震を考慮した基礎の耐震設計の事例

佐藤 豊¹・古山 章一²

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター（〒151 東京都渋谷区代々木2-2-2）

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター（〒151 東京都渋谷区代々木2-2-2）

1. 基礎構造物の耐震設計

当社では、レベル2地震を考慮した耐震設計法を実施している。本文は杭基礎における事例をもとに耐震設計法の現状を紹介する。

基礎の耐震設計においては、建造物設計標準解説 基礎構造物（東日本旅客鉄道株式会社 昭和62年4月）に基づいてディテールを定め、さらにレベル2地震に対する安全性の照査を行うこととしている。

部材の安全性の照査については、初期剛性による線形解析結果に基づき、耐力照査を行うことを基本としていた。しかし、杭基礎を有する壁式橋脚の線路直角方向、背の低い橋脚等、上部構造物や基礎の安定上の降伏震度が高い場合には、杭が先行降伏する。杭の先行降伏を防ぐため、杭径の拡大、鉄筋量増による耐力増を図っても、地盤に対して杭の剛性が増すため杭が負担する断面力が増える。一方、鉄筋コンクリート部材においては、ある点で発生モーメントが降伏モーメントに達すると、それ以降は塑性ヒンジとなり、モーメントは再配分され、エネルギーは部材の変位・変形へと変換される。地中に存在する構造物は地盤ばね等で支持され、地盤と構造物の相互作用により、地盤の負担割合が増加するものと考えられる。

また、構造物の水平変位は線形剛性による変位よりも増大するが、地盤の降伏が発生しない荷重強度では、基礎構造物が崩壊しなければ、その支持機構を失わないものと考えられる。

そこで、杭部材が先行降伏することを許容し、上部構造物が降伏する場合と降伏しない場合に分け、以下のような考え方でレベル2地震に対する安全性の照査を行うこととしている。

1) 上部構造物が降伏する場合

上部構造物の設計震度を用い静的弾塑性解析（荷重増分法）を行い、杭部材が終局曲率および終局耐力に至らないことを確認する。

2) 上部構造物が降伏しない場合

静的弾塑性解析（荷重増分法）を行い、荷重-変位関係を求め、設計塑性率からエネルギー一定則を用いて線形応答の最大値を求め、この値が設計震度を越えることを確認する。

本文では1. 1) 上部構造物が降伏する場合の弾塑性解析事例について説明する。

2. 弾塑性解析事例

モデルとした橋脚は、図-2のとおり杭径 $\phi=1.3\text{m}$ 、杭本数4本、杭長43.5mの場所打ちコンクリート杭基礎を有する壁式橋脚である。橋脚く体の降伏震度を0.4として静的弾塑性解析を行った。

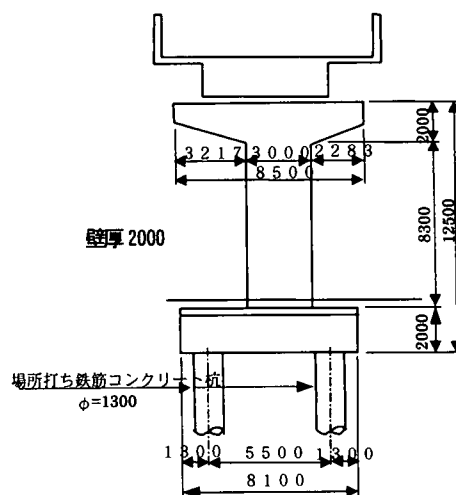


図-1 橋脚概要図（橋軸直角方向）

杭体のM- ϕ 関係については以下のとおりとした。

M_u ：死荷重載荷時の軸力に対して、コンクリートの圧縮縁のひずみが0.0035となったときの値

ϕ_u ：部材じん性率と曲率じん性率との関係式¹⁾より

第三勾配を導き算出（曲率塑性率 $\mu' = 23.3$ ）

実際のコンクリート部材のM- ϕ 関係は、曲率 ϕ を増加させると、降伏耐力に達した後、耐力は最大耐力まであがり、そこから耐力が下がって終局に至る。しかし、

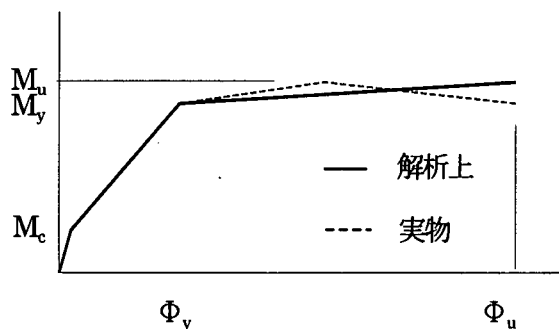


図-2 M-φ関係概念図

解析上は、図-2に示すとおり降伏を過ぎて、耐力は初期勾配の1.5～3/1000で単調増加させる。なお、解析上のM-φ曲線は死荷重作用時の軸力下でのものであり、軸力変動については考慮していない。終局の定義は終局曲率とした。

以上の定義より、設計では、終局曲率と終局耐力により比較を行う。

表-1 土質諸数値

層別	層厚(m)	N値	γ (tf/m^3)
B層	6.38	2	1.5
As1層	7.10	33	1.9
Ag1層	5.85	34	1.9
Ac1層	7.40	5	1.2
As2層	3.85	21	1.9
Ac2層	9.05	15	1.69
Dg1層	3.80	50	1.9
Dc1層	1.75	35	1.8
Ds1層	1.04	50	1.7

復元力特性：軸力変動を考慮したトリリニア

地盤は表-1に示すとおり約42mにわたって軟弱な表層となっている。地盤のばねは鉛直、水平とも逆行型バイリニアとした。上層の砂質土については累積損傷度理論に基づき、液状化の検討を行い、土質諸数値を低減した。

剛性低下に着目すると、剛性は軸力変動を考慮する場合、塑性域(杭頭)で初期剛性の約2.5%であった。また、塑性域の範囲は杭頭から1D(D=1.30m)の範囲以内である。剛性低下の分布を長さについて加重平均で評価すると、約40%に低減する結果となる。また、地盤ばねが大きい地盤中の杭の剛性低下率は小さく、地盤の負担割合が大きいと考えられる。

次に、橋脚く体の降伏震度載荷時の最大曲率となった杭体の位置(杭頭)における状態を表-2に示す。

橋脚く体の降伏震度に達した時の杭体の状態は、引き抜き側の杭頭部はすでに降伏している。曲率塑性率は3.5であり、終局曲率塑性率(23.3)より小さい。

図-3に橋脚天端の水平変位量を示す。

荷重レベルが低い要因はあるが、線形解析と非線形解

析による変位差はわずかである。しかし、上部構造物の降伏震度が高くなると変位差の増大が考えられる。

表-2 橋脚く体降伏時(kh=0.4)の杭体の状態

解析方法	線形解析		非線形解析	
	押込み	引抜き	押込み	引抜き
M_d	90.04	166.07	90.04	135.81
M_y			460.88	105.81
M_u			474.67	163.46
Φ_d			3.585E-5	8.072E-3
Φ_y			4.728E-3	2.288E-3
軸力	752.53	-300.46	752.53	-302.53
せん断力	87.31	86.20	77.81	76.52

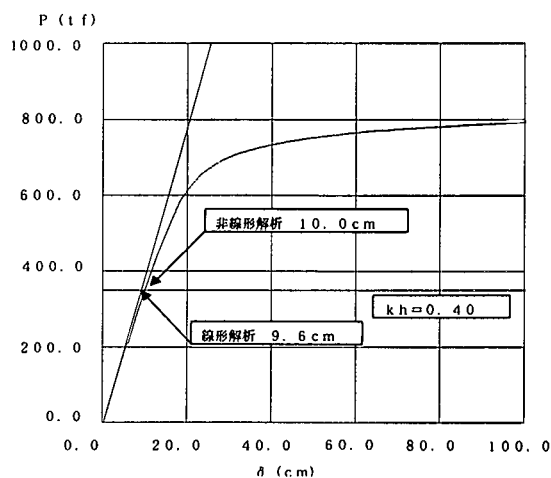


図-3 橋脚天端の荷重-変位

3. まとめ

本文における解析結果より以下のことがわかった。

- ・杭が降伏耐力以上の断面力になると、杭頭部に塑性ヒンジが発生し、その剛性は約2.5%まで低下した。
- ・杭の剛性低下率を平均すると40%程度となった。
- ・杭の剛性は地盤ばねの低い位置で小さく、高い位置ではそれほど下らない。
- ・今回の解析における荷重規模においては、変位への影響は少なかった。

参考文献

- 1) 松田 猛：弾塑性解析によるRCラーメン高架橋の検討、構造物設計資料 No. 81 pp. 16-19 1985. 3