

## 杭耐震性評価チャートの妥当性検討-その2

芙蓉コンサルタント 正会員○小倉 和壽, 須賀 幸一  
西日本高速道路 特別会員 明石 達雄, 富田 雄一  
愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

### 1. はじめに

南海地震を対象として開発された杭耐震性評価チャート<sup>1)</sup> (以下, 杭評価チャートと称する) を適用<sup>2)</sup> した, 高知道及び徳島道の橋梁杭基礎の中から代表的な橋梁 (E 橋, N 橋) を選定し, 線形解析を行うことによって, 杭評価チャートの妥当性について検討<sup>3)</sup> した. 本論文では, さらに地盤と杭の非線形特性を評価するため, 非線形解析を行い, 杭評価チャートの妥当性について検討した.

### 2. 検証のための解析モデル (非線形) の概要

#### (1) モデル

検証モデルは, 線形解析<sup>3)</sup> と同じものとした.

#### (2) 非線形特性

地盤は地盤ばねとしてモデル化し, 図-1 に示すようなバイリニア型とした. 場所打ち杭の曲げモーメントと曲率  $\phi$  の関係は, 図-2 に示すようなトリリニア型の非線形特性とした. 図中の 3 つの曲線は鉄筋の段落としに対応している.

#### (3) 荷重条件

非線形解析に用いる設計水平力は, プッシュオーバー解析を行い, 杭頭部で  $M_y (\phi d / \phi_y = 1)$  となる水平力  $P$  を求め, それを慣性力として作用させる. 表-1 に各橋梁での設計水平力を示す. 地盤変位については, 線形解析と同じものとした. 非線形解析では, 「地盤変位」と「慣性力」のそれぞれの杭の応答の重ね合わせができないため, 「地盤変位」と「慣性力」を同時に作用させ, 応答を算出した.

表-1 設計水平力の算定

| 橋 梁 | モデル | P(kN)  | $\phi d (1/m)$ | $\phi_y (1/m)$ | $\phi d / \phi_y$ |
|-----|-----|--------|----------------|----------------|-------------------|
| E 橋 | 非線形 | 1093.5 | 0.0027         | 0.0027         | 1                 |
| N 橋 | 非線形 | 1505.5 | 0.0027         | 0.0027         | 1                 |

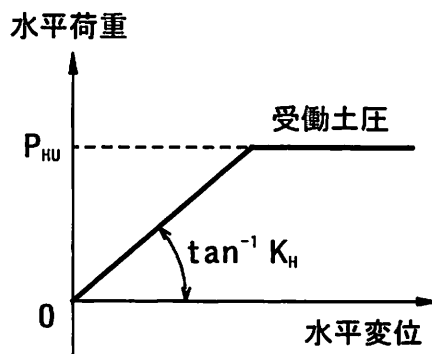


図-1 水平ばね

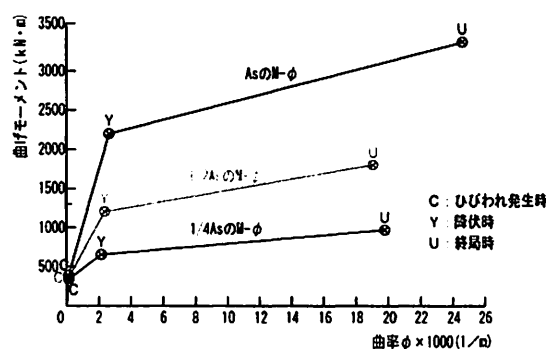


図-2 杭の曲げモーメントと曲率の

### 3. 2層系地盤の非線形解析と杭評価チャート (線形解析) との比較

図-3, 4 に E 橋と N 橋の非線形解析の結果を示す. 図は, a) 杭の水平地盤反力とその上限値の比, b) 検証解析 (非線形) とチャート解析 (線形) の曲げモーメント図, c) 杭の塑性率をそれぞれ表したものである. 非線形解析においては, 部材の非線形特性 (トリリニア型) の  $M \sim \phi$  関係から, 塑性率 ( $\phi / \phi_y$ ) を求めた.

#### (1) E 橋の解析結果

E 橋については, 杭頭部の約 5m の地盤が塑性化している. また杭先端の地盤にも大きな水平地盤反力が生じているが, 線形の範囲内である. 図-3 c) 杭の塑性率のから, 杭頭部と杭先端部に杭の塑性化が生じていることが分かる. 杭頭部では, 杭評価チャートの解析 (線形) の塑性率 1.7 に対し, 検証解析 (非線形) の塑性率は 5.2 である. 杭先端部については杭評価チャート解析 (線形) の塑性率 13.5 に対し, 検証解析 (非線形) の塑性率は 5.2 となった.

#### (2) N 橋の解析結果

N 橋については, 杭頭部・杭先端部に大きな水平地盤反力が生じているが, 地盤は塑性化はしていない. 杭

先端部には杭評価チャート解析（線形）よりも小さいモーメントが生じているのは、杭先端部の杭体が塑性化しているためである。杭頭部では、杭評価チャート解析（線形）の塑性率 1.4 に対し、検証解析（非線形）の塑性率が 3.0 である。杭先端部では、杭評価チャート解析（線形）の塑性率 2.3 に対し、検証解析（非線形）の塑性率も 2.3 である。杭頭部に関しては、E 橋と同様に杭評価チャート解析よりも、検証解析（非線形）が大きな塑性率を生じている。また、杭先端部に関しては、ほぼ同じ塑性率でとなった。

#### 4. 杭評価チャートの評価

表-2 に E 橋と N 橋における解析結果をまとめた。杭評価チャートの解析（線形解析）と検証解析（線形解析）、検証解析（非線形解析）における、杭頭部、杭先端部の塑性率を示す。杭頭部では、検証モデル（線形、非線型）ともに、杭評価チャートの解析より大きな塑性率を与えている。杭頭部付近の地盤の N 値が表層厚全体の平均 N 値よりも小さいケースでは、慣性力による杭頭モーメントが大きくなり塑性率も大きくなると考えられる。また、非線形解析の結果から、杭頭付近の地盤が塑性化すると、杭体が塑性率が大きくなる。この傾向は軟らかい地盤に顕著である。これに対して、杭先端部では表層地盤が厚く、軟らかいケースでは、杭評価チャートが大きな塑性率を示す。

#### 5. 結 論

線形、非線形解析の結果から、杭先端部に関しては、杭評価チャートが大きな評価を与えること、杭頭部に関しては、小さな評価を与えるケースがあることがわかった。ただ、地震時の杭の脆弱性を抽出する杭評価ランク（＞塑性率 4）とすれば、チャートの評価は妥当といえる。今後は、杭頭部付近における N 値の影響や地盤の非線形特性の影響をチャートに反映させる方法などを検討していきたい。

**参考文献：**1) 森伸一郎，山崎竜馬：既存杭基礎の地震時地盤変位に対する耐震性評価チャートの開発，第 43 回地盤工学会研究発表会，2008 2) 須賀幸一，小倉和壽，明石達雄，森春樹，富田雄一，明石行雄，森伸一郎：既設道路橋杭基礎の地震時地盤変位に対する耐震性評価チャートの適用，第 63 回年次学術講演会講演概要集，2008.9 3) 須賀幸一，小倉和壽，明石達雄，富田雄一，森伸一郎：杭耐震性評価チャートの妥当性検討-その 1，平成 21 年度四国支部技術研究発表会，2009.5（投稿中）

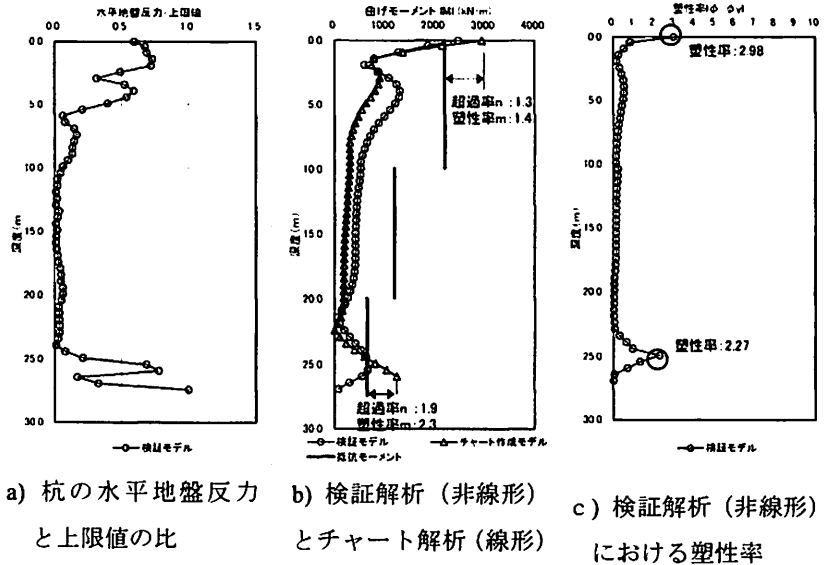


図-4 非線形解析の結果(N 橋)

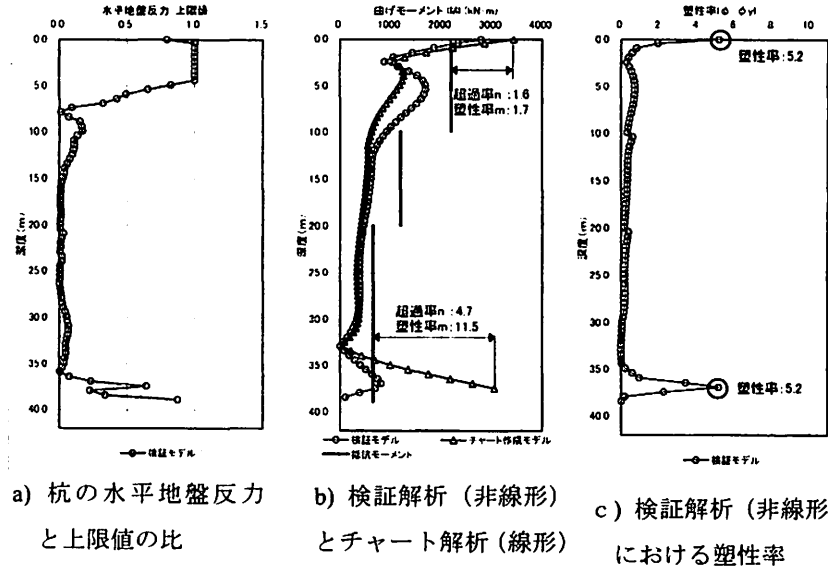


図-3 非線形解析の結果(E 橋)

表-2 解析結果(塑性率)

| 橋梁 | 着目点 | 鉄筋量   | 杭評価チャート解析(線形) | 検証解析(線形) | 検証解析(非線形) |
|----|-----|-------|---------------|----------|-----------|
| E橋 | 杭頭部 | As    | 1.7           | 2.0      | 5.2       |
|    | 杭先端 | 1/4As | 11.5          | 3.5      | 5.2       |
| N橋 | 杭頭部 | As    | 1.4           | 2.2      | 3.0       |
|    | 杭先端 | 1/2As | 2.3           | 2.1      | 2.3       |