

杭耐震性評価チャートの妥当性検討-その1

芙蓉コンサルタント 正会員 須賀 幸一, 小倉 和壽
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

構造物の基礎杭は、地震の際に地盤振動や液状化側方流動による側方地盤変位を受ける。想定される南海地震に備えて、膨大な数の既存杭基礎の地震時地盤変位に対する耐震安全性を、簡易にスクリーニングできる手法が必要である。筆者等は、南海地震を対象とした杭耐震性評価チャート（以下、杭評価チャート¹⁾と称する）を開発し、高知道及び徳島道の橋梁杭基礎へ適用²⁾した。本論文では、これらの橋梁杭基礎のなかから代表的な橋梁基礎を選定し、杭評価チャートの妥当性について検討する。

2. 杭評価チャートの概要

(1) 杭モデル：杭評価チャートの杭は、 $\phi 1200$ の場所打ち杭を基準とする。図-1 に示すように、杭頭が回転しない単杭とし、0.5m 間隔の地盤ばねで水平方向に支持され、杭先端部は回転ばねで拘束する。

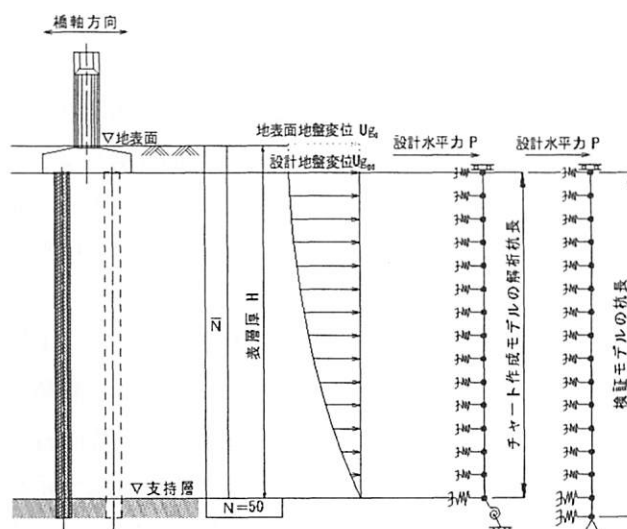
(2) 地盤モデル：地盤は、表層地盤が均一であると仮定した2層系地盤とする。地盤は、表層地盤厚 H と表層地盤の平均 N 値の2つのパラメータで代表される。地盤は、地盤ばねとしてモデル化し、道路橋示方書に準拠した線形ばねとした。

(3) 地震時荷重：地震時に杭基礎に作用する荷重は、「地盤変位」と「慣性力」である。地盤変位は、表層地盤の N 値からせん断波速度 V_s を求め、地盤の特性値 T_g を求める。この T_g と地盤変位の関係式¹⁾ から地表面の地盤変位 (U_{g0}) を求め、深さ方向にコサイン分布させた。慣性力は、杭頭に作用する水平力 P と杭頭モーメント M_t の関係から、 $M_t = M_y$ (降伏モーメント) となる水平力 P を作用させる。

(4) 解析とチャート：図-1 の杭-地盤ばねモデルに、地盤変位と慣性力を作用させて静的線形解析により杭頭部、杭地中部、杭先端部のモーメント M_d を算出した。部材の非線形性を考慮すれば、 M_d が M_y を超えると、塑性化して変形 (曲率 ϕ) は増大し、塑性率 $m = \phi / \phi_y$ で評価する。エネルギー一定則を仮定することにより、モーメント超過率 $n (=M_d/M_y)$ から塑性率 m を求めた。杭が弾性-完全塑性型のバイリニアの非線形特性の場合には、 $m = 1/2 (n^2 + 1)$ で求まる。地盤や杭の特性を表すパラメータ (平均 N 値と表層地盤厚 H) をあらかじめ決めた範囲で変化させて、塑性率 m を算出し、図化したものが杭評価チャートである。また、チャートでは鉄筋の段落としを考慮して、10m 毎に鉄筋量を $1/2$ とした抵抗モーメントにより塑性率 m を算出する。

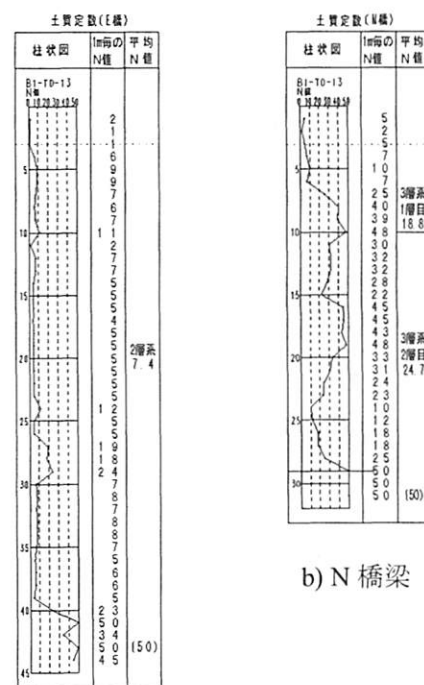
3. 選定橋梁基礎

図-2 に検証のために選定した2橋梁 (E 橋, N 橋) の基礎地盤 (N 値) を示す。E 橋は、表層地盤厚が 40m, 平均 N 値は 7.4 である。N 橋は表層地盤厚 28m, 平均 N 値 25.3 と比較的固い地盤である。



a) 模式図 b) パラメータ c) 地盤変位 d) 解析モデル

図-1 杭評価チャートの解析モデル (2層系チャート)



a) E 橋梁

b) N 橋梁

図-2 検証橋梁の基礎地盤 (N 値)

4. 選定橋梁基礎の検証解析（線形解析）

2つの橋梁基礎について、N値のばらつきが基礎杭の評価（塑性率）に与える影響を検証するため、静的線形解析を行った。N値に対応した地盤ばねを用い、杭の根入れ部も地盤ばねで評価した（図-1 d）解析モデルの右側）。検証解析の荷重条件を表-1に示す。

表-1 検証解析の荷重条件

橋梁	モデル	表層厚 H(m)	杭長 L(m)	平均N値 (-)	水平力 P(kN)	地盤変位 Ugdo(cm)
E橋	線形	40	39	7.4	1518	61.0
N橋	線形	28	27	25.3	2141	16.5

(1) E橋の解析結果

図-3に検証解析の「地盤変位」、「慣性力」及び「慣性力+地盤変位」（絶対値）によるモーメント図を示す。杭頭部は慣性力の影響が大きく、杭先端部では地盤変位の影響が大きい。図-4は、「慣性力+地盤変位」（絶対値）と杭評価チャート解析の比較を示す。杭頭部については、検証解析が塑性率2.0であり、杭評価チャートは1.7と大きな差はない。杭先端部に関しては検証解析の結果は、塑性率が3.5に対して、杭評価チャートの解析では、塑性率11.5とかなり大きい。これは杭先端部の拘束条件の差が影響したのではないかと考えられる。

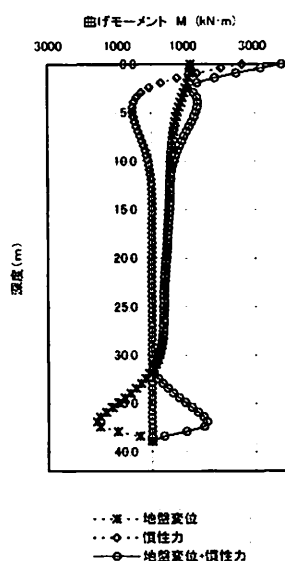


図-3 E橋基礎杭の
曲げモーメント

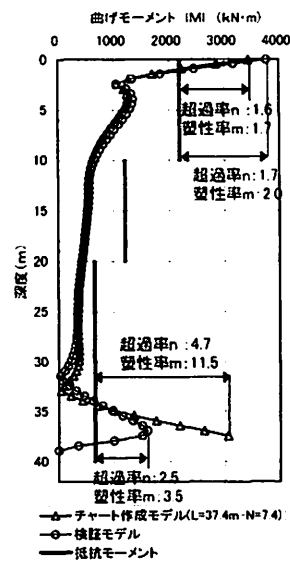


図-4 E橋基礎の線形
解析結果の比較

(2) N橋の解析結果

図-5に検証解析の曲げモーメント図を示す。E橋と同様に杭頭部では慣性力の影響が大きく、杭先端部では地盤変位の影響が大きい。図-6に検証解析と杭評価チャート解析の比較を示す。杭頭部については、検証解析が塑性率2.2で、杭評価チャート解析1.4よりも大きい。これは杭頭付近の小さなN値（=6）の影響といえる。杭先端部は検証解析の塑性率が2.1、杭評価チャートの解析では、2.3とよい一致を示している。

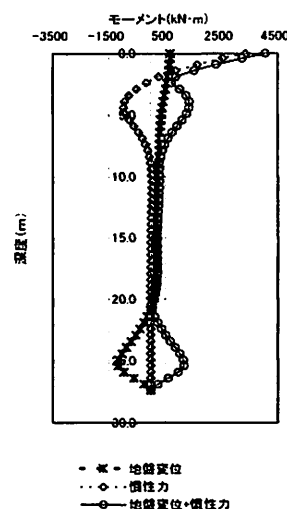


図-5 N橋基礎杭の
曲げモーメント

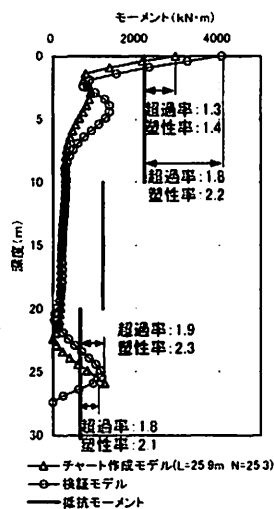


図-6 N橋基礎杭の線形
解析結果の比較

5. 結論

地震時における杭基礎の耐震性評価検討は、開発された杭評価チャートを利用して、地震時の慣性力と地盤変位を地震作用として考慮した場合の塑性率を算定し、それに基づき、塑性率mが4未満を「安全」、4以上8未満を「危険」、8以上を「特に危険」と判定するものである。2層系地盤における杭評価チャートを検証したところ、杭頭部においては同じ評価を与える。杭先端部においては杭評価チャートが大きくなるケースもある。しかし、表層地盤厚と平均N値の2つのパラメータだけで、地震時の杭の脆弱性をスクリーニングする目的からすると、大きめの評価を与えるのはよいと判断される。

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