

細長比パラメータが 0.4 を超える細長い鋼管を用いた鋼多柱式連続ラーメン構造の耐震設計

(株) オリエンタルコンサルタンツ	正会員	○大森 貴行
(株) オリエンタルコンサルタンツ	正会員	トウス シレヤ
(株) オリエンタルコンサルタンツ	正会員	梅林 福太郎

1. 緒言

鋼多柱式連続ラーメン構造は、柱杭一体構造（SKK 鋼管くいを使用）からなる下部構造を地盤に直接支持し、上部構造と剛接合で連結した橋梁構造である（図 1）。主に山岳部で使用されるケースが多いことから、谷側に位置する柱杭一体構造は平 29 道路橋示方書・同解説（以下道示）Ⅴ耐震設計編（以下Ⅴ）に規定された細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の適用範囲 $0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 0.4$ を満足するのが難しい。著者らはこの細長比パラメータの適用範囲を $0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 1.0$ に拡張した耐震性能を提案した共同研究報告書¹⁾の成果を適用し、耐震設計を実施した。

本論ではその概要を示すと共にその結果について考察する。

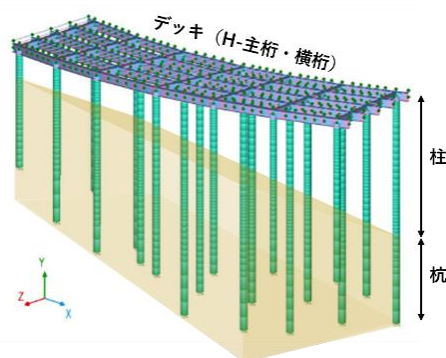


図1-対象橋梁の3Dモデル

2. 研究对象

対象構造は、柱杭部材（SKK490）と主梁・横梁（H700（SMA490）, H588（SMA400））で構成され、橋長 31.7m、桁長 31.4m からなる。大地震時の衝突を避けるため遊間量は起点側、終点側それぞれ 150mm を確保し、平面線形は R=60m、幅員は 9.371～9.200m である。架橋位置は、道示Vに規定される地域種別 A2 地域であり、地盤種別はI種地盤、地層構成は図 2 に示すとおりで、表層の崖錐層（地震時には地滑りを起こすことが想定されるため抵抗地盤としては考慮しない）の下に D～C 級の岩盤が確認されている。橋の重要度区分は A 種に該当することから、耐震設計においてはレベル 2 の地震動に対し限界状態 3 を超えないことを目標とする。

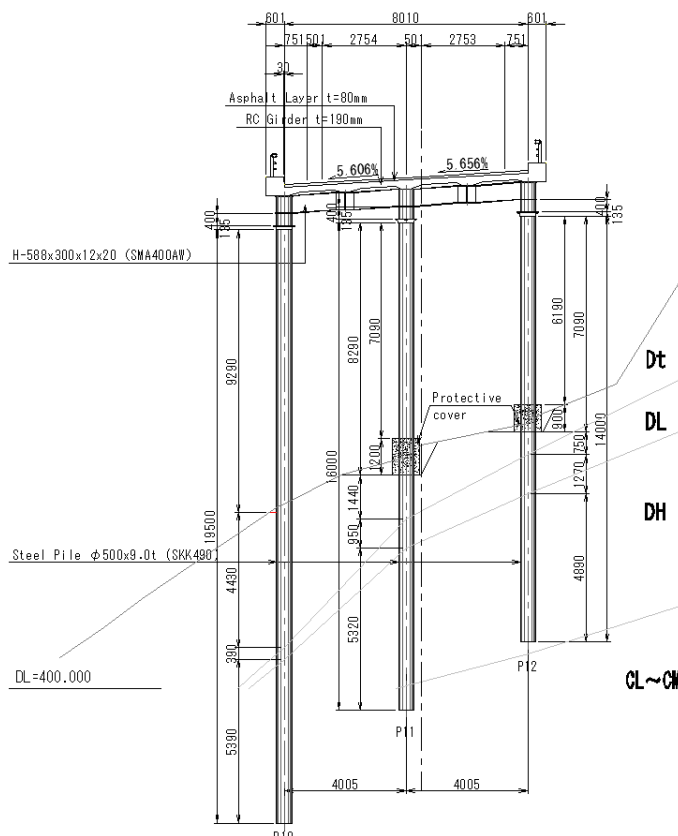


图 2- 断面图

3. 柱杭一体構造の耐震設計の課題

柱杭一体構造の設計は、細長比パラメータが道示Vの適用範囲 $0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 0.4$ を超えることや、フーチングを有しない点において道示Vの設計手法を完全に満足することが困難である。これに対し、本設計では既往の文献¹⁾²⁾³⁾の成果を反映し、次に示す設計方針に基

4. 耐震設計の設計方針案

耐震設計の方針は道示Vに加え既往の知見¹⁾²⁾³⁾を反映し以下の(1)～(3)項目を新たに設定した。その他上部構造は弾性域に留まること、また鋼管杭の支持力や引拔力は道示IVに準拠して照査を実施している。

- (1) SKK 鋼管を使用した柱杭一体構造の制限値は、適用範囲 $0.03 \leq R_t \leq 0.07$, $\bar{\lambda} \leq 0.4$ かつ $N/N_y \leq 0.2$, $0.4 \leq \bar{\lambda} \leq 1.0$ かつ $N/N_y \leq 0.15$ において以下の通り設定した。詳細は文献 1) を参照されたい。

キーワード 鋼多柱式連続ラーメン橋,柱杭一体構造,M- ϕ モデル,SKK 鋼管,地盤と杭の動的相互作用
連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-21-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館

$$\begin{aligned}\epsilon_a &= 12.50\epsilon_y && ; (R_t\bar{\lambda} \leq 0.009) \\ \epsilon_a &= (20.78 - 920R_t\bar{\lambda})\epsilon_y && ; (0.009 \leq R_t\bar{\lambda} \leq 0.018) \\ \epsilon_a &= (4.67 - 25R_t\bar{\lambda})\epsilon_y && ; (0.018 \leq R_t\bar{\lambda} \leq 0.070)\end{aligned}$$

(2) 柱杭の軸方向圧縮応力の(1)の適用範囲である $N/N_y \leq 0.15$ を制限値とした。

(3) 本橋の崩壊メカニズムは、ここに示す設計方針を満足することで柱杭先行破壊型¹⁾²⁾³⁾となることから、杭の安全性を確認した上で、柱杭の応答曲率(2)を制御することで限界状態3を超えないことを確認した。

5. 地盤-杭間相互作用による解析

解析プログラムは TDAP III を用いた。柱杭の応答曲率を照査する必要があることから文献 1)で提案された地盤と杭の動的相互作用を考慮した BNWF (Beam on Nonlinear Winkler Foundation) モデルを適用した。上部構造は弾性梁要素、下部構造は非線形 M- ϕ 特性を有する非線形梁要素としてモデル化し、地盤は非線形性を考慮したばね-節点系でモデル化することで杭と地盤の相互作用を考慮した。

6. 分析結果・考察

図 3-(a), (b)に動的解析により確認した変形図を示す。橋軸及び橋軸直角方向ともに上部構造が加振方向へ変形するモードが確認され、特に柱長の短い柱杭は地際部付近にも変形が生じていることが確認できる。以下、設計結果から確認できた本設計手法の傾向と結果の特徴を以下に示す。

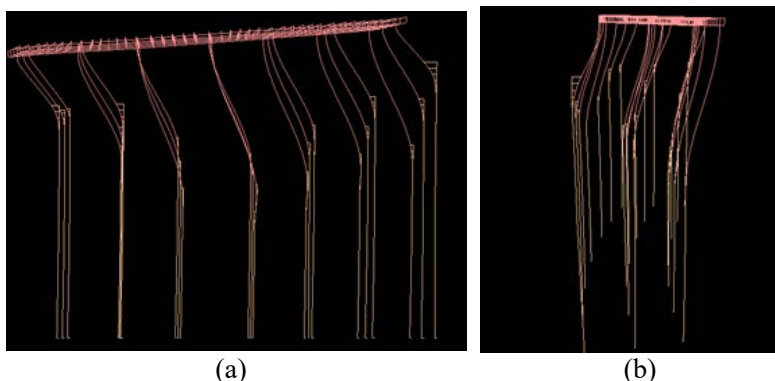


図 3 - (a) 縦方向と(b) 横方向の荷重に対する最大変形量

- 1) 細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が 0.4 を超える細長い柱杭は、許容曲率が小さく設定されるが、断面力は細長比の小さい柱杭に集中することから板厚が厚くなるなどの影響はない。
- 2) 気中部の柱長が短い起点側と終点側の柱杭の断面力が集中するため、板厚を 12mm から 22mm へ増加した。
- 3) 橋軸直角方向の照査において、起点側より終点側の柱長(気中部)が長いことに起因して変形量が A2 橋台側へ偏った。このことが上部構造の断面力の増加につながり、H 梁断面の増加の原因となった。橋軸直角方向に対して変位拘束構造を設置するなどにより、合理的な設計ができる可能性がある。
- 4) 部分的な弾性床上に支持された柱杭一体構造の有効座屈長 l_{cr} について、従来の算出式 $l_{cr} = h + 1/\beta$ (h : 柱杭の気中部の長さ, β : 杭の特性値) と地盤の塑性域を有効座屈長 l_{cr} に加えた長さ比較した場合、その差が 5% 以内に留まっていることを確認した。すなわち、本構造の耐震設計において、柱杭を許容曲率で制御することで地盤の塑性域(変形量)を制御できることが確認できた。

7. 結論

本論文では、SKK 鋼管くいの細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が 0.4 を超える範囲における柱杭一体構造の耐震設計を提案し、既往の傾向と大きく変わることなく精度高くその性能を評価できることを明らかにした。本論で紹介した方法が、今後の実務設計における参考資料となることを期待したい。

参考文献

- 1)フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書,共同研究報告書第 500 号,平 30 国立研究開発法人土木研究所 株式会社オリエンタルコンサルタンツ J F E シビル株式会社
- 2)大森貴行,葛西昭,原田健彦,梅林福太郎(2020), The Suitable Analytical Model of Steel Column Members Supported on Partial Elastic Foundation, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020, Paper ID: 2b-0126
- 3)大森貴行(2019), 部分的な弾性床上に支持された柱杭一体構造の耐荷性能に関する基礎的研究, 博士論文, 熊本大学大学院