

鋼多柱式ラーメン構造の耐震性能検証法に関する研究

オリエンタルコンサルタンツ 正会員○梅林福太郎
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 大森 貴行
オリエンタルコンサルタンツ 正会員 原田 健彦

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 伊藤 雪
J F E シビル 正会員 神田恭太郎
J F E シビル 正会員 尾添 仁志

1. はじめに

鋼多柱式連続ラーメン構造は、複数の一柱一基礎構造で構成されたラーメン構造で、フーチングを有しないという特徴がある(図-1)。本構造は、港湾の直杭式横棧橋に類似する構造であるが、道路橋としては新構造であり、道路橋示方書が想定する構造とは、フーチングを有しない等の相違がある。当該構造の設計・施工は道路橋示方書¹⁾を準用して行われているが、特にレベル 2 地震時の耐震性能について標準的な道路橋と同等レベルであることを検証するため、本研究に着手した。

本研究は、鋼多柱式連続ラーメン構造の破壊メカニズムや解析手法について、最初に静的解析と静的実験の照合により把握し、次に動的解析と動的実験により、地震時の動的な挙動を把握する計画である。本論では、第 1 ステップとして、地震時の破壊メカニズムを明確にするため、パラメトリックなプッシュオーバー解析を実施した結果、明らかになった事項について示す。

2. 解析対象

解析対象は図-1 に示す鋼多柱式連続ラーメン構造の軸直角方向とした。地盤は N 値 50 以下の水平成層とし、支持層は N 値 50 の硬質地盤とした。構造条件及び地盤条件を表-1 に示す。

3. モデル化^{1),2)}

鋼材はファイバー要素とし、応力-ひずみ特性は初期勾配の 1/100 の二次勾配を有するバイリニア型とした。地盤はばね要素とし、杭周囲の水平・鉛直ばねは上限を設けた完全弾塑性型のバイリニア型とした。杭先端ばねは圧縮側のみに効く完全弾塑性型のバイリニア型とした。

4. 解析パラメータ

基本ケースに対して、鋼管の板厚、柱長、杭長、受働土圧抵抗、水平地盤ばねを変化させた(表-2)。

5. 解析結果

プッシュオーバー解析を実施した。載荷方法は、水平震度を 1 方向に作用させる単調載荷とした。図-2 に解析により確認された破壊モードを示す。柱・杭先行破壊型は、柱頭部と地中部の鋼管が降伏することで水平変位が増大していく破壊モードである。地盤先行破壊型は、柱頭部と杭周辺の地盤がほぼ全域に渡り塑性化することで水平変位が増大する破壊モードである。また、杭長が極端に短い場合や地盤の鉛直抵抗が小さい場合は、引張側の杭が抜け出す転倒破壊型となることも確認した。地盤先行破壊型や転倒破壊型は設計において、避けることが望ましい破壊モードである。

図-3～図-7 に解析ステップ(100 ステップが 1G に相当)と上部工の水平変位の関係を示す。杭の剛性が小さ
キーワード 鋼多柱式ラーメン構造、耐震性能、プッシュオーバー解析

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町3丁目1番1号 株式会社オリエンタルコンサルタンツ TEL 03-6311-7860

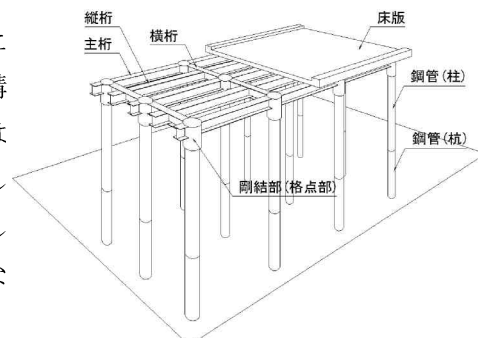


図-1 鋼多柱式ラーメン構造の例

表-1 構造・地盤条件

上部工	床版	RC床版, 床版支間3.5m
	主桁	SM400, H588×300-12-20
	横桁	SM400, H588×300-12-20
鋼管柱	鋼管	STK400, SKK400, Φ500
地盤		崖錐層+支持層

表-2 解析パラメータ

①鋼管の板厚	9, 14, 19, 24mm
②柱長	4, 5, 6, 10m
③杭長	2 ~ 8 ~ 15m
④受働土圧抵抗	c=30, 100kN/m ²
⑤水平地盤ばね	N値1, 5, 10, 30, 50

※○印は基本ケース

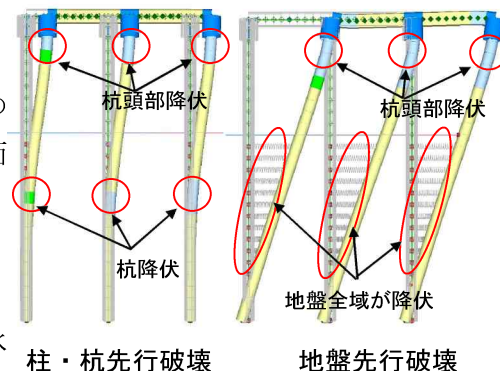


図-2 破壊モード

い($t=9\text{mm}, 14\text{mm}$)と柱・杭先行破壊型を示したが、鋼管杭の剛性が高くなる($t=19\text{mm}, 24\text{mm}$)と地盤先行破壊型を示した(図-3)。柱長については、全ケースにおいて柱・杭先行破壊型を示し、柱長が長くなる毎に変位が増大した(図-4)。杭長が長くなると($L \geq 7\text{m}$)、柱・杭先行破壊型を示し、杭長が短くなる($L \leq 6\text{m}$)と地盤先行破壊型を示した(図-5)。受働土圧抵抗(粘着力)の違いによる破壊モードの違いは無いが、変位は2倍以上の差があり、耐力と変位量に与える影響は大きいものと推定された(図-6)。水平地盤ばねについては、N値が5以上の場合はいずれのケースも柱・杭先行破壊型を示したが、N値が1の場合は大きな水平変位が発生し、地盤先行破壊型の破壊形態を示した(図-7)。

検討結果より、以下の事項が推定される。

- (1)杭の剛性が大きい場合、軟弱地盤の場合、及び杭長が短い場合は、杭頭部の降伏後に地盤全域が降伏に至るため、地盤先行破壊や転倒破壊となる可能性がある。
- (2)柱高については、高さに関係なく柱・杭先行破壊型となったため、破壊モードに与える影響は小さい。
- (3)地盤の受働土圧抵抗についても上記と同様に破壊モードに与える影響は小さい。

6. 破壊モードと $\beta \cdot L$ の関係

検討結果から、破壊モードは、「柱・杭の剛性」と「地盤の剛性」の相対関係にあることが推定できる。そこで、地盤と杭の剛性関係を表す基礎の特性値 β に杭長 L を乗じた $\beta \cdot L$ を指標として、図-8に整理した。

- (1)N値が30の場合、概ね $\beta \cdot L = 5.5$ を境界に破壊モードが変わる。
- (2)N値 >30 では、破壊モードの境界は $\beta \cdot L > 5.5$ となり、N値 <30 では $\beta \cdot L < 5.5$ となるものと推測される。

以上より、破壊モードの分類には、 $\beta \cdot L$ の値が目安になるものと考えられる。

7. まとめ

鋼多柱式ラーメン構造について、破壊のメカニズムを把握するために、各種パラメータを考慮したプッシュオーバー解析を実施した。検討の結果、各種パラメータと破壊モードの関係を明らかにし、 $\beta \cdot L$ が破壊モードの分類の目安値となる可能性を示した。なお、解析のモデル化は既往の文献^{1),2)}に従い設定したが、適用の可否について、今後実施予定の実験と比較し、モデル化の妥当性を検証していく必要が有る。

参考文献

- ・ 1)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012.3.
- ・ 2)(財)鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編，2012.9.

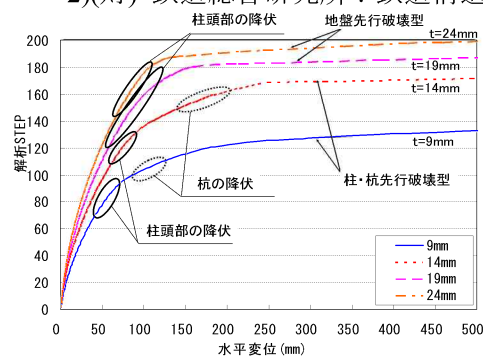


図-3 鋼管厚の影響

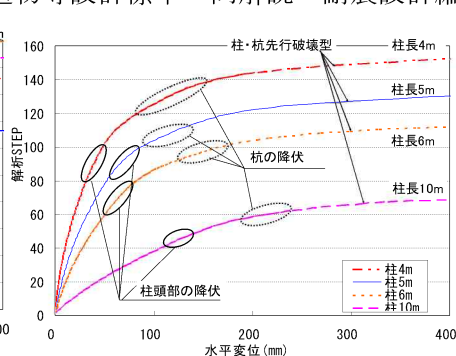


図-4 柱長の影響

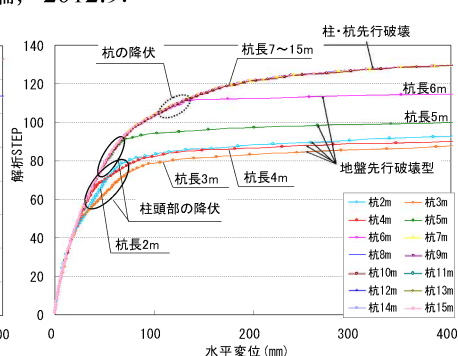


図-5 杭長の影響

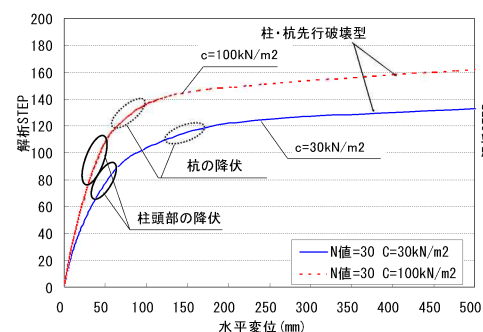


図-6 受働抵抗の影響

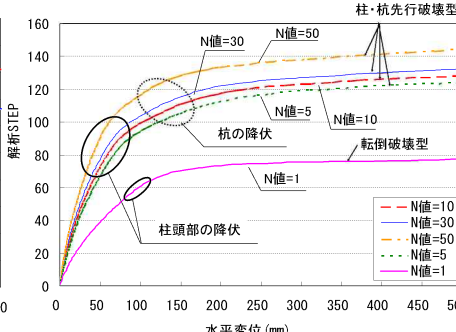


図-7 水平抵抗の影響

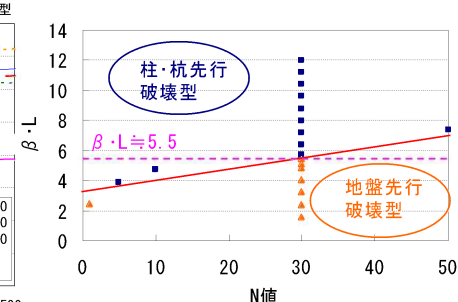


図-8 破壊モードと βL の関係