

営業線直上施工となる2柱式複合構造ラーメン橋脚の設計事例

阪急設計コンサルタント(株)

正会員 ○山口 武志

阪急設計コンサルタント(株)

守本 絵美子

1. はじめに

本設計は、鉄道高架化工事におけるS・SC・CFTの複合構造となる鉄道ラーメン橋脚の地震時の検討において、3次元時刻歴応答解析を用いて行ったものである。

本橋脚は、完成時はCFT柱の門型ラーメン橋脚となるが、I期施工時には図-1のように営業線を跨ぐ形状となり仮柱及び仮梁はS構造、隅角部はSC構造の門型ラーメン橋脚である。図-1のI期施工時における左側の仮杭は鋼管杭、右側の本設杭は場所打ち杭であり、前後の上部工として起点方に橋長25m、終点方に橋長約24mのPC桁を載荷する。

2. 解析手法の選定

1) ねじりが懸念される構造

本橋脚は、図-1に示す通りI期施工時において左右の柱の剛性がS構造とCFT構造とで異なる点、桁を載荷する位置が右側に偏心している点、梁の中間部でS構造からSC構造に変わることによって梁の剛性が変化する点から梁及び柱にねじりモーメントが発生すると想定できる。

2) 地震時応答スペクトルの適用が困難

I期施工時の構造は、S構造・SC構造・CFT構造が複合するラーメン橋脚であり、耐震標準¹⁾付属資料に示されている地震時応答スペクトルが適用できない。また、S・SC・CFT複合構造の地震時応答スペクトルの作成が困難である。

以上より、本設計の地震時の検討においては3次元時刻歴応答解析を用いることとする。

3. 検討内容

設計フローを図-2に示す。まず完成時において、常時は限界状態設計、地震時は2次元静的非線形解析を用いて完成時の部材を決定し、その後3次元時刻歴応答解析により部材の変形性能及び耐力照査、地中梁のねじり照査等の検証を行う。次にI期施工時において、完成時と同様に常時は限界状態設計、地震時は3次元時刻歴応答解析を用いて検討を行う。I期施工時の3次元時刻歴応答解析においては、L1地震動における走行安全性の確認及び、L2地震動における安全性の照査を満足することを確認する。またI期施工時の左右の柱・杭の剛性が異なることにより発生するねじりモーメントに対しての部材の安全性についても確認する。

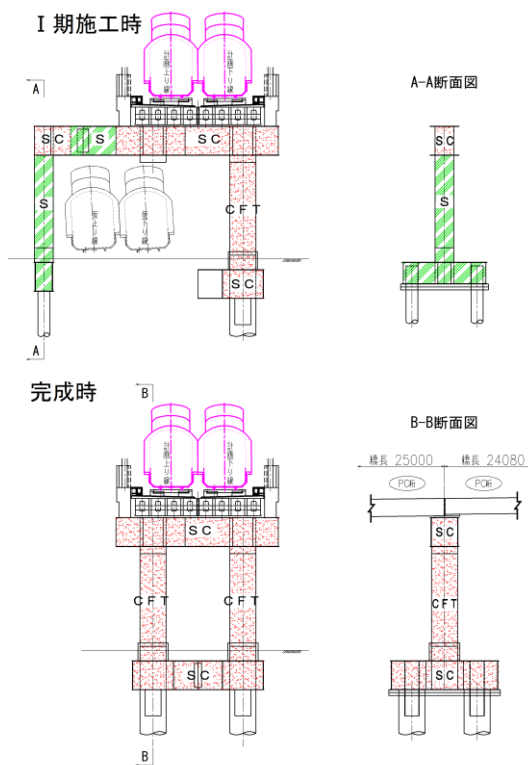


図-1 段階施工順序図

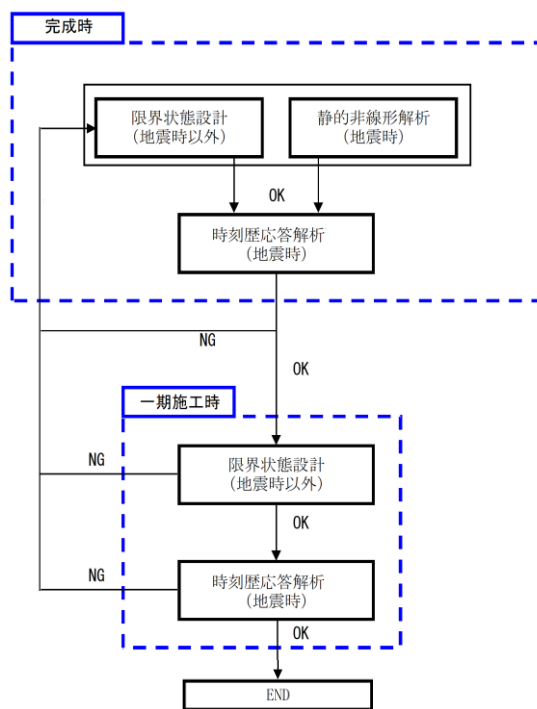


図-2 設計フロー

キーワード 動的解析 3次元解析 複合構造 ラーメン橋脚 鉄道

連絡先 〒530-0012 大阪府大阪市北区芝田 1丁目 4番 8号北阪急ビル 4F 阪急設計コンサルタント(株) TEL06-6359-2755

4. 解析モデル

3次元時刻歴応答解析において、上層梁・柱・地中梁に発生するねじりモーメントの照査を行うため、完成時・I期施工時ともに図-3に示す3次元モデルにて構造物のモデル化を行う。柱及び杭はM-φモデル、上層梁・線路方向フーチング・線路直角方向地中梁は部材を降伏させないために線形部材とした。柱をM-φモデルとした理由は、柱の上下端で鋼管の材質及び板厚の変更を行うためである。

表層地盤は、地表面から基盤面までの土層に質量を与えた質点モデルにてモデル化を行い、その最下層に地震動を作用させる。入力地震動は、図-4に示す耐震標準¹⁾L2地震動スペクトルⅡG1基盤波を用いる。

以上の構造物モデルと地盤モデルをバネ要素にて一体化したペンゼンモデルにて解析を行う。

5. 解析結果

表-1に本橋脚の2次元静的非線形解析と3次元時刻歴応答解析により得られた結果を満足するI期施工時及び完成時の柱と杭の断面を示す。

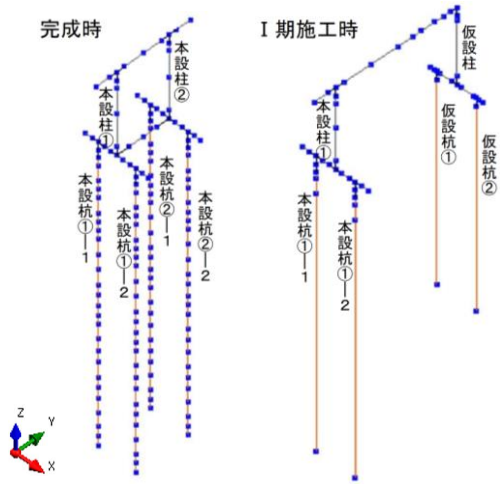


図-3 解析モデル

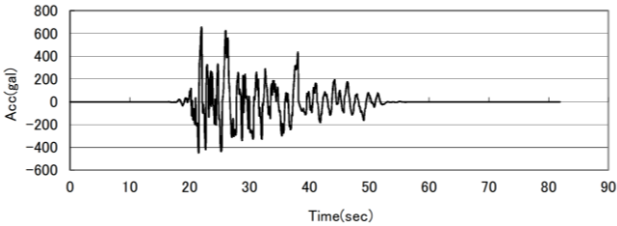


図-4 L2地震動スペクトルⅡ G1基盤波

表-1 照査結果を満足する部材断面

	2次元静的非線形解析	3次元時刻歴応答解析
仮設柱（鋼管）	φ 1300, SM490, t=25mm	φ 1300, SM490, t=32mm
仮設杭（鋼管）	φ 812.8, SKK400, t=16mm	φ 812.8, SKK490, t=19mm
完成時上柱（CFT）	φ 1800, SM490, t=20mm	φ 1800, SM490, t=27mm
完成時下柱（CFT）	φ 1800, SM570, t=24mm	φ 1800, SM570, t=24mm
完成時杭（場所打ち）	φ 1800, 50N, SD490, D38-40 本	φ 1800, 50N, SD490, D51-30 本

本橋脚のようにCFT構造の円形柱を持つラーメン橋脚である場合、線路方向と線路直角方向で柱のせん断スパンが異なるため、柱のせん断スパンが柱高さとなる線路方向の耐震設計にて部材の断面が決定される。線路方向で決定された柱断面にて線路直角方向の検討をすると、柱のせん断スパンが線路方向の約半分となり、柱の部材耐力が発生断面力に対して大きくなるため、降伏震度・最大応答震度ともに大きくなる。

本設計では杭を先行降伏させないために、完成時のCFT柱断面は柱の上側（上柱）と下側（下柱）とで板厚を変更する設計とし、線路方向の検討にて決定される下柱はSM570の板厚24mm、上柱はSM490の板厚20mmとすることで、線路直角方向において柱上端を先行降伏させる構造とした。以上により、2次元静的非線形解析における設計は成立したが、3次元時刻歴応答解析において柱のねじり耐力を満足させるため上柱の板厚を27mmへ変更する結果となった。

6. まとめ

一般的なCFT柱のラーメン橋脚の場合、CFT柱の上下端において材質や板厚を変更することで設計が成立すると考えられるが、本設計のようにI期施工側の柱・杭と完成側の柱・杭の剛性が異なり、ねじりモーメントが柱に生じるような複雑な構造である場合、2次元静的非線形解析では得られない結果を3次元時刻歴応答解析で得られることがあるため、3次元時刻歴応答解析を実施することで安全性の高い設計を行うことが出来ると考えられる。

参考文献 1) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.9 2) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，2002.12 3) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，2009.7 4) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物（2012.1）