

# RC 橋脚の設計における留意点に関する一考察

(株) 復建エンジニアリング 〇畑 秀彦

日大生産工

澤野利章

## 1. はじめに

我が国は世界有数の地震国であり、平成7年の兵庫県南部地震を契機に、鉄道構造物の耐震設計に関する基準が改訂された。「鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計」(以下、耐震標準と称す)では、従来の海洋型地震動に加え、内陸型地震動も考慮すること、構造物に必要な耐震性を定め、これを満足すること、橋梁および高架橋の応答値は動的解析により算定することが原則である。

一般に RC 橋脚のように振動モードが比較的単純で、かつ塑性ヒンジ発生箇所が明確な構造物の設計においては、動的解析法の一つである非線形スペクトル法により、応答値を算出することができる。これは、構造物の降伏剛性から求められる固有周期及び地盤種別より設定された所要降伏震度スペクトルを用いて構造物の応答塑性率を予測する方法である。よって、この解法では、降伏剛性及び固有周期がパラメータとなる。

本稿では、非線形スペクトル法を用いて、杭基礎 RC 橋脚の合理的かつ経済的な設計方法を目指し、躯体の主鉄筋および帯鉄筋の使用量の観点から考察を行った。

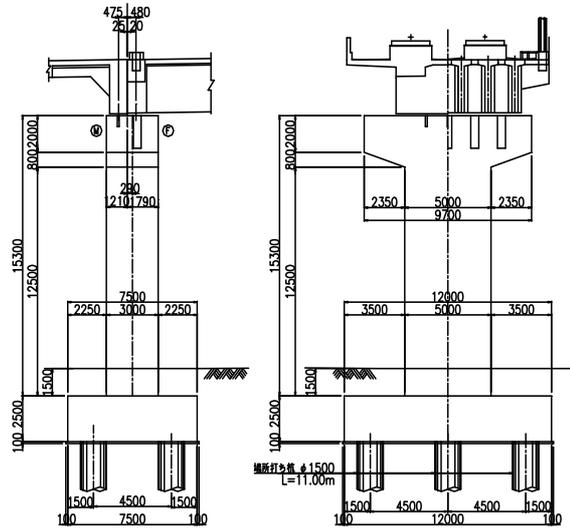
## 2. 構造解析

### 2. 1 構造物概要

対象構造物は、図-1 に示すような壁式橋脚とした。基礎は杭径が 1.5m、杭長が 11m の場所打ち杭を橋軸方向に 2 列、橋軸直角方向に 3 列、計 6 本配置している。また、表層地盤の地盤種別は、G3 地盤 ( $T_g=0.345(\text{sec})$ ) である。

### 2. 2 解析モデル概要

解析モデルは、線路方向の荷重が作用する鉄道橋脚



(a) 側面図

(b) 横断面図

図-1 構造一般図

を想定した 2 次元骨組モデルとし、杭基礎であることから、骨組モデルは地盤-基礎、構造系一体型としてモデル化した。非線形特性としては、杭部材はトリリニア型の  $M-\phi$  関係を用いてモデル化し、軸力変動を考慮した。また、上部構造物は躯体基部が塑性ヒンジとなることが明確であることから、トリリニア型の  $M-\theta$  関係を用いてモデル化した。一方、地盤条件として、杭周面鉛直ばね、杭周面水平ばね、杭先端鉛直ばねをモデル化し、非線形特性として地盤支持力及び有効抵抗土圧を上限值としたバイリニア型とした。

また、対象構造物は L1 地震動に対して耐震性能 I を満足するものとし、L2 地震動に対しては耐震性能 II を満足するものとする。部材の損傷レベル及び基礎の安定レベルの制限値は表-1 に示す通りである。

表-1 部材の損傷レベル及び安定レベル

部材		耐震性能 I	耐震性能 II
上部	損傷レベル	1	3
	躯体		
基礎	損傷レベル	フーチング	2
		杭	2
	安定レベル	1	2

表-2 解析ケース鉄筋比較

	主鉄筋		主鉄筋比	帯鉄筋	帯鉄筋比
	1段目	2段目			
タイプ I	D32-48本	D32-32本	0.443	D19-6組	0.458
タイプ II	D32-48本	D32-36本	0.465	D19-6組	0.458
タイプ III	D32-48本	D32-32本	0.443	D19-7組	0.535

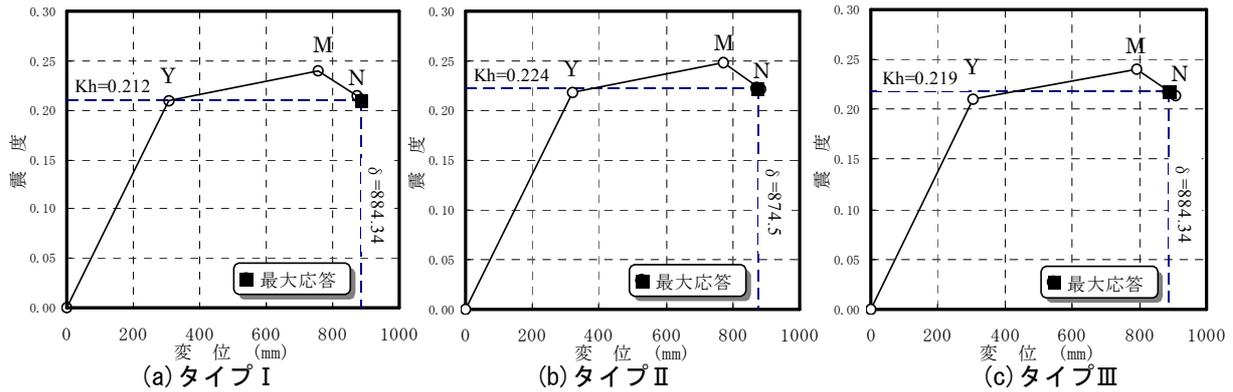


図-2 天端位置での荷重-変位曲線

### 2. 3 解析ケース

解析は、主鉄筋及び帯鉄筋の使用量の影響を考察するため、表-2に示すような断面を想定し、それぞれタイプⅠ・Ⅱ・Ⅲとした。ここで、タイプⅠはL1地震動で決定した断面であり、タイプⅡ・ⅢはL2地震動に対してそれぞれ主鉄筋および帯鉄筋の増減により対応した断面である。なお、躯体のコンクリート強度は27N/mm<sup>2</sup>とし、鉄筋はSD390を使用した。

### 3. 解析結果および考察

#### 3. 1 静的非線形解析

線路方向の静的非線形解析より得られた解析応答値及び躯体天端における荷重-変位曲線を表-3、図-2に示す。なお、Y・M・N点はそれぞれ躯体の降伏耐力、最大耐力、終局耐力を現しており、損傷レベル1・2・3の制限値に対応したものである。

図-2より、躯体が降伏するまでの弾性域区間に着目すると、各タイプともに同様の傾向を示していることがわかる。また、表-3より、等価固有周期に差異がみられないことから、地震時には各タイプともほぼ同様の周期で揺れるものと考えられる。ここで、降伏震度はタイプⅠ・Ⅱ・Ⅲでそれぞれ0.210、0.218、0.210、であり、タイプⅡはタイプⅠ・Ⅲに対して4%程度増加する結果となった。また、降伏変位においても同様の傾向がみられる。これは断面の主鉄筋量が増加することにより、曲げ耐力が増加したためであると考えられる。

次に、各タイプにおける応答塑性率を比較するとタイプⅠ・Ⅱ・Ⅲでそれぞれ2.89、2.75、2.89であり、

タイプⅡはタイプⅠ・Ⅲに対して5%程度低下する結果となった。これは、タイプⅡの降伏震度が高いことに起因しており、主鉄筋の増加に伴いこの傾向はより顕著になるものと考えられる。また、タイプⅢの場合、タイプⅠに比して降伏後の変形量が大きくなっている。これは、断面の帯鉄筋量が増加したことにより、主鉄筋が拘束され靱性能が向上したためであると考えられる。

#### 3. 2 使用鉄筋量の比較

各タイプの躯体の使用鉄筋量を表-4に示す。なお、帯鉄筋は塑性ヒンジ部には150mm間隔、塑性ヒンジ部以外は200mm間隔で配置した。

表-4より、主鉄筋量はタイプⅡが最も多く9278.5kgであり、帯鉄筋量はタイプⅢが最も多く9537.3kgである。また、躯体の使用鉄筋量をタイプⅠと比較すると、タイプⅡ・Ⅲでそれぞれ1.024(Ⅱ/Ⅰ)、1.009(Ⅲ/Ⅰ)であり、L2地震動に対して設計を行った場合、躯体全長で考えると主鉄筋量に比して帯鉄筋量を増加した場合の方が約1%程度鉄筋量を削減することができる結果となった。

### 4. まとめ

躯体の帯鉄筋量を増加した場合と主鉄筋量を増加した場合とでは、帯鉄筋を増加した場合のほうが、鉄筋量の増加を削減することができ、経済的な設計を図ることが可能となった。しかしながら、L2地震動応答時の天端における変位量が、増大することが予測されることから、落橋防止装置などに対して別途検討を行う必要があると考えられる。

表-3 解析応答値

	降伏震度	降伏変位 (mm)	応答塑性率	応答震度	応答変位 (mm)	等価固有周期 (sec)
タイプⅠ	0.210	306.0	2.89	0.212	884.34	2.414
タイプⅡ	0.218	318.0	2.75	0.224	874.50	2.414
タイプⅢ	0.210	306.0	2.89	0.219	884.34	2.414

表-4 躯体の使用鉄筋量

	主鉄筋 (kg)	帯鉄筋 (kg)	計 (kg)	鉄筋比
タイプⅠ	8836.6	9367.2	18203.8	-
タイプⅡ	9278.5	9367.2	18645.7	1.024 (Ⅱ/Ⅰ)
タイプⅢ	8836.6	9537.3	18373.9	1.009 (Ⅲ/Ⅰ)