

急曲線桁を有する鉄道3径間断続合成桁橋梁の耐震解析に関する一考察

復建エンジニアリング 正会員 桒山 剛 正会員 井口 光雄
 京浜急行電鉄(株) 小林 壮至 吉住 陽行

1. 概要

構造系が左右非対称の構造物について耐震解析を行う場合、地震力載荷方向の設定が非常に重要となる。本検討では、図1、2に示す $R = 100\text{m}$ の曲線桁を上下2層に有する鉄道3径間断続合成桁橋梁を対象とし、ラケット型をしたP2橋脚の耐震性能確保について、特に、卓越する地震力載荷方向と、鉛直地震動の影響について検討結果を報告するものである。

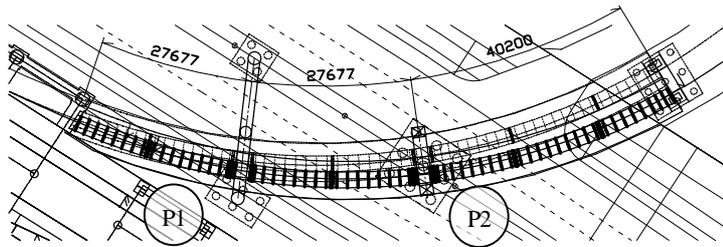
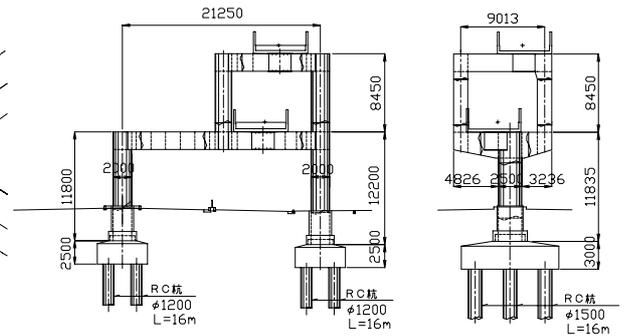


図1 全体平面図



< P1 橋脚 >

< P2 橋脚 >

図2 橋脚正面図

2. 検討対象構造物

本橋梁の上部工は、最大支間 40.2m 、全長 95.6m の上路型式3径間連続桁である。下部工は、起点方端支点部が鋼ラーメン高架橋、終点方端支点部が鋼製ラーメン橋脚で支持されており、中間支点となるP1、P2橋脚は基礎型式が場所打ちRC杭の2層鋼製橋脚である。発生するねじり・揚力の影響も非常に大きいと予想されるため、主桁とP1・P2橋脚は剛構造とし、端支点の支承にBPシューを採用した。コンクリートスラブと鋼桁の接続は断続合成桁として考慮し、支間中央の正曲げモーメント部には剛な馬蹄形ジベル、中間支点付近の負曲げモーメント及び正負交番部にはずれを許容した柔ジベルを設置した。柱部材は鋼管構造とし、局部座屈による急激な耐力減少の防止及び塑性ヒンジにおける変形性能向上のためコンクリートを充填してCFT構造とした。

3. 解析条件

1) 構造解析モデル及び、部材、地盤のモデル化

解析モデルは、地盤 基礎 構造系一体の3次元骨組モデル(図3参照)とした。部材のモデル化について、上部構造は塑性ヒンジ発生箇所をP1、P2橋脚柱基部とし、モデル化はトリリニアのM - 関係で行った。等価塑性ヒンジ長は死荷重時の軸力より算出した値で行い、軸力による耐力の変動も考慮した。他の上部構造部材については線形部材とした。

基礎構造は、フーチングは剛域として考慮し、RC杭についてはテトラリニアのM - 関係で行った。節点は1Dで分割し、柱部材同様軸力による耐力の変動を考慮した。杭頭部については鉄筋の抜け出しの影響を考慮した。

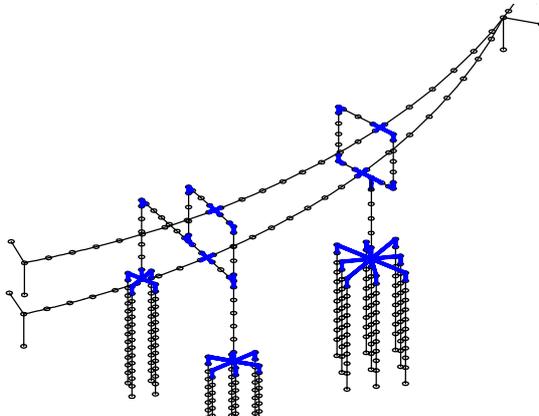


図3 構造解析モデル

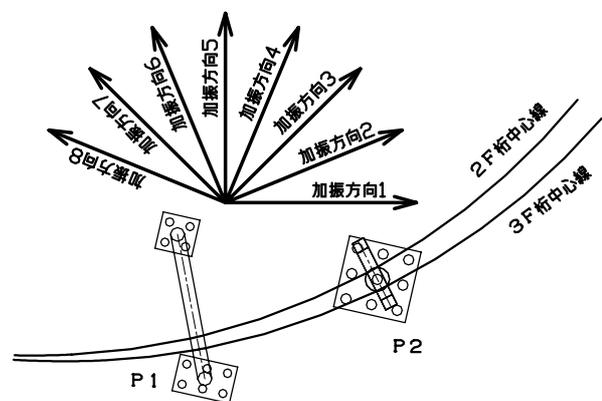


図4 加加速度加振方向

キーワード：鋼鉄道橋、損傷レベル、塑性ヒンジ、時刻歴応答解析、部材非線形

連絡先：(株)復建エンジニアリング 〒103-0012 東京都中央区日本橋1-11-12 TK 掘留ビル TEL 03-5652-8563 FAX 03-3660-9374

地盤バネのモデル化は、杭部材について先端鉛直バネ、周面鉛直バネ、周面水平バネを考慮し、それぞれ支持力及び有効抵抗土圧を上限値（ $f = 2.0$ ）としたバイリニアモデルとした。

2) 入力地震波加振方向

水平方向の加振方向は、図4に示す全8ケースとし、鉛直地震動の影響検討についてはP2橋脚について最も不利となる水平方向加振ケースを決定後、別途組合せを考慮することとした。

3) 地盤種別、入力地震波形

当該地盤の固有周期は0.6(sec)程度であるため、入力地震波はL1地震、L2地震とも鉄道総研作成のG4地盤用地表面波形（図5）を用いた。鉛直地震動の入力地震波は水平方向成分の1/2を考慮した。

4. 解析結果

P2橋脚柱基部の断面諸元及び、L2地震解析における照査結果を表1に示す。図6には加振方向2のケースにおけるL2地震時のP2橋脚天端水平変位履歴、図7には加振方向2のケース及び同時に鉛直地震動を考慮したケースの2ケースにおけるP2柱基部の応答軸力履歴比較結果を示している。

L1地震解析の結果では、全部材で損傷レベル1以内となっており、耐震性能を満足する結果となった。

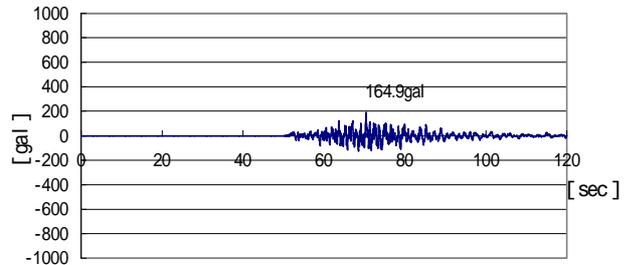
L2地震に対する解析では、P2橋脚基部及びP1橋脚の右側柱基部が損傷レベル2、左側柱基部が損傷レベル1という結果であった。基礎については部分的に軸力の影響から損傷する箇所はあるものの、群杭基礎としての降伏には至っておらず、安定レベル1の結果となった。また、非線形を考慮していない部材についても全て弾性範囲の応答結果であった。

鉛直地震動の影響についてはP2橋脚の応答軸力について着目し、加振方向2のケースでの軸力応答履歴は8680~24100kN、鉛直地震動を組み合わせたケースでは9820~28600kNの変動結果であった。

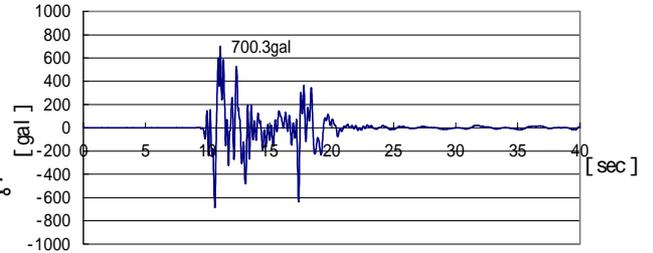
5. 考察とまとめ

3次元解析モデルを構築し、部材・地盤の非線形を考慮した解析検討の結果、L1地震動については耐震性能、L2地震動については耐震性能を満足していることが確認できた。また、P2橋脚にとって最も不利な水平方向地震力の向きは加振方向2のケースであることがわかった。加振方向2のケースはP1橋脚梁と直行する方向であり、P1橋脚のラーメン構造が橋梁全体系の安定に大きく関与しているものと推測できる。

鉛直地震動の影響については、比較検討の結果から本検討の条件では最大応答軸力に4500kNの差が生じることがわかった。但し、柱部材の損傷レベル、耐震性能は両解析ケースで殆ど差はなく、部材耐力に着目した鉛直地震動による影響は軽微であることがわかった。



< L1地震動波形 >



< L2地震動波形 (スケール) >

図5 地表面地震波形 (G4地盤用)

表1 P2橋脚断面諸元及びL2地震照査結果

断面諸元		加振方向									
部材位置		P2橋脚基部									
鋼管径		D = 2500 (mm)									
鋼材材質		SM570									
鋼管厚		t = 50 (mm)									
充填コンクリート強度		35 (N/mm ²)									
照査	時刻	加振方向1	加振方向2	加振方向3	加振方向4	加振方向5	加振方向6	加振方向7	加振方向8	加振方向2+鉛直	
	時刻	t [sec]	11.40	11.44	11.43	11.39	11.32	11.30	11.31	11.34	11.44
	最大応答曲げモーメント	Md [kN·m]	131355.9	134743.5	132209.4	131405.0	131414.8	130875.2	131503.1	133053.0	135764.1
	最大応答部材角	d [rad]	0.00599	0.00748	0.00656	0.00553	0.00449	0.00382	0.00391	0.00474	0.00725
	曲げ最大軸力	Nd [kN]	11526.8	12191.9	12439.1	13341.6	16043.3	19637.7	22793.5	24308.2	14308.9
	曲げ降伏耐力	Myd [kN·m]	127902	128200	128310	128711	129859	131279	132428	132943	129129.0
	損傷レベル2制限値	md [rad]	0.01543	0.01536	0.01533	0.01524	0.01499	0.01468	0.01444	0.01433	0.01515
	i: Md / Myd		1.03	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	1.00	1.05
	i: d / md		0.39	0.49	0.43	0.36	0.30	0.26	0.27	0.33	0.48
	損傷レベル結果		2	2	2	2	2	1	1	1	2

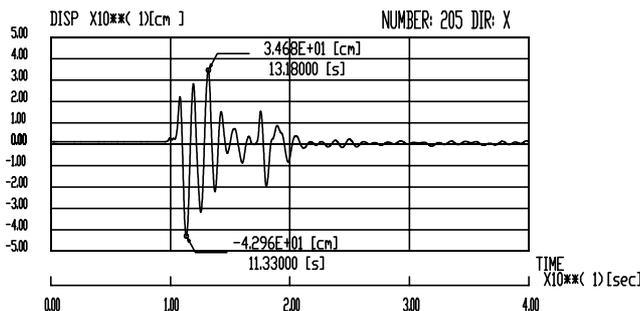


図6 P2橋脚天端水平変位履歴 (L2地震)

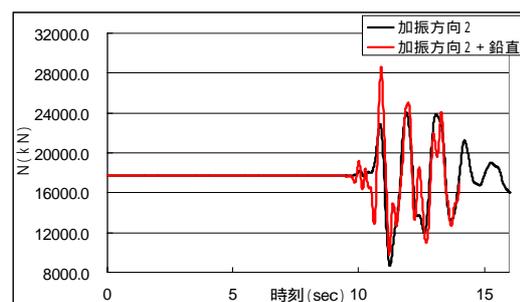


図7 応答軸力履歴比較

参考文献：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (H10)