

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検討（その2）

復建エンジニアリング ○正会員 桧山 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

本検討の対象構造物は、R=100m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である。（図1参照）前回の報告では、大規模地震発生時におけるラケット型をした中間支点橋脚の耐震性能の確保を目的とし、3次元骨組モデルを構築して卓越する地震力載荷方向の見極めと鉛直地震動の影響について検討を行った。本検討では同解析モデルを用いて行った液状化の影響について、その検討結果を報告するものである。

2. 液状化判定

2-1 液状化抵抗率の算出

液状化の判定は、鉄道設計標準（耐震設計編）に準拠し、液状化抵抗率による方法を用いた。当該地盤はG4地盤に相当するため、地表面最大加速度はL1地震：150（gal）、L2地震〔スペクトルⅡ〕：700.3（gal）とし、液状化抵抗率及び土質諸定数の低減係数を算出した。

判定の結果、L1地震時には液状化しないが、L2地震時には現地盤から約7mの深度までが液状化する結果となった。表1にその算出結果を示す。

2-2 耐震設計上の地盤面（液状化時）の設定

液状化抵抗率の結果より、現地盤面から考慮した表層地盤では液状化指数PLは24程度であったため、液状化時の耐震設計上の地盤面は第2層の下面とした。（図2参照）

3. 解析条件

構造解析モデル及び、部材のモデル化については前回報告した慣性力設計時と同様とした。地盤のモデル化は液状化時の低減によるバネ値の補正を行い、液状化時に突出する杭には付加重量の影響を考慮した。尚、当該地盤では側方流動の及ぼす影響はないものと判断できた。

解析は時刻歴解析により行い、入力地震波加振方向は前回報告で最も影響の大きかったP1梁直行方向とした。

表1 液状化抵抗率、土質諸定数の低減係数

液状化 検討深度 (m)	L1地震				L2地震〔スペクトルⅡ〕			
	液状化 強度比 R	地震時最大 せん断応力比 L	液状化 抵抗率 FL	低減係数 DE	液状化 強度比 R	地震時最大 せん断応力比 L	液状化 抵抗率 FL	低減係数 DE
1.315	0.4175	0.2028	2.0583	1.00	0.437	0.979	0.446	0
2.3	0.3952	0.2439	1.6206	1.00	0.573	1.189	0.482	0
3.3	0.4033	0.2606	1.5472	1.00	0.768	1.285	0.598	0
4.3	0.4719	0.2685	1.7573	1.00	2.093	1.338	1.564	1
5.3	0.3989	0.2721	1.4663	1.00	1.049	1.371	0.765	0.277
6.3	0.3665	0.2731	1.3418	1.00	0.384	1.392	0.276	0
7.3	0.3760	0.2726	1.3792	1.00	0.394	1.405	0.280	0
8.3	—	—	—	—	—	—	—	—
10.3	0.7789	0.2681	2.9058	1.00	12.816	1.433	8.945	1
11.3	0.4817	0.2648	1.8195	1.00	2.929	1.433	2.044	1
14.3	0.7063	0.2534	2.7875	1.00	10.515	1.427	7.369	1
16.3	0.6382	0.2451	2.6043	1.00	7.894	1.419	5.562	1
17.3	0.4061	0.2407	1.6869	1.00	1.531	1.415	1.082	1

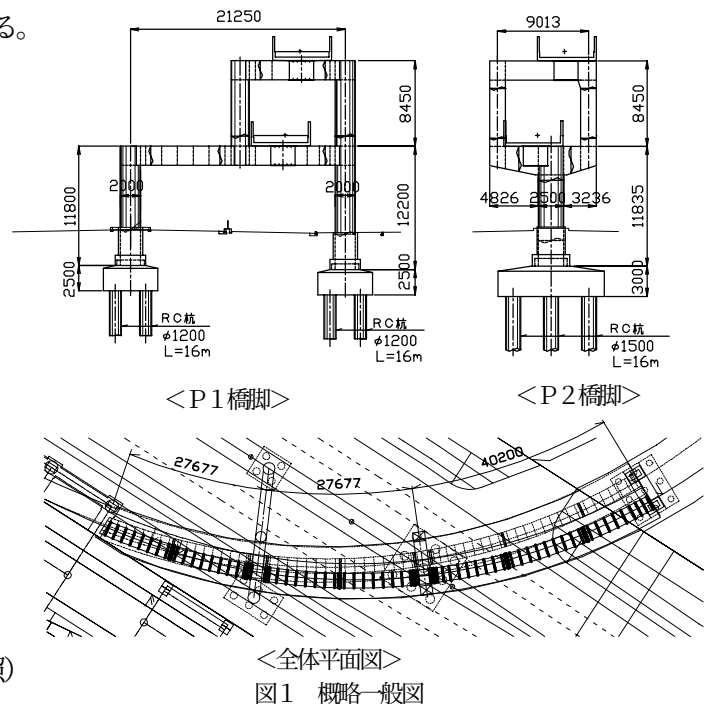


図1 概略一般図

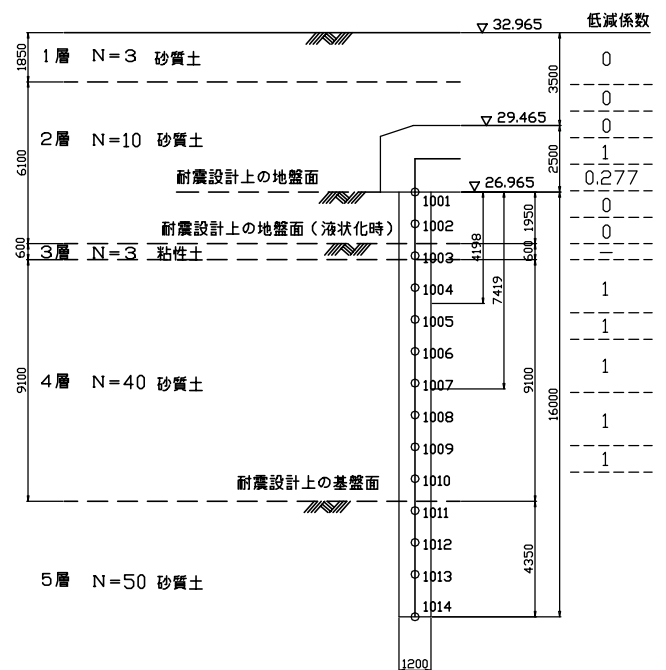


図2 地層断面図

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、液状化

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

L2地震時（スペクトルⅡ）の入力地震波形は、液状化指数PLは20以上であるが、対象構造物は基礎が深く液状化する地層は主に耐震設計上の地盤面より上方となるため、「液状化地盤地表面地震波（スペクトルⅡ・ $5 < PL \leq 20$ ）」とした。（図3参照）

4. 解析結果

表2・3には、前回報告で検討を行ったL2地震時慣性力設計と今回検討の結果を対比させたP2橋脚柱基部及び杭部材の損傷レベル照査結果を示す。図4には、L2地震時慣性力設計の結果より得られたP2橋脚天端の水平変位履歴、図5には今回の液状化解析から得られたP2橋脚天端の水平変位履歴を示している。また、図6には杭番号位置図を示す。損傷レベル照査の結果、P2橋脚柱基部は慣性力設計時には損傷レベル2であるのに対し、液状化解析では損傷レベル1となった。P2橋脚杭基礎部材は慣性力設計時には9本のうち1本のみが損傷レベル2となったが、液状化解析では損傷レベル2に達する杭部材は3本であった。また、P2橋脚天端の最大変位は、慣性力設計時には43cm、液状化解析では29cmであり、液状化時の方が全体系に及ぼす変位の影響は小さいことがわかった。尚、本解析検討においてもL2地震時に目標とする耐震性能Ⅱは満足することが確認できた。

5. 考察とまとめ

本解析条件においては①L1地震時には液状化が発生しないこと、②L2地震時には上層の砂質土層が液状化するが、最大応答時に目標とする耐震性能Ⅱを確保することが確認できた。また、液状化解析で用いた入力加速度最大値は慣性力設計値の0.7倍程度であるが、杭部材の応答は慣性力設計の結果より厳しいことが確認できた。これは、突出杭（約2m）の影響及び、付加重量による影響が大きかったためであることは間違いなく、本検討の有効性を確認できたと考えている。

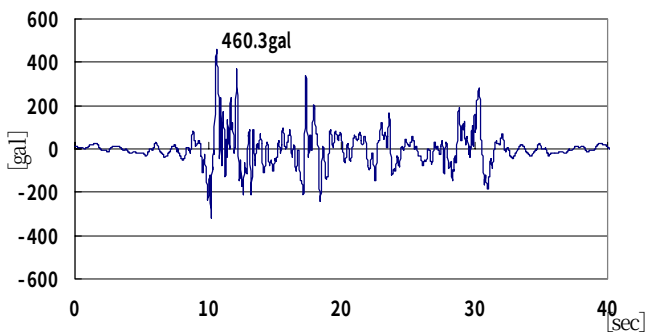


図3 液状化地盤用地表面波形（ $5 < PL < 20$ ）

図6 杭番号位置図

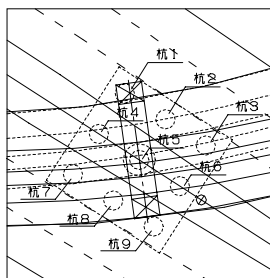


表2 P2橋脚柱断面諸元及び照査

断面諸元	部材位置		P2橋脚基部	
	鋼管径		D=2500 (mm)	
照査	鋼材材質		SM570	
	鋼管厚		t=50 (mm)	
照査	充填コンクリート強度		35 (N/mm ²)	
	解析ケース		慣性力解析	
照査	時刻 t		sec	
	時刻 t		sec	
照査	最大応答曲げモーメント Md		kN・m	
	最大応答曲げモーメント Md		kN・m	
照査	曲げ最大軸力 Nd		kN・m	
	曲げ最大軸力 Nd		kN・m	
照査	曲げ降伏耐力 Myd		kN・m	
	曲げ降伏耐力 Myd		kN・m	
照査	損傷レベル2制限値 θ md		rad	
	損傷レベル2制限値 θ md		rad	
照査	y i・θ d / Myd		1.05	
	y i・θ d / θ md		0.49	
照査	損傷レベル結果		2	
	損傷レベル結果		1	

表3 P2橋脚杭基礎断面諸元及び照査結果

断面諸元	部材位置		杭頭部	
	杭径		D=1500 (mm)	
照査	鉄筋材質		SD390	
	コンクリート設計基準強度		30 (N/mm ²)	
照査	時刻		最大応答曲げモーメント Md	
	時刻		最大応答曲げモーメント Md	
照査	曲げ最大軸力 Nd		曲げ降伏耐力 Myd	
	曲げ最大軸力 Nd		曲げ降伏耐力 Myd	
照査	損傷レベル2制限値 θ md		Md / Myd	
	損傷レベル2制限値 θ md		Md / Myd	
照査	y i・θ d / Myd		θ d / θ md	
	y i・θ d / Myd		θ d / θ md	
照査	損傷レベル結果		損傷レベル結果	
	損傷レベル結果		損傷レベル結果	

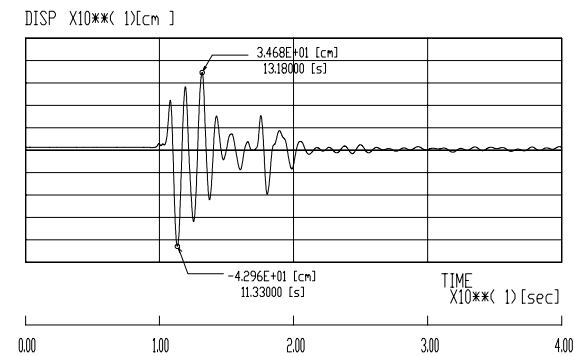


図4 P2橋脚天端水平変位履歴（慣性力設計）

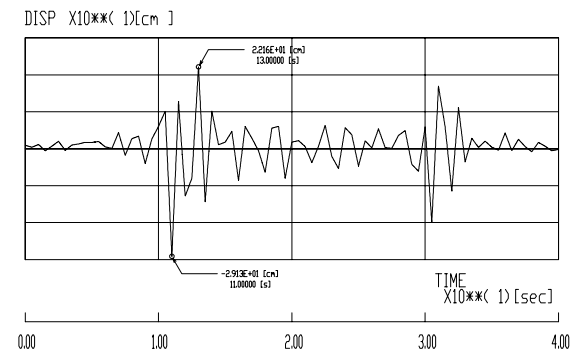


図5 P2橋脚天端水平変位履歴（液状化解析）