耐震補強を必要とする高架橋の構造変更に関する一考察

東海旅客鉄道㈱　正会員　安藤　陽一
東海旅客鉄道㈱　正会員　○柳川　智史
ｼﾞｪｲｱｰﾙ東海ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ㈱　正会員　今枝　潤志

１．目的

兵庫県南部地震以降、各地で高架橋柱・橋脚等の耐震補強対策が進められている。高架下未利用箇所や駐車場等の施工容易な箇所の柱補強工事はほぼ完了している段階であるが、残されている工事は高架下建物利用箇所や駅設備内の柱補強など、施工条件の大変厳しいものが多い。本研究では、高架下利用のため地中部を掘削して補強することが困難な箇所において従来の鋼板巻補強工法に代わり、土中部の掘削を最小限に留める工法として、地盤の拘束効果に期待する「地中部地盤改良補強」、また構造系を変更することにより柱に発生するせん断力を抑制することを目的とした「柱間ストラット補強」の耐震性能に関する検討を行った。その検討事例を報告する。

２．設計条件

本検討では、標準的な 3 径間 RC ラーメン高架橋を対象とした。設計条件は以下の通りである。

- 軌道線形：直線
- 基礎種別：直接基礎
- 地盤種別：G2 地盤（盛土層 N=5・γ=1.8kN/m^3・ϕ=32°）
- 環境条件：一般の環境
- 耐震性能：耐震性能Ⅰ（L１地震動）耐震性能Ⅱ（L2 地震動）

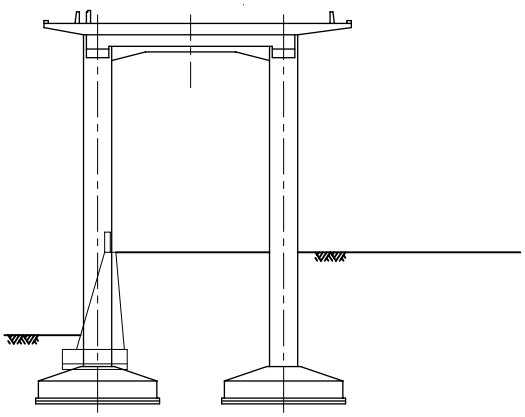

図１　対象高架橋（直角方向）

３．検討ケース

本研究では、上り線側柱の土中部の補強方法を検討することを目的とするため、以下のケースについて比較検討を行った。下り線の柱全て及び上り線の柱の地上部（ストラット上部）は鋼板巻き補強するものとした。

Case	補強方法	慣性力載荷方向
1	全ての柱を鋼板巻補強	線路１方向、直角２方向
2	上り線土中部を無補強	線路１方向、直角２方向
3-1	上り線土中部を地盤改良補強（改良強度の最低保障値）	線路１方向、直角２方向
3-2	上り線土中部を地盤改良補強（改良強度３倍：平均的な改良強度）	線路１方向、直角２方向
3-3	上り線土中部を地盤改良補強（改良強度 10 倍：改良可能な最大値）	線路１方向、直角２方向
4-1	線路方向の柱間にストラット設置（地盤面）	線路１方向
4-2	直角方向柱間にストラット設置（路盤面より 1.0m の深さに設置）	線路直角２方向
4-3	直角方向柱間にストラット設置（路盤面より 2.0m の深さに設置）	線路直角２方向
4-4	直角方向柱間にストラット設置（路盤面より 3.0m の深さに設置）	線路直角２方向

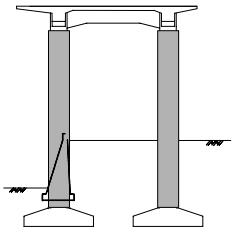

図 2-1　Case1

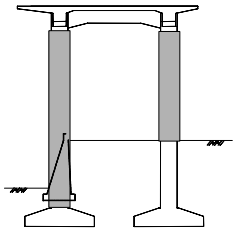

図 2-2　Case2

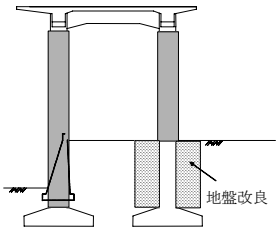

図 2-3　Case3

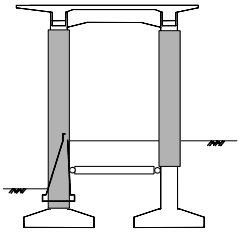

図 2-4　Case4

キーワード　耐震性能，地中部地盤改良補強，ストラット補強
連絡先　〒532-0011　大阪市淀川区西中島 5-5-15 新大阪ｾﾝﾄﾗﾙﾀﾜｰ 7F JR 東海関西支社工務部施設課　TEL06-6302-5124

４．構造解析モデル

- 構造物：柱部材のみ非線形モデルとし梁及び基礎は線形モデルとした。
- 地盤：静的非線形モデルには水平バネ・せん断バネ・回転バネを考慮し線形（降伏なし）として扱った。
- 盛土：下り線側には土がなく、柱には土圧がかからないものと仮定した。上り線側は盛土地盤、地盤改良体を考慮し、地盤を水平バネとして評価した。地盤改良工法はジェットクラウド工法を想定し、改良体強度が最も強くなる JG-1 号硬化剤の設計基準強度を用いた（Case3-1）。
- ストラットと柱はピン接合とし、ストラットの部材要素は線形とした。

５．解析方法及び耐震性能照査

本検討は、地震時について非線形スペクトル法により解析を行った。補強検討に用いる設計地震動は L2-スペクトルⅡとし（L1 地震動は省略）、慣性力の載荷方向は上表の通りとした。耐震性能照査は「破壊形態」、及び「柱部材の損傷レベル」（耐震性能Ⅱを満足する損傷レベル 3 を制限値とする）について行った。

６．検討結果と考察

各ケースについて、検討結果は下表の通りである。載荷方向による大きな変化は見られなかったため、直角方向（←）の結果を示す（Case4-1 は線路方向）。なお下表でせん断破壊するのは全て上り線の柱部材である。

Case	破壊形態	せん断先行型の場合 せん断破壊モードとなる部材	曲げ破壊先行型の場合	
			損傷レベル	左記の損傷レベルとなる部材
1	曲げ	-	2	柱の上下端部（上下線共に）
2	せん断	地中部 0～2.0m	-	-
3-1	せん断	地中部 0～3.0m	-	-
3-2	せん断	地中部 0～2.0m	-	-
3-3	せん断	地中部 0～1.5m	-	-
4-1	せん断	ストラット下 0～1.8m	-	-
4-2	せん断	ストラット下 0～1.5m	-	-
4-3	せん断	ストラット下 0～1.0m	-	-
4-4	曲げ	-	3	上り線柱の上端部

Case1（基本ケース）、Case4-4 以外の全てのケースで、せん断破壊モードとなることが判明した。

ここで Case2 では、土中部のせん断力はそれほど大きくはないが、無補強部材のせん断耐力が不足しているためせん断破壊モードとなる。これに対し、Case3-1～3 では土中部をバネ値の大きな地盤改良バネで拘束することにより土中深さ 1m 付近でせん断力が極端に大きく発生し、せん断破壊モードとなっている（図 3）。地盤ばねが大きいため部材が支点のようになり、柱に大きな反力が発生しているものと考えられる。

Case4 は、既設柱のせん断耐力が地表面から下に行くに従い増加していることに着目し、ストラット位置を順次下げ、発生せん断力≦せん断耐力となる位置を探す検討ケースである。しかし、ストラット設置がせん断力低減には繋がらず、逆に設置位置でのせん断力が大きく発生する結果となり、4-4 以外ではこの付近でせん断破壊モードとなっている。

７．まとめ

- 地盤改良体のバネ値を変更して柱に与える影響を検討したが土中部柱はせん断破壊型となった。
- 柱と柱の間にストラットを設置する検討では、深さ 3.0 mに設置する場合以外は全てせん断破壊型となった。
- 当該高架橋はせん断補強鉄筋量が少ないためせん断耐力が小さく、不足分は耐力を補強する方法でしか対応することはできないと考えられる。

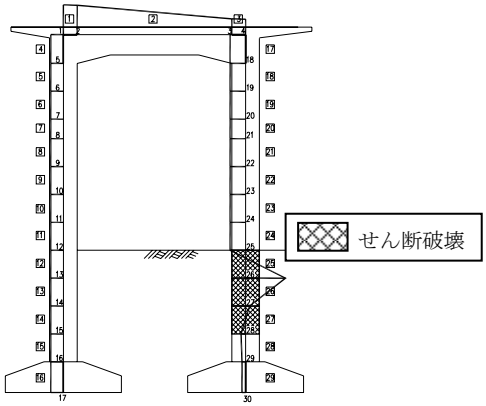

図 3　せん断力図（Case3-1）

参考文献

- 鉄道構造物設計標準（耐震設計）　鉄道総合技術研究所　2002 年 6 月改正