

断層を跨ぐ鉄道ラーメン高架橋の地震時挙動に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○日野 篤志, 室野 剛隆
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

1. はじめに

1999年のトルコ・コジャエリ地震や台湾集集地震では、地表断層変位による土木構造物への甚大な被害が確認された¹⁾²⁾。この地表断層変位には、地表面位置における変位量の予測の難しさ、発生すると構造物に甚大な被害を及ぼすといった特徴がある。そのため、地表断層変位の影響を受けないように構造物を建設することが望ましいが、鉄道構造物の場合には路線の線形の関係から、断層上または断層近傍に構造物を建設せざるを得ない場合があり、そのような場合には地表断層変位の影響を考慮した耐震設計を行う必要がある³⁾。これまでに筆者らの一部は横ずれ断層を対象として、地表断層変位が橋梁に作用した場合の落橋のメカニズムについて研究を行っており⁴⁾、地表断層変位を考慮した耐震設計法について検討を行ってきた。断層破壊の形態には、横ずれの他に縦ずれがあり、縦ずれによる地表断層変位が構造物に作用した場合には、水平部材に変形が生じ構造物全体系の崩壊が想定される。そこで、本研究では鉄道構造物として広く用いられているラーメン高架橋に対して縦ずれに伴う地表断層変位が作用した場合の挙動について確認を行うこととした。また、あわせて地表断層変位に対して有効なラーメン高架橋の構造形式について検討を行った。

2. 検討条件

(1) **対象構造物の設定** 本検討には、現行の耐震基準を満足するように設計された柱高さ約8m、橋軸方向スパン10mの鉄道高架橋⁵⁾をもとに径間数と地中梁の有無をパラメータに3タイプのラーメン高架橋を作成し検討に用いることとした(図1)。

Type1：一層4径間のラーメン高架橋

Type2：一層4径間の地中梁の有するラーメン高架橋

Type3：一層1径間の地中梁の有するラーメン高架橋(張出し式)

Type1およびType2は、広く用いられているラーメン高架橋であり高架橋端部にはゲルバー桁が用いられている。Type3は本検討用に考案したラーメン高架橋であり、径間数を短くすることで発生断面力の低減や、端部を張出し式にすることで桁の落下を事前に防止するといった効果を期待した構造である。

(2) **解析条件** 3タイプのラーメン高架橋について解析モデルの構築を行い、幾何学的非線形性を考慮した二次元の静的非線形解析を行う。解析モデルは、橋軸方向、橋軸直角方向についてそれぞれ梁ばねモデルとして構築した。非線形性の設定は、柱や梁といった構造部材は線形要素、基礎と地盤の相互作用ばねは非線形要素とした。基礎と地盤の相互作用ばねとは、フーチング底面での鉛直方向および水平(せん断)方向の地盤の抵抗をモデル化したバイリニア型の地盤ばねである。地盤ばねの物性値については、鉄道標準(基礎構造物)⁶⁾に準拠して設定を行った。解析で考慮する地表断層変位の値は、鉛直方向に3.0mとした。地表断層変位の入力位置はそれぞれのモデルについて、表1に示すような橋軸直角方向9ケース、橋軸方向5ケースを設定した。地表断層変位の入力方法は図2に示すように、基礎底面の地盤ばねを介して強制変位として入力を行った。

3. 静的非線形解析結果

基礎の回転角と水平部材の応答について地表断層変位の値ごとに整理を行った。なお、紙面の都合上水平部材の応答については、橋軸方向の上層梁の値のみを示す。応答については発生断面力の大きさを確認するために、曲げ降伏耐力 M_{yd} およびせん断耐力 V_{yd} の値をあわせて示す。

キーワード 地表断層変位, ラーメン高架橋, 直接基礎, 静的非線形解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 公益財団法人鉄道総合技術研究所

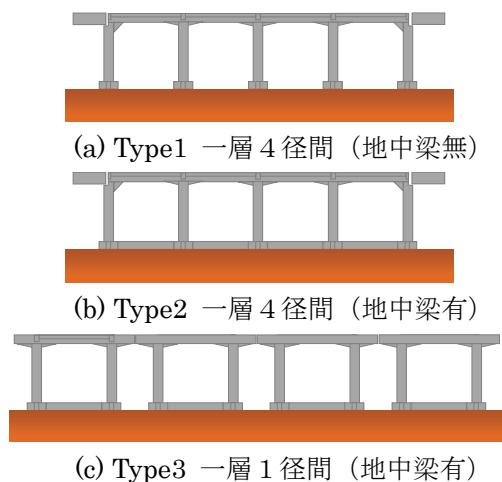


図1 検討対象のラーメン高架橋の概要図

表1 地表断層変位の入力ケース

(a) 橋軸直角方向		(b) 橋軸方向	
	入力幅(m)		入力幅(m)
CaseC1	0	CaseL1	0
CaseC2	0.8	CaseL2	10
CaseC3	1.7	CaseL3	20
CaseC4	2.5	CaseL4	30
CaseC5	3.3	CaseL5	40
CaseC6	4.1		
CaseC7	4.9		
CaseC8	5.7		
CaseC9	6.5		

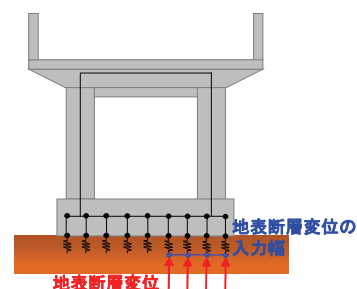


図2 地表断層変位の入力方法

(1) **基礎の回転角** 図 3(a)には橋軸直角方向の地表断層変位とフーチング底面の回転角の値を示す. この結果よりフーチング幅の半分以上 (CaseC6以降) に地表断層変位が作用すると, 基礎底面は回転せず高架橋が持ち上がることがわかった. 図 3(b)には Type1 から Type3 の橋軸方向の解析結果における地表断層変位と基礎の回転角の値を示す. 表 1 のケースの解析結果で回転角が最大となるケースの結果を示す. この結果より, Type 1 と Type 2 に発生する回転角の値に大きな差はみられず, Type 3 は他のタイプの 3 倍程度の回転角の値となった. これは, Type3 のラーメン高架橋は他のラーメン高架橋と比較して橋軸方向の長さが短いためである.

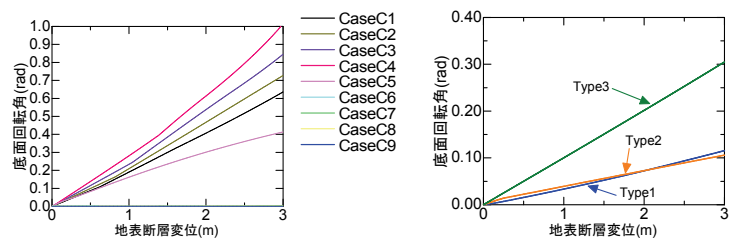
(2) **上層梁の発生断面力** 図 4 には Type1 から Type3 の橋軸方向の解析結果における地表断層変位と上層梁の発生断面力の関係を示す. なお, 図 4 では表 1 の各ケースの発生断面力が最大となったケースの値をタイプごとに示す. 図 4 より, 曲げモーメントは Type 1 と Type 2 のラーメン高架橋はわずかでも地表断層変位が作用すると耐力を超過する結果となった. せん断力については, Type 1 は 0.3m, Type 2 は 1.0m 程度の地表断層変位が作用するとせん断耐力の値を超過することがわかった. Type3 の発生断面力の値は, 他のタイプと比較すると小さく地表断層変位 3.0m においても曲げ耐力およびせん断耐力を超過することはなかった. なお, Type1 および Type2 で曲げモーメントの値が最大となったのはいずれも端部列に地表断層変位が作用したケース (CaseL1) であり, 地表断層変位によって発生する鉛直方向の力の作用位置からの距離が長いため上層梁に発生する曲げモーメントの値が大きくなったことが挙げられる.

(3) **挙動のまとめ** 挙動のまとめとして Type2 (CaseL1) および Type3 のラーメン高架橋に地表断層変位が作用した場合の挙動を図 5 に示す. Type2 では作用する地表断層変位の値が小さい場合には, 地表断層変位によって構造物を押し上げようとする力に対して構造物の重量が抵抗するため, 地表断層変位が作用する柱の周辺のみが持ち上がろうとするが, 地表断層変位の値が大きくなると徐々に持ち上がる範囲が広くなり, 両端の柱のみで構造物を支持した状態となる. このような状態において Type2 のラーメン高架橋の場合には, 橋軸方向のスパンが長いため, 上層梁の曲げモーメントの値は大きくなり, 基礎の回転角は小さくなる. 次に, Type3 は橋軸方向の長さが短く全体の重量が他のラーメン高架橋より軽いため僅かな地表断層変位でラーメン高架橋は持ち上がり始め, 徐々に回転することがわかった. 全体の重量が軽いことやスパンが短いため, 水平部材に発生する断面力の値は他のタイプと比較してごく僅かな値となる.

4. まとめ

本検討では, ラーメン高架橋に地表断層変位が作用した場合の挙動を確認するために, 3 タイプのラーメン高架橋について静的非線形解析を行った. その結果, 地表断層変位がラーメン高架橋に及ぼす影響の程度について確認することができた. また, Type3 のラーメン高架橋は, 基礎の応答は大きくなるものの部材の損傷は抑えることが可能となるため, 断層変位に対して有効な構造型式となり得る可能性を確認することができた.

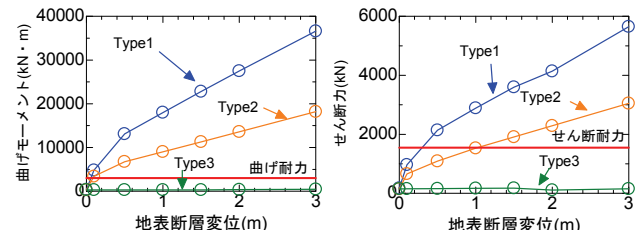
参考文献 1)川島ら: トルコ・コジャエリ地震による交通施設の被害概要, 第3回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム 2)川島ら: 1999年集集地震(台湾)における道路橋の被害, 第3回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム 3)鉄道構造物等設計標準(耐震設計) 4)室野ら: 断層交差角度に着目した橋梁の挙動特性に関する基礎的研究, 土木学会地震工学論文集 5)鉄道構造物等設計標準 設計計算例 RCラーメン高架橋 6)道構造物等設計標準(基礎構造物)



(a) 橋軸直角方向

(b) 橋軸方向

図 3 フーチング中心の回転角の分布



(a) 曲げモーメント

(b) せん断力

図 4 上層梁の発生断面力の分布 (橋軸方向)

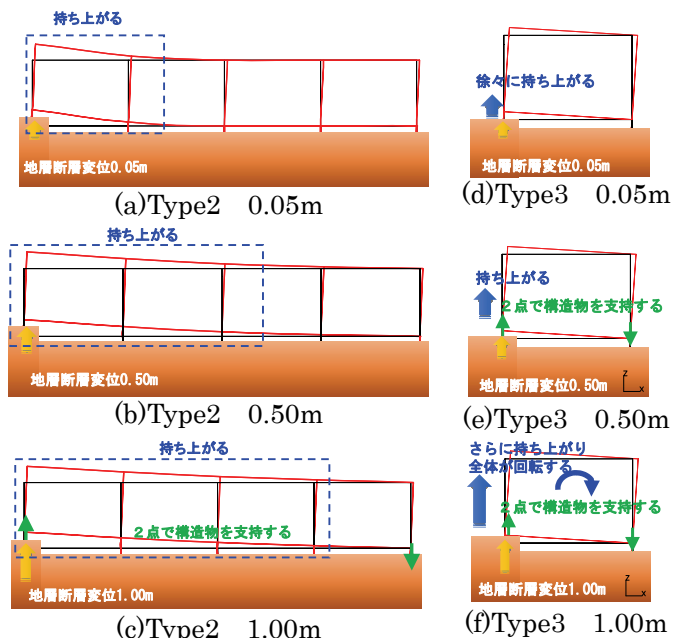


図 5 主な挙動のまとめ