

橋梁の軸直角方向の地震被害と地盤

前橋工科大学 フェロー 那須 誠

1. まえがき

地震で軸方向に被害を受けた橋梁は異種支持地盤状態になっている場合が多いことを既に発表しているので¹⁾, 今回は軸直角方向に被害を受けた橋梁とその地盤をいくつか示すとともに被害機構を推定する

2. 被害橋梁と地盤状態

(1) 水深第1高架橋(1987年千葉県東方沖地震, 杭基礎)で, 略橋軸直角方向の埋没谷筋方向に大きい地震力が作用して, 橋脚上部の橋軸直角方向の面にタスキ掛の斜め亀裂(せん断亀裂)が生じた²⁾³⁾⁴⁾. この高架橋は東京湾側にある砂丘内に南東方向に源頭部をもつ埋没枝谷の大きい谷(谷底平野)への出口付近を斜めに北東から南西方向へ横断する. 被害は埋没谷の特に深い所で, N値が大きく厚い砂層の下の極軟弱粘性土層の厚いところほど酷く生じた. 高架橋上の海側の電柱が線路側(枝谷と反対側の北西側)に折損した. 埋没谷の堆積層の下流側への動きによって基礎が急激に押されたとき, 橋脚が上流側に相対的に動き, さらに電柱が相対的に下流側(線路側)に動いたため, その折損が生じたことが考えられる. 左右橋脚上部のハの字型亀裂をよくみると海側に下がる斜め亀裂が卓越し, これは後述のサイプレス高架橋のNo. 74~80のブロックの亀裂と似ており, ともに埋没谷の堆積土層の下流側への強い動きによるものと考えられる. なお, この高架橋のすぐ近くにある殆ど無被害の水深第2高架橋(杭基礎)は, 水深第1高架橋と同様に埋没枝谷を横断するが, この枝谷の奥は比較的深くて地表面の傾斜も緩く, 谷を埋めた軟弱土層全体が粘性土と腐植土からなる特徴をもつ

(2) エンバカデロ高架橋(1989年ロンプリータ地震, 杭基礎)はサンフランシスコ(SF)市街地にある埋没谷のSF湾への出口付近を横断するようにNW-SE方向に走る²⁾³⁾⁵⁾. 橋軸と略直角方向の谷筋方向に大きい地震力が作用して, 橋脚の橋軸直角方向の面に斜め亀裂(せん断亀裂)が生じた. その埋没谷には軟弱なベイマッドが堆積し, その被害はこの埋没谷の岩盤までの深さが75m以上の区間とほぼ一致する.

(3) サイプレス高架橋(同地震, 杭基礎)は橋軸直角方向に崩壊した. この高架橋は扇型に近い埋没谷のSF湾への出口付近を横断するように走る²⁾³⁾⁵⁾. 特に崩壊の著しい区間(約1.2km)は湿地の軟弱地盤の埋め立て地であるが, 大部分が旧河道あるいは潟湖跡と思われるところにあり, 地盤内には非常に軟弱な粘土層あるいは軟弱なシルト質粘土層等が存在する. しかも, 中程の橋脚No. 74~80ブロックは他のブロックの被害形態と異なり, 東(山)側の上層階の橋脚は東側に折れ, その付け根に右下がりの斜め破壊面が生じたのは, 東側の地盤から強い力を受けたためと推定されるが, この位置は基盤(南側の大変よく締まった砂層と北側の固い砂質粘土層)の深さの急変個所即ち軟弱層厚さの急変個所に位置しており, いわゆる硬軟地盤境界部即ち地盤条件の不連続点に当たる. また, 構造形式毎に破壊形態は完全に一致せず, 構造形式が異なっても被害形式が同じものがある. ここでも地震力は略谷軸方向に大きく作用した.

(4) ストラブスルー橋(同地震, 杭基礎)では南行車線と北行車線橋梁が並列しており, 橋軸直角方向に変位して南行車線の中央部分が落橋したこの橋は谷を渡る²⁾³⁾⁶⁾. 前後両端の橋台が良好地盤上に, その間の橋脚が谷地形内の有機質土からなる湿地帯に存在する. 橋梁の変形は南行車線が北行車線より極めて大きく, 桁が東に杭が西に即ち橋軸直角方向に大きく変位して落下した. しかも, 杭の変形は西側ほど大きい. その落下個所と北行車線との間に雑木が繁茂しており, その地盤には砂礫等からなる比較的よい土層があると考えられる. 従って, 変形状態と地盤状態から, 南行車線が西側から地盤に押されてその西側の杭の上部(橋脚)が西側に大きく曲がるとともに, 南行車線が雑木の繁茂する砂礫地盤に急激に衝突して, 東側の杭と橋脚が西側に変位するとともに, 桁が東側に移動したこと等が考えられる. このとき東側の北行車線橋梁が地盤の動きを止める機能を発揮したことが考えられる. このよう

キーワード: 橋梁, 軸直角方向地震被害, 地盤, 不同地盤変位, 偏土圧

連絡先: 〒371-0816 前橋市上佐鳥町 460-1, Tel./Fax. 027-265-7342

な変形状態は昭和大橋の杭と橋脚の地震時の変形と似ている。

(5) 下食満高架橋(1995 年阪神・淡路大震災, 杭基礎)は南東方向から北西方向に走り, ここの 2 箇所 S1a と S1b で橋軸直角方向に崩壊(落橋)が生じた⁷⁾⁸⁾。前者の橋脚に左上から右に下がる斜め亀裂が生じて, 上部橋脚が右(北東)側に落下し桁も右側へ傾斜, 移動した。後者も橋脚に右上から左に下がる斜め亀裂が生じて, 上部橋脚が左側に落下し桁も左(南西)側に傾斜, 移動した。旧版地形図によると, S1a は自然堤防(集落 S)の南東側の埋没谷に, S1b は集落 S とその北西方向にある自然堤防(集落 N)の間の埋没谷の田圃に位置する。S1a 全体と S1b の起点寄りの部分では地盤面(G. L.) 標高 0. P. +5m の等高線に直角方向で, 前者は北東側から南西側に G. L. が低くなる方向に, 後者は南西側から北東側に水路の水が流れる方向(埋没谷軸の方向で地盤面の低くなる方向)で前者と反対方向に地盤が地震時に急激に動いたため被害が生じたことが推定される

(6) 東灘高架橋(同震災, 杭基礎)の北側への倒壊は芦屋川沿いの自然堤防と旧深江集落の存在する自然堤防の間の埋没谷部で発生した⁷⁾⁸⁾。埋没谷の東端と西端の橋脚 2 本が最も顕著に破壊(せん断破壊)し, 主鉄筋段落し部に南上から北に下がる斜め亀裂が生じた。その間の橋脚は両端の橋脚の倒壊に引きずられて屏風倒しのように倒壊したことが考えられる。ここでは表層地盤が谷筋方向に北側から南側に急激に動いたが, その基礎に地盤の動きが急激に止められて, 大きい土圧(偏土圧)が基礎に作用したため被害が生じたことが推定される。

(7) 阪急西宮高架橋(同震災, 杭基礎)では, 2 つ並んだ橋脚の内, 北側の橋脚がせん断破壊し桁は北側に移動や傾斜, 沈下したが, 南側橋脚の被害程度は北側橋脚より軽い⁷⁾⁸⁾。南脇にビルのある所では北側高架橋の被害程度が酷くて桁は地表まで落下した。南側の橋脚は前述の南脇のビルと同様に地盤の動きを止める機能を発揮したことが考えられる。被害箇所は夙川沿いにある自然堤防の東側の埋没谷部で洪積層と沖積層の境界部であり, この他にこの埋没谷で, 北側から南側に同高架橋の他にマンション N, 阪神高速建石交差点等に顕著な北側への崩壊が生じたのは, 埋没谷の堆積地盤が北側から南側に急激に動いたためと推定される

(8) 六甲道駅の高架橋では橋脚等が破壊し桁とホームが蛇行状に変形して崩壊した⁷⁾⁸⁾。地盤は玉石地帯とまさ土層(軟弱粘土層を挟む)の境界部で高架橋はその境界線とほぼ直角に交わる。高架橋の桁の横移動は線路脇の大きい建物の有無に対応し, 桁は建物と反対側の建物の無い方に移動しており, 建物の無い方の地盤(まさ土層)が高架橋の方に向かって動いて杭基礎に急激に止められたため被害が生じたことが考えられるし, 阪急西宮高架橋の被害発生状況と似ている。

3. あとがき

以上に述べたことを次にまとめるとともに被害原因を推定する。(1) 水深第 1 高架橋とエンバカデロ高架橋, サイプレス高架橋等の亀裂等の被害形式(単純な斜め亀裂, タスキ掛の亀裂, ハの字型の亀裂その他)がお互いに似ている。(2) 埋没谷の堆積地盤が上下逆転型地盤で谷軸方向に動いて被害が生じたが, 堆積地盤が極軟弱層からなるときは無被害である。このような例は他の地震被害でもみられる。それは上層の比較的硬い砂・礫質土層の地盤反力係数が極軟弱層より大きく基礎に与える力(土圧力)が大きいためと考えられる⁹⁾。(3) いずれの橋梁も支持杭状態で被害を受けたのは, 基盤に拘束された杭が表層地盤の動きに抵抗して地盤の動きを止めて, 杭に急激な偏土圧が作用して被害が生じたこと等が考えられる⁹⁾。それは, 地盤の動きに抵抗しないと考えられる摩擦杭や直接基礎をもつ構造物に被害がみられないこと等からも分かる⁹⁾。(4) 言い換えれば, 上下逆転型の互層地盤が杭によって言わば釘付けされて人工的にできた硬軟地盤境界部(地盤条件の不連続点)で発生する不同変位に伴って, 偏土圧が発生して被害が生じたことが考えられる。(5) 即ち, 自然に出来た地盤条件の変化点(異種支持地盤状態)にある構造物が軸方向に地震被害を受ける場合と同様に, 上述のような軸直角方向の被害も人工的にできた地盤条件の不連続点で発生する不同変位によって生じることが考えられる。なお, 本論文は参考文献 2) に加筆, 修正したものである。

参考文献

1) 那須他: 土木学会第 27 回関東支部技術研究発表会, p. 13, 2000. 3. 2) 那須: 第 11 回日本自然災害学会学術講演会, p. 68, 1992. 3) 那須: 鉄道総研報告, 5-11, p. 27, 1991. 4) M. Nasu: QR of RTRI, 37-3, p. 178, 1996. 5) 土木学会論文集, I-14, No. 422, p. 25, 1990. 6) 文部省科研費(No. 01102044) 報告書, No. B-1-3, p. 209, 1990. 7) 那須: 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, C-8, p. 271, 1996. 8) 那須: 第 2 回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, p. 185, 1997. 9) 那須: 前橋工科大学研究紀要, 第 1 号, p. 1, 1998.