

I-B 99 阪神・淡路大震災への地盤の影響と被害機構の推定（その3） — 橋梁等 —

（財）鉄道総合技術研究所 フェロー 那須 誠

1. まえがき

1995年阪神・淡路大震災を前報^{1) 2)}に続いて地盤に焦点をあてて調べ、橋梁等の被害が過去の地震被害と同様な地盤、即ち地盤条件の変化点や砂・礫層の下に粘性土層がある上下逆転型地盤で多いこと等を調べたので、その結果について報告する。

2. 地震被害が生じた部位と地盤構造

- (1) 前報等で述べたように³⁾、地震被害は地盤条件の不連続点等で、構造物の剛性や断面積等の変化点で被害が生じ易いが、その他にRC高架橋橋脚の帯筋間隔の変化点でもみられるし、西市民病院は耐震補強工事済み階の上階（建築工法変化階）が同工事中に崩落したが、後2者はともに剛性変化点である。
- (2) 鋼製橋脚の剛性変化点による被害を以下に述べる。(a)阪神高速脇浜工区では桁と橋脚の隅角部溶接部分と基部の補強リブ上端部に亀裂が、同明治工区他では鋼板の肉厚変化点で提灯座屈が発生した⁴⁾。(b)国道43号線岩屋高架橋ではT型橋脚の柱頭部の縦方向補剛リブが切れた所で崩壊した⁴⁾。自然堤防と盛土地の境界部で、北側高架橋桁が北側に傾斜した。(c)阪神高速建石交差点橋梁でT型橋脚の柱脚部の補剛材上端部⁴⁾から崩壊した。南北両側のRC橋脚と桁の可動結合、真中の鋼製橋脚と桁・フーチングの剛結状態が圧潰に関与したことが考えられるが、その構造と応力状態等が大開トンネルの中柱の崩壊と似ている。岩屋高架橋と建石交差点橋梁はともに北側への変形が大きく、前者は硬軟地盤境界部で被害が発生している。
- (3) 阪神高速西宮港大橋で甲子園浜側の本線取付け桁の東端が落下した⁵⁾。埋立地盤直下の旧海底の軟弱粘性土層は東側の甲子園浜側の方が西側の西宮浜側より厚い⁶⁾。埋立地盤が西側に大きく動いたとき水路を跨ぐ大スパン桁の東側橋脚A1の基礎がしっかりしていたので地盤の動きを抑制して護岸の変状が凹型になったこと、さらに同粘性土層厚が大きくなる東側に地盤が動いて地盤が伸びたとき、落下桁の東側橋脚A2の基礎がA1の基礎より小規模であるため両橋脚間が開いて桁が落下したこと等が考えられる。放射状の地盤亀裂は日本海中部地震による桜沢川橋梁のもの⁷⁾と似ているので橋梁の変形機構も似ていることが推定される。
- (4) 芦屋浜の巨大架橋建造物の極厚ボックス鉄骨柱が、柱頭部や柱脚部等あるいはその中間部で、母材部分や断面積変化部の溶接部や継ぎ手部、溶接部、熱影響部等の剛性変化点で破断したが、支持杭で地盤は基礎の下が改良されて上下逆転型地盤のようにになっている。ここの地盤、支持状態等は他の被害構造物のものに似ているようである。

3. 地盤構造と構造物変形の関係

武庫川左岸の宝塚大劇場の北東脇でラーメン高架橋と桁橋の境界部で桁橋脚とその上のレールが北東側に移動したため⁸⁾、走行慣性で上り電車が下り線側（南西側）に脱線した。1993年完成の大劇場も各種被害を受けた。砂州の下に軟弱粘性土層があつて地盤がよく動いたためそのような被害が生じたことが考えられる。なお、桁橋の桁が劇場と反対側の北東側に移動したが、それには橋梁脇の大きい劇場建物が基礎がしっかりしていて不動点のようになり、地盤の建物側への大きい動きを急激に止めたため大きい力が橋梁に作用したことが推察される。このような各種の地盤構造と構造物変形（軸直角方向）の関係は例えば図1のように考えられる。図中の該当構造物には類似の被害^{1) 2)}も含む。これらの変形は図2の変形が生じる構造物・地盤系で、地震波の主要動で変位が0に近いとき即ち速度が大きいときに発生すること等が推定される⁹⁾。

4. 杭の亀裂等と地盤構造の関係

今回の地震でコンクリート杭の亀裂はフーチング剛結の杭頭部の他に杭の中間部や支持層への根入れ付近に生じた¹⁰⁾。その中間部は比較的密な埋立砂礫土層と旧海底地盤の軟弱粘土層の境界や同粘土層とその下の比較的密な砂礫土層の境界、あるいは砂・礫土層の間に粘土や有機質土層が比較的薄く存在する位置であり、いずれも土層強度急変点である¹⁰⁾。なお、新潟地震による昭和橋の落橋は河成砂層内の強度極小の

腐植土や粘性土層の存在範囲で生じ¹¹⁾，或る建物のコンクリート杭も河成砂層と埋設砂丘の間のN値極小値の所¹²⁾ 即ち旧川底の強度極小の粘性土層と考えられ所で亀裂が生じており，後者の地盤ではその軟弱粘性土層を滑り面とする土層の食い違いのような現象が起きて杭に亀裂が生じたこと等が推定される。

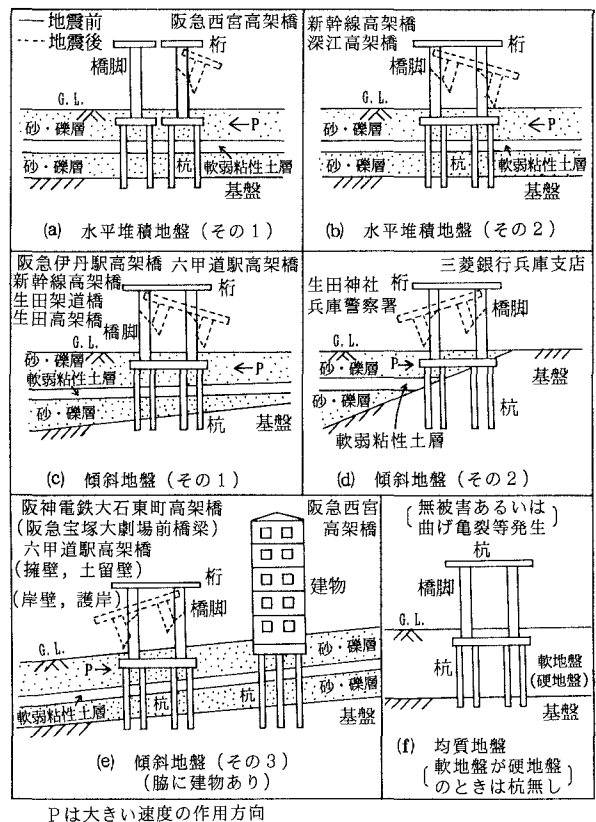
5. 地盤の動きと構造物変形の関係

夙川の東側の自然堤防沿いの埋設谷¹⁾では，北側から南側に阪急西宮高架橋，マンションN（安井町），阪神高速建石交差点等と顕著な被害が生じ，3者とも北側に大きく変形した。JR・阪急両三宮駅駅建物側壁に南上から西に下がる斜め亀裂が生じ，この付近の大阪駅寄りでは跨道橋等の鋼製桁の北側への移動，鋼製柱の北側への傾斜が生じた。神戸駅寄りでは神戸高速生田架道橋の鋳鋼管柱頭部に水平亀裂が生じかつ鋳鋼管柱と桁が北側に移動，傾斜した。また，同生田高架橋や元町・花隈間高架橋等でPC桁の北側への傾斜や移動，落下等も生じた。なお，鋳鋼管柱の水平亀裂は南側に動いた地盤が生田架道橋と南側のJR高架橋の基礎で急激に止められたため，鋼管柱基礎に急激に大きな力が作用して桁が北側にずれたとき，桁と鋼管柱のなす角度が直角に保たれたので大きいモーメントが生じたため発生したこと等が考えられる。以上に述べたように今回の地震で北側に顕著に変状した構造物が多い。このような変状は地盤が北側から南側へ強く動いたためと推定されるが，その地盤の動きは強震速度記録の粒子軌跡や基石転倒方向等から推定される地震動方向，即ち地盤の傾斜方向（南側）への地盤の動きと一致するようである²⁾。

6. あとがき

地震による構造物の被害部位は剛性変化点で多いが，その被害は上下逆転型地盤の地層境界部あるいは基礎が堅固で地盤の動きを止めるような機能をもつと考えられる高架橋等で顕著にみられる。

参考文献 (1)那須：阪神・淡路大震災への地盤の影響と被害機構の推定，阪神・淡路大震災に関する学術講演会，pp. 271-278, 1996. (2)那須：阪神・淡路大震災への地盤の影響と被害機構の推定(その2) - 土構造物と地下トンネル，第31回地盤工学研究，1996. (3)那須：地震による構造物変形への地盤の影響(その2)，土木学会第50回年次講演I，pp. 944-945, 1995. (4)土木学会平成7年度全国大会研究討論会資料，鋼構造物の震災被害，1995. (5)土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料，pp. 29-36, 1995. (6)海底地盤 - 大阪湾を例として，土質工学会関西支部，p. 資49, 1995. (7)那須：橋梁の地震被害と地盤構造，鉄道総研報告，Vol. 5, No. 11, pp. 27-36, 1991. (8)週間読売，臨時増刊，神戸壊滅，p. 29, 1995. 2. 7. (9)那須：地震被害への地盤の影響と地震応答解析(その2)，第14回日本自然災害学会学講，pp. 30-31, 1995. (10)地盤工学会編：構造物基礎・道路関係，阪神・淡路大震災調査報告書（解説編），pp. 453-464, 1996. (11)那須：地震被害形態と地盤形状および土質構成の関係，鉄道総研報告，Vol. 8, No. 5, pp. 35-40, 1994. (12)河村他：新潟地震時に破損した既製RC杭調査と耐震解析，建築学会大会，pp. 767-770, 1982.



Pは大きい速度の作用方向

図1 地盤構造と構造物変形の関係

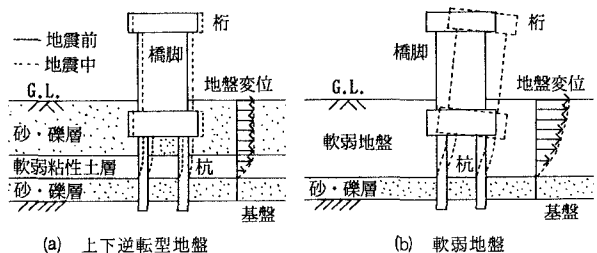


図2 橋脚の地震時挙動