

橋梁等構造物の地震被害への隣接構造物の影響の考察

那須 誠¹

¹フェロー会員 博士(工学) 前橋工科大学教授 工学部建設工学科(〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1)

1. はじめに

現在、阪神・淡路大震災等で発生した橋梁や建物等の地震被害を地盤条件に着目して調べている。前回の本シンポジウム¹⁾において、地震による変形状態と地盤構造と基礎の関係から、橋梁の地震被害に地盤構造と基礎構造の影響が大きいことを明らかにするとともに、さらに被害機構の推定結果を発表している。即ち、地震被害は地盤条件の変化点で多く発生し、それには自然にできた硬軟地盤境界部と剛な基礎で人工的にできた変化点があることと、そこで発生する不同変位やそれに基づく偏土圧で被害が生じたことを推定している。

地震被害をさらに詳しく調べたところ、その被害構造物の脇に基礎の剛な別な構造物が並んでいたために、その被害が大きく生じたと考えられる構造物がみられる。ここではその事例を示すとともに被害機構を推定したので報告する²⁾³⁾。

2. 構造物の地震被害例

2.1 1989 年ロマ7° リア地震

米国ワシントン州にあるストラブスルー橋(杭基礎、ハイバント方式)は南行車線(西側)と北行車線(東側)の橋梁が並列につくられており、谷を渡っている⁴⁾⁻⁶⁾。図1⁶⁾に示すように前後両端の橋台が良好地盤上に、その間の橋脚が埋没谷地形内の有機質土からなる湿地帯に存在している。

この橋梁は1989年ロマ7°リア地震のときに橋軸直角方向(谷軸方向)に大きく変位して南行車線橋梁の中央部分が落橋した。橋梁の変形は西側にある南行車線橋梁の方が東側にある北行車線橋梁よりも極めて大きく、南行車線の桁が東に杭が西に即ちともに橋

軸直角方向に大きく変位して桁が落下するとともに、橋脚を構成するコンクリート杭4本が床版を貫通して頭部が突出した。その杭の変形は西側ほど大きい。図1よりその南行車線橋梁の桁の落下個所と北行車線橋梁との間に雑木が繁茂していることが分かり、その地盤には砂礫等からなる比較的良好な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、地震のときに雑木の繁茂する砂礫地盤と東側の北行車線橋梁で地盤の動きが止められたため、即ち両者が不動点のようになったため南行車線橋梁が西側から強く地盤に押された上に圧縮されたようになってその西側の杭の上部の橋脚が西側に大きく曲がるとともに、東の杭と橋脚も西側に変位し、さらに桁が相対的に東側に移動したこと等が考えられる。このように東側の北行車線橋梁が基礎がしっかりしていたので、地盤の動きを止める機能を発揮したことが考えられる⁴⁾⁵⁾。

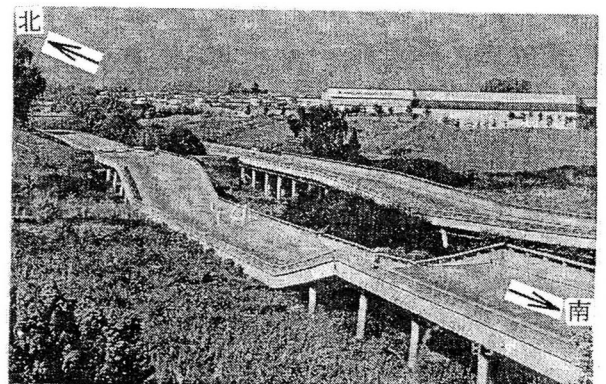


図1 ストラブスルー橋⁶⁾

2.2 1995 年阪神・淡路大震災

1) 深江本町地区高架橋

深江本町地区高架橋(杭基礎)は図2⁷⁾に示すよう

に、地震で橋軸直角方向の北側へ倒壊したが、それは芦屋川沿いにある自然堤防(東側)と旧深江集落が存在している自然堤防(西側)の間にある埋没谷部で発生した。埋没谷の東端と西端にある橋脚 2 本が最も顕著に破壊してせん断破壊したが、そのせん断破壊位置は剛性変化点である鉄筋段落し部であり、南上側から北側に下がる斜め亀裂が生じた。両端の橋脚間にある他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ている¹⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾⁻¹⁰⁾。

ここでは砂質土層に極軟弱粘性土層を含む上下逆転型地盤の表層地盤が地震のときに谷筋方向に北側から南側に急激に動いたとき、それが同橋梁のしっかりした基礎・杭に急激に止められて、急激に大きい偏土圧が基礎に作用したため、反作用として橋脚が北側に倒壊したことが推定される¹⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾⁻¹⁰⁾。

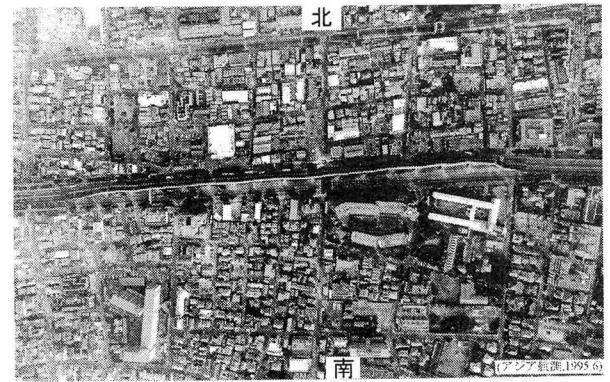


図 2 深江本町地区高架橋⁷⁾

ここで図 2 をよくみると両端の橋脚の南側(写真の下側)に比較的大きな建物(市営アパート建物群)が建っており、特に東端(写真の右側)では道路を挟んでその建物が建っていて、その脇の橋脚が特に顕著にせん断破壊している。また、西端から東端にかけて北側への倒壊が酷くなっている。従って、橋脚の倒壊にはその建物の基礎がしっかりしていたので、地盤の動

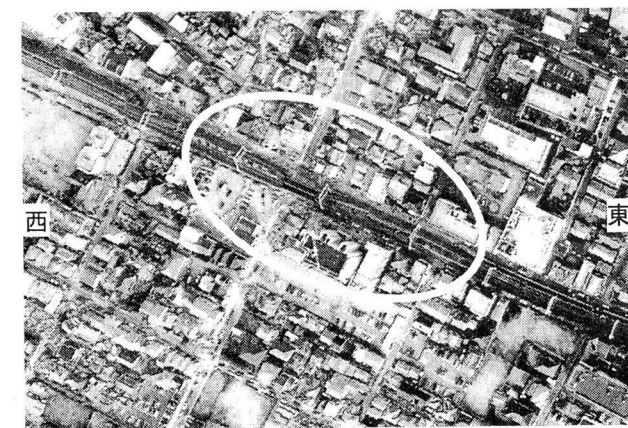


図 3 阪急西宮高架橋⁷⁾

きを止める機能を発揮したことが影響しているものと考えられる。

2) 阪急西宮高架橋

阪急西宮高架橋(杭基礎)では上り

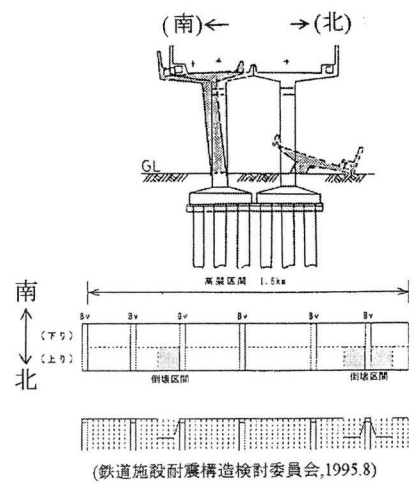


図 4 阪急西宮高架橋の被害状況¹¹⁾

線用と下り線用の高架橋が各 1 本の橋脚(1 線 1 柱式高架橋)で北側と南側に並んでつくられていた。図 3⁷⁾、4¹¹⁾に示すように地震で南北に 2 つ並んだ橋脚の内、北側の上り線用橋脚がせん断破壊し、その上の桁は北側に移動や傾斜、沈下したが、南側橋脚(下り線用)の被害程度は北側橋脚より軽い。この被害箇所は夙川沿いにある自然堤防の東側にある埋没谷部で洪積層と沖積層の境界部である。図 4 に示すように南脇に比較的大きな建物のあるところ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ている。このとき埋没谷地盤内の表層地盤が谷筋方向に動いたときに、それがしっかりした自身の杭基礎に止められたため、橋梁基礎に強い偏土圧が作用して被害が発生し、さらに南側の橋脚・基礎も地盤の動きを止める機能を発揮して、被害が生じたことが考えられる。その上で脇の建物・基礎も地盤の動きを止める作用を発揮したため、その脇の橋脚が顕著に破壊して桁が地表に落下したことが推定される¹⁾⁻³⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾。

この他にこの埋没谷では北側から南側に後述のマシヨンN や阪神高速道路建石交差点等に顕著な北側への崩壊が生じているが、それは埋没谷の堆積地盤が北側から南側に動いてそれらの構造物の基礎に止められたため、強い偏土圧が構造物基礎に作用したため生じたことが推定される¹⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾⁹⁾。

3) 六甲道駅高架橋

東海道本線の六甲道駅高架橋(杭基礎)では図 5¹²⁾に示すように、地震で橋脚等が破壊し、その上の桁とホームが蛇行状に変形して崩壊が生じた。図 6(文献 13)に加筆⁸⁾に示すように、この地盤は花崗岩からなる玉石地帯とまさ土層(この層は軟弱粘土層を挟む上下逆転方地盤)の境界部であり、六甲道高架橋はその境界線(略南北方向)とほぼ直角に交わって走っており、後者側の地盤で被害が生じている。



図5 六甲道駅高架橋¹²⁾

なお、高架橋の桁の横移動は図5に示すように、線路脇にある大きい建物の存在の有無と対応しており、桁はその建物と反対側の建物の無い方向に移動している。このような変状は建物の無い方にある地盤(まさ土層)が高架橋の方に向かって動くが、高架橋のしっかりした杭基礎に止められて強い偏土圧が基礎に作用したため生じたことが考えられる¹⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾⁹⁾。

そのときその建物直下の地盤は建物自体の基礎で動きを抑制されていて、その建物と基礎が地盤の動きを止める不動点の役割を發揮したことが考えられる。この被害発生状況は前述の阪急西宮高架橋の被害発生状況と似ている。

4) 石屋川車両基地高架橋

阪神石屋川車両基地高架橋は地震で図6, 7¹⁴⁾に示すように、東側の硬い堆積層(ST層)と、西側の硬い堆積層(ST層)の間の埋没谷の堆積層(砂礫質土層の間に粘性土層が挟まれている)で被害を受けている。この車両基地では、桁の傾斜方向と同じ方向に傾いた車両が多く見られる。検修庫西側の本線上の門型

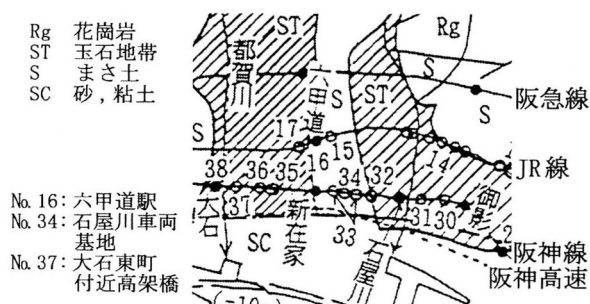


図6 地盤状態図と被害位置(文献13)に追加)⁸⁾

送電鉄塔が北側に傾斜し、研修庫北側の本線高架橋の桁が北側に移動・傾斜している。送電鉄塔の北側への傾斜からこの埋没谷が北側から南側に急激にかなりの速度で動いたことが推定される。また、検修庫北側の本線高架橋の桁の変状から地盤が北から南に急激に動いて、このとき南側に杭基礎のしっかりした検修庫が南側にあったので、その動きが急速に止められ衝撃力が作用したことが推定される。しかし、検修庫沿いの留置線(N)では車両が南側に傾斜しており、南端の留置線(S)では車両が北側に傾斜しているのをみると、Nでは北側に急激に動いた地盤で橋脚がせん断破壊されて南側に傾斜・落下しその上の

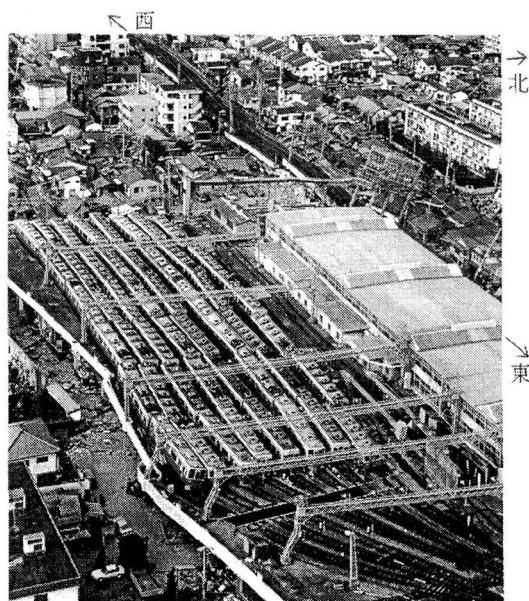


図7 石屋川車両基地高架橋¹⁴⁾

桁が南側に傾斜し、Sでは南側に急激に動いた地盤で橋脚がせん断破壊されて北側に傾斜・落下しその上の桁が北側に傾斜したことが推定される⁸⁾。

5) 神戸市役所建物

ほぼ南北に長い神戸市役所2号館建物(図8⁷⁾、図9内の①建物)は、図9(文献15)に加筆³⁾に示すように旧地形図上ではほぼ南北に細長い比高約5mの自然堤防の境界部と埋没谷の境界線に斜めに交わるように作られている。柱の太さが5階の85cm角から6階の65cm角に細く変化したいわゆる建築工法変化階の6階が潰れて、その上層階が図10(a)¹⁶⁾に示すように北側と東側に移動した。地震のとき盛土地(表層は砂・礫層の間に軟弱粘性土層をはさむ)の北側の地盤が図9に示すように自然堤防の縁に平行に(長軸方向に)南側に動いたが、2号館建物の地下室南端が硬い自然堤防(の砂・礫層)に設置されて拘束されていたため、建物は北側地盤から強い偏土圧を受けて、上層階がそれと反対方向へ移動したものと考えられ

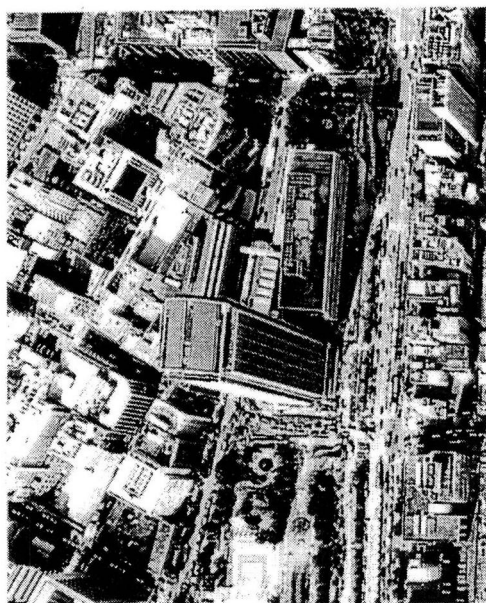


図8 神戸市役所⁷⁾

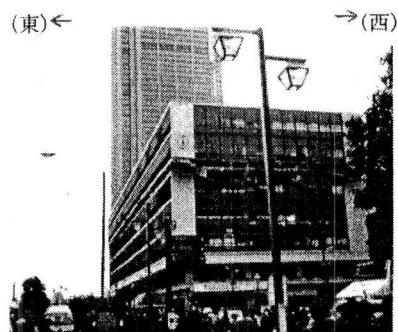


図9 神戸市役所と旧地形(文献15)に加筆⁷⁾

る。偏土圧方向と反対方向の力の、建物の長短軸方向の分力は建物上層階の移動方向と等しい。なお、そのとき南側に立っている超高層の1号館(直接基礎、図9の②の建物)が重く基礎がしっかりと自然堤防に設置されていたため、2号館の動きを止める機能を強めたため、2号館上層階が酷く移動したことも考えられる²⁾³⁾⁹⁾。

6) 神戸市立西市民病院建物

神戸市立西市民病院建物では東西方向に長い建物の耐震補強工事済み階(4階)の上階(5階)が同工事中に層崩壊した¹⁹⁾。耐震補強したところと未補強階に強度の差ができて弱い方の階が崩壊したことが考えられる。また、図11⁷⁾をよくみるとこの西側半分が特に酷く層崩壊しているが、その部分の北側には比較的平面積の大きい建物があり、ここでは南側の



(a) 神戸市役所(北東面)¹⁶⁾



(b) 阪急三宮駅(東面)¹⁷⁾ (c) JR三ノ宮駅(西面)¹⁸⁾

図10 神戸市役所と阪急・JR三宮駅⁹⁾

地盤が北側に動いたとき、次に述べるマンション建物と同様に、南側の地盤から大きい力(偏土圧)が基礎に作用したため被害が発生したことが推定される。さらに、北側にある大きい建物の基礎も地盤の動きを止める機能を発揮したため、なおいっそう酷い被害が発生したことが推定される²⁾³⁾。

7) マンション建物

マンション建物(西宮市安井町)は夙川の東側の自然堤防沿いの埋没谷部にあり、この地震で図12⁷⁾に示すように2階が層崩壊し北側に転倒した。この建物から南側に少し離れた位置に比較的大きい建物がある。

ここでは埋没谷地盤が北側から南側に動いたとき、このマンション建物の基礎がしっかりといて基礎に拘束されて地盤の動きを止めたため、地盤に圧縮側の変位差が生じ、さ



図11 神戸市立西市民病院⁷⁾

らに南側の建物も基礎がしっかりしていて、その地盤の動きを止める機能を発揮したため、地盤のその変位差がなおいっそう大きく生じて、それに応じた大きい偏土圧が建物基礎に作用して、酷い被害が生じたことが推定される²⁾³⁾。



図 12 マンションN⁷⁾

8) 大開駅構造物

大開駅の構内の RC 中柱に地震で生じた斜め亀裂は駅の東側では北上から南側に下がり、西側では南上から北側に下がり、亀裂から上の柱は南側や北側に沈下している。図 13²⁰⁾に示すように、ここの地上の東側の北側には規模の大きいサン大開プラザがあり、西側の南側に建物 A (5 階建) があり、さらに終点寄りの南側に県営大開住宅 (5 階建て) がある。地盤は図 13 (d) に示すように砂質土層の下に軟弱粘性土層がある上下逆転型地盤であるが、砂質土層の下の粘性土層の厚さが一定でなく、北側が薄くて南側が厚い

異種支持地盤状態になっている。このように上記の亀裂や沈下等の変形状態と建物の存在状態が対応しており、この付近の地震時の地盤の動き方が駅の東西両側で異なり、地盤が建物の無い方から駅構造物の方に動いたこと、即ち駅の西側では地盤が南側に動き、駅の東側では北側に動いたことが推定される。さらに脇にある基礎のしっかりした建物が不動点の機能を発揮したため地盤の砂質土層がトンネルに強い偏土圧を与えて、直いっそう酷い被害を発生させたこと等が推定される²⁾⁸⁾²⁰⁾。

9) 鉄道高架橋

この地震で新幹線第 1 野間高架橋で落橋が発生したが、被害程度が大きい箇所(南側)にコンクリート製マンション建物がある。また、図 14 (文献 22) に追加⁹⁾に示すように阪水高架橋や松林寺高架橋、神呪高架橋では桁が橋軸直角方向に移動したが、脇の鉄筋コンクリート製建物と反対側に移動しており、これらの被害に脇にある建物が影響し被害の程度が大きく生じたことが推定される⁴⁾⁵⁾⁹⁾²³⁾。

10) 宝塚大劇場脇の阪急高架橋

塚大劇場 (1993 年竣工) は武庫川左岸にあつて、この地震で各種被害を受けたが、その北東脇を走る阪急線においてラーメン式高架橋に接する桁式高架橋の桁が、地震で大劇場と反対側の北東側に移動し、上り電車が劇場側に脱線している (図 15²⁴⁾)。ここの橋脚基礎が大劇場建物のない方 (北東側) の地盤から強く押されたことと、同建物基礎がしっかりしていて地盤の不動点を強めたことが、桁の移動に大きく影響したことが

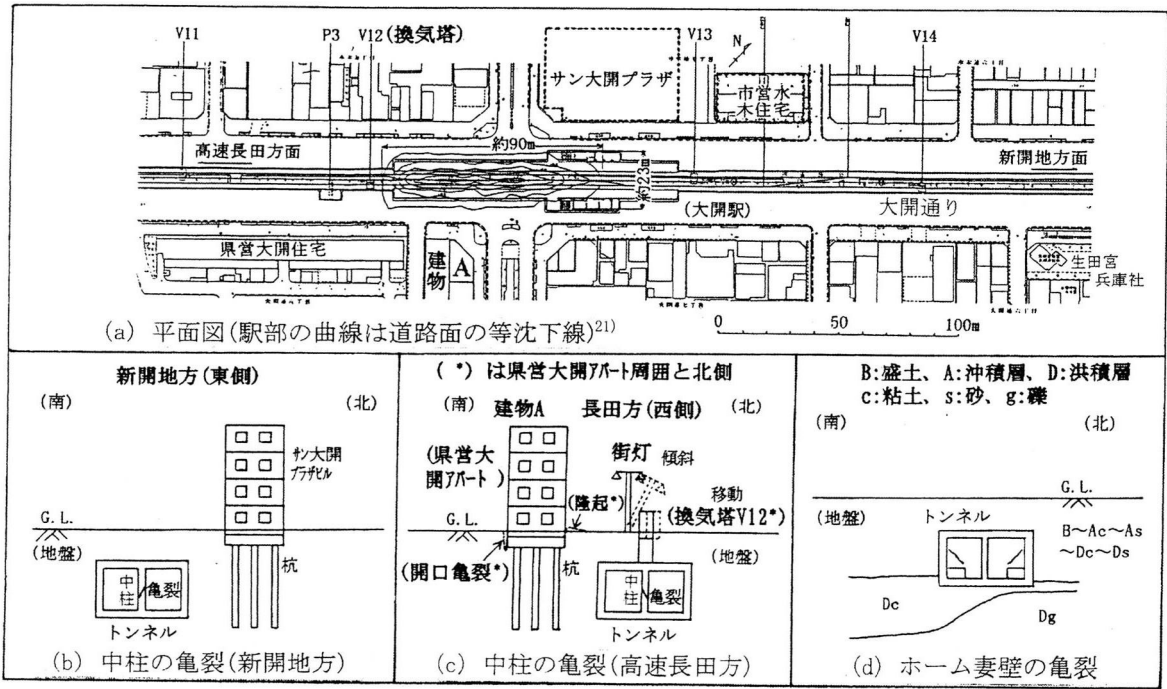


図 13 大開駅の変形模式図と地盤²⁰⁾



図 14 阪水高架橋と松林寺高架橋と神呪高架橋(文献 22)に追加)⁹⁾

推定される²⁾²⁵⁾。

11) 阪神大石東町付近高架橋

図 16⁷⁾に示すように、この地震で阪神大石東町付近高架橋の桁と橋脚が崩壊して南側に移動や傾斜している。図 16 から分かるように、北側に比較的大きい建物があるところで被害低²⁾が大きく、南北両脇にある比較的大きい建物に挟まれた高架橋の部分では被害程度が極めて小さい。

従って、ここの橋脚基礎は建物の無いほうから地盤によって強く押されたこと、即ち偏土圧を受けたことと、建物の基礎は地盤の動きを止める作用を発揮したことが推定される²⁾。この高架橋の地盤状態図上の位置を図 6 に示す。

12) 阪神石屋川駅付近土留擁壁

阪神石屋川駅北側にある御影留置線において、この地震でこの駅の西側半分と起点寄りの北側の土留擁壁に北側への傾斜や転倒等が生じている。ここの南側に比較的大きい建物があるところでは特に酷く土留擁壁の傾斜や転倒等が北側に生じており、その建物の存在が土留擁壁の被害に影響したことが考えられる。即ち、建物のない方の地盤から土留擁壁基礎が強い力(偏土圧)を受けたことが考えられる²⁾。

13) 国際会館建物

フラワーロード沿いにある東西方向に長い国際会館建物において、地震で中間階の 7 階が潰れて上層階が左回りに回転しており、下層階と基礎が地盤から右回りの強い力を受けたことが推定される。それは建物地下室(基礎部)の西側が南側から強く押されたように、即ち北側に他の大きい建物があるためそれが無い方の南側の地盤(道路)から建物地下室(基礎部)の西部が北向きに強い力(偏土圧)を受けた事が考えられる³⁾。

14) 三宮ビル北館

三宮ビル北館では地震で中間階が潰れて、上層階が右回りに回転し下層階と基礎が地盤から左回りの強い力を受けたことが推定される。北側の国道 2 号線

の下に地下鉄道トンネルが走っており、そのためそれが無い方の南側の地盤から建物地下室(基礎部)東部が強く押されたことが考えられる³⁾。

15) 日生三宮ビル(駅北側)

この地震で南北に長い日生三宮ビルでは中間階が潰れ、上層階が右回りに回転し下層階と基礎が地盤から左回りの強い力を受けたことが考えられる。東側の道

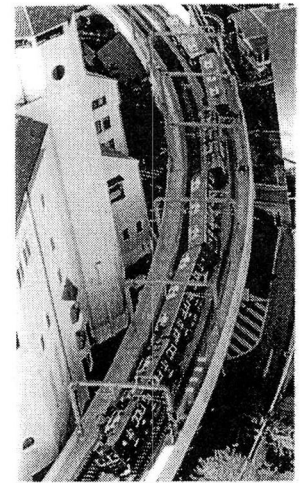


図 15 宝塚大劇場脇の阪急高架橋²⁴⁾

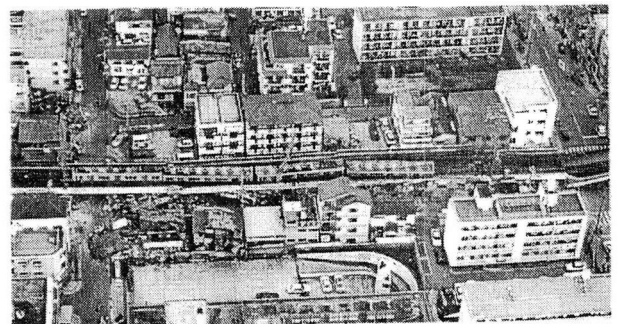


図 16 大石東日本町付近高架橋⁷⁾

路フラワーロードの下には地下鉄が走っており、それが無い西側の地盤から建物地下室(基礎部)の南部が強く押されたように変形している³⁾。

16) JR 三宮駅建物(三宮ターミナルビル)

JR 三宮駅建物は玉石地帯 ST の南端部の縄文海岸線(古海岸線)付近で、南側の砂・粘土層 SC との境界部に位置し、北側には高架橋が接近している。地盤面は駅の表(南)側よりも裏(北)側が六甲山側に急になっており、この位置は遷緩点(勾配変更点)になって

いる。この地震で図 10(c)¹⁸⁾に示すように、駅建物の西側壁面には阪急三宮駅建物の東壁面(両壁面はフラワーロードの東側と西側にある。後述)と同様に南上から北に下がる斜め亀裂が生じるとともに、北上から南に下がる斜め亀裂があり、それらは八の字型に生じている²⁾³⁾⁹⁾。

西側壁面の亀裂は南側の地盤が地震のときに建物の方へ動いて建物基礎を押したときに、すぐ北側にある基礎がしっかりしている高架橋(直接基礎)と南側の地盤から建物が強く挟み込まれたようになって発生したことが推定される²⁾³⁾⁹⁾。

17) 阪急三宮駅建物

阪急三宮駅建物は ST 層の南端部の古海岸線付近で SC 層との境界部に位置している。図 10(b)¹⁷⁾に示すように、この建物の東側壁面(フラワーロード沿い)に南上より北側に下がる大きい斜め亀裂が発生しており、この建物基礎部(地下室等)に北側の地盤から南向きの強い力が作用したことが考えられる。これは建物基礎部(地下室等)がしっかりしていて地盤に拘束されて動きが小さいためであり、このときすぐ南側にある線路高架橋も北側の地盤の南向きの動きを止める機能を発揮し、結局建物は南北両側地盤から挟み込まれるようになって、地盤から圧縮側の変位が生じて大きい力(偏土圧)を受けたように変形している。

なお、この傾斜した地盤が北側から南側に強く動いたことは、駅建物の東側にあるフラワーロード上の跨道橋の橋脚が北側に傾斜したことから分かる。この跨道橋も橋脚基礎がしっかりしていたため、この北側の地盤が地震で南側に急激に動いたとき橋脚基礎に止められたため、橋脚が地盤の動いた方向と反対側の南側に傾斜したことが推察される²⁾³⁾⁹⁾。

18) 交通センタービル(サンカ入口)

ほぼ東西方向に長い交通センタービルは地震のときに中間の 5 階部分が層崩壊して上層階が右回りに回転しており、下層階と基礎が地盤が左回りの強い力を受けている。建物地下室(基礎部)の東側部分(フラワーロードに沿う)が地盤から北向きの強い力を受けたように建物に変形したのは、建物地下室(基礎部)が良好地盤に根入れされて地盤に拘束されていたので、南側の地盤が北側に動いたときに、その地盤に圧縮側の変位差が生じて大きい力(偏土圧)が建物地下室(基礎部)に作用したためと考えられる。なお、すぐ北側に線路高架橋があり、この高架橋も阪急三宮駅建物等の場合と同様に地盤の動きを止める機能を発揮したため被害が顕著に生じたことが推定される²⁾³⁾。

19) 西代地下駅構造物

地震で西代地下駅の軌道階の中柱の支柱に北上か

ら南側に下がる斜め亀裂が発生している。駅の北側に元溜池があり現在は埋立て地である(地名は蓮池)。駅の北側に線路を跨ぐ立体交差道路橋があり、この立体交差道路が地震時の地盤の動きを抑制したため、この地盤から強い偏土圧が発生して被害が生じたことが推定される²⁾²⁰⁾。

20) 地下鉄新長田駅構造物

新長田駅構内の中柱に地震で亀裂が発生している。新長田駅は砂州(南側)と粘土多質地(北側)の境界部の後者に位置している。このすぐ南側に被害を受けた JR 鉄道盛土があり、この盛土が地震時の地盤の動きを抑制したため、この地盤から強い偏土圧が発生して被害が生じたことが推定される²⁾²⁰⁾。

21) 三宮駅付近の六甲山麓南斜面の高架橋被害

三宮駅付近の六甲山麓南斜面で 2 つ並んだ高架橋の被害が図 17⁸⁾のようにみられた。北側の高架橋の被害が酷くて南側の高架橋の被害が軽微で、前者の橋脚の斜め亀裂が北下がりで生じている。この変形状態より地盤が北側から南側に動き、南側橋脚が地盤の動きを止める機能を発揮したため北側高架橋が酷く被害を受けたことが推定される⁸⁾。

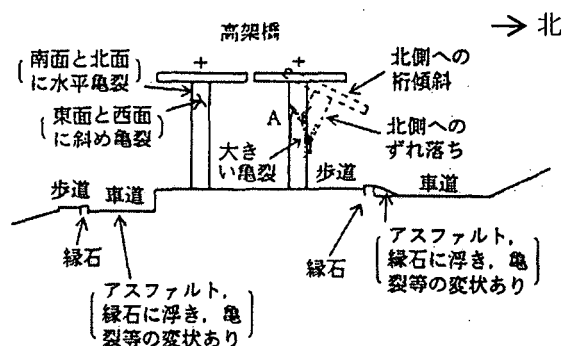


図 17 六甲山麓南斜面での高架橋被害⁸⁾

3. あとがき

以上に述べてきた、脇に別な建物等の構造物があって被害が顕著に生じたとみられる事例について次にまとめる。

1) 地震被害を受けた構造物の片方の脇に別な建物等の構造物があるときに顕著な被害が発生し、両脇に別な建物等の構造物があるときに被害程度がかなり小さい。このことから構造物の地震被害に対して地盤の影響が大きいことが考えられる。

2) 構造物の被害は地盤条件の変化点即ち自然にできた硬軟地盤境界部や、しっかりした構造物基礎が自ら作った人工的な不連続点で発生している。

3) その地盤条件の不連続点は動きやすい地盤と動きにくい地盤の境界部であり、地震時に地盤に不同変

位が発生しやすいところである。

4) 従って、構造物の地震被害はここで発生する不同地盤変位に伴う大きい偏土圧を構造物基礎が受けることによって発生することが考えられる。

今後とも構造物の地震被害の原因究明を継続する予定である。おわりに、以上の調査に当たってお世話になった関係者と、引用させていただいた文献の著者に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 那須誠：橋梁の地震被害への地盤変位の影響の考察，第 5 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講演論文集，pp. 189-196, 2002. 1.
- 2) 那須誠：兵庫県南部地震被害と地盤との関係，第 15 回日本自然災害学会学術講演会要旨集，No. 1-7, pp. 13-14, 1996. 11.
- 3) 那須誠：兵庫県南部地震による建物被害と地盤の関係-三宮付近-，第 16 回日本自然災害学会学術講演会要旨集，No. 1-3, pp. 5-6, 1997. 10.
- 4) 那須誠：橋梁の軸直角方向の地震被害と地盤，第 55 回土木学会年次学術講演会講演概要集，I - B249, pp. 498-499, 2000. 9.
- 5) 那須誠：地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その 4, 橋梁の軸方向と軸直角方向被害)，前橋工科大学研究紀要，第 4 号，pp. 9-17, 2001. 3.
- 6) 1989 年ロマンリア地震によるサンフランシスコ湾岸地域等の被害に関する調査研究，文部省科学研究費 (No. 01102044) 報告書，No. B-1-3, p. 163, 1990.
- 7) 阪神・淡路大震災航空写真集，アジア航測(株)，1995. 6.
- 8) 那須誠：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論文集，土木学会，C-8, pp. 271-278, 1996. 1.
- 9) 那須誠：阪神・淡路大震災による構造物被害と地盤の関係，第 4 回耐震補強・補修，耐震診断に関するシンポジウム講演論文集，pp. 123-130, 2000. 7.
- 10) 那須誠：阪神・淡路大震災による高速道路橋梁の被害と地盤の関係，第 6 回耐震補強・補修，耐震診断に関するシンポジウム講演論文集，pp. 73-80, 2002. 7. 25.
- 11) 鉄道施設耐震構造検討委員会編：兵庫県南部地震による鉄道施設の被災に関する調査(中間整理)，1995. 8.
- 12) 1995 年兵庫県南部地震調査報告書，清水建設(株)技術研究所，1995. 2.
- 13) 藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質，地質調査所，1983.
- 14) 読売新聞社編，阪神大震災全記録，1995. 4.
- 15) 地形図，1:2 万，M18 年測量神戸。
- 16) 日経アーキテクチャ編：阪神・淡路大震災の教訓(復興編)，地震に強い建築，日経 BP 社，pp. 12-13, 1995. 5.
- 17) アサヒグラフ，1995. 3. 3.
- 18) 日経アーキテクチャ編：阪神大震災の教訓，日経 BP 社，1995. 3.
- 19) 建設省建築研究所編：平成 7 年兵庫県南部地震被害調査中間報告書，pp. 185-186, 1995. 8.
- 20) 那須誠：阪神・淡路大震災による地下鉄トンネルの被害と地盤の関係，第 5 回耐震補強・補修，耐震診断に関するシンポジウム講演論文集，pp. 117-124, 2001. 7.
- 21) 神戸高速鉄道(株)・佐藤工業(株)：兵庫県南部地震による神戸高速鉄道東西線大開駅の被害状況報告書，1995.
- 22) 平成 7 年阪神大震災被害調査報告書，パシフィックコンサルタンツ(株)総合研究所，pp. 109, 1995. 1.
- 23) 那須誠，北村直樹：阪神・淡路大震災における高架橋の被害と地盤と基礎の関係，第 25 回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 9-12, 1999. 7.
- 24) 週間読売，臨時増刊，神戸壊滅，1995. 2. 7.
- 25) 那須誠，菊池保孝：阪神・淡路大震災における列車脱線への地盤と路盤の影響，鉄道力学論文集，第 3 号，pp. 71-76, 1999. 6.