

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

那須 誠¹・北村直樹²

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

²正会員 前橋市立工業短期大学教授 建設工学科(〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1)

阪神・淡路大震災において鉄道高架橋が被害を受けた。高架橋の地震対策確立の資料を得るために、被害を受けた高架橋の被害データと、地盤図や地形図、地盤調査データ等から、高架橋の被害と地盤の関係を調べた。その結果、高架橋の被害は埋没谷や硬軟地盤境界部等で、さらに砂・礫層の中間部や下部に軟弱な粘性土層のある上下逆転型地盤で多いことが分かった。阪神・淡路大震災による高架橋の被害も、過去の地震における各種構造物の被害あるいは同震災による他の構造物の被害と同様に、地盤の水平・上下方向の不連続点で多く、被害発生に地盤変位が大きく関係していることが推定される。

Key Words: Great Hanshin-Awaji earthquake, railway viaduct damage, ground condition changing site, upside-down type ground, ground displacement

1. はじめに

高架橋の地震対策確立の資料を得るために、阪神・淡路大震災において被害を受けた鉄道高架橋と地盤の関係について調べた結果を以下に述べる。

2. 被害を受けた高架橋の地盤

阪神・淡路大震災によって高架橋に大小の被害が生じたが、ここでは表1に示すように下食満高架橋S1a, S1bから伊川橋梁S8までの計8ヶ所の落橋箇所での地盤と被害の関係について述べる。なお、今回の地震による被害発生位置や被害状態は、参考文献1)~3)の他に航空写真や新聞、週刊誌、新聞社発行の記録集、土木学会や建設会社等発行の調査報告書^{4)~7)}と現地調査結果等をもとに調べるとともに、被害位置の旧版地形図や地質図、土質柱状図、地盤図等^{3), 8)~11)}から地盤の特徴を調べた。落橋位置の地盤の概要を以下に述べる。

旧版地形図²¹⁾と新版地形図によると、下食満高架橋(新大阪方)S1aは集落(自然堤防からなる)の縁の埋没谷、下食満高架橋(博多方)S1bは集落(自然堤防)と集落(自然堤防)の間の河道跡(埋没谷)で比較的大きい道路沿いの南東側、時友高架橋S3は比較的大きい道路沿いの東側、阪水高架橋S4は道路の東側、松林寺高架橋S5は比較的大きい道路の真上、今津線線路橋S6は地類境界(地質境界)上、神呪高架橋S7は比較的大きい道路沿いの南東側にある。このように第1野間高架橋S2以外の~S7は昔からの道路沿いや地質境界線沿いにあり、昔は道路が地質境界に作られることがあり地質境界で被害が多く生じている

ことが考えられる。参考文献9)によるとS1aは昔からの集落(自然堤防)の縁の埋没谷、S1bは同集落(自然堤防)と集落(自然堤防)の間の河道跡(埋没谷)で周囲より低く比較的低湿なところ、S3は武庫川低地の溺れ谷状地形と氾濫平野の盛土地との境界部に当たる。参考文献10), 11)によると、S4~7の落橋地点のうちS4は扇状地・崖錐と盛土地や谷底平野・氾濫平野との境界部、S5は扇状地・崖錐と盛土地との境界部、S6は扇状地・崖錐と盛土地と低地の微高地との境界部、S7は扇状地・崖錐と低地の微高地との境界部、伊川橋梁S8は谷底平野と台地・段丘の境界部に当たる。ともに落橋箇所には地形・地質・土質の変化点で地盤面に大小の傾斜等がみられるところが多い。

なお、参考文献6)によると高架橋の桁の落下位置の地盤はシルト・粘土・腐植土層(粘性土層)が砂・礫層の中間にある上下逆転型地盤であり、桁が落下していない地盤は表層が砂・礫のみからなる地盤であり、このようにその粘性土層厚さがほぼ一定あるいは一様でないところや傾斜しているところが多い。

3. 地震被害と地盤の関係のまとめ

表1には高架橋の被害状態と地盤状態の関係から推定した被害機構も示されており、その概要を以下に述べる。

(1) 今回の落橋は地盤条件の不連続なところでさらに上下逆転型地盤の異種支持地盤や埋没谷等の他に平面的に一様と考えられる地盤(埋没谷等)でも高架橋等に軸直角方向の被害が発生している。そこでは高架橋等の基礎が完全支持状態でしっかりしてい

表1 阪神・淡路大震災による高架橋落橋箇所地盤状態と被害機構の推定(その1)

No.	位置	被害状況と地盤状態と被害機構の推定
S1	下食満高架橋(B ₁) (新大阪・新神戸間) (尼崎市)	1)被害状況-2箇所(起点方のS1aと終点方のS1b)で落橋(桁落下)する。 (備考)ここの被害発生箇所の地表面には傾斜があり、上下逆転型地盤である。ここで上下逆転型地盤とは、砂や礫等の粗粒土からなる土層の中間や底部に、シルト、粘土、腐植土等からなる軟弱粘性土層がある地盤をいう。
S1a	起点方。 線路は南東の方向から北西の方向に走る。左カーブ区間。(右側は北東側で上り線側、左側は南西側で下り線側。)	1)被害状況-起点方より2ブロック(R6, R7)に落橋発生する。橋梁は2ブロックとも橋軸直角方向に変形し、スラブ桁は右側(北東側、山側)に傾斜、移動する。橋脚には左上から右下に下がる斜め亀裂が発生して、その上部の橋脚は右側に落下する。線路左側(S1aの終点方)の自然堤防の東西方向の縁に沿って建てられた民家の納屋が北側に傾斜する。下食満集落の北西端の西明寺は無被害で墓石も転倒せず。 2)地盤状態-旧下食満集落(自然堤防)の起点側の南西側の元田圃 ⁹⁾ の盛土地で被害が発生し、地表面がR8より起点方に低くなっている。S1aとS1bの間の無被害高架橋区間は旧下食満集落(自然堤防)で地表面が山状に高くなっている。 3)被害機構の推定-橋軸直角方向は地盤面標高 OP+5m の等高線に直角な方向に等しく、かつその方向の北東側(右側)から南西側(左側)に地盤面標高は低くなっており、地盤が地震時にその方向に動いたため、橋軸直角方向の崩壊が生じたことが考えられる。即ち、門型で支持層まで打ち込まれた杭で地盤に拘束されたラーメン高架橋が不動点の機能を発揮して、地盤の急速な動きを急激に止めて大きい衝撃的な力を受け、あるいは右側から左側に動いてきた地盤に押し潰されるような力を受けたため、橋脚に左上から右下に下がる斜め亀裂(引張り亀裂)が発生して、その上側の橋脚が上部の荷重を支えきれずに落下するとともに、桁と橋脚が衝撃力のきた方向に即ち左側に傾斜したものと考えられる。このとき橋脚と桁及びフーチングが剛結状態で、しかも上載荷重が大きい(トップヘビー状態にある)ことも、橋脚のせん断破壊の発生に関与したことが考えられる。なお、地盤には砂や礫等の粗粒土層の下に軟弱粘性土層が挟まれており、地震のときこの軟弱粘性土層を滑り面として上部の粗粒土層が動いたことが考えられる。
S1b	終点方。 左カーブ区間。線路は南東の方向から北西の方向に走る。(右側は北東側、左側は南西側。) (凡例)S:単版桁, A:ラーメン橋台, PC:PC 桁, RC:RC 桁, R:ラーメン高架橋	1)被害状況-起点方より3ブロック(R11, R12, S)に落橋発生する。橋梁は2ブロック(R11, R12)が橋軸直角方向に変形し、1ブロック(単版桁 S)は橋軸方向に変形する。R11 ではスラブ桁は左側(南西側)に傾斜、移動する。橋脚には右上から左に下がる斜め亀裂が発生して、その上部の橋脚は左側に落下する。R12 ではスラブ桁は右側(北東側?)に傾斜する。ここの橋脚には右上から左に下がる斜め亀裂が発生して、その上部の橋脚は左側に落下する。S(単版桁)は橋軸方向に東京方の端が落下する。 2)地盤状態-旧下食満集落と旧中食満集落(ともに自然堤防)の間の埋没谷で元田圃 ⁹⁾ の盛土地で被害が発生している。ここの地表面が縦断方向に谷形状に窪んでいる。 3)被害機構の推定-2ブロック(R11, R12)の橋軸直角方向の変形方向は埋没谷の谷軸方向で、地盤面標高 OP+5m の等高線に直角な方向に等しいが、地盤はS1aの場合と反対の方向の南西側(左側)から北東側(右側)に地震で動いたことが推定される。その方向は用水路の水の流れる方向であり、盛土以前は地盤面標高が用水路の水の流れる方向に低くなっていたものと考えられるし、高架橋両側の道路の標高の測定値からも地盤が左側から右側に低くなっていることが分かる。このようにここではS1aの場合と地盤の動く方向は反対の方向であるが、S1aの場合と同様な地盤の動きが発生して高架橋に被害が出たことが考えられる。もう1つのブロック(S)の橋軸方向の変形方向は埋没谷の谷軸に直角な方向であるが、埋没谷の北側の縁に沿う地盤面標高 OP+5m の等高線に直角な方向に等しい。このSの終点方のA2橋台は旧中食満集落の端で地盤が自然堤防で地盤がよく、始点方のA1橋台は埋没谷に設置されているので、地震のとき地盤に不同変位が発生してしてA2よりA1が起点側に大きく動き、即ち両橋台間の間隔が開いたため、単版桁Sが落下したことが考えられる。なお、Sの1AはR12の最も終点方の橋脚を兼ねているが、高さが半分近くまで落下しているため、R12の起点方への変位と沈下でSが落下したことも考えられる。
S2	第1野間高架橋(B ₁) (新大阪・新神戸間) (伊丹市) 線路は東の方向から西の方向に走る。(右側は北側、左側は南側。) (凡例)S:単版桁, A:ラーメン橋台, RC:RC 桁, R:ラーメン高架橋	1)被害状況-起点方より2ブロック(R7, R8)が落橋(桁落下)する。但し、R7では終点方半分が落橋。落橋箇所の左側(南側)に起点側から自動車販売会社建物(展示場)があり、R8ではその反対側の右側(北側)に桁が移動し、スラブ桁は右側に傾斜している。R8では橋脚に左上から右下に下がる斜め亀裂が発生して、その上部の橋脚は右側に落下している。R8の起点側は幾分南側に移動している。R8ブロックの先のR10ブロックの下を水路が北側から南側に横断している。自動車販売会社建物の西隣のコンクリート製マンションビルに近い方のブロックの被害程度が大きい。北側の道路脇の民家1階の西側の壁面と、R7の始点側の南側に下がる道路沿いの民家の東側壁面に南上から北に下がる斜め亀裂がある。 2)地盤状態-落橋していないR6の地盤面は横断方向に北側から南側に低くなり、桁全体が落下したR8の地盤面も北側から南側に低くなっている(左右歩道間で約50cmの差)。しかも、縦断的にはR6のところが高くR7, R8, R9と行くに従って僅かであるが地盤面GLが高くなっている。浅い凹地形のところ、地盤が南側に動くとともに、東側にも動いたようである。 3)被害機構の推定-R6付近の浅い谷地形のところ、地盤が南側に動くとともに東側にも動いたが、地盤は主として北側から南側に動いたことが推定される。R8は起点側が幾分南側に移動して回転した結果、高架橋ブロックは地盤標高の等高線に平行に落ち着いている。R7は終点方4本の橋脚が破壊しているが、それは地盤面が起点方に低くなっているため、地盤が起点方に動いたため生じたことが考えられる。 (備考)自動車販売会社建物の西隣のコンクリート製マンションビルに近い方のブロックの被害程度が大きい。平屋でスパンが大きい自動車販売会社建物(展示場)は中が被害を受けて柱等に傾斜等があったが、マンションビルに被害は発生していないようである。
S3	時友高架橋(B ₁) (新大阪・新神戸間)	1)被害状況-1ブロック(R11)が落橋(桁落下)する。3スパンのうち真ん中のスパンは道路(国道171号)を跨ぐ。橋脚には左上から右下に下がる斜め亀裂が発生して、その上部の橋脚は右側

表1 阪神・淡路大震災による高架橋落橋箇所の地盤状態と被害機構の推定(その2)

No.	位置	被害状況と地盤状態と被害機構の推定
S3	(尼崎市) 線路は東の方向から西の方向に走る。 (右側は北側, 左側は南側。) (凡例)A: ラーメン橋台, R: ラーメン高架橋	(北側)にずれているが, 余り傾かず中間梁の上に落下している。終点寄りの常松 Bv の 1A の中間梁の西面に北上から北に下がる斜め亀裂あり。同 1A の中間梁の北面の東側に西上から東に下がる斜め亀裂と, 西側に東上から西に下がる斜め亀裂がある。同 2A の中間梁の東面に北上から北に下がる斜め亀裂がある。 2) 地盤状態—この付近では地盤面は一般に北側から南側に傾斜している。 3) 被害機構の推定—橋脚の亀裂等から主として北側から南側に急速に動いた地盤が高架橋基礎で急激に止められて, 高架橋に衝撃的な力が作用したことによって高架橋が被害を受けたことが推定される。それには道路を跨ぐ比較的大いスパンの高架橋桁の前後の橋脚基礎が大型でしっかりしていたこと, 即ちフーチング幅が大きく本数の多い支持杭等であるため, その基礎が地盤の動きに対して不動点の機能を発揮したこと等が考えられる。 (備考)北側の常陽中学西側の民家の東, 西壁面に北上より北に下がる斜め亀裂が発生する。
S4	阪水高架橋(B ₁) (新大阪・新神戸間) (西宮市) 線路は東の方向から西の方向に走る。 (右側は北側で上り線側, 左側は南側で下り線側。) (凡例)S: 単版桁, A: ラーメン橋台, RC: RC 桁, R: ラーメン高架橋	1) 被害状況—起点方より5ブロック(R5, R6, R7, R8, S)が落橋(桁落下)。R5 では橋脚が中間梁から下の部分が破壊して, 中間梁から上の橋脚, 桁が西側に落下する。なお, 起点方の橋脚に中間梁から上部の橋脚の頭部に西上から東に下がる斜め亀裂がある。R6 では起点方半分の橋脚は中間梁から下の部分が破壊して潰れたが, 中間梁の上の橋脚部に西上から東に下がる斜め亀裂がある。しかし, 終点方半分の橋脚では中間梁から上の部分が破壊して潰れているが, 中間梁から下の橋脚の中間梁との付け根部分に東上から西に下がる斜め亀裂がある。R7 ではスラブ桁が南側にひどく傾斜するが, 橋脚は発生した亀裂より上部が北側に落下している。R8 では起点方の半分は中間梁から上の橋脚が破壊し, 終点方の半分は中間梁から下の橋脚が破壊し, ともに橋脚上部は真北側に落下する。ここの起点方から3本目の北側橋脚の中間梁から上の部分の中間梁との付け根付近に東上から西に下がる斜め亀裂がある。S(単版桁)は起点方の端部が途中まで, R8の橋脚を兼ねたA1橋台の落下に伴って落下している。 2) 地盤状態—この付近では地盤面は一般に北側から南側に傾斜するとともに, 西側から東側にも地盤面は僅かな勾配で傾斜している。 3) 被害機構の推定—橋脚の斜め亀裂の傾斜方向や橋脚の落下方向, 桁の傾斜等は様々で, 高架橋ブロック毎に地盤の動きが異なり, 地盤は東西南北色々な方向に複雑に動いたようである。北側(右側)の生協建物や南側(左側)の阪神水道事業所の建物や水槽等の構造物の存在も, 地盤の動きに関係し, ひいては高架橋の複雑な変形に影響したこと(地盤の動いた方向や動きの抑制等)が考えられる。敷地の大きい阪神水道事業所があるのでこの辺は特に地盤が悪かったことが推定される。(空き地は地盤が悪いと昔から言われている。)R6の終点方半分の中間梁から下の橋脚の中間梁との付け根部分の東上から西に下がる斜め亀裂は, 地盤が西から東に動いて生じたことが考えられるが, それは R6の終点方の北側の生協駐車場の照明灯が西側に傾斜していることから推定される地盤の動きと同じである。R7のスラブ桁が傾斜した方向と反対側の北側にある生協の建物が影響して, 即ちその建物の基礎が不動点のようになっていて南側から北側に動いた地盤によって高架橋が押し潰されたような崩壊形状となっている。このように R5 と R6 は北側に移動し, R7 は南側に移動し, R8 の起点方は北側に移動している。R5, R6, R7 では桁が橋軸直角方向に移動したが, その移動方向と反対側に鉄筋コンクリート製の建物があり, ともに建物の無い方の地盤が高架橋の方に(R5, R6 では北側から南側へ, R7 では南側から北側へ)動いたが, 高架橋の反対側にある建物が不動点のようになって, 地盤の動きが急速に止められて衝撃的な大きい力が作用したために, 高架橋がその力の作用方向と反対方向に移動したと考えられる変形状態を甲うしている。 (備考)左側の南側には阪神水道企業甲東事業所がある。R4は無被害のようであるが, R3(?)の橋脚(8本)の中間梁に東上から西に下がる斜め亀裂が発生し, 上部が西側に少し沈下している。
S5	松林寺跨道橋(B _v) (新大阪・新神戸間) (西宮市) 線路は東の方向から西の方向に走る。 (右側は北側, 左側は南側。) (凡例)S: 単版桁, A: ラーメン橋台, RC: RC 桁, R: ラーメン高架橋	1) 被害状況—起点方より3ブロック(S, A1, RC)がともに橋脚の柱頭部が損傷を受けて落橋(桁落下)する。起点方の取付け R2 と終点方の取付け A2, S, R1 は柱頭部が損傷を受ける。S(単版桁)は終点方の端部が A1 橋台の落下に伴って途中まで落下する。A1(ラーメン橋台)は終点方に倒れ込むように傾斜している。RC 桁は起点方の端が落下し, 起点方に傾斜する。 2) 被害機構の推定—RC 桁の北側にある民家用の商用電源の電柱3本が西側に傾斜しており, ここの地盤が西側から東側に動いたことが推定される。電柱付近の民家にも地盤のその様な動きによると思われる変状がみられる。その電柱も橋台 A1 の終点方橋脚 A1-2 並びの電柱だけが傾斜し, その約 6m 終点寄りの電柱は原型を保っており, 橋脚 A1-2 の前面(終点方)の狭い範囲の地盤が橋脚 A1-2 の方に向かって動いたが, 橋台 A1 の基礎がしっかりしていたので地盤の動きが急激に止められたため, 橋脚 A1-2 が大きい水平力をうけて破壊したような変形である。橋脚 A1-2 には東上から西に下がる斜め亀裂があるが, その亀裂はそのような地盤の動きの発生を示している。橋脚 A1-2 に斜め亀裂が発生してずれが生じさらに桁の荷重で落下し, 次に桁が傾いて橋脚 A1-1 が損傷を受けてこの上の桁も沈下して単版桁 S が傾いたことが考えられる。RC 桁の起点方の端の落下は橋脚 A1-2 が潰れたとき, あるいは A2 が A1 より大きく動いたため発生したことが推定される。 (備考)松林寺跨道橋の A1 の橋軸方向の被害形態は下食満高架橋の橋軸直角方向の被害形態と似ており, 被害発生機構も似ていることが考えられる。松林寺跨道橋の被害地点の北側と南側で民家等の被害がみられる。
S6	阪急今津線跨線橋(B ₁) (新大阪・新神戸間) (西宮市)	1) 被害状況—起点方より5ブロック(S, A1, PC, A2, S)が落橋(桁落下)する。起点方の取付け R6 と終点方の取付け R1 は柱頭部に損傷を受ける。起点方の S は終点方に傾斜し, A1 の桁は起点方に傾斜し, PC 桁は終点方が落下して傾斜する。A2 は柱頭部に損傷を受け, 橋脚 A2-1 は折損して桁が起点方に倒れ込むように傾斜。A2-2 には東上から西に下がる斜め亀裂あり。終点方の S は起点方に傾斜。A1 と A2 は北側に移動する。あるいはその前後の橋梁が南側に移動したことも考えられる。 2) 地盤状態と被害機構の推定—参考文献 9), 10)によると, ここは扇状地・崖錐と盛土地と低地

表1 阪神・淡路大震災による高架橋落橋箇所地盤状態と被害機構の推定(その3)

No.	位置	被害状況と地盤状態と被害機構の推定
S6	(凡例)S:単版桁, A: ラーメン橋台, PC:PC 桁, RC:RC 桁, R:ラーメン高架橋	の微高地との境界部で地形・地質・土質の変化点である。このような複雑な地盤境界部は硬軟地盤境界部であり、橋脚 A2-1 の折損は A1 と A2 の間が開いたとき PC 桁が落下し、反対方向の地震動で A1 と A2 の間が縮んだとき PC 桁がストラットとなって橋脚を折損させたこと、あるいは A2-1 の前面の地盤が A2-1 側に動いたとき A2 で止められて生じた大きい力で橋脚の折損が生じたこと、その後 A1 と A2 の間が開いたとき PC 桁が落下したこと等が考えられる。
S7	神呪高架橋(B ₁) (新大阪・新神戸間) (西宮市) (凡例)S:単版桁, R: ラーメン高架橋	1)被害状況—起点方より2ブロック(R2, S)が落橋(桁落下)する。R2 では柱頭部が損傷を受ける。なお、起点方の取付け R1 は柱頭部に損傷を受ける。R2 は起点方の端が地面まで落下し起点方に傾斜する。さらに起点方の端は北側に移動して落下する。S も起点方の端が地面まで落下し起点方に傾斜する。 2)地盤状態—この B ₁ は六甲トンネルの入口の手前に存在し、地盤は終点方(西側)から始点方(東側)と右側(北側)から左側(南側)に傾斜している。崖錐が堆積する。 3)被害機構の推定—R2 の起点方の落下状態をみると桁が北側に移動しており、ここの北側の地盤が北側から南側への傾斜方向に動いて生じたことが考えられる。桁 S の落下は橋軸方向の起点方に地盤が傾斜し、しかも地震のとき S の終点方のしっかりした橋脚基礎をもつ跨道橋よりも始点方のラーメン高架橋 R1 が大きく動いて橋脚間に開きが発生したため、あるいは R2 が起点方に傾斜するような変形を起こしたために生じたことが考えられる。
S8	伊川橋梁(B) (新神戸・西明石間) (神戸市西区) 線路は東の方向から 西の方向に走る。 (右側は北側, 左側は 南側。) (凡例)S:単版桁, A: ラーメン橋台, PC:PC 桁	1)被害状況—起点方より3ブロック(S, A, PC)が落橋(桁落下)する。単版桁 S は起点方が R10 に寄り掛かり、終点方が地面まで落下する。A の橋脚の内、起点方橋脚 A-1 では柱頭部が、終点方橋脚 A-2 では柱頭部と柱脚部が破壊し、全体的には A は終点方に倒れ込むように傾斜し、橋脚 A-2 上の電柱も終点方に傾斜する。橋脚 A-2 の橋軸と平行な面に斜め亀裂が X 型に入る。PC 桁は起点方が落下し起点方に傾斜する。 2)地盤状態と地盤の動きの推定—桁 S の落下はラーメン橋台 A の変状(桁座の終点方への移動等)や橋梁が終点方に動いたとき起点方の R10 と A の間が開いたことに伴って落下したこと等が考えられる。が、起点方の地盤は深さ方向に強度が大きくなる地盤であり、橋台 A より終点方の地盤は谷底平野でかつ上下逆転型地盤であるため、終点方の地盤が橋台 A に向かって動き、それが橋台 A のしっかりした基礎で止められたため、大きい衝撃的な力が橋台 A に作用して橋脚 A-2 が破壊したこと等も推定されるので、後者で S の終点方の端の落下が発生したことが考えられる。終点方の地盤のそのような地盤の動きは橋脚 A-2 上の電柱の終点方への傾斜とラーメン橋台 A の変形状態からも推定される。PC 桁は A の落下に伴って起点方が落下し、起点方に傾斜したことが考えられる。

地盤に不動点を作り、地盤と構造物等の間に変位差等が発生する状態にあり、地震で動いた地盤が高架橋等の基礎で急激に止められ、そのとき発生する大きい力が基礎に作用したため被害が発生したことが考えられる¹²⁾。また、門型ラーメン高架橋等は継ぎ手が剛結状態になっており、しかも最近の基礎は深くかつしっかりしているため地盤の動きを抑制する機能が強いことが考えられる¹²⁾。

(2) 橋梁(桁橋)の軸方向の落橋は、地盤条件の不連続な所で橋脚間に伸びが生じたとき橋桁が落下し、橋脚間に縮みが生じたとき落下桁がストラットとなって橋脚を破壊したことで、ラーメン高架橋の軸方向の被害機構として桁橋の橋軸方向の落橋機構の他に前述の軸直角方向と同様の被害機構が考えられる¹²⁾。
(3) しっかりした杭等の基礎でも長くなると柔構造のようになり地盤の動きを抑制する機能が小さくなるが、軟弱地盤の比較的薄いところほど高架橋等のしっかりした基礎は剛性が大きく、そのため地盤の動きを抑制して高架橋等が不動点のようになること等が考えられる。また、硬軟地盤境界部(地盤条件の不連続点)の軟弱地盤の比較的薄いところでは、地盤の不同変位(変位差、伸縮量)が大きく生じてひずみが集中し、それに伴って大きい力が発生すること等が推察される¹²⁾。

4. おわりに

以上に述べたように、今回の高架橋等の地震被害は過去にもよく地震被害がみられる地盤と基礎で生じており¹²⁾、地盤と基礎の被害への影響が大きかったことが推定される。なお、以上の調査に当たって御世話になった方々に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 鉄道総合技術研究所地震対策プロジェクトチーム編：兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書, 鉄道総研報告, 特別第4号, 1996.
- 3) 国鉄大阪新幹線工事局編：山陽新幹線(新大阪～岡山)地質図, 1972. 3.
- 4) 例えば、緊急増刊, 神戸大震災, 産経新聞社, 1995. 1. 27.
- 5) 例えば、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. 28.
- 6) 例えば、朝日新聞, 1995. 4. 7.
- 7) 例えば、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. 4.
- 8) 地形図, 1:2万, 伊丹(M18年測量), 尼崎(M18年測量), 西宮(M18年測量), 今津(M17年測量)
- 9) 地形図, 1:1万, 尼崎東北部, 1923年測量, 1952年第2回測量, 1956. 3発行
- 10) 土地条件調査報告書付図(京都・播磨地域), 国土地理院, 1966.
- 11) 土地条件調査報告書(大阪地区), 第1編総説, 第2編調査報告, 建設省国土地理院, 1983. 3.
- 12) 那須誠：地震被害への地盤の影響と被害機構の推定, 前橋工科大学研究紀要, 第1号, pp. 1-8, 1998. 3.