

# (11) 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

前橋工科大学 フェロー会員 那須 誠

## 1. はじめに

現在、阪神・淡路大震災で発生した多数の建造物の被害を地盤に着目して調べており、これまでに橋梁や地下鉄トンネル等の各種建造物被害への地盤の影響を調べた結果を第4, 5回の本シンポジウム等において発表している<sup>1)~3)</sup>。いずれの場合も地盤条件の不連続点で地震被害が多く、ここで発生する地盤の不同変位あるいはそれに基づく大きい偏土圧等を主な被害原因として推定している。今回は、高速道路橋梁の被害が生じた地盤を示すとともに、その地盤の動きと地盤から受けた地震力及び被害機構を推定した結果について述べる。

## 2. 橋梁の地震被害機構のまとめ

本シンポジウム等<sup>1)3)</sup>において橋梁の地震被害と地盤の関係から地震被害は水平・鉛直方向に不連続な地盤で多いことを明らかにするとともに、その被害機構を推定しており、その1例を図1, 2に示す。これらは文献1), 3)に加筆したものであり、基礎は杭のほかにケツ等の場合も含む。

まず土層構成をみると、表層地盤が上下逆転型地盤(互層地盤)の場合に橋梁に被害が生じ易いが、これは地盤が動いた場合に下層の極軟弱層を境にして大きく動く上層の比較的硬い砂・礫層が極軟弱層より大きい地盤反力係数をもつので、基礎に及ぼす力(土圧力)が大きいためと考えられる<sup>1)3)4)</sup>。表層地盤が良好地盤あるいは軟弱層のみからなるときは無被害である。それは前者の場合には直接基礎で建造物が支持されていて地盤の動きに建造物が追従し地盤より力を受けないためであり、後者の場合には軟弱層は地盤反力係数が小さかったり杭間を通過したりするので基礎に与える力(土圧力)が小さいためと考えられる<sup>1)3)4)</sup>。

次に橋梁の軸方向別にみると、図1(a)のように橋梁が硬軟地盤境界部(地盤条件の変化点)等で軸方向に異種支持地盤状態にある場合は軸方向に被害を受け易く、その被害機構は例えば図1(b)~(d)のように考えられるが、図1(a)~(d)の場合軟弱粘性土層の存在範囲で摩擦杭基礎のときも被害が出易い。橋梁の軸直角方向の地震被害は自然にできた地盤条件の変化点にあつて異種支持地盤状態にある場合の外に、図2(a)のように基礎がしっかりしているため人工的にできた地盤条件の不連続点でも発生し易く、図2(b)のように基礎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、杭や基礎に急激な大きい偏土圧が作用して被害が生じることが考えられる<sup>1)3)4)</sup>。いずれの方向の場合も橋梁被害は図1, 2に示すように、動く地盤(動きの大きい地盤)と動かない地盤(動きの小さい地盤)の境界部で被害が生じており、地盤変位差(不同変位)によって被害が生じることが考えられる。なお上下逆転型地盤でも図1(e), (f), 図2(c), (d)のように摩擦基礎や直接基礎の場合は地盤の動きに建造物が追従し地盤から力を受けないため被害が出難いと考えられる<sup>1)3)4)</sup>。

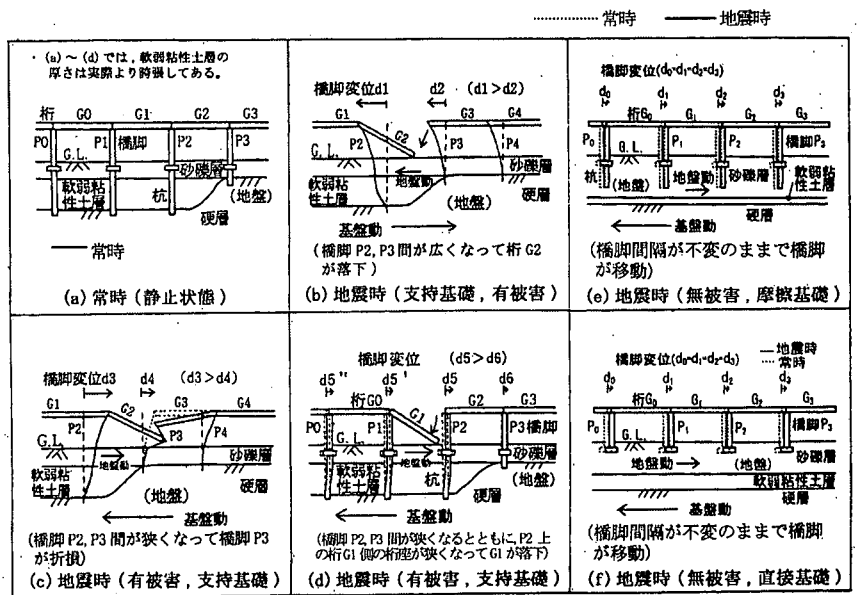


図1 橋梁の地震被害機構の推定例(軸方向;ケツ基礎等の場合も同様)<sup>1)3)</sup>

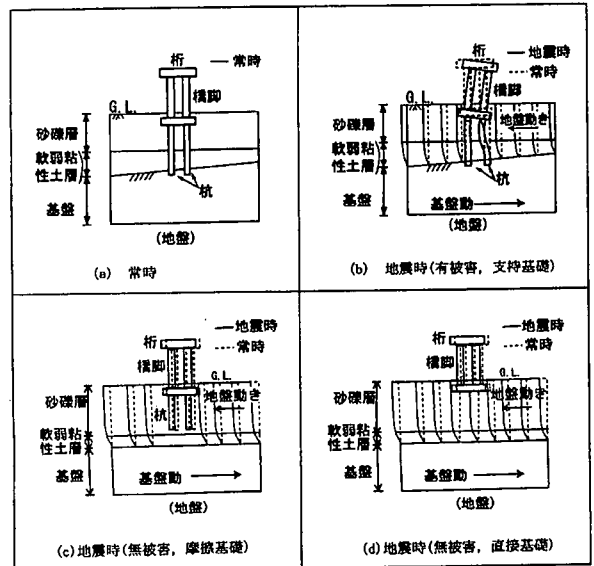


図2 橋梁の地震被害機構の推定例(軸直角方向;ケツ基礎等の場合も同様)<sup>1)3)</sup>

キーワード：阪神・淡路大震災, 高速道路橋梁被害, 地盤条件変化点, 上下逆転型地盤, 不同地盤変位

連絡先：〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1, Tel./Fax.027-265-7342 E-mail:nasu@maebashi-it.ac.jp

3. 橋梁の地震被害と地盤の関係  
 新旧地形図や土質調査結果等をもとに、表1<sup>5)</sup>に示すNo.1~6の3号神戸線橋梁の地震被害状態と地盤状態並びに推定した地盤の動きと被害機構等を次に述べる。

表1 阪神高速道路3号神戸線の主な被害橋梁<sup>5)</sup>

No.	橋梁名(地区名)	被害状況
1	西宮市甲子園高潮町	橋脚が破壊し、橋桁1径間が落橋
2	西宮市浜脇町札場	箱桁の移動により橋桁2径間が落橋
3	西宮市市庭町建石交差点	T型鋼製橋脚部と横梁の座屈で橋桁2径間が傾斜
4	神戸市深江本町	延長635mにわたりピル橋が倒壊
5	神戸市中央区波止場町	橋脚が損壊し、橋桁が傾斜
6	神戸市西尻池町湊川ランプ	湊川出入口が落橋

3.1 西宮市甲子園高潮町地区

高潮町地区の高架橋で落橋が生じた(図3)<sup>5)</sup>。鋼単純桁2連(支間長40,30m)を支持する西P167橋脚(単柱式円形断面橋脚)に鉄筋段落し部等でせん断破壊が生じた(図4)<sup>5)</sup>。図5,6の新旧地形図<sup>6)7)</sup>をみるとその橋梁は川を跨ぐとともに旧今津村の集落があった自然堤防の縁にある盛土地に存在する。自然堤防は地盤が良く盛土地は図8から分かるように砂・礫層の下に軟

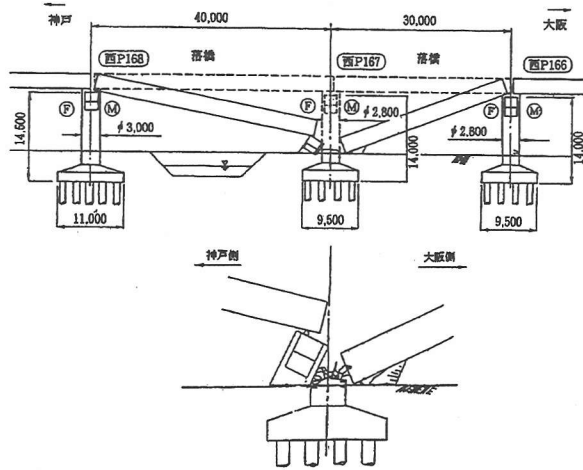


図3 被害状況(高潮町地区)<sup>5)</sup>

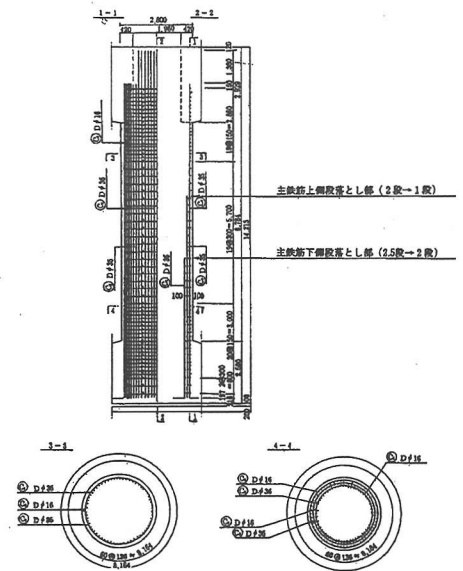


図4 西P167橋脚の配筋図<sup>5)</sup>

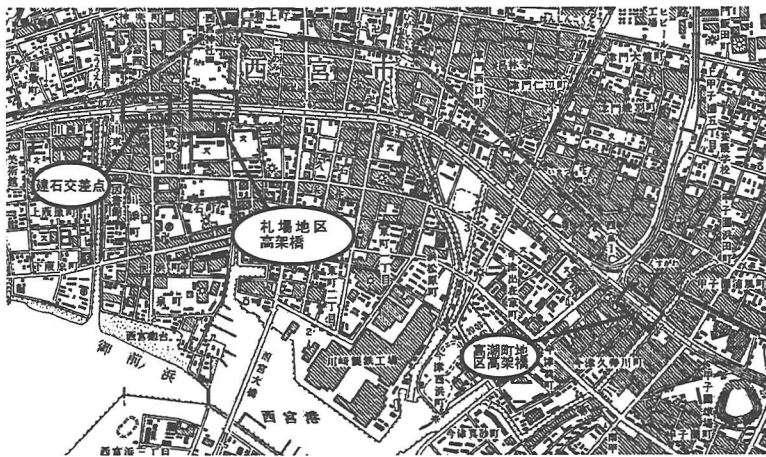


図5 位置図(高潮町地区, 札場地区, 建石交差点を新地形図<sup>6)</sup>に追加)



図6 位置図(高潮町地区, 浜脇町札場地区, 建石交差点を旧地形図<sup>7)</sup>に追加)

図7 地質図の凡例

時代	地層名	記号	地質	N値
新第三紀	表層	S	黄土、黄土、河川の堆積土	4~15
		Ac	粘性土	3~14
新第三紀	沖積層	Aa1	砂	3~20
		Aa2	礫混じり砂	10~30
		Ag	砂礫	60以上
		Tc	粘性土	15~30
新第三紀	既成層	Ta	砂	60以上
		Tp	砂礫	60以上
		UDc	粘性土	15~30
		UDa	砂	60以上
		UDp	礫	60以上
		LDag	砂・礫	10~60以上

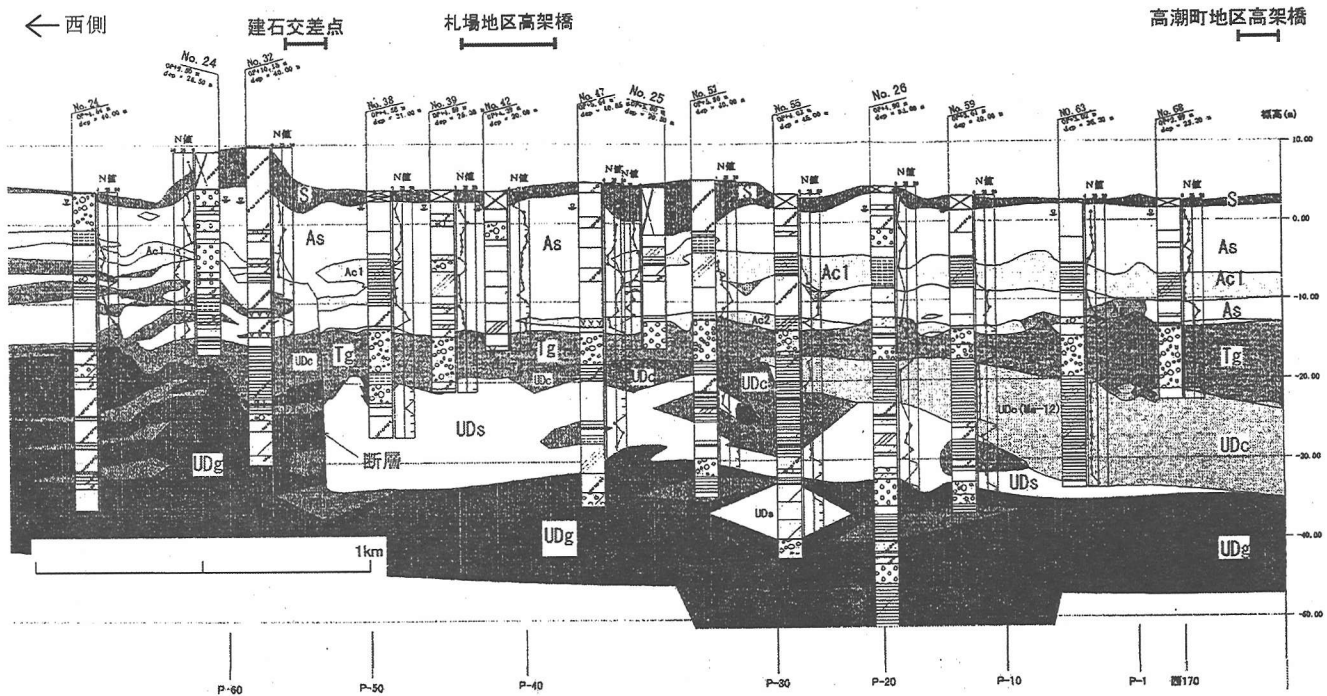


図8 地質縦断図(高潮町地区, 浜脇町札幌地区, 建石交差点付近; 地層凡例は図7参照)

弱粘性土層(TP-3m 付近)がある地盤即ち上下逆転型地盤である。また、地盤状態図<sup>1)</sup>をみると、その東側(大阪側)に武庫川沿いの自然堤防もある。

### 3.2 西宮市浜脇町札幌地区

西宮市浜脇町札幌地区にある高架橋で落橋が生じた(図9)<sup>5)</sup>。被災した橋梁は東側(大阪側)で5径間の鋼床版ゲルハ-箱桁橋に、西側(明石側)で3径間連続鋼箱桁橋に接続している。神P39~神P43橋脚間の鋼単純箱桁橋4連のうち、中央の2連が神P40および神P41上の可動支承側の桁端で橋脚天端から脱落して落下した。また、神P39および神P43の両橋脚は、いずれも大阪側の基部において損傷している<sup>5)</sup>。

それは図5,6の新旧地形図<sup>6)7)</sup>の外に地盤状態図<sup>1)</sup>をみると、昔から西宮の集落の有る砂洲(砂堆)とその西側の盛土地の境界部で両者に跨った部分で落橋が生じ、図8の地質縦断図も参照すると前者は地盤がよく後者の地盤は図11の神P138橋脚近傍の土質柱状図<sup>5)</sup>が示すように砂礫層の下に粘性土層(深度13m付近)がある上下逆転型地盤である。硬軟地盤境界部(地盤の良い砂洲(砂堆)と地盤の悪い盛土地の境界部)の後者側で生じており、その被害機構は図1(d)のように考えられる。即ち、高架橋と地盤状態の関係から橋脚はP39から大阪側は砂洲(砂堆)上に、P40より明石側は盛土地にあることと、このように異種支持地盤状態にあったため地盤に不同水平変位が生じて橋脚間隔が変化して落橋被害が生じたことが推定される。

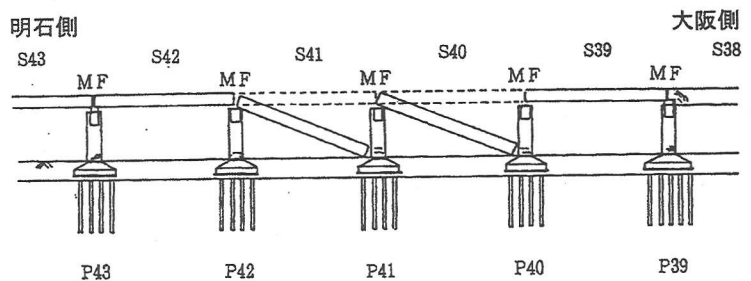


図9 被害状態(浜脇町札幌地区)<sup>5)</sup>

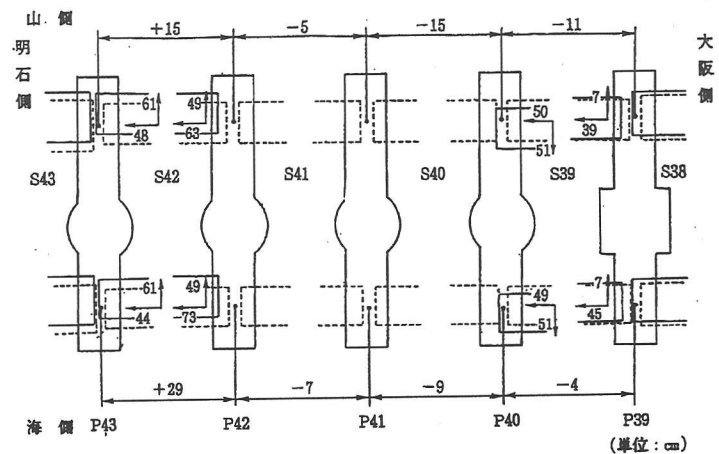


図10 橋脚と桁の残留変位(浜脇町札幌地区)<sup>5)</sup>

その橋脚変位を示すものが図 10<sup>5)</sup>である。この中の主桁部の矢印と数値から橋脚 P39, 40, 42, 43 は大阪方に移動したと、残りの橋脚も同様と考えられるが、それは高架橋が硬軟地盤境界部に作られていて、図 1(d)のような現象が発生したためと考えられる。ここで橋脚は地盤変位によって移動したと考えると、P43 は大阪側に移動したが、それよりも大きく P42 が大阪側に移動したので両橋脚間が拡大し(橋脚天端間の数値が+)、また P40 の大阪側への移動量は P39 より大きいので両橋脚間が縮小(橋脚天端間の数値が-)したと考えられる。なお、そのように橋脚は大阪側に移動したが地盤状態と基礎状態が橋梁全体で一様でないため、図 10 のように各橋脚の移動量に差が生じたことが考えられる。

地震時に P39 より大阪方の橋脚は良好地盤上にあるため移動が小さく、かつその上の橋桁の移動も小さく、従って図 10 の全部の橋桁の移動も小さいと考えられるので、P40 が比較的大きく動くと P40 上の桁 S40 側の桁座が狭くなって、結局図 1(d)のように桁 S40 が落下することが考えられる。別な瞬間にはそれと類似のことが起こって桁 S41 が落下することが考えられる。なお、P39 の基礎杭の本数が他の橋脚のそれと比べて多く、P39 は砂洲(砂堆)とともに地盤の動きを止める機能を発揮したこと等も考えられる。

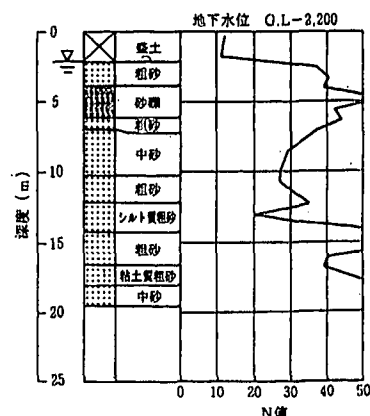


図 11 P42 橋脚付近の土質柱状図<sup>5)</sup>

### 3.3 西宮市市庭町建石交差点

本橋は国道 43 号建石交差点を跨ぐ高架橋であり(位置は図 5<sup>6)</sup>参照)、被災した神 P55 橋脚は鋼製の T 型柱(2.8×3.0m の箱桁断面)の横梁(45.5m)が、両端でピン支承を介して RC 柱によって支えられた特殊な形式となっていた(図 12<sup>6)</sup>)。また、本橋脚はランプの分岐点に位置するため本線部(4 車線)とランプ部(2 車線)の両者を支持する構造となっていた。この鋼製 T 型橋脚は柱脚部の中埋めコンクリート上端部<sup>5)</sup>の剛性変化点から崩壊しているが、この部位は地震等で損傷を受けやすいところである<sup>1)3)4)</sup>。

落橋は図 5, 6 の新旧地形図<sup>6)7)</sup>の他に地盤状態図<sup>1)</sup>をみると夙川沿いの自然堤防沿いの埋没谷部で生じている。ここで図 8 の地質縦断図をみると TP-11m, -13m 付近に腐植土層があり、この地盤は上下逆転型地盤と考えられる。このような比較的狭い埋没谷では地震時に特に上下逆転型地盤が谷軸方向に強く動きやすく、かつ構造物が被害を受けやすいことが既に調べられている(例えば水深第 1 高架橋<sup>8)</sup>のように)。従って、地震時に図 2(b)のような現象が生じたことが考えられる。即ち、傾斜の上手側(北側)から下手側(南側)

①鋼製柱の崩壊、復旧の沈下

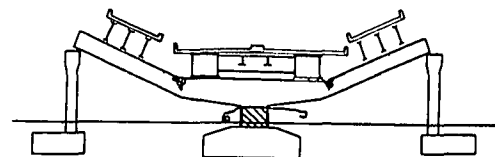


図 12 被害状態(建石交差点)<sup>5)</sup>

に埋没谷の谷軸方向に地盤が動いたときに、しっかりした基礎をもつ橋脚にその動きが止められて大きな偏土圧が基礎に作用した結果、橋脚が反作用として北側に倒壊したことが考えられる。そのときに鋼製橋脚の剛性変化点で局部座屈が発生して橋脚が徐々に沈下して行って、図 12<sup>5)</sup>のような変形に進んだことが考えられる。

また、酷い崩壊が生じた P55 橋脚は地表面勾配変化点(西側の明石側に上り勾配が急に大きくなる地点)に存在しており、そこは図 8 に示す地質縦断図の最上層の S 層が西側に厚くなる位置にあることが考えられる。その位置は次に述べる深江本町地区の高架橋で東端の橋脚が鉄筋段落し部でせん断破壊を生じた地点と似ている。

なお、建石交差点の橋梁は左右両側の RC 橋脚と桁は可動ジョイントで結合され、真ん中の鋼製 T 型橋脚と桁とフーチングは剛結状態であったため、真ん中の鋼製橋脚に大きいせん断力等が作用して圧潰したたことが考えられるが、その構造と応力状態等が神戸高速鉄道大開駅トンネルの中柱の崩壊と似ているようである<sup>2)</sup>。即ち、両者で真ん中の柱の上端と下端と桁や天井とフーチングや床スラブが剛結状態にあって、しかもトップ・ヘビー状態で両側の橋脚や側壁とはフリーあるいは変形可能状態(はらみ出し、ずれ、可動等)になっていて地盤からの強い水平力を受けたと思われるし、またトップ・ヘビー状態になっている真ん中の鋼製橋脚が圧潰したが、横断方向に並んだ 3 本脚のうち圧潰した橋脚の後ろ側の橋脚が不動点の作用をしたことも考えられる。

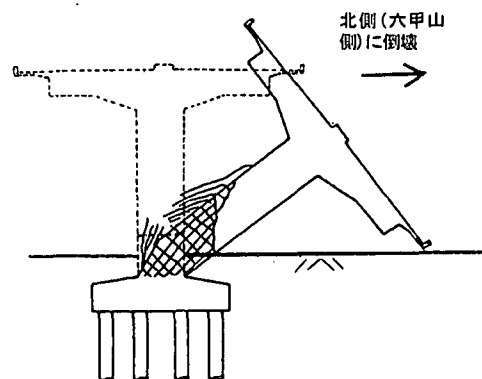


図 13 被害状態(深江本町地区)<sup>5)</sup>

### 3.4 神戸市深江本町地区

深江本町地区の高架橋は国道 43 号上に建設された橋長 635m の高架橋<sup>5)</sup>である(位置は図 15<sup>6)</sup>参照)。上部工は支間中央部に吊桁を有する 18 径間の PC 橋で、橋脚と橋桁が剛結されたピル構造が用いられていた。神 P126 から P142 に至る 17 基の橋脚が、図 13 に示す



ようにおおむね柱中間部で破壊し、その上部が北側(山側)に倒壊した。橋脚はかぶりコンクリートの剥離だけでなく、内部のコンクリートまで砕け、主鉄筋の座屈や破断が生じた。橋脚南部の側面は軸方向鉄筋の破断とともに、かぶりコンクリートが剥ぎ取られたような損傷を受け、それらの損傷は軸方向鉄筋の段落とし位置付近(図14参照)で著しい<sup>5)</sup>。

損傷区間の東西両端に位置する神P126および神P142の橋脚では軸方向鉄筋の段落とし位置で顕著なせん断破壊が生じたが<sup>5)</sup>、その位置は剛性変化点であり、そこでは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<sup>1)</sup>。

本橋の倒壊は図15、16の新旧地形図<sup>6)7)</sup>の他に地盤状態図<sup>1)</sup>をみると、芦屋川沿いの自然堤防(東側)と旧深江集落(西側)が存在する自然堤防(西側)の間にある埋没谷部で発生している<sup>1)</sup>。図17は神P138橋脚近傍の土質柱状図<sup>5)</sup>であり、図18は地質縦断面図である。両図をみると、地盤は上下逆転型地盤であり、これまでに地震被害が多く見られる地盤構造<sup>1)</sup>と同じである。従って、ここでは埋没谷の表層地盤が谷筋方向の下流側へ(標高の高い北側から標高の低い南側へ)急激かつ強く動いたことによって、しかもその動きがしっかりとした基礎(群杭)によって急激に止められたことにより大きい偏土圧が基礎に作用して、反作用として橋脚と桁が北側に倒壊したことが考えられる。なお、これと同じように埋没谷で被害を受けた構造物として阪神石屋川車両基地も挙げられる<sup>1)</sup>。

### 3.5 神戸市中央区波止場町地区

被災箇所<sup>5)</sup>は神戸市中央区のメリケンパークからハーバーランドに至る間に位置する24径間、686mの区間で、3号神戸線が国道2号の上に重なっている(位置は図20<sup>6)</sup>参照)。国道の建築限界などの制約を受け、上部構造は橋脚上にかけて違いのある単純鋼版板桁で桁内に横梁を設けた形式となっている。橋脚は矩形単柱式で上部構造の横桁の両端を橋脚2本で支持している。図19のようにRC矩形単柱の橋脚基部がせん断破壊し、天端付近が圧壊した<sup>5)</sup>。

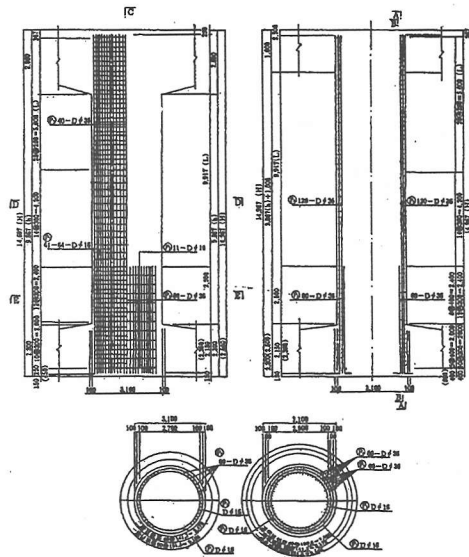


図14 神P138 橋脚配筋図(深江本町地区)<sup>5)</sup>



図16 位置図(深江本町地区を旧地形図<sup>7)</sup>に追加)



図15 位置図(深江本町地区を新地形図<sup>6)</sup>に追加)

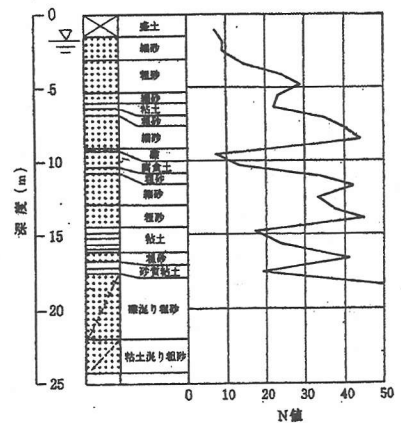


図17 P138 橋脚付近の土質柱状図<sup>5)</sup>

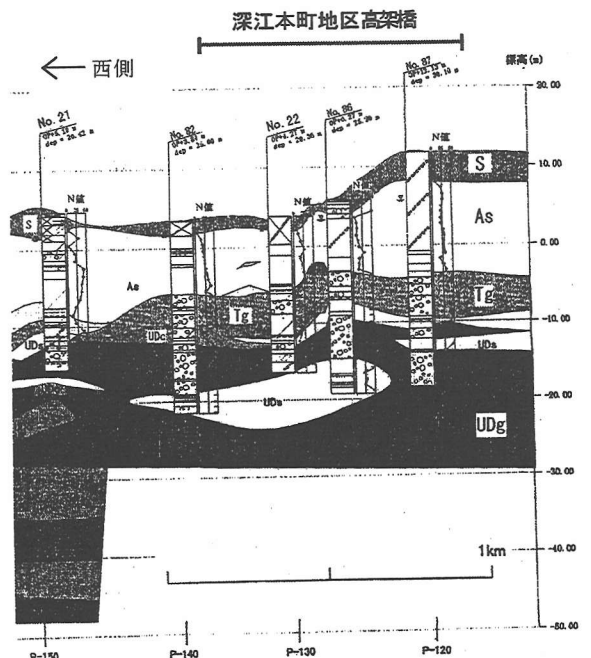


図18 地質縦断面図(深江本町地区付近; 地層凡例は図7参照)

この結果、当該区間のRC床版3径間連続I桁6連、同単純I桁2連のうち、3連が落橋、5連の桁に座屈などの損傷がみられた。また、支承アンカーやゲルバー部の桁間連結装置が破壊した<sup>5)</sup>。

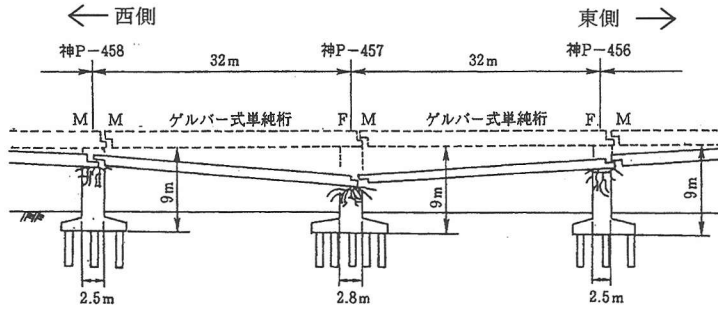


図19 被害状態(波止場町地区)<sup>5)</sup>



図20 位置図(波止場町地区を新地形図<sup>6)</sup>に追加)

本橋の落橋は図20,21の新旧地形図<sup>6)7)</sup>に示すように、海岸埋立地とそうでない地山部分の境界部で両者に跨った部分で生じた。前者は軟弱地盤と考えられることと、この付近で図22の地質縦断図よりこの付近で基礎面高さが急変していることが分かる。この橋梁は異種支持地盤状態にあることから地盤に不同水平変位が生じて橋脚間隔が変化し、その影響で橋脚が天端付近から圧壊し、上部構造が地上付近まで沈下したことが推定される。また、P-457橋脚を境にして西側に向かって地盤最上層のS層がかなり厚くなり、東側にも厚くなる傾向がある。しかも、P-457の基礎杭の本数(図19上で1辺当たり5本)が東西両隣のP-456,P-458の(同3本)よりかなり多く、地盤条件の不連続点にあり地盤条件の悪いところにしっかりした基礎を作ったために、図1(d)あるいは橋軸方向に図2(b)のような現象が生じたことが考えられる。



図21 位置図(波止場町地区を旧地形図<sup>7)</sup>に追加)

3.6 神戸市西尻池町湊川ランプ  
湊川ランプはフルセットのランプであり、4本の出入路とも曲線部が2径間連続曲線鋼箱桁で単純鋼I桁や単純RC中空床版桁が隣接している。本橋の落橋は図23, 24に示すように、東入ランプE1および西出ランプW1の2径間連続曲線鋼箱桁でそれぞれ北端部と南端部が落下して生じた<sup>5)</sup>。これらの2橋とも中間支点のRC円錐柱橋脚の段落とし部で破壊した。西側の2本の出入路E2, W2は落橋など大きな被害には至らなかった。東西に走る本線の鋼製橋脚にも損傷が生じた<sup>5)</sup>。(図23, 24内のE1, E2, W1, W2は本論文で説明上付けた記号である。)

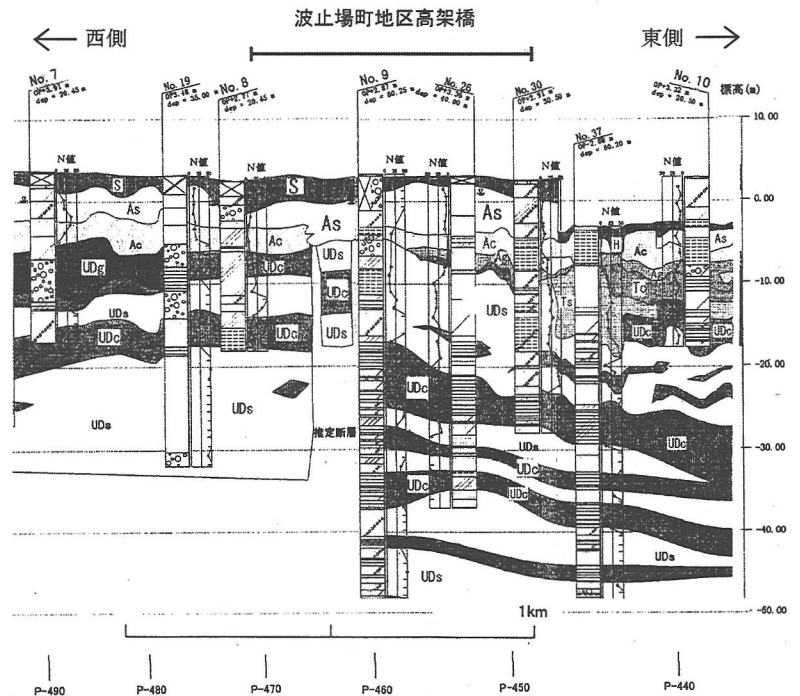


図22 地質縦断図(波止場町地区; 地層凡例は図7参照)

### 3.6 神戸市西尻池町湊川ランプ

湊川ランプはフルセットのランプであり、4本の出入路とも曲線部が2径間連続曲線鋼箱桁で単純鋼I桁や単純RC中空床版桁が隣接している。本橋の落橋は図23, 24に示すように、東入ランプE1および西出ランプW1の2径間連続曲線鋼箱桁でそれぞれ北端部と南端部が落下して生じた<sup>5)</sup>。これらの2橋とも中間支点のRC円錐柱橋脚の段落とし部で破壊した。西側の2本の出入路E2, W2は落橋など大きな被害には至らなかった。東西に走る本線の鋼製橋脚にも損傷が生じた<sup>5)</sup>。(図23, 24内のE1, E2, W1, W2は本論文で説明上付けた記号である。)

図23<sup>5)</sup>, 24<sup>5)</sup>と図25<sup>6)</sup>, 26<sup>7)</sup>を比較すると、東側にある2つの出入路E1, W1の落橋はいずれも旧河道部で生じており、E1は湊川河道を横断し、W1は南側半分が湊川河道上につくられている。図27の地質縦断図より、最上層(S)の下の粘性土層(Ac)はN値が小さくこの地盤は上下逆転型地盤であることも分かる。

このような橋梁の変形状態と地盤状態の関係から、この橋梁の変形理由として次のことが推定される。地震時に落橋したランプの内、E1の中間支点のRC円錐柱橋脚基礎は南西側の地盤が北東側へ動いた

ときに強い力を受け、W1の同橋脚基礎は北西側の地盤が南東側へ動いたときに強い力を受けて、その反作用としてそれぞれの桁が南西側と北西側へ移動するに至ったことが推定される。また、本線桁に殆ど被害がみられず、4つのランプ桁のみに顕著な被害が生じているので、ランプ桁の北端部と南端部付近の地盤もそれぞれ反対側に動いて、橋脚を移動させたため落橋が発生したこと等も推定される。

なお、E2とW2ではともに桁が地震で左周りに回転したように変形している。それはE2ではその北側半分が自然堤防と田圃の境界部にあって、地震のとき田圃地盤から橋脚基礎が東側へ強く押されたため、W2ではその南側半分は自然堤防上に北側半分は田圃上にあり、北側の橋脚基礎が田圃地盤の方から強く押されたために発生したことが推定される。

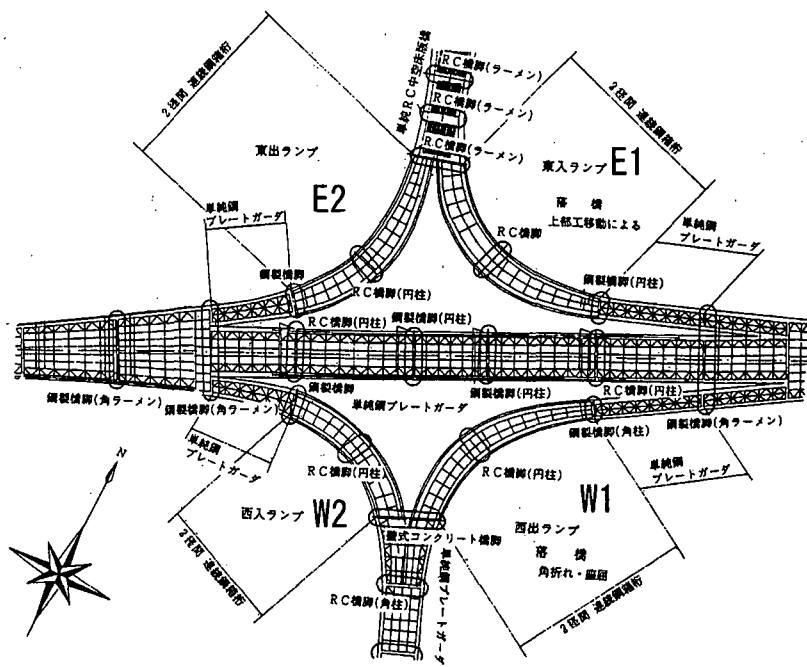


図 23 湊川ランプの上部工の平面図(原図<sup>5)</sup>に位置記号E1, E2, W1, W2を追加)

#### 4. まとめ

以上に述べてきた阪神・淡路大震災による高速道路橋梁の地震被害と地盤の関係性を次にまとめる。

- 1) 高速道路橋梁の地震被害は地盤条件の変化点、即ち自然堤防や砂州(砂堆)と盛土地の境界部や自然堤防間の埋没谷で多く発生している。
- 2) 盛土地や埋没谷堆積層は砂・礫層の下に軟弱な粘性土層(腐植土層を含む)がある上下逆転型地盤である。
- 3) 地盤条件の変化点には、上述の自然に出来た硬軟地盤境界部の他に、しっかりした基礎をもっているため人工的にできた地盤条件の変化点もある。
- 4) そこでの被害は地震時に硬軟地盤境界部で生じる地盤の不同変位や、人工的にできた地盤条件の変化点である基礎で急激に止められて発生する偏土圧で生じることが推定される。そのとき、上下逆転型地盤中の軟弱粘性土層が送り面のようにになって、その上の砂・礫層が比較的大きく動くことや、砂・礫層は地盤反力係数が大きいので杭や基礎に大きい力を作用させること等が考えられる。

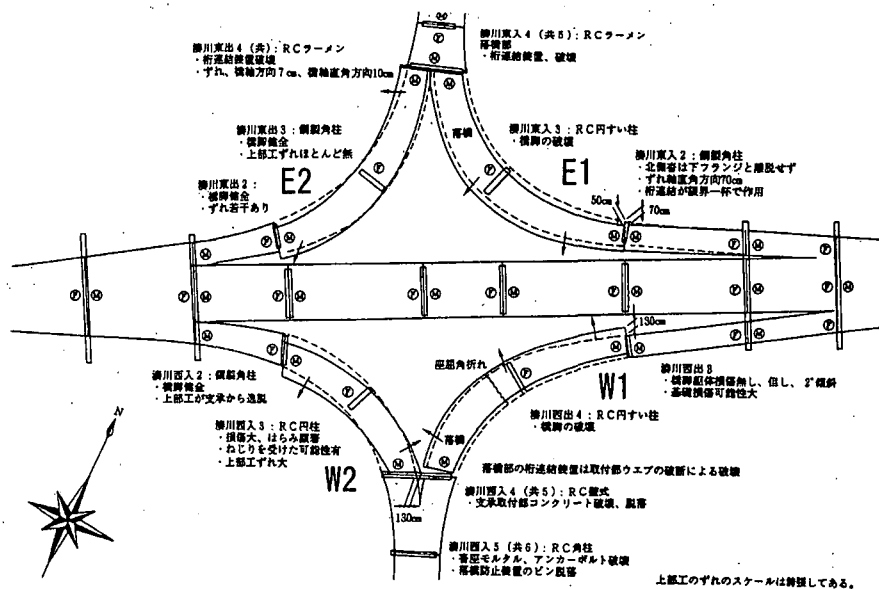


図 24 湊川ランプの被害状態(原図<sup>5)</sup>に位置記号E1, E2, W1, W2を追加)

- 5) 橋脚は鉄筋コンクリートの鉄筋断落し部や鋼製橋脚の中埋めコンクリートの上端部等のいわゆる剛性変化点で損傷が発生している。ここは変位の急変箇所であらゆる力が集中するところである。

即ち、今回の橋梁被害は動く地盤と動かない地盤の境界部(土の剛性変化点)で、構造物の鉄やコンクリートからなる部材の剛性変化点で被害が生じたことが考えられる。これらの地震被害の生じやすい地盤構造と構造物の被害機構は文献1)~4)等でも既に発表しており、今後の地震対策の要注意点と考えられる<sup>1)~4)</sup>。

なお、上記の構造物は復旧に当たって対策工が施工されているので、今後被害は生じないものと考えている。

おわりに、以上の調査を行なうに当たってお世話になった松尾修国土技術政策総合研究所地震災害研究官に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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. 2-5, 1998. 3.
- 5) 建設省土木研究所編：兵庫県南部地震災害調査報告，1996. 3.
- 6) 原図，地形図，1:2.5万，西宮，2000. 6，神戸主部，2002. 3，神戸南部，2002. 3，国土地理院.
- 7) 清水靖夫編：神戸都市地図，柏書房，1995(明治17~19年発行の20,000分1地形図の集成図集).
- 8) 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.



図 25 位置図(湊川ランプを新地形図<sup>6)</sup>に追加)

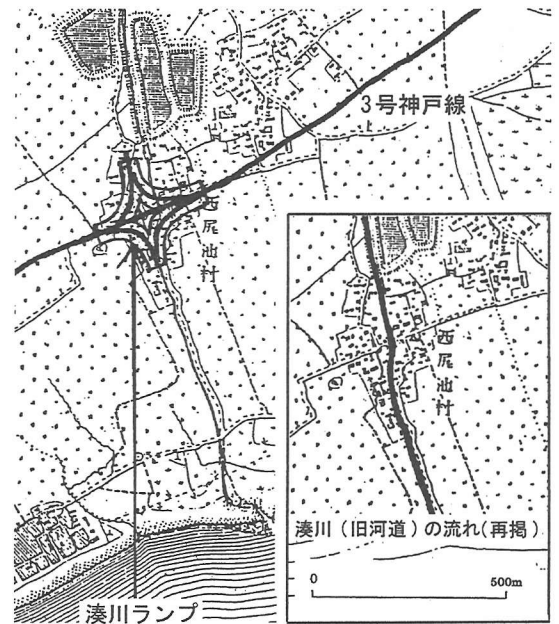


図 26 位置図(湊川ランプを旧地形図<sup>7)</sup>に追加)

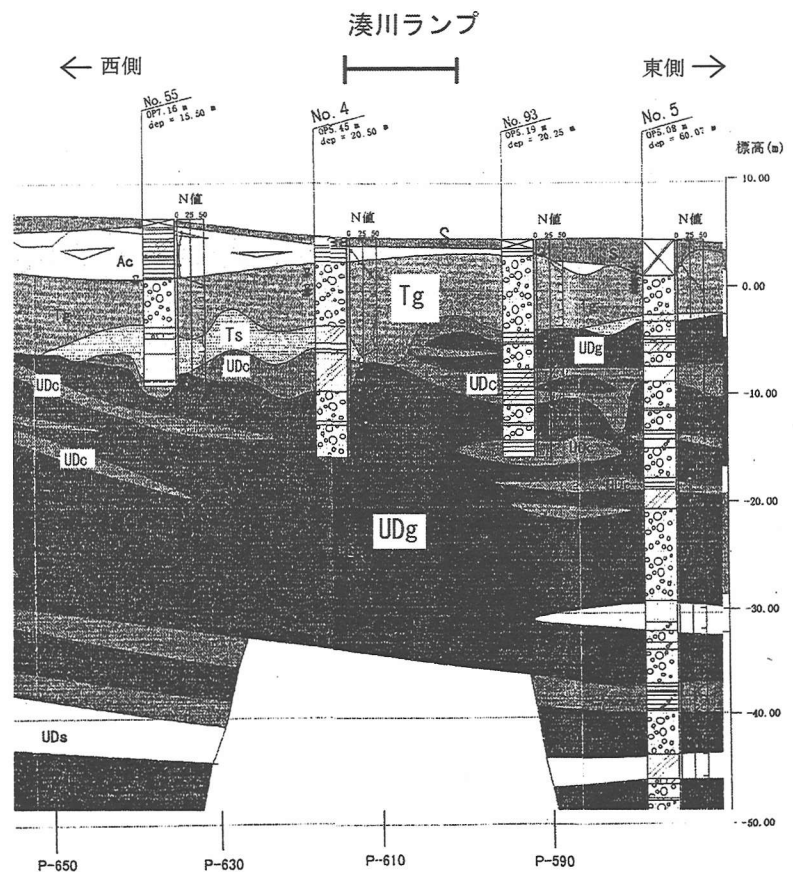


図 27 地質縦断図(湊川ランプ；地層凡例は図7参照)

「この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の複製許可承認(平成14年7月3日付独土研業第21号)」を得て複製したものである。前橋工科大学建設工学科」