

橋梁の地震被害への地盤変位の影響の考察

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

阪神・淡路大震災等の多数の地震で発生した各種構造物の被害を地盤条件に着目して調べている。各種構造物の地震被害が地盤条件の変化点や砂・礫層の下に軟弱な粘性土層等がある地盤(上下逆転地盤)で多いことと、地盤変位によって被害が発生しやすいこと、さらに各種構造物の地震被害が地盤構造と基礎状態に大きく影響されること等を既に報告している¹⁾⁻⁵⁾。

今回は橋梁周辺の地盤構造と橋梁の変形状態の関係を調べた結果から、橋梁の被害機構を地盤に着目して推察した結果について述べる⁶⁾⁻⁸⁾。即ち、橋梁被害がどのような地盤で生じたかを示すとともに、地盤がどのような動きをして地盤からどのような地震力を受けて被害が生じたか、橋梁に被害を生じさせるような地震力がどのように発生したか等を推察した結果について述べる。

2. 橋梁の地震被害と地盤状態

ここでは橋梁の代表的な地震被害を軸方向被害と軸直角方向被害に分けて示す⁴⁾。

(1) 軸方向の被害橋梁・無被害橋梁と地盤状態

a) 昭和大橋

信濃川にかかっている昭和大橋(杭基礎、パイルベント方式)の全体は、図1に示すように砂丘(牡丹山砂丘)と河成層に跨って作られている⁹⁾。1964年の新潟地震のときに河成層の砂質土のみからなり比較的固い右側部分と、その中間部に軟弱な粘土層や腐植土層を挟む比較的軟らかい左側部分の境界部において、桁の落下が後者側の地盤で生じた⁹⁾。右側橋台 A_R と比べて左側橋台 A_L が河心側に大きく移動し、その裏側盛土も大きく沈下するとともに、その盛土の移動方向である河成層底面の緩く傾く右岸側の方向に杭

が変形した⁹⁾。

b) 利別川橋梁

利別川橋梁(井筒基礎、北海道池田町)は図2に示すように、全体が左側の地盤の悪い沖積層部分と右側の地盤の良い部分に跨って作られている⁹⁾。1993年釧路沖地震のとき軟弱粘性土層(C, GC, Sfc)厚さの変化点付近にある8P橋脚上でシュが転倒して、その上の9連目の桁端部が橋脚頭部に落下している⁹⁾。

c) 札幌高架橋

図3の阪神高速道路札幌高架橋(杭基礎、西宮市浜脇町札幌)の落橋は図4のB地点で砂堆(砂州)と盛土地(埋没谷)の境界部で両者に跨っていて生じた⁵⁾。この隣接橋脚間に短縮や伸張が認められる¹⁰⁾。後者の地盤は砂礫層の下に軟弱粘性土層がある上下逆転型地盤である⁵⁾。

上記(1)a), b), c)の被害はともに橋梁が異種支持地盤状態にあったため地盤に生じた不同水平変位で被害が発生したことが考えられる⁴⁾⁵⁾。

f) その他の被害橋梁

以上に述べた橋梁以外にも軸方向の地震被害を受けた例が多く見られる。例えば、姉沼高架橋(杭基礎、1968年十勝沖地震)⁹⁾⁶⁾¹²⁾や桜沢川橋梁(杭基礎、1983年日本海中部地震)⁶⁾¹²⁾、直別川橋梁(杭基礎)、

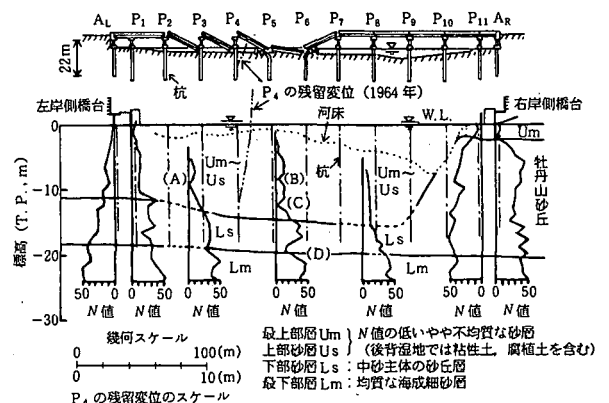


図1 昭和大橋の変状と地盤⁴⁾¹²⁾

下頃辺川橋梁(杭基礎), 姫新得川橋梁(杭基礎, 以上いずれも1993年釧路沖地震)⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾, キンフランスコ・オークランド・ベイブリッジ(杭・ケーソン基礎, 1989ロマブリーク地震)¹⁶⁾¹⁷⁾等も軸方向に被害を受けているが

¹²⁾¹⁷⁾, いずれも異種支持地盤状態で被害を受けており, 被害原因として地盤に生じた不同変位が考えられる⁴⁾. さらに, 2000年台湾集集地震による烏溪橋の被害状況¹¹⁾をみると橋脚A3, A4間が短縮し, その隣の橋脚A2, A3間で桁が落下しており, 前述の阪神高速札場高架橋と同様の被害機構で被害が発生したことが考えられる.

g) 無被害橋梁の例

例えば, 1964年新潟地震のとき信濃川にかかっている万代橋(ケーソン基礎)は殆ど無被害であったが, この地盤は互層をなしているが水平方向に成層状態になっている¹²⁾. 1982年浦河沖地震のときJR静内川橋梁(直接基礎)も無被害であったが, 砂質土層(砂州)に基礎がある¹²⁾.

(2) 軸直角方向の被害橋梁・無被害橋梁と地盤状態

a) 水深第1高架橋

京浜急行水深第1高架橋(杭基礎)は埋没枝谷を谷底平野の出口付近で横断している⁴⁾⁷⁾¹²⁾. 1987年千葉県東方沖地震のときにほぼ軸直角方向(埋没谷筋方向)に大きい地震力が作用して, 橋脚上部にせん断亀裂が発生した(図5)¹⁵⁾. この被害は図6に示すように, 埋没谷が特に深い位置でN値が大きくて厚い砂層の下の極軟弱粘性土層が厚いところほど酷く生じている. これは埋没谷内堆積土層の下流側

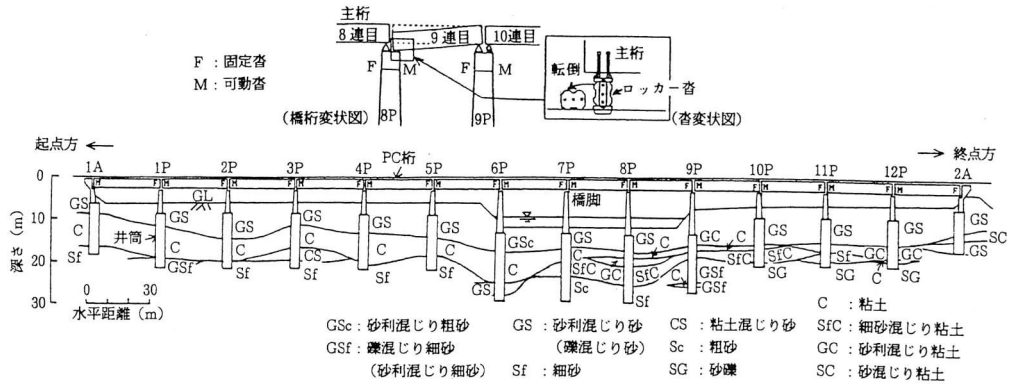


図2 利別川橋梁の変状と地盤⁶⁾⁹⁾

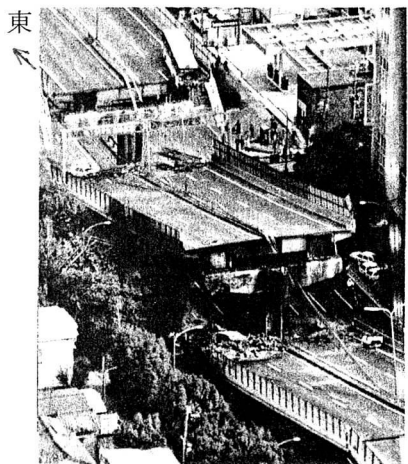


図3 阪神高速札場高架橋の変状⁵⁾¹⁸⁾

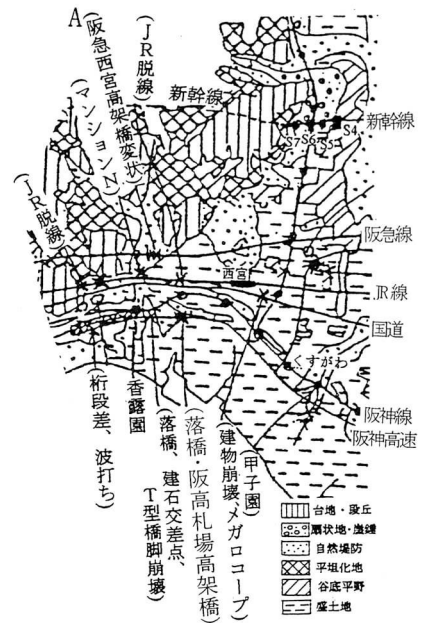


図4 阪神高速札場高架橋付近の地盤状態図⁵⁾¹⁸⁾

への強い動きによって発生したことが考えられる⁴⁾.

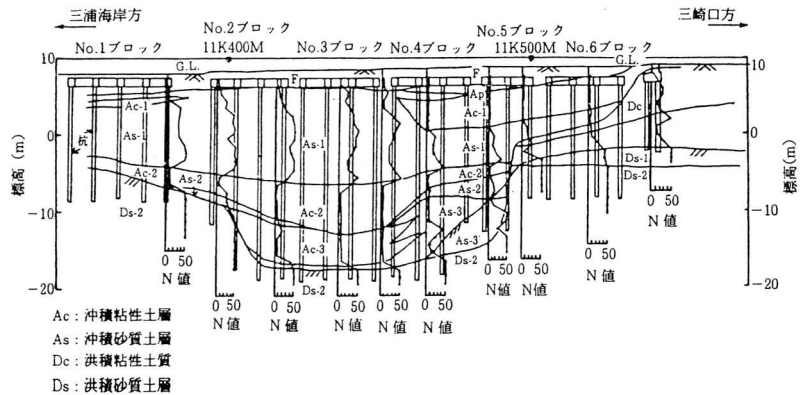


図5 水深第1高架橋の変状と地盤⁴⁾⁸⁾

b) 下食満高架橋

山陽新幹線下食満高架橋(杭基礎)において、1995年阪神・淡路大震災のときに2ブロック(ここでは起点側からS1aとS1bブロックと称する)が軸直角方向に崩壊(落橋)した(図7)⁴⁾⁵⁾¹⁸⁾¹⁹⁾。図8の旧版地形図によるとS1aブロックは集落Sのある自然堤防の南東側にある埋没谷(盛土地)に、S1bブロックは集落Sの自然堤防とその北西方向にあって集落Nのある自然堤防の間の埋没谷の田圃に位置している。S1aブロックとS1bブロックでは、地盤面(G.L.)標高0.P.+5mの等高線にほぼ直角な方向に高架橋は変形している。表層地盤のこの方向への動きによってこの被害が生じたことが推定される⁵⁾¹⁸⁾。

c) 東灘高架橋

阪神高速東灘高架橋(杭基礎)は1995年阪神・淡路大震災で橋軸直角方向の北側へ倒壊したが、それは芦屋川沿いの自然堤防と旧深江集落がある自然堤防の間の埋没谷部で生じた(図9,10)⁴⁾⁵⁾¹⁸⁾。埋没谷の東西両端の橋脚2本が最も顕著にせん断破壊し、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ている。ここでは谷筋方向に北側から南側に急激に動いた地盤から力を受けて被害を受けている。上記の(2)a), b), c)の被害はいずれも埋没谷地盤内の砂・礫層の下に軟弱な粘性土層等がある表層地盤(上下逆転方地盤)が谷筋方向に動いたとき、それが橋梁のしっかりした杭・基礎に急激に止められて大きい偏土圧が基礎に作用したため発生したことが推定される⁵⁾。

d) その他の被害橋梁

以上に述べた橋梁以外にも軸直角方向に地震被害を受けた例が多く見られる。例えば、国道静内橋(井筒、杭基礎、1982年浦河沖地震)¹²⁾、サンフランシスコ市のエンガゲロ高架橋(杭基礎)、オークランド市のサイプレス高架橋(杭基礎)ときに橋軸直角方向に崩壊した。ワシントン市のストラウス橋(杭基礎、パイルメント方式、以上は1989年ロサンゼルス地震)⁴⁾¹⁸⁾¹⁹⁾、阪急西宮高架橋、六甲道駅高架橋、阪神石屋川車両基地高架橋(以上は1995年阪神・淡路大震災)⁸³⁾等も軸直角方向に被害を受けているが、いずれも河道部や埋没谷部を横断しており、その基礎構造も支持杭等でしっかりしていて、表層地盤は砂質土層と粘性土層の互層からなる上下逆転型地盤構造が多い。

地震で動いた表層地盤が基礎に止められて大きい偏土圧が基礎に作用したため、そのような被害が生じたことが推定される⁴⁾⁵⁾。

なお、これらの橋梁を軸直角方向に眺



図6 水深第1高架橋の位置地形図⁴⁾⁸⁾



図7 下食満高架橋の変状⁵⁾¹⁸⁾



(原地形図1:1万、尼崎東北部、1956に追加)
図8 下食満高架橋の位置地形図⁵⁾¹⁸⁾

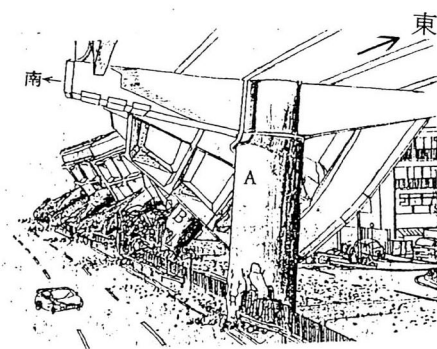


図9 阪神高速東灘高架橋の変状⁵⁾¹⁸⁾



図10 阪神高速東灘高架橋の位置地形図⁵⁾

めると硬軟地盤境界部の軟地盤側にある上下逆転型地盤の部分で被害を受けているものが多い

e) 無被害橋梁の例

例えば、前述の被害を受けた水深第1高架橋のすぐ近くにあり殆ど無被害の水深第2高架橋(杭基礎)

は、第 1 高架橋と同様に埋没枝谷を横断している。が、この枝谷の堆積はN値が極小さい極軟弱な粘性土層と腐植土層のみから構成されており¹²⁾¹⁵⁾、地震のときにその軟弱な粘性土層と腐植土層が動いても、それらは圧縮性が大きいいため橋脚基礎を押す力が小さくて被害を及ぼさなかったことが考えられる。また、浦河沖地震のとき被害を受けた国道静内橋の近くにおいて被害を受けなかった JR 静内川橋梁は砂質土層(砂州)に直接基礎を有しており¹²⁾、橋梁全体が地盤と一緒に動いて、地盤から力を受けなかったため被害が生じなかったことが推定される。

3. 橋梁の変形と地盤の関係のまとめ及び被害機構の推定

(1) 軸方向の橋梁変形と地盤の関係のまとめ

以上に述べた橋梁の軸方向の変形と地盤の関係を示す模式図の 1 例を図 11 に示すとともに、被害原因を推定する⁴⁾⁶⁾。この図では右側の軟質層が薄く左側の軟質層が左側から右側にかけて厚くなっている。このような良い地盤と悪い地盤に跨っていて異種支持地盤状態にある橋梁では、軸方向(図では左右方向)の地震動と残留変位の大きさと方向は地盤構造に対応して発生する。即ち、それらの地盤変位は右側で小さく左側で大きく生じて不同変位が生じるし、橋台裏の盛土荷重は偏載荷重として作用するので、左右の盛土の変位 D_R と D_L はともに橋梁側と反対側よりも橋梁側により大きく生じるが、薄い軟質層上の盛土変位 D_R よりも厚い軟質層上の盛土変位 D_L が大きく生じる。また、盛土変位 D_L がその下の軟質層の緩傾斜底面の傾斜方向の右側に特に大きく生じるのに伴って、左側の A_L 橋台が大きく右側に押し出されるとともにその裏側の盛土が大きく沈下し、さらにその左側の A_L 橋台に図に示すような斜め亀裂が生じることが多く、その上にそれに隣接する P_1 橋脚にも右側への大きい地盤変位が作用して亀裂等の各種被害が生じることが考えられる。

(2) 軸直角方向の橋梁変形と地盤の関係のまとめ

以上に述べた橋梁の軸直角方向の変形と地盤の関係を次にまとめるとともに被害原因を推定する⁴⁾⁶⁾。
a) 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

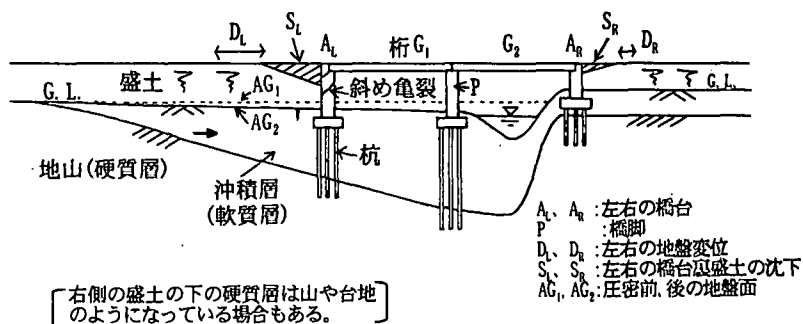


図 11 橋梁の軸方向の変形と地盤の関係例⁴⁾⁶⁾

表 1 地盤の不同変位(変位差)の分類例

—	方向	変位	作用力
地盤の 不同変位	水平 方向	圧縮変位(座屈)	圧縮力
		引張変位	引張力
		横ずれ変位, 捩れ	せん断力
	鉛直 方向	圧縮変位(座屈)	圧縮力
		引張変位	引張力
		不同沈下(縦ずれ 変位)	せん断力

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作用する力(土圧力)が大きいためと考えられる⁵⁾¹⁹⁾。

b) いずれの橋梁も支持杭状態で被害を受けており、その被害機構として例えば図 15(a)に示すように、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生じたこと等が考えられる⁵⁾¹⁹⁾。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橋梁(2. (2) e 参照)¹²⁾や他の種類の構造物²⁰⁾に被害がみられないこと等からも分かる⁵⁾¹⁹⁾。

c) 即ち、上下逆転型の互層地盤が「フック」基礎と杭等によって言わば釘付けに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ることが等が考えられる。

なお、地盤の不同変位による構造物への作用力を作用方向と変位種別毎に分類すると表 1 のように考えられる。

(3) 地震被害機構の推定

以上に述べたことと既存の調査結果^{1)~5)}をもとにして、次に橋梁の地震被害機構等を推定する

a) 図 12 に橋梁を含む各種構造物の地震被害の有無を地盤と基礎構造から分類して示す。a~c のように

基礎上の表層地盤が一様なときは、直接基礎、摩擦杭、支持杭いずれの場合も被害が生じにくい。d~f の上下逆転型地盤のうち、直接基礎 a と摩擦杭 e の場合に被害は生じにくい、支持杭 f の場合には被害が生じやすい。また、g~i の異種支持地盤ではいずれの基礎の場合でも被害が生じやすい。

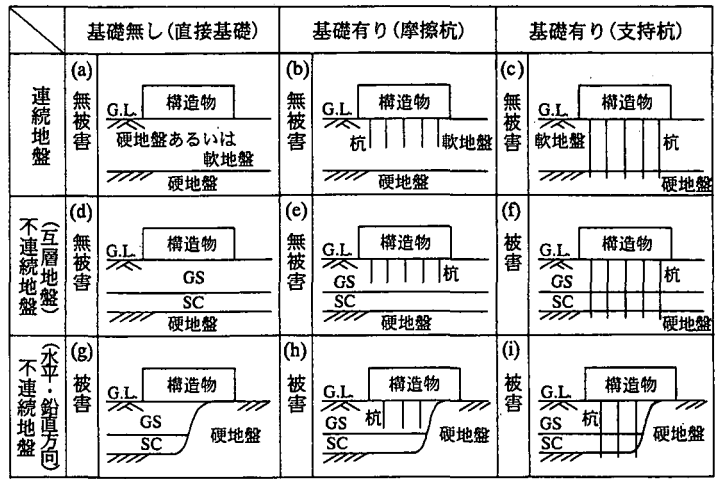
b) 橋梁等の建造物の地震被害は地盤強度の深度分布が図 13(a) のような場合に少なく、図 13(b) のような場合に多くみられる¹⁹⁾。この図 13(b) は上記 a) の互層地盤(上下逆転型地盤)である。

c) 橋梁の被害機構は図 14~15 のように推定される。被害はいずれの場合も砂・礫層の下に軟弱な粘性土層等がある互層地盤(上下逆転型地盤)で生じやすいが、軟弱な粘性土層を境にしてその上の砂・礫層に比較的大きい変位が生じること、その砂礫層は地盤反力係数が大きいので杭や基礎を押し力が大きいためと考えられる。

d) 橋梁の軸方向の被害機構を示す図 14(a)~(d) について述べる。この中には該当する橋梁名も記入されている。地盤条件の不連続なところでは地震時の地盤変位が橋脚毎に異なる。その変位は砂礫層のみの所よりも軟弱粘性土層上にある砂礫層の所の方が大きいので、例えば(b)のように橋梁が左側に動くときは P2, P3 橋脚間が拡大し桁 G2 の端部が落下する。また、(d)のように橋梁が右側に動くときは P2, P3 橋脚間が縮み桁 G1 の端部が落下する。なお、基礎のしっかりしたラーメン橋台も剛性が大きいので橋脚 P3 の地盤即ち地盤条件変化点の硬地盤の機能を発揮するものと考えられる。

e) 軸直角方向の被害機構を示す図 15(a) について述べる。基礎に拘束された支持杭では、地震時に軟弱粘性土層上の砂・礫層が右から左側に動くとき、右側の杭は地盤から強い力を受けて大きく押されて(せん断力と圧縮力が作用して)斜め亀裂が発生し、左側の杭は受ける力(せん断力と引張り力が作用して)が小さくて押され方も小さいので水平亀裂が発生する。また、右側の杭は大きく曲がるが左側の杭の曲がり方は小さいので、結局橋梁全体が右側に傾斜する。その杭の亀裂等は「フチン」と杭の接続部あるいは土層境界部に発生する。これは埋土地盤に「フチン」が設置されているとき場合に生じる。

地盤からの強い力が「フチン」に作用するときには、橋脚等の上部工に亀裂や破壊等の変状が発生する。これは「フチン」が自然堆積砂・礫土層に設置されてい



- (1) 構造物には盛土、建物、橋梁等を含む。但し、(f)の盛土は無被害。
- (2) 基礎には杭、井筒、地下室等を含む。
- (3) G.L.: 地盤面, GS: 砂、礫層, SC: 軟弱粘土、腐植土層
- (4) (g)~(i): 異種支持地盤
- (5) (g)~(i)において、GS+SCが軟地盤(SC)の単層の時も被害有り。

図 12 建造物に地震被害が発生しやすい地盤と基礎構造の関係⁵⁾

- 小さいが深さ方向に一定
- 大きい深さ方向に一定
- 深さ方向に増大
- 中間深さに極小値あり
- 中間深さに極小値あり
- ある深さで深が極軟弱

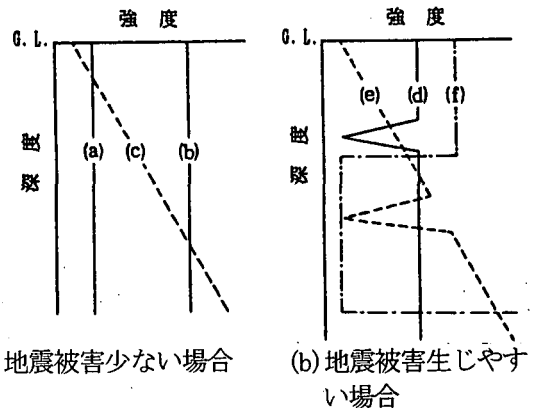


図 13 地盤強度の深度方向分布⁵⁾¹⁹⁾

る場合に生じる。

基礎が(上部工と一緒に)地盤の不動点のようになって、図 15(a)の現象が生じるのは基礎に拘束されたしっかりした支持杭等を持つ建造物基礎が地盤条件の不連続性を自ら作るため、即ち建造物基礎自体が不動点のようになって地震時の地盤の動きを止めて大きい偏土圧が杭あるいは「フチン」基礎に作用して被害が生じやすいと考えられる⁵⁾¹⁹⁾。

なお、地盤の短縮側の変位(不同変位、変位差)による被害が多くみられるが、それは剛性変化点では引張り側よりも圧縮側の大きい力が発生することと関係があり、地震時に地盤が圧縮されることで生じる強い力が建造物基礎に作用することが考えられる。f) 図 14(e)あるいは図 15(b)のように橋梁の基礎が摩擦杭や直接基礎のときは基礎が地盤と一緒に動き、

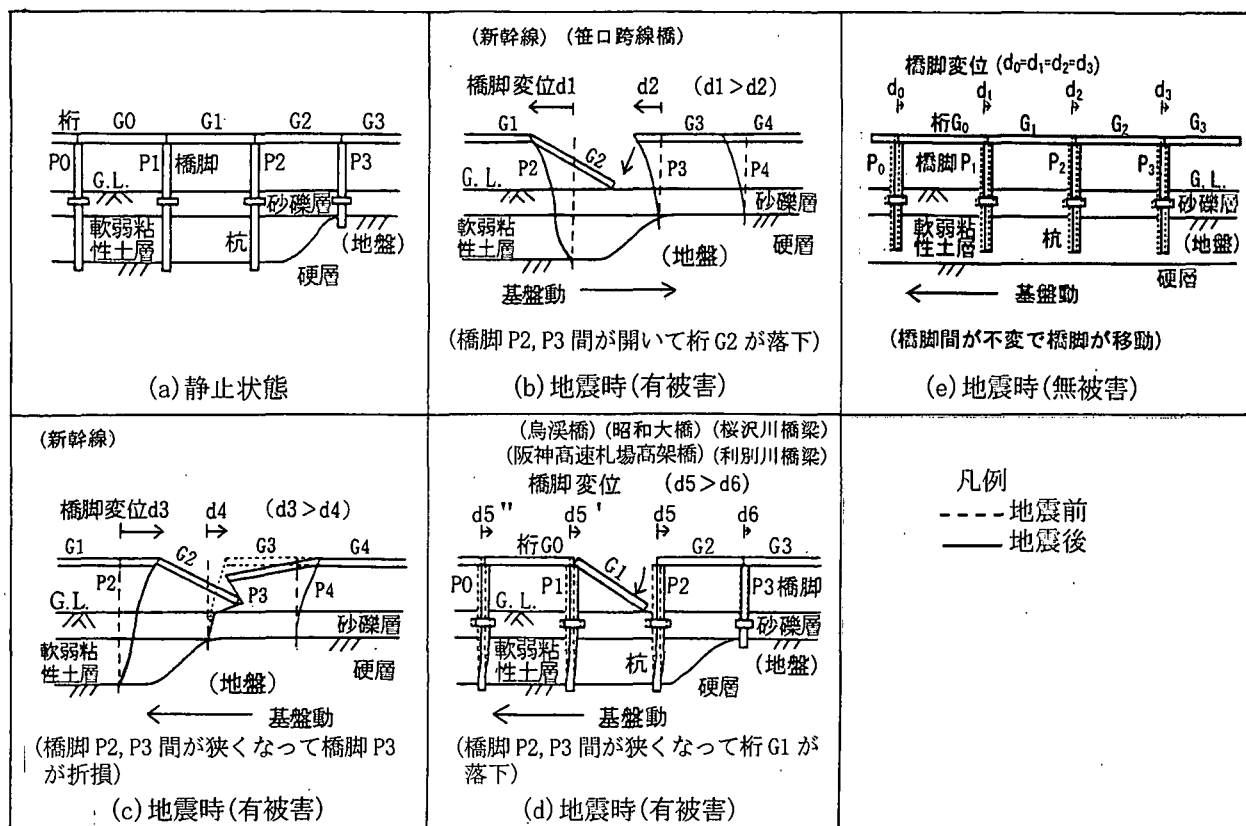


図 14 橋梁の地震被害機構の推定図(軸方向)⁵⁾¹⁹⁾

基礎と地盤の間の変位差に伴う圧縮力等の力が構造物基礎に作用しないため、即ち地盤から力を受けないので橋梁に被害が発生しないと考えられる⁵⁾。

f) 以上に述べたように自然あるいは人工の地盤条件の不連続点で橋梁の地震被害が生じやすいが、橋脚や上部工では例えば図 16²¹⁾

のような鉄筋の断落し部や帯鉄筋間隔変化部、板厚さ変化部、中詰コンクリート上端部、根巻きコンクリート上端部の他に、断面積変化部、隅角部、フチング・杭接続部、補強リブ端部、強度変化部、溶接部、継手部等からなる各種剛性変化点の部位等で地震被害が多く見られる⁵⁾²²⁾。これらはいずれも変位差の発生する部位であり、ここで発生する集中歪が被害原因と考えられる。このように地震時にも一般に問題が発生しやすいと言われている剛性変化点で被害が生じている。

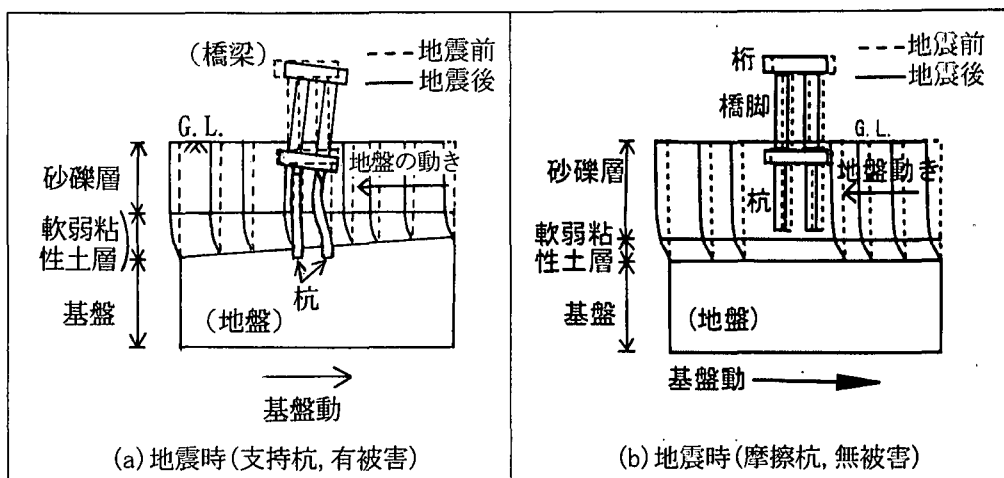


図 15 橋梁の地震被害機構の推定図(軸直角方向)⁵⁾¹⁹⁾

なお、以上に述べた橋梁の軸方向の被害機構は前述の利別川橋梁で、軸直角方向の被害機構と無被害機構は前述の下食満高架橋で、地震応答解析と常時微動測定で確かめられている。さらに、後者の測定結果から地震時の地盤の動きは常時の地盤の動きが拡大されて発生していることも推定される。

4. まとめ

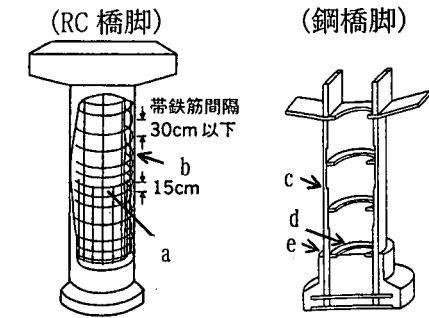
以上のように橋梁の軸方向と軸直角方向の地震被害

害と地盤の関係をもとめると、次の結論が得られる。

(1) 橋梁の軸方向の地震被害は異種支持地盤状態で多く、即ち自然にできた硬軟地盤境界部等の地盤条件の不連続点で多いことや、橋梁の変形は地盤構造(形状と土質構成)に対応して発生する地盤の不同変位(動的変位あるいは残留変位の大きさと方向)に対応して生じていることが推定される。

(2) 橋梁の軸直角方向の被害の多くも、自然にできた硬軟地盤境界部等からなる地盤条件の不連続点の他に、しっかりした橋梁基礎によって人工的に作られた地盤条件の不連続点で発生する地盤変位(不同変位)によって生じていることが考えられる。

(3) このように橋梁の地震被害は地盤条件の不連続



(a) 段落し部 (b) 帯鉄筋間隔変化部 (c) 板厚変化部 (d) 中詰コンクリート上端部 (e) 根巻きコンクリート上端部

図 16 地震被害の生じやすい部位の例(文献 21)に追加)⁵⁾²²⁾

表 2 橋梁や盛土、建物等の建造物の地震被害への地盤と基礎の影響のまとめ

地震被害	建造物と地盤の動きの関係	地盤と基礎の状態		原因
発生しやすい場合	(1) 建造物全体が地盤の動きに追従しない場合(地盤の動きに抵抗する場合)	(a) 自然にできた地盤条件の不連続点	・硬軟地盤の境界部で、硬軟地盤境界部の軟地盤側に建造物がある場合と硬軟両地盤に跨って建造物がある場合。 ・この軟地盤は砂・礫層の下に軟弱な粘性土層がある上下逆転型地盤で、支持杭や深いケソ基礎等を持つ建造物やラーメン橋台等の場合。	地盤の不同変位や、それに伴う偏土圧等が杭やフーチング等の基礎に作用するため。
		(b) 人工的な地盤条件の不連続点	・基礎のしっかりした建造物それ自身が作る場合と当該建造物の脇に基礎のしっかりした別な建造物がある場合。 ・水平方向に一様ではあるが、鉛直方向に不連続な地盤(上下逆転型地盤)で支持杭や深いケソ基礎等を持つ建造物やラーメン橋台等の場合。	
発生しにくい場合	(2) 建造物全体が地盤の動きに追従する場合(地盤の動きに抵抗しない場合)	(a) 良好な地盤に建造物が作られている場合 (b) 軟弱地盤に直接基礎や摩擦基礎、ボックス基礎、浮き基礎等で建造物が作られている場合。 (c) その他に、地盤反力係数の小さい極軟弱粘土層や腐植土層からなる地盤に建造物が作られている場合は、建造物基礎がそれらの土層から受ける荷重が小さいので、被害を受けにくい。		上記の変位や偏土圧等が作用しないため。

点で多く、それには自然にできた硬軟地盤境界部と建造物基礎が自ら作った人工的な不連続点があり、ここで発生する不同地盤変位あるいはそれによる大きい偏土圧によって被害が発生すること、いずれの場合も動く地盤と動かない地盤の境界部で被害が発生しており、地盤の構造に密接に関係して発生していることが推定される。

以上に述べた橋梁等の地震被害への地盤と基礎の影響のまとめを表 2 に示す。

(4) なお、橋梁躯体の亀裂や傾斜の発生状態、移動方向等が地盤の傾斜等の構造と密接に関係している。

(5) 従って、橋梁の地震被害を軽減するためには地盤条件の不連続点をなくすることが必要であり、そのためには異種支持地盤は水平方向に一様な地盤に改

良して同種支持地盤にすること、上下逆転型地盤は上下方向に一様な地盤に改良するか、基礎を摩擦杭や直接基礎、浮き基礎等にすること等が必要と考えられる⁵⁾。

さらに、橋脚や上部工の地震被害を軽減、防止するためには部材等の剛性を高めることの他に、剛性変化点を除去すること、あるいは剛性変化度を低減することが必要であると考えられる⁵⁾。

5. あとがき

現在は一般に、地震被害に対して加速度の作用が主として考えられているが、大気圏を出入するとき地上の何倍もの加速度を受けると言われる宇宙飛

行士は地上訓練で身体強度を高めることは行っていないにも関わらず皆安全に帰還しているのを見ると、構造物が加速度で壊れるのかどうか検討する必要があるように考えられる。上述したように橋梁も含めて各種構造物の地震被害が、(1)地盤ではその条件変化点や強度変化点(硬軟地盤境界部,土質変化点,地質変化点)で,(2)構造部位の各種剛性変化点で極めて多く生じており,ともに不連続点で変位差の発生箇所(歪集中箇所)である(図17参照)¹⁾¹⁹⁾。震度7の領域も地盤の歪集中箇所が発生しており²³⁾、橋梁の地震被害の原因究明を今後とも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松尾修国土交通省国土技術政策総合研究所地震災害研究官と幸左賢二九州工業大学教授他の方々、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。

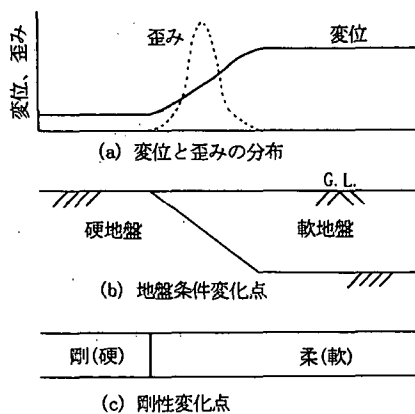


図17 不連続点における変位と歪の分布¹⁾¹⁹⁾

参考文献

- 1) 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.1-7,1998.3.
- 2) 那須誠:地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その2,地震動と盛土),前橋工科大学研究紀要,第3号,pp.9-16,2000.3.
- 3) 那須誠:地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その3,建物と橋梁),前橋工科大学研究紀要,第3号,pp.17-23,2000.3.
- 4) 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.
- 5) 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,pp.123-130,2000.7.
- 6) 那須誠,北村直樹:橋梁の軸方向の地震被害と異種支持地盤,土木学会第27回関東支部技術研究発表

会講演概要集, I-7, pp.13-14,2000.3.

- 7) 那須誠:地震被害と地盤条件(その13),第11回日本自然災害学会学術講演会要旨集,A34,pp.68-69,1992.11.
- 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.
- 9) 那須誠: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.35-40,1994.5.
- 10) 平成7年(1995年)兵庫県南部地震災害調査報告,土木研究所報告,第196号,pp.79-88,1996.3)
- 11) 幸左賢二:RC構造物の耐震研究の動向,橋梁の性能評価型耐震設計と新しい耐震技術,土木学会平成13年度研究討論会資料pp.9-11,2001.10.
- 12) 那須誠:橋梁の地震被害と地盤構造,鉄道総研報告,5-11,p.27-36,1991.11.
- 13) 西村昭彦,那須誠,渡辺忠朋:釧路沖地震および北海道南西沖地震の被害報告,鉄道総研報告,Vol.8, No.5, pp.7-12,1994.5.
- 14) 北海道旅客鉄道株式会社編:1993年釧路沖地震被害調査資料.1993.
- 15) Makoto Nasu: "The Effect of Shapes and Soil Compositions of Ground on Earthquake Damage to Various Objects", Quarterly Report of Railway Technical Research Institute(QR of RTRI), Vol.37, No.3, pp.178-186,1996.11.
- 16) 耐震工学委員会編:ロマ7°リク地震震害調査報告,土木学会論文集, No.422/ I-14.1990.10.
- 17) 1989年ロマ7°リク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.163.1990.3
- 18) 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.
- 19) 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(その2),第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集,土木学会,C-7, pp.185-192,1997.1.
- 20) 那須誠,羽矢洋:建物の地震被害と地盤構造,鉄道総研報告,Vol.4, No.4, pp.35-44,1990.4. 那須誠,羽矢洋:鉄道総研報告,4-4,p.35(1990).
- 21) 菊地春海:建設省における道路橋の震災後の取り組み,橋梁と基礎,Vol.30, No.8, pp.29-31,1996.8.
- 22) 那須誠:各種構造物の問題発生と不連続点,土木学会第27回関東支部技術研究発表会講演概要集, I-1, pp.1-2,2000.3.
- 23) 那須誠:震災の帯(震度7の領域)発生原因の研究一簡易モデルによる地震応答解析一,第20回日本自然災害学会学術講演会要旨集, No.2-9, pp.85-86,2001.11.