地盤の不連続点における橋梁の地震被害形式と杭変形について

元前橋工科大学　ﾌｪﾛｰ会員　那須　誠

1.はじめに

橋梁の地震被害は地盤の不連続点で多いことから考えた,地盤変位と橋梁の被害形式の関係の分類結果を既に報告している[1]. 今回は被害事例のほかに杭の変形についてもまとめたので,その結果を報告する.

2.地盤構造毎の地震被害形式と代表的な橋梁被害例

地盤変位(面内鉛直方向変位と面外水平方向変位,面内水平方向変位)からみた橋梁の地震被害形式の分類[1]をもとに,地盤構造・地盤変位と橋梁の地震時変形型式の関係(杭表示は省略)を模式化して**図-1** に示す. 同図には地震被害の多い軟質地盤構造も示す. 実際には各形式は複合することが多いが,次に代表事例について述べる.

(1)橋梁の不同沈下型変形(せん断変形,**図-1(a)**)

この橋梁には1964年新潟地震で変形した笹口跨線橋(東跨線橋､杭基礎)が属する.**図-2**に示すように線路を跨ぐ合成桁の両端側の橋脚(完全支持杭)間の拡大と可動端M側の落下や可動端側取付桁の橋脚(摩擦杭)の沈下等が生じて落橋した[2].同橋梁は固定端F側(左側)の砂丘(自然堤防)と可動端M側(右側)の旧信濃川河道の境界部に存在し,基盤表面(埋没砂丘表面)上の軟らかい砂質土層(N値=10～20)は砂丘側から旧河道側に厚くなっている.地震で旧河道側が比較的大きく沈下し､地盤強度の差が沈下状態に現れている.

(2)橋梁の捩じれ型変形(せん断変形, **図-1(b)**)

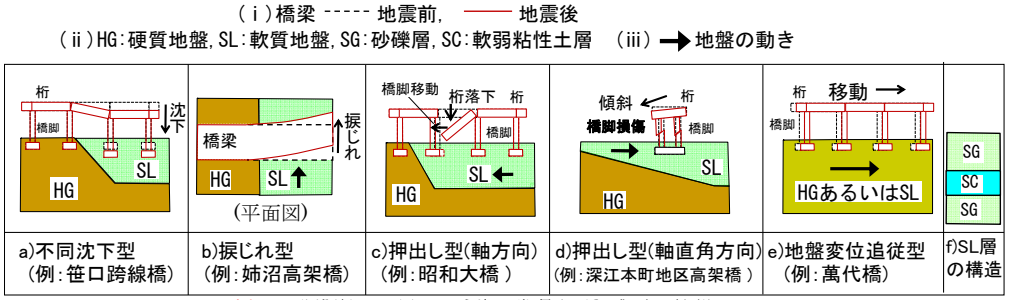
この橋梁には1968年十勝沖地震で変形した姉沼高架橋(杭基礎)[3]が属する.**図-3**に示すように水平･鉛直両方向の残留変位と水平方向のW形変位が生じた(最大残留変位量はNo.15ﾌﾞﾛｯｸで75cm). 地盤内に12～25mの厚い軟弱ﾋﾟｰﾄ層(北側から南側に厚い)があり,基盤表面がW形に窪んで軟弱層の厚いところで水平変位が特に大きい.基盤の窪みの最深部とその斜面法肩付近の深度差(軟弱層厚差)が約7～12mと大きいため,地震時に両位置の軟弱地盤間に不同変位が大きく生じて高架橋ﾌﾞﾛｯｸ間に変位差が生じたことが考えられる.残留水平変位が大きい所の杭頭部に曲げひび割れが生じた[4]. **図-3, 4**をみると杭(No.16,21ﾌﾞﾛｯｸ)は橋軸直角方向に,軟弱地盤底面でなくそれより上方の位置から西側に凹型に湾曲している. 残留水平変位のﾋﾟｰｸ値がW形窪みの最深部でなく,勾配の急な方の谷斜面部上端位置で生じたのは地震被害が一般に硬軟地盤境界部の軟地盤側で生じるのと似ている[3].

(3) 橋梁の押出し型変形(軸方向被害,せん断変形, **図-1(c)**)

この橋梁には 1964 年新潟地震で変形した昭和大橋(杭基礎)が属する. **図-5**[2]に示すように,橋軸方向に軟らかい砂質土層(河成層)の薄い所(右岸側の牡丹山砂丘上)と厚い所(左岸側～右岸側)の境界部に存在する.落橋は同図の A～C 点の腐植土層,軟弱粘性土層の存在範囲で起きた.特に P4 橋脚の杭の湾曲方向が軟らかい砂質土層底面傾斜方向(右方向)と一致しており,地震で河成層が腐植土層,軟弱粘性土層の存在範囲で右岸方向へ大きく変位して落橋が生じたことが考えられる[2].

(4)橋梁の押出し型変形(軸直角方向被害,せん断変形,**図-1(d)**)

この橋梁には1995年兵庫県南部地震で変形した深江本町地区高架橋(杭基礎)が属する(**図-6**は両端部橋脚の倒壊ｲﾒｰｼﾞ図)[5]. 橋脚が柱中間部で破壊し,その上部



(1)(b)のみ平面図、他は縦断図、(2)(e)では無変形、(3)軟質地盤SLは砂礫層+軟弱粘性土層((f)参照)

図-1　地震被害への不同地盤変位変位の影響(基礎の杭等は省略)

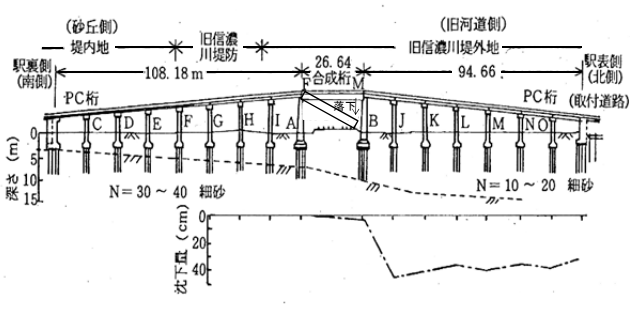


図-2　笹口跨線橋（東跨線橋)の沈下と地盤状態[2]

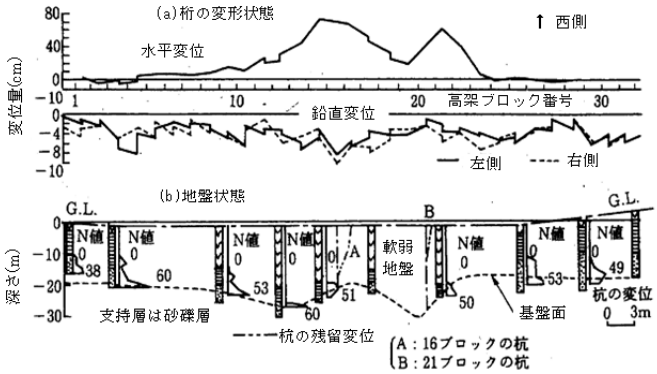


図-3　姉沼高架橋の変形と地盤状態[3]

キーワード：地盤，不連続点，橋梁変形，杭変形，不同地盤変位
連絡先：〒359-0021　埼玉県所沢市東所沢 2-34-8

が北側(山側)に倒壊した. 芦屋川沿いの自然堤防(東側)と旧深江集落(西側)のある自然堤防(西側)の間にある埋没谷部で発生している. 埋没谷の表層地盤(上下逆転型地盤)が地震で谷の下流側へ強く動き,かつしっかりとした群杭基礎によって急激に止められて大きい偏土圧が基礎に作用したため橋脚と桁が北側に倒壊したことが考えられる[6].

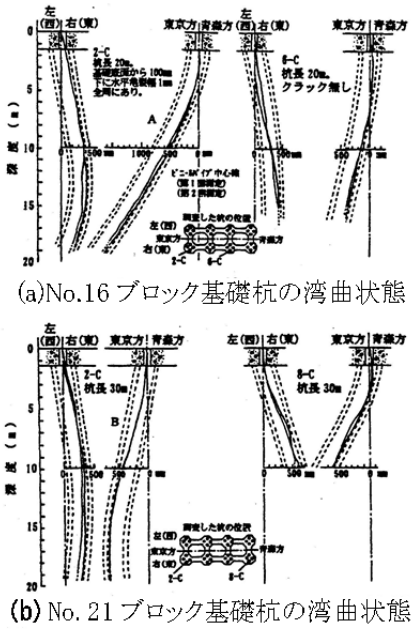


図-4 姉沼高架橋の杭変形状態[4]

なお,例えば図－7のようなﾗｰﾒﾝ高架橋等の地震時の軸直角方向被害は,同図に示す地盤状態で発生しており,図示の地盤の動きで杭の変形や杭頭部の水平,斜め亀裂も発生していることが考えられる[6].

(5)地盤変位追従型の橋梁(無変形,図-1(e))

この橋梁には 1964 年新潟地震で殆ど無被害であった万代橋(ｹｰｿﾝ基礎)が属する. ここの表層軟弱地盤は水平方向に成層状態を示す互層地盤であり,橋梁は地震時の一様な地盤変位に追従して地盤から地震力の作用を受けず被害がなかったものと考えられる[7].

(6)杭の亀裂と地盤の関係(図-1(f)参照)

兵庫県南部地震でｺﾝｸﾘｰﾄ杭の亀裂はﾌｰﾁﾝｸﾞと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, その中間部の亀裂位置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る. 新潟地震による昭和大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, 或る建物のｺﾝｸﾘｰﾄ杭の亀裂も河成砂層と埋没砂丘の間のN値極小値の深さ, 即ち旧川底の強度極小の粘性土層と考えられ位置で生じている. いずれも杭亀裂は土層強度急変点で発生しており, 軟弱粘性土層を滑り面とする土層の食い違い等が発生して亀裂が生じたこと等が推定される[8].

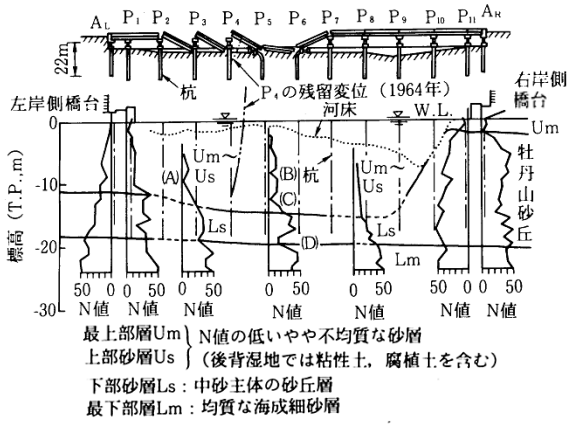


図-5 昭和大橋の地震被害と地盤[2]

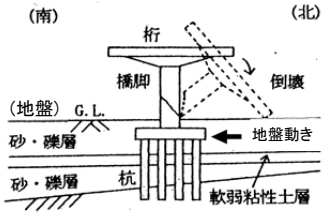


図-6 深江本町地区高架橋の地震被害と地盤の関係(ｲﾒｰｼﾞ図)[5]

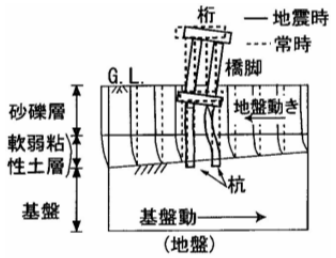


図-7 杭の変形、亀裂と地盤の関係(模式図)[6]

3.おわりに

以上に地盤不連続点に発生する地震時の不同変位(不同沈下や水平変位差)による橋梁変形(橋脚や桁の不同沈下,捩じれ,橋脚間隔変化による落橋等)と代表的な被害事例を示すことができた. いずれも地盤変位抵抗型橋梁で変形が発生し,地盤変位追従型橋梁では橋梁は無被害である. また地震時の杭変形も地盤の影響を大きく受け,その強度や変位に応じて発生し,特に亀裂は上下逆転型地盤の土層境界部や杭頭部,即ち剛性変化点(不連続点)で多いことが分かった.

参考文献

1) 例えば, 那須誠:橋梁の地震被害機構と地盤の関係, 土木学会第66 回年次学術講演会講演概要集 CD-ROM, 第Ⅰ部, 2011. 9.
2) 那須誠: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. 11
5) 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, C-7, pp. 185-192, 1997. 1.
6) 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ﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集, pp. 73-80, 2002. 7.
3) 那須誠:地震被害を受けた橋梁と地盤, 第 54 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.1020-1021, 1999.9.
4) 工藤治一:東北本線三沢小川原 間姉沼高架 橋の変状とその検測について, 第 1 回建造物検査技術講演会記録, 国鉄施設局, pp. 40-58, 1969.
7) 那須誠 : 地震による被害構造物と無被害構造物の地盤の違い, 土木建設技術ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ 2003, pp. 299-306, 2003. 7.
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(その 3,-橋梁等-),土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要, Ⅰ-B99, pp.198-199, 1996.9.