

橋梁の2方向被害への地盤の影響

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. まえがき

現在、各種地震で発生した橋梁や建物等の被害を地盤条件に着目して調べている¹⁾²⁾。地震で橋梁が橋軸方向と橋軸直角方向の2方向に変形することが多い。今回、その発生機構をいくつかの例をもとに地盤に着目して考察した³⁾⁴⁾。

対象とした地震は1993年釧路沖地震と2003年十勝沖地震等で、橋梁はJR利別川橋梁と道道池田大橋等である。橋梁は地盤条件の変化点にあり、さらに川の流下方向への地盤の動きと関係があり、その被害に地盤が大きく関係していること等が推察されたので以下に報告する。

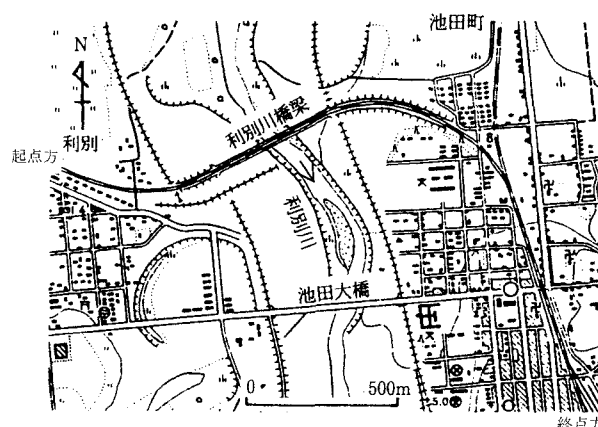


図-1 橋梁位置図(文献6)に追加⁵⁾

2. 橋梁の被害と地盤の状態

(1) 利別川橋梁(その1、1993年釧路沖地震)

JR利別川橋梁(1968年建設)が1993年釧路沖地震(M=7.8)と2003年十勝沖地震(M=8.0)等で被害を受けた。図-1～3に示すように、この橋梁は全長415.68mのPC桁橋梁(4主桁、 $31.3\text{m} \times 13$)で円形RC橋脚とオープン井筒基礎を有する⁵⁾⁶⁾。

1993年釧路沖地震のときに図-4に示すように主桁の固定柵(鋼製線柵)F側の端部に起点側に下がる

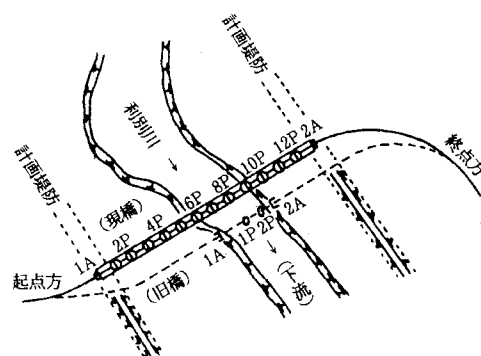


図-2 利別川橋梁平面図⁵⁾

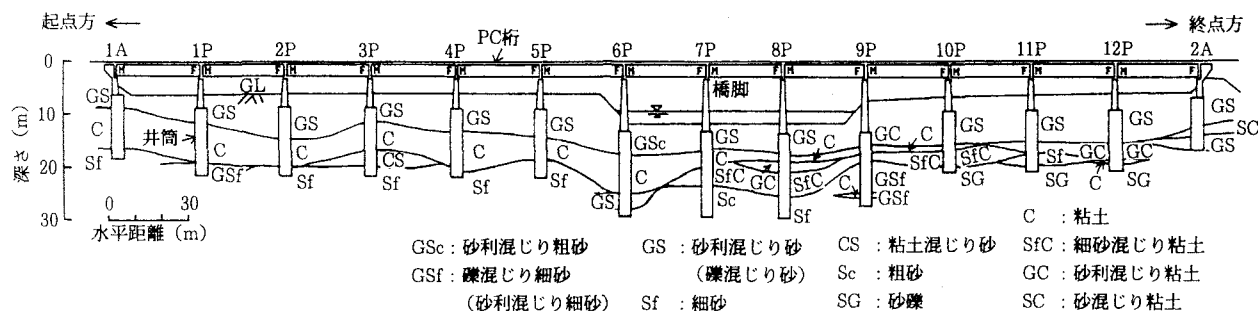


図-3 利別川橋梁と地盤状態(建設時)⁵⁾

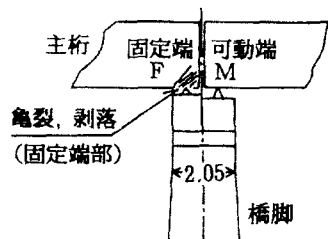


図-4 橋桁の亀裂⁵⁾

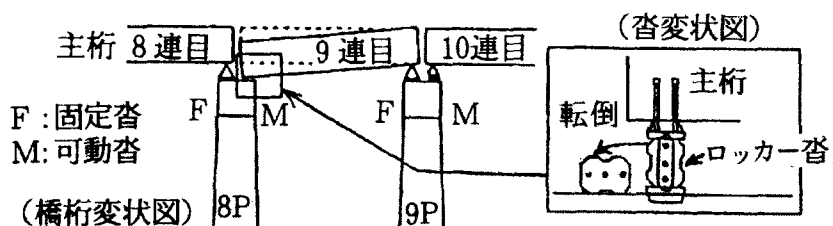


図-5 橋脚 8P 上の橋桁と可動沓の変形状態⁵⁾

斜め亀裂が発生し、図-5、6に示すように橋脚 5P、8P、9P等の可動側 M のロッカー沓に破損等が発生した。特に、橋脚 8P 上の終点方のロッカー沓が破損して橋軸方向の起点方に転倒して、その上の桁が図-4、5 のように桁座まで約 200mm 落下するとともに上流側に約 65mm 移動し、橋脚 8P 上の前後の桁の間隔は開いて 180mm になった。このようにこの橋梁は橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向に変形した。なお、橋脚 5P 等でロッカー沓のロッカー止めボルト破損が生じた⁵⁾。

その他に、橋脚 10P の終点側の面の地面付近に水平亀裂が、起点側の橋台 1A 裏の盛土に沈下が発生した。橋脚 9P 付近の河岸の法肩付近に川に

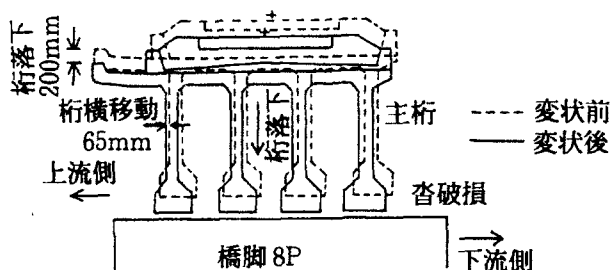


図-6 橋脚 8P 上の 9 連目桁(9G)の変形状態⁵⁾

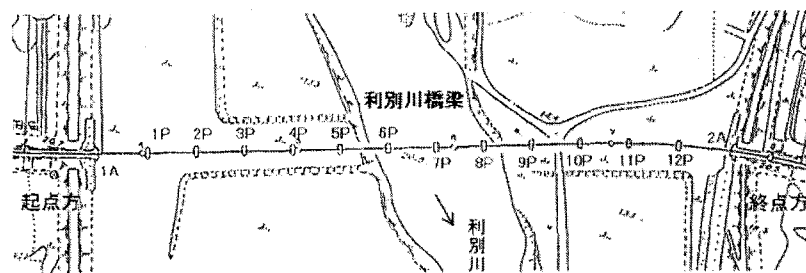


図-7 利別川橋梁の平面図¹⁷⁾

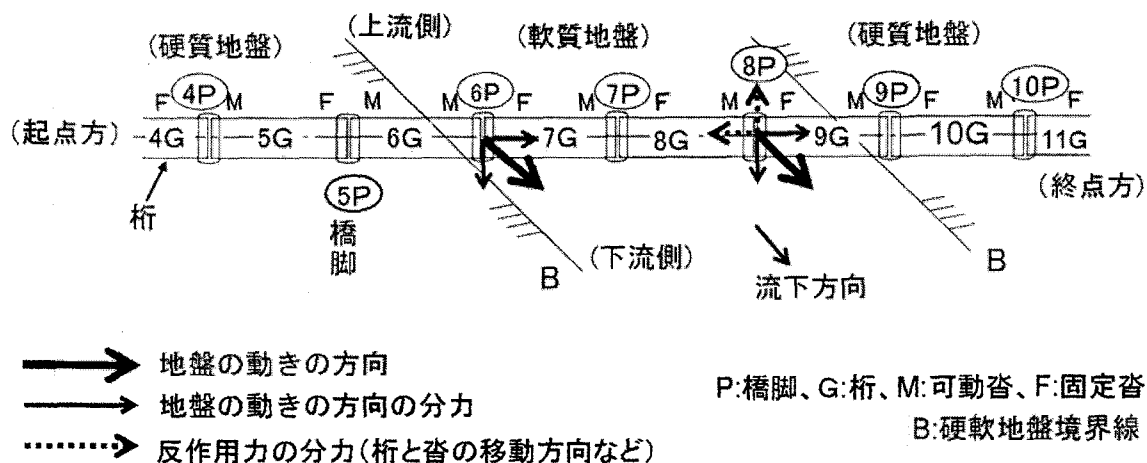


図-8 利別川橋梁の 2 方向被害機構の推定図(文献 3)に追加

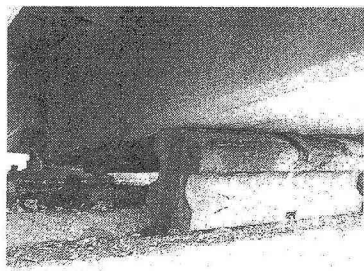


図-9 可動沓の損傷状態⁷⁾

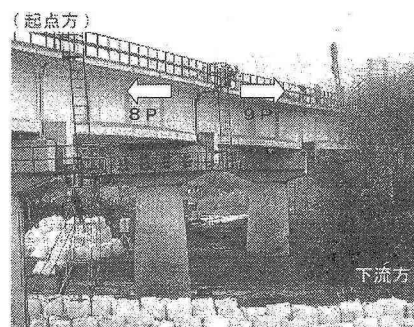


図-10 橋脚の傾斜状態⁷⁾

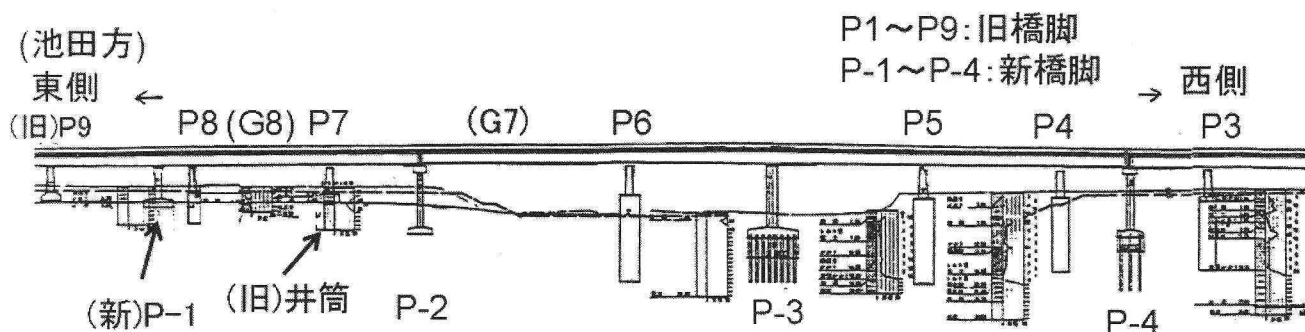
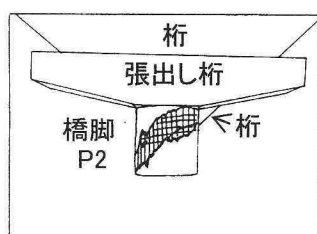
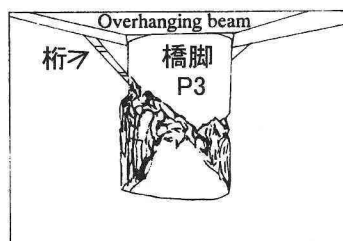


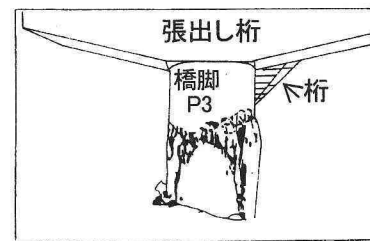
図-11 道道池田大橋の全体図⁸⁾⁹⁾



(a) 橋脚 P2 の変形状態 (南面)¹¹⁾



(b) 橋脚 P3 の変形状態 (北面)¹¹⁾



(c) 橋脚 P3 の変形状態 (南面)¹²⁾

図-12 国道静内橋の変形状態(写真¹²⁾からスケッチ)¹⁰⁾

平行に亀裂が数本生じた⁵⁾。

図-3 には井筒の沈下作業中に確認された地盤の土の記録をもとに作成した地盤断面図も示されている。地盤は図-3 に示すように最上層の礫(砂利)混じり砂層 GS、その下の粘土 C や細砂混じり粘土 SfC、砂混じり粘土 SC、礫混じり粘土 GC 等の軟弱粘性土層、さらにその下の細砂 Sf、礫混じり細砂 GSf、砂礫層 SG 等の支持層から成り立っている⁵⁾。

このように、ここの地盤は砂・礫土層の下に軟弱粘性土層等がある互層地盤(上下逆転型地盤)である。

その軟弱粘性土層は沓が転倒した橋脚 8P と橋脚 9P の間を境にして起点側で厚く終点側で薄く堆積しており、沓のボルトが破損した橋脚 5P と橋脚 6P の間を境にして起点側で薄く、終点側で厚く堆積しており、この橋梁は異種支持地盤状態にあり、地震被害が多い地盤状態の上にある。しかも、軟弱粘性土層厚さの差が大きい方(橋脚 8P-9P 間)で沓が転倒し、小さい方(橋脚 5P-6P 間)でボルトが破損している。即ち、沓の破損程度が軟弱粘性土層に生じた不同変位の大きさに対応している。この地震後に橋脚

8Pの転倒沓はゴム沓に変更された⁵⁾。

この沓の被害は、橋梁が上述したように地盤条件の変化点にあり、さらに橋軸方向と地盤境界線が斜めに交差していて(図-1、図-2、図-7 参照)、地震のときに軟弱粘性土層の厚い方の地盤(図-8の軟質地盤)が、その薄い方の地盤(図-8の硬質地盤)よりも相対的に大きく地盤境界線に平行に(図-8の太い矢印の方向に)動いて不同変位が生じて発生したことが推定される。固定沓F側の桁端部の起点側に下がる斜め亀裂もこのような地盤の動きで生じたことが考えられる³⁾。

なお、1952年十勝沖地震で利別川橋梁の現橋の下流側に存在した旧橋のトラス橋(図-1、2 参照)で、橋桁の両方向の移動が現橋の橋脚8P付近から真っ直ぐ下流方向の旧橋脚1Pと旧橋脚2P上で大きく生じている⁵⁾。

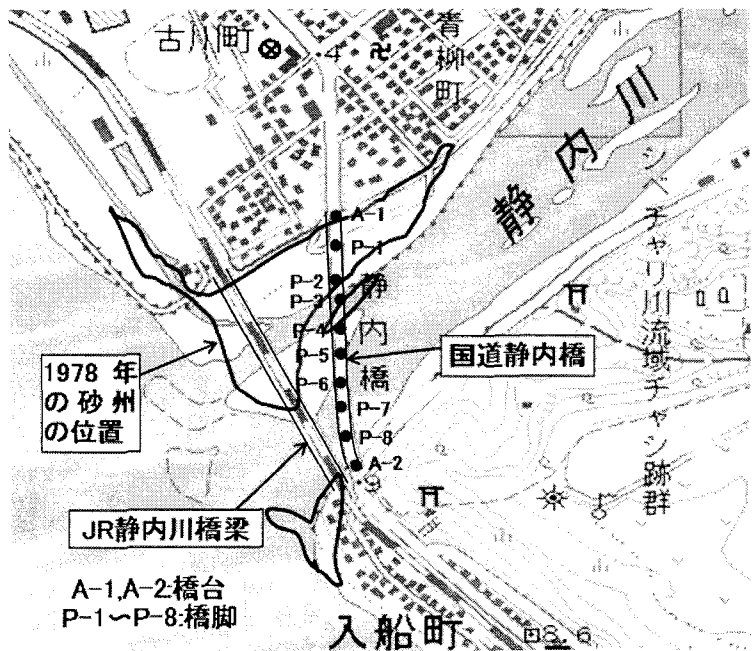


図-13 国道静内橋の位置地形図(文献15)に文献16を追加

(2) 利別川橋梁

(その2、2003

年十勝沖地震)

利別川橋梁の2003年十勝沖地震による被害は、沓の損傷、橋脚の傾斜、桁スラブ・横桁の損傷、橋脚柱頭部・躯体基部の損傷等である⁷⁾。可動沓では桁の移動量が過大となったため橋脚5P上のロッカー沓が転倒・脱落し、一部の桁が桁座に落下した(図-9 参照)⁷⁾。一方、固定沓では上沓のアンカーが変形するとともにPC桁端部のコンクリートの一部が破損した。橋脚8Pと橋脚9Pでは橋軸直角方向にそれぞれ上流方へ1/66、下流方へ1/38の大きな残留傾斜変形が生じ(図-10 参照)、軌道の湾曲が生じた⁷⁾。なお、橋脚躯体基部およびケーソン頂版部付近には今回の地震によると考えられる損傷は確認されていないし、ケーソン躯体内部にも特に損傷は確認されて

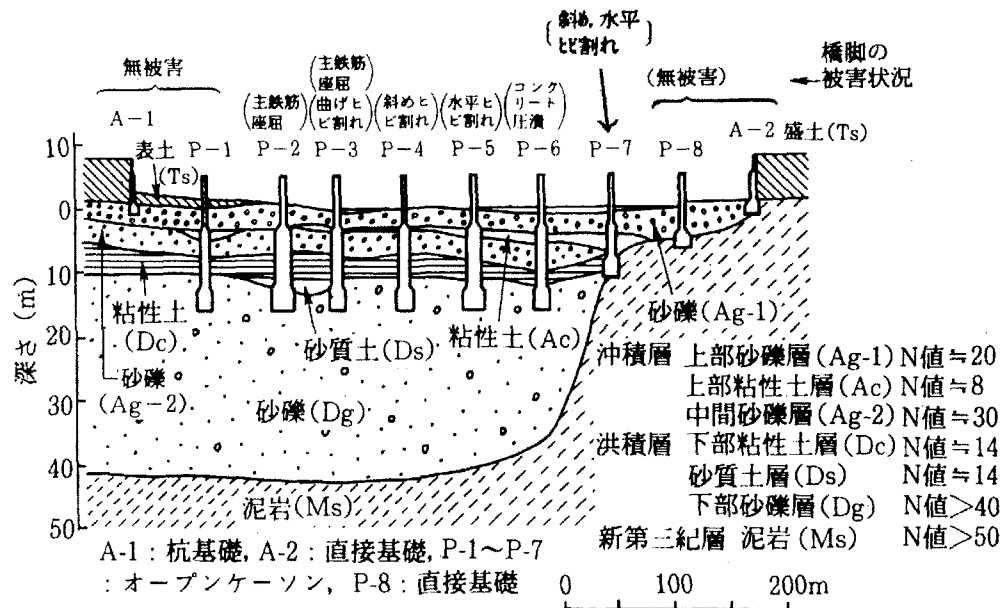


図-14 国道静内橋の被害状態と地盤¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾

いないので、橋脚の残留変形は主として地盤変位で生じたことが考えられており⁷⁾、それは前回の地震のときと同様である。

以上の顕著な変状が発生した橋脚5P、8P、9Pはいずれも図-3から分かるように軟弱粘性土層厚さの変化点に存在している。従って、2003年十勝沖地震でも主として1993年釧路沖地震のときと同様に地盤変位が主として下流方向に発生して各種変状が生じたことが考えられる。即ち、図-8に示すように地震のときに軟弱粘性土層の厚い方の地盤(軟

質地盤)が、その薄い方の地盤(硬質地盤)よりも相対的に大きく地盤境界線に平行に(図-8 中の太い矢印の方向に)動いて不同変位が生じて発生したことがと推定される³⁾。

しかし、橋脚 5P ではロッカー査が転倒したが、橋脚 8P では可動査が取り替えられたゴム査だったので耐震効果が現れた。なお、橋脚 8P は前は地盤から下流側への大きい力を受けてその上の桁が上流側へ移動したことが考えられるが、今回はそれと違って橋脚 8P が上流側に傾斜したのは橋脚基礎の下部が下流側に押されたためと考えられるし、橋脚 9P が下流側に傾斜したのは下流側へ動いた地盤に基礎の上部押されたためと考えられる³⁾。

(3) 道道池田大橋(1993 年釧路沖地震)

1993 年釧路沖地震のときに、利別川橋梁から約 600m 下流にある、図-1 に示す道道池田大橋でも、トラス橋の左岸側の橋脚 P7 上で橋桁が橋軸直角方向に移動するとともに、橋軸方向の西側にも移動した。図-11⁸⁾に示すように、この橋梁も砂礫層の下に軟弱粘性土層がある上下逆転型地盤で軟弱粘性土層の厚い部分と薄い部分に跨って作られた橋梁であり、かつ川岸と橋軸方向が斜めに交差しており、大きい変形の発生状態と位置が利別川橋梁のそれらと似ており、図-12 に示すように同様の地震時の地盤の動きで被害が生じたことが推定される³⁾⁵⁾⁹⁾。

なお、道道池田大橋は 1993 年の釧路沖地震後に架け替えられ、新しい橋梁は 2003 年十勝沖地震で被害の発生が報告されていない。

次に、河川を斜角で横断している橋梁で地震で地盤が川の流下方向あるいはそれと直角方向に動いたために被害を受けたと推定される橋梁の事例を示す。

(4) 国道静内橋(1982 年浦河沖地震)

1982 年浦河沖地震(M=7.1)のときに、国道静内橋の橋脚に図-12⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾に示すように橋軸と斜めの方向(静内川の流下方向)に地震力が大きく作用して、橋軸方向にたすき掛けのせん断亀裂が発生している¹³⁾。この橋は図-13⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾に示すように、静内川を強い斜角で横断し¹⁶⁾、被害をうけた橋脚は砂州や中州等の縁や両者の中間部に位置している。また、図-14⁽¹²⁾に示すように表層地盤中に軟らかい比較的薄い

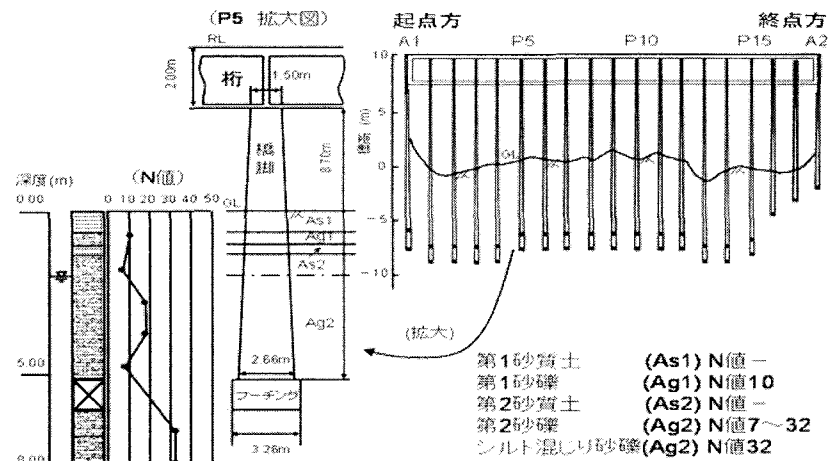


図-15 静内川橋梁の全体図と土層断面図¹⁷⁾

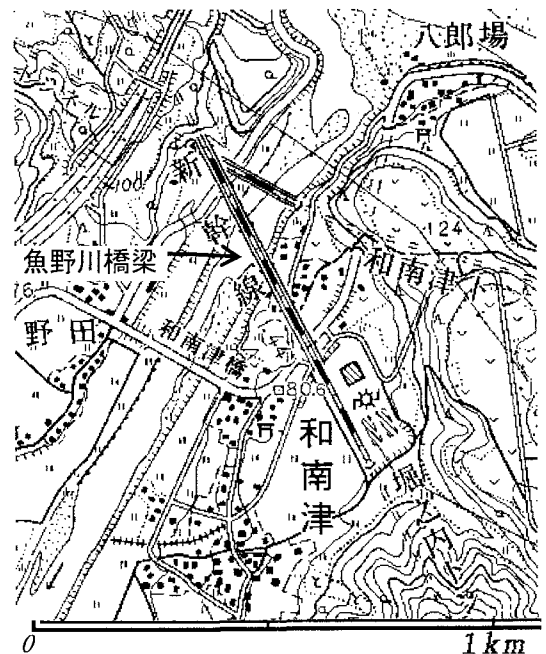


図-16 魚野川橋梁の地形図¹⁸⁾

沖積粘性土層(Ac)がほぼ水平に堆積し、その粘性土層の左端の方で顕著な被害が発生している¹⁰⁾⁽¹³⁾。

ここでは、地震で軟弱な粘性土層上の砂州が比較的大きく動いたとき、しっかりと支持層に支持されていて拘束されている基礎が、砂州の動きを止めるような挙動をしたため、砂州から急激な土圧(偏土圧)を受けたため、橋脚の被害が発生したことが推察される。

このことは、図-13 と図-15¹⁷⁾に示すように、この橋より河口近くにある J R 静内川橋梁は砂州の上に、杭の無い直接基礎で作られているが無被害であったことから推定できる¹⁰⁾⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾。

(4) 魚野川橋梁(2004 年新潟県中越地震)

2004 年新潟県中越地震で、新幹線魚野川橋梁に被害が発生した。この橋梁は図-16¹⁹⁾に示すように魚野川を約 60 度の斜角で横断している。この橋梁の全体図と地盤状態を図-17²⁰⁾と図-18²¹⁾に示す。図-19²²⁾に示すように橋脚 2P と 3P の段落し部にコンクリートの剥落や鉄筋のはらみ出し等が発生した。両者とも曲げクラックのようにもみえる。しかし、よくみると橋脚 2P にはたすき掛けのクラックが発生していて、その交差点が橋軸線上よりも西側にずれている。これは地震で橋脚 2P の周囲の砂礫地盤が川の流下方向に急激に動いたときに、橋梁がトップヘビーでしっかりしている基礎を持っていたためその基礎に強い偏土圧が作用して発生したことか推定される。橋脚 3P では鉢巻状のコンクリートの剥落が生じているが、地震のときに川に直角方向の河心方向に基礎周辺の地盤が動いて偏土圧が作用してその剥落が生じたこと等も考えられる。

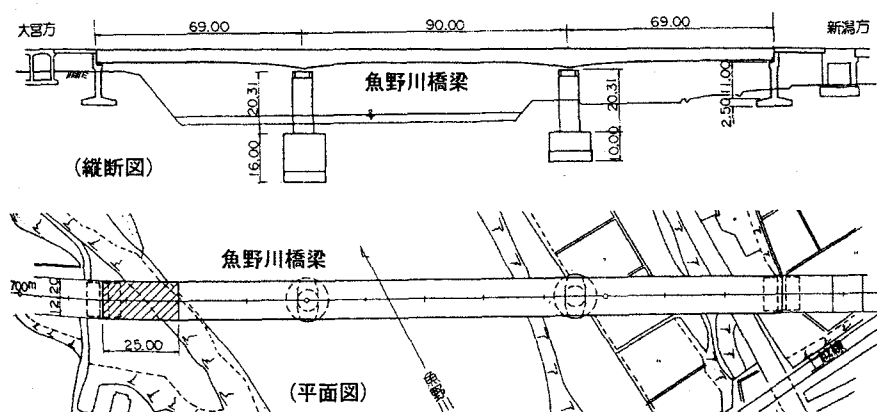


図-17 魚野川橋梁全体図²⁰⁾

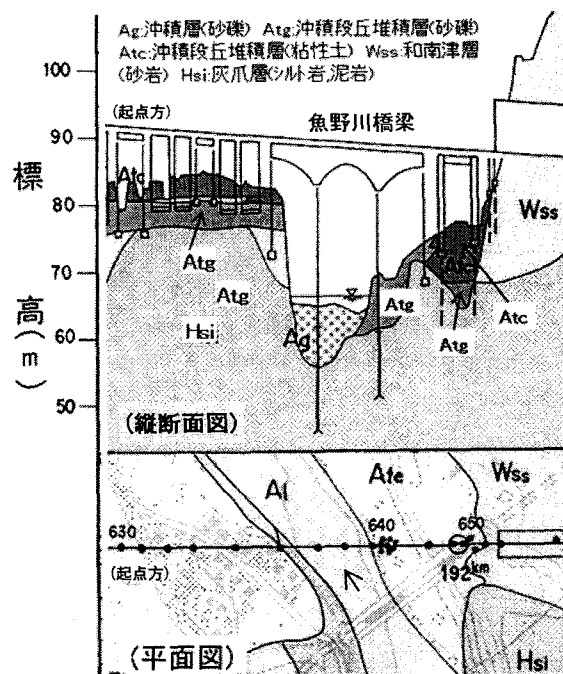


図-18 魚野川橋梁の地盤状態²¹⁾

(5) 橋梁の地震被害と地盤構造の関係

河川を横断する橋梁の軸方向の地震時の変形と地盤の関係の模式図をこれまでの橋梁と地盤の関係から例えば図-20 のようににまとめられている¹⁸⁾。河川はこの図のような左右非対称の埋没谷形状のところにあることが多く、この図では右岸橋台 A_R の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。河川を渡る橋梁はこのように硬質地盤とそうでない地盤に跨っていて異種支持地盤状態にあることが多く、その橋梁では軸方向(図の左右方向)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し、それらの地盤変位は右側で小さく左側で大きく生じ不同変位となるし、盛土あるいは地盤の変位も薄い軟質層上(そこでの変位 D_R)よりも厚い軟質層上(そこでの変位 D_L)で大きく生じる。盛土の変位 D_L がその下の軟質層底面の緩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力を受けるとともに、その裏側盛土が大きく沈下し、その A_L 橋台に図に示すような斜め亀裂が生じることがある。さらに、軟質層がその底面の緩傾斜方向の右側に(図

中の太矢印 GM 方向に)変位して P_L 橋脚に右側への大きい偏土圧を作用させて亀裂、湾曲等の各種被害を発生させることも考えられる¹⁸⁾。

橋梁の橋軸方向の大きい被害は上述したように図-20 の左岸側で発生しやすいが、橋軸直角方向の大きい被害は、上記の魚野川橋梁等のように図-19 の右岸側(橋台 A_R 寄り)の河道部などで発生しやすいのは、その地盤が川の流下方向に動きやすいためと考えられる。

3. あとがき

利別川橋梁は 1993 年釧路沖地震と 2003 年十勝沖地震で同様の被害が、軟弱粘性土層厚さの変化点である地盤条件の不連続点で発生している。また、1952 年十勝沖地震でも前 2 者の地震のときと同様の位置で被害が発生している。さらに道道池田大橋の旧橋も類似の位置で被害を受けている。これらの橋梁の地震時の橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向変形は、橋軸方向と硬軟地盤境界線が斜めに交わったところで、その境界線に平行に発生した河川内の軟質側の地盤が相対的に大きくずれたために発生したこと、及びそれに対して軟弱粘性土層の影響が大きかったこと等が推定される。

また、地震のときに橋梁周囲の地盤が川の流下方向等に動くことがあることは他の橋梁の地震被害からも推定される。

なお、以上の箇所では対策工事が行われており、今後同様の変状は生じないものと考えている。

終わりに、以上の調査で引用させて頂いた文献の著者並びにお世話になった JR 北海道の関係者に厚く御礼を申し上げます。

謝辞：以上の調査でお世話になった北海道旅客鉄道株式会社の関係者他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、土木学会、pp. 123-130、2000. 7.
- 2) 那須誠：橋梁等構造物の地震被害への隣接構造物の影響の考察、第 6 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp. 273-280、土木学会、2003. 1.
- 3) 那須誠：地震による橋梁の軸方向と軸直角方向変形への地盤の影響の考察、平成 15 年度全国大会第 58 回年次学術講演会講演概要集、I-053、pp. 105-106、2003. 9.
- 4) 那須誠：地震によって再被害を受けた橋梁の地盤、第 23 回日本自然災害学会学術講演会要旨集、No. I-1-2、pp. 3-4、2004. 9.
- 5) 那須誠：地震応答解析と常時微動測定を用いた利別川橋梁の釧路沖地震による被害機構の考察、鉄道総研報告、

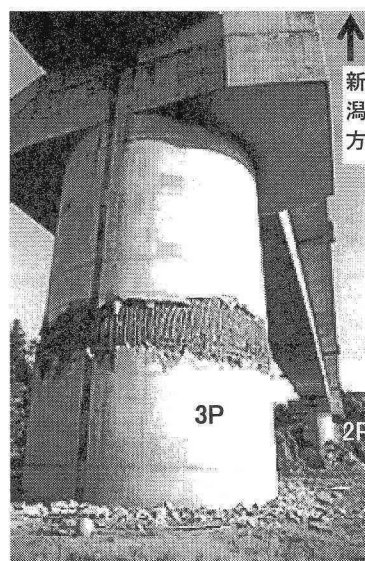


図-19 魚野川橋梁の被害状態²²⁾

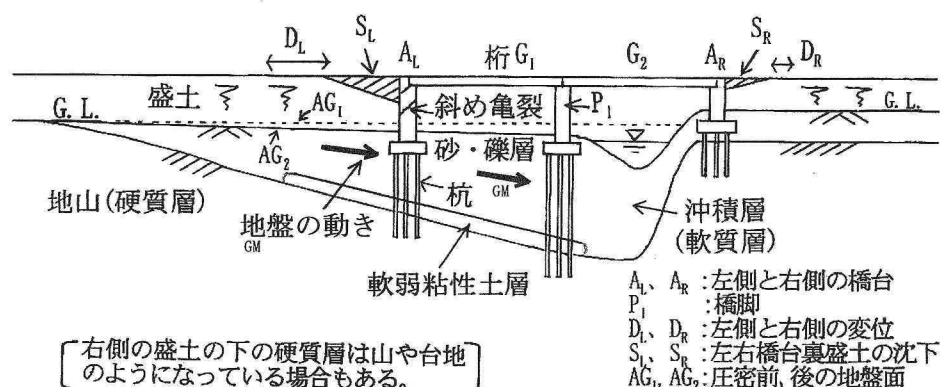


図-20 橋梁の軸方向の変形と地盤の関係¹⁸⁾

- Vol. 10, No. 8, pp. 41-46、1996. 8.
- 6) 地形図、1:2.5 万、十勝池田、1972 年修正測量。
- 7) 吉田徹：平成 15 年十勝沖地震による鉄道の被害と復旧、日本鉄道施設協会誌、Vol. 42、No. 6、pp. 21-23、2004. 6.
- 8) 北海道帯広土木現業所編：公示用、池田大橋架換工事一般図、1993-1994.
- 9) 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、I-B512、pp. 1020-1021、1999. 9.
- 10) 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.
- 11) 安江朝光、佐々木康、浅沼秀弥、中島威夫：浦河沖地震における土木関係被害調査速報、土木技術資料、24-7、pp. 27-34、1982. 7.
- 12) 浅沼秀弥：静内橋地震災害調査、土木技術資料、Vol. 25、No. 11、pp. 15-20、1983. 11.
- 13) 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.
- 14) 地形図、1:2.5 万地形図、東静内、2004.
- 15) 地形図、1:5 万、春立(明治 29 年、大正 9 年、昭和 21 年)、1:2.5 万、東静内(昭和 53 年).
- 16) 1982 年浦河沖地震 1983 年日本海中部地震災害調査報告、日本建築学会、1984. 12.
- 17) 北海道旅客鉄道株式会社作成資料、1995.
- 18) 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、土木建設技術シンポジウム 2003 講演論文集、pp. 299-306、2003. 7.
- 19) 地形図、1:2.5 万、小出、2002.
- 20) 日本鉄道建設公団編：上越新幹線工事誌(水上・新潟間)、1983. 3.
- 21) 日本鉄道建設公団編：上越新幹線地質図(水上・新潟間)、1981. 6.
- 22) 新幹線脱線、安全性に死角、P・S 波同時で検出できず、<http://www.asahi.com>、2004. 10. 25.