

橋梁の2011 年東北地方太平洋沖地震等による被害と地盤の 関係(その2)

那須 誠¹

¹フェロー会員 博士(工学) 元前橋工科大学教授 工学部建設工学科 (〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢)

1. はじめに

これまでに地震被害の事例調査から橋梁等の構造物の地震被害は地盤の不連続点で異種支持地盤状態での被害が多いことを明らかにして、既に発表してきた¹⁾。2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害と地盤の関係について前々回の本シンポジウムで一部を発表している²⁾。今回は2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁の津波被害個所や、東北新幹線長町高架橋等の被害、1978年宮城県沖地震による貨物線高架橋の被害、2004年三陸南地震による東北新幹線高架橋等の被害箇所の地盤も調べたので、その結果を報告する。

2. 被害橋梁と地盤の関係事例

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震による津波被橋梁

以下に津波で被災した橋梁3つと被災しなかった橋梁1つの地盤について、文献22)に追加して述べる。

a) 新北上大橋(国道398号線、橋長566m、2径間連続2連と3径間連続1連の合計7径間の鋼連続下路トラス橋)

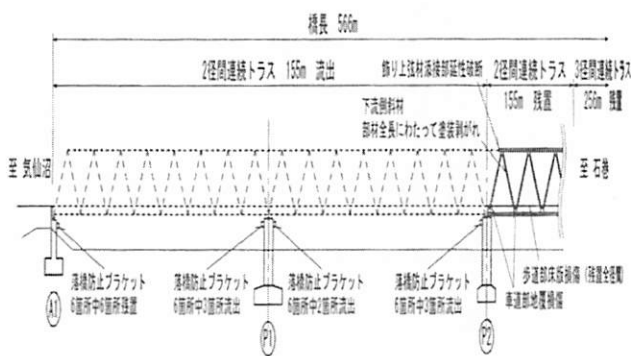


図-2 新北上大橋の被災状況³⁾

では津波で左岸側高水敷上の2径間連続トラスが1連流出し約600m上流に移動した(図-2)³⁾。なお、新北上大橋右岸側の釜谷橋と富士川橋は流出していない³⁾。ここで、図-3の新北上大橋の地形分類図(原図⁴⁾に表層地質¹⁾を加筆)をみると、左岸側の高水敷きは「瀬」に当たり、地震被害の多くみられる地盤⁵⁾に当たる。

b) 新相川橋(国道398号線、鋼単純箱桁1連)では津波で全上部構造が流出した^{6),7)}。前後の重力式橋台は図-4⁶⁾~5⁴⁾をみると山地の頁岩と海岸平野部の比較的軟質な地盤に支持された直接基礎と杭基礎(異種基礎)をもっており、橋梁は異種支持地盤状態にあり地震で変状しやすく^{2),5)}、津波の前に地震で変状していたことが推定される。

c) 小泉大橋(国道45号線、3径間連続鋼板桁2連、下部構造は逆T式橋台・小判型T型橋脚、鋼管杭基礎)において、全径間の上部構造が約400m上流に、P3橋脚が基部付近の打継面で破壊しフーチングから分離して約50m上流に流出し、両端取付部道路も流出した⁷⁾。図-6⁷⁾~7⁸⁾をみると、地質は礫・砂・粘土で、杭長は石巻側から気仙沼側にかけて長くなり支持層が傾斜するとともに、破壊したP3橋脚では低水敷上の中央部で杭本数が両側橋脚と比べて少ない。P3橋脚の

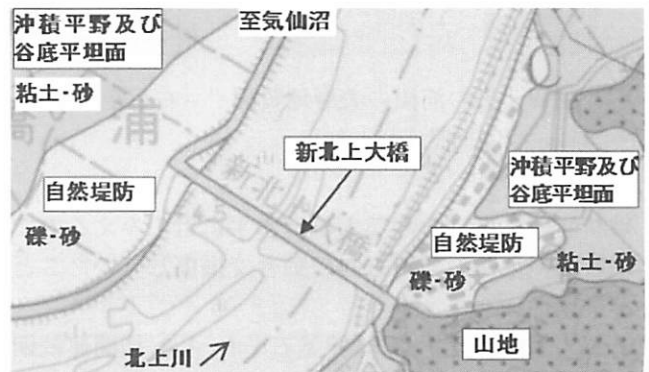


図-3 新北上大橋の地形分類図(原図⁴⁾に表層地質を加筆)

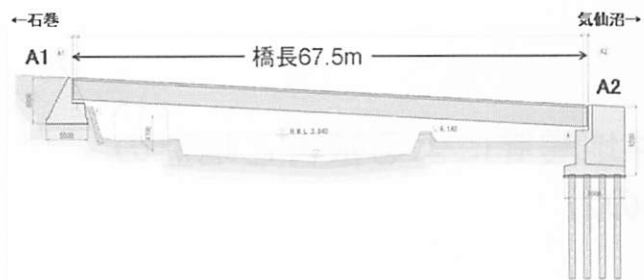


図-4 新相川橋の構造全体図⁶⁾

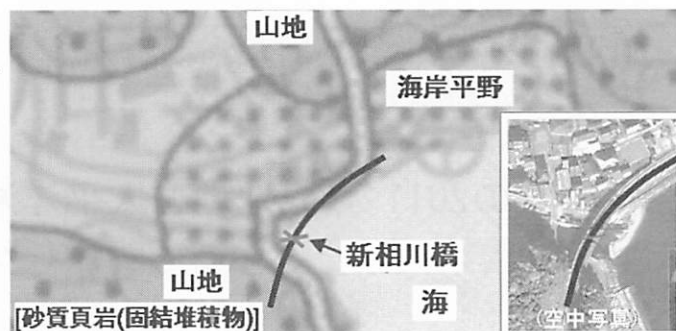


図-5 新相川橋付近の地形分類図⁴⁾ (右下写真は文献 10)より)

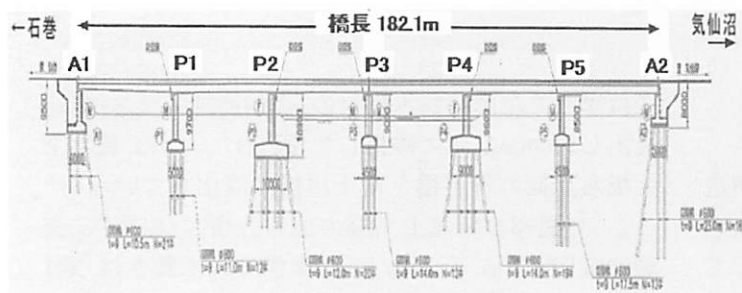


図-6 小泉大橋の構造全体図⁷⁾



図-7 小泉大橋付近の表層地質図⁸⁾

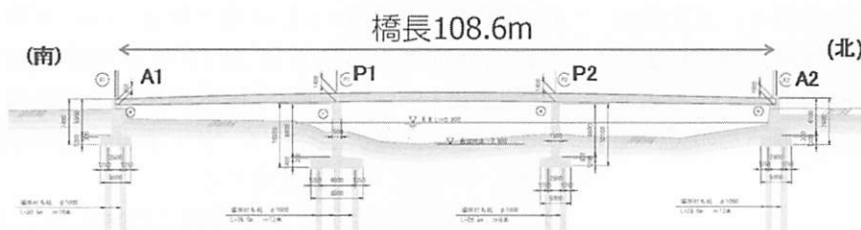


図-8 矢の浦橋の構造全体図⁶⁾



図-9 矢の浦橋の表層地質図⁹⁾ (右下空中写真は文献 10)より)

破断面の写真⁷⁾をみるとほぼ水平に近くみえるので、地震時の地盤の傾斜方向の動きで損傷していたことが推察される。

d) 矢の浦橋(国道 45 号線釜石バイパス, 3 径間連続鋼床版 I 桁橋, RC 小判型橋脚, 場所打杭)⁶⁾では照明柱

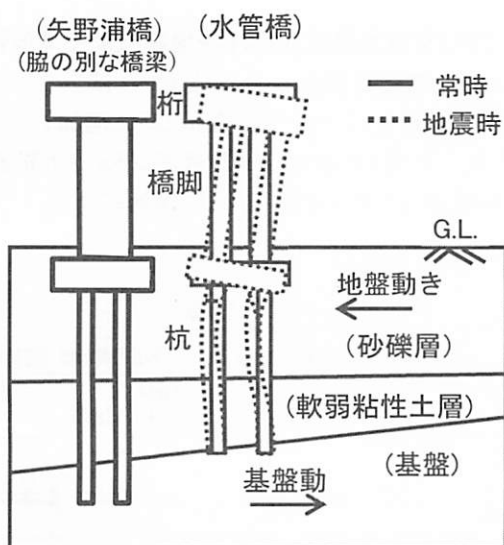


図-10 上流側の被害を受けた水管橋と矢野浦橋の位置関係被害想定図(概略図)

等が被災したが、橋梁構造は健全であった^{6),7)}。
 図-9⁹⁾をみると支持層の地盤は沖積世砂礫層で
 一様地盤と推定される。なお、上流側の水管橋(全3
 支間)の右岸側(南側)の高水敷上(瀬側)にあった
 2径間の上部構造が流出している。なお、矢の浦
 橋の被害程度は水管橋よりきわめて軽いが、そ
 れは文献11)を参考にすると、図-10に示すよう
 に川底の地盤が地震で下流側に動いたときに、
 下流側の矢の浦橋のしっかりした橋脚・基礎が地
 盤の動きを止める機能を発揮したため、水管橋
 の基礎に強い偏土圧が作用したためと推察され
 る。



図-11 被害状況¹²⁾

(2)2011年東北地方太平洋沖地震による東北新幹 線長町高架橋被害

2011年東北地方太平洋沖地震によって
 東北新幹線南長町高架橋、中長町高架橋、
 北長町高架橋が被害(せん断破壊等)を受
 けた(図-11¹²⁾)。高架橋構造はビームスラ
 ブ式 RC ラーメン高架橋で基礎は杭基礎で
 ある。これらの高架橋は在来線の東北本
 線と隣接している。新幹線高架橋は旧耐
 震設計規準で設計され、東北本線高架橋
 は新しい耐震設計規準に従って設計され
 ている。後者の高架橋柱には軽微な曲げ
 ひび割れが発生しているが、大きな損傷
 は発生していない¹²⁾。

図-12は地質図¹³⁾と地盤図¹⁴⁾を集成し図
 に被害位置を書き加えたものである。
 但し、南長町高架橋のブロックR12は無被
 害である。柱の被害は中柱にも発生した
 が端部柱に多発した。太実線の矢印は損
 傷程度が特に大きかった位置である。

この図より新幹線高架橋はAg層(沖積礫
 層)あるいはAs層(沖積砂層)とAc層(沖積
 粘性土層)の境界部を通っていて、地盤条
 件の変化点に存在していることと、ブロ
 ックR12と東北本線高架橋は一樣なAc層(沖積粘性土
 層)に存在していることが分かる。従って、今回の
 被害に対しても地盤の不連続点の影響が推察される。

(3)2011年東北地方太平洋沖地震による東北新幹線 第1中曽根高架橋被害

2011年東北地方太平洋沖地震によって東北新幹線
 第1中曽根高架橋が被害を受けた¹⁵⁾。ここの表層地



図-12 長町高架橋の被害と地盤地質の関係(文献13)と14)
 を集成、加筆)

質は沖積世砂礫層からなる氾濫原地帯である¹⁶⁾。第
 1中曽根高架橋は両端にゲルバー桁を有する1層4径
 間RCラーメン高架橋3基、1層3径間RCラーメン高架
 橋6基(計6基)からなり、基礎形式は直接基礎で砂礫
 層に支持されている。9つのブロックの内、R4, 5,
 8, 9以外のブロックの端部柱と、R7の中間柱に被害
 が発生した(図-13参照)。ブロックR7の柱の損傷程
 度が最も大きかった¹⁵⁾。



図-13 第1中曽根高架橋
の被害状況¹⁵⁾

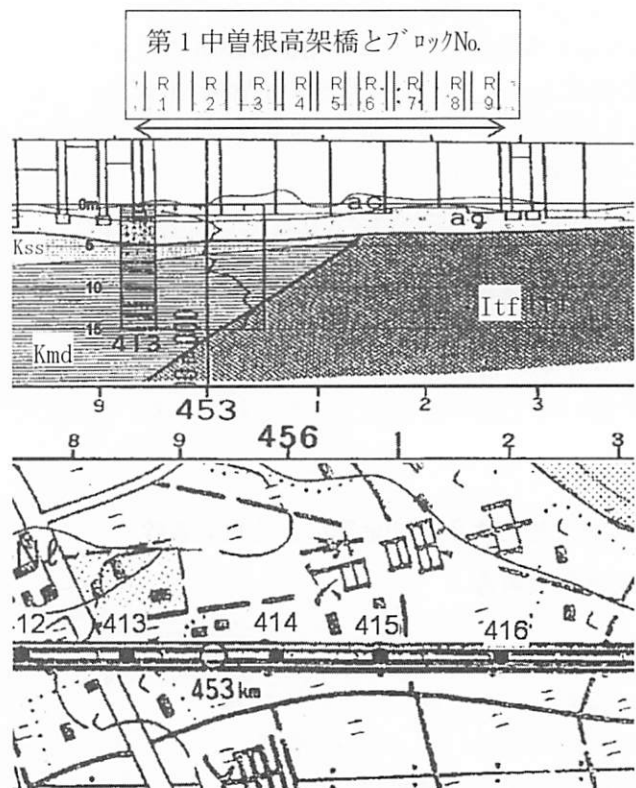


図-14 第1中曽根高架橋の地盤断面図と表層地質図(No.412～416はBor. No., 文献17)に加筆)

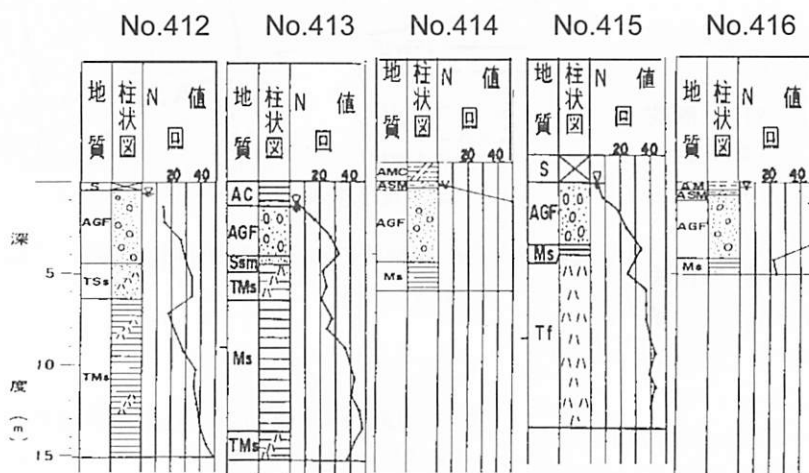


図-15 第1中曽根高架橋の地盤の土質柱状図(No.は図-14
のBor. No.参照)¹⁷⁾

ここで、図-14～15をみると、この高架橋は基盤の地質境界部(泥岩Msと凝灰岩Tfの境界部)につくられている。また、Bor. No. 412, 413, 415, 416の柱状図の深さ3～5m附近にN値が幾分小さい地層がみ

られるようである。以上の地層境、比較的小さい強度の地層等が被害に影響したことが考えられる。

(4) 1978年宮城県沖地震による東北貨物線高架橋

1978年6月12日の宮城県沖地震(M7.4)で東北貨物線行人塚高架橋(RCラーメン, 良好な砂利層に独立のベタ基礎型式フーチング)は大きな被害を受け, 脚柱上端部にせん断破壊やひびわれ等が集中的に発生した(図-16~17)。その集中原因として, フーチングの回転, コンクリート打継目付近の施工不良, 柱帯鉄筋量の不足等が考えられた。また, この地震で被害の大きいブロックR8, R9, R10と, 比較的小さいそれ以外のブロックが明確に分かれた原因として支持地盤強度差が考えられた¹⁸⁾。被害の大きいブロックには水路が近接していることから, フーチングの回転や被害の出現に, 現河道位置と異なる元々の

河道部の比較的軟質な地盤が影響して相対変位が発生して捩じれが生じたこと等が推察される。

なお, 図-18 は 1995 年兵庫県南部地震によって落橋した山陽新幹線下食満高架橋の位置での埋没谷(落橋)と自然堤防(無被害)での常時微動の粒子軌跡を示す¹⁹⁾。その包絡線形状(同図の赤色破線)は自然堤防部では円形, 埋没谷部では長円を描く。長円の主軸は埋没谷軸方向を示し, 地震時に埋没谷がその方向に大きく変位することを示している。このことから上記の河道部埋立地の比較的軟質な地盤のが脇の地山より大きく動いて, フーチングが開店したことが推察される。

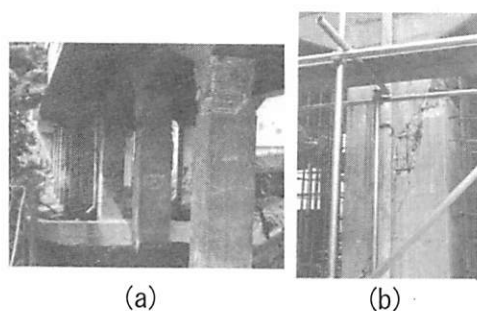


図-16 被害状況写真⁷⁾

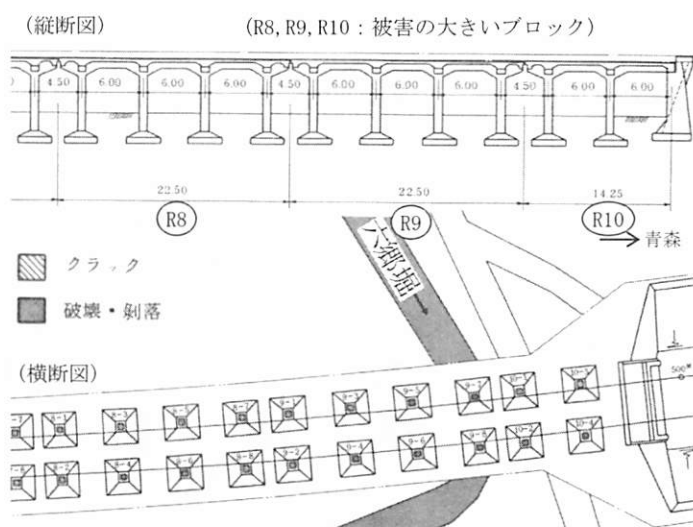


図-17 行人塚高架橋と被害箇所¹⁸⁾

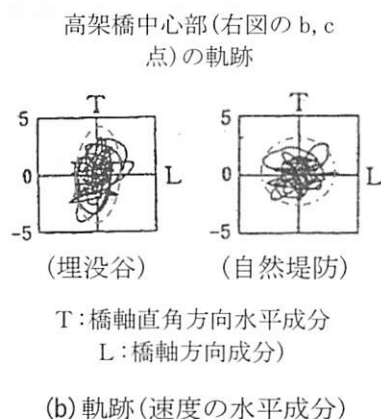
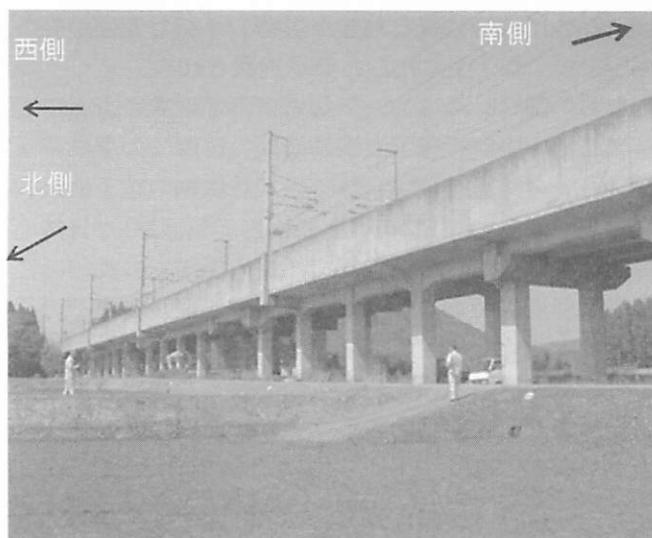
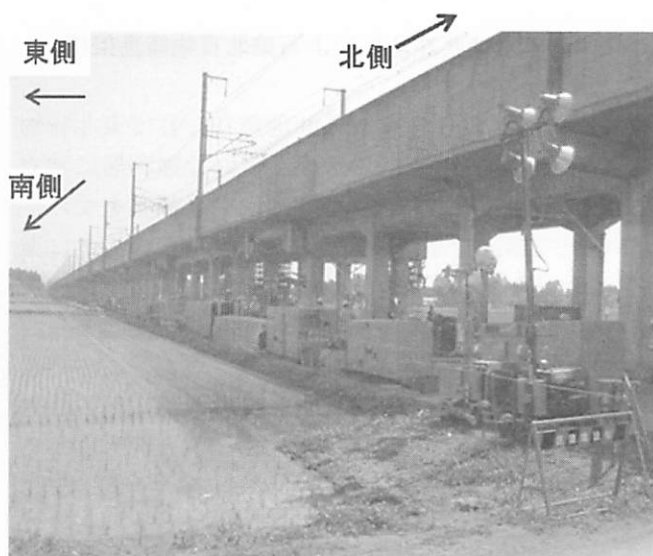


図-18 下食満高架橋の常時微動測定結果¹⁹⁾

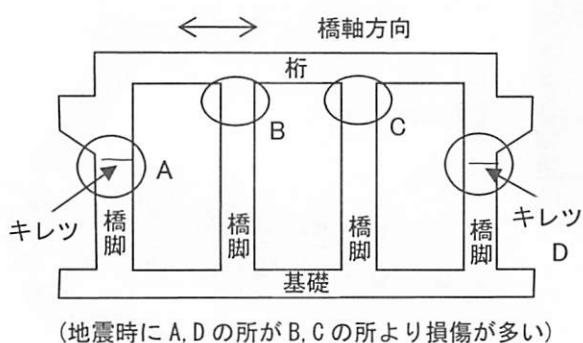


(a)西側面図



(b)東側面図

図-19 第5猪鼻高架橋の被害現場全景(2003年三陸南地震、文献20)に加筆)



(地震時にA, Dの所がB, Cの所より損傷が多い)

図-20 ラーメン高架橋橋脚の損傷部位

(5) 2003年三陸南地震による東北新幹線第5猪鼻高架橋被害

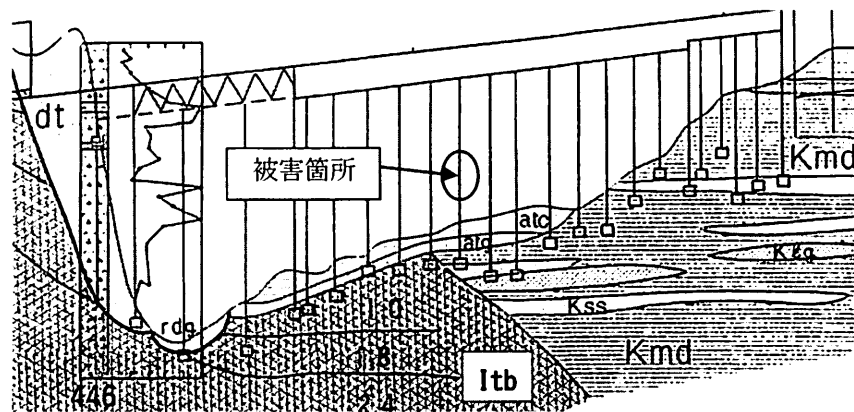
2003年三陸南地震によって、第5猪鼻高架橋(両端にゲルバー桁を有する一層ラーメン高架橋)が被害を受けた。特に、高架橋ブロック両端の柱に被害が顕著に発生した。ここで、図-19(a), (b)の東西両側から撮影した写真²⁰⁾をみると、高架橋の東西両側の地盤面の高さが異なり、しかも西側地盤に南北方向に段差があることが分かる。従って、ここは地盤面勾配の急変化点で地盤条件の変化点であり、このような地盤の不連続性(剛性の不連続性)が被害発生に影響したことが推察される。

なお、最近の地震で新幹線等のRC造ラーメン高架橋でブロック端部の橋脚頭部等に被害が多く発生し

ている。図-20に示すように高架橋の構造をみると縦・横桁が剛で重い(トップヘビー)が、被害を受けた位置の横桁は無被害の中間部の一桁よりも、桁の高さ等が大きくて(短軸方向の断面積が大きくて)剛性が大きい。橋脚剛性は端部も中間部も殆ど同じなので、桁と橋脚の剛性変化度の大きい方の橋脚(図のA, Dの○印の所)で被害が発生しやすいことが推察される²¹⁾。

(6) 2003年三陸南地震による東北新幹線猿ヶ石高架橋被害

2003年三陸南地震で東北新幹線猿ヶ石高架橋(直接基礎)で橋脚に軽微な亀裂が発生した。図-21¹⁷⁾をみると、地盤境界部(遷急点)で被害を受けている



atg:沖積世砂礫, 砂 atc: 沖積世粘土, 粘性土
Kss:鮮新世砂岩, 凝灰質砂岩 Itb:中新世安山岩質角礫凝灰岩 Kmd:鮮
新世泥岩, 泥質岩

図-21 猿ヶ石高架橋と地盤状態(2003 年三陸南地震、文献 17)
に加筆)

ことが分かる。即ち、基盤が Itb(中新世安山岩質角礫凝灰岩)と Kmd(鮮新世泥岩, 泥質岩)の境界部で地盤面の傾斜しているところにあり、橋脚周辺の表層地盤(atg(沖積世砂礫, 砂)や atc(沖積世粘土, 粘性土))が地震で谷底方向に動いたため基礎に偏土圧力が作用したため橋脚に亀裂が発生したこと等が考えられる。

3. あとがき

以上に述べたことを次にまとめる。

- (1)2011 年東北地方太平洋沖地震の際の橋梁の津波被害は何れも、地震被害が発生しやすい地盤の不連続点で発生しており、津波被害を受ける前に地震で変状(橋脚変状, 支承損傷等)が発生していたこと、津波被害を受けなかった橋梁の地盤は一様地盤で元々地震被害を受けにくい位置にあったことが推察される。
- (2)長町高架橋の被害は地盤の不連続点に存在したため発生したことが考えられる。また、第 1 中曽根高架橋や第 5 猪鼻高架橋、猿ヶ石高架橋の被害も同様な地盤で発生したことが考えられる。
- (3)行人塚高架橋で発生したフーチングの回転は、地盤の不連続点に存在したため相対的な地盤変位(ず

れ変位)の発生で生じたことが推察される。

詳細な被害原因の究明には地盤調査の追加や解析等が必要であるが、今回のように主として地盤関係の既存資料から調べた結果からも、以上に述べた橋梁の被害は、文献1)で述べたように地盤の不均質なところや不連続点が多く、地盤の水平あるいは鉛直方向の不同変位の影響が大きいように推察された。

おわりに、以上の調査にあたって引用あるいは参考にさせて頂いた多数の貴重な文献の著者に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 那須誠:各種構造物の地震被害機構と地盤不連続点の関係, 第 31 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, No.2-129, , 2011. 11.
- 2) 那須誠:橋梁の 2011 年東北地方太平洋沖地震等による被害と地盤の関係, 第 15 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集(2012 年 7 月), p. 371-378.
- 3) 清水英樹・幸左賢二・竹田周平・佐々木達生:鋼道路橋の津波による被害調査, 第14回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, A2-2, pp. 87-94, 2011. 7.

- 4) 土地分類基本調査 (5万分の1) , 登米・大須, 地形分類図, 表層地質図, 1990年3月発行, 宮城県
- 5) 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 論文集, pp. 299-306, 2003. 7.
- 6) 片岡正次郎: 東日本大震災報告会〜震災から2年を経て〜, 構造物に対する津波作用の研究と今後の展望, 国交省国総研, 2013. 3.
- 7) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 土木施設災害調査速報, 国総研資料第646号, 土研資料第4202号, 2011. 7.
- 8) 土地分類基本調査(5 万分 1), 気仙沼・津谷, 表層地質図, 1994 年度調査, 1996 年 3 月発行, 宮城県.
- 9) 土地分類基本調査 (5万分の1) , 釜石, 表層地質図, 1975年度調査, 1976年3月発行, 岩手県
- 10) Googleマップ, 2013. 4
- 11) 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, 2003. 1.
- 12) 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震災害調査報告〜地震・地震動および社会基盤施設の被害〜, 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会, p. 458, 2013. 6.
- 13) 東北新幹線地質図(桑折・有壁間)地質図, 国鉄仙幹工, 1981. 12.
- 14) 宮城県地震地盤図, 宮城県 1985. 3(1978 年宮城県沖地震 30 周年記念シンポジウム CD2008, c_w3 より)
- 15) 高橋良和: 2011年東北地方太平洋沖地震における道路・鉄道構造物の被害, tnst.org.tw20111121_jp15.pdf
- 16) 5万分の1都道府県土地分類基本調査(花巻), 表層地質図, 1976.
- 17) 東北新幹線地質図(有壁・盛岡間)地質図, 国鉄盛岡工事局, 1981. 11.
- 18) 宮城県沖地震調査グループ編: 1978年宮城県沖地震調査報告, 鉄研報告, No.1111, 1979. 3.
- 19) 那須誠: 各種構造物の地震被害機構と地盤不連続点の関係, 第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集2011, No.2-129, 2011.
- 20) 三陸南地震, 石鳥谷町東北新幹線高架橋, Small-Titan HP 2003, 東北工業大学, 2003. 9. 28.
- 21) 那須誠: 各種構造物に問題が発生しやすい部位に関する研究(その2), 安全工学シンポジウム 2013, GS4, pp. 322-325, 2013. 7.
- 22) 那須誠: 2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁の津波被害と地盤の関係, 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集CD-ROM, I-112, 2013. 9.