

河川堤防と堰等の被害への地盤の影響の考察

那須 誠

フェロー会員 博士(工学) 前橋工科大学 工学部建設工学科(〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1)

現在, 構造物の各種被害を地盤に着目して調べている. その結果, 地震その他による被害は地盤条件の不連続点で発生し易いことを明らかにし本シンポジウム等で既に発表している. 今回は, 最初に堰や堤防等の主な河川災害が地盤条件の不連続点で発生している例が多いことを述べる. 次に, 2000年9月の東海水害の際に名古屋市内の新川左岸で発生した破堤を, 一般的な河川の地盤構造や前述の破堤箇所の地盤状態等も参考にして調べた結果, 新川の破堤は旧河道部締め切り部と考えられる特異な地盤状態の所で発生しており, 地盤が大きく影響したことが推定されたことを述べる. さらに, 地震による堤防の被害箇所も同様に旧河道部締め切り部等で多いことを事例をあげて述べる.

キーワード: 河川堤防, 堰, 災害, 地震被害, 地盤条件の不連続点, 2000年9月東海水害, 新川破堤, 旧河道部締め切り部

1. はじめに

現在, 構造物の各種被害を地盤に着目して調べている. その結果, 地震その他による被害は地盤条件の不連続点で発生し易いことを明らかにし本シンポジウム等で既に発表している¹⁾. 今回は最初に, 主な河川災害の発生箇所が同様の地盤条件の不連続点で発生している例をまとめる²⁾. 次に, 2000年9月の東海水害の際に名古屋市内の新川左岸で発生した破堤の地盤も, 一般的な河川の地盤構造や前述の破堤箇所の地盤状態等も参考にして調べた結果, 新川の破堤は特異な地盤状態の箇所で発生し, 地盤が大きく影響したことが推定されたこと³⁾を述べる. 最後に, 地震災害箇所の堤防の地盤も同様に地盤条件の不連続点で多いことを報告する.

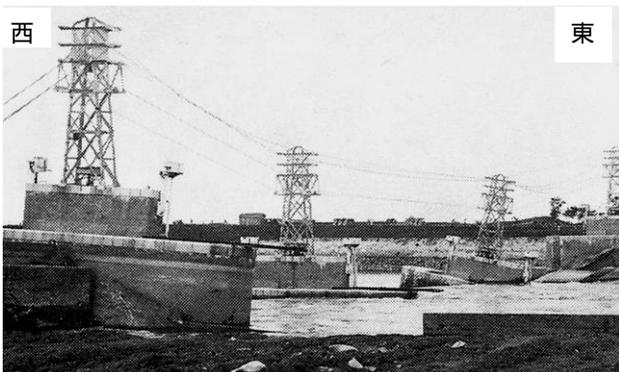


写真-1 陥没した自在堰⁹⁾

2. 河川災害事例

(1) 大河津分水の自在堰崩壊(新潟県西蒲原郡分水町)

1927年に信濃川にある大河津分水の自在堰の第3~8号ピアが傾斜陥没し崩壊した(写真-1参照)⁴⁾. 自在堰下流の異常な河床洗掘に伴う下流水位の低下が崩壊原因の一つと考えられている⁵⁾. ここで, 1983年発行の新地形図⁶⁾に1914年⁷⁾と1919年発行⁸⁾の旧地形図上の河道



図-1 大河津分水自在堰と旧河道の関係(文献6)~8)を集成)



— 1974年発行の地形図¹⁰⁾による
洗堰と護岸等
X: 洗堰右岸漏水発生箇所

図-2 旧地形図⁷⁾上の洗堰¹⁰⁾の位置

を記入した図-1をみると、この崩壊位置は昔からある河道部に当たることが分かる。このことは自在堰が低水路につくられていたこと⁴⁾からも推定される。そのためその崩壊位置は元々緩詰め状態の砂質土等が堆積していてパイピング等が生じやすいところであり、洪水で河川水位が上昇したときに高くなった水圧の影響でパイピング等が生じて河床洗掘が生じたことが考えられる。

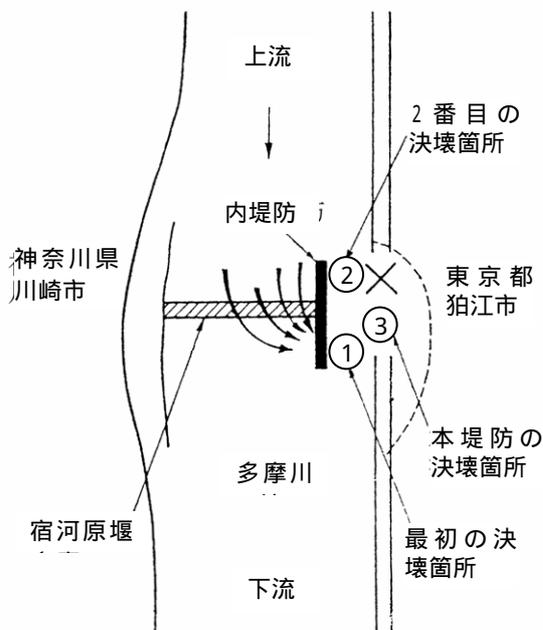
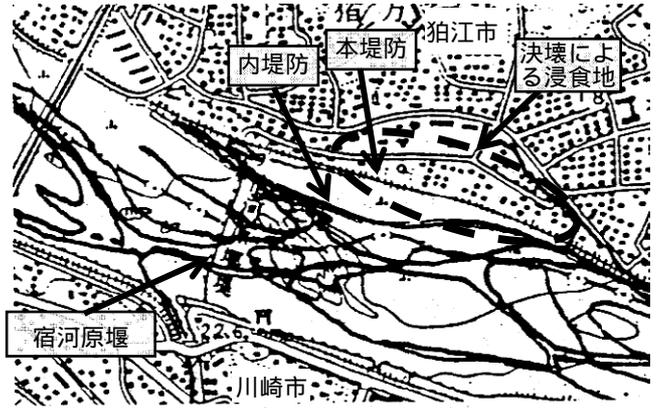


図-3 多摩川堤防の決壊状況¹¹⁾



— 1912年、1919年発行の地形図¹³⁾¹⁴⁾による旧河道

図-4 多摩川の宿河原堰付近の新旧河道等
(1982年発行の地形図¹²⁾に旧地形図による河道¹³⁾¹⁴⁾を追加)

また、1982年9月の台風18号の影響で、ここの洗堰の右岸側の取付橋台と護岸から漏水が発生した⁹⁾。1914年発行の地形図⁷⁾に1974年発行の地形図¹⁰⁾による護岸や河道や洗堰を記入した図-2をみると、洗堰のある右岸側は広葉樹があるので砂礫地盤で自然堤防であること、左岸側は田圃があるので粘土地盤であることが推定される。即ち、洗堰は右岸側の砂礫地盤と左岸側の粘土地盤

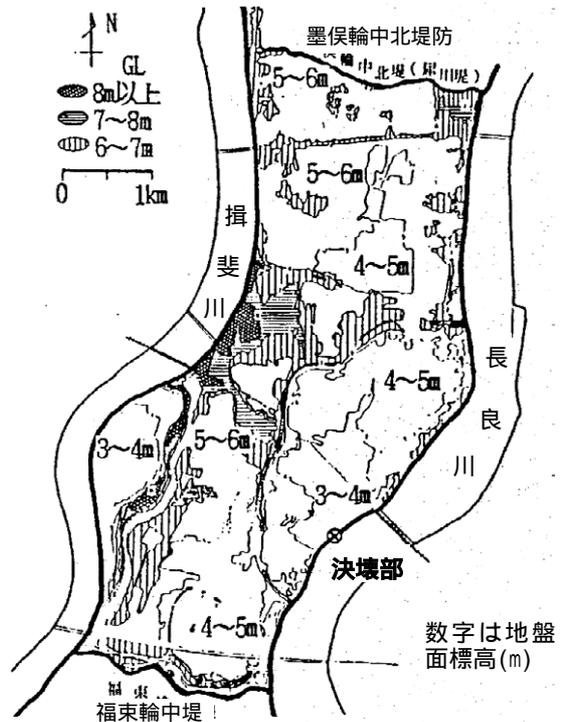


図-5 長良川堤防決壊箇所付近の地盤状態¹⁷⁾

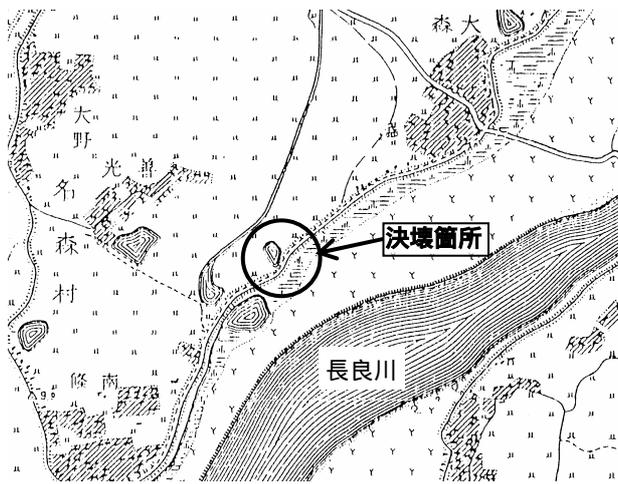


図-6 長良川堤防決壊箇所付近の位置図²⁰⁾

の境界部に造られている。そのため、洗堰右岸橋台と護岸の漏水はそれらが両地盤にまたがるようにつくりだれていて不同沈下等が生じて発生したことが推定される。

(2)多摩川堤防の決壊(東京都狛江市)

1974年に台風16号の影響で多摩川堤防が決壊した。その決壊は図-3に示すように、内堤防の下流側で最初に起き次に上流側、本堤防と続いて起きて堤内地の地盤が侵食された¹¹⁾。ここで1982年発行の地形図¹²⁾に旧地形図による河道¹³⁾¹⁴⁾を記入した図-4をみると、内堤防は昔からの河道上に作られている。したがって、この地盤は元々緩詰め状態の砂質土等が堆積していて、河川の増水時にパイピング等が発生し易かったことが考えられる。また、本堤防の堤内地側の地盤は図-4から分るように多摩川の旧河道の蛇行跡であり¹⁵⁾、本来川が流れやすいところである。

(3)長良川堤防の決壊(岐阜県安八郡安八町大森)

1976年に長良川で台風17号の影響で堤防の決壊が発生した。決壊前には裏法面に浸透水が到達しかつ堤内地へ漏水が生じていた。この地盤では一般的には最上部からシルトからなる難透水層、比較的厚い砂層(ここは地盤漏水の浸透路)、不透水層の粘土層と続いて堆積している¹⁶⁾⁻¹⁸⁾。

ここで図-5¹⁷⁾をみると地盤標高の最も低いところから堤防の決壊が生じており、ここは旧河道締切り部の堤防であることが考えられる。また、そこは局部的に地盤沈下や浸透水が生じやすく増水時にパイピング等が

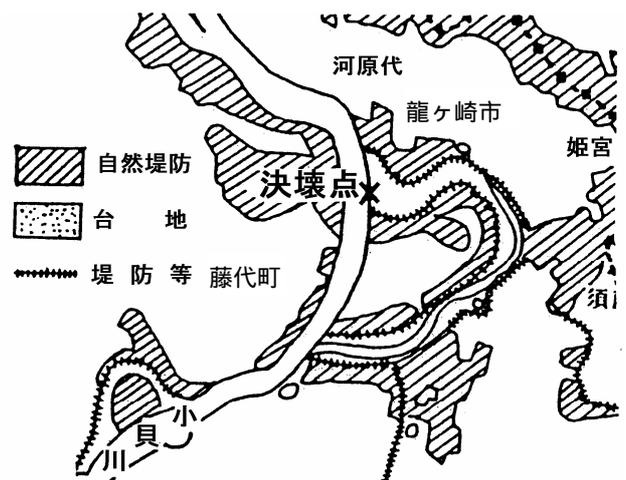


図-7 小貝川の堤防の決壊箇所の地盤²¹⁾

発生したことが考えられる。

また、1981年発行の地形図¹⁹⁾をみると決壊箇所は自然堤防と自然堤防の間であって、決壊箇所の堤内地側の法尻付近で道路が階段型に屈曲しており、図-6²⁰⁾の旧地形図をみると堤内地側の法尻付近には沼があり、元々湧水等が生じていたことが推定される。

(4)小貝川堤防の決壊(茨城県龍ヶ崎市高須町)

1981年に台風15号の影響によって小貝川の堤防が決壊した。それは図-7から分かるように、旧河道(旧小貝川)の締切り部で発生している。この破堤口周辺はシルト分の非常に少ない、いわゆる川砂で表面が覆われている²¹⁾。小貝川では破堤がいくつか生じているが、他の河川の破堤と同様に堤内地側法尻から漏水してから生じている例が多い。今回の破堤も地盤の土質状態からパイピング等で生じたことが考えられる。

(5)新川堤防の決壊(名古屋市西区)

2000年9月の東海水害の際に名古屋市内の新川左岸で発生した堤防決壊への地盤の影響を調べた。その際に一般的にみられる河川の地盤構造や以上に述べた堤防決壊箇所の地盤状態等も参考にした。その結果、以下に述べるように新川堤防の決壊も特異な地盤状態箇所で発生しており地盤が大きく影響したことが推定された。

a)新川の堤防決壊箇所の地盤等

2000年9月の台風14号の影響により、名古屋市西区・新川町・西枇杷島町境界で新川の左岸堤防が100mに渡って決壊し(写真-2²²⁾、図-8²³⁾、避難勧告・指示約22万



図-8 新川の堤防の決壊位置(文献 23)に追加)

写真-2 新川の堤防の決壊状況²²⁾

世帯,約 58 万人が対象という甚大な被害が生じた²⁰⁾。

図-9²⁴⁾は新川兩岸直下の地質縦断面図を示す.この図から左岸側と右岸側の地盤状態がかなり異なっていることが分かる.右岸側の地盤はほぼ水平な土層から構成されているが,左岸側では地層が複雑に波打ち,埋没谷形状の構造を示すところが距離 12 km 付近と 15 km 付近の 2 箇所に存在する.左岸堤防の決壊(破堤)箇所は距離 15 km 付近の埋没谷形状地盤の上流側端部付近にあり,ここ

では最上層の沖積砂層 As の厚さが急変化し,下流側へ急に厚くなり,その下の砂礫層 Dg も急に深くなっている.また,沖積粘土層 Ac がここより上流側ではほぼ水平に堆積し下流側には傾斜して堆積しているが,決壊箇所付近の上流寄りには前後と比べて山形に厚く堆積するところがあり,左岸の決壊地点は地盤条件の変化点にあると考えられる.

また,この沖積粘土層 Ac には堤防荷重あるいは地下水の汲み上げによって長期に渡って圧密沈下が生じる

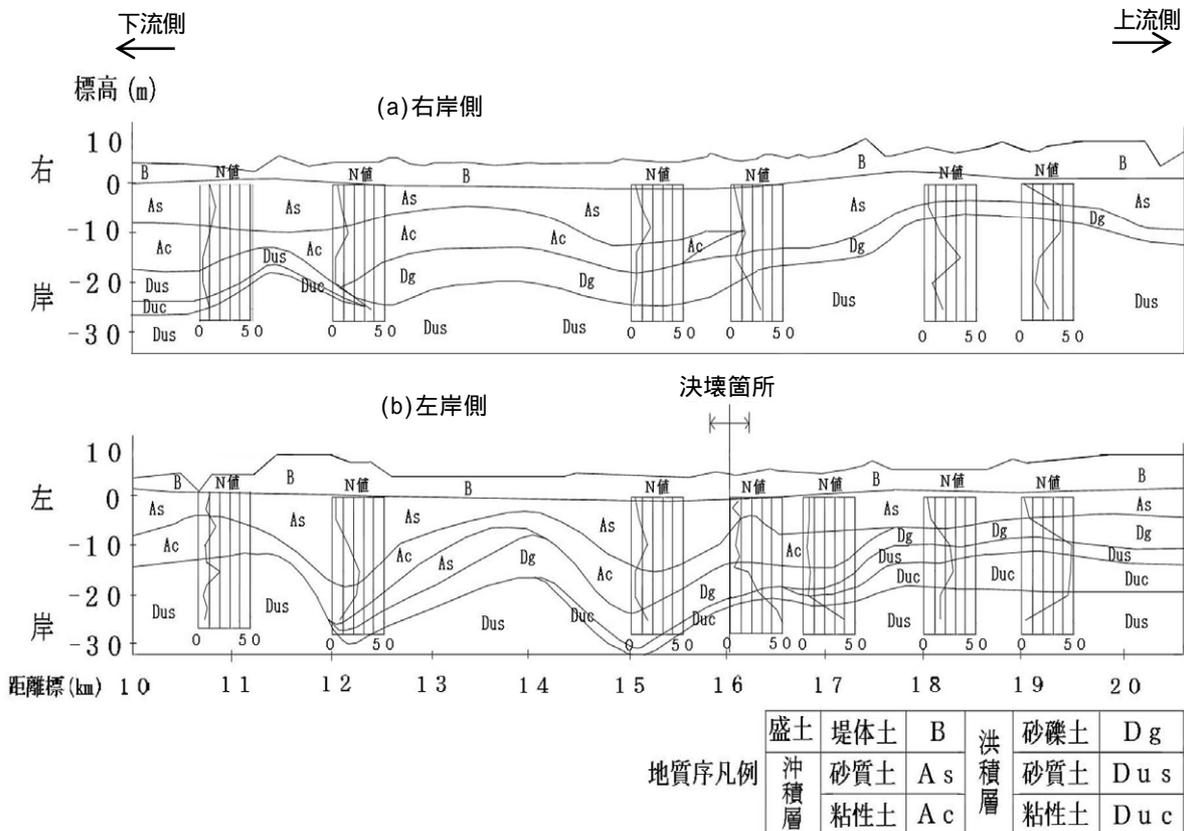


図-9 新川の堤防の地質縦断面図²⁴⁾

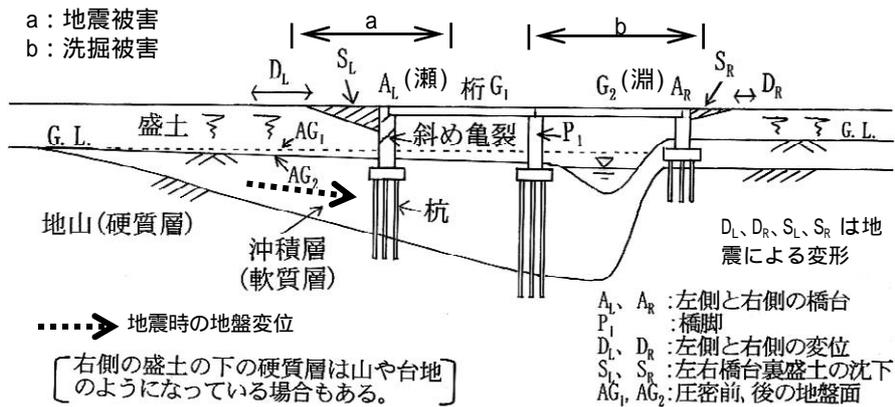


図-10 河川の一般的な横断方向の地盤状態²⁵⁾⁻²⁷⁾

が、ここでは A_c 層厚さが不均等でかつ存在深さも変化しているため、この圧密沈下量は不均等に発生し地盤表面が不等沈下すること等が考えられる。それによって堤防に歪みや亀裂²⁴⁾が生じて堤防の決壊につながったこと等が推察される。

なお、堤防の決壊箇所周辺には現在でも田圃が多くみられるが(図-8 参照)、それはこの付近の地盤内に沖積粘土層 A_c が含まれていて(図-9 参照)、圧密沈下量が大きく生じ地表面の標高が比較的低いためと考えられる。

b) 一般的にみられる河川の地盤構造との関係

図-10 は河川に多くみられる地盤状態を示す²⁵⁾⁻²⁷⁾。このように河川の地盤は埋没谷状になっていることが多く、その埋没谷斜面(硬質地盤の表面等)は左右対称な V 字型や U 字型ではなく、片側が緩やかに傾斜しもう一方の片側が急傾斜し、埋没谷上の堆積層(河成層等)の表面もこれに対応した同様な形状になっており、前者側が”瀬”となり後側が”淵”となっている。

ここで図-9 の新川堤防の決壊箇所付近の地盤状態をみなすと、例えば硬い D_g 層の表面は右岸側より左岸側が深く、その表面は右岸側から左岸側に傾斜し、しかもそれは図-10 の地盤状態と似ていると考えられる。このようなことから、新川は江戸時代に開削されたと言われているが、元々川が流れていたところを拡幅や線形改良等の改修が行なわれて、現在みられるようなほぼ真っ直ぐな川になったことが推定される。

c) 過去の他所の堤防決壊箇所の地盤状態との関係

前述の図-7 は 1981 年の台風 15 号の影響によって堤防が決壊した小貝川の地盤を示すが、それは旧河道(旧

小貝川)締切り部即ち自然堤防と自然堤防の間で生じている²⁾。旧河道締切り部はこのように堤防決壊が多くみられるところである²⁾。ここで、図-9 をみなすと、新川の今回の堤防決壊箇所は川の流下方向に地盤状態が急変する所(新川と直角方向に走る谷状地形の端部)で生じており、それは図-7 の決壊箇所の地盤状態とよく似ており、今回の堤防決壊箇所は小貝川堤防の決壊箇所と同様な旧河道締切り部に相当することが考えられる。

3. 常時の増水等による堤防被害機構の推定

以上の事例の調査結果から推定した、決壊等が起きやすい堤防とその変形状態の関係を図-11 にまとめて示す。図-11(a)は縦断方向を示しており自然堤防と自然堤防の間に旧河道部がある場合である。図-11(b), (c)は横断方向を示しており、前者はその旧河道部に堤防が全部載っている場合であり、後者は一部だけ載っている場合である。堤防がその旧河道部で特に沈下が大きく発生したり、崩壊したりすることが考えられる。

図-12 に旧河道部での被害機構の推定図を示す。旧河道部では元々浸透水が生じやすく増水時には河川の水位が高くなって、その浸透水が勢いを増してパイピングやボイリング等が生じて土砂を流出させて堤防に被害が発生することが考えられる。

なお、前述したように旧河道部には軟弱粘性土層が堆積していることもあるが、そのときは普段から堤防に比較的大きく沈下が生じて、自然堤防と旧河道部の境界附

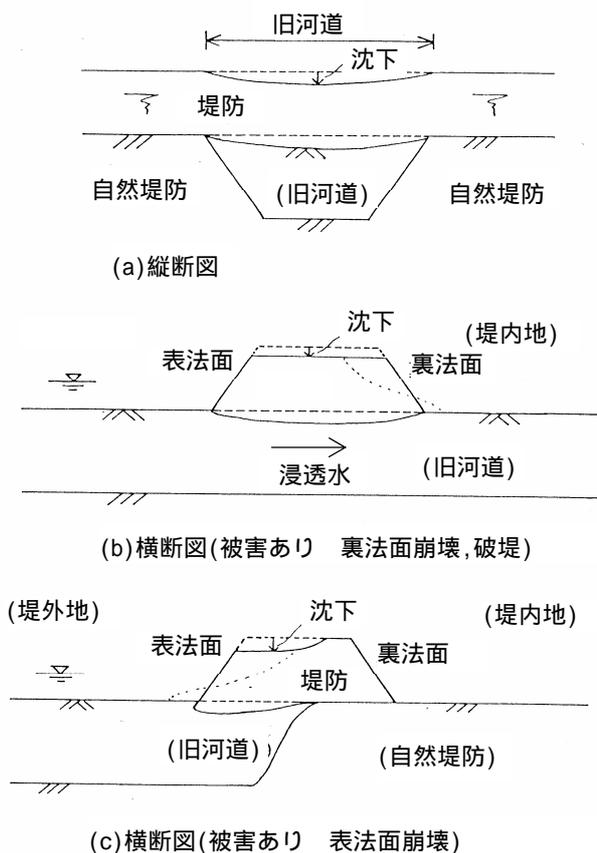


図-11 決壊や崩壊の起きやすい堤防と地盤の関係

近の堤防に亀裂が発生して、そこが水道になって増水時に堤防の崩壊につながることも考えられる。

4. 地震時の河川堤防等の被害事例

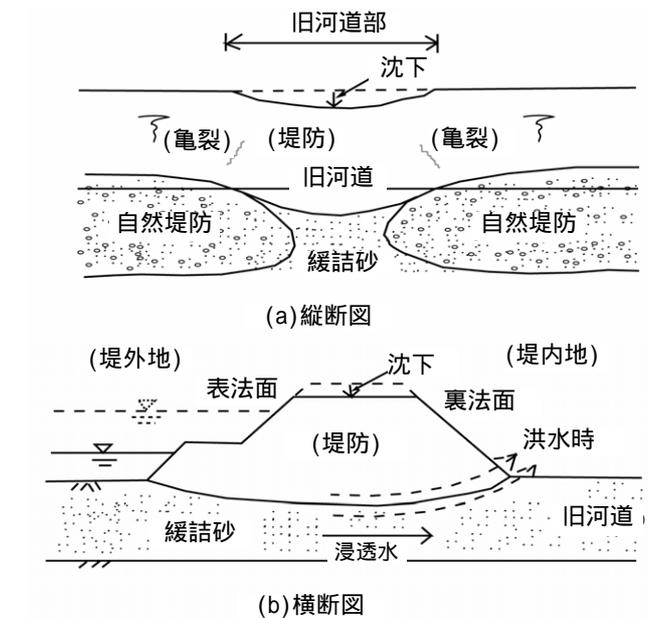


図-12 堤防の被害機構の推定図

(1) 地震時に堤防被害の発生しやすい地盤

過去の地震時の堤防被害箇所をみるとそれは旧河道部締切部や地盤に傾斜があるところで多く発生している。前者の代表例として図-13²⁸⁾を挙げる。この図では昭和39年の新潟地震で被害を受けた大山川中流部の堤防被害箇所を×印で示している。旧川の蛇行を修正し短絡によってできた多くの旧川敷上(旧河道上)の盛土箇所が殆ど全区域にわたって被災している²⁸⁾。

(2) 地盤に傾斜があるところの堤防被害

この堤防の代表例として、1978年宮城県沖地震で被害

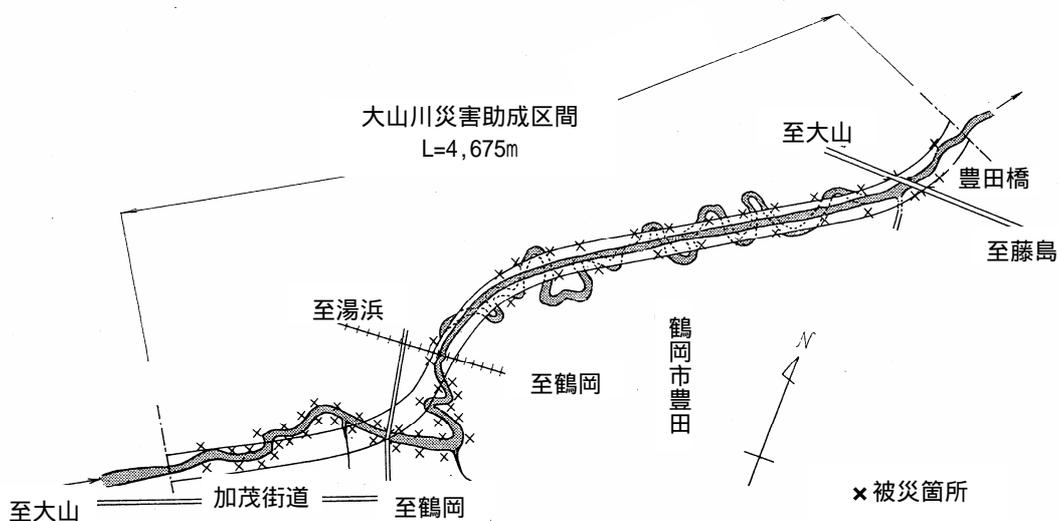


図-13 大山川中流部の堤防被害箇所(新潟地震)²⁸⁾

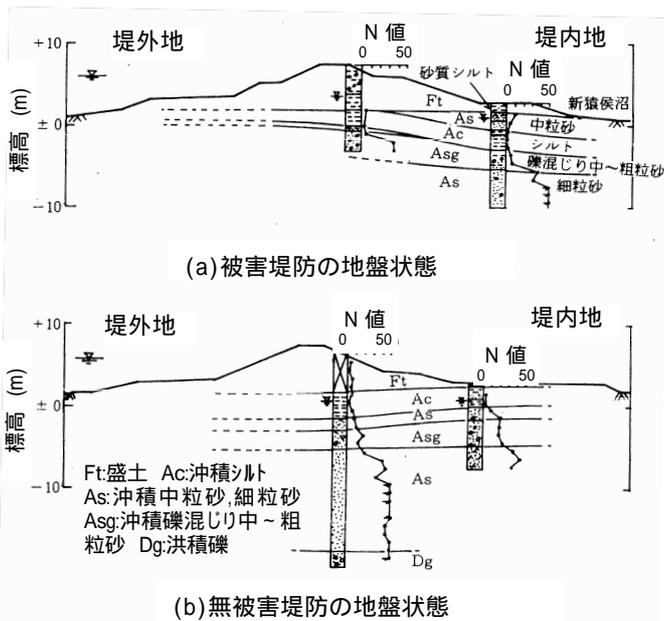


図-14 閉上上堤防の被害と地盤(宮城県沖地震)²⁹⁾⁻³²⁾

を受けた名取川の閉上上堤防の例を図-14に示す²⁹⁾⁻³²⁾。被害が発生した堤防(図-14(a))は軟弱層の薄い所と厚い所に跨っており、特に亀裂や沼の入り破壊等が生じた堤内地側地盤では、緩い中粒砂層の下にそれよりも極く小さいN値の軟弱シルト層がある。この地盤状態は、日本海中部地震で被害を受けた鯉川・鹿渡間盛土が、腐植土層を含む軟弱地盤と良好地盤に跨っていたのと類似している。図-14(a)の付近の基盤表面は堤内地側に傾斜するとともに、この変形の発生範囲で基盤表面が谷状に窪んでおり、ここは旧河道跡と推定される²⁹⁾³⁰⁾。

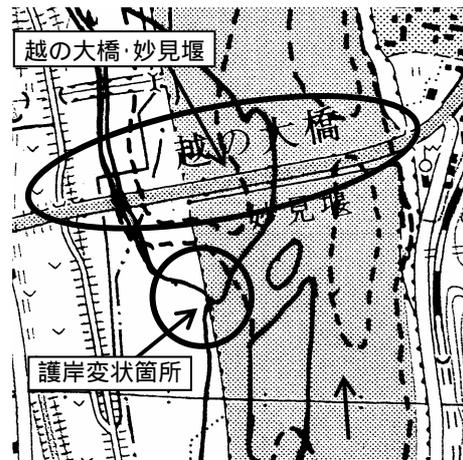
しかし、隣接の無被害堤防(図-14(b)参照)の地盤の最上層部のシルト層はN値が深さとともに大きくなり、特に盛土の天端を含む本体部直下と堤外地側のり面下の地盤内の表層土層はほぼ水平である²⁹⁾³⁰⁾。

(3) 越の大橋付近の護岸被害

2004年新潟県中越地震の際に、越の大橋(妙見堰)の上流側に少し離れた位置で、写真-3に示すように低水敷護岸が変状している³³⁾。この位置の地形図を図-15に示す³³⁾。この図は2万5千分1の地形図(片貝)³⁴⁾の2004年修正測量図³⁴⁾に、1953年資料修正図³⁴⁾による川岸と砂州(破線)と1914年製版と1911年測図³³⁾による川岸と砂州(太実線)を追加して記入したものである。この図をみると、砂州に接する旧河道締切り部で護岸変状が発生しており、この場所も4.(1)で述べたような地盤状態に属



写真-3 越の大橋付近の低水敷護岸の変状(新潟県中越地震)³³⁾



(2万5千分1地形図：片貝³⁴⁾の2004年修正測量図に、1956年資料修正図(破線)と1914年製版と1911年測図(太実線)による川岸と砂州を追加)

図-15 越の大橋付近地形図³³⁾

することが分かる³³⁾。

5. おわりに

以上に示したいいくつかの河川災害を地盤に着目して調べた結果を次にまとめる。

まず、いくつかの堰や堤防の被害を調べたところ、それらは河道や旧河道等で緩詰め砂質土等が堆積して水が浸透しやすいところや、硬軟地盤境界部の洗掘されやすいところで、上流側よりも下流側から、あるいは堤内地側(裏法面側)から崩壊している例が多いことが分かった。

この結果も参考にして、次に新川堤防の決壊を地盤に着目して調べた結果、左右両岸の地盤の違いから新川の江戸時代の開削は元々川が流れていたところを改修して行なわれたことが推定される。また、今回の堤防決壊

は谷状地形に移行する地盤条件の変化点で旧河道締切り部と考えられるところで生じており、そこは他所でも堤防に決壊がよくみられる地盤であることが分かった。従って、新川の堤防決壊に対して地盤が大きく影響したと破堤が起きやすい地盤で生じたことが推定される。

地震時の堤防被害も常時の堤防被害箇所と同様に、地盤の様でないところ即ち地盤条件の不連続点で発生が多いことが推定される。

以上のように、常時、地震時に関わらず多くの河川災害は他の各種災害と同様に地盤の弱点箇所といえるところで発生していることが分かった。

増水時の被害対策工としては堤内地盤に対しては有効応力増加のために透水性ブロック、堤外地盤に対してはクリブ長増大のために不透水性ブロック、止水壁(カッター)等が考えられる。地震時の対策としては地盤を一樣にすること等が考えられる。

なお、以上の調査でお世話になった本学卒論生の鶴見元気君と佐々木栄作君、並びに地盤工学会中部支部と土木学会関東支部に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、那須 誠:地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その 7、地震等で被害が発生しやすい部位),前橋工科大学研究紀要,第 6 号,pp.31-38,2003.3.
- 2) 那須誠:自然災害と地盤条件,第 20 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, -16, pp.210-211, 1993.3.
- 3) 那須誠:新川破堤への地盤の影響の考察,自然災害と地盤条件,第 21 回日本自然災害学会学術講演会要旨集, No. -6, pp.11-12,2002.9.
- 4) 宮本武之輔,大鹽政治郎,後藤憲一:信濃川補修工事概要,土木学会誌,18-6,pp.555-574,1932.6.
- 5) 田村喜子:物語 分水路-信濃川に挑んだ人々-,鹿島出版会,1990.
- 6) 国土地理院編:地形図,1:50,000,三條,明治 44 年測量,昭和 56 年修正,1983 年発行.
- 7) 国土地理院編:地形図,1:50,000,三條,明治 44 年測図,1914 年発行.
- 8) 国土地理院編:地形図,1:50,000,三條,大正 2 年鉄道補入,1919 年発行.
- 9) 国土交通省北陸地方整備局 HP:大河津分水, <http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/>, 2003.12.
- 10) 国土地理院編:地形図,1:50,000,三條,1974 年発行.
- 11) 台風 16 号の影響による多摩川付近の被害,土と基礎,Vol.22, No.12, pp.90-91,1974.12.
- 12) 国土地理院編:地形図,1:2.5 万,溝口,1982 年発行.
- 13) 国土地理院編:地形図,1:5 万,東京西南部,1912 年測量.
- 14) 国土地理院編:地形図,1:2.5 万,溝口,1919 年測量.
- 15) 日本建築学会,土質工学会,東京建築士会編:東京地盤図,技報堂,1959.6.
- 16) 木曾三川~その流域と河川技術,建設省中部地方建設局発行,pp.496-511,1988.
- 17) 科学技術庁・国立防災科学技術センター編:1976 年台風 17 号による 長良川地域水害調査報告,主要災害調査 第 12 号,1977.
- 18) 土屋昭彦,須賀堯三,矢部正宏,石崎勝義:台風 17 号による 長良川災害調査報告,土木技術資料,18-12, pp.47-55,1976.
- 19) 国土地理院編:地形図,1:2.5 万,竹鼻,1929 年 5 月 30 日発行.
- 20) 国土地理院編:地形図,1:2.5 万,竹鼻,1981 年 8 月発行.
- 21) 科学技術庁・防災科学技術センター編:1981 年 8 月 24 日台風 15 号による小貝川破堤水害調査報告,主要災害調査 第 20 号,1983.2.
- 22) 内閣府 防災部門 HP:東海水害概要,<http://www.bousai.go.jp>,2001.1.
- 23) 原図,地形図,1:2.5 万,清洲,1997 年修正,1998.7.1 発行.
- 24) 地盤工学会中部支部編:東海水害の教訓-誰が,何をなすべきか?,2001.9.
- 25) 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, -7, pp.13-14,2000.3.
- 26) 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.
- 27) 那須誠,藤沢一,相川信之,中林好範,佐々木栄聡:地盤構造と橋梁洗掘の関係-最近の被害例による考察-,土木学会第 29 回関東支部技術研究発表会講演概要集, -40, pp76-77,2002.3.
- 28) 土木学会新潟震災調査委員会編:昭和 39 年新潟地震震害調査報告,pp.295-298,1966.6.
- 29) 那須誠:盛土の地震被害と地盤構造,鉄道総研報告,Vol.3, No.8, pp.50-57,1989.8.
- 30) 那須誠:砂質土地盤における地震被害-地盤構造からみた「液状化被害」発生機構-,鉄道総研報告,Vol.6, No.6, pp.17-26,1992.6.
- 31) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室:地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究,土木研究所資料, No.1729,1981.9.
- 32) 1978 年宮城県沖地震調査報告書,社土木学会東北支部,1980.4.
- 33) 那須誠:新潟県中越地震による道路と建物等の被害への地盤の影響,土木学会第 32 回関東支部技術研究発表会講演概要集, -2-57,2005.3.
- 34) 国土地理院発行,2.5 万分 1 地形図:片貝,1925 年鉄道補入,2001 年修正,栃尾,1911 年測図,1914 年製版,1953 年資料修正,2004 年修正測量.