

地震と地盤の液状化

—平成5年・釧路沖地震による堤防被害を中心に—

財団法人先端建設技術センター

常務理事 佐々木 康

1. はじめに

平成5年1月15日の夜、発生した釧路沖地震は、死者の数は少ないものの、北海道東部の住家、建築物、道路などの公共土木施設、ライフライン施設などの諸施設に被害をもたらした。直轄河川でも堤防、護岸に被害を生じ、その延長は28km近くにのぼった。(この地震に際しての消防活動は、本誌No. 34に、釧路市消防本部から報告されている。)

被害を被った河川堤防の復旧方法の検討のために、建設省から話があって河川局治水課の担当補佐と、1月の末に帯広、釧路の河川堤防の被害現場を歩いた。雪の中の釧路湿原の風は、身につけたビニール製のレインコートをも苦もなく引きちぎって吹き飛ばしてしまうほどのものであった。

釧路湿原の中の遊水地を取り囲む堤防は、湿原の地表から約8mの高さがあって、堤防の天端からの眺望はきくものの、被害の様相をうまく1枚の写真におさめるにはあまりにもだだっぴろ過ぎるものであった。

十勝川、釧路川の典型的な被害形態は、

- ① 法肩は小段に生じた縦断方向の亀裂をともなう天端の沈下であり、
- ② 甚だしい場合には亀裂の開口幅は、2m近くに及び、その深さはほぼ堤

つた。

③また、堤防の小段や法尻で噴砂の確認できる個所があったが、総じて堤防周辺の地盤上での噴砂の痕跡は明瞭でない。

十勝平野を貫流する十勝川、釧路湿原を流れる釧路川、ともに被害現場の地表近くには5~10m近い厚さの泥炭地盤が堆積している。

泥炭地盤は地震動によって砂質の地盤のような液状化現象は起こさない。しかも、周辺地盤には大きな変化はみられないから、泥炭地盤が破壊したことにより堤防の被害が引き起こされたものとは考えにくい。

しかし、被害の様相は、人が入るほどの幅の亀裂を伴う堤体の沈下である。

この様な大きな変形を引き起こす原因は、筆者の経験からすると堤防を支える地盤のどこかに液状化が生じていることによるはずである。

現地を歩いたとき感じたこの矛盾は、後に説明するように、圧縮性の大きい泥炭の特性を考慮することによって解決できる。

この年の夏、再び北海道で南西沖地震が発生した。内地では余り報道されていないが、この時にも堤防に大きな被害が発生し

ている。その被害はやはり地盤の液状化が主な原因で引き起こされたものであった。

ここでは、釧路沖地震の事例を中心に、液状化による堤防の被害について紹介しよう。

2 ガスバーナーと高所作業車

釧路沖地震は雪国で冬に起こった地震であったため、ほかの被害地震に見られない特徴があった。その一つは、地表が凍結していたこと、二つ目に地表が雪で覆われていたことである。

この時期は深さ70cm程度まで凍結している地表は固く、つるはしで掘ろうとしても、ガス管や水道管などの被害個所の発見や修復に必要な掘削は容易でなかったようである。

堤防の被害を点検するにあたっては、表面に降り積もった雪の除雪という、通常の地震被害ではみられない苦勞が伴い、春先になってから発見される被害個所もあった。

先に触れたように、堤防の被害は液状化が原因したと考えられるが、積雪深の大きい場合には、その証拠になる噴砂の痕跡を雪の下から捜し出すことは容易でない。

天端の変形の様子から判断して、周辺どこかに噴砂の痕跡があってもおかしくな



写真1 十勝川の堤防被害



写真2 釧路川の堤防被害

いと思われる現場があっても、地表を覆っている雪の下の地表を観察することはできない。

そんなときにガスバーナーが威力を発揮した。写真3は、十勝川堤防の小段で雪の下から噴砂の痕跡を見つけ出した時の作業状況を示したものである。しかし、ガスバーナーで堆積した雪を溶かすのは時間が大変かかるので、長い延長を持つ堤防の亀裂の有無など、被害概況を迅速に把握しなければならない場合には適切な方法とはいえない。



写真3 ガスバーナーで溶かした雪の下から出てきた噴砂の痕跡

ころ、少し高いところから俯瞰することが出来るので、先の写真2のように被害の状況を効果的に記録することが出来た。写真はともすれば、亀裂であるとか、噴砂であるとか、目につく特徴的な事象にレンズをむけたくなる。

その映像もちろん大切ではあるが、被害の機構や原因、周りへの影響など、復旧に必要な判断の材料はこうしたクローズ

アップ写真だけでは不足である。

全体の状況、周辺の状況を術撤する写真と組写真にすることによって、被害原因やその適切な対策に役立つ記録を残すことが出来る。いわば、見えなくしているボールをいかにして取り除くか、そこがポイントである。

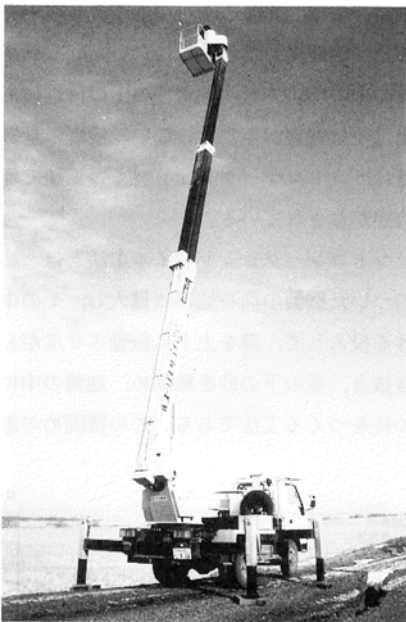


写真4 高所作業車による写真撮影の状況

被害を受けた十勝川堤防や釧路川の堤防は高さも高く、敷幅も広い。断面の大きな堤防の被害状況を写真に記録しようとしても、1枚の画面の中に周辺状況までいれて撮ることは大変難しい。

このため、高所作業車を活用してみた

3 液状化に伴う被害のメカニズム

釧路沖膿で生じた河川堤防の被害には・尼、次のような特徴があった。

- ①大きな被害は、概ね表層の泥炭層が厚い地盤の上で生じたが、地盤破壊に固有の盤膨れをおこしていない。
- ②また、大きな被害を生じた堤防は、高さ6～8m程度の比較的大断面のものであった。
- ③堤防の材質は、砂質の土であった。

ところで、泥炭層は圧縮性が大きい。したがって、この上に高さ6～8mもの堤防をつくると、堤防の下の泥炭は圧縮されて、堤防の下部は地盤の中にめり込んだ形となる。

被害の大きかった堤防を復旧する際に得

られた、被害断面の調査結果を図1に示す。堤防天端の直下では約2m近くも入り込んでいたことが確認できる。また、周辺の泥炭地盤は地下水位も浅く、堤防の底面近くは図中に示すように地下水で飽和されている。

泥炭は砂質の土と違って、地震動が作用しても、液状化のような急激な強度低下は生じない。釧路沖地震での堤防被害の主原因は、堤防の底面近くの飽和された部分が液状化したものと考えることが妥当である。

堤防の底面近くの部分が液状化すると、いわば堤体はその底部に水まくらをかかえこんだと同じ状態になる。天端は沈下し、両横の法面は肩の部分が沈下すると共に水平方向に外側に押し出される。写真5に、法尻付近が横に押し出され、周辺地盤の上に乗りに上げた状況を示す。この様な変形のメカニズムを、図2に模式的に示す。

釧路沖地震の堤防の被害は、堤体底部が液状化したことによるものであり、これまでに認識されていない形式の液状化被害であった。

これに対し、北海道南西沖地震で被害を

被った河川堤防の基礎地盤は水平に堆積したゆるい砂質地盤で、この基礎地盤が液状化したことによる被害であった。水平地盤が液状化した場合の堤防の変形のメカニズムを同じ図に示す。

液状化による被害は、液状化が地盤の中のどの部分で生じるか、構造物はどんな変形に追随できるかという二つの重要な点によって異なったものになることを理解しておきたい。

4 被害を防ぐ工夫

釧路沖地震、北海道南西沖地震とも河川堤防の全てが被災したわけではない。同じ釧路湿原の中の堤防でも、遊水地の出口付近にある横堤では被害が生じていない。横堤の基礎地盤はサンドコンパクションパイル工法で地盤改良がなされている。

サンドコンパクションパイル工法とは、底蓋のついた鋼製の筒を地盤に貫入し、その中に砂を投入して、筒を上下に振動させながら引き抜き、蓋の下の砂を締め、地盤の中に砂の柱をつくる工法である。この締

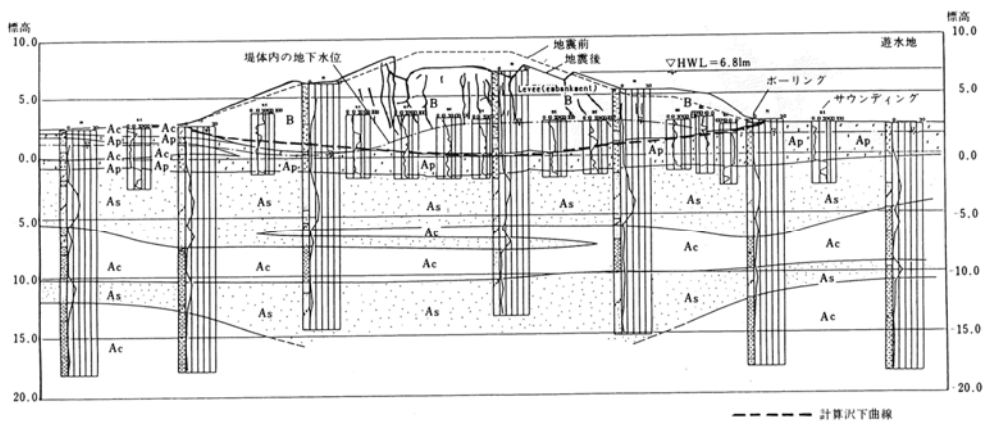


図1 釧路川遊水地堤防の被害断面



写真5 法尻のめくれ上がりの例

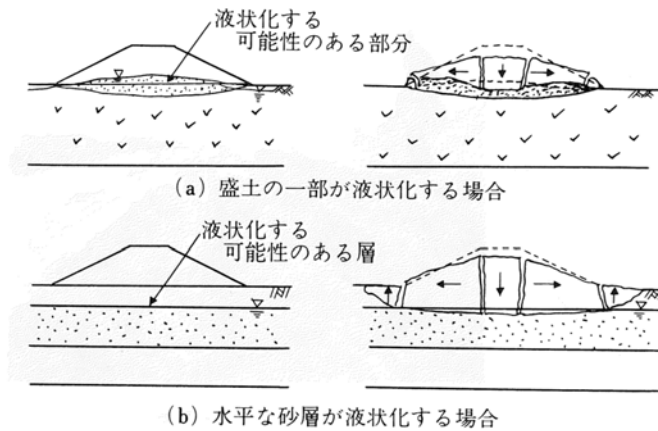


図2 液状化の発生に伴う堤防変形メカニズムの説明図

固めの過程で、砂の柱は水平方向にも押し出されるので、周辺地盤も締固められて支持力が増大する。

また、釧路港の岸壁でも、地盤改良をしたところでは被害が出ないで済んでいる。

液状化による被害を防ぐ工夫には、地盤改良をして液状化を起こさない状態にする、あるいは、たとえ地盤に液状化が起こっても構造物に被害が生じないように構造的な工夫をする、という二つの考え方がある。

液状化被害を防ぐための対策原理を表1に示す。

対策原理のうち、地盤改良による対策の近年の実績を図3に示す。締固め工法が約60%、間隙水圧消散工法が約30%を占めている。

間隙水圧消散工法とは、地盤に透水性の大きい礫などの柱をつくり、間隙水圧の上昇を抑制する工法である。締固め工法に比べて施工中の騒音や振動が少ないのが特徴であるため、都市内での工事や既設の構造物の対策に多く用いられ始めている。

構造的な工夫の代表は構造物を杭などで支持する方法である。

写真6は、十勝川の堤防法尻に用いられていた蛇籠である。大きな被害を被った区間に隣接するこの写真の

区間は無被害で済んでいる。

堤防法尻に排水機能のすぐれた蛇籠を置いたことによって、堤体内の水の滞留を防ぎ、被害を防げたものと考えられる。法尻の蛇籠は降雨に対する堤防の安定性向上にも役立つ。

過去の教訓を活かし、被害をもたらすメカニズムの理解に基づいた、合理的で安価な対策を工夫していかなければならない。

表1 液状化対策の原理

| 液状化の発生を抑制する工夫 | | 被害を軽減する工夫 |
|----------------------|----------------------------------|---|
| 土の性質の改良 | 応力・変形条件等の改良 | 構造的対策 |
| 密度の増大 固結 粒度の改良 | 拘束応力の増大 間隙水圧の抑制・消散 間隙水圧の遮断 | 杭基礎による支持 基礎の剛性の強化 浮き上がり対策としての重量増加 |
| 飽和度の低下 | せん断変形の抑制 | 地盤変位への追従のための可とう性 |

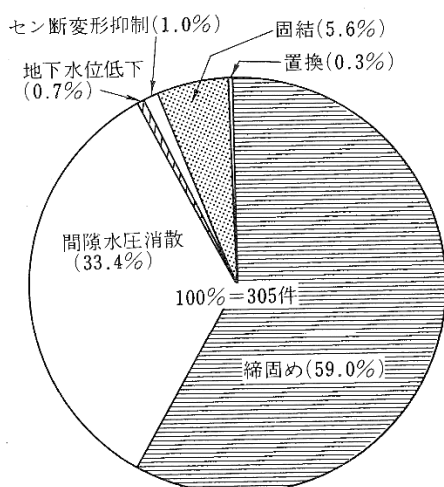


図3 液状化対策の近年の実績
(土質工学会, 「液状化対策の調査・設計から施工まで」より)



写真6 法尻の蛇籠