

# 大規模地震による堤防決壊および復旧に関するシミュレーションについて

About a Simulation about Levee breaks by a Large-scale earthquake and Restoration

水工事業本部 水工第2部 佐藤 優紀

近年、日本では東日本大震災（平成 23 年）や熊本地震（平成 28 年）等の大規模な地震災害が多発している。今後も、海溝型巨大地震や大都市直下型地震等の大規模な地震が発生した場合、広範囲の河川堤防に大きな被害をもたらすことが想定される。

このような事態が発生した際、緊急対策を適切かつ確実に実施するためには、平常時からの備えとして「大規模地震による堤防決壊および復旧シミュレーション」の検討が重要となる。

本稿では、シミュレーションの概要と復旧工法について紹介する。

## 1 はじめに

北海道では、これまで「釧路沖地震（平成 5 年）」「南西沖地震（平成 5 年）」「東方沖地震（平成 6 年）」「十勝沖地震（平成 15 年）」等の大規模地震が発生している（表 1.1、写真 1.1）。近年では日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の発生が予測されており、道東等での多大な被害が想定される。

地震発生時期が出水期である場合は、堤防機能（出水に耐えうる構造）の残存を考慮し、被災後の出水に備え、洪水に耐えるための緊急対策を早急に行う必要がある。そのため、大規模地震による堤防決壊シミュレーションは、出水期に堤防が被災したことを想定し行うことが重要である。

表 1.1 北海道における地震と災害対応日数

| 地震名<br>発生日    | 釧路沖<br>H5. 1. 15 | 南西沖<br>H5. 7. 12 | 東方沖<br>H6. 10. 4 | 十勝沖<br>H15. 9. 26 |
|---------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 対応            | 地震発生からの経過日数      |                  |                  |                   |
| 緊急災害復旧費 申請・伝達 | 7日               | 3日               | 3日               | 8日                |
| 緊急復旧工事 着工     | 12日              | 4日               | 4日               | 8日                |
| 緊急復旧工事 完了     | 69日              | 32日              | 7日               | 56日               |



写真 1.1 十勝沖地震（平成 15 年）堤防被災状況

## 2 シミュレーションにおける地震規模と被災想定

### 2.1 地震規模の設定

地震規模の設定は、地域毎に予測されている地震を参考に震源・震度・発生時期等を推定する。

北海道で想定される地震については、平成 23 年 3 月に「想定地震見直しに係る検討報告書（北海道防災会議 地震火山対策部会地震専門委員会）」が発表されている。シミュレーションではこれに基づき地震規模を設定する。

### 2.2 堤防の被災想定

設定した地震規模に基づき被災箇所を選定（河川堤防）、被災範囲、被災形態を決定する。

シミュレーションでは、過去の地震被害状況と震度との関係や被災箇所の地形・地質等の河川特性を参考に堤防の被災形態（I（被害：小）～VI（大））を決定する。また、過去の地震被災箇所の事例では旧川跡地、落掘跡が多くみられるため、この点にも留意する必要がある。

### 2.3 堤防以外の河川管理施設の被災想定

水門や樋門、排水機場等の河川管理施設について地震による被災を想定する。

樋門における被災は、門柱の損傷に伴う、ゲート開閉機能の喪失等が挙げられる。

### 2.4 周辺施設の被災状況想定

シミュレーションでは被災する河川堤防の周辺施設も大きな被害を受けていることを想定する。

周辺施設としては主に道路や橋梁等が挙げられ、被災等により通行止めの可能性のある箇所を想定し、資機材運搬のルート検討に反映する。

### 3 地震被災後の緊急対応フロー

大規模地震発生後の緊急対応フローを図 3.1 に示す。堤防決壊による復旧シミュレーションでは「対応工法の検討」「緊急復旧工事」が検討対象となる。

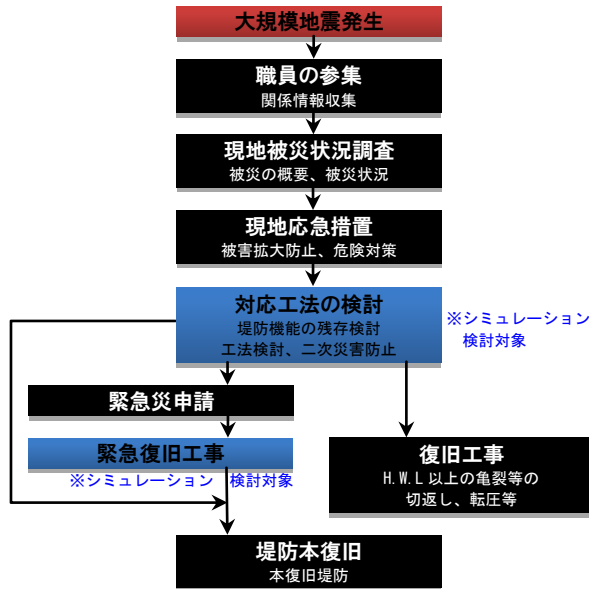


図 3.1 緊急対応フロー

### 4 緊急復旧工事

緊急復旧工事とは、治水機能を大きく喪失した堤防について仮復旧盛土および応急復旧堤防を築造するものである(図 4.1、図 4.2)。

出水期には応急復旧堤防により治水機能を確保し、非出水期に本復旧工事により従来堤防を復旧する。

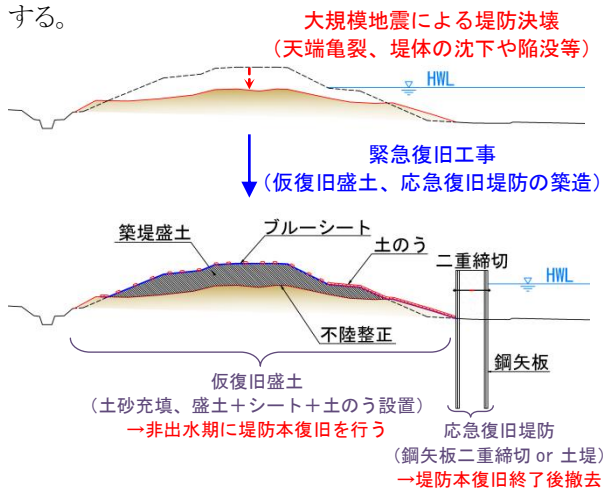


図 4.1 緊急復旧工事 概要図

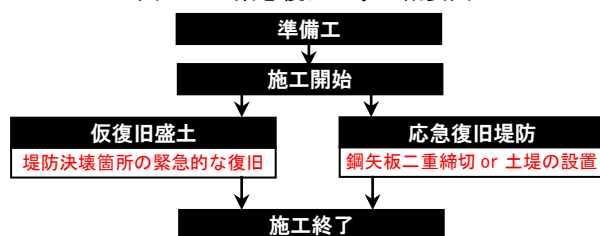


図 4.2 緊急復旧工事 施工フロー

### 4.1 準備工

緊急復旧工事に向けた準備工は、以下の項目等について検討する。

- ①被災箇所への運搬ルート  
国道及び道道から被災箇所への運搬ルート
- ②車両転回所および車両交差所(待避所)
- ③工事用取付道路
- ④運搬路骨材および敷鉄板
- ⑤作業ヤード・資材置き場の造成  
応急復旧堤防(鋼矢板二重締切)施工のための資機材置き場の設置箇所、造成等

### 4.2 仮復旧盛土

仮復旧盛土は堤防の被災形態と残存機能に応じて復旧を行うものである。出水期における各被災形態の復旧工法を表 4.1 に示す。

表 4.1 被災形態ごとの復旧工法例(出水期)

| 被災形態 | 被災状況                         | 堤防機能の残存状況                   | 仮復旧盛土<br>緊急復旧                   | 堤防本復旧<br>本復旧                    |
|------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| I    | 縦断亀裂<br>HWLより浅い              | 堤防としての機能は概ね残っている            | 部分切返し<br>張芝                     | なし(緊急復旧を本復旧とする)                 |
| II   | 縦断亀裂<br>HWLより深い              | 亀裂の幅や深さ、規模、位置を勘案して残存機能を判断する | 土砂充填<br>シート張り<br>土のう積等<br>仮締切堤※ | 部分切返し<br>護岸<br>(連節ブロック)         |
| III  | 横断亀裂<br>HWLより浅い              | 堤防としての機能は概ね残っている            | 部分切返し<br>張芝                     | なし(緊急復旧を本復旧とする)                 |
| IV   | 横断亀裂<br>HWLより深い              | 堤防としての機能は残っていない             | 土砂充填<br>シート張り<br>土のう積等<br>仮締切堤※ | 部分切返し<br>護岸<br>(連節ブロック)         |
| V    | 堤体のすべり<br>崩壊または深い縦断<br>亀裂、陥没 | 堤防としての機能は残っていない             | 盛土<br>シート張り<br>土のう積等<br>仮締切堤※   | 部分切返し<br>護岸<br>(連節ブロック)         |
| VI   | 堤体の沈下、<br>陥没、<br>はらみ出し       | 堤防としての機能は残っていない             | 盛土<br>シート張り<br>土のう積等<br>仮締切堤    | 全面切返し<br>護岸<br>(連節ブロック)<br>基礎処理 |

※HWLに達しているが被害や現地条件により、仮締切堤以外(腹付盛土等)で施工可能な場合がある

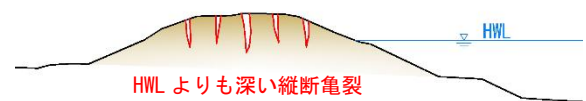


図 4.3 被災形態IIの被災想定断面図

<シート張り、土のう積について>

仮復旧盛土を覆うシート保護工は、シートを土のうで押さえる必要があり、土のう製作・設置工と同時作業となる。土のうは、設置数量が多くなる場合が多いため、緊急復旧工の開始と同時に製作を始める必要がある。

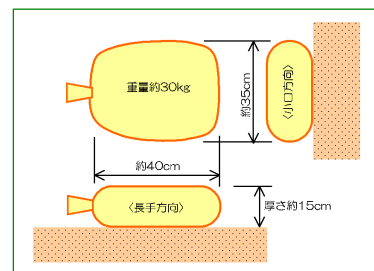


図 4.4 土のう規格例

### 4.3 応急復旧堤防の検討

#### (1) 応急復旧堤防について

応急復旧堤防は本堤防が復旧されるまでの間、本堤防の役割(洪水防御)を果たす堤防である。そのため、応急復旧堤防には、本堤防と同程度の安全度を有することが求められる。

応急復旧堤防(仮締切)の構造形式は、鋼矢板二重締切工を用いることが原則となっているが、締切の必要資材であるタイロッドの調達に一定の時間を要するという問題点がある。

このため、シミュレーションでは鋼矢板二重締切と同等の安全度を有する構造として、土堤工法についても検討を行い、最適な構造形式を決定する。

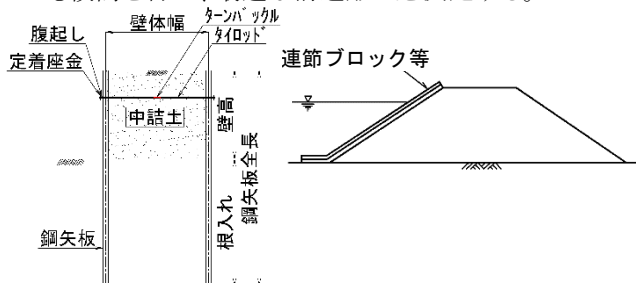


図 4.5 鋼矢板二重締切(左)土堤(右)工法断面図

#### (2) 設置条件

##### ①設計対象水位

出水期においては HWL とする。

##### ②応急復旧堤防天端高

出水期においては既設堤防高以上とする。

##### ③応急復旧堤防天端幅

河川管理施設等構造令第 21 条に定める値以上とする。鋼矢板二重締切による場合は、大河川においては 5m 程度、その他の河川においては 3m 程度以上とし、安定計算により決定する。

表 4.2 河川管理施設等構造令第 21 条に定める値

| 項 | 計画高水流量<br>(単位：1秒間につき立方メートル) | 天端幅<br>(単位：メートル) |
|---|-----------------------------|------------------|
| 1 | 500未満                       | 3                |
| 2 | 500以上<br>2,000未満            | 4                |
| 3 | 2,000以上<br>5,000未満          | 5                |
| 4 | 5,000以上<br>10,000未満         | 6                |
| 5 | 10,000以上                    | 7                |

##### ④設置位置

非出水期に行う堤防本復旧を考慮した位置(現況堤防や計画断面を考慮した位置)とする。

#### (3) 鋼矢板二重締切工法について

鋼矢板二重締切工法(図 4.5)は、鋼矢板、タイロッド、腹起し、定着座金、ターンバックル、中詰土等からなる構造物であり、現況堤防と同等の堤防機能を発揮するものである。二重締切工法は、原則として堤防の川表側に設けるものであるが(写真 4.1)、河道状況等から判断して流下能力を阻害すると判

断された際は、川裏側に設置する場合もある。

二重締切の設置位置決定後は、安定計算を行い、使用する資材の規格等を決定する。



写真 4.1 鋼矢板二重締切(川表)災害時設置事例

#### <二重締切工法の利点>

- ①出水期における原則工法であり、矢板による締切のため止水性が高い。
- ②設置範囲(壁体幅)が狭いため、川裏側に設置した場合でも、用地借地が必要ない又は借地スペースを最小限とすることができる。

#### <二重締切工法の欠点>

- ①道内における鋼矢板の備蓄量が多いが、型式や矢板長が必要鋼矢板と異なる場合が多い。また、溶接による継手を行うと時間を要する。
- ②タイロッドは道内の水防備蓄箇所等における備蓄量が少なく、道内での受注生産もできない。道外に受注生産を依頼した場合においても製作日数を要するため二重締切の施工日数が長くなる。

#### (4) 土堤工法について

土堤工法(図 4.5)は、土砂、護岸(連節ブロックや遮水シート等)からなる構造物である。土堤を仮締切とする場合は、護岸による十分な補強と川裏側への設置が必要となる。

#### <土堤工法の利点>

- ①土砂や連節ブロック等は備蓄が多いため、比較的容易に資材を入手できる。
- ②工種が少なく施工が容易である。

#### <土堤工法の欠点>

- ①流下能力等から川裏側への設置が基本となるため、借地スペースが多くなる。また、家屋等の支障物件がある場合、設置が困難となる。
- ②基礎地盤が軟弱な地域では、盛土を短時間で施工することが難しい。

#### (5) 工法比較について

検討した「鋼矢板二重締切工法」と「土堤工法」について、①現場条件(支障物件、河積阻害、用地)、②必要資材(資材の必要量と備蓄量、不足量)、③施工日数、④出水が早期に想定される場合の対応等の観点から比較検討を行い、応急復旧堤防として現地状況に合った最適な工法を決定する。



## 5 出水期における対応

### 5.1 決壊から1~2週間後に台風の北海道上陸を想定した検討

シミュレーションでは出水期における対応として、堤防決壊から1~2週間後に台風が北海道に上陸することを想定し、緊急復旧工事が台風上陸前に完了するか否か、工程を算出し検討を行う(図 5.1)。

検討結果より、決壊から台風上陸までに緊急復旧工事完了が不可能であると判断された場合は、緊急復旧工事以外で出水に向けた対応を検討する。

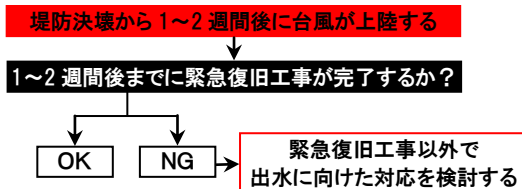


図 5.1 出水期(台風上陸)における対応フロー

<例:出水に向けた目標設定>

決壊から1~2週間後の台風上陸により洪水が発生することを想定し、外水位が堤内に氾濫することを防ぐため、決壊から台風上陸までに大型土のう設置を行うことを目標とする。

<例:大型土のう設置(被災形態Ⅱ)の工法概要>

「大型土のう+ブルーシート+押え盛土」により堤防の高さを緊急的に確保する(図 5.2、図 5.3)。

表 5.1 大型土のう設置の施工概要一覧表

| 施工順序 | 施工内容    | 備 考                               |
|------|---------|-----------------------------------|
| 事前調査 |         | 事前調査で沈下の幅・深さ等を確認する。               |
| 1    | 大型土のう設置 | 大型土のうを現地発生材により作成し、HWL以上の高さまで設置する。 |
| 2    | シート張り   | 大型土のうをシートにて保護する。                  |
| 3    | 押え盛土    | 大型土のうの背面に押え盛土を行う。                 |

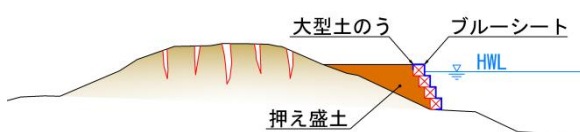


図 5.2 施工概念図(被災形態Ⅱ)

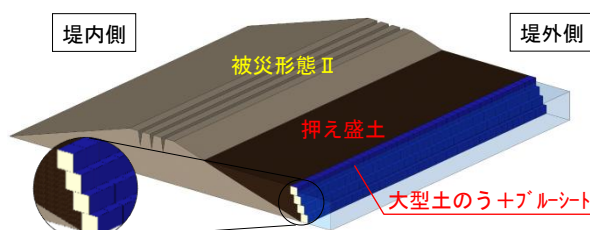


図 5.3 施工イメージ図(被災形態Ⅱ)



写真 5.1 大型土のう積み 設置例

### 5.2 樋門および排水機場機能喪失時の対応

樋門が併設している排水機場について、樋門のゲート損傷に伴い排水機能が喪失した場合の対応について一例を示す。

樋門の復旧が完了するまで、出水時においては排水ポンプ車による排水が考えられる(写真 5.2)。

排水ポンプ車による排水時の条件を以下に示す。

- ①排水ポンプ車(水中ポンプ式)は、ホース延長が60m程度のため、取水から排水までの距離が制限される。
- ②使用する機械(排水ポンプ車等)は、北海道開発局で保有しているものとする。



写真 5.2 排水ポンプ車と排水状況事例

## 6 シミュレーションにより抽出された課題

大規模地震による堤防決壊および復旧シミュレーションより抽出された課題を以下に列記する。

- ①鋼矢板二重締切の設置を想定した場合、被災が広範囲に及ぶと鋼矢板やタイロッドで備蓄数が不足する。
- ②北海道開発局によるタイ材(タイロッド等)の備蓄は錆びにくいタイワイヤーが多いが、施工経験を有する業者が少ない。
- ③堤防被災後の台風等による出水に備えた早急な対応策および被害最小化方法の検討。
- ④資機材・人材の広域的なネットワークの構築、連携。

## 7 まとめ

堤防決壊シミュレーションは、緊急対応時の行動として、北海道開発局・建設コンサルタント・施工業者間の意識の共有、災害復旧の技術伝承、施工現実性・課題把握等に非常に効果的な訓練である。このため、今後も継続して実施し、改善・向上していくことが重要である。

[参考文献]

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局治水課 「大規模地震発生時の緊急対策技術資料(案)」/H29.3
- 2) 北海道開発局 「河川関係震後対応の手引き」/H23.7
- 3) 日本河川協会 「解説・河川管理施設等構造令」/H12.1
- 4) 国土技術研究センター 「鋼矢板二重締切設計マニュアル」/H13.5
- 5) 北海道開発局建設部河川工事課 「河川工事設計施工要領 第6編 仮設工等」/H30.3