

河川堤防の被災状況に応じた震後対応の考え方

上田和也・谷本俊輔・石原雅規・佐々木哲也

1. はじめに

河川堤防には、流水が河川外に流出することを防止する役割（機能）が求められている。この機能を確保するためには、①常時の健全性、②耐侵食性能、③耐浸透性能、④耐震性能、⑤その他の作用（波浪等）に対する安全性、これら全ての安全性能を満足する必要がある。これらの内、耐震性能については、地震により堤防が沈下したとしても、そのときの堤防高さがある河川水位を下回らないことの照査がなされる。そのため、河川堤防の耐震対策は、沈下量の抑制に主眼を置いた震前対策（液状化対策）が行われている。

地震により堤防に生じる変状は、沈下のほか、堤体の亀裂やゆるみも考えられるが、これらに対しては地震後の応急復旧を行うことが主な対応手段となっている。河川堤防の震後対応では、シート張りや亀裂部への土砂充填、亀裂部を掘削した上で再び盛土し直す「切り返し」、基礎地盤処理などの対応が、応急措置、本復旧の二段階にわたって実施される。このとき、各復旧段階での具体的な対応範囲や仕様等を決定していく上では、被災箇所数や被災延長、変状の度合い、出水期までの期間など様々な要因を考慮する必要がある。

しかし、地震後に生じる堤体の亀裂やゆるみが堤防の性能に及ぼす影響については明らかにならず、知見が少ないのが現状である。

そこで、本報では、地震後の堤体の「亀裂」や「ゆるみ」などの変状が堤防性能に及ぼす影響について、多様な変状発生パターンを考慮した一連の模型実験による検討を行い、これらの結果から得た知見をもとに、河川堤防の被災状況に応じた震後対応の考え方について報告する。

2. 堤防性能への影響に関する実験の概要

写真-1および2は、平成23年東北地方太平洋沖地震における、地震による堤防の典型的な変状パ



写真-1 堤防被災事例（堤体砂質土）¹⁾



写真-2 堤防被災事例（堤体粘性土）¹⁾

ターンである。写真-1は、砂質土を主体とする堤体下部に液状化によって最大3m程度の沈下が生じた事例であり、天端付近には広い範囲で縦断亀裂が多数発生している。写真-2は、基礎地盤の液状化による被災事例であり、粘性土を主体とする堤体の天端に大きく開口した縦断亀裂が一箇所に集中している。このように地震後の堤体の変状発生形態は様々であるが、それには堤体土質や基礎地盤の条件が影響している可能性が考えられる。

そこで、本研究では、表-1に示す大型模型実験や表-2に示す遠心模型実験による様々な条件における浸透実験を行った。個々の実験に関する方法や結果等の詳細は文献^{2)~5)}を参照されたい。

大型模型実験は、亀裂の有無および発生位置、方向を4パターン変化させた堤防に対し、重力場で浸透実験を行ったものである。この亀裂は人為的に作製したものであり、亀裂の開口幅はいずれも12mmである。模型概要の例は図-1に示す。

遠心模型実験（本雑誌・土木用語解説参照）は、

4. 堤防性能に及ぼす縦断亀裂の影響

縦断亀裂が生じた堤防の例として、複数の縦断亀裂を設けたCase4 (図-1) においては、亀裂の無いCase1と比べて堤体内水位の上昇速度に差異が見られず、浸透破壊やすべり破壊の発生も確認されなかった。ただし、堤体内への浸透が進むにつれて、写真-5に示すように、天端および川裏のり面に当初設けた亀裂が閉塞し、天端に新たな亀裂が発生し、土塊が移動する様子が確認された。

遠心模型実験においても加振による著しい縦断亀裂が生じたケースが複数存在する (CaseR1-2、R1-4、R2-2)。例として、図-4に加震前の健全な堤防CaseR2-1と加振後に縦断亀裂が発生したCaseR2-2の川表水位と漏水量の時刻歴を示すが、加振前後の漏水量の急増は確認されなかった。また、浸透破壊やすべり破壊も確認されなかった。

このように、本研究の範囲では、横断方向に連続しない縦断亀裂によって致命的な堤防機能の喪失に至る事象は確認されなかった。ただし、大型模型実験で複数の縦断亀裂を設けた実験ケース (写真-5、Case4) のように、河川水の浸透過程において新たな縦断亀裂が進展する場合があることが確認されているため、注意が必要である。

また、本研究では実験等による確認を行っていないが、堤体に生じた縦断亀裂が雨水浸透を促進する可能性も考えられる。したがって、応急措置の段階で亀裂発生範囲の確認および切り返しを行うことで雨水の浸透や亀裂の進展を防止することが望ましい。また、地震発生時期と出水期間の兼ね合いからこれらの対応が難しい場合であっても、亀裂部への土砂充填およびシート張り等の応急措置は亀裂の進展防止に有効である。

5. 堤防性能に及ぼす堤体のゆるみの影響

地震後の堤体にはゆるみが発生する可能性がある。「ゆるみ」が意味する物理現象には応力低下と密度低下の2種類が考えられるが、本研究では密度低下に着目し、模型実験で計測を行った。応力低下も堤体の強度低下につながる可能性は否定できないが、精度よく計測することが難しいこと、実際には降雨等による飽和度の増減や中小地震の繰返し履歴による応力再配分などの影響もあるため、本研究では計測を行っていない。

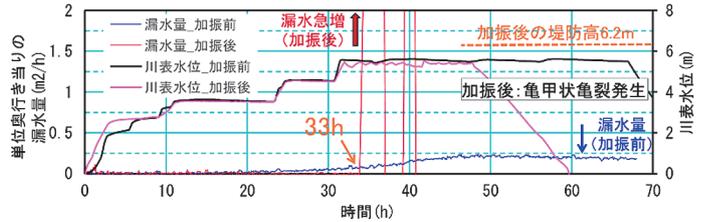


図-3 単位奥行当たりの漏水量と川表水位の時刻歴 (堤体液状化: CaseR3-2)

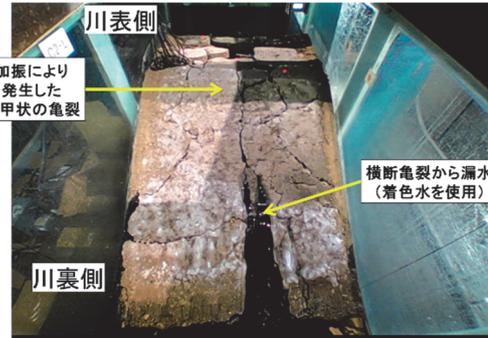


写真-4 実験中の堤体漏水状況 (堤体液状化: CaseR3-2)



写真-5 元の亀裂と新たに発生した亀裂の状況 (Case4)

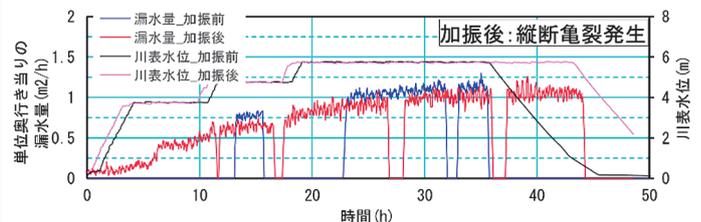


図-4 単位奥行当たりの漏水量と川表水位の時刻歴 (縦断亀裂: CaseR2-1 および CaseR2-2)

著しい亀裂が生じた例として、4で述べた遠心実験の加振後に縦断亀裂が発生したCaseR2-2の状況を写真-6に示す。この堤体と健全な堤体 (CaseR2-1) において、小型コアカッターによる密度計測を行った結果、著しい亀裂が生じたケースでは、健全な堤体ケースと比較して全体的に密度が低下しており、その低下量は最大で9%程度であった (図-5)。また、加振による変位が生じたことで密度低下が生じたのり尻部を除けば、堤体の上部に比べて下部は比較的密度低下が軽微である傾向が確認された。3で述べたように、横断方向に連続した亀裂が形成されたケースを除けば、漏水量の増加、浸透破壊、すべり破壊などの堤防

機能の喪失を示す事象は確認されなかった。

なお、石原ら⁶⁾は全国各地の河川土工の工事箇所等から、使用した盛土材料のデータに基づき、締固め度（密度）と透水係数とせん断強度の関係および安全率の関係を定量的に示しており、例えば強度定数の内部摩擦角の変化量は土質区分による違いは少なく、Dc85%からDc95%で6度程度の増加を確認するなど、締固め管理の意義を説明している。これを逆にとらえると、地震による堤体の密度低下は、透水係数の増加およびせん断強度の低下をもたらす要因となる。本研究における一連の浸透実験からは密度低下による直接的な機能低下が認められなかったものの、長期的には種々の作用に対する堤防の安全余裕を低下させる可能性が考えられる。したがって、地震後には堤体のゆるみの発生範囲を確認し、その範囲を対象とした切り返しを行うことが望ましいと考えられる。なお、地震後の堤体のゆるみ範囲の効果的な確認方法については、今後検討が必要である。

6. まとめ

本報では、地震後の堤体の「亀裂」や「ゆるみ」などの変状が堤防性能に及ぼす影響を模型試験により検討し、河川堤防の被災状況に応じた震後対応の考え方について、以下の知見が得られた。

- ・横断方向に連続する亀裂が生じた場合、堤防に致命的な影響を及ぼす可能性がある。亀裂箇所からの河川水浸透を抑制するために、高い優先度を持って震後対応を実施する必要がある。
- ・縦断亀裂が生じた場合、堤防に対する河川水浸透による致命的な影響は確認されなかったが、雨水浸透による亀裂進展を抑制するためにも、復旧にあたっては切り返しを行うことが望ましい。
- ・堤体にゆるみが生じた場合、堤防性能の低下が懸念されるため、該当範囲の切り返しが望ましい。



写真-6 実験後の堤体の状況（縦断亀裂：CaseR2-2）

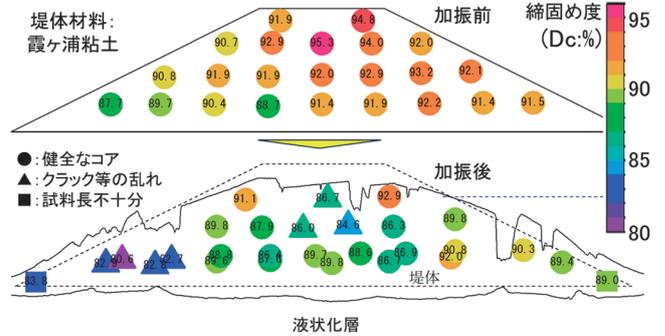


図-5 堤体締固め度分布の比較（縦断亀裂：CaseR2-2）

地震動による亀裂の発生形態やその後の耐浸透挙動は再現性の低い現象であり、さらなる知見の蓄積が必要となるものの、本研究による知見が当面の河川管理における一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：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、土木研究所資料 第4202号 2011.7
- 2) 地蔵智樹ら：川表に縦断亀裂を有する河川堤防の浸透性に関する模型実験、平成29年度土木学会全国大会年次学術講演会、III-106、2017
- 3) 大重綱平ら：堤防の浸透特性に及ぼす地震後の亀裂および応急措置の影響に関する遠心模型実験、令和3年度土木学会全国大会年次学術講演会、III-117、2021
- 4) 青柳悠大ら：堤体液状化によって生じた亀裂や緩みが堤防の浸透特性に及ぼす影響の検討、令和4年度土木学会全国大会年次学術講演会、III-265、2022
- 5) 上田和也ら：堤防の浸透特性に及ぼす地震後の横断亀裂の影響に関する遠心模型実験、令和4年度土木学会全国大会年次学術講演会、III-266、2022
- 6) 石原雅規ら：河川堤防の締固め管理に関する現状と取組み、基礎工Vol.50、No.4、2022

上田和也



土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム交流研究員
UEDA Kazuya

谷本俊輔



土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム主任研究員
TANIMOTO Shunsuke

石原雅規



土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員（特命事項担当）
ISHIHARA Masanori

佐々木哲也



土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム上席研究員
SASAKI Tetsuya