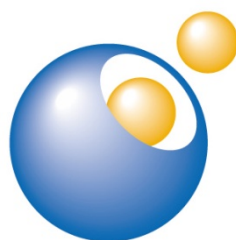


**平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた
豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題
- 地盤工学からの提言 -**



公益社団法人 **地盤工学会**

2019 年 5 月

公益社団法人 地盤工学会

平成 30 年度 会長特別委員会

東京都文京区千石四丁目 38 番 2 号

TEL: 03-3946-8677

FAX: 03-396-8678

jgs@jiban.or.jp

まえがき

2018年6月28日から7月8日にかけて、気象庁から平成30年7月豪雨と命名された集中豪雨が日本全域を襲い、中部を含む西日本を中心とした広域かつ甚大な豪雨災害が発生しました。公益社団法人地盤工学会としては、2018年7月7日に災害連絡会議の各支部の地方委員を通じて情報収集をはかるとともに、土木学会地盤工学委員会と密に情報交換を行う体制を整えました。折しも、土木学会とは、本豪雨災害が発生する半月前の2018年6月15日に、毎年のように頻発している災害に備えての意見交換を行い、お互いの調査活動や様々な諸手続に至るまでのあらゆるレベルの無駄排除を目的として、発災時の密な連携についての確認をしたばかりでありました。その直後の2018年6月18日に大阪北部を震源とする地震が発生し、関西支部を中心とした調査活動にあたって、土木学会とのスムーズな連携体制の構築に自信を深めつつあった矢先の豪雨発生でした。

平成30年7月豪雨についてですが、地盤工学会としては、最初の緊急報告会を2018年7月25日に開催しました。発災時には第53回地盤工学研究発表会(7月24日～26日)の開催をすぐ控えており、担当の四国支部は広く甚大な被災地を抱えていることから開催自体を心配いたしましたでしたが、幸い開催地の高松市の被害は大きくはなく、予定通り開催できることが確認できました。そのため、7月10日には、研究発表会実行委員会に会期中の緊急報告会の開催について打診をし、開催を承諾していただきました。各地区での調査活動が十分に把握できていない状況ではありましたが、翌7月11日には各支部の災害連絡委員を通じて各支部からの報告をお願いしました。大会スケジュールの関係上、その依頼時点で緊急報告会に確保できた時間は1時間程度でしたが、7月13日には予定していた特別講演会の中止を実行委員会から提案していただき、緊急報告会を3時間に拡大して開催できることになりました。7月25日の緊急報告会は、大ホールが満員となる盛況で、会員はもとより、取材に訪れるマスコミの数の多さからも地盤災害について社会的な関心が非常に高いことを再確認いたしました。報告会では、中部、関西、岡山、広島、四国、九州の各地区からの緊急調査報告がなされるとともに、地盤品質判定士会による調査報告の他、斜面、堤防、ため池という切り口によって、専門家の方々から話題提供をいただきました。その報告会の締めくくりとして、地盤工学会として会長特別委員会を設置し、各地区での調査結果を基にして地盤工学の課題を整理し、今後に備えるための提言を年度内にまとめる旨の宣言をいたしました。

その会長特別委員会(委員長:木村 亮副会長)ですが、夏の間各地区において実施していただいた精力的かつ献身的な調査活動の結果を受けて、2018年9月12日に都内において、第2回の報告会を開催いたしました。各地区からの最新の調査結果を報告していただくとともに、委員会内に斜面、堤防、ため池の3つのWGを設置することを紹介し、それぞれのWGの活動方針を示しました。なお、斜面WGと堤防WGのそれぞれのリーダーは、土木学会地盤工学委員会に設置されています斜面工学研究小委員会と堤防研究小委員会のそれぞれの委員長にお願いし、WGの活動主体もそれぞれの委員会の委員が中心となっていただきました。まさに、土木学会との協働です。また、調査自体は各支部の活動の中で実施されていることから、調査結果の報告については各支部において報告書の作成ならびに報告会の開催をしていただくこととして、本委員会としては、平成30年7月豪雨を踏まえての地盤工学の課題の抽出と、今後に向けての提言をまとめることに注力することにいたしました。

このたびの災害は水害と土砂災害が主であり、かつ、極めて広域に及ぶことを勘案し、初動調査については、各支部・各地区において、土木学会をはじめとする関係学会との合同調査や大学等の研究グル

ープの調査など、現地で最も対応しやすい方法をとっていただくこととしました。前述した土木学会との意見交換を踏まえ、地盤工学会独自の調査団結成という選択は全く考えず、本部も支部もなく、土木も地盤もなく、地盤工学会のそれぞれの会員が専門性を活かして、各地区の事情に従い調査していただくことを第一といたしました。ただし、理想はともかく、実際の調査活動や報告会等の運営については、各支部、各地域において、資金分担などをはじめとした種々の課題があったことは十分に聞き及んでおり、その点はお詫びいたしますとともに課題の解決については今後も取り組んでまいりたいと思います。

ここで、地盤工学会が過去に公表してまいりました提言について触れさせていただきます。地盤工学会の歴史の中で、地震や豪雨災害が発生する度に災害調査報告書が刊行され、その中で数々の提言がなされてきました。しかし、学会として災害全般についての提言をまとめた形で公表したのは10年前に遡ります。その2009年8月に公開されました「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために―地盤工学からの提言―」は、龍岡文夫委員長の下、日本の各々の分野・組織体のオーソリティーである技術者、研究者に集まっていたき、地震と豪雨・洪水といった面から地盤工学の手法を駆使しながら総合的に地盤災害を取り扱ったものです。実はこの説明は、発刊時の浅岡 顕会長による文章を引用したのですが、まさにその通りであり、10年経った現在においても全く色褪せることのない素晴らしい提言書があります。この2009年提言書の発刊から1年数ヶ月後の2011年3月11日に、あの震災が発生しました。その4ヶ月後には、「地震時における地盤災害の課題と対策 2011年東日本大震災の教訓と提言(第一次)」が公開され、翌年の2012年6月にはさらに内容を充実させた「提言(第二次)」が公開され、巨大地震による地盤災害からの復旧・復興に大きく貢献しました。2009年提言書は地震と豪雨に関しての重要な知見が数多く示されていましたが、2012年提言書においては東日本大震災を経験することにより、実際に発生した地盤災害の事例を具体的に示すことによって、地震災害に関して極めて具体性かつ現場実務者の臨場感がある提言として2009年提言とは異なった形の優れた提言書としてまとめられました。

さて、今回公開する提言書は、平成30年7月豪雨を基本とし、豪雨による地盤災害の具体的事例を踏まえて、斜面、堤防、ため池についての地盤工学的課題の抽出と提言を行ったものです。2009年提言書が公開された以降の10年間においても、日本各地で豪雨による地盤災害が頻発してきましたので、それらの知見も多く加えて豪雨による地盤災害に焦点をあてて新たな形で提言としてまとめたものです。また、2009年提言書で示した地盤工学全般の提言につきましては、平成30年7月豪雨を踏まえて、特に3つのWGの活動から浮かび上がりました課題などを踏まえて、この10年間における達成度評価と達成度を上げるための方策など、現時点での気づきを加えて更新をさせていただきました。加えて、地盤工学会としてはこの提言書の内容を学会内のみならず、関係する機関や団体に直接かつしっかりお伝えすることもさせていただきます。自然現象としての豪雨をなくすということは地盤工学的には困難かもしれませんが、如何にその災害をなくすか、また軽減するかということが重要だと考えております。今回の提言が、今後の豪雨による地盤災害に対して、行政から住民まで様々な立場の人にとって、防災・減災の一助になりますよう祈念しております。

最後になりましたが、今回の会長特別委員会では多くの会員また専門家の方にたいへんご尽力をいただきました。改めまして委員の皆様に対し、心よりお礼申し上げます。

2019年5月
公益社団法人 地盤工学会
会長 大谷 順

平成 30 年度会長特別委員会

「平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題」

【提言 WG】(※WG 長)

(JGS : 地盤工学会, JSCE : 土木学会)

委員会役職	氏名	所属	関連委員会
委員長	木村 亮	京都大学	JGS 副会長, JGS 災害連絡会議座長
副委員長	小高猛司	名城大学	JGS 総務部長, JGS 災害連絡会議幹事長
幹事	岸田 潔	京都大学	JGS 総務担当理事
幹事 (※)	中野正樹	名古屋大学	JGS 調査・研究部長, JGS 災害担当理事
幹事	勝見 武	京都大学	JSCE 地盤工学委員会委員長
幹事	石井裕泰	大成建設	JSCE 地盤工学委員会幹事長
アドバイザー	大谷 順	熊本大学	JGS 会長
アドバイザー	菊池喜昭	東京理科大学	JGS 副会長

【斜面 WG】(※WG 長)

氏名	所属	関連委員会・推薦・調査団
鈴木素之(※)	山口大学	JGS 専門委員・JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会委員長
上野将司	応用地質	JGS 専門委員・JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
宇次原雅之	日特建設	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
伊藤和也	東京都市大学	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
吉川修一	八千代エンジニアリング	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
後藤 聡	山梨大学	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
稲垣秀輝	環境地質	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
岩佐直人	日鐵住金建材	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
石田幸二	和歌山航測	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
中野裕司	エコサイクル総合研究所/中野緑化工技術研究所	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
北爪貴史	東電設計	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
美馬健二	太田ジオリサーチ	JSCE 地盤工学委員会斜面工学研究小委員会
森脇武夫	広島工業大学	斜面 WG 長推薦 (広島担当)
太田岳洋	山口大学	斜面 WG 長推薦 (山口担当)
佐藤丈晴	岡山理科大学	斜面 WG 長推薦 (岡山担当)
福井謙三	基礎地盤コンサルタンツ	斜面 WG 長推薦
沢田和秀	岐阜大学	中部調査団長
芥川真一	神戸大学	関西調査団長
鏡原聖史	ダイヤコンサルタント	関西調査団幹事長
珠玖隆行	岡山大学	岡山調査団
土田 孝	広島大学	広島調査団長
加納誠治	高専機構	広島調査団
橋本涼太	広島大学	広島調査団
森伸一郎	愛媛大学	四国調査団
石川達也	北海道大学	北海道支部推薦
古谷 元	富山県立大学	北陸支部推薦
笠間清伸	東京工業大学	九州支部推薦
酒匂一成	鹿児島大学	九州支部推薦

【堤防WG】(※WG長)

氏名	所属	関連委員会・推薦・調査団
前田健一(※)	名古屋工業大学	JGS 理事・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会委員長
杉井俊夫	中部大学	JGS 専門委員・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
岡村未対	愛媛大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会前委員長
佐々木哲也	土木研究所	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会副委員長
石田正利	太陽工業	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会幹事長
竹下祐二	岡山大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
森 啓年	山口大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
石原雅規	土木研究所	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
新清 晃	応用地質	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
李 圭太	日本工営	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
二瓶泰雄	東京理科大学	JSCE 水工学委員会調査団
内田龍彦	広島大学	JSCE 水工学委員会調査団
赤松良久	山口大学	JSCE 水工学委員会調査団
肥後陽介	京都大学	関西調査団・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
西村伸一	岡山大学	岡山調査団長
西村 聡	北海道大学	北海道支部推薦・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
川尻峻三	北見工業大学	北海道支部推薦・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
大塚 悟	長岡技術科学大学	北陸支部推薦
村上 哲	福岡大学	九州支部推薦

【ため池WG】(※WG長)

氏名	所属	関連委員会・推薦・調査団
毛利栄征(※)	茨城大学	JGS 監事
森 洋	弘前大学	ため池 WG 長推薦
岡島賢治	三重大学	ため池 WG 長推薦
野村英雄	基礎地盤コンサルタンツ	ため池 WG 長推薦
中井健太郎	名古屋大学	中部調査団幹事長
藤澤和謙	京都大学	関西調査団
西村伸一	岡山大学	岡山調査団長
柴田俊文	岡山大学	岡山調査団
原 忠	高知大学	四国調査団
小林範之	愛媛大学	四国調査団
神山 惇	宮崎大学	山口調査団
辻 修	帯広畜産大学	北海道支部推薦
酒井俊典	三重大学	中部支部推薦
石蔵良平	九州大学	九州支部推薦
小高猛司	名城大学	JGS 災害連絡会議幹事長

目 次

まえがき	1
平成 30 年度会長特別委員会委員	3
1. はじめに	6
2. 平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題 - 地盤工学からの提言 -	7
2.1 2009 年提言書の「全体に共通の提言」に対する達成度について	7
提言 1.1 ～1.11	
2.2 斜面の被害	14
はじめに—斜面被害の概要	
提言 2.1～2.14	
2.3 河川堤防の被害	52
はじめに—河川堤防被害の概要	
提言 3.1～3.9	
2.4 ため池の被害	78
はじめに—ため池被害の概要	
提言 4.1～4.7	
3. 参考となる資料	120
3.1 斜面の被害	
3.2 河川堤防の被害	
3.3 ため池の被害	

1. はじめに

地盤工学会が地盤災害全般について公表した最初の提言は、2009年8月の「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために - 地盤工学からの提言 -」である。この提言書（以下、「2009年提言書」と呼ぶ）は、2007年度会長特別委員会（龍岡文夫委員長）が、地震と豪雨・洪水といった面から地盤工学の手法を駆使しながら総合的に地盤災害を取り扱い、とりまとめられたものである。2009年提言書の第I部「地盤工学からの提言」では、まず当時の提言の社会的・歴史的背景を示し、地盤工学会の社会的活動としての提言の意義を述べている。そして、1. 全体に共通する提言（9提言）、2. 治水・利水施設（15提言）、3. 切土・盛土および自然斜面（28提言）、4. その他社会基盤施設等に関する提言（49提言）を示している。東日本大震災が発生する前から議論され、まとめられた点でも、非常に価値の高い提言である。その中で発信された内容は普遍的なものであり、現在に至るまで地盤防災分野の研究・技術開発の進展に寄与してきている。

今回、公開する提言書は、平成30年7月豪雨における地盤災害に対し、各支部・各地区で実施された土木学会や関連他学協会との協働による災害調査に基づき、斜面、河川堤防、ため池の3つの地盤構造物を取り上げて、得られた教訓や今後の地盤工学的な課題を抽出して提言を取りまとめたものである。この取りまとめにあたり、斜面、河川堤防、ため池の3つのWGを設置し、2009年提言の公開から今に至る10年間を顧みて、それぞれの地盤構造物に対して2009年に提言した内容がどこまで達成できているのかを各WGで点検し、さらに提言の達成を加速させるための方策も示した。

各WGの提言の構成は、2012年6月に発信された「地震時における地盤災害の課題と対策 2011年東日本大震災の教訓と提言（第二次）」を基本的に踏襲している。その理由は、平成30年7月豪雨をはじめ、この10年間で数多くの豪雨地盤災害が起こっており、今回の提言に至る地盤災害の詳細を示すべきとの考えからである。各提言の項目は、箱書きと解説からなる。箱書きについては、提言番号、提言タイトル、（時間スケール・対象者）、提言本文としている。時間スケールは、短期（緊急であり、できるだけ早く対応すべき課題）・長期（今後5年程度の時間スケールで対応すべき課題）の大きく2つに分け、提言の対象者は、社会全体（地盤工学と建設工学に携わる技術者・研究者・教育者をこえて、行政関係者、関与度が高い一般市民、マスコミ等の一般社会を対象）・専門家（地盤工学会会員および一般の建設工学に携わる技術者・研究者・教育者）の2つとした。一方、解説については、(1)被害と教訓、(2)従来の経緯、(3)これまでの対応、(4)今後必要な地盤工学分野での対応策、参考文献・参考資料としている。

なお、斜面、河川堤防、ため池の災害はそれぞれ、社会の認知度、従来の経緯、これまでの対応、研究進捗などが異なっていることから、提言の前に、地盤構造物の災害の概要を示し、2009年度提言の達成度の評価を整理し、そして2019年提言の策定方針を示している。

2. 平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題 - 地盤工学からの提言 -

2.1 2009 年提言書の「全体に共通の提言」に対する達成度

2009 年提言書の 1. 全体に共通する提言（9 提言）に対し、対象を斜面，河川堤防，ため池として，提言の公開から今に至る 10 年間の学会・社会の取組みを顧みて，2009 年に提言した内容がどこまで達成できているのか，また提言を達成するため今後行うべき事項をまとめた．さらに新たな提言を 2 つ（提言 1.10, 1.11）追加し，解説を加えた．

提言 1.1 地盤災害の重要性の認識

自然現象である地震と豪雨を誘因とする地盤災害は古くから多数あったが，地盤災害が社会に与える影響は近年ますます重要になっている．この事実は，地盤工学の専門家とともに社会全体が認識する必要がある．地盤工学の専門家とその全国組織である地盤工学会はそのために努力する必要がある．

昨今の自然災害の甚大化や社会の情報化によって，地盤災害の情報も多数，社会に発信されるようになり，社会全体において，地盤災害が社会に与える影響についての認識が飛躍的に進んでいる．地盤工学会もその一端を担っており，今回の平成 30 年 7 月豪雨災害に対し，災害連絡会議と当該支部が早期に連絡を取り合い，また土木学会をはじめた学協会との連携を図り，調査団を立ち上げ，調査，緊急報告会を開催した．

現在高まっている地盤災害についての社会の認識度を維持することは，今後も非常に重要である．地盤工学会は，行政などと協働して，社会の認識度を維持し，さらには高めてゆくための具体的な方策を示し，実践してゆく必要がある．その中で，自然災害の場合，設計外力を一律に定めることは難しいこと，しかし想定された設計外力によって対策が決定されることを，社会全体が認識できるようになるための方策も議論する必要もある．また，災害が起こった場合，地盤工学会としての災害に対する見解を迅速に公表することも重要である．緊急報告会後の継続的な研究・対応，すなわち報告会后，事後研究を進める体制づくり，事後研究とりまとめと事後報告会の開催，提言などの一連の活動方針を確立する必要もある．

提言 1.2 既存の社会基盤施設，住宅・建物および自然斜面・地盤の地盤災害に対する耐災診断と耐災補強

既存の様々な旧技術で建設され維持管理されてきた社会基盤施設，住宅・建物および社会に係る自然斜面・地盤の災害に対する耐災診断と耐災補強を，必要に応じて実施すべきである．また，その実施が容易になる条件をできるだけ整えるべきである．

斜面では，安定性評価，施設・構造物の点検などが進み，道路防災点検，トンネル点検は，自治体を

含め、実施率が高くなっている。また、河川堤防の耐浸透及び耐震照査、対策は着実に進んでいる。管理者の定期的な診断等は選択と集中により、全数ではないものの、着実に行われている。ため池については、全国のため池の一斉点検（受益面積 2ha 以上のため池、約 96,000 箇所）が実施され、豪雨と地震に対する安全性の検証が進み、各自治体では改修に向けた優先順位の検討から耐災補強へと展開してきている。

今後の詳細な耐災診断については、斜面、堤防、ため池など土構造物の数は膨大であることから、地盤工学会主導のもと、行政・技術者・研究者が協働して、順位付けを効率的に行うための基準を作成する必要がある。その際、研究者・技術者は、豪雨に対する構造物の詳細点検箇所・安全性照査箇所の絞り込みができるよう研究・技術を発展させること、さらに耐用年数、維持管理を評価できる技術を開発することが望まれる。耐災補強について、地盤工学会は、想定を超える外力も対象とする研究を進め、社会実装すべく設計法を行政に提案してゆくことを検討する必要がある。また、耐災診断、耐災補強は、費用の面で自治体・個人への負担が大きくなることから、地盤工学会は、耐災診断、耐災補強の重要性と費用対効果についてとりまとめ、公的資金補助など、行政へ提言してゆくべきである。

提言 1.3 地盤災害を受けた土構造物の本格復旧における強化復旧

地震や豪雨・洪水等で被災して機能を失った土構造物は、できるだけ早急な機能の復旧とともに、必要に応じて構造的に強化して本格復旧することに努める必要がある。

斜面では、特に地震による盛土崩壊の原因が解明され、それを防ぐ復旧工（たとえば排水工の強化）の実施が増えてきたが、自然斜面や豪雨災害においては原状復旧がほとんどである。堤防では、決壊箇所の崩壊メカニズムを考慮して、必要な復旧対策を実施され、再度災害防止のための改良復旧が実施されている。ため池は、強化復旧に適用できる技術は既に開発が進んでいるものの、被災したため池の復旧は、原則的に機能復旧である。斜面、堤防、ため池の土構造物に共通して、激甚災害指定は「原状復旧」が基本であるが、例えば堤防においては、災害関連として河道断面を確保するための掘削などの改良復旧も実施されており、今後の堤防のあり方などの計画も含め適切な工法の選定手法について見直しが必要である。

そこで地盤工学会は、技術者・研究者が、被災の経緯やメカニズムを踏まえ、より効果的かつ経済的な工法の技術開発、強化復旧の優位性を研究することを支援し、行政・技術者・研究者で議論する場を設け、激甚災害指定などの公的資金において強化復旧まで実施するよう法整備も含めた要請をしてゆくべきである。

提言 1.4 地震と豪雨・洪水による地盤災害の総合的対策

地震と豪雨・洪水による地盤災害に効果的に対処するためには、地震と豪雨・洪水のそれぞれを対象にした対策だけではなく、できるだけ両者を総合的に考慮した対策が必要である。

地震と豪雨・洪水による複合地盤災害に関して、斜面では、降雨と地震に分けてそれぞれ検討する方法がとられており、両者を総合的に考慮した対策がとられるまでに至っていない。堤防では、同時発生を想定すると、施設規模、対策規模が非常に大きくなることが懸念され、同時に生起しないとの前提で

照査や設計を実施している。連鎖する確率が高い場合（地震と地盤沈降、津波）は考慮され、耐震対策を行う場合には、浸透への影響を考慮し、浸透対策も完了させる等の努力などは実施している。ため池の複合災害の対応については、すでに開発された技術が適用できる状況にあるが、両災害を考慮した設計と施工を実施する基準には至っていない。

研究者は、降雨と地震が同時あるいは連動で作用した場合の土構造物・地盤構造物の挙動の予測を目指し、あるいは、降雨による土構造物・地盤構造物の強度低下（強度定数の変化）を算定する予測法の確立そして地震との複合災害の予測を目指し、技術者はそれを踏まえた設計法・構造形式を開発するなどして、行政・技術者・研究者が協働して、総合的対策を検討するべきである。さらに降雨量、土砂量など最新のデータと予測に基づく設計条件の研究や、安価で工期が短く被災メカニズムに則した新たな対策工法等の検討も必要である。

提言 1.5 異なった管理機関の間の地盤災害対策の調整と整合

地盤災害の社会に対する影響を総体として減少させるためには、それぞれの社会基盤施設に係る異なる管理機関の調査・設計・施工・維持管理・復旧等の耐災・減災対策を調整し、長期的に見て整合させる方向に向かう必要がある。

河川堤防に関しては、地盤情報の共有化は進められている。また国と地方自治体の管理における整合性は配慮されるようになった。平成30年7月豪雨時においても、国土交通省と岡山県との合同調査委員会が設置された。しかし、本川と支川の水位変動の相互作用が堤防の被災に大きな影響をもたらしている。また、国の機関に比べて自治体の被災データの質・蓄積量が少ないといった問題もある。ため池の調査と復旧技術は、管理機関外の最新の技術が導入されるケースが見られるが、一般化には至っていない。また、ため池上流の斜面や道路の崩壊などに起因する土石流、洪水の流入によって、ため池堤体が崩壊する事例がある。隣接する池敷道路や水路、地山斜面からの流出水による堤体侵食の影響を考慮した耐災・減災対策の調整は進んでいない。斜面では、鉄道、道路において、用地外の崩壊・土石流による被害が顕著なケースがあった。また、用地の所有者が不明なため、対策のための作業が難航するケースがあった。ため池、斜面などは、個別施設の安全性だけでなく周辺環境との関連性を考慮した総合的な計画が十分ではなかった。

地盤工学会は、調査・被災データの選択・保管、点検・巡視に優先順位をつけるなど、管理する上で重要となる事項について助言や支援システムの提案を行うとともに、関連する異なる機関が互いに協力して管理できる体制の構築についても支援する必要がある。そして、関連する学協会と行政とが協働して、ため池、斜面をはじめ、異なる管理機関が関係する土構造物の抽出と整理が必要である。また地盤災害の及ぶ範囲（流域）を特定し、その流域全体で異なる管理機関同士がもつ知見・情報の共有を図り、流域全体の総合的防災を推進する必要がある。例えば、平成30年7月豪雨災害における岐阜県の土石流被害は、当該流域において林道・作業道管理、砂防・治山堰堤、鉄道、道路など複数の管理機関が関係していた。その他、関連する学協会、行政と協働して、逐次更新される地盤情報のオープンデータ化をより進めてゆき、異なった管理機関での情報の共有を進めてゆく必要がある。

提言 1.6 地盤災害対策のための地盤工学の発展

地盤災害を防ぎ減少させるために、地盤工学における調査・設計・施工および維持管理等の様々な分野で、技術レベルを向上させる必要がある。

地盤災害対策のための技術・研究は、行政・技術者・研究者それぞれの立場で着実に進んでいる。しかし、発生した事象に対する研究に比べ、予測に関する研究・技術レベルの向上は進んでいない。斜面においては、山地で発生する地盤災害に対しては土質力学をベースとする地盤工学だけでは限界がある。河川堤防において、基盤漏水、パイピング進展、陥没・堤体沈下といった一連の挙動の予測手法が確立しておらず、解析も浸透、変形、破壊といった一連の現象を連続して表現することはできていない。ため池においては、堤体の破壊にいたるプロセスを適正に予測できる状況にはなく、災害対策においても、開発された調査・診断・施工技術の社会実装はそれほど進んでいない。

地盤災害対策を確実に進めるため、地盤工学会主導のもと、行政・技術者・研究者が同時に互いに連携、協働して、社会実装を実現するためのロードマップを作成する。また、行政、他分野との連携を継続しながら、地盤災害に関する研究が継続し、若手研究者・技術者の関わりが継続するようなくみ作りが必要である。また日々発達する計測技術を積極的に活用し、計測と解析の連携も図るとともに、広域に低コストで迅速に堤体の現状の安定性を知る技術、衛星、航空レーザー、UAV、物理探査など既存の調査技術の融合の検討、そして対象構造物の状況・性能の点検方法の見直しも重要である。

さらに引き続き、2009年提言で示されている下記の項目を進めてゆくための具体的な方策を示してゆくべきである。

- a) 地盤災害のメカニズム究明の継続：
- b) 耐災補強すべき箇所を抽出するための耐災診断技術の精度の向上：
- c) 耐災診断の精度の向上と耐災強化の効率化のための地盤情報と既設の社会基盤施設と住宅・建物に関する情報のデータベースの整備と公開：
- d) 新設の社会基盤施設と住宅・建物の地盤災害に関連した耐災設計法・施工法と既設の社会基盤施設と住宅・建物の耐災強化法の技術レベルの向上：
- e) 上記の目的を達成するために、地盤工学会が積極的に関与する必要がある。

提言 1.7 防災的な措置とともに減災的な地盤災害対策の実施

地盤被害を有効に防ぐためには、防災的な措置だけではなく、減災に対する方策の実施が必要である。

近年、各土構造物・地盤構造物の災害発生予測やリアルタイムモニタリングの技術・研究が進みつつある。斜面では、例えば、土石流が発生した溪流においてワイヤーセンサー等を設置し、下流側に警報を発令するシステムが導入されている。また、地表面の傾斜や速度、加速度を計測する地盤モニタリングも急速に進歩し、災害発生後の安全管理に試験的に導入されるようになってきた。河川堤防では、危機管理型水位計などが設置され、データも公開されている。CCTVカメラや河川水位等のリアルタイム情報の提供が進んでいる。ため池においてもモニタリング技術が進んできており、貯水池による洪水調整機能が発揮され、防災に貢献した事例も多く報告され、緊急時のため池の機能として認知されるに至

っている。

モニタリングによる情報収集は進んでいるものの、その情報を減災にどのように生かしてゆくかの十分な議論を、地盤工学会主導で、行政・技術者・研究者の間で進めてゆくべきである。例えば、河川堤防について、河川水位など現行で入手できるデータは増えてきている。一方で、堤防の被災に関する情報については、現行では入手できるデータは被災後の状況やデータが主であるので、高密度、高頻度に観測し、状態を蓄積することで、被災過程の様子をアーカイブできるシステムの実装や支援を始める必要がある。ため池においても、灌漑用水の貯留施設としての機能にとどまらず、洪水対策としての機能を再検討、あるいは強化することなどにより、地域全体の総合的な減災施設としての社会実装をいっそう推進すべきである。さらに、安全な場所への「移転」も減災の1つの選択肢であり、地盤工学会として、移転も含めた復旧の在り方を議論する場を設けることも重要である。

提言 1.8 地盤防災・減災のための異なる学問・技術分野の協働

安心・安全な社会の構築を目指した有効な地盤防災・減災を達成するためには、地盤工学以外の異なる学問・技術分野との協働が必要である。

斜面においては、地質学、地形学、植生学、気象学、水文学、地震学など様々な分野との連携が以前より行われている。河川堤防においては、行政、他分野との連携も実施が始まっている。ため池については、気象学や地質学、工学、計画学、地盤工学と農業土木学などの分野との協働が考えられるが、具体的な活動に展開できる状況にはない。

斜面では、以前より連携している分野との関係を強固なものにするよう具体的方策を検討してゆくべきである。また、気象観測・シミュレーション、リモートセンシングなどの他分野との連携をもっと進める必要がある。河川堤防においては、行政、他分野との連携を継続しながら、若手研究者・技術者の関わりも継続するようなくみ作りが必要である。これまで水文学分野との連携を進めてきたが、さらに農学や建築学との連携も必要と考えられる。ため池においては、上記の分野の他、農村計画・都市計画を加え、ハード対策とソフト対策の連携に関する指針を検討してゆくべきである。

地盤工学会は、気象学の研究分野との連携強化を具体的に進め、互いの分野の知見を共有し合い、研究を推進させる。また、災害調査により得られた知見から、地盤防災・減災に関連する異なる学問・技術分野を整理し、研究委員会などを立ち上げてゆく。また、委員会活動等、学会の活動においても「施工」からの観点も取り入れるように工夫する必要がある。

提言 1.9 地盤災害を防ぐための社会的な広報・教育活動

地盤防災・減災を達成するためには、地盤工学の専門家とその全国的な組織である地盤工学会は、地盤災害の重要性を広く認識してもらい、地盤災害を防ぐための地盤技術を広めるための社会的な広報・教育活動を積極的に行う必要がある。

河川堤防に関する啓蒙や普及は行政が主体となり、学では防災授業やシンポジウムなどが開催されている。しかし、地盤工学会として、関連する広報・教育活動が十分に行われているとは言えない。斜面、堤防、ため池に限ることなく、学協会・行政・技術者・研究者が連携・議論して、「市民・一般社会」を

対象としたシンポジウム、ワークショップ、講習会、出前講義などの広報・教育プログラムを企画・実施するなど具体的な活動を検討してゆくべきである。過去に地盤工学会が制作した Web ラーニングプラザ教材「地盤の液化化と軽減技術」、「地盤災害から人々を護る」の有効活用も検討する。

また、個々の災害毎に広報・教育活動をしていては、人員の少ない行政機関や実際に聞く立場となる住民や企業には負担が大きくなる。そのため、複数の災害と絡めた活動が必要である。VR (Virtual reality : 仮想現実)、AR (Augmented Reality : 拡張現実)、MR (Mixed Reality : 複合現実) の導入による臨場感の高い擬似体験による教育効果の向上と監修などの支援も重要である。

地盤工学会の取組みとして、本部と支部、支部どうして連携を深めて、学会員の中で、災害対策コーディネータのような役割を担うなど、地域の災害に寄り添う具体的な支援活動の仕組みを作っていくことも重要である。また、公共性の高い民間インフラをいかに守っていくか、社会全体での議論が必要であるとともに、社会に影響を及ぼす私有地の管理に関して、所有権と法制化を含めた突っ込んだ議論をスタートすべきである。

【追加提言】

提言 1.10 専門的知識の提供、支援

地盤工学の専門家ならびに地盤工学会は社会全体に対して専門的知識を提供し、災害の発生リスクや防災対策に関する判断を支援していく必要がある。

地盤工学の専門家は、災害が顕在化する前段階でのハザードの予測、被災リスクの分析・評価、さらには被災リスクを回避あるいは最小化するための技術上の助言が求められている。近年では、個人資産となる宅地や高層建物のトラブル、災害後の復旧に関する相談が多くなっており、土砂災害に対する住宅の安全対策も含めて、地盤品質判定士の活動範囲の拡大が求められている。地盤工学会は、平成 30 年 7 月豪雨などの災害発生後、早期復旧のための技術支援、復興過程での継続的な助言により、社会から一定の評価を受けた。このように地盤災害が起こった際に、災害発生の背景・原因を調査研究し、防災対策の改善に着実に生かしていくことは重要である。しかし、豪雨災害が毎年のように起こる状況下では、機能強化や地盤補強などの現実対応可能な方策を速やかに実行に移していくことも重要である。

さらに、国民に情報を伝える報道機関は、被害が大きく、被災エリアの中心となる箇所に集中的に取材される傾向がある。また、災害・防災の本質から外れた報道も見受けられる。一例として、平成 29 年の九州北部豪雨の報道に比べ、直後に発生した秋田県での豪雨災害に関する報道は少なかったことなどが挙げられる。報道が災害の一面に集中しないように、専門家は報道機関に災害の全体像・本質を説明し、復旧復興、防災減災に資する情報を提供していく必要がある。報道機関との連携の在り方を模索する勉強会も検討が必要である。

地盤工学会は、学会員の地盤品質判定士の資格登録者の増員を推進し、該当地域の地盤品質判定士と支部との連携を図り、地域住民と関わり合う機会を増やすなどの方策を検討してゆくべきである。

【追加提言】

提言 1.11 地球温暖化の影響予測と様々な対策手法の検討

地球温暖化による気候変動の顕在化が指摘されており、降雨外力の増大が土砂災害の発生状況に与える影響を予測し、降雨の激甚化に対応したハード対策・ソフト対策の強靱化対応を進める必要がある。また、過疎化に伴う集落消滅など、中山間地の居住地が急速に変化すると予想される中、危険箇所からの移転も含めた抜本的な防災策の検討も開始する時期に来ている。

地球温暖化による気候変動が顕在化している。年間の総雨量はほとんど変わらないが、一回の降水量が増え、かつ、その回数が増えているとの報告がある^{例えば1)}。盛土の場合、降雨外力の増大に対して盛土の安定性を保つには、盛土に浸透する水の時間当たりの排水能力をそれに応じて増大させる必要がある。全国には数多くの盛土があるので、集水地形や流域面積などの条件をもとに要検討盛土を抽出し、さらに要対策盛土を絞り込んでいくのが現実的対応であるといえる。盛土以外にも豪雨対応が必要な地盤構造物があることから、その抽出と評価、対策方法の検討が必要である。また、気象学の研究分野との連携を強化し、地盤災害に対応する気候変動に関する最新の予測手法を用いることにより、異常降雨に対する斜面、河川堤防、ため池の防災・減災を今後さらに進める必要がある。

一方、気象の激甚化によって中山間地においては土石流などの影響をより広範囲で受ける恐れがある。豪雨斜面災害に遭遇しないためには、土砂災害危険箇所から一刻も早く離脱することが肝要である。人口減少下のわが国では移転を含めた防災対策を検討する段階にきている。

参考文献・参考資料

- 1) 土木学会地盤工学委員会：土木学会平成30年度重点研究課題（研究助成金）中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書，2019年3月。

2.2 斜面の被害

はじめに—斜面被害の概要

(1) 斜面災害の概要

平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）では大雨特別警報が 1 府 10 県で発表され、広島、岡山、愛媛など各地で甚大な斜面災害が発生した。災害発生後、地盤工学会、土木学会において緊急調査団が組織され、被害状況が調査された。その結果、土砂災害の中心は広島県南東部であり、その特徴として長時間継続した豪雨によって崩壊および土石流が連鎖的に発生したため、極めて大量の土砂が発生したこと、また、その土砂は洪水流と一緒にあって氾濫し、広範囲かつ遠方まで到達したことが明らかになった。

内閣府¹⁾によると、平成 31 年 1 月 9 日 17 時の時点で、平成 30 年 7 月豪雨による人的・物的被害は死者 237 人、行方不明者 8 人、住家全壊 6,767 棟、住家半壊 11,243 棟であった。また、土砂災害発生状況は 2,581 件（1 道 2 府 29 県）であり、その内訳は土石流等が 791 件、地すべりが 56 件、がけ崩れが 1,734 件であった。被害の数、範囲の点から言って、過去数十年間で最悪レベルの土砂災害といえる。

今回の斜面被害の概要をまとめると、次のとおりである。

1. 長時間継続した豪雨により、土石流が連鎖的に発生し、広域で無数の土砂災害が発生した。
2. 土砂と洪水が一体となった氾濫（土砂洪水氾濫）が発生した。また、後続流により細粒な砂が流出し続けた。呉市天応地区などでは大量の土砂が堆積した。
3. 土石流が住宅だけでなく道路、鉄道、水道などインフラも破壊した。
4. 緩い勾配の斜面でも崩壊・土石流が発生した。
5. 花崗岩だけでなく流紋岩などの様々な地質で土石流・崩壊が発生した。

なお、被災地全域の地質は花崗岩、流紋岩、変成岩、堆積岩など多様である。広島県呉市周辺に限れば、地質は広島型花崗岩、流紋岩、花崗閃緑岩などである。崩壊箇所は各地質帯で起こっており、今回の豪雨による崩壊や土石流の発生に地質の違いによる差異はないようである。今回の災害においては土石流中のコアストーンが被害を大きくしたことは特筆すべきことであるが、このことは過去の災害でも発生していたことに留意する必要がある。なお、平成 30 年 7 月豪雨による斜面被害の全容については詳細に報告^{2)~4)}されているので、それらを参照されたい。

(2) 2009 年提言に対する達成度評価

2009 年に地盤工学会から発刊された「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—」における斜面被害に関する提言の見出しは以下のものであり、計 28 提言であった。なお、各提言の文面は紙面の都合上割愛し、詳細は文献 5)を参照されたい。

3. 切土・盛土および自然斜面

- | | | |
|--------|-----------------------------------|---|
| 3.1 全般 | 提言 3.1-1（人の命を守る防災・減災） | B |
| | 提言 3.1.2-1（崩壊危険度判定手法の高度化と効果的な対策工） | B |
| | 提言 3.1.2-2（適切な維持管理） | B |

	提言 3.1.2-3 (耐震, 耐豪雨対策)	B	
	提言 3.1.2-4 (リアルタイム防災システム)	B	
	提言 3.1.2-5 (斜面地盤データベース)	(B)	
3.2	対象別提言		
3.2.1	道路		
	提言 3.2.1-1 (通行規制等の緩和・解消)	B	
	提言 3.2.1-2 (情報の整理・管理)	(B)	
	提言 3.2.1-3 (ハザードマップの整備と減災)	(B)	
	提言 3.2.1-4 (緊急輸送路の確保・早期復旧)	(B)	
	提言 3.2.1-5 (対策工の開発)	B	
	提言 3.2.1-6 (耐災設計法の合理化)	B	
	提言 3.2.1-7 (専門的知識の提供, 支援)	B	
	提言 3.2.1-8 (社会への貢献)	B	
3.2.2	鉄道		
	提言 3.2.2-1 (新設土構造物の耐災性能向上の推進)		B
	提言 3.2.2-2 (維持管理技術の高度化および効果的な事前防護対策技術の導入)		B
	提言 3.2.2-3 (災害時における強化復旧の定着と高速復旧方法の技術開発)		B
	提言 3.2.2-4 (リアルタイムハザードマップの整備と減災)		(B)
	提言 3.2.2-5 (広域災害に対応した運転規制方法の導入と他機関との連携)		B
3.2.3	砂防		
	提言 3.2.3-1 (地盤内調査手法の開発と普及)	B	
	提言 3.2.3-2 (土砂災害警戒情報の高度化と活用)	B	
	提言 3.2.3-3 (効果的な災害対策)	B	
	提言 3.2.3-4 (地震時の自然斜面等の崩壊危険度評価の高度化)		B
	提言 3.2.3-5 (地球温暖化の影響予測と対策手法の検討)		C
3.2.4	宅地		
	提言 3.2.4-1 (現地調査手法と対策方法の開発)	B	
	提言 3.2.4-2 (耐震補強のための施策と資料の保存)	(B)	
	提言 3.2.4-3 (情報の公開)	(B)	
	提言 3.2.4-4 (施主への説明責任)	(A)	
	提言 3.2.4-5 (宅地売買に際しての地盤情報の継承)	(B)	

2009年以降の豪雨斜面災害の状況と提起された課題・教訓をレビュー^{6),7)}して、上記の提言の達成度を4段階A~Dで評価した。

A: 提言を実施済み実装済み (マニュアル完成以上・社会実装が動いている)

B: 提言を実施中であるが完了するかどうか未定 (研究はほぼ終了, マニュアル作成中)

C: 提言について計画中であり未着手 (研究開発段階)

D: 提言の変更・削除 (実装不可能・ニーズから外れた)

各提言の評価結果は見出しの横に続けて示している。ただし、評価者が「提言の対象者」に該当しない場合、評価不能もしくは困難と判断し、区別するために両括弧付きとした。評価の結果はおおむね B もしくは(B)であり、D の提言の変更・削除（実装不可能・ニーズから外れた）はなかった。

(3) 2019 年提言の策定方針

2009 年提言の内容は普遍的なものであり、その後の地盤工学分野の研究・技術開発の進展に寄与したといえる。また、当時としては先進的な示唆も含んでいるので、その内容は現在でも有効かつ有益である。しかしながら、提言の受け手側、とくに地盤工学会外部の対象者からみると、提言の数が非常に多く、一般論的な記述であったため、社会に対する学会からのメッセージとして具体的に伝わるものであったかどうかは議論の余地がある。

そこで、2019 年提言では、まず 2009 年提言に対する達成度の評価と既往災害のレビューをもとに 2009 年提言の統合を行い、その数を 14 提言まで減らした。提言 2.1～2.4、2.14 は斜面全般に共通の提言、提言 2.5～2.7 は道路・鉄道、2.8～2.10 は砂防・治山、提言 2.11～2.13 は宅地に関する提言としている。また、解説には挿絵や図・写真をなるべく入れて、イメージしやすくなるように心掛けた。また、その後相次いで発生した災害・事故により、個人や組織・集団、社会全体の安全に対する意識・基準が大きく変わった。この変化をふまえながら、現時点で認識が希薄である課題も追加した。今回の提言が広く社会で共有され、議論されるものになるように留意した。なお、本章では切土や盛土の工事によって作られた人工斜面を「法面」、自然斜面を「斜面」と表記した。

参考文献・参考資料

- 1) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について（平成 31 年 1 月 9 日 17:00 時点）、
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
- 2) 土木学会中国支部：2018 年 7 月西日本豪雨災害 調査報告書，2018 年 12 月，
http://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/H30%20disater%20report_12.5_0.pdf
- 3) 山本晴彦（研究代表者）：平成 30 年 7 月豪雨による災害の総合研究報告書，平成 30 年度科学研究費補助金特別研究促進費（課題番号：18K19951），2019 年 3 月 20 日。
- 4) 国土交通省中国地方整備局：平成 30 年 7 月豪雨～中国地方整備局 災害対応の記録～，2019 年 1 月 25 日。
- 5) 地盤工学会：2007 年度会長特別委員会地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—，地盤工学会，2009 年 8 月。
- 6) 秋山壽一郎（研究代表者）：平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書，平成 29 年度科学研究費補助金特別研究促進費（課題番号：17K20140），2018 年 3 月 26 日。
- 7) 土木学会地盤工学委員会：土木学会平成 30 年度重点研究課題（研究助成金）中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書，2019 年 3 月。

提言 2.1 人命・財産を護る地盤に関する技術

(長期, 社会全体)

豪雨および地震に対して安全な切土・盛土の構築・維持管理を行うとともに、既存の切土法面、盛土法面および自然斜面の安定性を評価し、効果的で効率的な対策や仕組みを構築する。これにより、崩壊・土砂流出による人命および財産の損失ゼロを目指す。また、災害発生後の生活・社会基盤のレジリエンスを念頭においた防災対策・減災対策の確立を目指す。

(解説)

(1) 被害と教訓

この10年間に起きた豪雨災害を総括すると、わが国はどこにおいても未曾有の豪雨により複合化した土砂災害・水災害に遭遇する時代に入ったと考える。平成30年7月豪雨災害に関して特筆すべき点は、“長期間継続・複数ピーク型豪雨”¹⁾により、土石等による直接的な被害が家屋・建物だけでなく道路・鉄道・水道など社会インフラ全体に及んだことである。今後も、この豪雨に匹敵あるいはそれ以上の規模の1000年確率で起こる豪雨災害が発生する可能性を考えておく必要がある。自然斜面の安定性評価、切土法面・盛土法面や土構造物の安全性・機能性の維持に関して、降雨量など設計条件を見直し、機能強化や地盤補強に関して現実対応可能な地盤技術の速やかな導入とより効果的で効率的な技術開発を進める必要がある。

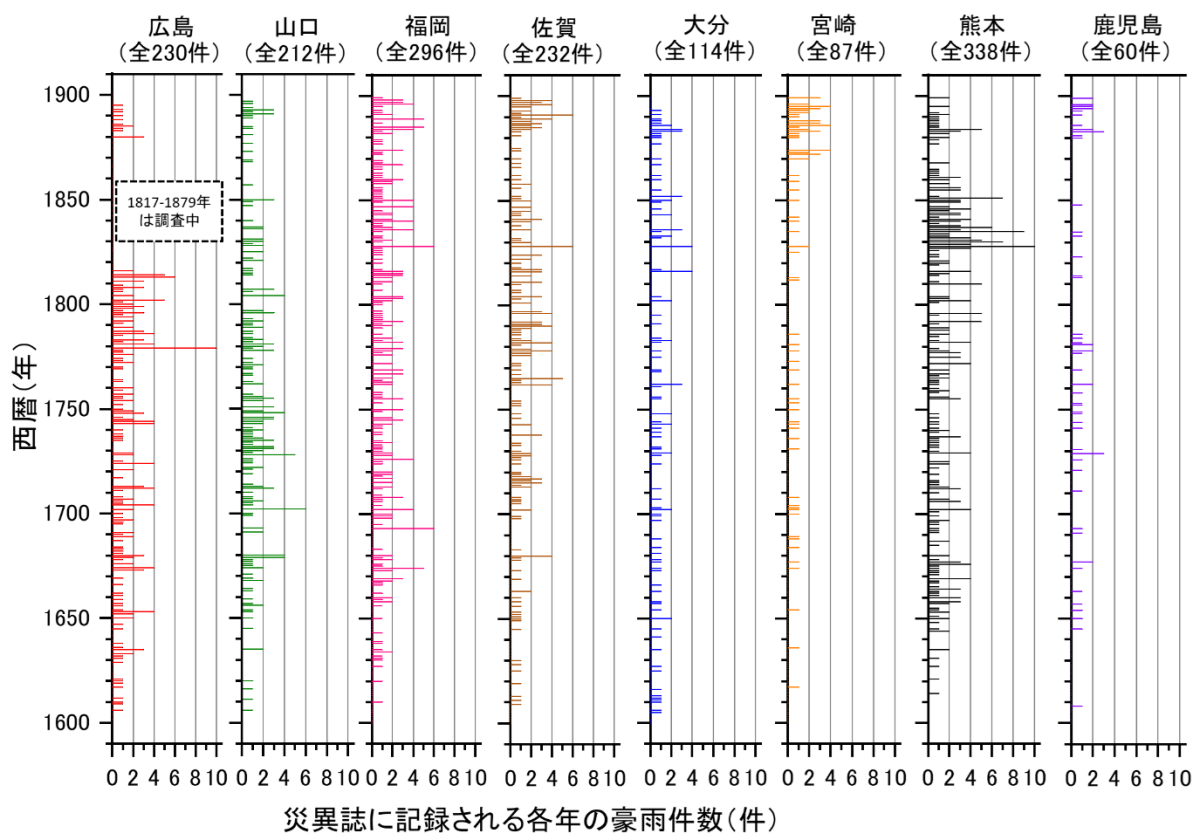


図2.1-1 広島、山口および九州地方の各災異誌に記載された1600～1900年の豪雨件数の推移

図2.1-1は広島²⁾、山口³⁾、福岡⁴⁾、佐賀⁵⁾、大分⁶⁾、宮崎⁷⁾、熊本⁸⁾、鹿児島⁹⁾の各県災異誌の記事を調べた結果、西日本では近世にも複数地域をまたがる広域豪雨が発生していたと推察される。往時の地方政府や民衆の災害対応を知ることは現在の防災対応のヒントになる可能性がある。

(2) 従来の経緯

平成30年7月豪雨による災害においては、それまでの常識や予想と違ったことが起こったが、これまでに積み上げてきた地盤技術が性能を発揮したことも多かった。この違いを客観的に評価・検証したうえで、今後の議論を行うことが重要である。なお、災害発生後の人々の生活や社会インフラの復旧の遅れに課題を残している。災害に対するレジリエンス（復元力）を強化することが重要である。

(3) これまでの対応

土砂災害の犠牲者に対する調査結果¹⁰⁾を参考にすると、人的被害を減らすには土砂が到達する前に危険箇所から人が離脱することにつきる。しかしながら、避難行動は個人の自由意思による行動であることを考えると、災害時の認知心理から望ましい避難行動が十分に期待できないが、一方で、避難が必要な地域は土砂災害危険箇所¹¹⁾に近接していることや高齢化の進行で避難援助が必要な人の割合も高くなることから、地域での自主防災活動の取り組みが一層必要になってくる。特に、改正された災害対策基本法で創設された地区防災計画への積極的な取り組みが必要である。なお、政府・地方自治体の財政問題、地方部の過疎化、国全体の建設技術者不足などを考慮すれば、全国一律に斜面对策を施すのもそろそろ限界ではないかと思われる。将来的には、人口減少や集落消滅を見据えて、人々が安全に社会経済活動を行える街づくりを考えていかねばならない。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

過去の災害のケーススタディにより体系的に改善してきた地盤技術を今後も着実に実施していくのが賢明であると考え。しかし、自然外力が人間の防御力を大きく超える状況も想定せねばならない。今回の災害をふまえて、特に追加すべき検討項目としては①土砂と洪水が一体となった現象の解明と予測、土砂・水のスムーズな流下、②想定外区域からの土砂等の流入による土構造物の機能維持、③災害履歴や被災リスクを考慮した避難方法、土地利用などである。ただし、このような工学的なアプローチだけでは、人命を護ることはできない。被災の本質的な原因は人間の個々の心理や慣習的誤解・過信であり、その点を踏まえた防災上の検討が不足していると考え。人命及び財産の損失ゼロを目指すからには、社会学、心理学、医学など他分野専門家と連携した研究・技術開発を先導する必要がある。

土砂災害が懸念される地域では、地区の自主防災活動や地区防災計画策定などで、土砂災害警戒区域を示すハザードマップの利活用のための支援活動やガイドライン策定などが必要であり、行政はそのための予算措置や推進事業などの取り組みを考えるべきである。また、市民に技術的助言を行う専門家（地盤品質判定士など）の活動拡大が期待される。

参考文献・参考資料

- 1) 森脇武夫：広島県の過去の土砂災害との比較，土木学会・地盤工学会2018年7月西日本豪雨災害合同調査報告会，<http://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/moriwaki.pdf>

- 2) 広島県農業協同組合中央会：広島県災異史, 1983.
- 3) 山口県：山口県災異誌, 1953.
- 4) 福岡測候所：福岡県災異誌, pp.1-24, 1936.
- 5) 佐賀地方气象台：佐賀県災異誌, pp.1-21, 1964.
- 6) 大分測候所：大分県災異誌, pp.1-18, 1952.
- 7) 宮崎地方气象台：宮崎県災異誌, pp.1-12, 1967.
- 8) 熊本測候所：熊本県災異誌, pp.1-23, 1952.
- 9) 鹿児島地方气象台：鹿児島県災異誌, pp.1-8, 1952.
- 10) 牛山素行, 横幕早季: 2014年8月広島豪雨による犠牲者の特徴, 自然災害科学, Vol.34, 特別号, pp.47-59, 2015.

提言 2.2 危険度判定の高精度化と効果的な対策工，既設対策工の維持管理・機能強化

(短期，施設管理者・専門家)

増大する外力に対して切土法面・盛土法面と自然斜面の崩壊危険度判定の高精度化を図り，それに基づく効果的な崩壊防止対策を検討・実施していく必要がある。また，既設の対策工の維持管理と機能強化を進めていく必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

自然斜面では多くの崩壊が発生し，多量の土砂や岩塊が溪流に堆積し，大規模な土石流を生じさせた。のり面工，砂防堰堤等は災害の防止・軽減に効果を発揮しているが，設計性能を超える外力の作用や老朽化した石積砂防堰堤など既設対策工の機能低下により，効果を十分発揮できなかった例も見られた。土石流の発生機構のほか，流路形状や流水処理の方法などによる影響など，被害軽減につながる知見も得られているので，今後の対策に生かしていく必要がある¹⁾など。

(2) 従来の経緯・これまでの対応

斜面崩壊の発生機構，降雨に伴う斜面の不安定化メカニズムについては多くの研究があり，各種の斜面对策の基準類や土砂災害防止法に沿った基礎調査・警戒区域指定などに反映されている。しかし，土砂災害は繰り返し生じており，崩壊危険性の判定精度はまだ十分とは言えない状況である。また，斜面災害の調査・研究の成果を反映した合理的な対策工の開発や対策の選定手法・設計手法，既設構造物の点検・機能評価の方法などについても，学会での取り組み^(例えば2), 3)をはじめ，施設管理者・設計者・対策施工業者などにより研究・開発が進められているが，まだ十分とは言えない状況にある。

(3) 今後必要な地盤工学分野での対応策

降雨・地下水等による斜面の不安定化メカニズムの解明を進めるとともに，雨量条件，崩壊規模を適切に設定し，それらをもとにした降雨時の斜面の安定性評価，崩壊危険度判定の精度向上を図る必要がある。その成果は避難や通行規制などのソフト対策に活用するほか，斜面の安定を合理的に確保するためのハード対策の改良・開発，対策施設の選定・配置・設計の検討などに供していく必要がある。ソフト対策との効果的な組み合わせやこれまであまり検討されてこなかった対策手法（移転，宅地のかさ上げなど）も含めて検討すべきである。また，切土法面・盛土法面，既設法面構造物の日常的な点検とそれに基づく機能評価を行い，適切な補修補強により既設対策工の機能保全を図る予防保全的な維持管理を進める必要がある。災害時の知見などから，機能向上が必要と判断される場合は補強対策の検討を行い，点検結果に基づく機能評価，補修補強対策の効果評価の手法の確立も不可欠である。

このような取り組みには完了はないが，すでに多くの調査・研究の成果が得られていることから，できるだけ短期に成果を上げることをめざして早急に取り組む必要がある。

参考文献

1) 鈴木素之，荒木功平，石田幸二，岩佐直人，宇次原雅之，北爪貴史，後藤聡，橋口昭彦，美馬健二，

吉川修一：西日本豪雨災害における斜面災害の特徴と過去の災害との相違点，第 61 回地盤工学シンポジウム発表論文集，4-1，2018.

- 2) 地盤工学会：斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関する検討報告書，p.153，2011.
- 3) 地盤工学会：斜面・のり面の劣化モデルと LCC 評価による斜面防災対策に関する研究報告書，p.153，2014.

提言 2.3 モニタリングとリアルタイム情報マネジメントに基づく地盤防災システムの構築

(長期, 施設管理者・専門家)

防災・減災に寄与できる地盤防災システムの構築を図っていく必要がある。地震時、豪雨時に多種多様な形態の被害がみられる道路や鉄道では、危険度をよりの確に評価するモニタリング等の技術開発と地震直後、降雨中の被災危険度を示すリアルタイムハザードマップの整備を推進する必要がある。さらに、防災施設の整備状況や過去の災害履歴もハザードマップに組み込むことが重要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

被災箇所は土砂災害警戒区域内で多く発生していた。一方、土砂災害警戒区域以外でも災害が発生¹⁾していた。このことから、より精度の高い土砂災害警戒区域の設定が必要である。また、被災危険度情報は土砂災害警戒情報の基準に基づいて発表されていた。この土砂災害警戒情報²⁾は、過去に発生した土砂災害をくまなく調査した上で「この基準を超えると、過去の重大な土砂災害の発生時に匹敵する極めて危険な状況となり、この段階では命に危険が及ぶような土砂災害がすでに発生していてもおかしくない」という基準を設定しており、経験に基づいた指標である。この情報は1kmメッシュと広域であり、避難の動機づけとなるような切迫感のある具体的な情報、危機的な状況を知らせる情報として認知されていない。一方、道路や鉄道などは、管理路線に隣接する斜面地について、防災カルテなどを整備し、危険箇所を特定して、対策工を計画、施工している。さらに異常気象時には通行規制を講ずることで被害をなくす仕組みを構築し、運用している。この通行規制の基準は、路線の特徴を考慮した上で管理者が設定した雨量基準を用いて運用している。今回、事前通行規制区間ではない区間³⁾においても災害が発生している。また、写真2.3-1に示すように溪流や河川が道路を横断するカルバートや管渠が閉塞することによって、土砂と水が道路上を流下して、通常被害を想定していない場所で被害が発生した事例⁴⁾や写真2.3-2に示すように崩壊土砂が道路上を流下、トンネル内へ流入した事例⁵⁾もあり、河川、溪流など周辺の地形、構造物の機能などを含めたハザードの想定が必要となっている。



写真2.3-1 道路横断管の閉塞状況⁴⁾



写真2.3-2 崩壊土砂がトンネル内に流入している状況⁵⁾

(2) 従来の経緯⁶⁾

国土交通省、都道府県の砂防関係では、土砂災害危険箇所に対して警戒避難に雨量を用いて実効雨量による手法に分類される4手法（指針案による手法（A案、B案）、矢野による手法、総合土砂災害対策検討委員会による手法（提言案）等）を利用して、警戒避難情報を発令していた。平成17年には、国土交通省と気象庁との連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（連携案）が示されている。連携案は非発生降雨の発現頻度から安全領域を評価する手法としてニューラルネットワークの一種であるRBFNを用いている。短期降雨指標、長期降雨指標にそれぞれ60分間積算雨量、土壌雨量指数を採用して、RBFNで非発生降雨を学習させ、降雨の発生確率を表現した曲面を用い、災害捕捉率、空振り頻度やスネーク曲線が土砂災害発生危険基準線（CL）を超過する頻度など算出し、総合的に判断してCLを設定し、土砂災害警戒情報を発令している。

路線における事前通行規制区間による運用を行うようになった経緯は、次のとおりである。一般国道の場合は、昭和43年の飛騨川バス転落事故を契機として、豪雨時に斜面・法面の崩壊危険度が高いと判断される区間に対して、豪雨時の事前通行規制が実施されることとなった。規制の判断基準は、区間ごとに設定された雨量値に基づいて運用されている。

鉄道は、降雨時の災害から輸送の安全確保のために、列車の運転停止や速度制限などの運転規制が戦前から行われている。戦前において線路保守担当区ごとに雨量を計測する升を設置し、その升到貯まった水の深さを計測して保守区ごとに定められた値を超えた場合に列車を規制していた。昭和43年に飛騨川バス転落時に並行する旧国鉄では運転規制基準に則って列車の運転停止が行われており、降雨時の運転規制の重要性が改めて認識された。この事故を契機として昭和47年に「降雨に対する運転規制基準作成要領」が定められ、降雨時の列車運行規制や災害警備に関する全国統一したルールが示され、運用されている。

(3) これまでの対応

これまで、災害ごとに崩壊箇所への対策ならびに箇所、区間や基準値の見直しが行われている。例えば、一般国道において、ゲリラ豪雨に対応し、新しい通行規制基準の試行⁷⁾が始まったり、土壌水分量に基づく規制基準解除に向けた取り組み⁸⁾も始まっている。

兵庫県では、市町毎に発表する土砂災害警戒情報の補足情報として、5kmもしくは1kmメッシュ毎の危険度を示す地域別土砂災害危険度と更に詳細な土砂災害警戒区域毎の危険度を示す箇所別土砂災害危険度の2つのシステムを構築して運用している。この箇所別土砂災害危険度評価は、10mメッシュ毎に地質や斜面の傾斜度等を考慮した地形モデルを想定し、実績および予測降雨に基づいた地下水位の上昇による斜面安全率の変化を計算する物理モデル⁹⁾を用いている。

また、モニタリング観測においては、観測事例はまだまだ少ないものの、近隣で崩壊が発生するような豪雨イベント時の地盤内水分状況の観測事例が報告¹⁰⁾され、この観測結果に基づく斜面の危険度を評価する取り組みが進められている。

このように災害リスクを低減させるためにさまざまな取組が行われている。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

これまでハザードマップは、管理者別で整理されているものや一般向けに整理されているもの等、さまざまである。災害時には、管理者が認知している箇所以外からの土砂の流入や複合的な被害が発生している。このことから、管理者や一般向けに整理されている危険箇所を網羅的に示すマップを予め整備し、リアルタイムで土砂災害の被災危険度を求める方法に基づき被災危険度を示すリアルタイムハザードマップの構築が望まれる。このハザードマップには、防災施設の位置や過去の被災履歴も取り込み、継続的に更新する仕組みとなることが望まれる。また、災害のタイミングを知るためには、現地におけるモニタリングを継続的に行い、危険度をよりの確に評価し近隣住民に確実に伝達する技術確立することが望ましい。そのためには、モニタリングとリアルタイム情報マネジメントにかかわる技術開発が必要である。また、地盤防災システムという観点から、雨量を広域に精度よく予測するシステム（解析雨量の信頼性向上などを含む）の構築というものも必要になると考える。

参考文献・参考資料

- 1) 佐藤丈晴, 海原荘一:平成30年7月豪雨による岡山県における土砂災害, 砂防学会誌, Vol.71, No.4, pp. 30-37, 2018.
- 2) 気象庁:土砂災害警戒情報・大雨警報(土砂災害)の危険度分布(土砂災害警戒判定メッシュ情報), <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownbosai/doshakeikai.html> (2019.4.21閲覧)。
- 3) 広島市:現在の事前通行規制対象路線, <http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1408578694693/files/ichiranhyou.pdf>
- 4) 土木学会中国支部:2018年7月西日本豪雨災害調査報告書, p.270, 2019.
- 5) 地盤工学会関西支部, 福井地質調査業協会, NPO 福井地域地盤防災研究所 合同調査団:平成30年7月豪雨による地盤災害調査報告書(福井県嶺北地域), p.54, 2019.
- 6) 地盤工学会:地盤工学・実務者シリーズ 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測, 2006.
- 7) 国土交通省:<http://www.mlit.go.jp/common/001093791.pdf>
- 8) 国土交通省近畿地方整備局:
<https://www.kkr.mlit.go.jp/news/road/topics/2017/ol9a8v000000i3cx-att/291222kanri.pdf>
- 9) 沖村 孝, 鳥居宣之, 尾崎幸忠, 南部光広, 原口勝則:豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築, 砂防学会誌, Vol.63, No.6, pp.4-12, 2011.
- 10) 芥川真一, 鏡原聖史, 鳥居宣之, 小田和広, 小泉圭吾, 片岡沙都紀:平成30年7月豪雨における近畿地方の土砂災害, 第61回地盤工学シンポジウム発表論文集, 4-5, 2018.

提言2.4 地盤・地下水データベースの構築と公開

(長期, 施設管理者)

豪雨地盤災害の防災対策・減災対策をより効果的かつ高精度に推進するため、周辺の地下水を含めた地盤情報のデータベースの構築や充実、並びに公開を図っていく必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓 (被害と地盤特性の関連性)

平成30年7月豪雨災害においても崩壊発生頻度や災害形態などは既往の地質区分による相違は少なく、むしろ地域的・局地的な風化程度や地下水などの地盤工学的特性によって被害が特徴付けられる場合が多い¹⁾。また、土砂災害防止法による危険区域の設定の如何にかかわらず、崩壊等が発生している場合も見られ、今後、崩壊危険箇所の評価精度を高める研究や実用化に向けた関連技術の開発も進める必要性がある。

(2) 従来の経緯 (斜面崩壊発生域の地盤情報の扱い)

斜面崩壊発生域において事前に地盤情報が取得されていること自体が極めて稀であり、災害発生後の復旧対策の一環として行われる調査ボーリングなどの地盤情報も集約・公開されていない状況にある。一方、土砂災害防止法においては詳細な地形面形状によって土砂災害警戒区域等が指定され、また降雨情報をもとに警戒避難体制が構築されているが、これらには地域的な地盤特性情報はほとんど考慮されていない。

(3) これまでの対応 (地盤データベースの整備状況)

全国の公共事業や都市部の建築確認などで取得されたボーリング等の地盤情報はデータベース化されている。国土地盤情報検索サイト (KuniJiban) や統合化地下構造データベース (GeoStation) のほか地方自治体や地盤工学会支部などが収集して独自のルールで整理・公開している多くのデータベースが存在している。これらについては、運用組織に依存しないオープンデータ化 (統合化) の必要性と一体的な運用を進める必要性が指摘されており、これを目的に (財) 国土地盤情報センターが設立されている²⁾。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策 (有用な地盤情報データベースの構築, 充実と公開)

今後、豪雨地盤災害のハード対策・ソフト対策による防災・減災の効果を更に高めて行くためには、地盤工学的な斜面安定性の評価や発災時の影響範囲の予測等を行うことが不可避であり、そのためには広範囲な崩壊危険斜面とその崩土堆積域の地下水を含む詳しい地盤情報のデータベースが必要となる。

今後とも公共事業等で取得された地盤情報を扱うデータベースは統合かつ一体的に運用される方向に加速すべきである。一方、土砂災害箇所の大部分では既往の地盤情報に乏しいことから、中山間地における未崩壊斜面を対象とした標準ボーリングによる情報精度の向上を図ることや地形判読やリモートセンシング技術などの先進技術も活用した広域的な地盤情報の推定・補完する技術もあわせて研究を進める必要がある。

参考文献・参考資料

- 1) 鈴木素之，荒木功平，石田幸二，岩佐直人，宇次原雅之，北爪貴史，後藤聡，橋口昭彦，美馬健二，吉川修一：西日本豪雨災害における斜面災害の特徴と過去の災害との相違点，第 61 回地盤工学シンポジウム発表論文集，4-1，2018.
- 2) 国土地盤情報センター：ホームページ，<https://ngic.or.jp/>（2019年5月14日閲覧）.

提言 2.5 道路・鉄道—設計・施工・災害時の情報の一元管理による効率的な防災点検の実施

(長期及び短期, 施設管理者・専門家)

何年か一度に行われる一斉総点検, 日常管理, 土構造物の耐震性の検証などにおいては, 災害発生時や施工時の写真, 締固め施工管理データ, 自然斜面を含めた地盤のデータベースなどの情報がきわめて有効であり, 設計, 施工, 災害時の情報を一連のものとして蓄積し, 管理に生かすようにしなければならない。

(解説)

(1) 被害と教訓 (重要交通インフラの減災・防災への備え)

道路管理者, 鉄道事業者はすでにこのような点検等を実施している (表 2.5-1 参照)。しかしながら, 土砂発生源が用地外であり, 西日本豪雨時のように, 大量の土砂が発生する場合には土砂移動経路に沿って根本的な対策を講じることは困難である。施設管理者に限らず, 地盤工学分野の専門家が力を合わせて, 水際での土砂災害対策の技術開発を進めることが重要である。また, 災害発生後の緊急輸送等の機能を確保するとともに, 被災箇所の早期・強化復旧は常なる課題である。

表2.5-1 ハード対策による地盤リスク対応¹⁾

分類		リスク対応技術
リスクの顕在化前	事前対策	【調査・設計・施工技術】 ・合理的な構造物強化 ・入念な調査と結果の評価 ・高度かつ慎重な工学的判断 ・性能規定型設計 ・物性値の統計処理 ・リスク事例の集積と類型化 ・適正な質・量の調査・試験
リスクの顕在化後	応急対策	【設計・施工技術】 ・地盤改良技術 ・補強盛土技術 ・法面補強技術 ・地下水対策技術
	恒久対策	
	事後処理	

(2) 従来の経緯と対応 (被災後の復旧・復興)

高速道路等の緊急交通路および鉄道に関しては, 近年の局地的な集中豪雨に対して重大な災害に至らないことを目標にして, 定期的な点検により, 崩壊の危険性のある切土法面・盛土法面, 構造物および自然斜面 (0次谷, 遷急線, 地すべり地形等) を抽出し, ハザードマップ (防災カルテ) の整備や選択的予防保全により, 減災に努められている²⁾⁻⁶⁾。公共性の高い交通インフラに関して, 被災した盛土や切土等の土構造物及び法面構造物は, 可能な限り早期の復旧と必要に応じた構造強化した復旧の考え方を定着させることが重要である²⁾⁻⁶⁾。

(3) 今後必要な地盤工学分野での対応策（過去の災害事例から学ぶ留意事項）

2018年西日本豪雨等では、図2.5-1に示した0次谷で発生した斜面崩壊が土石流化したり、遷急線より下方の斜面で崩壊や落石が発生して、斜面下方の交通インフラが被災した例が多い。このため、事前に0次谷や遷急線といった地形を抽出し、防災・減災のハード対策・ソフトの対策を立てることが効果的であるが、このような場合は発生源が用地外であるために、前述のように、現実には対策のみならず調査検討することも難しい場合が多々あることに留意すべきである（後述の提言2.14参照）。そのためには、復旧において関係者間で協議・調整する仕組みを確立しておく必要がある。

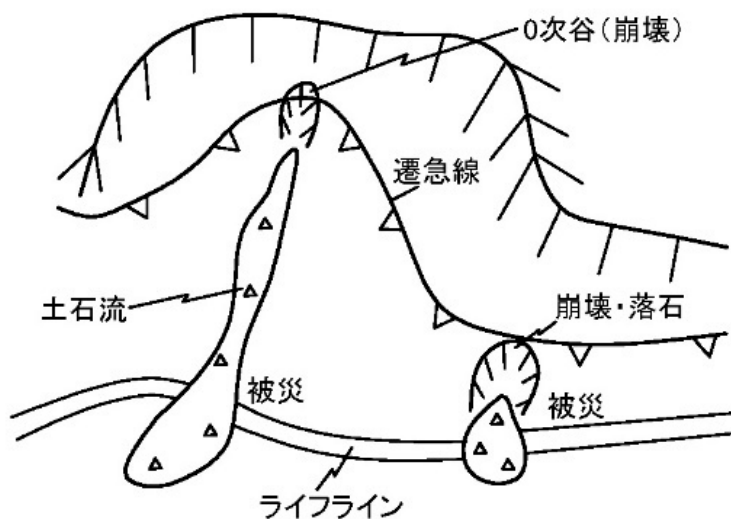


図2.5-1 西日本豪雨災害で多発した遷急線直下の崩壊と0次谷での斜面崩壊と土石流（稲垣原図）

参考文献・参考資料

- 1) 役立つ地盤リスクの知識編集委員会：役立つ地盤リスクの知識，地盤工学会，p.188，2013.
- 2) 稲垣秀輝：インフラの維持管理のための応用地質学，応用地質，Vol.54，No.6，pp.229-235，2014.
- 3) 地盤工学会編：防災・環境・維持管理と地形地質，地盤工学・実務シリーズ32，丸善出版，p.284，2015.
- 4) 地盤工学会編：地盤調査の方法と解説，第12編地盤環境調査，丸善出版，pp.1177-1221，2013.
- 5) 稲垣秀輝：インフラ維持における地盤リスクマネジメント，地盤・土構造物のリスクマネジメント，NTS，pp.211-219，2019.
- 6) 稲垣秀輝：インフラ整備に役立つ地学，土木技術，Vol.72，No.5，pp.76-80，No.7，pp.87-91，No.10，pp.58-62，2017.

提言 2.6 道路・鉄道—予防保全と事前通行規制・運転規制の適正な緩和、解除に向けた研究・技術開発

(長期及び短期, 施設管理者・専門家)

道路・鉄道の斜面災害を未然に防ぐため、防災点検を含めた日常管理を基本にして予防保全とともに、適切な事前通行規制や運転規制は長年実施されているが、事前通行規制や運転規制の緩和・解除に向けた研究・技術開発の取り組みが重要となる。

(解説)

(1) 被害と教訓

道路や鉄道は明治以降、開通を優先して建設されてきたため、後になって地すべり・崩壊・土石流・落石といった各種の斜面災害を受けてきた。事前の防災対策には財源からの限界があるため、かつては被災箇所を復旧する「事後防災」¹⁾の考え方があったが、災害の発生は人的被害を生じる可能性があることや復旧には事前対策よりも費用と時間を要することが多いため、防災点検等によって危険箇所を抽出してカルテ点検による経過観察や予防保全対策が行われるようになった。あわせて事前通行・運転規制によるソフト対策が長く行われてきた。

防災点検や日常点検で法面・自然斜面・構造物の変状を確認した場合は、補修するなり原因調査の上で補強するなど、早期に対応して大きな被害に結びつくことの無いような取り組みが求められるようになった。図示するように、狭義の維持管理段階で弱点が見出された場合、補修・補強することになるが、現状維持ではなく少しでも防災性能を高める方向で対応し、得られる情報を蓄積して以後の維持管理に反映する方向性が示された。

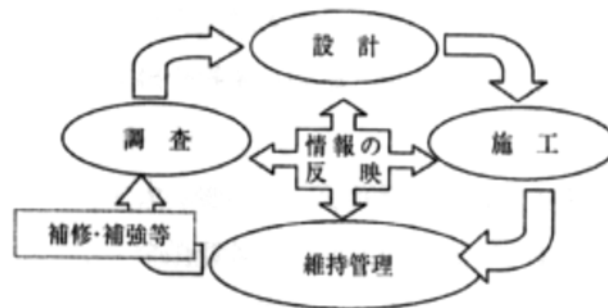


図2.6-1 維持管理に有効な情報の蓄積と伝達²⁾

(2) 従来の経緯

岐阜県の国道41号において1968年8月豪雨時に発生した土石流による飛騨川バス転落事故を契機として、事前通行規制や沿道斜面に対する防災点検が行われるようになった。鉄道でも運転規制に加えて沿線斜面の点検によって斜面管理図が作成されるなど、維持管理での事前通行規制・運転規制や斜面点検の重要性が指摘され実施されてきた。

(3) これまでの対応

道路の事前通行規制や鉄道の運転規制はサービスレベルの向上に向けて防災対策事業による緩和・解

除への取り組みが進められてきたが、要対策箇所が多く、事業費の制限があるため、長期にわたり規制値や規制区間が変更されない場合が多い。斜面点検については、航空レーザー測量地形図の導入や点検マニュアルの整備、点検技術者の講習制度の実施などで点検精度が向上した。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

前述のような維持管理段階での防災性能を段階的に高める対応や以下のような新たな検討を含めて数年ごとに規制値の緩和や規制区間の短縮を検討すべきである。

道路や鉄道の雨量規制値は連続雨量，時間雨量，実効雨量などの閾値を設定して実施されているが，地形・地質や災害形態等を考慮した土壌雨量指数の導入の検討，更には区間の代表的斜面数箇所での表層斜面の各種モニタリングも導入を検討する価値がある。とくに表層斜面において降雨時の地下水位変化を測定することは，既往の雨量規制値の妥当性の検討，規制時刻の解除の判定に極めて有効な結果を提供する可能性があるため，今後の研究の進展を期待したい。

参考文献・参考資料

- 1) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部・鉄道地震工学センター：鉄道と自然災害－鉄道を護る防災・減災対策－，日刊工業新聞社，p.285, 2015.
- 2) 財団法人日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針，p.31, 2009.

提言 2.7 道路・鉄道—耐災害性概念の導入とそれを実現するための設計・対策工の高度化

(長期、施設管理者・専門家)

道路・鉄道では、現在の技術水準と保全対象の重要度に照らし合わせて、耐災性向上を図る必要性のある既存の土構造物（切土・盛土の法面など）を調査・評価・抽出する手法の開発とあわせ、耐災水準の低い施設に対して、交通を供用しながら施工可能な対策工法の開発を幅広くすすめなければならない。特に溪流・沢部を通過する道路・鉄道は土石流災害を防ぐための水際防御技術や発生源となる斜面安定対策などの管理区分を超えた連携を早急に進める必要がある。また、新たに又は災害復旧する施設については、耐災性に関する性能を明確にして合理的に設計する手法及び工法を開発していく必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

過去の豪雨や地震においては道路・鉄道の既設盛土や切土法面の崩壊はもとより、管轄・管理外からの土石流や自然斜面崩壊によって道路・鉄道が被災し、長期間にわたって通行止めや通行規制をする箇所が多数発生した。最近では平成30年7月豪雨災害において道路・鉄道の管理者の管轄外からの土石流・流木によって被害が拡大、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）内の道路で信号待ちしていた車に土石流が直撃して犠牲者を出した。このような施設管理者間の土砂災害危険個所の共通認識と行政・管理区分を超えた土砂災害に対する施策を図る必要がある。また、道路側溝や横断管などが閉塞して、路面排水が阻害された結果、路面を流れる水が被害を拡大した。

道路・鉄道の切土・盛土等の土構造物に対して施設の保有する降雨や地震に対する耐災性能を明らかにすることは極めて重要である。それと同時に極めて困難な技術である。現在の技術水準や被災から得た教訓・知見を統合して、調査・解析技術の高度化を図り、目標とする耐災性能を確保するための対策を施すことが必要であり、また、比較的小規模な溪流の状況把握とその対策工の考え方を整理することも必要である。

(2) 従来の経緯（斜面評価手法）

これまでの降雨及び崩壊履歴をもとに統計的手法を用いて斜面崩壊発生リスクの評価を行う方法¹⁾や資料や現地調査によって道路等への影響度の高い溪流を明らかにする試み²⁾により、脆弱性の高い箇所の把握がなされてきている。しかし、近年の豪雨では想定箇所以外からの崩壊や土石流によって被災する事例が増えていることから、例えば、LPデータに基づく詳細な地形から過去の表層崩壊などの微地形を抽出、3次元化による見える化技術などのようにICTのさらなる活用、技術開発を推進して、これら危険度斜面や溪流の判定手法・評価手法の精度向上を目指す必要がある。

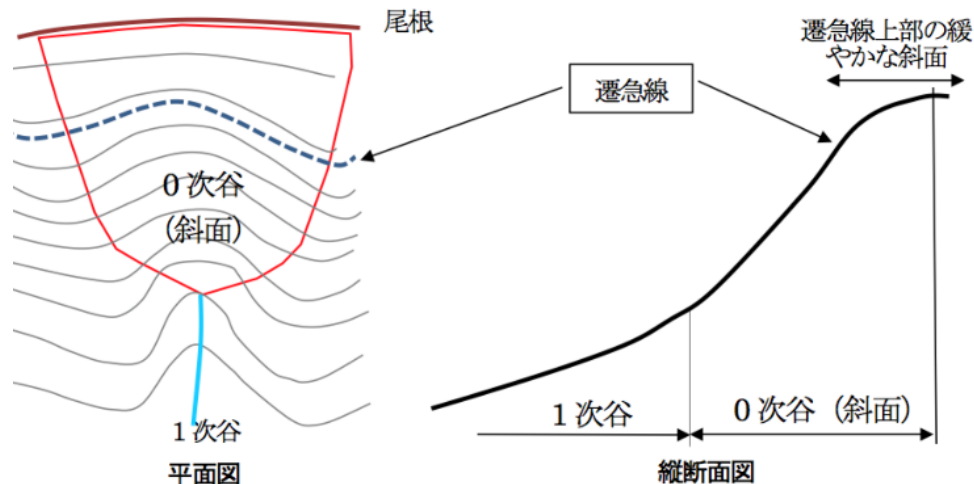


図2.7-1 0次谷とその上流部遷急線付近地形³⁾

(3) これまでの対応

提言2.5で述べたように、道路・鉄道では土石流や流木災害の発生源を直接対策することは困難であることから、待ち受け型対策工が一般的である。しかし、対策工を設置する工事環境（空間・時間等）は制限されており、交通供用中の安全性、狭隘な道路や鉄道敷きで設置可能な適合性の高い対策工は限られている。このような工事環境に適し、かつ要求性能に適合した対策工を開発するとともに、管理者管轄外になる発生源対策にも積極的に対応できる体制づくりが必要である。すでに設置された待ち受け型対策工の見直しと改良、堆積土砂等を浚うなどの維持管理の仕方も考えていかなければならない。

また、切土・盛土については、これまで時間の経過とともに安定性が増加すると考えられ、建設後の維持管理が十分されてこなかった。しかしながら、盛土排水施設等の機能及び切土のり面においては法面保護工・植生工等、これらの安定性に大きく関わる機能に対する点検・調査・診断・修繕などの維持管理のPDCAサイクルを構築することが、豪雨や地震時における耐災性の高い施設へと繋がり、防災・減災へと寄与する。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

豪雨や地震時における施設の耐災性や危険となる地形の判定、盛土・切土等土構造物の安全性や崩壊メカニズムの解明、用地外からの土砂流入に対する待ち受け対策工、発生源に有効な対策工及び危機管理型の斜面を監視するモニタリングに関する技術開発が必要である。また、森林根系斜面安定効果に関して森林工学や地盤工学、通信工学等の境界を超えた連携、協働により道路・鉄道の盛土・切土等の土構造物や自然斜面の崩壊、流木等に対する安全性の向上を図ることが可能となる。また、道路側溝や横断管の流末処理と関連して、路面の排水性能の向上と路面を流れる土・水混合体の挙動解明に関する研究が必要である。

さらに、施設の耐災性に関する調査技術として、ICTを活用したスクリーニング技術のさらなる開発により土砂災害危険個所の抽出の効率化・合理化を図り、調査結果と解析技術を統合した手法の開発により耐災性の向上が望まれる。

参考文献・参考資料

- 1) 杉山友康, 布川 修, 太田直之: 降雨による斜面崩壊発生確率の算定, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.11-16, 2009.
- 2) 村上豊和, 下野宗彦, 櫻谷慶治, 中田幸男: 資料調査に基づく高速道路に影響を及ぼす溪流評価手法の概要, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, pp.59-60, 2010.
- 3) 林野庁: 平成30年7月豪雨を踏まえた治山対策検討チーム中間とりまとめ,
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/attach/pdf/181113-4.pdf>

提言 2.8 砂防・治山—表層風化地盤の広域的・効率的な地盤調査手法の開発

(短期、施設管理者・専門家)

自然斜面の危険度評価ならびに土砂災害対策の更なる高度化を図るために、地盤表層の物理的な状態を広域的かつ効率的に評価できる調査手法の開発を進める必要がある。また、開発した地盤調査手法を用いて、表層地盤の物理的な状況を十分に調査し、また谷筋の風化残積土砂量を精度よく算定することで、土砂災害の再発性・免疫性を考慮した砂防・治山施設の合理的な維持管理・更新の計画の策定に活用していくことが重要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

土砂災害が多発する中山間地の自然斜面においてボーリング調査が行われていることは極めて稀であり、土砂災害の素因となる自然斜面の地盤情報は極めて不足している。このように自然斜面の地盤情報が不足していることが斜面の危険度判定を難しくしている根本的な課題である。したがって、土砂災害に関連する斜面表層部の風化の程度や地盤強度を広域的にかつ定量的に評価できる簡易試験法や調査方法の整備が不可欠である。

(2) 従来の経緯

これまでの自然斜面の調査では、自然斜面へ装置を持ち込むことになるため、装置の軽量性や携帯性が問題となり、主として簡易動的コーン貫入試験が用いられてきた。しかしながら、斜面の地盤強度を試験結果から直接評価するには課題があり、また作業効率の面から広域的な斜面の調査には多大な労力を要する状況にある。最近では土層強度検査棒による斜面土層調査¹⁾や軽量動的コーン貫入試験²⁾などが開発されている。

(3) これまでの対応

簡易動的コーン貫入試験³⁾に関する地盤工学会基準・同解説 (JGS1433-2012) を発刊している。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

自然斜面を対象とした従来の試験は、斜面の強度や風化層厚などを大まかに把握するといったサウンディングという意味合いで実施されてきた。自然斜面で実施できる試験は極めて限定されることから、これら試験結果を高度利用していくことに加えて、貫入作業を効率化・省力化・省人化させることで、複数の地点での試験が短時間で可能となる広域的な自然斜面の地盤評価法へと発展させる必要がある。また、評価結果を利用して、土砂災害警戒区域の詳細設定や危険斜面の現地診断などの事前防災、ならびに過去の土砂災害との比較や他地域の土砂災害と比較することで、土砂災害の地域性や特徴を考慮した危険斜面のゾーニングなどに発展させていくことが重要である。

参考文献・参考資料

- 1) 佐々木靖人: 土層強度検査棒による斜面土層調査マニュアル(案), 土木研究所資料, 第4176号, 2010.
- 2) Athapaththu AMRG, 土田 孝, 菅 和暁: 軽量動的コーン貫入試験によるまさ土斜面地盤の強度評価と自然斜面の危険度評価への適用, 地盤工学会誌, Vol. 55, No. 6(593), pp. 27-29, 2007.
- 3) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, pp. 274-279, 2013.

提言 2.9 砂防・治山－溪流全体の砂防施設の性能向上と防災教育の推進

(短期、施設管理者・専門家)

砂防施設の抑止土砂量の算定方法を見直す必要がある。保全対象の宅地・道路・鉄道が近接する場合には除石して堆砂スペースを確保できるものが重要となる。また、砂防施設より下流側での水、土砂および流木のスムーズに流下させるには市街地における流路工や水路の流過面積の確保が重要である。土砂洪水氾濫で発生する細粒分を捕捉するための閉塞想定箇所での効果的な土砂流入ポケットの設置も視野に入れる必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

平成30年7月の西日本豪雨災害の特徴^{1), 2)}として、広域的かつ長時間継続した豪雨により多くの斜面が崩壊、土石流が連鎖的に発生したことにより、極めて大量の土砂が発生したこと、流出土砂は河床上昇等により洪水流と一緒に氾濫し、広範囲かつ遠方まで到達したことが挙げられる。この現象は土砂洪水氾濫といわれる³⁾。特に被害の大きかった広島県南東部を見ると、写真2.9-1に示すように溪流出口や土石流の流路に宅地化が進行し、土石流により家屋等が集中的に被災している。砂防えん堤が設置されていない所、沢が狭窄している所や暗渠化されている所で特に被害が拡大していることが確認された。この他、砂防えん堤が土石流の被害を軽減している所、土砂災害警戒区域内でも家屋や道路の標高差によって土石流の被害を受けていないエリアも確認された。このことから、今回の災害の教訓としては、溪流単位で砂防施設を整備するほか、砂防施設だけでは対処できない部分のソフト対策が重要であると考えられる。



写真 2.9-1 呉市川角地区の被災状況 (国土地理院写真に加筆)

(2) 今後必要な地盤工学分野での対応策

今後、土石流の被害を防止・軽減するためには、砂防施設の設置推進ならびに性能向上が重要である。しかしながら、全ての溪流に砂防施設を整備していくことは現実的には困難であることから、溪流沿いに住む地域住民の避難行動指針や地域防災計画を構築し、溪流全体で土石流の被害に遭わない対応を図ることが必要である。

防災施設などハード対策としては、砂防施設の設置を推進するほか、保全対象が近接する施設背後の土石を除去して堆砂スペースを確保したり、抑止土砂量の容量を増やすこと、宅地の制約を受けない流過能力の高い水路を設けること、沢の狭窄部、暗渠部を解消することなど、溪流全体で砂防施設の性能向上について考える必要がある。

他方、砂防施設の性能を超える土石等が発生した場合に備え、地域住民の避難体制や土石流の影響を受けない街づくりが必要である。地域住民の避難体制については、地域により地形・地質、土石流の規模、市街化範囲の状況が異なるので、土石流の規模や到達範囲を予測した上で、安全な避難場所や避難ルートの設定、住民が自主避難するための防災意識の向上が重要である。このためには、地域住民が土石流や砂防施設のことについてもっと深く理解することが必要であり、防災教育に取り組むことが必要である。また、土石流の影響を受けない街づくりについては、土石流危険箇所からの移転を進めることにより、自ずと被害は減少していくと考えられる。また、住居を選ぶ際に、災害危険箇所を選択しないようにハザードマップの見方や防災知識の理解も重要である。

参考文献・参考資料

- 1) 鈴木素之，荒木功平，石田幸二，岩佐直人，宇次原雅之，北爪貴史，後藤聡，橋口昭彦，美馬健二，吉川修一：西日本豪雨災害における斜面災害の特徴と過去の災害との相違点，第61回地盤工学シンポジウム発表論文集，4-1，2018.
- 2) 土木学会地盤工学委員会：平成30年度重点研究課題（研究助成金）中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書，2019年3月.
- 3) 内田太郎，小松美緒，坂井佑介：河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案），国土技術政策総合研究所資料，No.1048，ISSN 1346-7328，2018年11月.

提言 2.10 砂防・治山—景観・生態系から災害対策までの総合的な森林管理の推進

(長期、施設管理者・専門家)

森林の存在は樹木根系による斜面安定効果を果たしてきたが、その適正な評価が必要である。森林管理は災害に対する安全面と国土景観・生態系の整備を一体のものとして進めることが重要であり、グリーンインフラなどの視点を入れ込み、総合的な森林整備の一環として行うことも考えるべきである。また、太陽光発電施設等の人工物が山地斜面に設けられている事例があるが、豪雨時の土砂流出等の影響を解明していくことも今後の課題である。

(解説)

(1)被害と教訓

豪雨による山地災害は、斜面林地の崩壊発生により沢筋に堆積した土砂とその上に生育した溪床植生が削り取られ押し出され、流木と一体となった土石流となって下流部で被害を拡大するものとなっている¹⁾。また、大型化した樹木が台風などによる強風により倒木となり被害を与えている²⁾。平成30年7月豪雨災害においても水・土砂とともに排出された流木が狭隘な箇所では閉塞し、周辺部での氾濫を助長している(写真2.10-1)。



写真2.10-1 平成30年7月豪雨における橋梁下の流木による閉塞とそれに伴う土砂洪水氾濫

(2)従来の経緯

昭和30年代までははげ山や原野が多く、豪雨による表土浸食により土砂災害、洪水が多発した。このような災害は、治山・砂防の事業、人工林の造成、薪炭林の放置による森林化の進行に伴い軽減された。その一方、斜面上の風化土層の発達を促した。近年の極端な豪雨災害の頻発の前は、樹木根系による表土層の緊縛効果により斜面の安定が保たれていたため、森林の存在は安全側の要因として見積もられてきた。しかし、2017年の九州北部豪雨災害で見られたように、斜面地の森林・樹木を抱え込んだまま風化

土層が崩壊する例が多く、土石流とともに流木となって流下し、下流に被害を及ぼすことが顕著となつてきている（写真2.10-2）。



図2.10-2 平成29年九州北部豪雨における妙見川（須川第1砂防堰堤）での流木の状況

(3) これまでの対応

土石流対策としては治山ダム，砂防ダムによる土砂の捕捉，流木対策としては透過型ダム（スリットダム）や網場の設置などにより行われてきた¹⁾。しかし，整備状況は十分とはいえない。森林管理に対しては人工林に対する間伐などが行われてきたが，広域であるためその進捗は遅い。薪炭林に対してはNPOなどによる里山管理が行われているが²⁾，奥山の管理を含めてこれも十分ではない。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

豪雨災害の激甚化・広域化に対応して，治山ダム，砂防ダムによる土砂流出防止，スリットダムなどによる流木捕捉の一層の充実を図るとともに，過熟状態にあり樹木根系が劣化している森林全体の管理を推し進めることが必要である。

戦後植林された人工林が間伐されないまま密植状態で大径木となったことによる根系の劣化，うっ閉による林床植生の消失が進んでいる。自然林と誤解されているが，広葉樹林の多くは薪炭林である。昭和30年代の燃料革命により炭焼きなどが行われなくなった結果，薪炭林は放置されて大径木化が進み，林床は荒れ果てた状態となり，人工林と同様に，降雨に対して脆弱な状態となっている。荒廃林地の防災対策のための基礎資料として樹木根系発達の現状，風化土層厚の把握³⁾が急務である。森林管理として，人工林に対しては間伐による林床植生の回復と樹木根系の健全化，樹種変換を行うことが，薪炭林に対しては小規模皆伐による大径木の更新を進めることが必要である⁴⁾。併せて道路，鉄道，建築物周辺で大型化した樹木が台風などによる強風で風倒する被害が目立ち始めており，風倒木対策も行う必要がある⁴⁾。本数が多いため，風倒木の迅速な調査・診断技術の確立が必要である。

森林は，国土景観，生態系要素として重要であり，森林の放置，劣化は斜面崩壊，土石流・流木の原因

となるとともに、景観・生態系要素の劣化に繋がるものである。上流部の森林斜面の崩壊、土石流・流木化は、流域下流に至る広域の被害を及ぼすものとなる。このため、危険な箇所に対する点と線としての防災対策・減災対策とともに、国土という面的な広がりに対する対策として、流域を一体のものとして管理するグリーンインフラ⁵⁾、Eco-DRR（生態系を活用した防災・減災、環境省・林野庁）⁶⁾としての森林管理を進める必要があり、景観・生態系から災害対策までの総合的な国土管理を行う必要がある。なお、近年導入が進んだ太陽光発電等の施設設置が山地斜面でも進んでいるが、そのような傾斜地盤での土砂流出状況や斜面崩壊への影響の把握のための基礎的な調査研究も重要となる。

参考文献・参考資料

- 1) 林野庁森林整備部，国土交通省河川局：ダム貯水池における流木流入被害の防止対策検討調査報告書，鹿島出版会，2007.
- 2) (独)森林総合研究所関西支所：里山管理を始めよう，2014.
- 3) 小山内信智，内田太郎，曾我部匡敏，寺田秀樹，近藤浩一：簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第261号，
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0261pdf/ks0261.pdf>
- 4) (社)兵庫県治山林道協会：風倒木被害と再度被害防止対策，2008.
- 5) 国土交通省：グリーンインフラポータルサイト，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000015.html (2019年5月24日閲覧).
- 6) 環境省：生態系を活用した防災・減災，<http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr.html> (2019年5月24日閲覧).

提言 2.11 宅地—情報の公開とその理解促進

(長期, 社会全体)

住民に対してハザードマップが原則公開されてきたが、その見方や意味等に関して正確な理解を促す啓発活動が重要である。土砂災害防止法の土砂災害警戒区域および土砂災害特別警戒区域を周知徹底し、避難先や避難経路の選択を助ける仕組みが必要である。盛土など人工改変箇所の情報も公開され始めたが、調査内容や耐震対策の重要性に関する情報を公開し、住民が対策の必要性を認識できるようにする措置が必要である。地盤品質判定士など地盤技術者がその役割を担い、社会の期待に応えていく必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

平成30年7月豪雨災害は西日本を中心に全国的に広範囲で記録的な大雨となったが、特に広島県、岡山県、愛媛県では年超過確率1/100を上回る規模であった。土砂災害による死者・行方不明者の約9割は、土砂災害警戒区域内で発生した^{1),2)}。広島県内での聞き取り調査³⁾によると、被災住民はSNS等により避難勧告情報等を確認していたが、正常性バイアスにより避難行動が遅れた事例が多い状況であった。また、出水・流出土砂が道路上を流下したために、避難に支障が生じた事例もあった。これらの事例より、危険度情報やハザードマップに関する正しい理解と避難経路に関する再検討に関して課題が生じた。

(2) 従来の経緯

従来の砂防三法（砂防法、地すべり等防止法、急傾斜地法）の他、平成11年6月豪雨災害を契機に土砂災害防止法が制定された⁴⁾。その後、土砂災害防止法においては、改正がなされて現法は平成29年に施行されており、土砂災害の恐れがある区域において危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制、既存住宅の移転促進等のソフト対策が推進されている。なお、土砂災害危険区域の指定に関する調査（基礎調査）は平成31（令和元）年度に完了予定である。現在、市町村よりハザードマップの作成・配付が進められ、警戒区域の状況に応じた避難体制等の充実化が図られつつある。

(3) これまでの対応

今回の災害を踏まえて、内閣府をはじめとして避難の在り方についての検討が為されている²⁾。これまで土砂災害に関する防災対策はハード面、ソフト面の充実が図られてきたが、近年の異常気象に関連する突発的なケースにおいては、限界が生じる場合が指摘されている。そして、今後の防災・減災の方向性として住民主体の防災力向上を目指すことが重要であるとされている。今回の土砂災害の多くは溪流の出口（扇状地）や急傾斜地で発生していた。しかしながら、地盤に関連する災害は、これらの地形的条件のみならず、盛土等の人工地盤でも発生する。特に谷埋盛土に関する問題は、都市域の拡大に伴う開発行為の展開が地盤災害を助長してきた面もあり、深刻な状況である（例えば参考文献5)）。上記の教訓と合わせてこの問題に関しては、早急な対応策を検討することが非常に重要である。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

今回の教訓より、地盤品質判定士等の地盤工学分野の技術者、同分野の研究者および行政担当者は、住民に対してハザードマップの正しい理解と防災教育を強化する取り組みを検討する必要がある。特に高度成長期以降において本邦では、生産と生活環境拡大のために、数多くの斜面の人工改変が展開されてきた。このような改変地における地盤・斜面の健全性に関する評価手法と合理的かつ低コストの対策手法の開発が急がれる。土砂災害は地学現象のほか社会科学的な側面を有する複合化した事象である。地盤工学に携わる者は、他分野の側面も考慮した対応を進めていくことは言うまでも無い。

参考文献・参考資料

- 1) 国土交通省 社会資本整備審議会：大規模校行き豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～答申，p.30, 2018.
- 2) 内閣府 中央防災会議 防災対策実行会議 平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ：平成30年7月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難の在り方について（報告）【案】，p.33, 2018.
- 3) 公益社団法人砂防学会 広島市防災士ネットワーク：平成30年7月豪雨災害（広島県）体験談集，p.332, 2019.
- 4) 国土交通省砂防部：土砂災害防止法の概要，<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/linksinpou.html>（2019年5月24日閲覧）。
- 5) 釜井俊孝：宅地崩壊 なぜ都市で土砂災害が起こるのか，NHK出版新書582，p.263, 2019.

提言 2.12 宅地—不動産売買に際しての地盤情報継承制度の確立

(長期, 社会・行政・専門家)

住民が自らの土地の災害リスクを容易に知ることができる仕組みが必要である。また、不動産売買においては不動産業者等から消費者へ地盤情報を継承する制度の確立が望まれる。不動産業者は、宅地建物取引士が行う重要事項説明にて、建物の安全性等に加えて宅地地盤に関する安全性についても施主に説明することが必要である。私的財産である戸建て住宅の修繕、対策工事等の費用負担は原則所有者自身であることを考慮して、説明責任が果たせる確実かつ経済的な方法が必要であり、地盤品質判定士にその役割の一部が期待される。また、将来的には災害リスクを踏まえて移転の可能性についても検討が必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓（今回の豪雨による当該地盤被害とそれから得られる教訓）

平成30年7月豪雨による土砂災害を踏まえて国土交通省が開催した「実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会」（委員長：海堀正博 広島大学大学院教授）において、西日本豪雨の土砂災害による死者119人のうち、被災位置が特定できた107人の約9割が土砂災害警戒区域（イエローゾーン）内で被災したことが示された¹⁾。

(2) 従来の経緯

宅地・建物等の不動産取引は動産の取引と比べて複雑であり、それらを十分に調査・確認しないで契約を締結すると不測の損害を被ることになる。そのような紛争を防止し、購入者等が十分理解して契約締結する機会を与えるため、専門的な知識、経験、調査能力を持つ宅地建物取引士が取引に係る重要事項について書面を交付して説明する（宅建業法第35条第1項）。重要事項説明の内容や範囲は限定的ではあるものの、造成宅地防災区域内か否か、土砂災害警戒区域内か否か、津波災害警戒区域内か否かという災害リスクを鑑みた項目が存在する。一方、平成28年5月に成立した「宅地建物取引業法の一部を改正する法律」（改正宅建業法）では、平成30年4月から住宅の基礎、外壁等の部位ごとに生じているひび割れ、雨漏り等の劣化・不具合の有無を目視、計測等により調査する「建物状況調査」のあっせんが実施されている。

(3) これまでの対応

不動産業者は売買契約の前に重要事項説明を行う。過去1年以内に建物状況調査が実施された中古住宅の場合、あっせん業者が作成した「建物状況調査の結果の概要（重要事項説明用）」を使って劣化状況などを説明しなければならない。このように「建物状況調査」は目視での劣化状況の確認であるが、現状の状態を把握できる手段として利用されており、建物については情報を継承する制度ができつつあるが、宅地地盤や既存擁壁等についてはそのような情報を継承する制度が存在しない。

また、立地適正化計画への災害リスクを考慮して居住誘導地域に含まない区域として制定することが都市計画運用指針（国交省）において示されており、大阪府箕面市では居住誘導区域から土砂災害警戒区域も外している²⁾。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

立法論的には宅建業法35条「重要事項説明」の中に地盤について調査した「地盤状況調査（仮）」を含むことを告示や指針等で明記することが必要である。現在運用されている「建物状況調査」の実施者は、建築士が実施していることから、地盤に関する「地盤状況調査（仮）」は地盤品質判定士等が主体となり実施することが望ましい。このような立法論として地盤情報の継承制度が成立する前には、例えば、不動産売買時の契約書中に、「土地の売買・譲渡時には地盤品質判定士に地盤状況調査を依頼し、買主に交付する」旨を条項に加えることで、当該土地売買の当事者間では、地盤品質判定士による地盤状況調査の報告が契約上の義務とするような方法が必要である。このような取り組みとして、文献³⁾では「宅地情報シート」が提示されている。

自然災害に遭わない理想的な住環境の一つのイメージを図2.12-1に示す。人口が集中して土砂災害等の危険箇所では生活せざるを得ないような状況になっている都市がある。人口減少の状況推移を見据えて、安全な土地への移転を促していけば、自然災害は減少していくと期待できる。立地適正化計画において災害リスクを考慮して適切な居住誘導区域を設けること等が必要である。

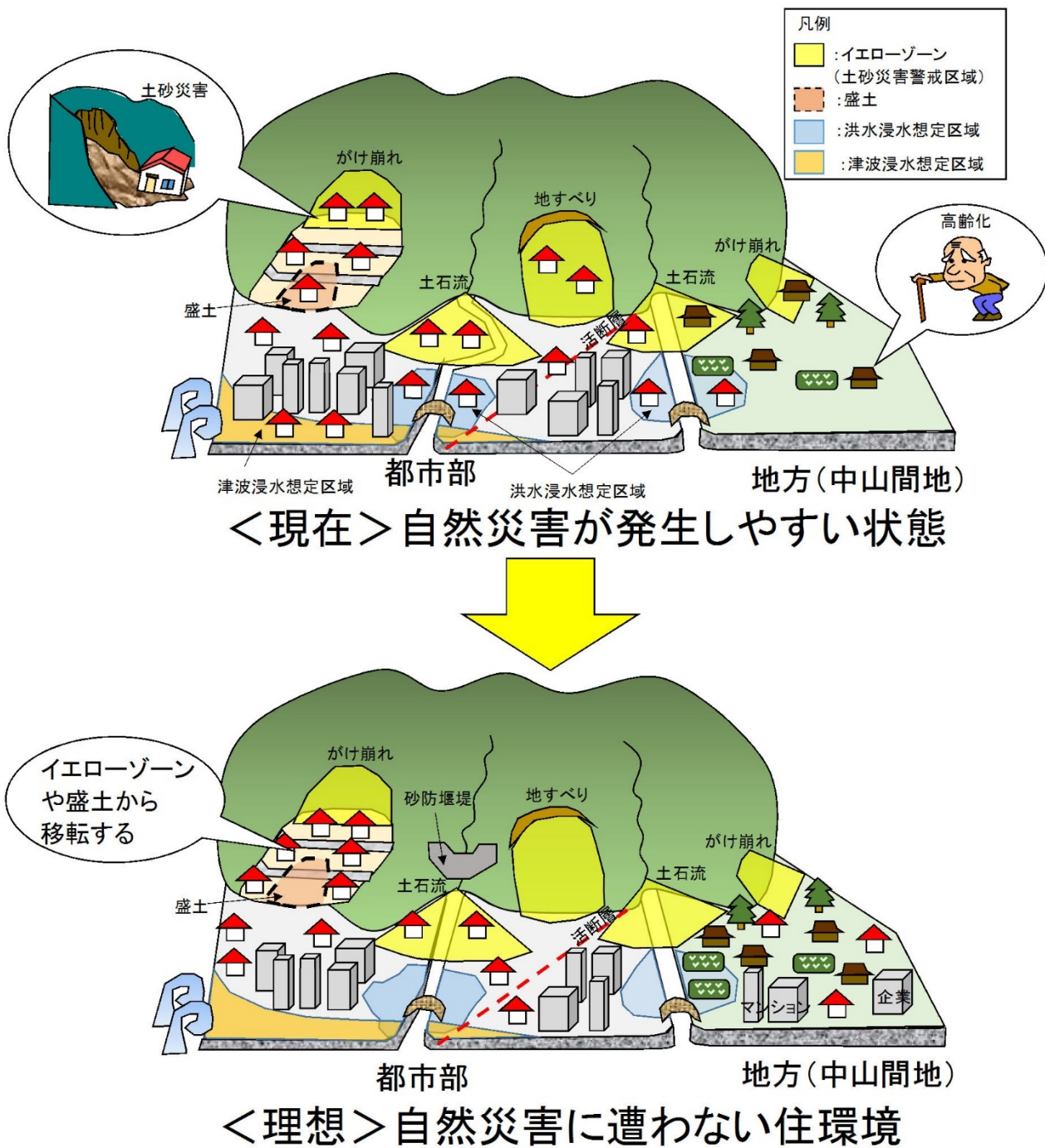


図2. 12-1 自然災害に遭わない理想的な住環境

参考文献・参考資料

- 1) 国土交通省:実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会,
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei.html (2019年5月24日閲覧) .
- 2) 国土交通省:立地適正化計画制度,
http://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network.html (2019年5月24日閲覧) .
- 3) 地盤工学会関東支部地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会編:法律家・消

費者のための住宅地盤Q&A, 民事法研究会, 2017.

- 4) 地盤工学会「役立つ!!地盤リスクの知識」編集委員会：役立つ!!地盤リスクの知識 自然災害に負けない地盤がわかる本, 地盤工学会, 2013.

提言 2.13 宅地—地盤災害履歴情報を含むハザードマップの作成とその活用

(長期, 社会・行政・専門家)

過去の土砂災害, 水害を累積的に記録した地盤履歴情報を盛り込んだハザードマップを開発する必要がある。気象情報(土砂災害警戒情報など)の重大性・切迫性などを住民が適切に受け止めて, 避難行動に移るための社会的なアイデア・工夫を研究する必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

土砂災害の多くは土砂災害危険箇所あるいはその付近で発生していることから, 現時点における基礎調査結果はほぼ妥当であることが実証された¹⁾。しかしながら, 平成30年7月豪雨災害では, 避難に有効に活かされていたとは言いがたい。この事実および基礎調査結果を住民が適切に受け止めて, 避難行動に移るための社会的なアイデア・工夫を研究する必要がある。

(2) 従来の経緯

平成11年6月29日に発生した広島災害を契機に, 従来の施設・構造物による防災対策(ハード対策)から, ハザードマップ, 警戒避難体制の整備などの情報提供によるソフト対策との併用によって, 土砂災害対策が実施されるようになった(土砂災害防止法の制定²⁾)。それ以降発生した豪雨災害で挙げた課題を随時検討し, 法改正を行い, 適宜対応している。

(3) これまでの対応

土砂災害防止法が施行され, 全国の土砂災害危険箇所に対して, 全ての都道府県で, 今年度(令和元年度末まで)に, 基礎調査を完了させる目標³⁾が設定され, 現在調査が進んでいるところである。同時並行で基礎調査結果に基づくハザードマップを作成し, 紙媒体の配布やインターネットによる情報公開がなされている。避難情報については, わかりやすい情報提供が考えられ, 今年度も数値表示とする方法で公開予定である。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

対応策は以下のとおりである。

- ・ 地盤履歴情報を考慮したハザードマップの作成方法の開発
- ・ 住民が自主的に避難行動に移ろうとする意識付け方法の開発や良好な避難体制が構築されている地域の事例提示

参考文献・参考資料

- 1) 佐藤丈晴, 海原荘一:平成30年7月豪雨による岡山県における土砂災害, 砂防学会誌, Vol.71, No.4, pp.30-37, 2019.
- 2) 社団法人全国治水砂防協会:土砂災害防止法令の解説—土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律—, 大成出版社, p.365, 2007.

- 3) 国土交通省：土砂災害防止法に基づく基礎調査の実施目標について（平成27年4月14日掲載），
http://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000015.html（2019年5月16日閲覧）。

提言 2.14 土地・地盤の公的関与の強化

(社会、施設管理者)

社会に影響を及ぼす可能性がある私有地に対して、公共が関与し、防災の観点から、異なった管理者間の情報共有を進め、国土全体を管理できる仕組みが必要であると考えられる。

(解説)

(1) 被害と教訓 (西日本豪雨災害における土石流によるインフラの被害例)

西日本豪雨の災害の特徴として、土石流の流出がさまざまなインフラ施設に被害を与えたことが挙げられる。広島県における土石流の災害は、これまで斜面に立地する住宅団地における被害が主であったが、西日本豪雨では土石流が道路に流出して道路上を移動する現象が多発し、これによって信号待ちをしていた道路利用者が犠牲になった。山陽自動車道、国道2号、JR山陽本線でも土石流が道路面や鉄道施設に流出することにより大きな被害が発生した¹⁾。

図2.14-1は一つの土石流がさまざまなインフラに被害を及ぼした例である。呉市川尻町の2つの溪流で発生した土石流が合流し、A地点で住宅を破壊し、B地点で呉市水道局の受水場を完全に破壊した。さらに、大量の土砂は戸浜川に流出し、C点では国道185号下のカルバートを閉塞させ、その結果道路上を大量の土砂と水が流出した結果、道路一車線分が陥没した。さらに、流出した土砂は海岸線を走るJR呉線の上を流れて被害を与え、最終的には海に流出した。

このように本事例の土石流は源頭部から海までの距離約2kmを流出する過程で住宅、水道施設、道路、鉄道に被害を与えた。特に水道施設の被害の影響は大きく川尻地区では3,212世帯が約1か月断水した。土石流による水道施設の被害とそれによる長期間の断水は坂町小屋浦でも発生した。破壊されたB地点の受水場は、本溪流から発生する土石流による土砂災害警戒区域に位置していたが、氾濫開始点と土砂災害特別警戒区域からはそれぞれ約500m、400m離れており、土石流によって大きな被害を受けることは予想できなかったと考えられる。



図 2. 14-1 呉市川尻町、仁方町の土石流災害（写真：平成 30 年 7 月西日本豪雨に関する情報，国土地理院，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html#1>）

図 2. 14-1 からわかるように、土石流は氾濫開始点の上流から広くかつ深く侵食しながら流下しており、発生土量が基礎調査の予測を大きく上回っていた可能性がある。このように土石流が溪流から道路や河川に入って長距離を移動し、その過程でさまざまな施設に大きな被害を与えた事例は広島県内で数多く見られた。施設管理者にとって遠方で発生した土石流による危険性の予測と対策が課題となるが、施設管理者が管理する用地内での対策は限界があり、個別に対応することは困難である。このような災害を防止するために危険溪流における砂防堰堤の整備などの砂防事業が実施されているが、きわめて多くの危険個所のすべてに対して砂防堰堤を建設することは膨大な時間と費用を要するためこちらも限界がある。

(2) 従来の経緯（私有地である危険溪流における基礎調査の状況と溪流の詳細調査・モニタリングの実施時の課題）

土石流が発生する溪流や森林はほとんどが私有地であり、その所有者は細分化され、所有者が不明のこともある。林業も衰退しているため多くは森林としての管理も十分なされていない。土砂災害防止法では、自治体が土石流が発生する危険性がある溪流を調査し、その調査結果に基づいて土砂災害警戒区域と特別警戒区域の指定を行うことが定められている。土砂災害危険個所数が全国一である広島県を例にとると、2017 年の見直しにより、県内の危険個所数は約 49,000 か所で、その内訳は「がけ崩れ」が 29,720

か所、土石流が 19,700 か所、地すべりが 80 か所となっている。これらの危険個所の調査は主に航空レーザー測量が用いられているが、土石流危険渓流の場合は渓流の中に立ち入っての調査を行う必要がある。広島県によると、土地所有者への通知は行わず、近隣の住宅、自治会等に周知して渓流内に入り調査を行っているとのことである。基礎調査による渓流内の立ち入りは 1 日程度であるが、土石流対策として渓流や斜面で詳細な調査を実施する場合やモニタリングのための機器を設置する場合は、関係する土地所有者を調べて合意を得ることが大きな制約になると考えられる。

(3) これまでの対応

これまでこの課題についてほとんど対応はなされていない。また、問題の認識も希薄である。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策（気候変動下での公的な国土管理の重要性）

盛土や切土など何らかの目的により人為的に改変した地盤が豪雨により崩壊して流出し被害をもたらした場合は、その地盤の管理者に管理に瑕疵が無いかなどの被害に対する責任を問われることは当然と考えられる。一方、自然の地形の場合は、本来長年の気候風土のもとで安定した状態にあると考え、豪雨により崩壊してもやむを得ない天災であったとして土地の管理者の責任は問われない。この背景には気候が安定しそれに適応した地形が安定していれば、天災の頻度は小さいということが前提になっていると考えられる。しかし、気候が変動している状況は、地形がそれに対応して安定する状態に達するまで、これまでよりも高い頻度で地形の変化としての土砂災害が発生すると予想される。すなわち、気候変動下では潜在的に災害の危険がある自然地盤が急激に増加するということである。これらの災害リスクに対応するには、私有地、公有地の区別なく国土（土地・地盤）全体を公的に管理することが不可欠であり、それを可能にするために私有地である森林、渓流においても防災の観点から情報を共有できる仕組みが必要であると考えられる。

参考文献・参考資料

- 1) 土木学会中国支部：2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書、第Ⅱ編 広島県、3. 土砂災害、
http://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/H30%20disater%20report_12.5_0.pdf（2019 年 5 月 15 日閲覧）

2.3 河川堤防の被害

はじめに—河川堤防被害の概要

(1) 河川堤防被害と教訓

a) 河川堤防の役割と構造的特徴

わが国の国土面積の93%は河川流域からなっており、国土面積の10%の洪水氾濫区域に人口の約50%、資産の約75%が存在していることから、ひとたび洪水が発生すれば被害は深刻となる状況にある。長年、洪水と向かい合ってきたわが国は、洪水および洪水氾濫と共存する社会である。自然の外力である洪水が発生すると、洪水の勢いは人為で抑えることができない。この流域システムの中で、河川堤防は洪水時に河川水（外水）が堤内地へ流れ出すことを防ぐ最も重要な河川施設である。洪水時の堤防の安全性確保は、我が国の社会、経済の安定な発展、氾濫から人々の生活を守るうえで極めて重要な社会資本であり、水災害から流域における人命や人々の生活の守るという堤防の役割は変わらない。堤防の決壊による氾濫が生じると、氾濫は広域に及び、著しい被害が発生し、国難をもたらされる。このような厳しい条件にさらされる河川堤防は、同じ盛土構造物でも河川堤防と道路ではその設計や管理の考え方に大きな違いがあるとされている。

また、重要なインフラである河川堤防の構造的な特徴としては、長い歴史の中で順次拡張された堤体と古い時代の地学・地質学的作用によって形成された自然の基礎地盤から成り、堤防内部は不明であることが多いが、局所的な安全性の欠落が全体の安全確保に影響するということが良く指摘される。そのため、堤防においては経験的技術が重要視されてきたが、より合理的な堤防整備のためには、科学・工学に基づいた新たな堤防の健全性評価や維持管理の方法の提案は重要課題である。2011年に土木学会地盤工学委員会に設置された堤防研究小委員会では、経験に依存している堤防の設計・施工・維持管理技術の高度化を目指して地盤工学と河川工学の連携のもとで学・官・産で堤防技術に関する活動を行っている¹⁾⁴⁾。

b) 一般的な堤防の破壊形態

河川堤防の破壊のメカニズムは、一般的に「河川水の越水」、「河川水による侵食および洗掘」、「河川水の浸透」によるものに大別でき、さらに「河川水の浸透」によるものは「法面すべり」と「パイピング」があり、これらのメカニズムが複合的に作用し堤防が決壊することもあると考えられている。

堤防への作用からみると、水衝部における川表側堤体の侵食や越流した外水による堤内側堤体の侵食など流水による堤防の外部からの破壊と、堤体や基礎地盤内を水が浸透することによる裏法のすべり破壊やパイピング破壊、いわゆる浸透破壊に大別されている。前者の破壊については水衝部や越水箇所が予想できても、特に越水に対しては堤体表面を強化などの対策により破堤を長期間にわたり完全に防止することは技術的に多くの検討がされているが適用にあたっては課題も多い。また、後者の浸透破壊については堤体土や基礎地盤の物性、層構造に関する情報が縦断方向数百メートルにカ所という疎な現状では堤体及び基礎地盤内の地下水の流れを精度よく予測することが困難とされている。また、特にパイピング破壊については噴砂を契機とし、ごく小さな弱部を縫うように進展し破堤に至る特徴からして、発生箇所を事前に予測するのは極めて困難だけでなく、噴砂が生じた箇所においてもパイピングの進

展度を測定あるいは評価する研究は行われつつあるが、実装にはまだ遠いのが現状である（例えば、学会での活動記録として参考文献1）-4）。

c) 最近の豪雨・洪水による河川堤防の被害例

直轄の河川堤防においては、平成14年度から浸透に対する安全性の調査開始された詳細点検により総延長の約3割が所定の安全性に満たないとされており、その補強を行い、安全性の向上が進められている。そのような中で、2009年（平成21年）提言「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために―地盤工学からの提言―」が発表され、その後10年間で豪雨災害が頻繁に発生し甚大な被害を受けてきた。河川堤防においても被災事例が報告されている。平成24年7月九州北部豪雨に伴う出水により生じた矢部川水系矢部川の堤防の決壊、平成27年9月関東・東北豪雨、平成28年8月北海道・東北豪雨、平成30年7月西日本豪雨災害などもその一例である。本WGでは詳細な被災状況や基本的な分析結果については一つ一つを解説することは控え、主だった情報取得先のリストで示すに留め、提言策定に大きく影響した事例分析結果の一部のみを示すことにした（例えば、参考文献5）-26）。

例えば、矢部川（平成24年7月）では基盤からの浸透破壊が主原因とされる破堤が生じた。越水なき破堤と呼ばれた。浸透破壊を原因とした破堤事例は、国が管理する河川では長良川安八地先が挙げられ、概ね40年ぶりとなった。この事例から、堤防点検・管理に関する技術に関して、下記のような3つの教訓・課題を導き出すことができる（例えば、参考文献2）,4）。

- ① 【教訓・課題1】： 矢部川では、破堤した区間以外に、のり尻部の変状や噴砂痕が認められたが、辛くも破堤を免れている区間があった。これら区間と破堤区間では、浸透破壊に関する安全性が十分でなかったことが報告されている。一方、両者を分けた要因については、補強の優先順位の設定において重要な情報であるが、なお明確な説明ができていない。
- ② 【教訓・課題2】： 破堤の原因については、多数のボーリング調査を含む基礎地盤の詳細な土質調査を行った結果、被災箇所付近の限られた範囲に砂層が分布しており、堤内地側で行き止まりになっていることと相まって、この砂層に高い水圧が作用したためと推定されている¹⁾。砂層の分布をあらかじめボーリングなど調査で把握しておくことが堤防詳細点検の前提となる。ただし、今回の事例のような局所的な砂層を対象として、その前提を満たすのに十分な高い密度の調査を全川的に行うのは困難である。
- ③ 【教訓・課題3】： 堤防の目視点検は、詳細点検との両輪として、安全性を確保するために行われている。矢部川の破堤箇所を含む一連区間での既往の目視点検結果からは、漏水などの変状と思われる形跡が認められなかった¹⁾。すなわち、観測史上初めて経験する計画高水位を超える今回の一度の出水の間に、基盤からの浸透破壊が破堤に至るまで進行するというものであった。状態監視を基本とする堤防目視点検のみでは、破堤に至るような危険箇所を特定することができない場合があることを示唆している。

こうした技術的課題に取り組むにあたっての基本的な現象理解が「浸透破壊」である。専門書においても、土砂が浸透してきた水流により運搬されて、モグラ孔のような空洞が堤体下に伸張していくプロセス（パイピングとも呼ばれる）でよく記載されており、一般的にもそうした認識で議論することが多い。しかし近年の研究を紐解くと、その現象の進展プロセス・メカニズムが学術的に確立されているとは必ずしも言えないようである。特に、矢部川の事例のように、破堤した区間以外にのり尻部の変状や噴砂痕が認められたものの破堤にはつながっていない区間があったが、これら区間と破堤区間の違いや

パイピングの変状の発生から進展、破堤に至るメカニズムは明らかになっていない。後者については、例えば、漏水・噴砂の発生、基礎地盤内のゆるみ領域、空洞の形成や堤体の陥没やすべりなどの変状の発生、これら変状の相互作用と進展や変状が破堤まで到るまでのメカニズムなどである。こうした状況に鑑みて、地盤工学委員会堤防研究小委員会の侵食、浸透破壊、洗掘ワーキンググループと河川部会堤防ワーキンググループは、2013年より連携して活動し、堤防管理の高度化に繋げていくため、浸透破壊に焦点を絞り、今後重点を置くべき研究・技術開発の方向性とその課題について整理することが試みられ、そのような成果も報告されている。

一方、最近の豪雨災害においては、降雨強度が強く、降雨の継続時間が長くことが頻発することで、堤防の安全性を考えるにあたって、考慮すべき降雨や外水位の堤防への作用の影響も指摘されている。降雨においては、①降雨強度が低くゆっくりとした浸潤作用が生じる場合と②降雨強度が高く速い浸潤作用が生じる場合、による河川堤防の応答の相違がある。外水位である河川水位の波形が、①急激な水位上昇を伴う場合、②高水位の継続時間が長期化する場合、③一度の出水で複数のピークを持つ様な長く変動する場合、④高水位となる頻度が増し洪水履歴の影響の考慮が必要となる場合、による河川堤防の応答である。降雨波形と外水位波形の組み合わせを考慮し、浸透の非定常性や間隙水・間隙空気の連成、繰り返し浸透による堤防の構造的な劣化などが重要視される事例がみられるようになった。

観察されている被災は、過去に認識されていなかった現象が発生しているというよりも、作用の変化によって重要視されていなかった現象が顕著に現れたり、被災の規模が異なったり、複合化したりする被災が発生していると考えられる。また、三次元的な構造上の欠点が明確に現れたりすることも指摘されている。よって、堤防の土質的特性や構造的特性のみで堤防の力学的応答が決定されるわけではなく、外力特性と堤体－基礎地盤の構造特性の組み合わせを考慮した被災発生機構の理解や横断方向の弱部、縦断方向の弱部の同定や抽出などが必要であることを、認識させられる被害の発生が続いていると言える。

2009年以降の豪雨・洪水による河川堤防の被災事例について一つずつ挙げることは避け、いくつかの報告集のURLなどを参考文献としてあげてあるので参考にして頂きたい。

(2) 2009年提言に対する達成度評価

2009年(平成21年)提言「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために ―地盤工学からの提言―」について、提言策定後の実事例の分析・課題抽出、研究・技術開発や社会状況の変化を鑑みながら、提言内容を以下のような評価方法によってレビューした。レビューは会長特別委員会および土木学会地盤工学委員会堤防研究小委員会の委員にお願いしている。レビューを踏まえた提言の具体的な策定方法については、次項の(3)策定方針を参照して頂きたい。以下のような依頼を「チェックシート」を用いて行った。

① 達成度の評価

- A：提言を実施済み実装済み（マニュアル完成以上・実装が動いている）
- B：提言を実施中であるが完了するかどうか未定（研究はほぼ終了、マニュアル作成中）
- C：提言について計画中であり未着手（研究開発段階）
- D：提言の変更・削除（実装不可能・ニーズから外れた）

② 評価A～Dの判断や達成度を向上するためのコメントの記入

- i) 達成度評価の判断に関するコメント
- ii) 提言達成度を上げるための課題と対応方法
- iii) 提言の変更が必要な点

ここでは、2009年提言の「治水利水施設」「2.1「治水利水施設」共通の提言」について、河川堤防の観点からのレビューした結果を以下に紹介する。河川堤防に関する個々の提言のレビュー結果については、次項の(3)策定方針や後述する各提言でふれることにする。

【「治水利水施設」共通の提言のレビュー結果】

提言 2.1-1 (治水制御性能に関する弱部の正確な同定) → B

『治水施設の治水制御性能に関する弱部を非破壊で正確に見出せる調査法の開発が必要である。』

[レビューコメント]

- ・ 種々の調査・研究は実施されているが、高度化・効率化までは至っていない。適用の試みは続けられているが、実用化には至っていない ⇒【短期・中期】研究では、被害のあった箇所の原因究明に関する研究は進んでいるものの、事前に弱部の絞り込みまではできていない。特に被災していない堤防に関しては情報が少ないので、データの集積が必要である。
- ・ 物理探査等の技術開発は続けられている。⇒【短期・中期】堤防における使い方、適用範囲・限界を明らかにする検討を継続することが必要。ただし、メカニズム等の力学的検討の上、結果を捉えるべき、分解能、不均質性、探査可能範囲などを明らかにして効率的な調査をデザインする必要がある。

提言 2.1-2 (新たな技術開発) → B

『豪雨・地震に関する広い専門分野からみた新たな課題の発掘と技術開発（戦略）が必要である。』

[レビューコメント]

- ・ 適用の試みは続けられているが、実用化には至っていない ⇒【短期・中期】水工学と連携した研究の枠組みが始まり、境界領域としての堤防工学の発展が期待される。長大な延長の堤防から弱点部を抽出する技術や浸透流解析から、噴砂、ゆるみの進展等を表現する研究を進めることが必要である。

提言 2.1-3 (連鎖被災の可能性の評価と予防保全) → B

『(追記部分を下線)地山や施設の被災が連鎖的に他に拡大する可能性や本川と支川が同時に被災する可能性を評価し、対象とする治水・利水施設ごとに異なる地形等の諸条件を考慮した予防保全に配慮が必要である』

[レビューコメント]

- ・ 適用の試みは続けられているが、実用化には至っていない ⇒【短期・中期】水工学と連携した研究の枠組みが始まり、境界領域としての堤防工学の発展が期待される。
- ・ 西日本豪雨の被災を考慮して⇒【短期・中期】本川と支川の同時決壊が発生し、それも災害シナリオに考慮した対応が求められる。

(3) 2019年提言の策定方針

国難をもたらす甚大な豪雨に対して、合理的な対策を可及的速やかに実施・完了するために、何を社会に提案するのか、研究者・技術者・管理者がなすべきことに関して、会長特別委員会および土木学会

地盤工学委員会堤防研究小委員会の委員を中心に整理した。

大方針として、

- a. 過去の提言内容の達成度を評価し、達成度を高めるために、その達成を加速させるために、どんなタイムスパンで何をすべきかをまとめる
- b. また、2009年の提言から10年が経過しているので新たな事例、研究・技術の進展、社会情勢・他分野の技術革新・政策の変遷を考慮し、かつ、新たな少し未来を見据えた提言を加えることとした。
- c. さらに、提言は地盤工学分野のアクションプランに関わることとして捉えると、5年程度もしくは大きな災害毎に見直すことが必要、という観点に立つ。

以上の方針のもと、以下のような作業を行っている。

- ① 学会の過去の同種内容の提言『2009年（平成21年）提言「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために 一地盤工学からの提言一」』のレビューを行い、提言策定後の実事例の分析・課題抽出、研究・技術開発や社会状況の変化を鑑みながら、提言内容の継続や見直し、追加などの意見収集を行った。
- ② レビューは(2)で示したように、各提言内容について以下のような達成度評価、i)その判断に関するコメント（提言の対象者の変更も含め）、ii)提言達成度を上げるための課題と対応方法（判断に関するコメント）、iii)提言の変更が必要な点（判断に関するコメント）、について意見を集約している。
- ③ レビュー結果を参考に既に策定されている提言内容の継続、変更、削除などを行う。また、タイトルについては研究、技術、政策、社会の状況を反映して適宜修正する。さらに、レビュー結果に基づいた達成度ランクA～Dごとの主な対応は以下のようである。
 - ・ [レビュー結果A]：継続し、確実に達成させるためのコメントがある場合は実現を加速させるための短期目標（5年程度）として追記・修正する。
 - ・ [レビュー結果B]：継続し、達成度上げるコメントがある場合は実現を加速させるための中期目標（5-15年程度）として追記・修正する。
 - ・ [レビュー結果C]：継続もしくは変更し、達成度上げるコメントがある場合は中・長期標（15年程度～2-3世代）として追記・修正する。
 - ・ [レビュー結果D]：大幅な変更・見直し、もしくは削除する。
- ④ 過去の提言に無い項目や特に注力して進めるべき内容を、委員会・関連シンポジウムでの議論内容や行政が進めるプランなども考慮して新たな提言の提案を追加する。
- ⑤ レビューコメントは主に「(1)被害と教訓」と「(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策」に記入し、「(2)従来の経緯」と「(3)これまでの対応」は提言によってはまとめて記述している。
- ⑥ 過去の提言のレビューや提言の変更、新たな策定においては、行政が実施してきた、もしくは今後実施予定のプランについても考慮する。例えば、「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について」などへの対応である²⁷⁾⁻³⁰⁾。

2009提言の2.3節「河川堤防」の提言2.2.3-1～提言2.2.3-5について上記の方針と作業手順に従って以下のようなレビューと提言の修正や新たな提言を策定している。新旧対応を以下に示す。

河川堤防提言の新旧対応表

2009年提言番号	2009年提言題目	達成度ランク	レビュー後の対応	2019年提言番号	提言題目
2.2.3-1	耐震性能の評価	B	提言2.2.3-4と統合		—
2.2.3-2	洪水制御性能の評価	C	継続 題目修正, 内容修正・追加 目標 (短期・中期)	3.1	堤防の設計法の高度化と実装
2.2.3-3	付帯構造物との接合部を含めた弱部発見法の高度化	B	継続 題目修正, 内容修正・追加 目標 (短期・中期)	3.2	高水時の破堤を引き起こす弱部が内在する堤防および基礎地盤の点検・診断法の高度化
2.2.3-4	地震と豪雨の総合評価と対策工法	A	継続 題目修正, 内容修正・追加 目標 (短期・中期・長期)	3.3	地震と豪雨の総合評価と対策工法の開発
2.2.3-5	災害リスクに基づく堤防管理体制	C	継続 題目修正, 内容修正・追加 目標 (短期・中期・長期)	3.4	気候変動と流域特性を考慮した災害リスクと避難計画に基づく堤防管理体制の構築
			新規追加 目標 (短期・中期)	3.5	堤防の侵食破壊の理解および対策の地盤工学的研究・技術開発の推進
			新規追加 目標 (短期・中期)	3.6	効果的な水防工法による堤防の破壊抑制技術の評価と効率的な運用への貢献
			新規追加 目標 (中期・長期)	3.7	河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援
			新規追加 目標 (中期・長期)	3.8	センシング技術, 情報技術の利活用による維持管理の高度化
			新規追加 目標 (短期・中期)	3.9	インフラの管理者である行政との協働と新たな工学の役割の発見

参考文献・参考資料

- 1) 土木学会地盤工学委員会堤防研究小委員会: <http://committees.jsce.or.jp/jiban02/>, (参照 2019-05-24) .
- 2) 堤防研究連携 WG: 堤防研究連携 WG 活動報告書, <http://committees.jsce.or.jp/jiban02/node/25> (参照 2019-05-24) .
- 3) 土木学会水工学委員会河川部会: 過去のシンポジウム報告書, 河川技術に関するシンポジウム, <http://committees.jsce.or.jp/hydraulic01>, (参照 2019-05-24) .
- 4) 河川部会堤防ワーキンググループ, 堤防小委員会侵食・浸透破壊・洗掘ワーキンググループ: 河川堤防の効率的補強に関する技術的課題とその取り組みの方向性, 河川技術論文集, 土木学会, pp.367-372, 2015.
- 5) 国土交通省九州地方整備局・矢部川堤防調査委員会: 矢部川堤防調査委員会報告書(平成 25 年 3 月), http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/site_files/file/torikumi/01-plan_course/tyosa/saisyu/houkokusyo.pdf (参照 2019-05-24) .
- 6) 地盤工学会平成 24 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査団: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書.
- 7) 地盤工学会九州北部土砂災害調査団: 平成 21 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害調査報告書.
- 8) 土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ: 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨 関東地方災害調査報告書.
- 9) 国土交通省関東地方整備局・鬼怒川堤防調査委員会: 鬼怒川堤防調査委員会報告書(平成 28 年 3 月), http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000643703.pdf (参照 2019-05-24) .
- 10) 国土技術研究センター: 台風 17 号及び 18 号による鬼怒川被害現地調査報告(第 2 報), <http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/disaster/07/20152kinugawa.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 11) 研究代表者・田中茂信: 科研特別研究促進費 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による災害の総合研究, <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-15H06923/> (参照 2019-05-24) .
- 12) 茨城大学平成 27 年関東・東北豪雨調査団: 茨城大学平成 27 年関東・東北豪雨調査団成果報告, http://www.ibaraki.ac.jp/common/pdf/generalinfo/completereport_2016_910suigai.pdf (参照 2019-05-24) .
- 13) 地盤工学会北海道支部調査団(2016 年 8 月北海道豪雨): 2016 年 8 月北海道豪雨調査報告書, https://www.jiban.or.jp/wp-content/uploads/2017/08/final_report_ver0.12s.pdf (参照 2019-05-24) .
- 14) 土木学会水工学委員会調査団(2016 年 8 月北海道豪雨): 2016 年 8 月北海道豪雨調査報告書, http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/2016%E5%B9%B4%E6%9C%88%E5%8C%97%E6%B5%B7%E9%81%93%E8%B1%AA%E9%9B%A8%E5%9C%9F%E6%9C%A8%E5%AD%A6%E4%BC%9A%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E5%9B%A3%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_20170501.pdf (参照 2019-05-24) .
- 15) 国土交通省北海道開発局・常呂川堤防調査委員会: 常呂川堤防調査委員会報告書(平成 29 年 3 月), <https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el-att/icrceh00000032zs.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 16) 国土交通省北海道開発局・十勝川堤防調査委員会: 十勝川堤防調査委員会報告書(平成 29 年 4 月), <https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el-att/icrceh00000032zs.pdf> (参照 2019-05-24) .

- 17) 国土交通省北海道開発局・空知川堤防調査委員会: 空知川堤防調査委員会報告書(平成29年4月), https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh400000055bq-att/gburoi0000000akyw.pdf (参照2019-05-24) .
- 18) 国土交通省北海道開発局・釧路川堤防調査検討会: 平成28年8月の大雨により発生した釧路川の堤防法面被災に係る報告書(案)(平成28年4月), <https://www.hkd.mlit.go.jp/ks/tisui/obpsos00000007dy-att/houkoku00.pdf> (参照2019-05-24) .
- 19) 地盤工学会平成29年7月九州北部地盤災害調査団: 平成29年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, https://www.jiban.or.jp/?page_id=7758 (参照2019-05-24) .
- 20) 研究代表者 秋山壽一郎(九州工業大学): 科研特別研究促進費 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究, <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K20140/> (参照2019-05-24) .
- 21) 秋山壽一郎(研究代表者): 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究 報告書, 平成29年度科学研究費補助金特別研究促進費(課題番号:18K19951), 2018.
- 22) 国土交通省中国地方整備局・高梁川水系小田川堤防調査委員会: 委員会配布資料及び議事概要, 平成30年7月豪雨, <http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochoa.htm> (参照2019-05-24) .
- 23) 国土交通省近畿地方整備局: 【河川部】平成30年7月豪雨に関する情報, 【都道府県】整備効果資料(河川・砂防), 【企画部】発表資料など, 平成30年7月豪雨, <https://www.kkr.mlit.go.jp/news/river/disaster/2018/o19a8v000000yue8.html> (参照2019-05-24) .
- 24) 自治体記録, 例えば, 福知山市: 平成30年7月豪雨災害の記録, <https://www.city.fukuchiyama.lg.jp/uploaded/attachment/11820.pdf> (参照2019-05-24) .
- 25) 2018年07月西日本豪雨災害調査団報告会: 報告会開催案内と資料, <http://committees.jsce.or.jp/report/node/179> (参照2019-05-24) .
- 26) 長岡技術科学大学・大塚悟: 平成30年7月西日本豪雨災害神通川(富山市葛原地先)災害報告, 土木学会地盤工学会委員会堤防研究小委員会 資料
- 27) 土木学会中国支部: 2018年7月西日本豪雨災害調査報告書, (購入申込ウェブサイト) <http://committees.jsce.or.jp/chugoku/taxonomy/term/8>, (参照2019-05-24) .
- 28) 国土交通省水管理・国土保全局: 水防災意識社会再構築ビジョン(H27.11), <http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/vision.pdf> (参照2019-05-24) .
- 29) 国土交通省水管理・国土保全局: 「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画(H29.6), <http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/koudoukeikaku.pdf> (参照2019-05-24)
- 30) 国土交通省水管理・国土保全局: 防災・減災, 国土強靱化のための3か年緊急対策(H30.12), <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/jyuyouinfura/sankanen/siryou1.pdf> (参照2019-05-24) .
- 31) 国土交通省水管理・国土保全局: 「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画の改定(H31.1), http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/koudoukeikaku_190129.pdf (参照2019-05-24) .

提言 3.1 堤防の設計法の高度化と実装

(短期・中期, 行政・技術者・研究者)

洪水制御という機能を果たすべき堤防の設計の高度化に向けて、堤防の破壊形態・規模、破壊の進展、繰り返しの外力作用による構造的劣化等と堤防性能への影響を明らかにする必要がある。そのうえで、堤防に求める性能とそれを満足するための堤防の状態を明らかにし、これらを適切に表現可能な照査手法の開発と、それを活用した、合理的な堤防の安全性の評価、および対策の合理化に繋げていくべきである。

(解説)

(1) 被害と教訓

矢部川の事例では基礎地盤からのパイピング破壊が主原因とされる破堤が生じた。一方で、破堤した区間以外にのり尻部の変状や噴砂痕が認められたものの破堤にはつながっていない区間があったが、これら区間と破堤区間の条件の違いや、変状が破堤に至るメカニズムは明らかになっていない。特に、近年の豪雨の激甚化を踏まえ、高水位・豪雨の長期化や繰り返し作用に対しても対応が求められており、浸透破壊の進展性を適切に評価し、堤防に求められる性能を確保するため堤防がどのような状態にとどまるべきかを明らかにする必要がある。また、土は一般に材料的な劣化が生じにくいとされているが、条件によっては土自体の劣化が生じたり、構造体として劣化したりことも指摘されており、これらの評価も必要である。

浸透破壊についての数値解析手法やパラメータの同定は研究途中であり、どこまで正確に予測できて、何が予測できないのかを系統的に整理しなおす必要がある。解析の技術は高まっているものの、初期条件や境界条件、浸透特性値の設定に関しては、指針以外に明確なものがない。実務への適用レベルに到達している手法は従来の手法のみである。また、浸透破壊の進展性に関する研究は実施されているものの、現場への適用レベルには至っていない。

さらに、水害が頻発する中で、事業の順序、財政状況等によりなかなか手の付けられない、付けづらい堤防についての対処方法について検討が遅れている。高度で、相当程度実績のある工法の実施だけでなく、堤防の破壊形態・規模、破壊の進展を踏まえて当面の堤防に求める性能を明確にし、例えば致命的な被害を防止するための方策等、堤防に求める性能に応じた対策の考え方を示す必要がある。

(2) 従来の経緯および (3) これまでの対応

地盤に関わる解析手法は、各種被災経験等を踏まえて精度向上を図り発展し成果を得てきた。その妥当性の検証や適切な初期条件、境界条件のモデル化、合理的なパラメータの決定など、実際問題に適用する際には、被災事例や実験データ等の信頼性のあるデータによる検証が求められる。一方で、現在実務に適用されている安全性評価手法が、どのような堤防の状態を評価しているのか必ずしも明確にはなっていない。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

堤防の破壊は多くの人命や資産を損なうため、破堤につながる切欠を工学的に明確にし、鍵となるパ

ラメータを見出すとともに事前に察知できるようにすることが重要である。被災事例だけでなく、被災していない安全が確認されている事例も十分に活用し、設計・対策技術の信頼性を高めることを進めなければならない。また、治水計画を見据えながら、どのような堤防の大きさ、形状、土質・構造が適切なのかという基本的検討を行うとともに、河道設計と堤防設計を一体的に実施できるようにすることが重要である。

堤防の性能評価として提案されている従来手法や新たな手法が、実堤防の破壊をどれだけの確に予測できているのかを明確にし、その差異を分析・整理する必要がある。特に浸透作用を受けたすべり破壊については、長い間、実務に適用されて来たが、その適用性についての理解は十分とは言えない。初期条件（現在の堤体の含水状態、浸潤線位置など）はどの程度の精度で把握する必要があるのか、その実装についての検討が重要である。堤防の不均質性をいたずらに誇張することなく、どのような不均性を特徴付け、モデル化するかを検討が必要である。破壊、浸透やその繰り返し作用で土が劣化することの表現、パラメータ設定方法、試験法選択を含めた**Verification & Validation (V&V)** 手法の構築を行うべきである。なお、堤防の様な長い延長を有し、局所的な安全性の欠落が全体の安全確保に影響するため、解析技術等の評価技術の高度化とあわせて、弱点箇所を抽出するための調査技術も高度化する必要がある。

パイピングによる破堤につながる切欠を明確にするとともに、破壊の進展のメカニズムと安全性評価方法が課題である。引き続き、研究者、技術者によるパイピングのメカニズム究明と重要因子を的確に抽出し実用化できるようにする必要がある。また、近年の豪雨の激甚化を踏まえ、高水位・豪雨の長期化や繰り返し作用による、浸透破壊の進行性や堤防が構造体として劣化することを考慮した安全性の評価や対策工の開発、それらの実証がなされるべきである。

さらに、水害が頻発する中で、堤防の安全性を高めるために、高度で実績のある工法から簡易な工法までの効果を明確にし、堤防に求める性能に応じた技術選定手法を示す必要がある。

提言 3.2 高水時の破堤を引き起こす弱部が内在する堤防および基礎地盤の点検・診断法の高度化
(短期・中期, 行政・技術者・研究者)

堤防を横断する樋管等構造物の周囲は高水時に地下水の水みちとなり得る。また浸透破壊の原因となり得る堤体や基礎地盤中の透水性土質材料とその縦横断的な土層構造を非破壊で効率的に見出す調査・評価法の開発が必要である。さらにパイピング部を予めもれなく抽出するには本質的に限界があるため、高水中のリアルタイムでの堤体状態の監視法を開発し水防活動の集中による破堤の回避と住民の避難情報に結び付けることが必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

河川堤防の破壊形態は、水衝部における川表側堤体の侵食や越流した外水による堤内側堤体の侵食など流水による堤防の外部からの破壊と、堤体や基礎地盤内を水が浸透することによる裏法のすべり破壊やパイピング破壊、いわゆる浸透破壊に大別される。前者の破壊については水衝部や越水箇所が予想できたとしても堤体表面を強化するなどの対策により破堤を長期間にわたり防止することが技術的に検討されているものの適用にあたっては課題が多い。また、後者の浸透破壊については堤体土や基礎地盤の物性、層構造に関する情報が縦断方向数百メートルに1カ所という疎な現状では堤体及び基礎地盤内の地下水の流れを精度よく予測することが困難である。また、特にパイピング破壊については噴砂を契機とし、ごく小さな弱部を縫うように進展し破堤に至る特徴からして、発生個所を事前に予測するのは極めて困難だけでなく、噴砂が生じた箇所においてもパイピングの進展度を測定あるいは評価することすらできないのが現状である。

今次の災害では破堤しなかった箇所においても漏水や噴砂が発生し、それらの中には事前の詳細点検で危険性が見逃されていた箇所もある。幸いにして越水なき破堤は生じなかったものの、繰り返される堤内及び地盤内の水の浸透により土粒子が侵食され土が劣化し、浸透破壊の危険性が経年的に増加していることが想定される。これまでの出水で浸透破壊しなかった多くの経験に基づいた現在の堤防管理法の妥当性を検証し必要に応じて見直すことが必要である。

(2) 従来の経緯

1990年代後半から始まった堤防の高水時安定性の点検では、およそ数百メートルに1カ所の代表地点でボーリングおよび標準貫入試験等の地盤調査により設定した断面に対して行われている。そこではハイドログラフを用い堤防横断面の浸透流解析を行って得られる局所動水勾配等によりパイピングに対する安全性を、また円弧滑り計算により法面滑り破壊に対する安全性を点検してきた。その内パイピング破壊については漏水の発生以後、パイピングの進展、堤体の陥没・沈下から破堤に至る各段階の詳細なメカニズムに不明な点が多く残されており、それらを予測・評価する手法も確立されていない。

そのような状況のもと、2012年矢部川で発生したパイピングによる破堤の原因調査およびその後行われた研究により、基礎地盤に局所的に分布する薄い透水層の平面的な分布範囲(行き止まり構造)、被覆土層厚の分布状況等が安定性を左右する重要な要因であること、進展中のパイピング部の断面は厚さ数mmから数十mm程度と極めて小さいこと等が明らかとなり、パイピング部及びパイピング部となり得

る潜在的弱部を把握するための調査手法の開発が喫緊の課題として挙げられている。

これまでにこのような弱部を効率よく発見できるまでに至っていない。堤防弱部を効率よく発見するため、治水地形分類図が示す有用な情報の読み取り方法、サウンディング技術や物理探査技術の更なる発展やそれらの組合せによる技術の高度化を図ることはもちろん、近年明らかになりつつあるパイピング部の小ささを鑑みて新たな視点になった技術開発を行う必要がある。その際、メカニズムの解明は依然として極めて重要であり、捉えるべき対象、分解能、不均質性、範囲などを明らかにして（やみくもに稠密で感度の高い測定でなく）、目的にあった効率的な調査法を開発してゆくべきである。

(3) これまでの対応： これまでの調査や研究・委員会活動等

2011年に土木学会地盤工学委員会に堤防研究小委員会が設置され、経験に依存している堤防の設計・施工・維持管理技術の高度化を目指して地盤工学と河川工学の連携のもとで学・官・産の情報共有と堤防技術に関する研究を行っている。また、この委員会が主体となり、河川堤防技術シンポジウムを毎年開催、土木学会全国大会での研究討論会を開催するなど堤防研究の活性化に資する活動を推進している。

2012年に矢部川堤防で発生した越水なき破堤では地盤工学と河川工学の専門家からなる矢部川堤防調査委員会が設置され原因究明が行われた。また、国土交通省水管理・国土保全局では河川砂防技術研究開発公募制度で堤防の安全性に関する研究課題が二期にわたって掲げられるなど、堤防の安定問題に関する研究促進を図ってきた。

近年では堤防に関する論文発表件数が大幅に増加（地盤工学研究発表会）するなど地盤工学分野における堤防の研究が活発化している。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

パイピングに関しては漏水の発生以後のパイピングの進展、堤体の陥没・沈下、破堤を予測できる手法が確立していない。数値解析も浸透、変形、破壊といった一連の現象を連続して表現することは勿論のこと、個々の現象も十分に再現できない。繰り返しになるが、メカニズムの解明を基に数値解析法を進展させる努力を継続する必要がある。また、実験による照査ができるように、模型と実堤防の原型をつなぐ相似則についても検討を継続しなければならない。

パイピングは、その十mmオーダーのスケールからして原位置調査や物理探査から得られるデータで必ずしも特定できるわけではない。洪水中に予測していなかった箇所パイピングが発生したり、洪水中の目視点検ではパイピングの兆候である噴砂が植生に隠れて発見できなかつたり、することは少なからず生じている。今後もこれらを避けることは困難であることを認識する必要がある。一方で越水なき破堤を防ぐことは社会的要請である。そのために、これまでのボーリングによる原位置調査に基づく点検法の限界を認識し、日進月歩で発達する技術を積極的に取り入れ、堤防の点検・管理法を高度化することが必要である。一例としては、近年急速に発展している衛星、航空レーザ、UAV、MMSなどを用いた広域に低コストで迅速に堤体の損傷状態や安定性を知る技術が挙げられる。高水前の堤体の詳細形状データを取得しておき、高水中に一定時間間隔で取得する形状と比較し解析することによりリアルタイムで堤防の安定性を評価すれば、水防活動を危険個所に集中することが出来る。また、万が一破堤が生じる場合にも事前に避難情報を発することにより最低限人命の確保につなげることが出来る。

提言 3.3 地震と豪雨の総合評価と対策工法の開発

(短期・中期・長期, 行政・技術者・研究者)

地震と豪雨に対して総合的に評価し、適正な対策工法を吟味し、技術選定手法および施工後のモニタリングや維持点検の手法を確立する必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

従来の河川堤防の技術検討は、侵食、浸透、地震など堤防の安定性を損なう外力種別とその作用形態(破壊メカニズム)に応じたそれぞれの場合に対する照査に留まっているため、専門分化の壁にとらわれず、強化工法の適切性を合理的に総合的に評価する姿勢に転ずることが望まれていた。例えば、耐震性と耐浸透性に対しては、締固めは共通な対策工になるのに対して、ドレーンやシートパイルなどの対策工法は設置場所によっては効果が相反することなどである。

また、地震後の河川堤防の耐浸透性能の評価も重要な課題である。河川堤防の耐震性能照査において、「高さ」だけを判断基準とするのではなく、地震後に補修した堤防が、所定の機能(高水時に漏水・破堤しないか等)を保持しているのかどうかの判断をする調査・評価手法の構築が望まれている。

(2) 従来の経緯

西日本豪雨を含む過去の洪水において、耐震対策工が侵食や浸透に対して、悪影響を及ぼした事例は確認されていない。しかし、模型実験や解析では、耐震対策工が浸透に対して悪影響を及ぼすことが確認されている。東日本大震災においては、逆に、浸透対策工や侵食対策工が耐震に対して良い影響を及ぼしたと推測される事例が幾つも確認されている。例えば、写真3.3-1, 2は、鳴瀬川支川鞍坪川の事例である。川裏側には浸透による裏のり尻の安定性を向上するためにドレーン工が設置されており、変状が見られないのに対して、川表側に開口亀裂等の変状が確認された。

これらの事例も踏まえ、「河川堤防の液状化対策の手引き(2016)」¹⁾では、耐震対策を実施することによって浸透に対して悪影響がないような対策を選定することや悪影響が出る場合にはドレーン等の浸透対策を組み合わせることが、具体の設計手法とともに示されている。このように、強化工法の適切性を合理的に総合的に評価する取り組みが始まっている。

(3) これまでの対応

一方で、現状においても設計で評価できていない事例も存在する。東日本大震災において、浸透対策として設置された鋼矢板が、耐震に対して良い影響を及ぼしたと推測される。図3.3-1は、利根川や霞ヶ浦等に設置されていた浸透対策としての鋼矢板が設置されていた箇所と設置されていなかった箇所に分けて、東日本大震災による川表側・川裏側の変位量を整理したものである²⁾。鋼矢板が設置されていた箇所では、設置されていた側への変位が小さい傾向が見られる。浸透対策としての鋼矢板の設置深度は、耐震対策として設置される鋼矢板よりも浅いことが多く、非液状化層への根入れが不十分であるにもかかわらず、地震に対しても効果が発揮された。このような事例を引き起こすメカニズムが十分に解明されておらず、当然ながら設計においてもこのような効果はほとんど考慮されていない状況である。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

このような事例の徹底的な分析・蓄積により，土の力学の持つ限界（枠組み）と真摯に向き合うとともに，盛土変形に及ぼす初期条件・境界条件の影響の解明に向けた継続的な努力が望まれる。

また，設計においては，数値解析に依存する傾向が強まってきている．これは，解析技術自体と，ハード・ソフトの両方の進歩によるものである．表示が優れていれば，解析技術自体が優れているように誤解されることも多い．このため，関係者全てがこれらを区別できるよう，技術力の維持・向上に向けた取り組みも必要である．



写真3.3-1 天端川表側に開口亀裂発生



写真3.3-2 川裏側には変状なし

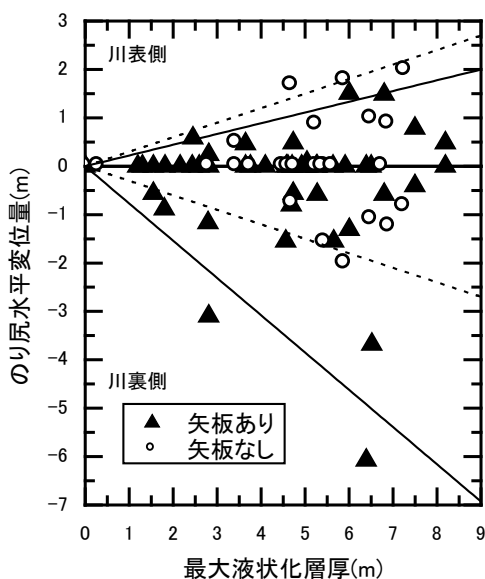


図1 東北地方太平洋沖地震における被災箇所両法戻りの水平変位と最大液状化層厚の関係²⁾

参考文献・参考資料

- 1) (国研) 土木研究所: 河川堤防の液状化対策の手引き, 土木研究所資料第 4332 号, 2016.
- 2) 高橋章浩, 渦岡良介: WG4 耐震委員会報告, 第 1 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム, 2013.

提言 3.4 気候変動と流域特性を考慮した災害リスクと避難計画に基づく堤防管理体制の構築

(短期・中期・長期, 行政・技術者・研究者)

自然環境の変化や地域社会の発展と共に増大する災害リスクを把握し国民に周知するとともに、河川堤防が必要な施設機能を果たし得るように、避難計画を考慮しながら河道と堤防の計画・設計を一体化した堤防管理体制の整備を図る必要がある。気候変動による広域で長時間継続する強い降雨が頻発する状況においては、非定常な作用に対する堤防の応答に加え、本川・支川合流部や地形の影響を受けた多方向からの浸透水や越流水も考慮した堤防の損傷による災害リスク評価が必要である。また、小規模河川では左右岸の破堤など多地点・多発的なリスクがある。さらに、いったん越水が発生した場合でも決壊までの時間を引き延ばすなど、避難計画と連動した堤防補強が必要である。そのために、信頼性の高い災害リスク、堤防情報の提供や堤防の整備管理方法を構築し、その成果は避難行動計画にもつなげることが重要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

2012年の矢部川の破堤では、高水の長時間継続によってパイピング破壊で決壊しているが、その上流では決壊箇所と同様に透水性基礎地盤をもつ堤防が変状したものの破堤に至らなかった事例もある。また、平成27年9月関東・東北豪雨での鬼怒川、平成28年8月北海道・東北豪雨での常呂川、平成30年7月西日本豪雨災害などにおいても、長い時間、浸透や越水が堤防に作用し堤防が決壊することで甚大な被害を受けた。これらの豪雨においてもいくらかの変状は生じるものの決壊には至らなかった箇所もあった。

一方で、越水した箇所では流水によって堤防が削られるが、越水に至るまでに外水の浸透などによって堤防が弱体化し、越水による侵食を助長していたのではないかと、という指摘もある。

また、事例分析やモニタリングなどから、支川合流部付近の透水性基盤への多方向からの浸透の影響や堤内側の地形によっては伏流水や降雨などによる浸透水の集積の影響が考えられ、堤防内の水圧上昇が懸念されることが報告されている。さらに、大規模な破堤が生じると、河川からの外水のみならず、氾濫水が堤防を越流することによっても堤防の侵食が起こり、左右両岸の破堤が生じるなど、多地点での多発的な破堤に備えることも必要である。降雨による内水氾濫が顕著な場合には、堤内外の水位差によって堤防への浸透作用も変化する。

くわえて、ソフト対策においては、西日本豪雨災害においてもハザードマップの公表やCCTVカメラや水位のリアルタイム情報の提供は進んでいるものの、実際の住民の避難にどのようにつなげられているのかの見える化が必要との指摘もある。

(2) 従来の経緯および(3) これまでの対応

地盤工学の分野においては、堤防の横断面による精緻な浸透解析や安定性を評価する解析は発展してきており、一定の成果を上げてきた。

一方で、広域で長期間におよぶ豪雨においては横断面での検討のみだけでなく、縦断方向にくわえ、堤内・堤外の地形、地盤情報、水位履歴の考慮が必要となっている。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

気候変動による堤防への作用の予測の振れ幅を予め視野に入れ、手戻り無い対策プランの策定とその説明責任を果たすための技術の整備、専門家の育成が必要である。

越水に対する検討は重要であるが、まずは計画規模の洪水レベルまでの堤防の性能評価と浸透に対する安全性の評価と向上に努めることが第一となる。つぎに、HWLを超えた場合、堤防がどのように応答するかを予測する技術を高度化するとともにデータを蓄積する必要がある。そして、破堤に至るまでの時間を少しでも引き延ばしソフト対策である避難計画を支援する効果的な手法は何か、を検討することが重要となる。また、堤防の弱部が予測・判定された場合においても直ぐに事前対策を打てないときには、水防組織等との連携が重要である。

また、非被災箇所と被災箇所を分かちメカニズム、発生した漏水や変形といった変状がその後進展し破壊にまでおよぶのかどうかの条件の究明、これらの根拠となる映像も含めたデータの蓄積、それらに基づいた堤防の状況を考慮した災害リスク評価手法と管理手法の構築が必要である。そのためには、どのような調査や被災データなどが必要で、そのデータがどのように役立つ情報なのかを明確にし、データの取得の動機付けの説明が不可欠である。この手法構築には、既往最大水位だけでなく外力波形・履歴、地形、堤体―基礎地盤の地盤特性等をシステムとした捉えた情報の蓄積と活用方法の提示が必要である。長大な堤防の危険度評価方法、危険度の高い箇所の抽出や効果的な対策を検討するために、変状の機構を考慮した適度な調査方法の提案も重要となる。例えば、どのような時点でどのような変状が起きているのかを映像で記録することで非定常性を考慮した安全性の評価手法の検証や地盤特性の同定を行ったり、基礎地盤の浅部の地層構造が重要な変状を対象とする場合には深部までの精緻な調査でなく浅部に限定した大まかなや調査を広く多点で実施したりするなど、従来の手法に捉われずに上手な調査計画の提案が期待されている。トレンチ調査なども、模型実験や数値解析で観察される変状の進展現象が実堤防でどのように進展するのかを見ることが可能であり、破堤に至る切欠の究明に大いに役立つ。

さらに、広域で長時間にわたる豪雨においては、支川合流部付近の透水性基盤への多方向からの浸透の影響、多地点で同時的な大規模な氾濫による越流水の集中や内水位の上昇など影響を地盤工学的に解釈し、具体的な研究・技術開発の対応を検討し始めるべきと考えられる。

つぎに、越水が発生した場合でも決壊までの時間を引き延ばすための堤防補強方法について、その有用性や効果的な施工・運用について検討を進める必要がある。その際に、越水に到る過程で堤体・基礎地盤への浸透によって堤防が弱体化していないかなど、従来は別々に扱われていた浸透破壊と越水による破壊の相互作用も考慮すべきである。

以上の検討をもとに、リスクや信頼性を考慮した堤防情報の提供や堤防の整備・管理方法を構築し、その成果は分かり易く有益に管理者や住民に伝えるとともに、避難行動計画につなげることが必要である。避難行動の促進や今後本格的に広域避難を議論するには、避難を開始するトリガー（水位だけでなく堤防状況を含めた指標を用いる）の明示が必要となる。また、避難時間の確保や避難経路の複数確保など、避難を支援できるハード整備が不可欠であり、このための実用的な技術を社会に提供することが不可欠である。さらに、防災・減災だけでなく、住み方を変える、人・資産（産業基盤）の移転「危険な場所に住まない」などといった災害からのがれる免災に関する社会的議論の際には、科学的・技術的な情報を提供する必要がある。上記を議論できる俯瞰的視野に立つ専門家を育てる支援が不可欠である。

提言 3.5 堤防の侵食破壊の理解および対策の地盤工学的研究・技術開発の推進

(短期・中期, 技術者・研究者)

地盤工学の視点からも侵食破壊のメカニズムや対策について検討し, 水工学と協働することで実装可能な成果を得る必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

侵食による堤防破壊としては, 河川水位の上昇によって堤防を越水する際の越流水による堤防裏法面の侵食による破壊と, 河川増水による流路変動によって堤防川表法面からの側方侵食による破壊がある。

図3.5-1は岡山県小田川での越水による破堤の状況である¹⁾。図3.5-1および図3.5-2に示す箇所での破堤については, 越水による裏のり面の侵食が破堤の主要因であることが報告されている。図3.5-3は北海道北部を流下する中小河川である倉沼川での被災事例である。この被災箇所では, 堤防からの越水は確認されていないものの破堤している。洪水後の河川の状況を見ると, 破堤箇所よりも上流側で砂洲が発達しており, これによって河川増水中の主流路が蛇行し, 低水路河岸および堤防の表法面の側方侵食が発生したと考えられる。図3.5-4は神通川での被災状況を示している。当該箇所では破堤に至らなかったものの, 堤防表法面の側方侵食が確認されている²⁾。

上述の被災形態は今回の平成30年7月豪雨に限られたものではなく, 平成28年北海道豪雨災害では常呂川, 札内川, 音更川の多くの地点で越水による裏法面の侵食, 表法面の側方侵食が発生して破堤に至った³⁾。このことを鑑みると, 近年の豪雨災害における堤防の侵食被害について, 地盤工学的な理解とその対策の検討は喫緊の課題と言える。



図3.5-1 小田川KP3.4での破堤状況¹⁾

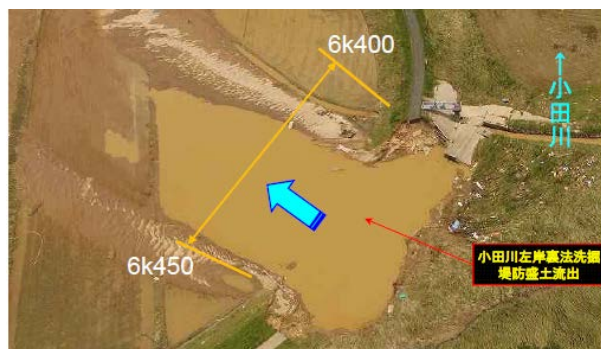


図3.5-2 小田川KP6.4での破堤状況¹⁾



図3.5-3 倉沼川での流路蛇行に伴う河岸侵食と破堤



図3.5-4 神通川での側方侵食による堤防欠損³⁾

(2) 従来の経緯

侵食による地盤構造物の被害を評価するには、土の侵食耐性を考える必要がある。堤防、フィルダム、ため池などの越水による破堤が想定される地盤構造物では、地盤材料の耐侵食性を評価することが重要となることから、細粒分を含む地盤材料を対象として管水路や開水路による試験を中心に侵食速度に関する研究が行われている^{4)~6)}。これらの結果から、室内試験における供試体サイズの地盤材料では、粘土分含有量が多く、乾燥密度が大きくなると侵食速度が小さくことが報告されている。直接的な地盤材料の強度パラメータと侵食特性の関連性については、侵食限界流速と引張強度に相関性があることが報告

されている⁷⁾。盛土や堤体にはのり面保護工として植生工が施工されているため、侵食抵抗に対する植生の影響について検討されており、植生の根や地下茎が流水の抵抗となり、流速が低下することで地盤材料の流失を抑制していると報告されている⁸⁾。また、近年では土構造物としての侵食抵抗を検討するため、締固め度を変化させた模型堤防への開水路実験などが行われている⁹⁾。締固め度が上昇するとせん断強度や遮水性などの工学的特性が向上することは、過去に行われた膨大な室内試験による検討からよく知られているが、堤防などの土構造物としても締固め度の向上に伴い耐越流侵食性が向上することが示されている。

(3) これまでの対応

平成30年7月豪雨災害によって破堤した小田川については、地盤工学の研究者を含めた高梁川水系小田川堤防調査委員会が設置され、越水によって破堤した堤防の被災メカニズムについて検討している。このような取り組みは、近年では平成28年北海道豪雨災害でも同様であり、堤防被災が発生した各河川について堤防調査委員会が設置されて、破堤要因や今後の対策について検討が行われた。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

上述したように堤防侵食について様々な検討が行われているものの、地盤材料の侵食特性については、力学特性のように三軸試験や一面せん断試験など、学会基準となるような統一的手法による評価方法は提案されていないのが現状である。つまり、地盤材料に応じた侵食速度などを一般的な土質試験から得られる様々なパラメータから推定する方法は確立されていない。例えば、河川堤防における越流侵食に対する安定性については、法すべりやパイピングと比較すると、地盤工学的な要素は照査項目に明確に取り込まれているとはいえない。

今後はこれまでの実験データや破堤箇所の土質試験結果を基に、地盤材料の耐侵食特性を地盤工学的な視点から統一的に評価する手法とその実務実装に関する研究・開発が望まれる。まずは実験で得られた侵食速度から実堤防の被災状況をどの程度まで説明できるかの検証が必要であると言える。この際、侵食速度を把握するための実験時には、水工学分野における流況解析から得られた水理量を用いるなど、地盤工学と水工学の融合によってこれまでの実験手法やその結果の新たな利活用や解釈が期待される。

一方で、河川護岸など侵食に強い河川堤防や低水護岸を構築した際には、洪水時には河道内の流速が増加し、河床低下を助長する可能性がある。河床低下が進行した場合には、橋脚・橋台基礎や河川護岸基礎そのものの不安定化が発生する可能性がある。昨今の豪雨災害での堤防被災の頻発度を勘案すると、これまでのように地盤工学的に「堤防」にのみ焦点を合わせるのではなく、洪水時の河川防災システム全体から俯瞰した場合の堤防のあり方について地盤工学的視点で評価・貢献することが今後は重要である。そのためにも侵食に対する堤防の安定性評価の定量化が必要と言える。

参考文献・参考資料

- 1) 国土交通省 中国地方整備局：第2回高梁川水系小田川堤防調査委員会 配布資料
<http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/2018/pdf/02odagawahaifu.pdf> (2019.5.8閲覧)
- 2) 国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所：神通川堤防一部欠損箇所の復旧状況
http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/webfile/t1_f5d2b3653cb7f3125aea2e26e0983b8a.pdf (2019.5.8閲覧)

- 3) 土木学会 2016年8月北海道豪雨災害調査団：2016年8月北海道豪雨災害調査団報告書，2017.
- 4) Ishihara, K. and Towhata, I.: Effective stress method in one-dimensional soil response analysis, Proc. 7th World Conference of Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, Vol. 3, pp. 73-80, 1980.
- 5) Briaud, J.L., Ting, F.C.K., Chen, H.C., Cao, Y., Han, S.W. and Kwak K.W. : Erosion function apparatus for scour rate prediction, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, No.2, 105-113, 2001.
- 6) 藤澤和謙・村上 章・西村伸一：砂・粘土混合材料の侵食速度測定と室内越流破堤実験，農業農村工学会論文集，Vol.79, No.3, 195-205, 2011.
- 7) 佐々木克也・藤田光一・宇多高明・服部 敦・平舘 治：大型不攪乱供試体を用いた堤防・自然河岸の耐侵食強度評価実験，水工学論文集，Vol.38, 677-682, 1994.
- 8) 福岡捷二・渡辺和足・柿沼孝治：堤防芝の流水に対する侵食抵抗，土木学会論文集，No.491, II-27, 31-40, 1994.
- 9) 倉上由貴・二瓶泰雄・矢田孝次朗・山崎達也・山口晋平・川邊翔平・菊池喜昭・龍岡文夫：耐越流侵食性向上のための河川堤防補強技術の提案，土木学会論文集B1 (水工学) ，Vol.69, No.4, I_1219-I_1224, 2013.

提言 3.6 効果的な水防工法による堤防の破壊抑制技術の評価と効率的な運用への貢献

(短期・中期, 行政・技術者・研究者)

河川堤防にかかわる調査・技術の開発・研究の環境整備と維持のために、水防工法の工学的な効果を評価するとともに、伝統的な水防工法の効果的な運用と新技術の導入促進を行う必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

水防¹⁾は古くから洪水という自然現象から受ける人命、財産への被害を最小にするために個人あるいは地域が行う自助、共助の取組みとして続けられてきた。社会の発展とともに社会基盤はいろいろな場所に設置され、それに対応するために河川堤防も大規模化してき、これまでの伝統的な水防工法に対する評価は十分とはいえない。河川堤防はすべての危険レベルに対して事前に対策を施すには費用と時間が必要であり、今後も水防工法は治水施設整備と並ぶ車の両輪として洪水による被害を低減させるために効率的に運用していく必要がある。

(2) 従来の経緯および(3)これまでの対応： 伝統的な水防工法の課題

伝統的な水防工法の課題は水防を実施する水防団の減少・高齢化に伴う弱体化（技術の伝承不足）、水防材料の入手困難化があげられる。また、水防工法の効果とその発揮メカニズム、その適用範囲（設置する場所の条件等）や効率的に効果が発揮するための条件などの評価が不十分なものが見受けられる。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

伝統的な水防工法の効率的な設置技術（簡易化、機械化、安全性等）や新しい水防工法の開発による洪水時の対応能力（水防力）の維持が重要である。そのために水防工法の工学的評価、水防工法から見える現状の照査技術の課題抽出を行い効率的な運用に資する必要がある。また同時に若手水防団育成のための議論継続も重要である。

参考文献・参考資料

- 1) 一般財団法人北海道河川財団: 水防工法テキスト, www.ricgis.org/ricdata/suibou/ (参照2019-05-24) .
- 2) 国土交通省: 国土交通省ホームページ, 水防団の実態, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/suiboukatsudou_kasseika/dai01kai/dai01kai_siryou2.pdf (参照2019-05-24) .

提言 3.7 河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援

(中期・長期, 行政・技術者・研究者)

河川水位情報と降雨量情報と連動して準リアルタイムで「堤体内水位」「基盤水位」を予測し、その情報を発信することで避難指示発令の支援など利活用できる仕組みを構築する必要がある。また、低廉でタフな水位センサーや通信手段などの開発も必要で、これら水位センサーを用いて緊急対策箇所などを直接知ることができれば貢献度が大きい。

(解説)

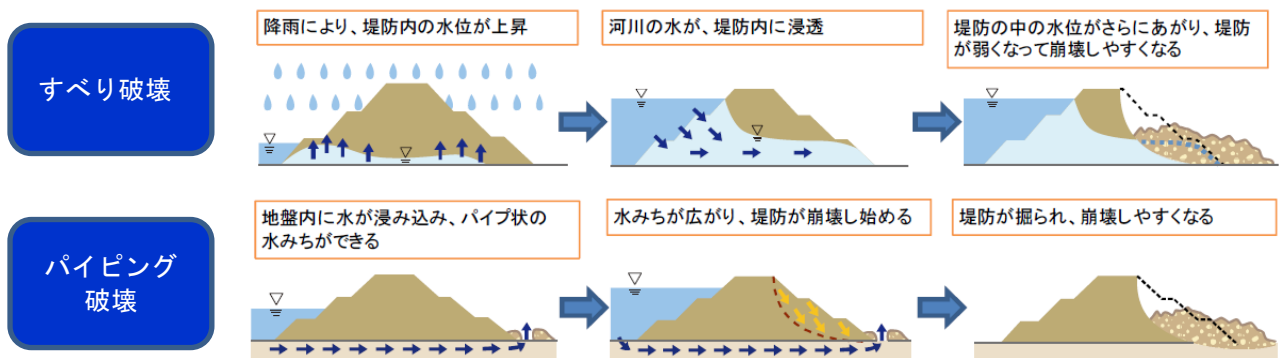
(1) 被害と教訓

河川堤防においては、河川水や降雨が堤体および基礎地盤に浸透することで、法すべりや裏のり尻近傍での噴砂が発生し、これら変状が進展した結果、堤防決壊に至る場合がある¹⁾。しかし、多くの場合は亀裂または法すべりの発生や、噴砂の発生後にその存在を見つけることで初めて堤防決壊の危険性を知ることになる。時には破壊の進行速度が速い場合には破壊現象を発見することができずに堤防決壊に至る可能性もある。このように浸透破壊は堤防決壊へとつながる極めて重大な現象であるが、出水時に河川水位と降雨条件が刻々と変化中、浸透破壊の危険度を的確に知ることは難しい状況にある。

今後、浸透破壊に関し堤防の危険度をリアルタイムに可視化できれば、水防活動の効率化や的確な避難支援への活用が期待できる。

(2) 従来の経緯および(3) これまでの対応

現在の堤防の浸透に関する安全性は、図3.7-1に示すすべり破壊とパイピング破壊に大別し、それぞれについて照査する手法が採用される。具体的には設計外力として河川水位及び降雨条件を定め、この条件において浸透流解析による堤体内水位や基盤水位（水圧）を推定し、これらの結果に基づき照査している。一般に、実際の外力は設計外力と異なるため、仮に堤体や基礎地盤の地盤分布や物性が明確な場合でも、その時々々の堤防の危険度把握は困難である。



常呂川堤防調査委員会報告書²⁾の一部に加筆

図3.7-1 堤防の浸透破壊の概要

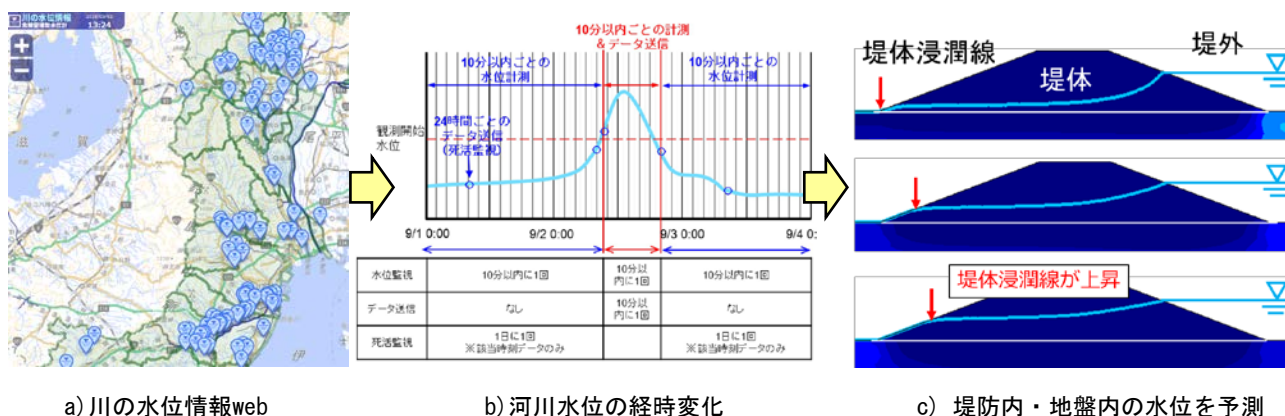
(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

現在、主要な河川に危機管理型水位計の整備が進められ、河川水位の提供サービス（川の水位情報 <https://k.river.go.jp/>, 図3.7-2 a) が2018年に運用開始となった。このサービスにより、河川の洪水水面の時間変化の観測・解析の活用は、ダムと河川の流域治水を飛躍的に向上しつつある。さらに、堤防にとっての作用外力である河川水位波形がリアルタイムに知ることができるようになった。

このような状況を利用し河川水位情報（図3.7-2 b) と降雨量情報と連動して準リアルタイムで「堤体内水位」や「基盤水位」を予測し（図3.7-2 c) これらの評価結果を発信、利活用できる仕組みを構築することが考えられる。この仕組みにより堤防決壊情報、堤防状態を考慮した避難指示発令の支援ができれば、社会的な貢献度が大きい。また、低廉でタフな水位センサーや通信手段などの開発も必要で、これら水位センサーを用いて緊急対策箇所などを直接知ることができればさらに貢献度は向上する。

最近の研究³⁾により堤体の構造と透水性、不飽和浸透特性等の物性が明確であれば、高い精度で堤体内水位を予測可能であることが分かってきた。一方で、堤体の構造と透水性等の物性が明確であることはむしろ稀であり、現地で観測される堤体内水位や基盤水位データの蓄積から、基礎地盤を含む堤防システムの内部構造も同定できる可能性がある。ここで得る情報を蓄積することで上述した河道の流れ－堤防中の流れを一体的に捉えたリアルタイム予測システムの構築とその精度の向上につながることも期待される。

このほか、堤体内水位の予測精度を高めるため、堤体の構造把握、不飽和状態を含む透水係数の把握が不可欠であるが、保水性にヒステリシスを有すこと、堤体内に存在する空気の影響により降雨強度の大小で浸透挙動が異なること、などの問題についても継続的に研究、技術開発が必要である。



(a) , b) は (川の水位情報 <https://k.river.go.jp/> から引用・一部加筆)

図3.7-2 河川水位のリアルタイムの活用イメージ

参考文献・参考資料

- 1) 財団法人国土技術研究センター, 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版), p.9, 2012.
- 2) 常呂川堤防調査委員会報告書, 常呂川堤防調査委員会, 北海道開発局HP, p.3-2, 2017.
- 3) 新清晃, 西村聡, 藤澤和謙ほか: 河川堤防への降雨浸透と浸潤状態予測に関する一斉解析からの知見, 土木学会論文集C (投稿中, 2019)

提言 3.8 センシング技術、情報技術の利活用による維持管理の高度化

(中期・長期、行政・技術者・研究者)

長大な社会基盤である河川堤防を適切に管理し、被災を防止するため、適切な情報の取得、蓄積およびその活用方法を提案する必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

堤防は長大なインフラであり、その建設、強化や維持管理には多くの人手が必要となる。また、今後の人手不足や、技術の伝承などの課題もある。そこで、適切な情報の取得、蓄積およびその活用方法を検討し、堤防管理の高度化を図る必要がある。

(2) 従来の経緯および(3)これまでの対応： 情報の取得

従来から目視による河川堤防の巡視・点検が定期的実施され、情報の取得がなされてきた。一方、航空機や UAV, 自動車等によるレーザーや写真による測量、合成開口 (SAR, Synthetic Aperture Radar) レーダ衛星による時系列干渉解析¹⁾など広域かつ高密度の地表面のデータを得ることができるリモートセンシング技術の発達近年著しい。

また、カメラやセンサーや通信機器の急激な価格低下により、多数の点にそれらを設置し、リアルタイムに河川堤防のデータを取得することも可能となってきた。これらの新たな適用が可能となった技術と既存の技術を組み合わせて用いることで、長大な河川堤防の状態を迅速に把握し、情報を取得する技術の開発が望まれている。

現在、河川堤防の三次元形状情報から、どの箇所にもどの程度の変状が堤防内部に発生しているかを把握する手法等に関する研究が、力学的検証も踏まえた上で進んでいる²⁾。これらの新たな知見を現場で活用するためにも、このような「鳥の目」の技術を活用することが期待される。

また、河川堤防の被災原因調査では、実際の被災時の映像等の記録がほとんどなく、目撃証言や被災後の状況からその被災の発生過程を推定しているのが現状である。今後、長大な河川堤防を対象とした被災を映像等で捉えることが可能な安価な技術が実用化されれば、堤防の被災に関する理解が進み、さらに研究が進展することが期待される。

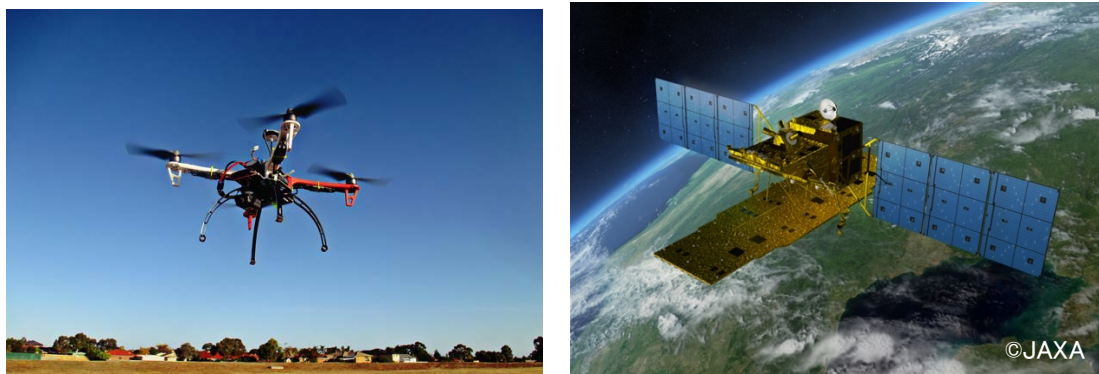


図3.8-1 「鳥の目」の技術の活用

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策： 情報の蓄積及び活用

現在、目視による河川堤防の巡視・点検結果は、RiMaDIS (River Management Data Intelligent System) と呼ばれる河川堤防の維持管理業務を支援する全国統一版データベースシステムに蓄積され活用が進められている。

今後は、前述の河川堤防の三次元形状情報や被災時の映像など、多くの様々な情報を蓄積していくことで、河川堤防の維持管理を高度化していく必要がある。また、将来の人手不足を考慮すると、情報の蓄積、共有の自動化を図ることで、河川堤防の維持管理を効率化できることも期待される。その際には、どのようなデータを蓄積することで、評価技術のどの部分がよくなるのか、その結果として現場はどう変わるのか、などについて明確に分かりやすく示していく必要がある。

また、蓄積した情報の活用も課題である。災害の前後のみでなく、それまで蓄積された多くの情報を用いて、被災ありの箇所と被災なしの箇所の違いなどを比較出来るようにし、被災の教訓を活用できるようにすることが期待される。例えば、合成開口レーダ衛星は日本全国の河川堤防も含めた観測データを自動で過去から記録しており、その活用も考えられる。そのためには、経験豊かな技術者などの知見を踏まえ、強化箇所や補修箇所の抽出方法の研究についても、今後必要となるであろう。

参考文献・参考資料

- 1) 大内和夫：リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎，東京電機大学，2009.
- 2) 岡村未対，今村衛，陣内尚子，小野耕平，山本卓男，鎌田卓：堤体表面沈下分布と貫入試験によるパイピング緩み領域の把握，河川技術論文集，No. 24，pp. 529-534，2018.

提言 3.9 インフラの管理者である行政との協働と新たな工学の役割の発見

(短期・中期, 行政・技術者・研究者)

研究者・技術者が、研究成果を一方的に発信だけでなく、管理者とともにインフラの「基本的考え方」「科学的考え方」「整備・管理の考え方」に関して共通理解を深める相互理解と議論を行い文章化する「ダイアログ」が必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

河川堤防に関する研究成果が広く世の中で活用され、河川堤防に関する被災を防ぐために、新たな学・官・産協働の場の提供を学会で行うことが重要である。河川堤防においては、設計の考え方が計画論とも密接に関連する内容であり、その点を理解することが重要課題である。

(2) 従来の経緯および(3) これまでの対応

2011年に土木学会地盤工学委員会・堤防研究小委員会が設立され、学・官・産の協働と、地盤工学と水工学の連携のもと、堤防に関して現状の技術的な課題を抽出・整理し、今後の研究と技術開発の方向性を示すことを目的とした活動がなされてきた。浸透破壊についてのアカデミックロードマップなどを作成した。今後、さらなるステージに向かう必要がある。

(4) 今後必要な地盤工学分野での対応策

上記の課題を解決するためには、例えば、管理者側で当然のように使われる構造令や基準等を科学的・工学的に分かり易く説明し、解釈を与え文章化することが効果的と考えられる。そこで、学・官・産などのそれぞれの立場で常識とされていることを再考し、構造令や基準等の規則の行間を読み解くための努力が重要となる。その上で、管理者側の人手不足の問題を解消するための研究・技術開発の方向付けが不可欠である。例えば、適切な点検項目の提示と実装方法の提案、点検結果から応急復旧のための被災箇所優先順位付けするトリアージの方法を提案する研究の推進、研究開発成果の実装化などである。

さらに、各インフラを取り巻く論理を掘り下げ、整理し、行政と専門家が共通理解することが重要である。専門家が計画においても積極的・能動的に発言できるような人材育成を目指すことも重要である。例えば、「計画論（背後地利用など）」「社会・経済論（社会や経済の制約など）」「体制論（国—自治体組織）」「責任論（適切な維持管理、出水時の対応等の管理責任など）」について理解し、研究開発の新たなステージへの移行、パラダイムシフトを目指す必要がある。例えば、洪水制御におけるダムと河道・堤防の新たな役割が議論されることで、堤防への要求性能の再考や新たな課題への取り組みが必要とされることから、様々な分野の連携強化とともに求められるパラダイムシフトが促進される可能性がある。

2.4 ため池の被害

はじめに—ため池被害の概要

(1) ため池築造の沿革

農業用ため池の築堤の歴史は古く、古墳時代から平安時代にかけて、大陸の発達した文化や技術を積極的に導入し、江戸時代には大規模なため池堤体を構築する技術を獲得している。

わが国の最も古いため池は、日本書紀に記載されている崇神 62 年に河内国狭山に築造した よさみのいけ 依網池、かりさかのいけ 菟坂池、さかのいけ 反折池 とされ、616 年には狭山池¹⁾ (現大阪狭山市) が築造され数百にも及ぶ小池、水路で構成される大規模な水利システムの構築へと拡大している。香川県の満濃池²⁾ も 701~704 年に築造され、空海による修築 (821 年) を経て 8 回に及ぶ決壊や破堤と修築を繰り返し現在に至っている。このように、革新的な技術導入によって壮大な農業水利施設を構築し始めた時代から、ため池堤体の改修技術はその時代の農地拡大などの社会情勢を反映しつつ、土を扱う築堤技術などの経験を蓄積して高度化が図られてきているが、近代的な技術によって再構築されていないため池が多いことも改めて認識しなければならない。

2018 年 (平成 30 年) 段階では、ため池は全国に約 20 万箇所³⁾ 存在するとされている。その中でため池データベースにある受益面積が 0.5ha 以上を持つ 9.6 万箇所のため池の築造年代は、江戸時代以前 (不明を含む) が 69% とされ、池の管理については 59% を地域の集落や個人が担っている。このような歴史的な背景を内在するため池堤体の内部構造は、必然的に複雑にならざるを得ず、図 4.1 に示す狭山池の改築時の調査結果¹⁾ に代表されるように、堤体改修時に多様な土質を盛立てて規模が拡大されている。このように、一般的なため池の改修では堤体を完全に撤去するのではなく、堤体中央部のコアとなる部分はそのままして、損傷や劣化の激しい表層部分を再構築する方法が採用される。初期のため池の盛土は、単一のシルト質の山土 (赤土) を突き固めただけのものであるが、その後、止水効果を上げるために粘土を突き固めるなどの高度化が図られ、棒や杵を用いて盛土を突き固める「千本搗き」(づき) や「杵搗き」、足で踏み固める「踏み締め」などが採用されている。このような状態の堤体が現在もため池として存在し、灌漑用水の貯留と配水を担うとともに、集落や地域の治水施設としての機能も発揮している。

(2) ため池の豪雨被害の概要

上述のように歴史的な築造技術による改修の履歴を多様に内在し、地域の農業用水の安定供給に不可欠な機能を果たしているため池群が、平成 30 年 7 月豪雨 (西日本豪雨) によって甚大な被害を受けた。被害は 2 府 4 県で 32 件の決壊に及び、その内数は広島県 23 箇所、岡山県 4 箇所、京都府 2 箇所、大阪府 1 箇所、愛媛県 1 箇所、福岡県 1 箇所⁴⁾ である。決壊に至らない重大な損傷を受けたため池も膨大であり、両者の詳細な分析から、ため池堤体の被災のプ

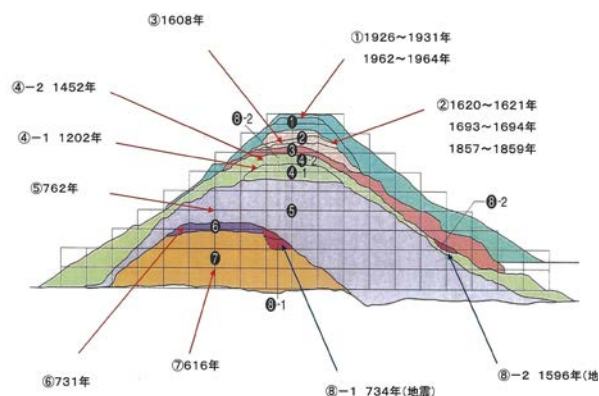


図 4.1 狭山池の堤体の改修履歴と構造
(参考文献 1 に加筆)

プロセスを明らかにすることは、その設計や施工指針の検証にとどまらず、地域の減災事業推進の面からも意義深いものとする。

提言項目で詳述するように、激甚化する豪雨によってため池が被害に至る経過を仔細に分析することによって、これまでの堤体の被災要因として提示していた「越流による破壊」「すべりによる破壊」「浸透による破壊」などの個別の事象だけではなく、実際の崩壊現象はさらに複雑で複合的な損傷や破壊が連鎖的に発生していることが指摘できる。例えば、貯水域周辺の斜面で発生した土石流がため池に流れ込んだ場合、急激な水位上昇とともに、流木等が余水吐を塞ぐことで、越流を助長する。越流による堤体侵食は下流法面を侵食して堤体形状を急勾配化させ、その断面積を減少させる。その結果、不安定な断面形状となるとともに、豪雨や浸透によってさらに飽和領域が拡大する堤体は、容易に安定性を失い全体崩壊に至る。さらに、崩壊ため池の下流側に、別のため池が存在すれば、同様のことが下流側のため池にも発生しうる。このように、激しい豪雨時には、土石流や洪水などの災害を引き起こす要因に至る所で発生する可能性が高く、それらが連鎖的につながった結果（もしくは、その過程の中で）、ため池が被害を受ける。土石流、越流、降雨浸透といった被災要因を「点」として、それらを「線」でつないだ多様な災害が連鎖する被災シナリオの中で、それぞれの被災が発生する素因、誘因、機構を系統的に明らかにし、ため池の激甚災害対策につなげることが重要である。

このように、ため池堤体が豪雨によって、損傷から決壊に至るプロセスを考えると、その過程ごとに、土石流の流入、付帯構造物や池敷周辺道路からの侵入水などの注目すべき事象を明確にして現象を分析することが、豪雨被害を最小化する上で極めて重要である。本提言では、現象の解明についても詳述し、実効性のある対策方法につながる道筋を示すこととした。

(3) 2009 年の提言に対する達成度評価

地盤工学会がまとめている「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—」では、調査方法、耐災補強工法、データベース構築について項目を挙げて方向性を示している。その後、ため池の豪雨災害の機構解明と対策技術に関する研究や基準改訂などの面で進展を見ているが、依然としてため池の豪雨災害が減少する傾向を見ることはできないのが現状である。10年間の状況をフォローすると以下の様にレビューできる。

1) 提言 2.2.1-1 (現状を把握する調査法の開発)

堤体の不均一性を前提として、強度、透水性、基礎地盤特性の詳細調査手法の開発とともに、簡易な調査方法の開発の重要性を提言している。その後、堤体の安定解析に利用できる力学的な特性を簡易に判定する方法の開発が進められ、実証的な成果も得られて、一部の調査方法は実用段階に至っている。非破壊の探査手法についても、大規模なため池堤体の調査で実施されるなどの実績を見ることができ、中小規模のため池に適用されることはほとんど例を見ない。

提言に示される詳細調査と簡易調査手法の開発の方向性は最も本質的で重要な指摘であったが、開発された調査方法から安全性評価手法への展開やその実証が十分実施できなかったことが、実用化が遅れている原因の一つとなっている。最近、「農業用ため池の管理及び保全に関する法律」⁵⁾が公布（平成31年4月26日）され、ため池の管理と保全に関わる取り組みが大きく変わろうとしている。この法律では、一定の条件はあるものの「都道府県による防災工事の施行命令、代執行」が可能となることから、調査や耐災補強の重要性が高まることが推測され、提言内容の再検討が必要である。

2) 提言 2.2.1-2 (経済的かつ迅速な耐災補強工法の開発)

21 万箇所のため池を前提として、堤体の規模や二次災害の軽減を考慮した耐災補強の実施を提言している。具体的には、最新の地盤工学技術を導入し、越流によって破堤しない工法などの開発の有効性を指摘している。その後、ため池底泥土を用いた固化処理工法による堤体改修は、比較的大規模な堤体に対して実績を積み重ねており、有効性が実証されている。また、越流許容型の堤体構造は、型式を進化し海岸堤防に応用されるなどの展開があるが、部分的な補強のイメージが強いことなどから、堤体改修の制度のなかでは本格適用には至っていない。一方で、基準制定の面では補強土工法による堤体の耐災補強工法が、土地改良事業設計指針「ため池整備」⁶⁾に掲載され、大きな一歩を踏み出している。耐震対策の例として掲載されたものであるが、既にため池以外の斜面、盛土構造物に対しても豪雨対策としての有効性が実証されており、この種の技術をため池に適用する革新的な技術開発が期待される。

提言に示される「経済的かつ迅速な耐災補強工法の開発」の方向性は重要な指摘であった。しかしながら、設計指針では部分改修を記載しておらず、老朽化したため池の安全対策が全面改修を前提としていることから、堤体全体の改修には経済性と工事が長期間に亘ること、補強材(人工材料)の耐用年数の評価などの面での懸念が残り、実用化に向けた展開が遅れている。今後、部分改修を積極的に導入することによる減災効果とコスト縮減、工期短縮が理解されれば、豪雨対策や浸透抑制などに特化した部分的な補強が注目されることとなる。その意味で、堤体の損傷や破堤に至るプロセスとその過程ごとに耐災補強する対策技術にも着目することが重要であり、最新の地盤工学技術を踏まえた提言内容の再検討が必要である。

3) 提言 2.2.1-3 (データベースの構築と関係機関の連携)

全国的に統一されたデータベースの構築の必要性を指摘している。

「ため池防災データベース」⁷⁾は、ため池の防災に資する基本的なデータの集積を図ることを目的として、平成7年度から全国の45自治体、7農政局および北海道開発局を対象として整備を実施したことに始まり、防災関連情報の蓄積が継続的に行われ、登録されているため池数は概ね10万件以上に達している。その後もため池データベースを管理している各自治体では、それぞれに利便性や簡便性を考慮した更新を進めてきているが、最近の位置情報などが記録されていないなど、ため池の存在が確認できないものも少なからず存在することが明らかとなっている。

提言に示されるデータベースの構築と関係機関との連携は、防災を推進する上で最も重要な指摘であったが、自治体間のデータの統一はマンパワーの問題もあり十分実施できなかったことが推察される。最近、「農業用ため池の管理及び保全に関する法律」⁵⁾が公布され、ため池の管理と保全に関わる取り組みが大きく変わろうとしている。この法律では、「所有者等による都道府県への届出を義務付け(第4条第1項、第2項、附則第2条)」と「都道府県によるデータベースの整備、公表(第4条第3項)」などが盛り込まれており、確実に具体的なため池データベースの整備が進む状況にある。ここでは、ため池位置情報の高度化とともに、安全性の照査に資する堤体の力学的なデータや改修履歴の追記や見直しとともに、堤体の安全性照査方法との関連付けについても細心の注意を払う必要があることを指摘する。

上記のレビューは、会長特別委員会ため池WGで以下のような「チェックシート」を用いて行ったコメントに基づいている。

① 達成度の評価

A：提言を実施済み実装済み（マニュアル完成以上・実装が動いている）

B：提言を実施中であるが完了するかどうか未定（研究はほぼ終了，マニュアル作成中）

C：提言について計画中であり未着手（研究開発段階）

D：提言の変更・削除（実装不可能・ニーズから外れた）

② 評価A～Dの判断や達成度を向上するためのコメントの記入

i) 達成度評価の判断に関するコメント

ii) 提言達成度を上げるための課題と対応方法

iii) 提言の変更が必要な点

2009年の提言（ため池関連）に対するチェック項目とコメント

2009年提言番号	2009年提言題目	達成度ランク			左記の判断に関するコメント
		行政	技術者	研究者	
2.1 治水水利施設共通	提言 2.1-1(治水制御性能に関する弱部の正確な同定)	C	C	C	<p>①土構造物に対しての非破壊試験の実績は増加しつつあるものの、その精度を十分に担保するまでには至っておらず、開発段階である。</p> <p>②非破壊検査による弱部の推定は、現在でもかなり困難。</p> <p>③現状の目視点検と数少ないボーリング調査だけでは弱部を同定するのは難しい。非破壊検査も実績が少なく、土構造物に対してはまだ開発途中。</p> <p>④ため池堤体の内部構造の詳細把握と弱部の峻別は、堤体の安全性を評価するためには不可欠な情報であるが、設計や対策に適用できるに足る精度には至っていない。</p> <p>⑤未だに研究段階で、効果的な方法は開発されていない。</p> <p>⑥未だ実用段階には至らず研究段階である。特に被災箇所での適用例が多いものの危険箇所を見つけ出す診断技術としての実績はないに等しい。</p> <p>⑦不均質性の多いため池堤を評価する方法は研究途上にあり、堤体土の土質のばらつきの評価が困難である。</p>
	提言 2.1-2(新たな技術開発)	C	C	C	<p>①既存施設の維持管理に関する課題の発掘と技術開発が重要。</p> <p>②豪雨と地震に対する戦略的な技術開発は大きな課題である。</p> <p>③非破壊検査や簡易貫入試験など効率的な堤体調査方法が必要。</p> <p>④豪雨や貯水の浸透による堤体の弱体化に加えて地震動や台風(風)の影響を定量的に予測できる状況にはない。災害発生(堤体崩壊)の限界状態を見極めることを明確な目標設定とした総合的な技術・研究開発が必要。</p> <p>⑤豪雨・地震被害が頻発しているが、いまだに技術開発は進んでいない。</p> <p>⑥豪雨に限らず大地震にも対応できる総合的な補強技術の開発と住民の防災意識を向上させるための地域防災対策の推進が必要。</p> <p>⑦営農の継続にも配慮した対応策が必要。</p>
	提言 2.1-3(連鎖被災の可能性の評価と予防保全)	C	C	C	<p>①治水水利施設を含めた災害全体に対して、統括的に対応出来る部署が無い。</p> <p>②鎖被害の予測は、現在ではできていない。</p> <p>③単なる越流については洪水吐の整備により、ある程度制御は可能。しかし、土石流の流入による鉄砲水の越流については検討が必要。</p> <p>④災害が個別施設の課題で終結するものではないので、連鎖を前提として技術開発を展開すべき。現状は個別の施設だけでも十分な展開ができていない。</p> <p>⑤流域圏での総合的対策を行うことが必要。</p> <p>⑥今回の災害で連鎖災害の予防の必要性は再認識された。</p> <p>⑦堤体土の土質などのデータベース化による維持管理の高度化が必要。</p>
2.2 ため池	提言2.2.1-1(現状を把握する調査法の開発)	C	C	C	<p>①ため池に対する非破壊試験の実績は少なく、その精度を十分に担保するまでには至っていない。</p> <p>②堤体の内部構造を詳細に把握することは、現在でもかなり難しい。</p> <p>③目視点検と数少ないボーリング調査だけでは弱部を同定するのは難しい。</p> <p>④ため池堤体の調査技術は、診断・設計方法と調和している必要があるが、単なる構造把握にとどまる。構造把握(基本情報)、力学特性評価(設計情報)、老朽化評価(限界状態の予測)など明確な目標ごとの技術の提示が必要。</p> <p>⑤未だに研究段階で、効果的な方法は開発されていない。</p> <p>⑥物理探査への過度な期待がある。物理探査は相対的な内部評価はある程度できる可能性があるが、絶対的な材料評価は難しく、サウンディングも多点調査に有効であるが、材料特性の把握に絶対的なものではない。</p> <p>⑦堤体土の不均質性や老朽度を把握するため、既存データの整理が必要。加えて、土質データの蓄積や力学的な情報を把握するための追加試験やデータベース化、蓄積された既存資料の公開が必要。</p>
	提言 2.2.1-2(経済的かつ迅速な耐震補強工法の開発)	C	C	C	<p>①公共性の強い施設であれば、耐震補強に経費をかけて実施することは可能であるが、個人や任意組合などの所有者が補強対策を実施している例は多くない。結局、事後対策がほとんどとなっている。</p> <p>②迅速な復旧は重要であり、最大限の努力はされているものの、社会実装はこれからの課題。</p> <p>③前回提言では豪雨時の法面侵食マットや、補強材による耐震補強について簡潔に述べられているが、その効果や施工実績については情報不足。</p> <p>④堤体内に人工材料を用いた補強は、遅々として進んでいないが、整備指針「ため池整備」に補強工法が提示されるなど、わずかな進展があった。</p> <p>⑤地盤工学的に優れた補強工法等の技術開発が行われている。</p> <p>⑥堤体土の耐震対策として人工材料(鋼材)を用いた補強方法の採用も見られる。</p>
	提言 2.2.1-3(データベースの構築と関係機関の連携)	B	B	B	<p>①多くの自治体のため池データベース(台帳)は電子化が進んでいるが、その内容の精度を把握することが重要。</p> <p>②ため池データベースの整理に加え、土質等の最新の資料を加筆するなど内容の充実が必要。</p> <p>③貴重なデータをフル活用した減災対策などへの展開が必要。</p>

(4) 2019 年提言の策定方針

以上のように 2019 年提言では、地盤工学会が 2009 年と 2012 年の 2 度にわたって発信した提言を踏まえて、近年の発災状況に対峙する堤体の安全性評価や対策技術の課題を再整理し、最新の地盤工学技術と知見に基づく具体的な提言を発信することとする。すなわち、「再度災害の防止」の視点に立ち、豪雨時のため池堤体の破壊機構の解明と安全性を的確に評価するために必要な研究開発の方向性と技術開発事項、さらに、社会実装するための展開の重要性などを整理し、提言として取りまとめる。

参考文献・参考資料

- 1) 大阪府富田林土木事務所（大阪府）：狭山池ダム—平成の大改修，平成 18 年 3 月発行。
- 2) 大林組広報室：満濃池，季刊大林，No.40,1995.
- 3) 農林水産省農村振興局整備部防災課：ため池をめぐる状況について，2017 ため池フォーラム in 熊本，2017.
- 4) 内閣府防災担当：平成 30 年 7 月豪雨の概要,平成 30 年 7 月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ第 2 回資料，平成 30 年 11 月 27 日。
http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigai_dosyaworking/pdf/dai2kai/sankosiryoy1.pdf
(平成 31 年 4 月 25 日閲覧)。
- 5) 官報(号外 87 号)：農業用ため池の管理及び保全に関する法律公布,平成 31 年 4 月 26 日。
- 6) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業農村工学会,2015.
- 7) 谷 茂：ため池の自然災害低減のためのデータベースの構築，自然災害の低減に関する国際シンポジウム(アメリカ土木学会),1997.

提言 4.1 ため池堤体の豪雨時の崩壊機構の解明と定量的な挙動予測手法の確立

(長期的, 社会全体・専門家)

経験的な技術の蓄積によって築造されているため池堤体の豪雨による弱化的機構を明らかにし, そのすべり破壊の安定性予測手法の有効性を実証的な事例によって検証する. すべり破壊, 浸透破壊, 越流侵食が複合的に起こる可能性があるため池堤体の破壊に対しては, 包括的な安定性予測手法の開発が望まれる. さらに, これらの知見と最新の地盤工学技術を活用し, 堤体の規模や重要度を考慮した上で, 簡便で確度が高い診断技術の開発を進めることが必要である.

(解説)

(1) 被害と教訓

ため池を含む土構造物は, 間隙水圧の上昇によってせん断破壊を起こす危険性が高い. 平成 30 年 7 月豪雨においても, せん断による堤体崩落が多く見られた. 平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨災害)に限らず, これまでの豪雨災害でも洪水吐能力が大きく比較的大規模なため池では, 越流破堤には至らずに, 下流法面が崩落する事例が散見される. また, 現実には, 図 4.1.1 に示すような複数の損傷要因, つまり, 堤体の崩落(すべり破壊), 浸透破壊, 越流による侵食は連動して生じている場合が考えられるが, 実際の破堤現場から一連の現象が連動するプロセスを明確に分類し, その機構を判断することは難しい. さらに, 周辺の斜面や土構造物の崩壊が初生的に発生して, その影響を受けて堤体が崩落している場合があり, この様なため池とその周辺施設を含めた複合的要因によって堤体が破堤に至っている事例も存在する.

岡山県においては, 貯水量約 338,000m³の冠光寺池(カブラコウジケ, 岡山市北区, 写真 4.1.1)が, 堤体崩落を起こした. 破堤は免れているが, 下流法面が崩落しており, 危険な状態であった. 大きな貯水量を有しているため, 破堤していれば下流域に大きな被害が出たものと推察される. 現地では, 取水用の樋管を解放するとともに, 洪水吐からポンプ排水によって貯留水を放流した. 幸いなことに H30 年 7 月 8 日からは, 晴天が続いたため, 無事に水位を下げることができ, 堤体の損傷が進行することは無かった. 同様に, 江田池(エダイケ, 岡山県倉敷市)でも, 堤体の下流法面が崩落(写真 4.1.2)している. 現地では, 池上流の周辺斜面が崩落して, 土砂が貯水池に流入しており(写真 4.1.3), このことが, 水位の上昇を招き, せん断破壊に影響したと考えられる. 破堤は免れているものの, 現地では, 豪雨時に, 堤体から浸透水が浸出し, 危険な状態であったとの目撃証言がある. 斜面崩落による貯水池への土砂流入→貯水位上昇による間隙水圧の上昇→堤体崩落→浸透破壊→破堤という, 複合破壊の道を通った可能性も十分にあった.

広島県においては, 勝負迫池(ショウブサコイケ)の破堤によって, 人命が失われた. この事例では, ため池の上流に存在したグラウンドの盛土崩落(写真 4.1.4)が引き金になったと考えられる. 崩落土砂のため池への流入→貯水位の上昇→越流→破堤という過程で被害が生じたと推測される. この池は重ね池で, 上池が破堤した後に, 下池が破堤したと思われる(写真 4.1.5, 写真 4.1.6).

山口県では H30 年 7 月 5 日から 8 日にかけて, 東部を中心に断続的に激しい雨が降った. 特に, 玖珂で観測された降水量については, 多数のため池が被災した岡山・広島県の降水量と比較しても同等あるいは, それ以上である. 山口県では, 県東部を中心に 11 箇所のため池において上流側斜面から貯水池へ

の土砂流入や、堤体の一部損傷による一部の下流域への土砂流入が発生したが、その数および規模は岡山・広島県のそれに比べて小規模であった^{1),2)}。

愛媛県内のため池被害は 187 件であり、そのほとんどが後背地からの土砂が貯水池に流入するという被災形態であったが、宇和島市の鳥首池（トリクビイケ）と今治市の塔（トウノソトイケ）の外池は決壊という重大災害となった。特に、鳥首池は 10 分雨量が最大となる 7 月 7 日 6:50 頃から越流が始まり、7:07 に破堤が確認されている（写真 4.1.7, 写真撮影・提供：土山芳豊氏・野々村敦子准教授（香川大学））。また、まさ土で築堤されていることが多い今治市や松山市北部のため池では、下流法面ですべりが発生しているものがあつた。

被害が発生しなかつた、あるいは軽微であつたため池については、これを偶然として捉えるのではなく、記録的豪雨を受けても堤体の安定性が保たれた要因を明らかにする必要がある。また、重要度が高いため池に対しては、豪雨経過後の事後点検とその状況の記録が重要である。過去に被災した近隣のため池や、平成 30 年 7 月で被災した他県のため池の状態や降雨状況を比較し、相違点を工学的に明らかにし、土の破壊に与える影響を地盤工学的に解明するとともに、設計・施工・対策技術の改善につなげることが重要である。

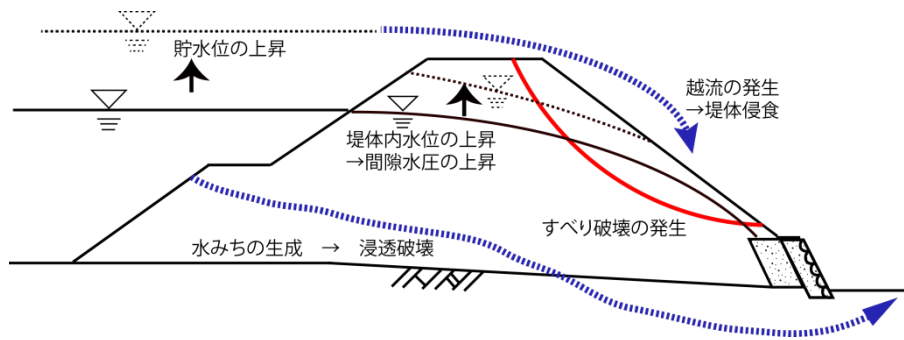


図 4.1.1 ため池堤体の損傷の諸要因



写真 4.1.1 堤体崩落（冠光寺池）



写真 4.1.2 堤体崩落（江田池）



写真 4.1.3 堤内に流入した土砂（江田池）



写真 4.1.4 勝負迫池（広島県福山市）の破堤現場
（毎日新聞，2018/7/16）



写真 4.1.5 堤体の破堤（勝負迫上池）



写真 4.1.6 堤体の破堤（勝負迫下池）

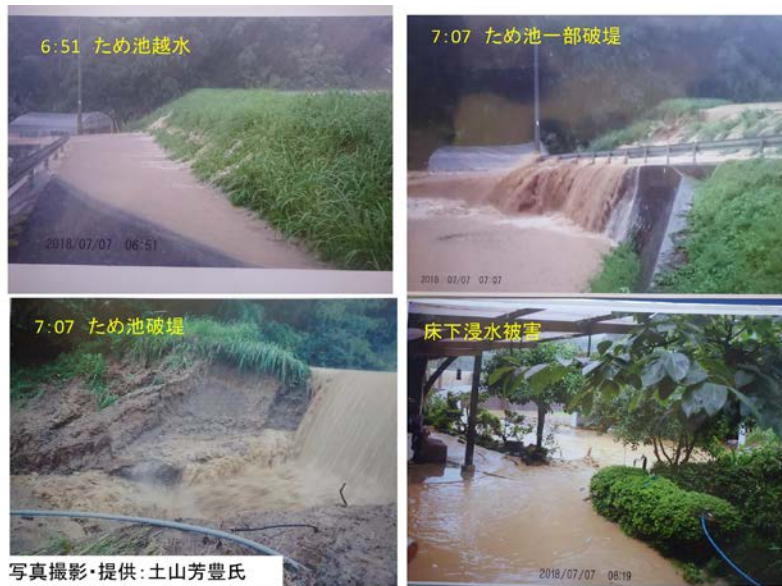


写真4.1.7 土砂流入による越流破堤（宇和島市鳥首池）

(2) 現象解明と対策（復旧・復興）

堤体崩落は、貯水上昇、堤体内の浸潤線の上昇によって間隙水圧が上昇し、せん断破壊が生じているものと考えられる。ただし、平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）のような長期間連続降雨の場合、降雨の法面からの浸透の影響も大きかったと考えられ、このことが間隙水圧の上昇を助長したと思われる。また、上述した江田池や勝負迫池の事例は、周辺斜面や上流の盛土の崩落が貯水の急激な水位上昇を招いており、破堤をもたらした例である。

ため池堤体のような土構造物を不安定化させる最大の要因は、堤体内の間隙水圧の上昇(水位の上昇)である。これは、間隙水圧が、土のせん断強度を低減させることによる。したがって、堤体の安定化対策は、堤体内の水位上昇をさせない工法が基本である。具体的には、堤体上流側に止水ゾーンや止水シートを配置する工法によって、堤体内水位の上昇とそれに伴うせん断強度の低下を防ぐことができる。

また、洪水吐や樋管の流下能力増強によって、堤内水位のコントロールが可能となるため、これらも堤体の安定のためには有効である。さらに、下流法先ドレーンや水平ドレーンは堤体内の浸透水排水を促進し、立ち上がりドレーンは降雨浸透の排水にも有効である。こういったドレーンの設置は、堤体内の浸潤性を低下させ、堤体の安定性に寄与する。

現在行われているため池の改修は、これらの要件を考慮した対策を講じているため、適切な対策となっている。岡山県においては、平成30年7月豪雨で、改修済みのため池が損傷を受けた例は皆無だったと報告されている。

(3) これまでの調査や研究・委員会活動等

現在、瀬戸内各県においては、ため池の耐震化委員会が設置されており、堤体の補強が検討されている。耐震補強とは堤体のせん断強度を上昇させることや、抑え盛土などで堤体の断面を安定形状に修正することに他ならず、豪雨対策にも有効である。すなわち、これまで老朽化の進んだため池の改修で実施してきた止水ゾーンの設置、洪水吐、樋管の改修などの対策は、豪雨に対しても有効に機能していると考えられる。

山口県では、年に1回梅雨時期の前に、特定の防災重点ため池に対して、行政とため池管理者が簡易な点検パトロールを実施し、緊急排水等の応急措置を施している。近年では、ため池管理者の減少が深刻な問題となっており、地域コミュニティ単位でため池の維持管理を行っていくことが重要である。天気予報の高精度化が進む中、豪雨が予測される場合には、事前にため池下流域の住民への注意喚起することで防災・減災へと繋がる。

愛媛県では、ため池決壊のソフト対策として平成10年から「ふるさとづくりワークショップ」を開催し、ハザードマップに基づく避難所までの経路の現地確認、地域ぐるみの管理体制の構築と避難行動計画書の作成を実施し、ため池に対する防災意識の啓発を行っている。

以上の様に、多くの自治体では、ため池の点検結果を「ため池台帳」として記録し、改修履歴や堤体土質などの情報をデータベース化するとともに、老朽化の判断に従って順次、その高耐久化のための改修を進めてきている。さらに、維持管理の充実を図る取り組みや緊急時の対応方法についてもハザードマップの整備の推進などが図られている。

(4) 今後必要な地盤工学的取組

ため池堤体の安定計算において、地震時を除く計算上の条件として、完成直後、常時満水位、設計洪水水位、水位急降下時が規定されている。一方で、平成30年7月豪雨や過去の豪雨災害では、多くのため池で堤体下流法面の崩落が発生した。その要因の中には、先述のように法面への降雨浸透や、間隙水圧の発生によるせん断強度の低下が挙げられるものの、現在のため池設計指針³⁾には、これらの要因を考慮した安定度照査方法が示されていない。既往の安定計算結果と今回の豪雨による被害状況との整合性を明らかにし、今後のため池設計に取り入れるべき安定性評価手法を検討するべきである。例えば、非定

常浸透流解析による降雨時の貯水位上昇と下流法面への降雨浸透を考慮した安定計算の検討や、飽和化による堤体強度の低下を定量的に評価することが望まれる。学術的には、せん断破壊、浸透破壊、越流が同時、あるいは連鎖的に生じるような現象解明のための実験や、貯水位上昇による堤体内地下水位の上昇と降雨浸透が同時に生じるようなより実現象を反映した実験と解析を進め、その現象解明と明確なリスク評価につなげる必要がある。

従来の改修方法が有効であることを述べたが、問題は、すべてのため池に改修が行き渡らないことである。これは、ため池数が膨大であることによる。強度不足が懸念されるため池には、補強土工法などの最新技術による補強とともに、簡便な対策法の検討が重要である。さらに、膨大な数のため池の被災リスクを判断するためには、ため池の安定性を規模と重要度に応じて適切に把握する必要があるが、地盤調査結果に基づいて安定解析を実施して評価するという現在の方法では限界がある。ため池堤体と基礎地盤の土質データベースを充実させることで、不確定性を許容する大まかな安定性を把握できる手法の開発が望まれる。

参考文献・参考資料

- 1) 農林水産省 HP「平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方について」
http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/181113_9.html (平成 31 年 4 月 26 日閲覧)
- 2) 神山惇, 藤本哲生, 鈴木素之:平成 30 年 7 月豪雨による山口県のため池における被害状況調査, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019.
- 3) 農林水産省農村振興局整備部. 土地改良事業設計指針「ため池整備」. 農業農村工学会, 東京, 2015.

提言 4.2 ため池堤体の越流時の侵食から崩壊に至る機構の検証とその安全性照査技術の開発

(長期的, 社会全体・専門家)

洪水流入によるため池の貯水上昇や土石流の流入による水位急上昇時に発生する堤体越流から破堤に至る機構を明らかにし, その崩壊危険度予測を実証的な事例によって検証するとともに, その対策技術の開発を進める必要がある. その際には, これらの知見と最新の地盤工学技術を活用する必要がある. 特に, 堤体の規模や重要度, 維持管理を考慮した上で, 簡便で確度が高い対策技術の開発を進める必要がある.

(解説)

(1) 被害と教訓

越流は, 貯留された水位が堤高を越えてあふれ出す現象であり, 頻発するため池の決壊原因の一つである. 西日本豪雨では, 多くのため池が越流による損傷を受けた. 原因は, 洪水吐の排水能力が足りず, 堤体から貯留水があふれることによる. 越流により堤体が直接的に侵食を受けるため, 越流が継続する場合, 破堤に至る可能性が極めて高い. **写真 4.2.1** には, 平成 30 年 7 月豪雨で越流破堤したと考えられる堤体の様子を示している. 同様に, **写真 4.2.2** は, 同じく平成 30 年 7 月豪雨で越流破堤したため池の破堤断面を示したものである. また, **写真 4.2.3** は, 平成 23 年の台風時に越流を生じ, 下流法面がかなり侵食されたものの破堤はかろうじて免れた堤体の事例である. 堤体上の植生がなぎ倒されていることから, 越流が継続したことが推察される.



写真 4.2.1 越流によるため池の破堤 寺田池（東広島市）
（平成 30 年 7 月豪雨）



写真 4.2.2 越流によるため池の破堤断面 向迫田ため池（山県郡北広島町）
（平成 30 年 7 月豪雨）



写真 4.2.3 越流による下流法面の侵食（下流側から望む）
岡山市東区宝伝のため池
（平成 23 年台風 12 号）

九州北部豪雨では流木の河川やため池への流入が注目された. **写真 4.2.4** は, 流木によって, 通水機能を失った洪水吐を示している. 貯水池に流入した大量の流木は, 洪水吐に集積してその通水機能を奪い, 貯水上昇を助長してため池の越流破堤の危険性を急速に高める.



写真 4.2.4 流木で閉塞された洪水吐 山の神ため池（朝倉市）
（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）

西日本豪雨では、土石流が貯水域に流れ込むことで、越流破堤を起こした事例が、広島県を中心に見られた。写真 4.2.5 は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨および平成 30 年 7 月豪雨で土石流の土砂が流入し、土砂により埋め尽くされたため池である。相当量の土砂が堆積していることから、土石流を堰き止める防災機能を果たしたと考えられる。写真 4.2.6 と写真 4.2.7 は、平成 30 年 7 月豪雨における同様の例である。広島では、土石流が多発しており、同様の事例は多く見られた。ため池では、土石流の流入量が洪水吐の能力を上回り貯水位が天端標高を超えると越流が生じるものの、天端標高までの余裕高さに相当する貯水位の状態では、土石流を受け止める防災効果が期待できる可能性もある。この時には貯水そのものが、上流からの土石流に対する緩衝機能を果たし、堤体への直接的な損傷を回避する機構も働いていると考えられる。



写真 4.2.5 土石流で埋まった
ため池
山の神ため池（朝倉市）
（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）



写真 4.2.6 土石流で埋まったため池
横池（東広島市）
（平成 30 年 7 月豪雨）



写真 4.2.7 土石流で埋まった
ため池
大池（東広島市）
（平成 30 年 7 月豪雨）

(2) 現象解明と対策

ため池においては、越流は堤軸に直行する方向に生じると考えてよく、その破堤過程は、図 4.2.1 に示すように 2 つに分けられる。一つは、図 4.2.1(a) のように、侵食が下流側法面から始まるものであり、この場合は垂直な下流側斜面（侵食崖）が形成され、それが上流側へと進行することで破堤に至る。この侵食過程は、下流側斜面においてのみ侵食が発生する場合に見られ、実際の堤体越流侵食はこの過程をたどることが多い。もう一つは、図 4.2.1(b) のように天端においても侵食が発生する過程であり、この場合、堤高が失われることで、上述の侵食過程と比較すると短時間に決壊に至る。

上記 2 つの侵食過程は、越流量に依存する。越流量の増加に伴い、天端における流速が大きくなるた

め、天端の侵食が発生する可能性が高まる。つまり、堤体の耐侵食性に対して、十分に越流量が大きい場合に、図 4.2.1(b)の侵食過程が発生する。越流量の減少は、破堤に至る時間を延ばすことにつながるため、越流量を減らすことが根本的な対策となる。また、侵食に対する抵抗性は、砂質土より粘性土の方が大きく、締固めによって、土の耐侵食性を向上させることができる。(土質材料の耐侵食性は、侵食速度を測定する実験を行うことで可能である。耐侵食性を把握する現地試験については、いくつかの方法が存在するものの、確立した手法はなく、その精度にも課題がある)

注意が必要な点は、図 4.2.1(a)の侵食過程の場合、非常に急な斜面(侵食面)が形成されることにある。堤体がこの形状を維持するには、自立に必要な強度を有することが必要であるが、砂などの非粘着性材料が堤体内部に存在する場合、侵食面が非粘着性の内部材料に達した際、堤体内部が支持力を失い、崩壊に至る危険性がある。

堤体の越流を考える場合には、越流量と堤体材料の耐侵食性に加えて、侵食によって変化する堤体形状を安定的に支持できる内部構造を有するかどうか重要である。すなわち、堤体の越流侵食によって、堤体本体の構造的な安定性が刻々と変化し、すべり破壊に繋がるようなプロセスに注意が必要である。

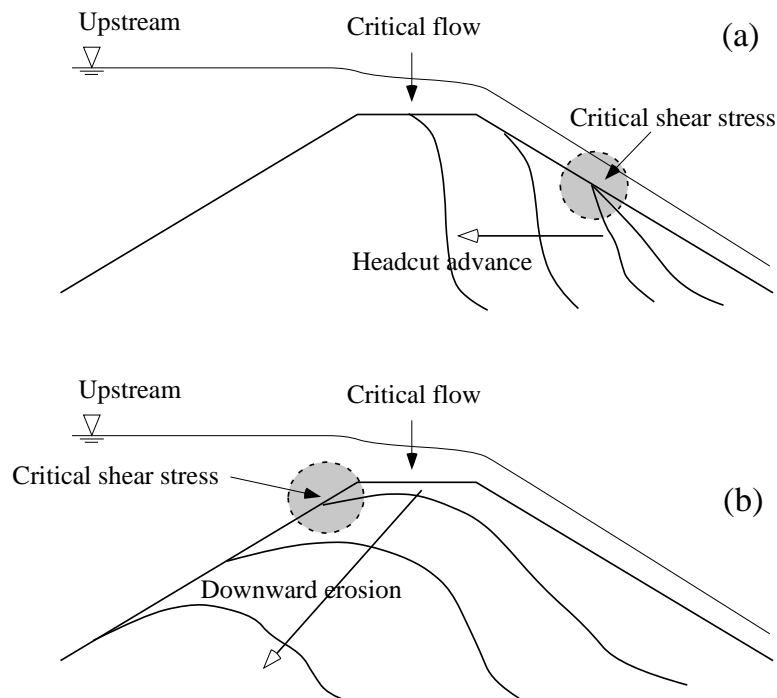


図 4.2.1 越流による堤体侵食過程 (藤澤ら, 2011) ²⁾

(3) これまでの調査や研究・委員会活動等

ダム、堤防、ため池などの堤体の越流破堤に関する研究は、1900年代の後半から本格化する。この頃の代表的な研究例としては、Singh (1996)⁸⁾ や Visser (1998)⁹⁾がある。Visser (1998)は、砂質土で作られた均一型堤体の越流破堤メカニズムについて詳細に考察しており、Visser (1998)と同様のアプローチで Zhu (2006)¹⁰⁾は均一の粘着性材料で作られた堤体の越流破堤メカニズムについて調査した。そのほかにも、越流による破堤メカニズムに関する研究は数多くなされており、例えば、Coleman et al. (2002)¹⁾や Hanson et

al. (2005)³⁾などの研究が挙げられる。このように均一型堤体の越流破堤メカニズムについては、解明されたことも多いが、土質材料を複合的に利用して作られた堤体の破堤メカニズムについては整理されておらず、基礎的な研究の余地を残す。

現在、堤体越流の問題はリスク分析と連携した応用研究が進む段階にある。既にヨーロッパでは IMPACT (Investigation of Extreme Flood Processes & Uncertainty, 参考 URL : www.impact-project.net), FLOODsite (Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, 参考 URL : www.floodsite.net) の大々的なプロジェクトが進み、IMPACT は 2004 年、FLOODsite は 2009 年に終了した。日本においては、1984 年 (昭和 59 年) に土木研究所が先駆的に越水堤防の実験を開始し、そのメカニズムと補強工法について調査が行われた (建設省土木研究所, 1984)⁴⁾。豪雨による堤防越流が顕在化した現在、精力的な取り組みが続いており (国土交通省北海道開発局・独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, 2012)⁵⁾、越水に対する堤防強化はため池と同様に重要な課題となっている。

(4) 今後必要な地盤工学的取組

現在のところ、「越流」と「破堤」は同一のものとして扱われることがほとんどである。つまり、「越流すれば、(必ず)破堤に至る」とされる。これは、最も安全側の対応を意識したものであるが、この考え方に則れば、越流対策は「越流させない」という選択肢しかない。今後も発生し得る激しい豪雨に対して、越流に対する実現可能な対応策を講じるには、「越流」=「破堤」の考え方には限界がある。

現在、越流による堤体の崩壊機構に関する理解が進む状況において、防災・減災の社会的需要に応えるには、越流によって破堤に至る時間を提示することが望まれる。例えば、ある水深の越流が生じた場合、何時間 (もしくは何分) で決壊に至るのかに対する答えである。これによって、「現状の堤体は、越流に対してどのくらい脆弱なのか (精度ある崩壊危険度の評価)」、「越流が生じた際、避難時間はどのくらいあるのか (明確な災害対応)」といった問題に対して、定量的な回答を導くことができると同時に、堤体越流に対する柔軟な対応を可能にする。

これを実現するにあたり、取り組むべき主要課題は以下である。

- ・堤体材料の耐侵食性に関する現地調査法
- ・堤体の内部構造の調査法

堤体材料の耐侵食性と堤体の内部構造を把握する技術があれば、越流に対してどのくらいの時間をかけて、どのように破堤に至るのかを (破堤に至らない可能性も含めて) 予測することができる。このような根本的な研究・技術開発と並行して、遮水シートや土嚢⁶⁾を利用して破堤時間を延長するといった、簡便でありながらも実用的な技術開発も継続する必要がある。このような、対策技術としての部分補強技術によって越流に対する抵抗性が向上し、突発的な破堤を免れることができれば、避難に時間的な余裕が生まれ、下流地域の防災計画にも大きく貢献できることが期待される。

参考文献・参考資料

- 1) Coleman, E.S., Andrews, D.P. and Webby, M.G. : Overtopping breaching of noncohesive homogeneous embankments, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 128, No. 9, pp.829-838, 2002.
- 2) 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一 : 砂・粘土混合材料の侵食速度測定と室内越流破堤実験, *農業農村工学会論文集*, 第 273 号, pp.45-55, 2011.

- 3) Hanson, G.J., Cook, K.R. and Hunt, S.L.: Physical modeling of overtopping erosion and breach formation of cohesive embankments, Transactions of the ASAE, Vol. 48, No. 5, pp.1783-1794, 2005.
- 4) 建設省土木研究所：越水堤防調査最終報告書，土木研究所資料，第 2074 号，1984.
- 5) 国土交通省北海道開発局・独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：河川堤防の越水破堤現象のうち破堤拡幅機構に関する実験報告書，2012.
- 6) Mohri, Y., Matsushima, K., Yamazaki, S., Lohani, T.N., Goran, A. and Aqil, U. (2007): New direction of earth reinforcement -disaster prevention, pp.85-101, 2007.
- 7) 毛利栄征，松島健一，堀俊和，有吉充，山崎真司：越流許容型ため池堤体の施工，第 44 回地盤工学研究発表会，pp.1017-1018，2009.
- 8) Singh, V.P: Dam breach modeling technology, Water Science and Technology Library, Springer, 1996.
- 9) Visser, P.J.: Breach growth in sand dike, PhD thesis, Delft University of Technology, Netherlands, 1998.
- 10) Zhu, Y.: Breach growth in clay-dikes, PhD thesis, Delft University of Technology, Netherlands, 2006.

提言 4.3 豪雨時のため池堤体の浸透の変化に伴う堤体の崩壊機構の検証とその安全性照査技術の開発

(長期的, 社会全体・専門家)

洪水流入によるため池の貯水上昇に起因して、堤体内の浸透が変化する。この浸透の変化が堤体の不安定化に与える影響とその現象を解明し、堤体の漏水とその崩壊危険度予測手法を実証的な事例によって検証を進める。さらに、その対策技術の開発を進める必要がある。その際には、これらの知見と最新の地盤工学技術を活用する必要がある。特に、堤体の規模や老朽度を考慮した上で、簡便で確度が高い対策技術の開発を進めることが必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

堤体内に浸透水が集中的に流れる「水みち」が形成されるパイピング現象によって、堤体が被害を受けた例を写真 4.3.1~3 に示す。パイピングとは水みちのような空洞や高間隙領域が土の内部において連続的に形成される現象である。写真 4.3.1 は、パイピングによる過度の漏水により、貯留水が流出したため池の上流側である。長年の波浪による侵食で、法面がハングアップしているのがわかる。写真 4.3.2 は、ハングアップした部分を拡大したものであるが、複数の穴が検出され、水生動物が穿孔した可能性が疑われる。写真 4.3.3 は、実際にパイピングにつながったパイピングホールである。穴の洗掘が、降雨によって進行し、堤体を貫通したものと思われる。この例に限らず、上流面が洗掘された堤体では、同様のパイピングホールが確認できたため池が散見される。



写真 4.3.1 浸透破壊したため池



写真 4.3.2 ため池上流面の穴



写真 4.3.3 浸透破壊を起こした穴

(2) 現象解明と対策

ため池では、パイピングは日常的な漏水の要因であるが、特に豪雨時には、貯水位の上昇によって堤体内の浸透流速及び動水勾配が増加し、パイピングの発生に加えて、既に存在するパイピングホールの拡大や進展が生じる可能性が高まる。パイピングホールの拡大と進展は堤体自体の安定性にも影響を及ぼす。パイピングの原因には、亀裂、内部侵食（浸透流による土の侵食）、浸透破壊などが挙げられ、それらが組み合わさって、最終的なパイピングホールの形成に至る。ここでは、「侵食」を、土粒子の一粒一粒が流体に取り込まれる現象と定義し、土塊が力学的な安定を保つことのできない応力状態に達する「破壊」とは区別して整理する。

現在、内部侵食は以下のような 4 つの形態 (Pipe or crack internal erosion, Contact internal erosion, Suffusion,

Backward erosion) に分類され (Bonelli, 2012) ¹⁾, パイピングに至る過程と合わせて以下のように整理することができる.

- **Pipe or crack internal erosion** (クラックから進展する内部侵食)
既に存在しているクラックなどの空洞領域を流れる浸透水がその表面を侵食する現象を意味する. テンションクラックやすべりが発生した箇所では, この種の内部侵食が発生する可能性が高まり, 侵食によってクラック幅が拡大し, パイピングにつながる危険性がある. 亀裂は, 植物根の発達や動物の巣穴による損傷, 堤体や基礎の変形により発生する引張ひずみが限界値を越えることにより生じる. さらに, 低水位時の乾燥によりクラックが生じることもあり, 堤体土質の体積収縮率や常時の管理状況 (低水位の状態が維持されているのか) などにも注意をする必要がある
- **Contact internal erosion** (粗粒材料と細粒材料の境界で発生する内部侵食)
粗粒材料と細粒材料の境目がある場合, そこを流れる浸透水によって, 細粒材料が侵食を受ける現象を意味する. ゴーニングを有するため池堤体の場合は注意が必要であるが, 通常はフィルター則を満足させることで対応される.
- **Suffusion** (細粒分流出)
堤体材料の細粒分のみが浸透流によって流亡する現象を意味する. 粒径分布に偏りがある (粒径の大きな材料の中に, 粒径の小さな材料が混じっている状態の) 土質材料に対しては, **Suffusion** の発生が懸念される. 現在では, 粒径分布から **Suffusion** 発生の有無を判断できる基準がいくつか存在し (Li and Fannin, 2008) ²⁾, それらを利用して, その発生を抑えることができる.
- **Backward erosion** (後退侵食)
浸透水の浸出箇所から浸透流の上流方向に進展する侵食を意味する. ため池においては, 底樋などの構造物周辺では, この種の内部侵食が進展する可能性が高く, 漏水経路となることが多いため, 特に注意が必要である.

一方, 浸透破壊現象は, 間隙水圧と動水勾配の上昇により, 有効応力を失うことで力学的な安定性を失う現象である. 主に砂質土を対象とした現象であり, クイックサンドやボイリングとも呼ばれる. 堤体においては, 貯水位の上昇に伴い, 拘束圧の小さな法先付近の動水勾配が上昇することで浸透破壊が生じる可能性がある. 法先部分が局所的に安定性を失うことに連鎖して, 進行的なすべりの発生やパイピングホールの形成につながる. ドレーンなどを設け, 法先付近の動水勾配を小さくすることで, 浸透破壊を抑制する.

(3) これまでの調査や研究・委員会活動等

世界的に見ると, パイピングはダムの崩壊原因の 46%を占め, 越流 (48%) と同様に主要な崩壊原因である (Foster et al., 2000) ³⁾. 既往のパイピングに関する研究の多くは, 限界動水勾配といった土粒子が動き始める動水勾配や浸透流速に焦点が当てられてきたが, パイピングの進展に関する研究については, 侵食の観点から研究が進む現状がある. しかし, Richards and Reddy (2007)⁴⁾は, "Recent advances in computer technology have facilitated the evaluation of seepage and deformation in embankments but computational methods for evaluation of piping potential are currently limited." (コンピューター技術の進歩は堤体の浸透・変形の評

価を容易にしたが、起こり得るパイピングを予測する方法は現在でも乏しい)と述べており、パイピングの予測は現在でも困難な状況にある。

パイピングの現象予測は困難であるが、浸透及び変形の観点から、パイピングによる堤体の崩壊過程をとらえることが可能な場合もあり、総合的な観点からパイピングによる破堤を評価することが重要である。(2)で示した各種のパイピングについて、河川堤防を想定したものであるが、実際に参考となる模型実験が実施されている(小高ら, 2018, 2019)⁵⁾。写真4.3.4⁵⁾は、粗粒材料の基礎地盤上に、細粒材料の堤体(一部基礎地盤表面の被覆土を含む)の境界部で発生する内部侵食(Contact internal erosion)の例である。概ね透水性の比が数十倍以上ある場合に、明確な水みちが観察される。また、この場合には、浸出側から浸透流の上流側へ水みちが進展する後退侵食(Backward erosion)により、堤体材料が内部から侵食されて外部に流失することが明らかになっている。また、このようなパイピングは、法先部での動水勾配の集中による有効応力の低下による浸透破壊をきっかけとして発生する。そのため、パイピングとともに、法先からの進行的な堤体すべりを伴うことが多い(写真4.3.5)⁵⁾。堤体内への浸透によるすべり破壊は、すべり発生時には円弧すべりの形状を伴っているものの、高含水状態であるために崩壊後には堤体材料が広範囲に流動化する。ため池のすべり破壊の被災事例においても、下流側に堤体土砂が流動化している場合が多い。

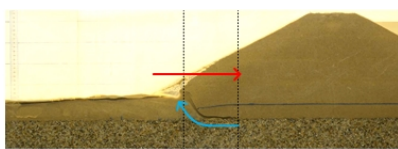


写真 4.3.4 内部侵食の進展⁵⁾



写真 4.3.5 法尻からの進行的なすべり破壊⁵⁾

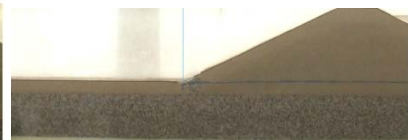


写真 4.3.6 法尻に敷設したドレーン⁶⁾

このような堤体法先からの浸透破壊とそれに付随するパイピングを防止するためには、法先に敷設するドレーンが有効である。写真4.3.6⁶⁾は写真4.3.4および写真4.3.5の堤体模型の法先にドレーンを敷設した例であるが、変状は全く発生しないことが確認されている。

以上のような法先部での内部侵食をきっかけとして発生するすべり破壊であっても、法先部での浸透時の堤体材料のせん断強度を適切に評価することができれば、ため池整備指針で定める円弧すべり解析を用いた評価も可能である。浸透時の堤体材料のせん断強度は、堤体の対象箇所の浸潤時における有効応力状態や破壊機構を適正に反映できる試験条件で評価しなければならない。細粒分が多く粘性土と評価される地盤材料であっても、浸透時には砂質土に近い性状を示す堤体材料もあり、実際に一軸圧縮強さが非常に大きな粘性土堤体が豪雨時にすべり破壊を起こした被災事例⁷⁾もあり、注意が必要である。

(4) 今後必要な地盤工学的取組

上述したように、一口にパイピングと言っても、その原因には様々な現象が存在している。そのため、堤体内における亀裂や、浸透による侵食や浸透破壊の進行過程を解明し、把握することが重要である。また、全国に存在する膨大な数のため池すべてを調査し改修するのは困難であるため、簡易かつ正確な調査方法と改修方法が必要となる。例えば、狭小な現地でも適用可能なスウェーデン式サウンディング試験(SWS)が利便性から優れるが、電気式コーン貫入試験(CPTU)が可能な場所は検討に値すると思われる(Nishimura et al., 2017)⁸⁾。CPTUには、比較的長大な堤防を短時間で試験できる上、土質情報も

得られるといった特徴がある。また、ドローンなどの無人航空機（UAV）によるため池の三次元計測を併用する漏水探査などが挙げられる。漏水を特定できる内部診断技術の開発と併せて、堤体材料の耐侵食性に関する現地調査方法の確立が必要である。

参考文献・参考資料

- 1) S. Bonelli: *Erosion of Geomaterials*, Wiley, 2012.
- 2) M. Li and R.J. Fannin: Comparison of two criteria for internal stability of granular soil, *Can. Geotech. J.*, Vol. 45, pp. 1303-1309, 2008.
- 3) M. Foster, R. Fell and M. Spannagle: The statistics of embankment dam failures and accidents, *Can. Geotech. J.*, Vol. 37, pp. 1000-1024, 2000.
- 4) K. S., Richards and K. R., Reddy: Critical appraisal of piping phenomenon in earth dams, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, Vol. 66, pp. 381-402, 2007.
- 5) 小高猛司, 李 圭太, 石原雅規, 久保裕一, 森 智彦, 中山雄人: 高透水性基礎地盤を有する河川堤防の崩壊メカニズムと評価手法に関する研究, 河川技術論文集, 第 24 巻, pp. 559-564, 2018.
- 6) 小高猛司, 森 智彦, 李 圭太, 朝岡 巧, 飯田潤哉, 澤村元希: 透水性基礎地盤上の河川堤防の排水工の模型実験, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019.
- 7) 小高猛司, 李 圭太, 久保裕一, 石原雅規, 中山雄人: 細粒分が卓越した疑似粘性土堤防の強度評価の注意点, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019.
- 8) S. Nishimura, T. Shibata, T. Shuku and K. Imaide: Geostatistical Analysis for Identifying Weak Soil Layers in Dikes, *Geo-risk 2017: Geotechnical Risk Assessment and Management*, GSP285, pp. 529-538, 2017.

提言 4.4 流木や土砂の貯水池への流入などによる、堤体の越流破壊の発生機構の検証とその安全性 照査技術の開発

(長期的、社会全体・専門家)

洪水時に流木や土砂が貯水池へ流入して洪水吐を閉塞することによる貯水の上昇や越流に伴う堤体の侵食プロセスを実証的な事例やシミュレーションで検証するとともに、その抑止対策技術の開発を進める必要がある。特に、洪水吐の性能を適正に発揮させるため、流木等が洪水吐に接近しないような付帯施設の効果を検証する必要がある。また、越流した場合でも、被害を軽減できる地盤工学技術を活用した、越流に対する抵抗性を有する構造（補強土工法や表面補強・被覆工法の利用など）を開発する必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

洪水時の流木等の貯水池への流入は、越流によるため池堤体の崩壊を引き起こす原因の一つである。平成 30 年 7 月豪雨や平成 29 年 7 月九州北部豪雨でも、流木や土砂が貯水池に流入した事例が数多く確認されている。

写真 4.4.1 は、上流からの土石流の一部がため池内に流入し、洪水吐に流木が流入し閉塞している状況である。写真 4.4.2 は、開放型の洪水吐越流堤であるが、上流から貯水池に流入した流木が洪水吐に引っかかっている様子を示している。写真 4.4.3 では、洪水吐の規模が比較的大きく、設置位置も適切であったことから、流木によって洪水吐が閉塞されることなく、適切な流下能力を発揮したと考えられる。このように、洪水時において、流木や土砂の流入量、洪水吐等の規模や設置位置によって、被害状況は大きく異なる。



写真 4.4.1 洪水吐の閉塞状況 (平成 30 年 7 月豪雨)



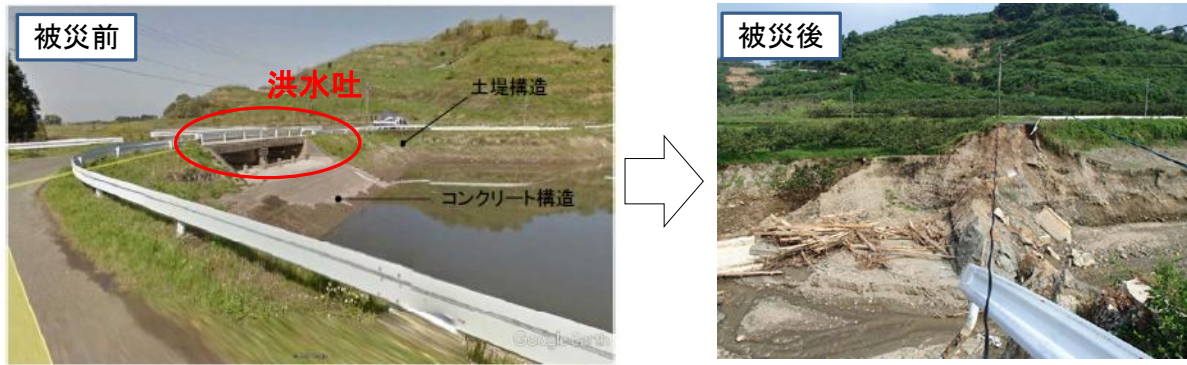
写真 4.4.2 洪水吐越流堤と流木の状況 (平成 29 年 7 月九州北部豪雨)



写真 4.4.3 閉塞されなかった洪水吐 (平成 29 年 7 月九州北部豪雨)

流木による洪水吐の閉塞により、越流が発生し決壊に至ったと推察される事例を写真 4.4.4 に示す。当該ため池は、河道上に設置されたため池であり、降雨により斜面が崩壊して、大量の土砂や流木が貯水池に流入した。その後、多数の流木が天端道路橋付きの洪水吐を閉塞したことでため池水位が上昇し、越流により洪水吐側面の堤体法面及び下流側法先を侵食し、破堤に至ったものと推測される。

平成 30 年 7 月豪雨においても、被害のあったため池の多くは、越流痕や貯水池内への土砂・流木等の流入が確認されており、貯水上昇が破堤の主原因であったと考えられる。



(a) 被災前の洪水吐（引用：Google ストリートビュー）

(b) 破堤部断面（洪水吐の流出）

写真 4.4.4 洪水吐の閉塞が原因で破堤したと推察されるため池（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）

(2) 現象解明と対策

被災後に、ため池の貯水池に残留している流木は、直径 20～30cm で、6m を越える長さの大木も多数あり、これらの流木が 1 本でも洪水吐に到達・閉塞するだけで、洪水吐部の越流水深が上昇する。ため池に集積した流木は流れに沿って必然的に洪水吐に誘導されるので、洪水吐前面に密集した流木群が貯水流量を長時間低下させ、貯水池全体の水位が大きく上昇する。

洪水吐は、堤体規模や設計洪水量に応じて様式を選定¹⁾するが、流木の接近を考慮していないため、過去にも小規模の洪水吐（多くは正面越流型）では、閉塞が著しい事例が数多く確認されている。

また、洪水吐の越流堰の頂部まで土砂が堆積する状況や流木が洪水吐を完全に閉塞している状況が確認されている。さらに洪水吐を横断する管理橋（道路橋）に木が接触して、これらの付帯施設が損傷し利用できなくなっている場合がある。これらの付帯施設の損傷（狭小な洪水吐や管理橋による流木の流下阻害（洪水吐閉塞））によって、二次的に洪水吐周辺の堤体が越流水によって侵食を受けて破壊に至ることが指摘できる。洪水吐が閉塞されることによって、ため池堤体が越流により侵食されていく様子については、簡易な模型実験によって定性的に確認されている²⁾。

先述した洪水吐の閉塞によるため池堤体の崩壊事例（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）では、従前の正面越流型の洪水吐から、側水路形式の洪水吐に変更するなどの改良復旧計画案がまとめられている。側水路形式の洪水吐に変更することによって、洪水吐の幅や高さを大幅に拡げることができ、流木などが詰まりにくい構造にすることが可能となる。

(3) これまでの調査や研究・委員会活動等

平成 16 年の台風 23 号による淡路島のため池被害においても調査が行われ、土砂や流木の流入により洪水吐が閉塞したことが、ため池決壊の要因の一つであったことが報告されている³⁾。また、洪水吐を含むため池付帯構造物の被災事例など、農業用ため池の被災事例がまとめられている⁴⁾。さらに、地盤工学会では、2018 年 6 月に開催された平成 29 年 7 月九州北部豪雨地盤災害報告会において、「豪雨災害で明らかになった地盤構造物の維持・管理の課題について」と題したパネルディスカッションを実施し、農学、土木分野などの横断的な地盤工学的課題を抽出するために、土砂や流木等によってもたらされた被害の概要（河川護岸施設、農地、ため池等、河川堤防、砂防施設等）、復旧の現状、地盤構造物のこれか

らの維持・管理の在り方について議論が行われている。

(4) 今後必要な地盤工学的取組

ため池堤体の構造に要求される新たな機能と洪水吐の構造様式と周辺対策については、洪水対策としての被害低減の観点から新たな機能を確保することが重要と考える。今後、以下のような項目について地盤工学的に取り組むことが重要である。

① ため池堤体の越流抵抗性を要求機能として設定する

地震と豪雨に対する安全性とともに、越流に対する高耐久性を実現できるため池を高耐久性ため池と位置付けて、地域に実装することができれば、災害の連鎖を断ち切り流域全体の減災に貢献できる施設として機能することができる。集水面積と豪雨継続時間などを基に、ため池の貯水容量に応じた越水時間をある程度規定できるので、長時間の越水抵抗性を設定する必要はなく、補強土工法などを適切に用いることで比較的容易に実現できる。

堤体の締固め度は平成27年度の整備指針によって95%を目標とすることが規定された。このことは、レベル2地震動に対して要求される堤体強度を確保するために一つの基準を示しているが、土質材料を適切に選定することによって侵食抵抗性に対しても大きな効果が期待される。

② 洪水吐の構造様式と付帯施設の要求機能の検討

洪水吐は、設計洪水流量以下の流水を安全に流下させ、貯水位の異常な上昇を防止する構造とすることが明記されており、洪水吐を流下する流水の水勢の緩和やため池の堤体及び基礎地盤並びに貯水池に支障を及ぼさない構造と規定されている。しかしながら、土石流や流木の流入は想定しておらず、洪水時の異常な水位上昇が生じることがある。洪水吐の性能を適正に発揮させるためには以下のような観点での検討が必要である。

- ・ 流木や岩塊などは貯水池上流端でトラップする（透過型の砂防施設等の設置）。
- ・ 洪水吐に流木が接近しないように付帯施設を設ける（網場などの設置）。
- ・ 管理橋下の余裕高さを十分確保し、流入部、導流部で閉塞しない構造とする。
- ・ 洪水吐および水路の上部の堤体や地山地盤は越流に対する抵抗性を有する構造とする（補強土工法や表面補強・被覆工法の利用など）。
- ・ 堤体から下流の水路についても遊水地を配置するなど越水を考慮した設計とする。

参考文献・参考資料

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」、農業農村工学会, 2015.
- 2) 公益社団法人地盤工学会平成 29 年 7 月九州北部豪雨地盤災害調査団：平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, pp.304-310,2018.
- 3) 若林徳朗：台風第 23 号による淡路島のため池被害について、農業土木学会誌, 第 73 巻 8 号, pp.669-672,2005.
- 4) 堀俊和：農業用ため池の豪雨災害に関する研究, 農工報, 44 号,pp.139-247,2005.

提言 4.5 老朽度の進んだ堤体の診断と評価技術における地盤工学的課題

(長期, 社会全体・専門家)

ため池堤体の老朽度や豪雨時の安全性診断を目的として必要な力学的な特性を探索する調査・点検技術の開発が必要である。具体的には、堤体内部の緩みなどの状態評価と安定解析などに適用する力学的特性の把握のための調査がある。特に、ため池堤体の老朽化と危険度を定量的に診断・評価するための調査技術及び、大量のため池を安価に調べられる簡易な調査技術の開発と確立が必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

今回の豪雨災害におけるため池の被害は貯留水の越流に伴う堤体の侵食と破堤、降雨や表流水、貯留水、基礎地盤内地下水の浸透に伴う堤体のすべりや崩壊などが主たるものである。これらの被害に対して事前にその危険度を評価・判定することが、まず重要である。対策工事などのハード対策を推進するとともに地域住民に対する情報公開やハザードマップ配布などのソフト対策の実施につなげて被害を防止・軽減することが必要である。しかしながら、個別のため池における豪雨の特性（雨量強度、継続時間など）や堤体の調査結果を踏まえて被害の可能性を簡易にあるいは詳細に予測して公開した事例は殆ど存在しない。平成30年7月豪雨などで見られた被害のメカニズムを踏まえた堤体の評価手法と評価に必要な点検手法を開発し、その結果を避難などのソフト対策とつなげて、地域に適合する減災のシステムを構築する必要がある。

また、ため池はその7割以上が江戸時代以前に築造されているため、長い供用期間の間に老朽化が進んだものが多数ある。一方で、農業人口の減少などにより個々のため池の維持管理の体制は弱体化しており、定期的な点検や適切な維持管理ができていないため池も存在する。このため、堤体上の樹木の繁茂や法面の侵食による断面不足、漏水の発生とそれに伴う堤体の局所的な空洞化などが存在し、これらは豪雨時や地震時に被害をもたらす素因になることが予想される。写真4.5.1は浸透破壊によって貯留水が流出したため池の上流側である。長年の波浪による浸食で、法面がハングアップしているのがわかる。このため池ではハングアップした部分に複数の穴が検出され、その穴がパイピングホールとなった。穴の洗掘が、降雨によって進行し、堤体を貫通したものと思われる。この例に限らず、上流面が洗掘された堤体では、穴が多く見られるため池が散見される。写真4.5.2はため池堤体の空洞が地震による法面の陥没によって判明した事例である¹⁾。この空洞の直下では長期間継続している漏水があり、漏水にともなう堤体土の流出が空洞を形成したものと考えられる。このような堤体の老朽化を調査し、その危険度を定量的に診断・評価する技術が必要である。

さらに、ため池は全国に約20万箇所存在しその規模も様々である。この大量のため池を効率的に診断・評価していくためには、堤体の状態と力学特性を簡便で短期間に大量のため池を調べることが可能な簡易な調査技術とともに、大規模で重要なため池については詳細な調査技術を開発していく必要がある。



写真4.5.1 上流側法面が浸食した事例



写真4.5.2 漏水によって堤体に空洞が生じた事例

(2) これまでの調査や研究・委員会活動等

従来、ため池は老朽化対策として改修工事が行われることが殆どであり、その老朽化の観点からは堤体の漏水と、斜樋・底樋などの取水施設の劣化、及び洪水吐の性能不足・劣化である。改修に当たっては遮水性能、設計洪水流量の流下能力、耐震性能の観点から設計が行われ、ため池堤体の安全性が向上されてきた。2011年東北地方太平洋沖地震以降は、ため池の耐震性能の照査が精力的に行われており、耐震性能が不足しているため池は対策工事が実施されている。調査・診断は、これらの照査・設計に必要な情報を取得するために行われ、主に表4.5.1のような調査手法によって実施されてきている。

また、ため池に関する大規模な災害が発生した場合には表4.5.2に示すような、資料調査、簡易測量、目視調査、簡易氾濫解析などによる点検が行われ、災害に対する危険度が簡易的に判定されてきている。

表4.5.1 ため池に一般的に行われている調査手法

調査目的	調査手法
堤体形状の把握	縦横断・平面測量
漏水経路の把握	トレーサー調査, ボーリング
浸潤線位置の把握	地下水観測孔
土質構成の把握	ボーリング, サウンディング
透水性の把握	現場透水試験
堤体・基礎地盤の土性把握	物理試験 (土粒子の密度, 粒度, 含水, 液・塑性, 湿潤密度)
強度の把握	標準貫入試験, 三軸CU試験, 三軸CD試験
締固め度	突き固めによる土の締固め試験
液状化特性	非排水繰返し三軸試験
強度低下特性 (レベル2耐震性照査)	繰返し+静的単調載荷試験

表4.5.2 ため池の点検項目と危険度の判定

危険度の判定項目	点検項目
構造的危険度の判定	堤体諸元（堤体材料，堤高，堤長，堤長幅，貯水量，法面勾配，形式）
	堤体老朽度（余裕高，断面不足，クラック，漏水，はらみだし）
	取水施設（使用状況，管理状況，破損の有無）
	洪水吐（洪水吐の有無，断面確保，沈下・破損状況）
	緊急放流施設（緊急放流施設の有無，断面確保，現況）
	底樋年代
周辺環境危険度の判定	ため池流域比（流域面積/満水面積），ため池流域内の崩落履歴，接続道路からの導水の可能性，地形，基礎地盤の地質年代
下流状況（影響度）の判定	破堤時の人家，公共施設，国道，農業用施設への影響
基本情報の確認	築造・改修年代，アメダス，既往日最大雨量，時間雨量，最大震度，流域の主な植生，各種防災計画への位置付け，現況写真
依存度の判定	利用可能農用地面積，かんがい用水依存度の分類
立地条件	地震区分，重ね池への該当

ダムに匹敵する大規模ため池の調査方法としては，堤体のボーリングによる貫入試験や不攪乱試料採取による強度試験などが主流である。しかし数が多い小規模ため池に適用可能な安価な技術の開発は遅れており，設計や安定性評価に導入できる力学的な特性評価が簡便にできる状況には至っていない。例えば小規模ため池に適した技術としては，孔内回転せん断試験法²⁾がある。これはサウンディング孔を利用して原位置で強度を測定するものであり，サウンディングから得られる貫入抵抗の分布の情報と合わせることによって安定性の評価に必要な地層構成と力学特性を評価することができる。また簡易に地下水位を測定する技術として接地抵抗測定³⁾がある。これは接地抵抗が地下水の上下で変化することを利用した手法であり，サウンディングを電極棒として利用し，サウンディングを行いながら接地抵抗を深度方向に計測することで地下水位位置を把握するとともに貫入抵抗の分布を計測する。これに最小限のボーリング調査を加えることで堤体の安定性の評価に必要な堤体・地層モデルと地盤定数を設定する。図4.5.1に接地抵抗測定を用いて簡易に堤体の浸潤線の把握を行った事例を示す。この方法は広島県における小規模なため池の耐震性能照査に用いられている，安価にため池堤体を調査・評価できる手法である。

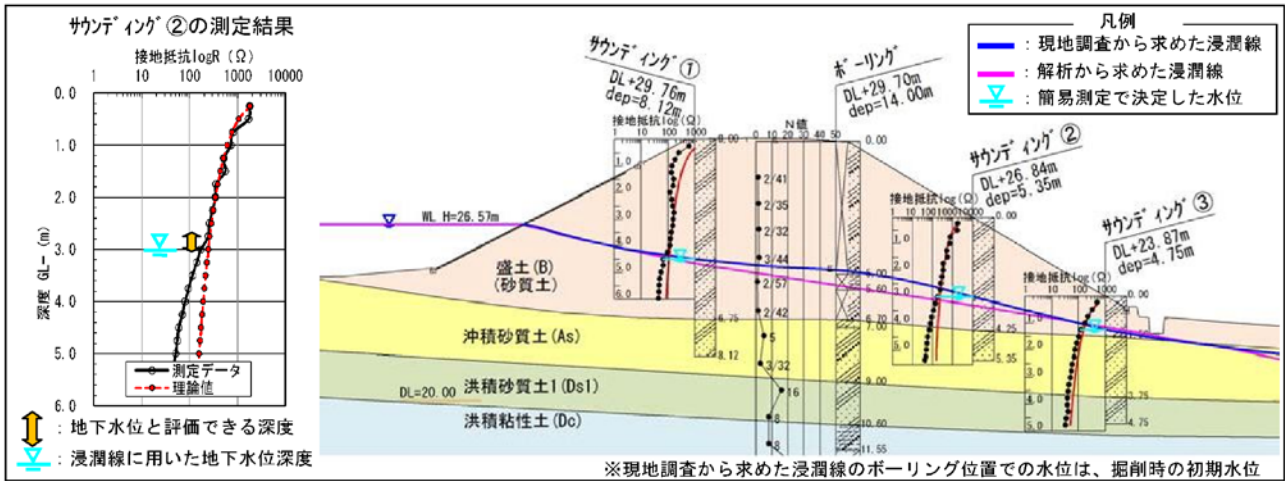
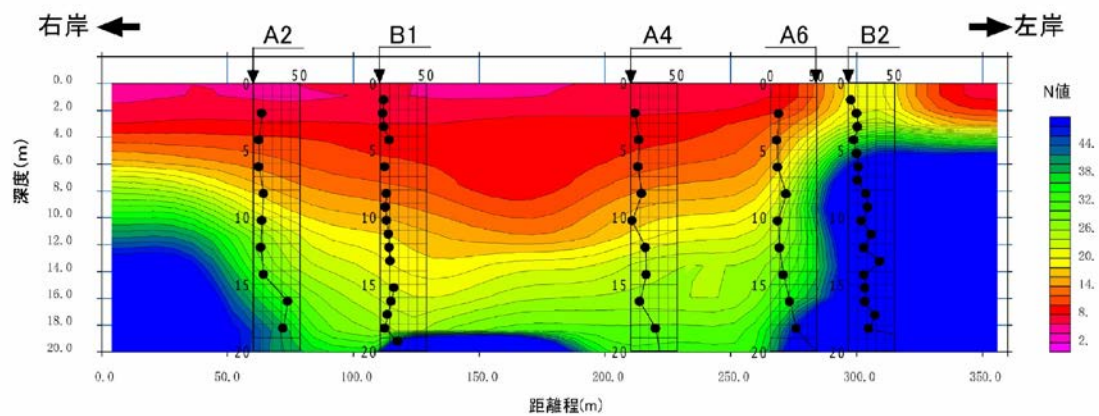
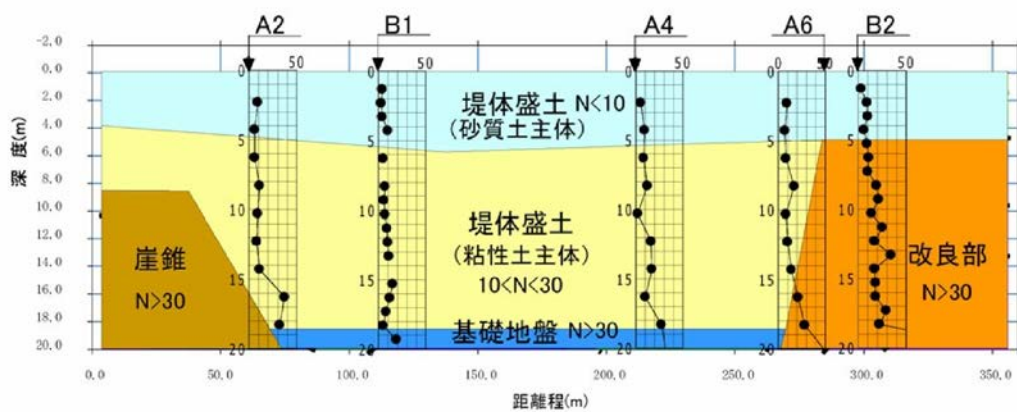


図4.5.1 サウンディングを併用して簡易に堤体の浸潤線把握を行った例³⁾

ため池の堤体はその多くが人力で築造されているため土質材料や締固め度が不均一に分布していることが多い。したがってため池の安定性を評価するためには、堤体全体の土質構成や、強度・地下水位などの分布を縦断的および横断的に把握する必要がある。このような面的な情報を得る調査手法としては物理探査が良く用いられる。物理探査手法による堤体構造の把握について、図4.5.2に表面波探査をため池に適用して堤体構造とN値分布を推定した事例⁴⁾を示す。このように物理探査手法をボーリング調査と併用することによって、堤体構造の2次元的な広がり力学量を重ねて、堤体内部の弱部領域は把握することが取り組まれている。



推定N値断面図



推定土質断面図

図4.5.2 表面波探査から堤体構成とN値分布を推定した事例⁴⁾

調査技術はため池に限らず，道路，鉄道，建築といった様々な分野で新しい手法が開発されているため，このような他分野の技術を適用することも重要である．表4.5.3～4.5.5にこのような適用・流用が見込める既存技術の一覧を示す．今後，新たな調査技術の開発に加えて，このような既存技術の適用性を検証して実用化していく必要がある．また，越流抵抗を評価するための調査手法や，老朽化の程度を定量的に評価して危険度判定ができる点検システム，近隣道路などからの表流水による堤体の浸透・侵食破壊を評価・予測方法の確立とそのための調査方法の開発が望まれる．

表4.5.3 ため池評価に必要な調査技術の項目と適用・流用が期待できる既存技術

今後必要な調査技術の項目	適用・流用できそうな既存技術	概要	資料No.
堤体土の強度を調べる技術 (簡易に)	土層強度検査棒 (土検棒)	貫入コーン付きのφ10mmのロッドを人力で地盤に押し込み押し込み荷重を計測する。またその貫入孔底に羽根付きコーンを押し込んで回転させ、回転トルクを計測することで原位置の内部摩擦角と回転トルクを測定する方法	23, 24
	キャスポル (地表で地盤反力係数)	質量4.5kgのランマーを45cmの高さから自由落下させ、衝撃加速度を計測し、その波形から土質を判定し、加速度の大きさから強度を推定する手法。	25
	小型FWD (地盤反力係数、センサー追加で層解析も可)	質量5kgの重錘を50~530mmの高さから落下させ、地盤に生じる荷重と加速度を計測してFWD係数を算出し、地盤反力係数や変形係数を求める手法。	26, 27
	CPT	先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦の3成分を計測しながらコーンを地盤中に連続貫入させ、計測値から強度を推定する手法。	20
	ダイラトメーター	鋼製のブレードを貫入させ、ブレード中央部のメンブレンを膨張させて地盤に水平載荷する手法。計測値から非排水強度、変形係数等が求まる。	21
	孔内回転せん断試験機	スウェーデン式サウンディング孔を用いて孔内でせん断刃のついたバルーンを膨張させて孔壁を加圧し、バルーンを回転させて回転トルクを計測することによって強度定数 c 、 ϕ を求める手法。	28
堤体土の強度を調べる技術 (詳細に)	現場一面せん断試験機	原位置の法面を対象に一面せん断を行い、強度定数を求める手法。	29
	ボーリング+サンプリング		
堤体土の締固め度を調べる技術 (簡易に)	RIコーン	三成分コーンにRI密度計やRI水分計を搭載し、連続的に貫入しながら密度と含水量を計測する手法	30, 31
	小型FWD (地盤反力係数、センサー追加で層解析も可)	質量5kgの重錘を50~530mmの高さから落下させ、地盤に生じる荷重と加速度を計測してFWD係数を算出し、地締固め度を求める手法。	26, 27
	電磁式現場密度試験機	電磁波によって湿潤密度、含水比を測定する手法。	32
	現場密度試験 (コアカッター法)		33
堤体を点検する技術 (安価に)	傾斜センサー付打ち込み式水位計	傾斜計と間隙水圧計を付けた打ち込み式水位計を斜面に設置してモニタリングし、斜面の変状を観察する手法。	35

表4.5.4 ため池評価に必要な調査技術の項目と適用・流用が期待できる既存技術

今後必要な調査技術の項目	適用・流用できそうな既存技術	概要	資料No.
堤体土中の地下水位（浸潤線）を調べる技術	打ち込み式水位観測井	ボーリングを使わず、既存の打ち込み機械を持ちいた水位観測井の設置技術。設置費用を約3割低減できる。	1
	スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した地下水位測定法	宅地の液状化簡易判定で用いられている手法。	2
	接地抵抗を用いた地下水位観測法	地下水位の上下で接地抵抗が3～10倍程度変化することを利用した手法。サウンディングロッドを電極として利用し、接地抵抗を計測しながらサウンディングすることによって地下水位位置を測定する。広島県のため池調査で採用されている手法。	3
	地下レーダー	地下水の比誘電率が土に比べて2～10倍程度以上大きいことを利用して地下水面を検知する。	34
堤体中の漏水を調べる技術	1m深地温探査	流動地下水の地温変化が小さいことを利用して地温測定から漏水箇所を判定する。	4, 5
	地中流水音探査	複数の位置で地中音を計測し、ミズミチにおいて地下流水音が最も大きくなることを利用して漏水位置を特定する。	6, 7
	地下水検層	電気比抵抗や温度などの変化を観測井の中で深度方向に連続的に計測し、地下水流動層の位置を特定する。	8, 9, 10
	トレーサー調査	塩や染料などをトレーサーとして流し、下流側の観測井でその流下を確認する手法。	11
	地下レーダー	ため池の貯水・落水時の含水比変化箇所（漏水箇所）をレーダー探査記録の比較から求める。	34
堤体土の土質を調べる技術（簡易に）	標準貫入試験（目視）		
	動的貫入試験＋ハイパー土壌すくい（目視）	クローラー型の自動貫入装置を用いて動的コーン貫入試験とその貫入孔を用いた土試料採取を行う。建築分野の調査で用いられている。	12, 13
	SWS（土質判別可）＋土壌すくい（目視）	クローラー型の自動貫入装置を用いてスウェーデン式サウンディング試験とその貫入孔を用いた土試料採取を行う。建築分野の調査で用いられている。	14, 15
	SCSC（目視）	電動ハンマーを用いてサンプラーを打ち込み、連続的に土試料を採取する手法。	16
	PDC	間隙水圧計を搭載したコーンを小型の打撃機械で地盤に打ち込み、貫入抵抗と間隙水圧から土質推定する手法。	17, 18
	SDS	スウェーデン式サウンディングのスクリュウポイントとロッドを用いて回転トルク、荷重を計測しながら貫入させ計測値から土質を推定する手法・建築分野の調査で用いられている。	19
	CPT	先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦の3成分を計測しながらコーンを地盤中に連続貫入させ、計測値から土質を推定する手法。	20
	ダイラトメーター	鋼製のブレードを貫入させ、ブレード中央部のメンブレンを膨張させて地盤に水平載荷する手法。初期圧と膨張圧から材料インデックスを算出して土質を推定する。	21, 22
堤体土の土質を調べる技術（詳細に）	ボーリング＋室内試験		
	動的貫入試験＋ハイパー土壌すくい（室内試験）	クローラー型の自動貫入装置を用いて動的コーン貫入試験とその貫入孔を用いた土試料採取を行う。建築分野の調査で用いられている。	12, 13
	SWS＋土壌すくい（室内試験）	クローラー型の自動貫入装置を用いてスウェーデン式サウンディング試験とその貫入孔を用いた土試料採取を行う。建築分野の調査で用いられている。	14, 15
	SCSC＋室内試験	電動ハンマーを用いてサンプラーを打ち込み、連続的に土試料を採取する手法。	16

表 4.5.5 技術名と資料の関係一覧

資料番号	技術名	引用元
1	打ち込み式水位計	http://www.nilim.go.jp/lab/fag/data/seminar130307/6_2-file.pdf
2	ちかちゃん	http://asgl.or.jp/
3	地下水探査杖	https://www.kiso.co.jp/themes/kisojiban/services/catalog/survey/GW_mm.pdf
4	1m深地温探査	http://www.tokyosoil.co.jp/pdf/techreport/g-09.pdf
5	1m深地温の逆解析によるため池堤体漏水の幅・深度推定法	http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/jituyo2017/all/pdf/03-01-02-10.pdf
6	地中流水音測定装置	http://www.mizumichi.jp/img/data/data06.pdf
7	地下水音測定による堤体盛土での探査事例	https://www.web-gis.jp/e-Forum/2016/PDF/2016-078.pdf
8	地下水検層器（比抵抗）	http://www.sakatadenki.co.jp/catalog/pdf/No113_YZ72-ME48.pdf
9	地下水検層（温度）	http://www.geo5.co.jp/wp2/wp-content/uploads/2018/10/HPTL-1000_catalog.pdf
10	ため池堤体の崩壊原因となった湧水の地質地下水調査事例	http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10568834_po_ART0009638912.pdf?contentNo=1&alternativeNo=
11	フローレッシェン	http://www.technointer.com/GroundwaterEquipments/equipments/ProductsDetail/TracerDyes/DyeTablets.html
12	全自動動的コーン貫入試験機	https://www.ybm.jp/product/crs-12-2
13	ハイパー土壌すくい	https://www.ybm.jp/product/hyper_dojousukui
14	全自動SWS	https://www.ybm.jp/product/sst-100se-25-2
15	SSTサンプラー土壌すくい	https://www.ybm.jp/product/sst-sampler
16	スクスク	https://www.jiban.co.jp/docs/pamphlet/pamph_scsc.pdf
17	PDC	https://www.pdc-cons.jp/pdf/pamphlet_120914.pdf
18	Piezo Drive Cone の河川堤防耐震性能照査への適用事例	https://www.web-gis.jp/e-Forum/2010/059.pdf
19	SDS	http://www.geokarte.com/tebiki/005/04.pdf
20	CPT技術協会	https://docs.wixstatic.com/ugd/9e3f2e_54d5485024e0442fa46c0cc0e2bab890.pdf
21	DMT	http://www.marchetti-dmt.it/
22	フラットダイラトメーター試験による土質分類とその信頼性	https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/1994/505/1994_505_239/_pdf/-char/ja
23	土検棒	https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2014/11/C150529_soil_layer_intensity.pdf
24	堤防基礎地盤の高密度サウンディング	http://www.nilim.go.jp/lab/fag/data/seminar140227/5-file.pdf
25	キャスボル	https://www.kkr.mlit.go.jp/kingi/database/16/caspol_guide.pdf
26	FWD-Lightカタログ	https://tml.jp/documents/special_ins/FWD-Light.pdf
27	盛土法面の締固め品質の向上と施工・維持管理技術の効率化に関する研究	http://www.kyugikyo.com/pdf/h25/01.pdf
28	盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験法～ため池堤体への適用～	http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/PDFs/12/12008-47.pdf
29	現場一面せん断試験	www.marui-group.co.jp/products/items2_4/item2_4_6/images/ct_2_4_6.pdf
30	RIコーン	http://www.soilandrock.co.jp/new/wp-content/themes/sre-official/pdf/ricone.pdf
31	RIコーン貫入試験による堤体の土層構造調査の一例	https://www.nn-techinfo.jp/NNTD/files/1197/1197_1104.pdf
32	電磁式現場密度試験	https://ict.nishio-rent.co.jp/wp-sys/wp-content/uploads/2016/10/sdg200.pdf
33	コアクターによる土の密度試験方法	http://kansaikiki-s.co.jp/product/jgs1613/
34	地下レーダー	http://public-report.kasen.or.jp/171112001.pdf
35	傾斜センサー付打ち込み式水位計shouji	http://me-unit.net/wp-content/uploads/2017/05/k07-26shouji.pdf

(3) 今後必要な地盤工学的取組

平成30年7月豪雨などの災害で見られた、越流に伴う堤体の侵食、降雨や貯留水、基礎地盤からの地下水の浸透に伴う堤体のすべりや崩壊のメカニズムを解明するとともに、その危険度を評価するための調査・点検手法を整備・開発していく必要がある。

表4.5.6に様々な段階における調査の目的と評価・診断の内容及び必要なアウトプット等を整理した結果を示す。大量に存在するため池の安全性や老朽度を効率的に評価するためには、安価で簡易的な調査によって堤体の安全性を相対的に評価した上で、詳細な調査・検討を行う優先度を定める必要があり、

そこには堤体の規模などから破堤時の影響を考慮して行うことが望ましい。

ため池の安全性の詳細な評価は安定解析によって行われることが多く、この段階における調査は適切な安定解析モデルを構築することを目的に実施される。ただし表4.5.6に記したように、多くの調査手法は点における調査であり、ため池のモデル化においてはこの点の情報から推定をおこなっている。これを補完する手法として面的な非破壊調査である物理探査があるが、ため池などの小規模の土構造物に対する精度は未だに低く、今後の技術開発が望まれる分野である。また個数が多くて規模の小さいため池において効率的に調査するためには簡易的な手法を組み合わせるなどの工夫が必要になる。

豪雨時の降雨浸透に伴う堤体安全性の評価においては堤体の飽和度と強度変化の特性を調べる必要がある。表4.5.6には現在の代表的な調査・試験方法を示しているが、これらは今後、浸透流解析や安定解析などの評価手法とともに適切な調査手法を研究開発していく必要がある。

豪雨や地震などの災害が発生した際には、ため池の被災状況を早期に把握し、被災している場合にはその進行を監視し、適切な復旧を行う必要がある。表4.5.6には現在行われている調査手法を示したが、危険性がともなう発災時におけるため池の被災状況の把握は点検員の目視で行われているため、点検員の安全性の確保や、数が多いため池の状態把握には時間がかかることが問題である。ため池の被災状況を安全かつ早急に把握することは、避難指示によって人的被害を防止するために最も重要な事項である。UAVを用いた迅速な点検方法や、GISなどを用いた効率的な被災状況の管理手法の開発が必要である。

表4.5.6 様々な段階における調査手法の整理結果

調査の目的	評価・診断の内容	対象ため池の規模	必要なアウトプット	適用される調査方法	堤体・土質情報を把握する手法	備考・課題
詳細な調査検討の実施優先度決定	堤体の危険度を簡易に分類する	小	堤体の緩み状況（老朽度）	サウンディング	貫入抵抗値を他の池と比較して相対的に緩みの有無を推定する	相対的な危険性を評価して、危険度の高いため池は詳細な調査と定量的評価を行う
			土質の種類	簡易的なサンプリング	乱した土質試料を採取して直接土質を確認する	
安全性の詳細な評価（地震時・豪雨時）	すべり解析などで安定性を定量的に評価する	小～大	堤体の土質種類と地層構成の推定（安定解析のモデル化）	ボーリング	深度方向に連続的に土質試料を採取して直接土質を確認する。地層構成は複数のボーリング結果から推定する	小規模ため池では部分的にサウンディングで代用する
			堤体の緩み状況（老朽度）	サウンディング（標準貫入試験）	貫入抵抗値を他の池と比較して相対的に緩みの有無を推定する	小規模ため池ではスウェーデン式サウンディング等のボーリングに付随しない手法で代替する
			堤体の力学的特性（安定解析のモデル化）	サンプリング室内土質試験	乱れの少ない土質試料を採取して室内試験で直接力学特性を測定する	小規模ため池では原位置試験で代用することもある
			地下水面の位置（安定解析のモデル化）	ボーリング地下水観測井	堤体上の複数の地下水観測井における水位（あるいはボーリング時の確認水位）をつなぎ、地下水面形状を推定する。	小規模ため池ではサウンディングに付随した手法で代替することもある
		中～大	堤体の軸方向の均一性（安定評価断面位置の選定）	物理探査	弾性波速度や電気比抵抗を計測し、堤体内の分布を解析的に求め、その分布状況から堤体土質の変化や地下水面形状などを推定する	堤体などの小規模土構造物に対する精度は高くない
		中～大	地下水面の位置と形状・分布（安定評価断面位置の選定）	物理探査		
		中～大	豪雨による飽和化に伴う強度変化（降雨浸透による安定性評価モデルの作成）	原位置での飽和度の計測	土壌の誘電率を計測し含水率との関係から飽和度を算出する	水分特性曲線と不飽和強度を求めることで浸透流解析と安定解析との連携が可能になる
		中～大		原位置でのサクシオン計測	負圧を直接計測する	
		中～大		保水性試験（室内試験）	水分特性曲線を直接求める	
		中～大		不飽和三軸試験	不飽和状態の土の強度を直接求める	
発災直後の安全確認	大規模な損傷の有無を確認する	小～大	亀裂や漏水の有無	外観観察・スケッチ	目視によって観測して記録する	ため池数が多い場合には多数の点検員が必要で時間がかかる
		中～大	堤体の緩みの有無	サウンディング	貫入抵抗値の絶対値と深度分布から緩みの有無と位置を推定する	緩みの定量的評価方法が無い
被災時の監視	損傷の進行の有無	中～大	亀裂の拡大の有無と速度	簡易変位板による観測	堤体部の亀裂幅の直接計測	
			漏水量の増大の有無と速度	三角堰による漏水量観測・漏水色調観察	漏水量の直接計測	
被災後の復旧工事範囲の確認	亀裂の到達深さを把握して繰り返し範囲を決定	中～大	亀裂の到達深さ	石灰投入・テストビット掘削	亀裂深さの直接計測	

参考文献・参考資料

- 1) 土木学会 地震工学委員会：2016年熊本地震被害調査報告書，pp.244-261, 2017.
- 2) 堀俊和，毛利栄征，大北耕三，浜野邦彦，高森征和，近藤巧：盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験法 ～ため池堤体への適用～，平成24年農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp,798-799, 2012.
- 3) 赤坂幸洋，中村博，海堀正和，柳浦良行，千葉久志，久賀真一，野村英雄：接地抵抗を利用した地下水位簡易測定法のため池調査への適用事例，地盤工学研究発表会発表講演集(CD-ROM) ，Vol.51, 2016.
- 4) 斉藤章彦，山中稔，長谷川修一，野田茂：物理探査手法を用いたため池堰堤の物性評価，構造工学論文集，Vol.54A, pp266-272, 2008.

提言 4.6 老朽度の進んだ堤体や基礎地盤に弱部を内在するため池の改修・耐災補強技術の確立

(長期的, 社会全体・専門家)

堤体の内部構造が改修の履歴を強く反映しており、弱部が内在する可能性のある堤体を可能な限りサウンディングするとともに、豪雨に対する安全性が確保できるように耐久性を向上する必要がある。その際には、最新の地盤工学技術を活用する必要がある。特に、堤体の規模や重要度、維持管理を考慮した上で、「再度災害を防止する」ための簡便で確度が高い対策技術の開発を進めることが必要である。

(解説)

(1) 被害と教訓

ため池堤体の豪雨対策としては、老朽化の進んだ堤体部分を新築によって更新し、土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾に沿った安全性を確保する。ため池整備指針に示される設計施工方法は、常時の安定性確保や耐震対策として一定の効果を上げている。しかしながら、豪雨や洪水などの想定している自然災害の規模を超える事象が発生する場合には、地域内のため池群が直接的、あるいは派生的に崩壊する場合も現実のこととなってきている。このような連鎖的な激甚災害が頻発することを背景として、地域全体の安全性確保や減災の実現に貢献する視点での、ため池の安全性向上が重大な課題となっている。

写真 4.6.1 は池周辺道路からの流水が堤体の下流斜面に流入し、斜面を侵食した事例である。決壊は免れているが、天端から下流斜面が大きく流失しており、残った堤体の安定性は極めて低下していることは一目瞭然である。この状況は、貯水位の状況や地下水の位置とともに、堤体土質の力学的な特性によって、損傷の連鎖が中断して、決壊を免れたと理解できる。さらに、堤体内の地下水位の上昇による間隙水圧の変化がすべりを誘発することや豪雨の浸透が堤体の弱化を助長しすべり破壊に至る現象も容易に推測することができる。このような、複合要因による破壊に対して、適切な対策を明確に提示することが重要である。



写真 4.6.1 池周辺道路からの出水による堤体の侵食

(2) 現象解明と対策

ため池堤体の決壊は、「すべり」「越流」「浸透」などの被災要因による損傷が複合的に連鎖することによって進行的に拡大する場合がある。堤体の形状や土質的な要因によって、その連鎖が減退し辛うじて破堤を免れる場合や部分的な損傷から一気に全面的な崩壊に至る場合など多様な被災モードがある。

写真 4.6.2 は 2004 年の台風に伴う豪雨によって発生した洪水が流入したため池の被災状況である。堤体の天端上を数



写真 4.6.2 越流による堤体の侵食

十 cm の越流水深で洪水が流下したことによって中央部の堤体は完全に流失しているが、部分補修によって十分な締め固めが実施されていた右岸の堤体は決壊を免れている。詳細に見ると辛うじて堤体形状を残した部分では、天端のアスファルトから鉛直な侵食崖ができており、天端舗装が十分機能しない場合には、さらに重大な損傷に至ったことが推察される。さらに、堤体の締め固め度が高かった補修部分は、侵食に対してもある程度の抵抗性を示し、堤体形状を維持できている。このことは、堤体土質の適切な選択と締め固め度を高めることによって侵食抵抗性が向上し、現実のため池でもその効果が十分発揮され、減災に寄与できることを示唆している。

豪雨の堤体浸透によって斜面の弱化領域が拡大する場合は、下流斜面のすべり崩壊に進展することがある。このような形態の破壊を抑制するためには、堤体土の豪雨による弱化防止が基本であるが、補強土工法を適用することも極めて効果が高い対策である。補強土工法が適用されている鉄道や道路盛土などの社会インフラの膨大な実績や長年の経過状況から考えて、ため池堤体の安全性向上対策に大きな効果が期待できる。ため池整備指針¹⁾では主要な耐震対策工として表 4.6.1 のような事例を提示しており、部分的な補強から全面改修まで多様なため池に適用可能である。このような補強土工法は堤体の構造的な安定性を直接的・飛躍的に向上し、すべり破壊に対する安全性を確保できることから豪雨による堤体土の弱化予防とすべり対策に有効である。また、高分子ネットやシートなどの補強材の設置によって斜面表面層の排水促進による弱化領域の拡大防止や侵食抵抗性の向上などの効果も期待できる。ただし、人工材料を堤体内に積層することは、素材の劣化や耐用年数、維持管理などの面での検討が残されており、ため池堤体の規模や経済性を考慮した最適な補強方法を明らかにする必要がある。

上記は大規模な補強対策であるが、日常的に、老朽ため池に関して、多く報告されるトラブルは漏水である。豪雨の際には、漏水箇所が弱点となる可能性も高い。したがって、比較的小規模なグラウトによる補修や堤体法先部のドレーンの施設の設置、堤体の部分改修などのポイントを絞った技術が、緊急対策としての減災対応から恒久的な防災の足掛かりとなり、その効果も期待できる。

表 4.6.1 ため池における主要な対策工

(参考文献 1) の参表-10.1 ため池における主要な耐震対策工を転載)

工 法 名	略 図 (例)	概 要	特 性	備 考
押さえ盛土		盛土の安定を図るために、法面先端の外側に置く低い盛土。	すべり破壊に対する対策工として、用地の制約を受けない場合には最も安価で確実性が高い工法である。	ため池における最も一般的な耐震対策工。
地盤改良		盛土・地盤の強度・安定性を高めるために、地盤に人工的な改良を加える工法。	改良工法には、置換（掘削再盛土）工法、混合処理工法、注入固化工法などがある。押さえ盛土と比較すると高価であり、用地の制約を受けるなど、押さえ盛土が適用できない場合に検討される。	
盛土補強土		盛土・地盤の強度・安定性を高めるために、土以外の補強材を土中に設置する工法。	補強材としては、帯鋼、鉄筋、ジオテキスタイルなどがある。押さえ盛土と比較すると高価であり、用地の制約を受けるなど、押さえ盛土が適用できない場合に検討される。なお、補強材に沿った水みちが発生しないよう注意する必要がある。	
ドレーン		堤体からの浸透水を、安全に堤外へ排水するための施設。	ドレーンには、下流法先ドレーン、水平ドレーン、立上りドレーンなどがある。浸透破壊に対する対策工として、一般的な工法である。	3.3.4 (8) ドレーン参照
全面改修		旧堤を掘削・除去した後、新たに盛り立てる工法。	現行基準に合致した仕様に改修できるとともに、対策工を組合せて適用できるため自由度が高く、確実性も高い。しかし、大規模な改修となり、工費も高い。	

(3) これまでの調査や研究・委員会活動等

ため池整備のガイドラインであるため池整備指針には、豪雨時のため池の安全性評価に関する記述はなく、堤体のすべり破壊や浸透破壊に関する照査手法は提示されていない。また、上流からの洪水流入に対しては、洪水吐施設と下流水路によって適切に排除できることを前提としているので、越流に対する照査や対策については全く触れられて

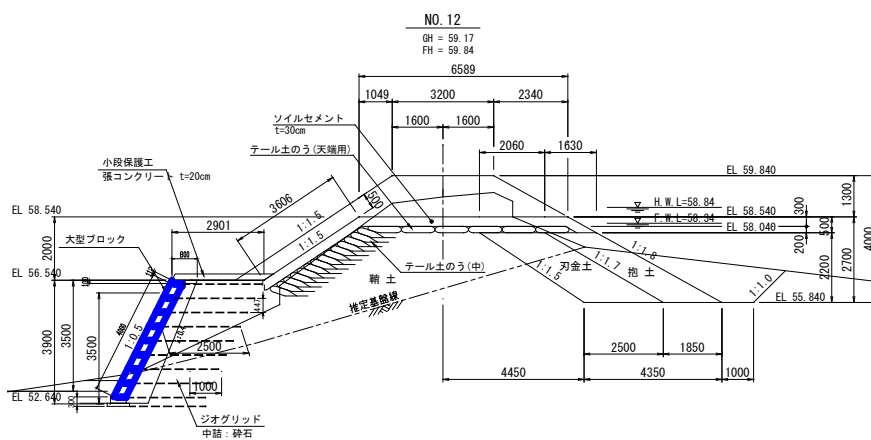


図 4.6.1 補強土工法を適用したため池堤体（耐震対策）石川県平田池（参考文献 2）から引用

いない。しかしながら、豪雨によるため池の損傷や決壊は、毎年 300 箇所以上発生しており、これまで農業土木関係の研究者や技術者による発災メカニズムの解明や対策技術、モニタリング技術開発などの取り組みが継続して実施されてきた。特に、ため池堤体の豪雨による崩壊機構とその安全性予測については、実験的な検証や有限要素法による研究が進んでいる。降雨や浸透実験による堤体の崩壊については、降雨浸透の領域が斜面内部へと進展し、弱化領域の拡大によって、極限状態ですべり破壊が突発的に発生することが示されている²⁾。さらに、飽和・不飽和の土の力学的な特性を導入した有限要素法解析によって、豪雨による堤体斜面崩壊のメカニズムの解明³⁾も進んでいる。

補強土工法を適用したため池として、石川県の平田池の事例⁴⁵⁾がある。図4.6.1に示すように2段の堤体構造を有しており、下段部分は表層部にブロックを配置しジオグリッドと碎石を積層して堤体の法先部の強度増加と配水性改善を両立している。上段部分はテールがついた特殊な大型土嚢を傾斜積層する越流許容型の堤体構造を採用している。土嚢材の紫外線劣化を防止するためにソイルセメントによる被覆を実施している。このような補強土工法の適用によって、堤体のすべりに対する安全性が向上するとともに、浸潤面の低下、耐越流性能の向上を実現している。

(4) 今後必要な地盤工学的取組

現時点で必要と考えられる技術的課題としては、堤体の多様な被災形態に適用可能な対策技術の開発と実証である。上述の提言で詳述されているように「越流による破壊」「すべりによる破壊」「浸透による破壊」に対する堤体の高耐久化技術を全面改修的な大規模なものだけでなく、堤体の一部分を迅速、簡便に修築する技術など、堤体が崩壊に至る連鎖的な現象を断ち切るための技術開発が必要である。具体的には、以下のような取り組みを推進する必要がある。

- 1) 堤体補強によるすべり破壊に対する安全性向上技術の開発
- 2) 地盤改良や排水施設による浸透破壊に対する安全性向上技術の開発
- 3) 表層保護などによる越流破壊に対する安全性向上技術の開発
- 4) 浸透破壊抑制や排水施設による付帯施設関連の安全性向上技術の開発

このような技術をため池の減災対策として事前に適用することによって、災害が連鎖するリスクを減じ、地域の安全性を大きく高めることが可能である。実際の地域減災のために、これらの技術が適用されるには、それぞれの技術が簡便に実施でき、有効性・信頼性が十分に高いことが必要不可欠である。

ため池堤体の豪雨に対する補強対策については、補強土工法や地盤改良などの地盤工学分野での最新の技術をため池の規模や基礎地盤状態などに応じて適切に適用する必要がある。これまでの、研究成果は模型実験や数値解析が主であり、実際のため池に適用できている技術は必ずしも多くはなく、いくつかの実施事例でもその経年的な状態の把握が十分ではない。このような、新技術の導入については、単純な実績主義と直工費だけで工法選定する従前の方針を改め、長期に亘る高い安全性が多様な方法で明らかになっている経済的な技術を社会に導入する行政的な転換とともに、これに応える研究・技術分野でのモニタリングや実証評価などの両面の取り組みが重要である。その上で地域の減災を進めるためには、簡便で経済的に優れた対策技術の開発を前提として、その利用方法の実証的な検証を継続的に実施する必要がある。このためには、災害復旧や補修段階から、ため池所有者や管理者である自治体、住民との連携が不可欠であろう。

現行のため池堤体の高耐久化技術に関する課題としては、以下の事項が指摘される。

- ① 現行の設計指針は全面改修を前提としており、部分改修による高耐久化については記述されていない。膨大なため池の改修に長年月を要し、その間に多くのため池が被災している現実に鑑み、適切な最低限の改修によって大規模崩壊を軽減する必要がある。その具体的な災害を予防するための整備指針を明示し、地盤工学に基づく、簡便で経済的に優れた先進的対策技術の導入方法とその有効性を検証することが重要である。
- ② 貯水構造物を対象とした簡便な補強方法の開発が必要である。
- ③ 貯水状態、あるいは中間貯水状態での迅速補強方法の開発が必要である。

- ④ 複合的な破壊（越流，すべり，浸透破壊）に対応できる補強技術の開発が必要である。
- ⑤ 豪雨と地震に対する安全性を同時に向上できる補強技術の開発が必要である。

上記のような課題を解決するために，以下のような地盤工学的な対応が考えられる。

- ① 堤体の補強：締固め度の向上，地盤改良，補強土工法などの利用に関する設計施工技術の確立
- ② 浸潤面の低下：堤体土の改良と締固め度の向上，下流法先部の排水施設の設置や斜面表層部の浸透抑制技術に関する設計施工技術の確立
- ③ 越流による侵食対策：堤体や法面の土質改良と締固め度の向上，補強土工法などの侵食対策に関する設計施工技術の確立と越流を許容できる堤体構造の開発
- ④ 付帯施設周辺のパイピング：底樋，洪水吐などの付帯施設周辺地盤の改良，グラウチング，法先部でのパイピング抑制技術の適用と設計施工技術の確立

参考文献・参考資料

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修 (2015)：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業農村工学会。
- 2) Toshikazu Hori, Yoshiyuki Mohri, Yuji Kohgo, Kenichi Matsushima : Model test and consolidation analysis of failure of a loose sandy embankment dam during seepage, *Soils and Foundations*, Vol.51, No.1, p53-66, 2011/02.
- 3) Anusron Chueasamat, Toshikazu Hori, Hirotaka Saito, Tomotaka Sato, Yuji Kohgo : Experimental tests of slope failure due to rainfalls using 1g physical slope models, , *Soils and Foundations*, Volume 58, Issue 2, April, pp. 290-305,2018.
- 4) 毛利栄征, 松島健一, 堀 俊和, 有吉 充, 山崎真司：越流許容型ため池堤体の施工，地盤工学研究発表会，44th, p1017-1018, 2009/08.
- 5) Y. Mohri, K. Matsushima, S. Yamazaki, T.N. Lohani, F. Tatsuoka, T. Tanaka : New direction for earth reinforcement-disaster prevention for earthfill dams-, *Geosynthetics International*, Vol.16, No. 4, p246-273, 2009/09.

提言 4.7 複合災害によるため池の被災を軽減し地域の安全を実現するための避難における地盤工学的課題

(長期的, 社会全体・専門家)

個別の施設災害が連鎖して流域の広範な地域が甚大な被害を受けるという連鎖的な複合災害を前提に地域の減災を推進する必要がある。人的な被災を回避するためには、適切な避難行動とその行動を支援するための施設整備の連携・強化は不可欠で、流域全体での避難のあり方や地域全体の災害を最小化するための地域整備と必要な技術開発を進めることが重要である。その際には、最新の地盤工学技術を活用し、特に、避難開始の判断やそのための情報入手と伝達方法も含めた技術とシステム開発を総合的に進める必要がある。

(解説)

(1) 被害と教訓

平成 30 年 7 月豪雨では、岡山県・広島県・愛媛県を中心に多数の土砂災害や河川氾濫が発生し、人的被害は 1 府 13 県で、死者 224 名、行方不明者 8 名に及び甚大な被害¹⁾に至った。ため池も 2 府 4 県で 32 箇所のでけが決壊しており、人的な犠牲者も出た。特に決壊した 32 箇所のため池のうち 29 箇所が防災重点ため池に指定されていなかった。防災重点ため池に指定されていない小規模なため池の決壊によって人的被害が発生したことから、農林水産省は新たな防災重点ため池の選定の考え方やため池対策の進め方²⁾を取りまとめ、全国の自治体で検討が開始されている。すなわち、広域的な自然災害が発生した時のため池群やその関連する河川や斜面などの多様な施設の豪雨時の実況収集とその伝達が不十分であることや、ため池の管理が適切でないため池が多数存在するなどの課題が明らかとなった。このため、防災重点ため池の見直しとともに、緊急時の迅速な避難行動につなげる対策や施設機能の適切な維持、補強対策などの推進が必要としている。

(2) これまでの考え方や委員会活動等

豪雨による災害を防止するためには、施設の強化や避難などのソフト対策があり、ハードとソフト両面での自助、共助、公助を組み合わせることによって効果を上げることが重要であることが指摘³⁾されている。膨大な数のため池を考えるとそのハード対策には費用と時間がかかり、ハード対策による減災効果にも限界がある。地域全体の豪雨災害を最も効果的に減らすためには、ソフト対策の導入は不可欠な要素である。このような指摘は、平成 16 年の豪雨災害を踏まえた「集中豪雨時等における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会」によって、「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン(平成 17 年 3 月)」³⁾として取りまとめられている。このガイドラインでは、市町村による避難勧告等の発令基準の策定のあり方をハザード別に示しているが、短時間の大雨に対する認識は不十分であった。さらに、住民避難に対する、自助、共助、公助の適切な役割分担の提言が不十分であった。その後、平成 26 年には全面改定を行い、各市町村が避難勧告等の発令基準や伝達方法を検討するに当たり考えておくべき事項を示した「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン(平成 26 年 9 月)」⁴⁾を公表している。

交通政策審議会気象分科会の提言⁵⁾では、平成 26 年 8 月 20 日に広島市で土砂災害が発生した際に発表

した一連の防災気象情報について以下の4つの課題を挙げている。

このことを受けて、この提言では防災気象情報の改善に向けた2つの基本的方向性を以下の様に示し、5つの対応策の実施を求めている。

- 1) 社会に大きな影響を与える現象について、可能性が高くなくとも発生のおそれを積極的に伝える。
- 2) 危険度やその切迫度を認識しやすくなるよう、分かりやすく情報を提供する。

課題：

- ① 夜間の避難を回避するため、確度が高くなくとも警報級の現象になる可能性があることなど、早い段階から一段高い呼びかけの実施ができないか。
- ② 実況情報をより迅速に発表していくことができないか。
- ③ 避難勧告等の対象範囲の判断を支援するため、メッシュ情報の充実や利活用の促進が必要ではないか。
- ④ 今後予想される雨量等の推移や危険度を、より分かりやすく、より確実に提供できないか。

対応策：

- ① 翌朝までの「警報級の現象になる可能性」の提供
- ② 実況情報の提供の迅速化
- ③ 危険度分布を示すメッシュ情報の充実、利活用促進
(メッシュ情報と土砂災害危険箇所・土砂災害警戒区域等を重ね合わせなど)
- ④ 雨量等や危険度の推移を時系列で、危険度を色分けして分かりやすく提供
- ⑤ 数日先までの「警報級の現象になる可能性」の提供

このように、時間的にも空間的にも実況情報の公表精度は向上しているものの、2014年8月の広島土砂災害、2017年7月九州北部豪雨、2018年7月豪雨などでは、降雨の予測に基づく警報、避難勧告を発信しているにもかかわらず、人的な被害が相次いでいる。行政は早い段階で大雨の発生を伝えており、避難行動をとった住民も一定数いたものの、多くの住民は逃げなかった。すなわち、提言で示している水平避難や鉛直避難などの多様な避難行動の中から住民自らがおかれている状況を理解し、直ちに具体的な行動に移すことができなかつたことが推測できる。

中央防災会議防災対策実行会議「平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ」¹⁾では、避難対策への提言を以下の様に取りまとめている。

1) 避難に対する基本姿勢

- ・住民が適切に災害を理解し、防災対策や避難行動がとれるよう、住民と行政が一体となって取り組むために、災害リスクの普及啓発、避難訓練・防災教育、地域防災リーダーの育成、全国で専門家による支援体制の整備、各種災害のリスク情報の集約・重ね合わせ表示と提供などの展開が明記された。

2) 「自らの命は自らが守る」意識の徹底や災害リスクと住民のとるべき避難行動の理解促進

- ・住民が自らの判断で避難行動をとり、行政はそれを全力で支援するという住民主体の防災意識の構築

3) 地域における防災力の強化

- ・行政情報から避難を判断する防災リーダーの育成のため、土砂災害などの専門家による支援体制構築

4) 高齢者等の要配慮者の避難の実効性の確保

- ・地域の防災力（共助）による高齢者等の要配慮者への避難支援強化
- 5) 防災気象情報等の情報と地方公共団体が発令する避難勧告等の避難情報の連携
 - ・ハザードマップのような静的な情報とリアルタイムな情報の組み合わせと避難行動への展開
 - ・小河川やダム下流，ため池下流への防災情報の発信
- 6) 防災情報の確実な伝達
 - ・防災行政無線の戸別受信機など，個々人が確実に避難情報等を受け取ることができる伝達手段の整備
 - ・高齢者等の要配慮者などの情報弱者への確実な情報伝達

(3) 今後必要な地盤工学的取組

平成 30 年 7 月豪雨で決壊し下流に被害を及ぼしたため池で，避難勧告等が発令されたものではなく¹⁾，ため池の決壊に備えた迅速な情報収集や避難情報の連絡体制の構築が十分ではなかった。また，洪水や土砂災害，ため池の決壊等により多様な災害が同時に，あるいは連鎖して発生した。災害種別ごとに行政区域や流域に分かれてハザードマップが公表されている中で，様々な災害が同時に又は連鎖して発生する危険性も意識し，住民主体の避難行動がとれるように災害のリスクについて平時から理解を促すとともに，災害時にも容易に確認できることが重要である。このため，複数の災害リスクを一元的に把握できるよう，各種災害のリスク情報等を重ね合わせてわかりやすく表示できるシステムを構築する必要がある。避難を適切に実行し，減災を実現するためには，地盤工学に関わる技術・研究者の関りは今後，ますます重要度が高まり，具体的には以下のような取り組みと技術・研究開発が必要である。

- ① ため池の豪雨による定量的な決壊予測の高度化
- ② 避難行動を開始する判断ができる現場技術者の養成
- ③ ため池の実況を把握する遠隔情報入手技術
- ④ ため池周辺（上流斜面，河川など）の実況や避難情報を伝達する技術
- ⑤ ため池周辺施設のリスクの評価と連鎖被害の可能性予測技術
- ⑥ 避難時間を確保するためのため池堤体の補強技術（簡易な補強など）
- ⑦ 避難路の確保や減災を実現するための周辺道路，農地・水路配置などの施設計画（減災施設としての役割）

参考文献・参考資料

- 1) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について，平成 30 年 12 月，http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigai_dosyaworking/index.html（2019_04_27 閲覧）
- 2) 農林水産省：平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方【概要】～ため池対策の課題～，http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigai_dosyaworking/pdf/dai2kai/siryoy1-3.pdf（2019_04_27 閲覧）
- 3) 内閣府：避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン（平成 17 年 3 月策定），http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/050301_guideline.pdf（2019_04_27 閲覧）
- 4) 内閣府：避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」（平成 26 年 9 月），http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/guideline_2014.html（2019_04_27 閲覧）
- 5) 気象庁：提言で示された防災気象情報のあり方，<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/teigen.html>（2019_04_27 閲覧）

3. 参考となる資料

2009年以降の豪雨災害に対する斜面、河川堤防、ため池の被災事例についての詳細な情報は、産学官民それぞれの機関がHP等に公表している。今回の提言で取り上げた全ての情報が網羅されているわけではないが、下記に、斜面、河川堤防、ため池ごとに情報を挙げたので参考にして頂きたい。

3.1 斜面の被害

(1) 平成30年7月豪雨

- 1) 内閣府：平成30年7月豪雨による被害状況等について（平成31年1月9日17:00時点）、
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
- 2) 土木学会中国支部：2018年7月西日本豪雨災害調査報告書，2018年12月，
http://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/H30%20disater%20report_12.5_0.pdf
- 3) 山本晴彦（研究代表者）：平成30年7月豪雨による災害の総合研究報告書，平成30年度科学研究費補助金特別研究促進費（課題番号：18K19951），2019年3月20日。
- 4) 国土交通省中国地方整備局：平成30年7月豪雨～中国地方整備局 災害対応の記録～，2019年1月25日。
- 5) 土木学会地盤工学委員会：土木学会平成30年度重点研究課題（研究助成金）中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書，2019年3月。

(2) 平成29年九州北部豪雨

- 1) 秋山壽一郎（研究代表者）：平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書，平成29年度科学研究費補助金特別研究促進費（課題番号：17K20140），2018年3月26日。
- 2) 土木学会地盤工学委員会：土木学会平成30年度重点研究課題（研究助成金）中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書，2019年3月。

(3) 平成29年秋田豪雨

- 1) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会（鈴木素之，野田 龍，田口岳志）：平成29年7月秋田豪雨災害調査報告，<http://jsce.or.jp/committee/jiban/slope/hokokusho/H290802akitagousaigai.pdf>

(4) 平成26年広島土砂災害

- 1) 土木学会・地盤工学会（鈴木素之）：平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団・調査報告書，3.3.5 阿武の里団地，pp.109-139，4.2 2009年山口防府土石流災害との比較，pp.274-287，2014年10月。

(5) 平成25年山口・島根豪雨

- 1) 土木学会地盤工学委員会・地盤工学会中国支部：平成 25 年 7 月山口・島根豪雨災害現地調査結果報告書，土木学会・地盤工学会，2013 年 9 月。
- (6) 平成 24 年九州北部豪雨
- 1) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会：熊本県阿蘇周辺の土砂災害調査，平成 24 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書，地盤工学会，pp.340-367，2013 年 5 月。
- (7) 平成 23 年台風 12 号災害（紀伊半島水害）
- 1) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会現地調査団：平成 23 年台風 12 号土砂災害第 2 回調査報告書，http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/h23taifoon12_2.pdf
 - 2) 土木学会平成 23 年台風 12 号土砂災害現地調査団：土木学会平成 23 年台風 12 号土砂災害調査報告書，<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/h23taifoon12.pdf>
- (8) 平成 22 年 7 月中国地方豪雨
- 1) 土木学会中国支部（鈴木素之ほか）：平成 22 年 7 月中国地方豪雨災害調査報告書，3. 山口県の災害，3.1 土砂災害，pp.31-47，2010 年 11 月。
- (9) 平成 21 年中国・九州北部豪雨
- 1) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会：2009 年 7 月山口豪雨災害調査報告書（速報版），<http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/2009yamaguchi.pdf>
- (10) その他
- 1) 土木学会地盤工学委員会：土木学会平成 30 年度重点研究課題（研究助成金）脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究，2015 年 3 月，http://www.jsce.or.jp/committee/jiban/slope/hokokusho/150331kazan_hokokusho.pdf

3.2 河川堤防の被害

- (1) 土木学会地盤工学委員会・堤防研究小委員会および河川部会の河川技術シンポジウムの検討・議論の資料
 - 1) 土木学会地盤工学委員会堤防研究小委員会：<http://committees.jsce.or.jp/jiban02/>，（参照 2019-05-24）。
 - 2) 堤防研究連携 WG: 堤防研究連携 WG 活動報告書，<http://committees.jsce.or.jp/jiban02/node/25>（参照 2019-05-24）。
 - 3) 土木学会水工学委員会河川部会：過去のシンポジウム報告書，河川技術に関するシンポジウム，<http://committees.jsce.or.jp/hydraulic01>，（参照 2019-05-24）。
 - 4) 河川部会堤防ワーキンググループ，堤防小委員会侵食・浸透破壊・洗掘ワーキンググループ：河川堤防の効率的補強に関する技術的課題とその取り組みの方向性，河川技術論文集，土木学会，pp.367-372，

2015.

(2) 平成 24 年 7 月九州北部豪雨

- 1) 国土交通省九州地方整備局・矢部川堤防調査委員会: 矢部川堤防調査委員会報告書(平成 25 年 3 月),
http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/site_files/file/torikumi/01-plan_course/tyosa/saisyu/houkokusyo.pdf
(参照 2019-05-24) .
- 2) 地盤工学会平成 24 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査団: 平成 24 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書.

(3) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨

- 1) 土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ: 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨 関東地方災害調査報告書.
- 2) 国土交通省関東地方整備局・鬼怒川堤防調査委員会: 鬼怒川堤防調査委員会報告書(平成 28 年 3 月),
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000643703.pdf (参照 2019-05-24) .
- 3) 国土技術研究センター: 台風 17 号及び 18 号による鬼怒川被害現地調査報告(第 2 報),
<http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/disaster/07/20152kinugawa.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 4) 研究代表者・田中茂信: 科研特別研究促進費 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による災害の総合研究,
<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-15H06923/> (参照 2019-05-24) .
- 5) 茨城大学平成 27 年関東・東北豪雨調査団: 茨城大学平成 27 年関東・東北豪雨調査団成果報告,
http://www.ibaraki.ac.jp/common/pdf/generalinfo/completereport_2016_910suigai.pdf (参照 2019-05-24) .

(4) 平成 28 年 8 月北海道豪雨

- 1) 地盤工学会北海道支部調査団(2016 年 8 月北海道豪雨): 2016 年 8 月北海道豪雨調査報告書,
https://www.jiban.or.jp/wp-content/uploads/2017/08/final_report_ver0.12s.pdf (参照 2019-05-24) .
- 2) 土木学会水工学委員会調査団(2016 年 8 月北海道豪雨): 2016 年 8 月北海道豪雨調査報告書,
http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/2016%E5%B9%B4%E6%9C%88%E5%8C%97%E6%B5%B7%E9%81%93%E8%B1AA%E9%9B%A8%E5%9C%9F%E6%9C%A8%E5%AD%A6%E4%BC%9A%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E5%9B%A3%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_20170501.pdf (参照 2019-05-24) .
- 3) 国土交通省北海道開発局・常呂川堤防調査委員会: 常呂川堤防調査委員会報告書(平成 29 年 3 月),
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el-att/icrceh00000032zs.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 4) 国土交通省北海道開発局・十勝川堤防調査委員会: 十勝川堤防調査委員会報告書(平成 29 年 4 月),
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el-att/icrceh00000032zs.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 5) 国土交通省北海道開発局・空知川堤防調査委員会: 空知川堤防調査委員会報告書(平成 29 年 4 月),
https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh400000055bq-att/gburoi000000akyw.pdf
(参照 2019-05-24) .

- 6) 国土交通省北海道開発局・釧路川堤防調査検討会: 平成 28 年 8 月の大雨により発生した釧路川の堤防面被災に係る報告書 (案) (平成 28 年 4 月)
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ks/tisui/obpsos00000007dy-att/houkoku00.pdf> (参照 2019-05-24) .
- (5) 平成 29 年 7 月九州北部地盤災害調査団
- 1) 地盤工学会平成 29 年 7 月九州北部地盤災害調査団: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, https://www.jiban.or.jp/?page_id=7758 (参照 2019-05-24) .
 - 2) 研究代表者 秋山壽一郎 (九州工業大学): 科研特別研究促進費 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究, <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K20140/> (参照 2019-05-24) .
 - 3) 地盤工学会九州北部土砂災害調査団: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害調査報告書.
- (6) 平成 30 年 7 月豪雨 西日本豪雨災害
- 1) 国土交通省中国地方整備局・高梁川水系小田川堤防調査委員会: 委員会配布資料及び議事概要, 平成 30 年 7 月豪雨, <http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm> (参照 2019-05-24) .
 - 2) 国土交通省近畿地方整備局: 【河川部】平成 30 年 7 月豪雨に関する情報, 【都道府県】整備効果資料 (河川・砂防), 【企画部】発表資料など, 平成 30 年 7 月豪雨, <https://www.kkr.mlit.go.jp/news/river/disaster/2018/ol9a8v000000yue8.html> (参照 2019-05-24) .
 - 3) 自治体記録, 例えば, 福知山市: 平成 30 年 7 月豪雨 災害の記録, <https://www.city.fukuchiyama.lg.jp/uploaded/attachment/11820.pdf> (参照 2019-05-24) .
 - 4) 2018 年 07 月西日本豪雨災害調査団報告会: 報告会開催案内と資料, <http://committees.jsce.or.jp/report/node/179> (参照 2019-05-24) .
 - 5) 長岡技術科学大学・大塚悟: 平成 30 年 7 月西日本豪雨災害 神通川 (富岡市葛原地先) 災害報告, 土木学会地盤工学会委員会堤防研究小委員会 資料
 - 6) 土木学会中国支部: 2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書, (購入申込ウェブサイト) <http://committees.jsce.or.jp/chugoku/taxonomy/term/8>, (参照 2019-05-24) .
- (7) 国土交通省「水防災意識社会 再構築ビジョン」関連
- 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害を踏まえ, 国土交通大臣から社会資本整備審議会会長に対して「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について」が諮問され, 平成 27 年 12 月 10 日「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築に向けて～」の答申. 答申内容は, 「施設の能力には限界があり, 施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」へと意識を変革し, 社会全体で洪水に備える必要がある, としたものの. この答申を踏まえ, 平成 27 年 12 月 11 日に「水防災意識社会 再構築ビジョン」を策定された.
- 1) 国土交通省水管理・国土保全局: 水防災意識社会再構築ビジョン (H27.11), <http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/vision.pdf> (参照 2019-05-24) .
 - 2) 国土交通省水管理・国土保全局: 「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画 (H29.6) , <http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/koudoukeikaku.pdf> (参照 2019-05-24)

- 3) 国土交通省水管理・国土保全局: 防災・減災, 国土強靱化のための3か年緊急対策 (H30.12), <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/jyuyouinfura/sankanen/siryou1.pdf> (参照 2019-05-24) .
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局: 「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画の改定 (H31.1), http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/koudoukeikaku_190129.pdf (参照 2019-05-24) .

3.3 ため池の被害

- (1) 平成 29 年 7 月 九州北部豪雨災害
 - 1) 平成 29 年 7 月 九州北部豪雨災害 (河川・ため池グループ調査報告): 地盤工学会
https://www.jiban.or.jp/?page_id=4827 (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
 - 2) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書: 地盤工学会 (リンク無)
 - 3) 平成 29 年 7 月 九州北部豪雨での被災ため池に関する調査報告書: 農研機構
https://www.naro.affrc.go.jp/disaster20170705/files/survey_Report1.pdf (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
- (2) 平成 30 年 7 月豪雨による地盤災害調査報告書
 - 1) 平成 30 年 7 月豪雨による被災ため池等に関する現地調査報告: 農研機構
https://www.naro.affrc.go.jp/disaster/nishinohon201807/genchi_chousa_houkoku.html (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
 - 2) 農林水産省 HP: 平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方: 農林水産省農村振興局
http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/attach/pdf/181113_9-1.pdf (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
 - 3) 広島県災害対策本部: 平成 30 年 7 月豪雨災害による被害等について (最終報), H30.8.13 現在
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/323003.pdf>
 - 4) 平成30年7月豪雨による山口県のため池における被害状況調査: 第54回地盤工学研究発表会概要集
 - 5) 下関地方気象台 HP: 「平成 30 年 7 月 5 日から 8 日にかけての山口県大雨について」 (リンク無)
<https://www.jma-net.go.jp/shimonoseki/>
 - 6) 平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について: 内閣府
http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigai_dosyaworking/index.html (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
- (3) 農林水産省農村振興局整備部防災課 農村地域の防災対策と災害復旧関連
 - 1) ため池の安全管理は大丈夫? (H27.6)
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-3.pdf (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
 - 2) 平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方について
http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/181113_9.html (閲覧 2019 年 5 月 24 日)
 - 3) 全国ため池緊急点検の結果について (平成 30 年 8 月末時点)
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/180906.html> (閲覧 2019 年 5 月 24 日)

- 4) ため池の多面的機能 http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-18.pdf
(閲覧 2019 年 5 月 24 日)
- 5) ため池ハザードマップポータルサイト <http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/portal.html> (閲覧
2019 年 5 月 24 日)
- 6) ため池の安全対策事例集 (H25.5)
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-32.pdf (閲覧 2019 年 5 月
24 日)
- 7) ため池の洪水調節機能強化対策の手引き (H30.5)
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-47.pdf (閲覧 2019 年 5 月
24 日)
- 8) ため池群を活用した防災・減災対策の手引き
(H29.9)http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-40.pdf (閲覧 2019
年 5 月 24 日)
- 9) ため池機能診断マニュアル(暫定
版)(H28.10)http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-30.pdf (閲覧
2019 年 5 月 24 日)
- 10) ため池管理マニュアル (H27.10)
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-36.pdf (閲覧 2019 年 5 月
24 日)
- 11) ため池の保全管理体制整備の手引き
(H26.7)http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-28.pdf (閲覧 2019
年 5 月 24 日)
- 12) ため池ハザードマップ作成の手引き
(H25.5)http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/pdf/tameike_manual_1rev.pdf (閲覧
2019 年 5 月 24 日)