

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職
	川尻峻三 (かわじりしゅんぞう)	九州工業大学大学院	准教授
②研究テーマ	名称	北海道東部の堤防における気候変動を考慮した設計降雨の考え方の提案	
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和3年度	令和4年度	合計
	199万円	393万円	592万円
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)		
氏名	所属機関・役職 (※令和5年3月31日現在)		
渡邊 康玄	北見工業大学・副学長		
左近 利秋	ドーコン・地質部次長		
⑤技術研究開発の目的・目標	(様式河提地-2、河提地-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)		
【背景・課題】			
<p>河川堤防は豪雨や融雪期の河川水位上昇時にその性能を発揮し、洪水流を安全に流下させて流域の人命や経済を守る最後の要である。しかし、北海道では国内の温暖な多雨地域と比較してこれまでに台風や集中豪雨の影響が小さく、降雨浸透による崩壊の免疫が低いために河川水位上昇前の降雨で堤防が損傷し、性能低下する事例が発生している。例えば、2016年北海道豪雨災害の釧路川堤防では、河川水位上昇前の降雨のみで表法面の滑り破壊が発生した。また、近年の事例では2023年5月に2019年東日本台風の被災から復旧したばかりの千曲川の築堤において、裏法面の滑り破壊が発生した。今後の気候変動による降雨量の増加は、現状の堤防にとって河川水位の上昇に匹敵する外力となる可能性がある。しかし、降雨波形が堤体内水位の上昇過程や浸潤線の移動速度に及ぼす影響など、基本的なことすら不明な点が多く、気候変動を考慮した設計降雨の考え方の検討は進んでいないのが現状である。</p>			
【目的】			
<p>以上のような背景から本研究では、気候変動の影響を考慮した堤防設計時における降雨量設定の考え方を提案することが目的である。</p>			
【調査・研究内容及び成果】			
<p>本研究では、堤体土質と気候条件の変化に富む北海道東部における3つの流域（常呂川、札内川、釧路川）の堤防を対象として、降雨浸透挙動を把握するために堤体内水位、土壌水分、堤体内温度などの体系的な現地観測を行い、堤体土質や立地条件が降雨浸透挙動に与える影響を把握する。また、一部の観測地点では、基礎地盤の旧河道の存在に着目した現地観測を行った。この現地観測結果をもとに浸透流解析を行い、降雨浸透メカニズムの違いを解明する。そして、この浸透流解析モデルに対して、3つの流域での気候変動の影響を受けた様々な降雨波形を用いた数値実験を行い、堤体内水位の上昇量が最も高くなる堤体土質の構成と降雨波形の関係性を明示し、堤体土質に関連付けられた設計で用いる降雨波形の基本的な考え方の提案を目標としている。</p>			

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

本研究の最終的な目標は、北海道における堤防の現地観測等から堤防の設計・耐力評価に用いる気候変動を考慮した設計降雨の考え方を提案することである。令和3年度から研究の根幹となる現地観測をスタートさせ、降雨時における堤体の浸透挙動について考察を進めた。令和4年度には一部の観測地点において、堤体基礎地盤における旧河道の存在が堤体内水位におよぼす影響を検討するために観測アレーを追加し、現地計測を行った。本文では、4つの観測地点における降雨量と堤体内水位の関係、本研究の実施期間も含めて、3年間の自然降雨および散水実験に対する現地観測が実施できた新設試験堤防の水理挙動の経年変化、そして将来の気候変動を考慮したアンサンブル降雨データから取得した降雨波形を与えた際の堤体内水理挙動の将来予測シミュレーション結果を紹介し、最終的には北海道において堤体水理挙動を予測するための浸透流解析で用いる降雨データの提案を述べる。

1. 観測地点の気象・地質などの概要

図-1 は本研究において観測を行った常呂川、札内川、釧路川の位置図を示している。本研究での観測地点は最大で約140km離れており、水系は完全に独立している。図-2 は各観測地点近傍のAMeDASで観測された1970年代から現在までの年降水量 R_y の比較を示している。観測地点の中では札内川で R_y が最も多い。1977年～2022年における R_y の平均値である $R_{y,ave.}$ は札内川で $R_{y,ave.} = 1202\text{mm}$ となり、最も降雨が少ない北見と比較すると450mm程度、降雨量に違いがある。本研究で選定した3地点は気候条件だけではなく、基本的な地質条件も異なるため堤防を構成する盛土材料にも違いがあり、降雨条件と堤体土質の違いが浸透挙動に及ぼす影響を比較することに適している。

図-3 は観測地点における治水地形分類を示している。常呂川については旧河道上に構築された過去に複数回の築堤履歴がある箇所を観測箇所として選定した。札内川については、基礎地盤の旧河道の有無に着目した2地点を選定した。旧河道箇所の選定に際しては、観測結果の比較・検討のために堤体土質は同様であることが好ましいため同一地点の右・左岸として、最終的には堤体基礎地盤に対する物理探査を実施して、基礎地盤の土質構成が異なることを確認した上で観測地点を決定した。なお、両地点ともに複数回の築堤履歴は無い。釧路川については、堤防緩勾配化効果を検証するために表層をシルト質土で被覆した試験堤防が釧路川に新規で構築されており、土質条件や水境界条件が明確な築堤である。



図-1 観測地点の位置

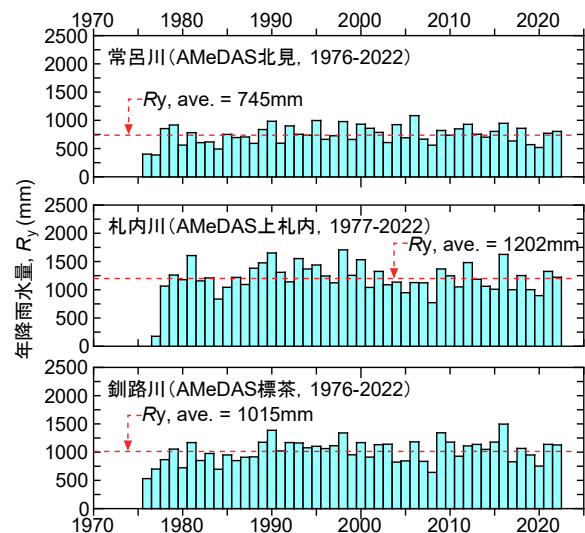


図-2 観測地点に年降水量の比較



a) 常呂川 KP57 付近 b) 札内川 KP57 付近 c) 釧路川 KP45 付近

図-3 観測地点周辺の治水地形分類図

これらの観測箇所選定においては日々堤防を維持・管理し、現場での課題・問題意識を持っている

各地域の河川管理者と十分な協議を重ねた。常呂川の場合には複数回の築堤履歴がある旧河道上における堤防の浸透挙動について、札内川では小規模陥没発生と礫質土堤防の浸透挙動の関連性、釧路川の試験堤防ではシルト質の被覆土による緩勾配化が堤防の浸透挙動に与える影響について、現場の課題として共有することで最終的に観測箇所を決定した。また、観測箇所決定に際しては、降雨のみならず外水位の影響についても検討できるように国土交通省が管理する各種の観測所近傍とする点や洪水時の蛇行の影響が小さい箇所など、河川工学を専門とする共同研究者からの助言を受けて決定した。

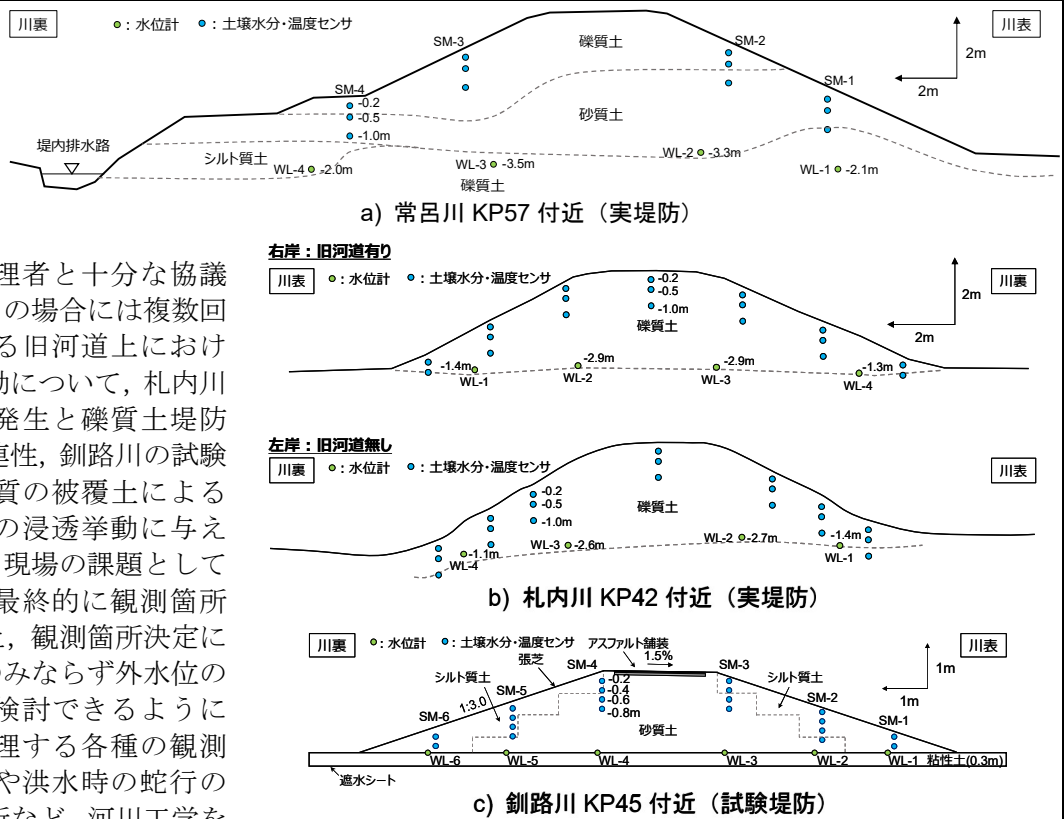


図-4 観測対象堤体の断面および計測機器の配置図

2. 観測断面の概要

図-4 は現地観測した堤体断面および観測機器の設置図を示している。常呂川の堤体 (図-4a) は堤体高 4m 程度、法面勾配 2.0~2.5 割程度、堤体敷幅 25m 程度である。札内川の堤体 (図-4b) は堤体高 3.5m 程度、法面勾配 2 割程度、堤体敷幅 16m 程度である。釧路川の試験堤防 (図-4c) は堤体高 1.8m 程度、法面勾配 3 割程度、堤体敷幅 13m 程度である。堤体観測機器については、堤体表層での降雨浸透挙動を把握するために常呂川と札内川では地表面からの深度-0.2、-0.5、-1.0m、釧路川では深度-0.2、-0.4、-0.6、-0.8m の箇所に土壌水分・土中温度計を法尻、法面中腹、法肩、天端に埋設した。なお、常呂川については観測期間中に天端舗装の予定があったため、天端には土壌水分・土中温度計は設置していない。また、堤体内水位の変化を把握するために堤体と基礎地盤の境界付近に自記式水位計を設置した。堤体土質については、常呂川では水位計設置用のストレーナ管を挿入するために設けた孔から採取した試料に対して土質試験を行い、堤体土質断面を推定した。常呂川では築堤履歴を有するが、大部分が礫質土と砂質土で構成され、裏法尻部付近にはシルト質土が構成されている。札内川では観測機器設置に設けた孔の状態から観測機器設置箇所のほとんどの箇所で同一の土質であったことから、天端の土壌水分計設置の際に採取した試料を代表試料とした土質試験より、礫質土で構成されていることを右岸・左岸の堤体で確認している。釧路川の試験堤防については、釧路川流域に広く分布するシルト質の火山灰土で表層が被覆され、堤体内部はこれも周辺の土取り場から採取された砂質土火山灰で構成されている。

3. 結果および考察

3.1 現地観測結果

昨年度の観測結果から、各観測地点の降雨浸透時における堤体表層の体積含水率 θ の深度方向の上昇過程が異なっており、これには飽和透水係数 k_{sat} の違いが関連していることを示した。また、堤体内水位については河川水位にも連動して上下動していることを確認した。これらの結果から、昨年度までの観測期間の範囲では観測箇所のすべてで降雨浸透が発生し、それに伴い堤体内水位が上昇することが確認できた。図-5a)~c)は各観測断面における2022年12月までの観測期間内から抽出した主な降雨イベントの累積雨量 R と、その降雨イベントでの堤体内水位の浸潤線位置 $H_{L,max}$ を示している。なお、

浸潤線位置については代表的な観測結果として法肩直下における水位計での観測結果を示している。この図中のプロットが右上がりの傾向を示すと降雨浸透に伴い、堤体内水位が上昇していることを表している。実堤防で観測した常呂川(図-5a)), 札内川(図-5b))については、観測期間内での降雨浸透による顕著な堤体内水位の上昇は観測できなかった。しかし、常呂川と札内川左岸(基礎地盤に旧河道無し)では R の増加に対してわずかに $H_{L,max}$ も増加する傾向が確認でき、降雨量の増加に伴う堤体内水位の上昇を観測できている。札内川右岸(基礎地盤に旧河道有り)では、2023年9月から観測をスタートしたためデータ数が限定的ではあるが、左岸と比較すると右上がりの傾向は確認できない。このことから、堤体基礎地盤の土質構成の違いが R の増加に伴う堤体内水位の上昇に影響していると言える。今回の観測期間内では図-5c)に示す釧路川の試験堤防において顕著な堤体内水位の上昇を観測した。これは2016年北海道豪雨での釧路川実堤防での降雨浸透に伴う法滑りが発生した条件を再現するために堤体基礎地盤に遮水シートを敷設したことと、堤体高さが他の観測断面よりも小さいことが影響したと考えられる。この釧路川の試験堤防は2020年に新規に築堤しており、築堤からの凍結・融解履歴が既知である。さらに今回の観測断面内では最も長期間の観測を行っておりデータ数が豊富である。この点に着目し R に対する $H_{L,max}$ の増加は経年変化を見ると、2022年には2020年と2021年と同じ雨量が作用した場合でも堤体内水位の増加が緩慢であり、この結果は試験堤防の浸透特性が経年変化していることを示唆するものである。ここで凍結を受けた地盤材料は凍結前の乾燥密度 ρ_d (間隙比 e)に応じて融解後には ρ_d が増加または減少し、これによって透水係数が変化することが知られている。釧路川試験堤防は2020年に新規で築堤されているため、実河川の堤防と比較すると観測期間内の凍結・融解によって、浸透特性の変化に関連する状態量が急激に変化している可能性がある。ここで、観測項目である体積含水率 θ は、地盤の全体積中に占める水体積の割合を示しているため、凍結・融解後に ρ_d の変化があった場合にはそれに応じて θ が変化している可能性がある。図-6は非凍結期における各年での θ の平均値 θ_{ave} の変化を観測箇所毎に示してい

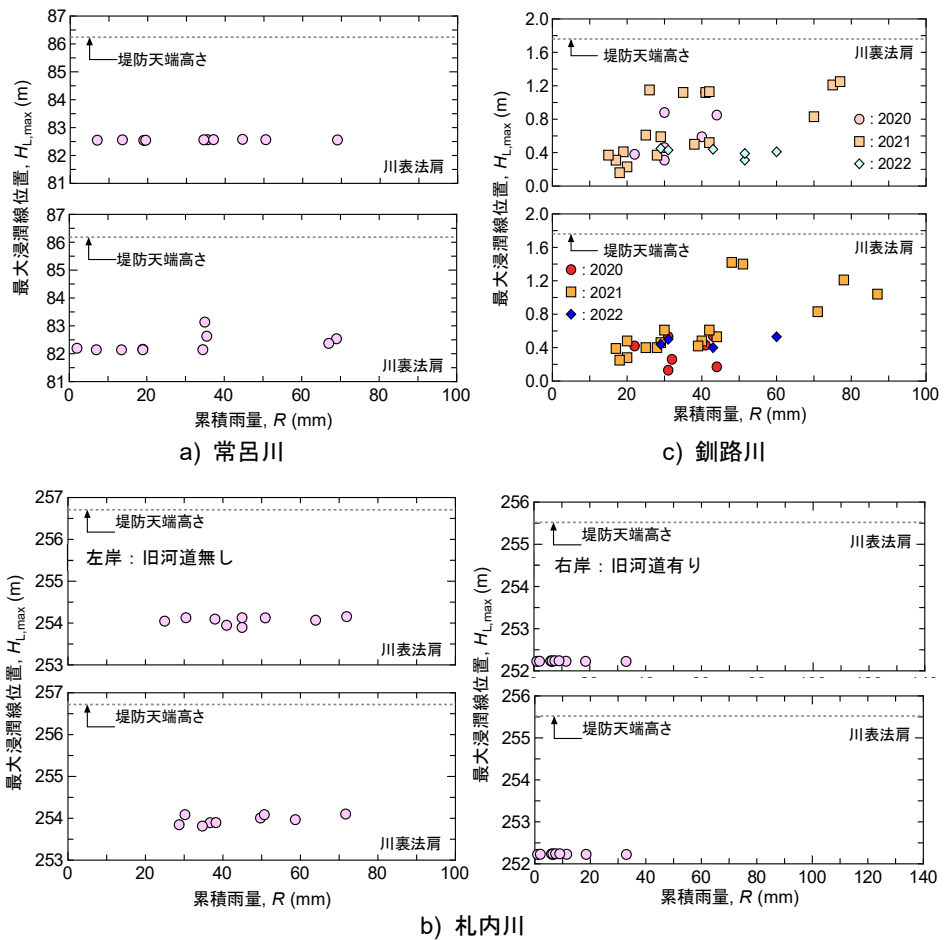


図-5 累積雨量と最大浸潤線位置の関係

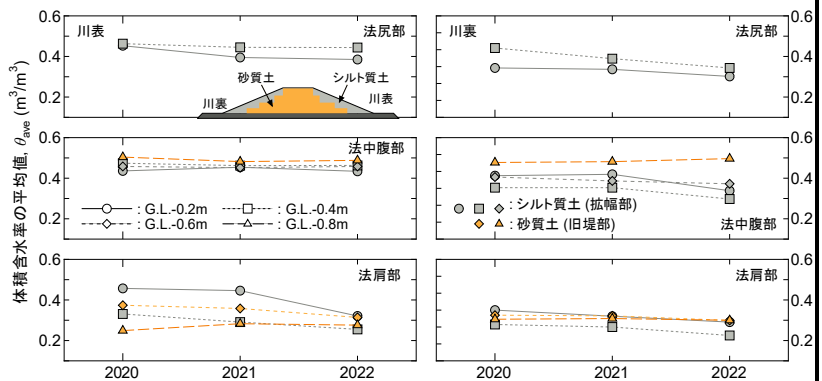


図-6 非凍結期における体積含水率の平均値の経年変化

る。この釧路川の試験堤防は2020年に新規に築堤しており、築堤からの凍結・融解履歴が既知である。さらに今回の観測断面内では最も長期間の観測を行っておりデータ数が豊富である。この点に着目し R に対する $H_{L,max}$ の増加は経年変化を見ると、2022年には2020年と2021年と同じ雨量が作用した場合でも堤体内水位の増加が緩慢であり、この結果は試験堤防の浸透特性が経年変化していることを示唆するものである。ここで凍結を受けた地盤材料は凍結前の乾燥密度 ρ_d (間隙比 e)に応じて融解後には ρ_d が増加または減少し、これによって透水係数が変化することが知られている。釧路川試験堤防は2020年に新規で築堤されているため、実河川の堤防と比較すると観測期間内の凍結・融解によって、浸透特性の変化に関連する状態量が急激に変化している可能性がある。ここで、観測項目である体積含水率 θ は、地盤の全体積中に占める水体積の割合を示しているため、凍結・融解後に ρ_d の変化があった場合にはそれに応じて θ が変化している可能性がある。図-6は非凍結期における各年での θ の平均値 θ_{ave} の変化を観測箇所毎に示してい

る。土壌水分計はシルト質土で構成されている拡幅部と砂質土で構成されている旧堤部に設置されているため、設置地点の土質の違いも併せて示している。裏法面での観測箇所では傾向が異なるものの、全体的な傾向としては砂質土と比較してシルト質土では経年で θ_{ave} が低下している。これは一般的に砂質土よりもシルト質土において凍結に伴う凍上量が大きくなり融解後の状態量の変化が大きくなることを反映しているものといえる。また、 θ_{ave} が低下していることから、含水比が大きく変化していないと仮定すると体積が小さくなったと解釈でき、各年の融解後には ρ_d が小さくなっていると考えられる。図-7は試験堤防から採取した乱れの少ない供試体や築堤時における現場密度試験結果を参考に作製した再構成供試体に対して実施した密度試験および透水試験から得られた ρ_d と飽和透水係数 k_{sat} と、2022年については散水実験終了後に開削調査を行い、ベンチカットした開削断面で実施した現場透水試験の結果を併せて示している。シルト質土で構成されている拡幅部における ρ_d は2020年から2021年で大きく増加し、2021年から2022年では前年ほどではないが増加する傾向にある。一方で、砂質土で構成された旧堤部では2021年にサンプリングを実施していないためデータが無い点に留意が必要であるが、シルト質土のような明瞭な ρ_d の増加傾向は確認できない。 k_{sat} は2022年に開削調査を行ったためにデータ数が多く、各年でデータ数にバラつきがあるものの、2020年から2021年での k_{sat} の変化は明瞭では無いが2022年にはシルト質土と砂質土ともに低下する傾向にある。

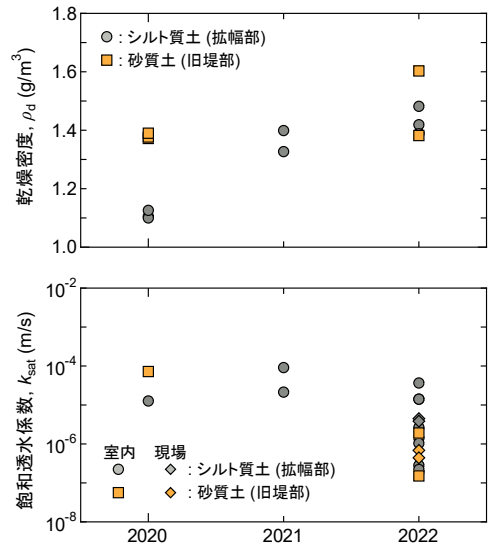


図-7 乾燥密度と飽和透水係数の経年変化

3.2 d2PDFによる降雨量増加を考慮した浸透流解析による数値実験

図-8は本研究課題で検討した大量アンサンブル気候予測データ d2PDF（世界平均の地上気温が産業革命当時と比較し、2°C上昇した世界を模した大規模アンサンブル気候予測データセット）から抽出した降雨波形を示している。現行の設計に用いられる降雨波形は時間雨量 r を $r = 10\text{m/h}$ に固定し、この r を計画総雨量に相当する時間分だけ与えている。しかし、本研究課題での観測結果のとおり、降雨波形は当然対象とする堤体が位置する地域で異なる上に、堤体の土質も地域性を持つ。このことから $r = 10\text{m/h}$ を固定して与えることが必ずしも安全側の評価となっていない可能性がある。また、 $r = 10\text{m/h}$ を固定した降雨波形は計画している洪水波形に対する降雨波形と一致しておらず、降雨開始から洪水による河川水位上昇を一貫して検討するためには、現実的な降雨波形による検討が必要となる。そこで本研究課題では、d2PDFから抽出した降雨波形と、現行設計における降雨波形を与えた浸透流

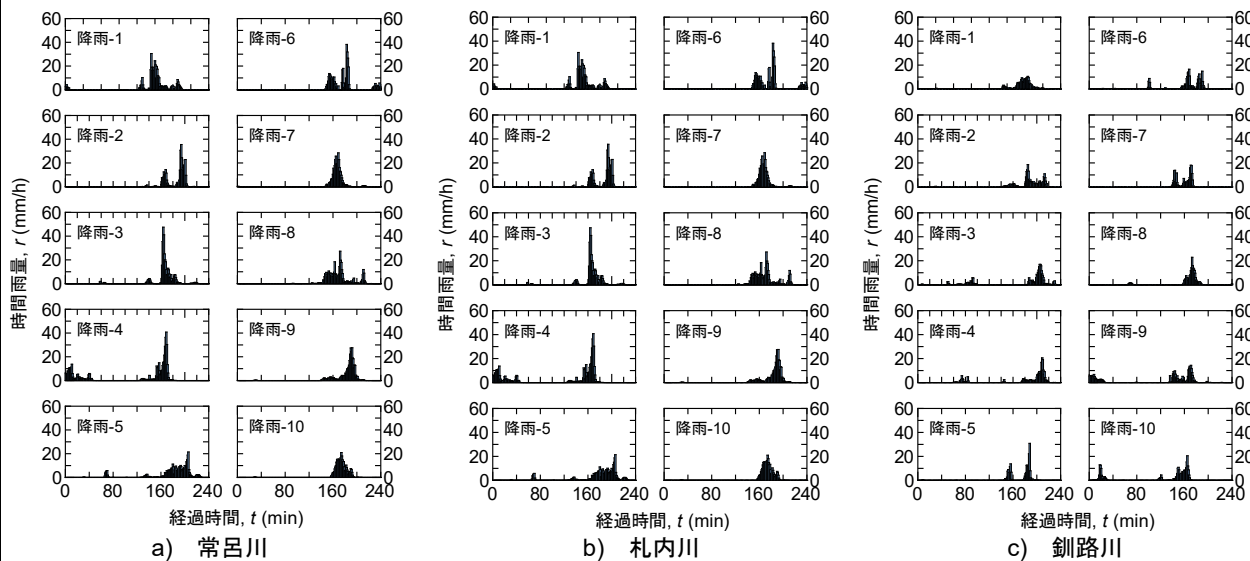


図-8 数値実験で与えて降雨波形

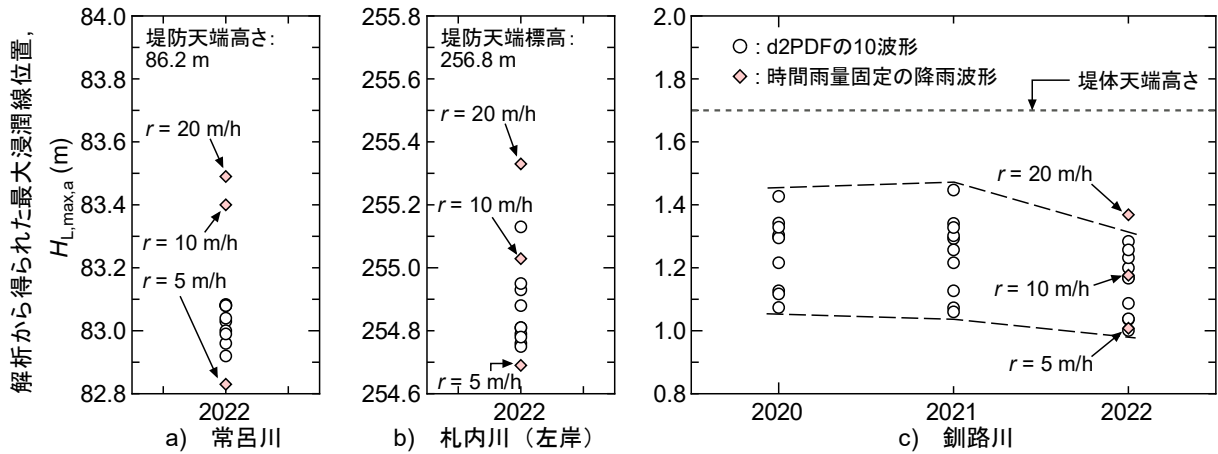


図-9 d2PDF から抽出した降雨波形を用いた数値実験から得た堤体内の浸潤線高さ

解析による数値実験を行い、得られた堤体内水位について比較・検討を行った。北海道においては大量アンサンブル気候予測データの力学的なダウンスケーリングによる検討が進んでおり、流域内の雨量観測地点を代表観測地点として地域毎に降雨波形の抽出が可能である。本研究では基礎的な検討として、各観測断面の河川における年超過確率の総降雨量に 2°C 上昇時の北海道での降雨量変化倍率 1.15 を乗じた値を 48 時間での気候変動を踏まえた総降雨量として設定した。降雨波形は d2PDF の約 2200 ケースから先述の総雨量の $\pm 1\%$ に相当する 10 パターン（以下、気候変動降雨波形と呼ぶ）を抽出し、観測断面の降雨浸透挙動を再現できるようにパラメータの設定を行った解析モデルに与えた。なお、図-8 の降雨波形を与える前の事前降雨についても本研究課題では気候変動による降雨変化倍率を考慮した。詳細は⑦研究成果の発表状況における文献 5) を参照されたい。図-9 は各降雨波形を与えた解析から得られた $H_{L,max,a}$ を示している。また、経年での k_{sat} などの浸透特性の変化が判明している釧路川については、経年で解析パラメータを変化させて各年に対して気候変動降雨波形を与えた解析を行った。さらに、図中には時間雨量を $r = 5, 10, 20\text{mm/h}$ で固定し、気候変動を考慮した総雨量となるまで降雨を継続させた解析結果についても併せて示している（釧路川については 2022 年の解析パラメータに対してのみ実施）。各観測断面に共通して気候変動降雨の解析結果（図中の○）は、降雨波形の違いの影響を受けて $H_{L,max,a}$ にバラつきが生じている。 $H_{L,max,a}$ の最大値と最小値が最も大きい結果は、釧路川の 2021 年において約 0.4m 程度となる。しかし、この $H_{L,max,a}$ の最大値と最小値の差は観測断面で異なっており、常呂川では 0.2m 程度の差となっている。これは降雨波形の影響を受け難い堤体の土質構成が存在することを示唆する結果と言える。次に時間雨量を固定した解析結果（図中の◇）と気候変動降雨の結果（図中の○）を比較すると、常呂川における現行設計の $r = 10\text{mm/h}$ の $H_{L,max,a}$ は、気候変動降雨の結果よりも大きい値となる。一方で札内川と釧路川では、気候変動降雨の $H_{L,max,a}$ が現行設計法よりも大きくなる結果も存在しており、この場合は現行の設計手法もより安全側の安定性評価が行える。つまり、本研究課題で検討した範囲では、堤体の土質構成によっては現行設計で十分に安定性評価が実施可能である。一方で、将来降る可能性がある降雨に対し、現行設計法では堤体内水位を低く算出する可能性がある土質構成を持つ堤体も存在していることがわかった。最後に堤体の浸透特性の経年変化を考慮した釧路川の解析結果は、各年で $H_{L,max,a}$ の最小値は $H_{L,max,a} = 1 \sim 1.1\text{m}$ 程度となり大きな変化はないが、 $H_{L,max,a}$ の最大値は 2022 年に低下しており、経年によって降雨浸透時の最大堤体内水位が上昇しにくい状態に変化している。言い換えれば、本試験堤防は経年によって耐降雨性が向上して、多様な降雨波形に対しても堤体内水位が抑制される状態である。これは降雨や凍結・融解を経験して堤体表層の状態量に変化することで堤体が経年変化で「雨慣れ」していると解釈できる。

4. まとめ

本研究課題の目標である北海道の地域特性を考慮した設計降雨波形の設定方法（案）を以下に示す。2016 年北海道豪雨以降の取り組みによって、北海道では流域単位よりも小さい解像度で将来の気候変動を考慮した降雨波形を取得でき、河川管理の実情と照らし合わせると降雨波形を地域毎に設定できるメリットは大きい。そこで、①気候変動による降雨量変化倍率を考慮した総雨量を設定し、②この総雨量を降らせる降雨パターンに対して網羅的な浸透流解析を行い、③最も浸潤線位置が高い条件を探索して安定解析を行うことが有用であり、これは現状の計算機環境では十分に実現可能である。

⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- 1) 南穂香, 川尻峻三, 岡村健斗, 小笠原明信: 立地・土質構成が異なる2流域の堤体における降雨浸透挙動の現地計測, 第9回 河川堤防技術シンポジウム論文集, pp.49-52, 2021.
- 2) 岡村健斗, 川尻峻三, 小笠原明信, 南穂香, 鈴木智之, 不動充, 濱中昭文, 稲垣乃吾: 積雪寒冷環境における実大試験堤防に対する降雨浸透流解析, 第9回河川堤防技術シンポジウム論文集, pp.53-56, 2021.
- 3) 岡村健斗, 川尻峻三, 小笠原明信, 南穂香, 鈴木智之, 不動充, 濱中昭文, 稲垣乃吾: 立地と気候条件が異なる堤体の降雨浸透挙動に関する現地観測, 土木学会令和4年度全国大会第77回年次学術講演会, 2022.
- 4) 岡村健斗, 川尻峻三, 濱中昭文, 大串正紀, 鈴木智之, 不動充, 小笠原明信: ベーンコーンせん断試験を用いた実大試験堤防の強度特性変化の観察と安定性評価, 第10回河川堤防技術シンポジウム論文集, pp. 63-67, 2022.
- 5) 川尻峻三, 不動充, 鈴木智之, 濱中昭文, 大串正紀: 試験堤防の長期観測から考える地盤構造物の「雨慣れ」～「雨慣れ」は降雨浸透特性の変化なのか?～, 地盤工学会北海道支部年次技術報告集, Vol .63, pp. 191-200, 2023.
- 6) 日高玄太郎, 川尻峻三, 廣岡明彦, 不動充, 鈴木智之, 濱中昭文, 大串正紀: 河川堤防の堤体内水理挙動に及ぼす基礎地盤傾斜の影響に関する解析的検討, 令和4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 405-406, 2023.
- 7) 日高玄太郎, 川尻峻三, 不動充, 鈴木智之, 濱中昭文, 大串正紀: 降雨浸透の過程への基礎地盤傾斜の影響に関する解析的検討, 第58回地盤工学研究発表会概要集, 登載決定.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- 1) 土木学会西部支部・北海道支部合同シンポジウム「温暖化が先鋭化する九州と北海道における水・地盤災害の激甚化への適応とは?」, 総合討論話題提供, 川尻峻三: 「気候変動による降雨量増加を想定した実大試験堤防への散水実験と浸透流解析」, 2022.3.17, 参加者総数 244 名, https://www.jsce.or.jp/branch/seibu/10_symposium/event_info.html

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

- 1) 土木学会令和4年度全国大会第77回年次学術講演会における優秀講演賞、岡村健斗(立地と気候条件が異なる堤体の降雨浸透挙動に関する現地観測)

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

- 1) 数値実験に用いた解析モデルは、常呂川と札内川左岸では実質的には1年分の観測データを再現可能なモデルである。観測期間が短期であり、観測期間中には顕著な水位上昇は確認できなかったため、今後も観測を継続して解析モデルの再現精度向上を図る。
- 2) 堤体の土質構成・境界条件によっては、現行設計法の降雨量設定で十分な場合があった。本研究課題の実施期間内には、この土質構成・境界条件の明示には至らなかった。今後はさらに実堤防での観測箇所を増やすことや、小規模な試験堤防への散水実験を行う等して、本研究課題で提案した気候変動降雨を利用した設計降雨の設定方法の適用範囲について検討を進める必要がある。
- 3) 本研究課題で提案した方法では現行設計とは異なり、実際に降る可能性がある降雨波形を用いた浸透流解析が実施可能となった。しかし、堤体内水位が最も上昇する降雨波形において河川の最大流量となるかは不明であり、今後は河川水位も含めた検討が必要となる。
- 4) 2)にも関連する展望であるが、本研究課題で提案した方法での降雨波形と洪水波形の関連付けができた場合には、洪水前の降雨から河川水位上昇による堤体の安定性の変化を一貫して、一つの外力で評価することが可能となり、河川工学と地盤工学の真の融合に一步近づくと考えられる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

【設計降雨の見直し】

本研究課題での提案方法は、対象とする流域での総雨量に対して降雨変動倍率を考慮し、さらに大量アンサンブルデータからこの降雨変動倍率を考慮した総雨量となる降雨波形を抽出し、この降雨波形のすべてに対して浸透流解析を実施するものである。現行設計よりも計算数は多くなるものの、発生する可能性がある複数の外力を想定することは決定論的な降雨に対する安定性評価から、確率論的な堤体の耐力評価が可能になり、これは実際に直面する様々な降雨形態に対して弾力的な運用を図れるものと期待できる。

【堤体の簡易な浸透特性の把握パラメータの創出】

紙面数の都合で本文には記載していないが、先行降雨の影響度を評価するために導入を試みた実効雨量の半減期については、堤体の平均的な飽和透水係数と良い相関があることを令和4年度に追加した観測地点においても確認することができた。この成果を活用することで、先行降雨や浸透を受けた堤体の影響時間を飽和透水係数から推定できる可能性があり、これは出水後の要注意堤防の迅速な把握の基礎データになると期待できる。

【堤体性状の経年変化の明示と堤防の維持管理への反映】

釧路川の試験堤防では、試験堤防のメリットを活用して経年での浸透特性を明らかにすることができた。その結果、現行設計の土工で築堤され、適切な維持管理が継続された場合には、堤体の透水係数は経年で低下することが判明し、堤体としての性能低下は確認できなかった。このようなデータは、既存堤防の適切な調査時期の決定や維持管理手法の確立に反映・昇華させるべき成果と考えている。