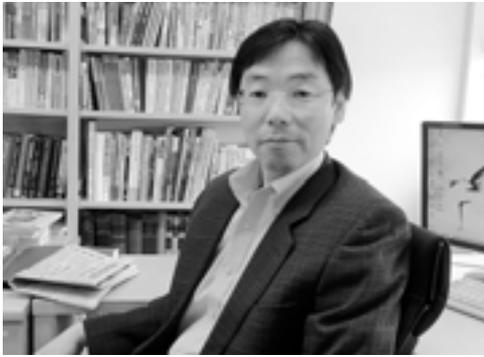


2016年8月豪雨を振り返る ③

土木学会調査団の調査報告の概要と提言



中津川 誠 (なかつがわ まこと)

室蘭工業大学大学院工学研究科教授

1986年に旧北海道開発庁に入庁後、開発土木研究所（現寒地土木研究所）で研究職、北海道開発局・中部地方整備局で行政職を担当した後、2007年に室蘭工業大学准教授、2012年より現職。水文学、河川工学、水環境工学を専門とし、洪水予測、水循環メカニズム、水環境改善などの調査研究に取り組んできた。また、北海道河川委員会委員長、北海道環境影響評価審議会委員のほか、昨年夏の大雨では土木学会2016年8月北海道豪雨災害調査団幹事などの社会活動にも従事している。

1 2016年8月豪雨災害と土木学会調査団の活動経緯

2016年8月17日から8月23日の1週間に7号、11号、9号の3個の台風が続々と北海道に上陸し、北海道東部を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また、8月29日からの前線と台風10号の接近による大雨で十勝川水系や石狩川水系・空知川上流で堤防の決壊や河川の氾濫、日高山脈東側での道路や橋梁の流失などが相次ぎ、大きな災害となった。このような大雨で発生した被害（2016年10月11日現在）¹⁾は、人的被害が死者4名および行方不明者2名、住家被害が全壊29棟、床上浸水273件および床下浸水989件ほか、住民避難については最大687カ所の避難所が開設され、最大11,176名の避難者があった。ライフラインについては、道路、鉄道、電気および水道に大きな被害が及んだ。国道では道央と道東を結ぶ幹線の274号が長期間不通となっているほか、鉄道も至る所で橋梁の流出等があり、とくに根室本線の不通により札幌と帯広・釧路を結ぶ特急も長期間の運休（2016年12月開通）を余儀なくされた。さらに産業被害については、基幹産業の農業に40,258haにわたる被害が出ているほか、水産業、林業、商業および工業にも被害が及んでいる。以上のような被害額は総額で2,803億円に及ぶ北海道での過去最大規模となり、昭和56年（1981年）8月通称「56水害」による被害額2,705億円を上回るまさに歴史的な水害となった。このような人的・物的に甚大

な被害発生を受け、今次水害は復旧事業の国の補助率をかさ上げして被災自治体の財政支援を後押しする激甚災害に指定された。

このことを受け、（公社）土木学会水工学委員会では2016年8月北海道豪雨災害調査団（団長・清水康行（北海道大学教授）、幹事・中津川誠（室蘭工業大学教授）ほか団員の構成は表1参照）を結成し、調査を開始した。調査団は、「上記のような異例ともいえる現象・事象の原因を究明し、その対策についても提案する。その際に今後の気候変動で予想される災害の激化についても留意する」を目的に掲げ、調査結果を緊急報告

表1 土木学会水工学委員会
「2016年8月北海道豪雨災害調査団」の構成

土木学会 水工学委員会			
調査団員一覧（団長・幹事・団員（五十音順））			
団長	清水 康行	北海道大学大学院 工学研究院	
幹事	中津川 誠	室蘭工業大学大学院 工学研究科	
	石田 義明	㈱水工技研 技術部	
	泉 典洋	北海道大学大学院 工学研究院	
	今井 素生	日本工営(株) 札幌支店	
	川口 貴之	北見工業大学 工学部	
	川尻 峻三	北見工業大学 工学部	
	川村 育男	㈱建設技術研究所 北海道河川室	
	木村 一郎	北海道大学大学院 工学研究院	
	久加 朋子	北海道大学大学院 工学研究院	
	田中 岳	北海道大学大学院 工学研究院	
	西村 聡	北海道大学大学院 工学研究院	
	早川 博	北見工業大学 工学部	
	船木 淳悟	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所	
	松岡 直基	一般財団法人 日本気象協会 北海道支社	
	山崎 睦史	㈱ドーコン 河川部	
	山田 朋人	北海道大学大学院 工学研究院	
	Adriano Coutinho de Lima	北海道大学大学院 工学研究院	
	渡邊 康玄	北見工業大学 工学部	

会（2016年9月29日、札幌・北海道大学学術交流会館、参加者453名）、報告会in帯広（2017年4月20日、帯広・とかちプラザ、参加者266名）などを通して報告してきた。また、一連の調査結果をとりまとめた調査報告書が2017年5月1日に公開され、今後の取り組みに対する提言も示された。このような調査活動の状況は、逐次土木学会・水工学委員会・水害対策小委員会のFacebookページ²⁾や土木学会・社会支援部門のホームページ³⁾を通して積極的に情報発信されている。本報告では調査報告書の概要とそれを踏まえた今後の水防災対策のあり方について触れる。

2 土木学会調査団・調査報告の概要

2-1 気象・水文の状況について

気象庁では1951年から台風の統計を開始しているが、これまで北海道では1年間に1個以上の台風が上陸することはなかった。しかし、2016年8月には半月ほどの間に3個の台風が上陸、1個の台風が接近し(図1)、未曾有の大雨をもたらした。上陸した3個の台風はいずれも「前線」と「台風」の組み合わせで、これは北海道に大雨をもたらす天気のパターンである。前線の位置や台風の通過コースによって降雨域も変わり、3個の前線と台風による降雨域を足し合わせると、ほぼ北海道を覆うようになった(図2左)。一方、台風10号は初めて太平洋側から三陸地方へ上陸するという、特異なコースを取った。このため北海道では東寄りの湿った暖かい風が三日間にわたって吹き続け、日

高山脈や大雪山系の南東斜面で「地形性降雨」(湿潤な大気が山地をはい上がることによって冷却、凝結して降る雨)を発達させ、山脈沿いに特異な大雨を記録した(図2右)。

河川流量・水位に関しては、図3の常呂川・上川沿地点の例では計画高水位(洪水を防ぐための基本となる流量を安全に流下させる計画上の水位)を超過し、観測史上最大の水位を記録した。また、8月30日には台風10号によりもたらされた降雨により、石狩川水系や十勝川水系では堤防の決壊や河川の氾濫が発生するなど甚大な被害となった。今次洪水の特徴として、先行する3つの台風により水位が下がりきる前に大雨に見舞われ、土壌水分量が高い状態(土壌中の水分量が多いほど、地下に浸透せずに河川に流れこむ水量が多くなる)で維持されたことで、台風10号の降雨が流出を増大させた点が挙げられる。

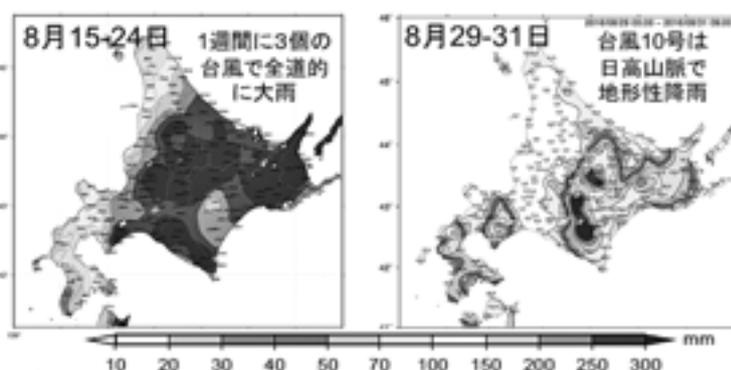


図2 雨量分布図の比較 左:前線と台風による大雨(2016/8/15~8/24) 右:地形性降雨と台風による大雨(2016/8/29~8/31)
(日本気象協会北海道支社配布資料⁴⁾)

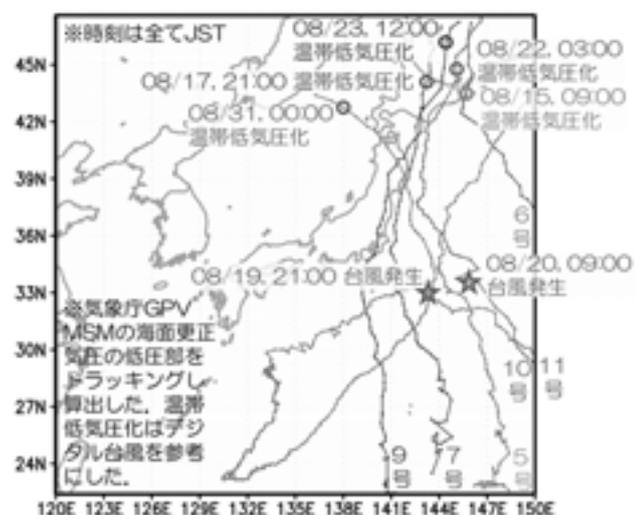


図1 2016年8月に北海道に上陸もしくは周辺を通過した台風の経路(台風発生以前の熱帯低気圧、及び温帯低気圧化後の進路も含む)(山田ら³⁾作成資料)

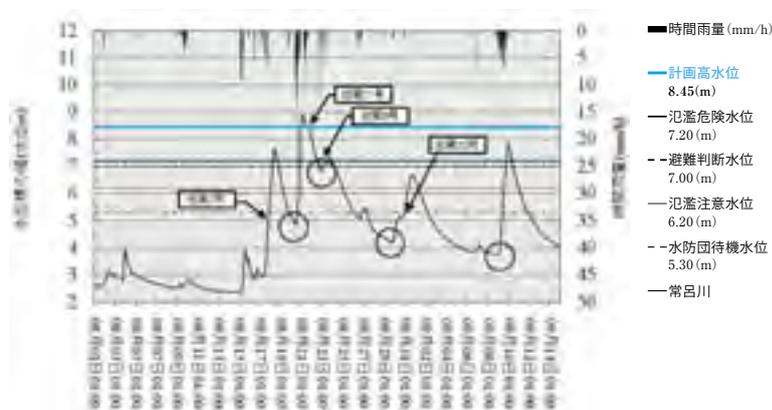


図3 常呂川の上川沿地点水位(2016/8/1~2016/9/14)
(中津川ら³⁾作成資料)

以上のような気象・水文に係る調査結果を要約すると以下のとおりとなる。

- ・ 2016年8月に立て続けに北海道を直撃した3個の台風による雨は“前線と台風”、4個目として太平洋側から接近した台風10号は“地形性降雨”が発達した異例のパターンであった。また、太平洋側から接近する台風は勢力が衰えづらく、近年の接近頻度の増加傾向が示唆された。
- ・ 水位が下がりきる前に何波にもわたり降った大雨で土壌の湿潤状態が飽和に近づき、降雨量に対し流出量が増加しやすい条件となっていたことがわかった。
- ・ 今後の気候変動で頻発する洪水に対し、河川流量や水位を推定・予測するために必要な雨量の観測や予測精度の向上、不確実性の評価や土壌の湿潤状態に考慮すべきことを指摘した。
- ・ 気象モデルを用いた降雨予測手法で台風に伴う洪水リスクを2日前程度から適切に予測できること、機械学習手法を用いて高精度な水位予測が数時間前から可能であることを示し、今後の洪水への適応策へ実装できる有力な手法が提示された。

2-2 石狩川水系の状況

石狩川水系では石狩川中上流域や空知川上流域において多くの被害が生じた。石狩川中流部納内地区（深川市）では、8月23日に上陸した台風第9号に伴う降雨により溢水（増水した河川の水があふれ出すこと）氾濫（氾濫面積約120ha、床上浸水家屋4戸）、石狩川上流部の支川美瑛川等では8月17日から立て続けに上陸した3つの台風に伴う降雨により、各地で道路の決壊や落橋が相次いだ。さらに、支川空知川上流域の幾寅地区（南富良野町）では、8月30日に接近した台風第10号に伴う降雨により、堤防が決壊し氾濫水が市街地に流入、甚大な被害を及ぼした。この破堤氾濫と近傍を流れるユクタラシュベツ川からの氾濫が併さり、浸水面積約130ha、浸水家屋189戸及び食品加工工場などが浸水し、南富良野町に甚大な被害を及ぼした（写真1）。石狩川の直轄管理区間（国土交通大臣によって指定された、国（北海道開発局）が管轄する

区間）での破堤氾濫は昭和56年8月洪水以来である。破堤は、幾寅築堤の2カ所で発生し、上流側は破堤幅300m、下流側では破堤幅150mであった。

今回の出水で降雨量が大きかった石狩川上流域には、国が管理する大雪ダムと忠別ダム、空知川上流域には金山ダムがあり、今次出水では洪水調節によりダム下流域の被害軽減に大きく寄与した。この中で51,400千m³の洪水調節容量を有する金山ダム（写真2）は、最も流入量が大きかった8月30日の大雨では、ピーク流入量約1,600m³/sに対し約1,300m³/s分をダムに貯めこんで、下流の被害軽減に寄与している。一方で、8月30日～31日にかけて防災操作開始から約54,000千m³を貯水し、ほぼ満水の状態となった。

以上のような石狩川水系の調査結果を要約すると以下のとおりとなる。

- ・ ダムの治水効果は歴然で、ダムの下流では被害はほとんど無かった。これに対してダムの無い河川やダムの上流では浸食・氾濫などの大きな被害が多発し、改めて治水目的のダムの重要性が明らかになった。



写真1 空知川の破堤後の氾濫状況（8月31日撮影）
（北海道開発局提供）



写真2 金山ダムの貯水状況（8月31日撮影）
（北海道開発局提供）

- ・ 空知川幾寅地区の堤防は、河川水の越流による破堤と、流路が変動して堤防へ早い流れが集中することで、破堤、氾濫が進行したと考えられる。
- ・ 南富良野町における氾濫流で形成された堤内地側（堤防によって守られている住居や農地がある側）の流路は、築堤以前に形成されていた旧流路とほぼ同じ位置に出現しており、大出水により原始河川が再形成されたような現象となった。今後、ハザードマップの作製や防災教育においては、昔の河川の跡を周知させるなどの配慮が必要である。
- ・ 河川の蛇行と河岸侵食による橋台裏側の侵食による橋梁の被害がみられた。また、この蛇行の発達は上流からの土砂供給量の違いに影響されることなどが明らかになった。

2-3 十勝川水系の状況

十勝川水系においては、12カ所の観測所で観測史上第1位の水位を記録し、札内川と戸蔦別川^{とったべつ}の合流部付近（帯広市）で堤防決壊による氾濫が起きたほか、パンケ新得川（新得町）、ペケレベツ川（清水町）、芽室川（芽室町）で河岸侵食にともなう橋梁や住家に大きな被害が発生した。このうち、札内川と戸蔦別川の合流地点では札内川左岸（下流に向かって左側）堤防が約200m、一連堤防（河の特徴や氾濫区域が類似する区間の堤防）の戸蔦別川右岸が約300m決壊し、住宅2世帯や倉庫、ソーラー発電施設、田畑等の約50haが浸水した。また、清水町を流れるペケレベツ川では、1晩で川幅が3～5倍程度まで拡幅（約35mから約150mなど）し、上流の被災区間では蛇行流路が直線化し、下流の被災区間（計画勾配：1/66）では比較的直線的に整備された流路が振幅の大きな蛇行流路へと発達した。これより、市街地付近では左右岸が連続的に河岸決壊するとともに、落橋、家屋の流出、市街地の浸水被害等が生じた（写真3）。このほか、パンケ新得川に架かる橋梁被害でJRの札幌と帯広・釧路を結ぶ特急列車の長期運休が余儀なくされた。

以上のような十勝川水系の調査結果を要約すると以下のとおりとなる。

- ・ 上流から供給された大量の土砂が中下流の河道内に堆積することや、一部の河川では河道内樹木の影響で、活発な流路変動および側岸侵食が発生した。このことを踏まえた上で、護岸の強化など、流路の側岸（横）方向への移動を抑制するような対策が望まれる。
- ・ 札内川や音更川等の十勝川水系の河川は、河道周辺に広く砂礫^{されき}を堆積させている。砂礫で構成された堤防や地盤は、透水係数（地層の透水性の程度を示す。一般に粒径のそろった粗粒な地層ほど大きい）が大きく、せん断（力が加わることによる内部のずれ）にも強いパイピング（堤体・地盤内にパイプ状の水の通り道ができる現象）や法すべり（堤防の法面の一部がすべり落ちてかけること）などの浸透破壊に対して強いが、側岸侵食や越流侵食に対して弱い。したがって、これらの河川では護岸や水制（流れる水的作用から河岸や堤防を守るための川に突き出すような構造物）を効果的に使うことによって侵食を防ぐ方策が必要となる。



写真3 ペケレベツ川の河岸決壊状況、上) 石山橋周辺（9/1撮影、左右岸の連続的な河岸決壊状況）（PASCO提供）、下) 石山橋下流（9/6調査団撮影、河岸決壊の状況）

2-4 常呂川水系の状況

常呂川では下流に位置する上川沿と太茶苗^{かみかわぞい ふとちやなえ}(北見市)で計画高水位を超過した。とくに太茶苗では、2016年8月18日には6時間程度、8月20日～22日には32時間程度、計画高水位を超過した。また、8月23日にも計画高水位に迫る水位を観測している。このことにより、写真4(日吉30号樋門)(北見市)に示すような越水が4カ所発生し、支川柴山沢川^{しばやまさわ}では堤防が決壊した。この際の外水(河道内の流水)氾濫で約430haが浸水し、出荷を目前に控えていた地元特産のタマネギなどに大きな被害が出た。

以上のような常呂川水系の調査結果を要約すると以下のとおりとなる。

- ・ 常呂川下流部の無堤区間において、河川区域内農地の表土流失が顕著であった。その原因として、氾濫流が局所的に集中することと、低水路内(川で常に水が流れているところ)の高速流の乗上げが考えられる。
- ・ 道路盛土に氾濫抑制の効果をもたせるには、越水しても決壊しないような対策が必要不可欠と考えられる。
- ・ 流木の構造物への集積による被害の助長があったため、発生を抑える、集積させない対策の検討が必要である。
- ・ 破堤した箇所に対し、破堤しなかった箇所は、土質の粘着性が大きいとともに内水が湛水^{たんすい}して堤脚部の侵食を抑制していた可能性が考えられる。また、噴砂の発生規模・位置には周辺地盤性状が大きく関与し、堤体から離れた噴砂は、破堤と直接結び付かない可能性がある。
- ・ 橋台背面土の洗掘(流水や波が、川底や堤防の表



写真4 常呂川の越流時の状況(日吉30号樋門、8月22日4時頃の状況)(北海道開発局網走開発建設部提供資料に加筆)

面などを削り取ること)および流出の被害形態には、河川に原因があるタイプと、側溝や橋梁排水管の雨水など道路に原因があるタイプがあり、橋梁工学、河川工学、地盤工学の融合による対策手法の立案が必要である。

2-5 釧路川水系・沙流川水系の状況

2016年8月20日からの大雨により、釧路川では急激に水位が上昇、中流部にある標茶水位観測所(標茶町)では、21日14時から21時の7時間にわたり避難判断水位(市町村長の避難勧告等の発令判断の目安)を超過し、観測史上2番目となる水位を記録した。この大雨により、釧路川左岸KP46.0付近(河口から46km上流の付近、標茶町)の堤防法面ですべり破壊が発生した。また、中流域の直線化した低水路河道の河岸侵食が、旧蛇行河道との交差部区間でみられたことは、河道の維持管理上注意すべき点である。一方、釧路川の下流域は平常時には湿原内を蛇行する河道であるが、今次出水では写真5に示すように河道周辺へ溢水が広がっ

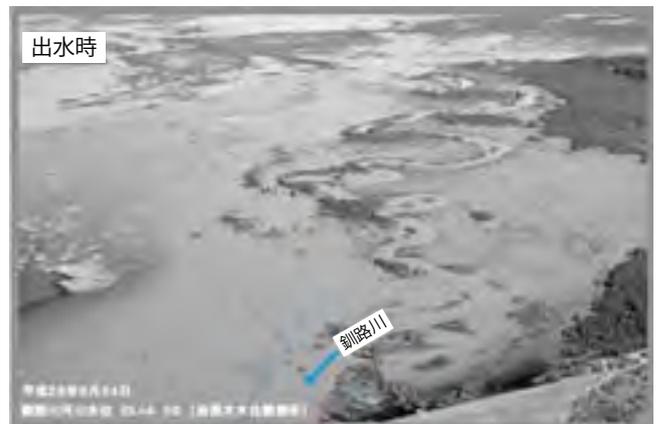


写真5 2016年8月24日における釧路湿原の出水前後の状況(北海道開発局釧路開発建設部提供)



写真6 沙流川に架かる国道274号・千呂露橋(日高町)の落橋

た。このような釧路湿原の貯留効果は、下流の釧路市の被害軽減に寄与している。

沙流川流域では2016年8月29日からの大雨によって、日高町より上流域の河道は至る所で被災し、道路の陥没や欠損、のり面の崩壊、橋の崩落など66カ所の被災箇所が確認されている（室蘭開発建設部）。写真6は沙流川に架かる国道274号・千呂露橋（日高町）の落橋の状況であり、右岸橋台の上流からの河岸侵食で橋台の背面土が侵食され、橋台を押し流して落橋に至ったもので、これより上流区間でも同様な橋梁被災がみられる。一方、山腹斜面でも沢沿いの土砂流出が起きて道路に大きな被害が生じた。なお、交通網という点では、道央と道東を結ぶ幹線の国道274号が長期不通となるなか、高速道路（道東自動車道）が機能したことで致命的なダメージが回避されたことは、インフラのセーフティーネットという点で特筆すべきと考える。

3 調査団の提言と今後の水防災対策について

以上の調査結果を踏まえて今後の河川・流域管理、治水対策および、これに関連する研究や行政に対する提言が示された。今後考えるべき要点として指摘された事項を箇条書きすると以下のとおりである。

- ・ 降雨の観測・予測の精度向上とそれを生かした避難、通行止めなどの減災対策
- ・ 気象・水文といったハザードの増大だけでなく低平地や都市といった脆弱性要因の勘案
- ・ 事前放流など既存ダムの運用改善や新規ダムも念頭に置いた治水対策
- ・ 氾濫を想定し、霞堤*1や二線堤*2など先人の知恵も活用した被害の最小化対策
- ・ 流出が早く侵食、洗掘、激しい河岸決壊といった急流河川の特徴を踏まえた治水対策
- ・ 橋台背面の侵食などにも留意した道路・橋梁の設計および出水中の情報提供などの対応
- ・ 整備の遅れている中小河川の治水安全度の向上
- ・ 災害の誘因である土砂移動を考慮し、他事業と連携した流域全体の土砂制御の計画・対策

*1 霞堤

河川沿いの堤防を連続的に造らず、下流端を開放し、次の堤防の上流端を住宅地側に延長して重複させるように造ったもの。洪水時には、ここから一部の水を人為的に氾濫させ、本流の水位を低下させる。

- ・ 水害が食糧、観光、流通など北海道さらには日本全体の経済に及ぼす影響の評価
- ・ 災害調査で蓄積された膨大なデータを持続的に活用していくための仕組みの構築

最後に「今回の大規模災害を踏まえて新たなステージに対応する水災害防止対策の推進に際しては、社会全体で危機感を共有しながら取り組む必要がある。とりわけ今回、提起された水防災に関する科学的・技術的な課題については、学・民・官が連携して取り組む体制の構築が不可欠である。」と結んでいる。

行政側の動きとしては、今次災害の災害検証とともに気候変動とその適応策について考慮した水防災対策の実現を目的に、国土交通省北海道開発局と北海道が共同で「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」を設置した。この委員会は2016年10月、同12月、2017年2月にわたって開催され「今後の水防災対策のあり方」⁵⁾をとりまとめている。今後は調査団の提言も取り入れながら具体的な施策が立案、実施されることが期待される。

謝辞

調査団の活動に関しては、公益財団法人河川財団・河川基金の助成を受けた。また、調査にあたり、国土交通省北海道開発局、北海道建設部、一般財団法人北海道河川財団、土木学会北海道支部事務局の関係各位には多大なご協力をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 北海道総務部危機対策課（2016）：平成28年8月から9月にかけての大雨等災害について，第1回災害検証委員会資料2，2016.10.26，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/saigaikensyou.htm>（閲覧日2017/1/11）
- 2) (公社)土木学会 水工学委員会水害対策小委員会Facebookページ：<https://www.facebook.com/JSCesuigai/>（閲覧日2017/5/12）
- 3) (公社)土木学会 社会支援部門ホームページ：<http://committees.jsce.or.jp/report/>（閲覧日2017/5/12）
- 4) 国土交通省北海道開発局河川管理課（2016）：平成28年8月20日からの大雨及び台風第10号による出水の概要，2016.9.10.
- 5) 国土交通省北海道開発局河川計画課（2017）：平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方，2017.3，https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/ud49g7000000f0i0.html（閲覧日2017/5/12）

※2016年8月豪雨を振り返る④は、8月号の予定です。

*2 二線堤

川沿いの本堤とは別に住宅地側に造った第二の堤防。本堤が決壊した時に被害の拡大を防ぐ。