

2.3 河川堤防の基礎地盤の透水特性調査手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）
研究期間：平 19～平 22
担当チーム：材料地盤研究グループ（地質）
研究担当者：佐々木靖人、品川俊介

【要旨】

地形と堤防被災履歴との関係を明らかにするために、主要河川の堤防概略点検結果表の一部を電子化し、解析を行った。地形と被災履歴との関係から、旧河道、破堤地形の被災度が高いこと、漏水に関しては自然堤防の被災度が高いことなどが明らかになった。また、荒川および利根川の堤防被災箇所2箇所の現地調査や空中写真判読調査の結果、いずれの地点も自然堤防あるいは破堤堆積物が基礎地盤を構成している可能性があること、また荒川におけるボーリング調査結果から、自然堤防堆積物の透水性が比較的高いことがわかり、堤防被災と関係している可能性が示唆された。さらに、米軍写真を用いたデジタル空中写真測量を行った結果、本方法により、過去に失われてしまった微地形を客観的に表現できる可能性があることがわかった。

キーワード：堤防概略点検、地形、自然堤防、米軍写真、デジタル空中写真測量

1. はじめに

近年、河川堤防が破堤した場合、甚大な被害が生じていることから、全国の河川堤防について安全性評価が実施されているところである。その中で、基礎地盤の浸透性に関する調査では、概査段階で、治水地形分類図・旧

版地形図などにより高透水性地盤を示唆する旧河道と落堀の位置を抽出し、これらの情報を加味して代表地点を精査する。しかしながら、自然堤防と後背湿地の境界部など、地形・地質学的に認定できる要注意地形が見落とされている。また、自然河川によって形成された沖積地

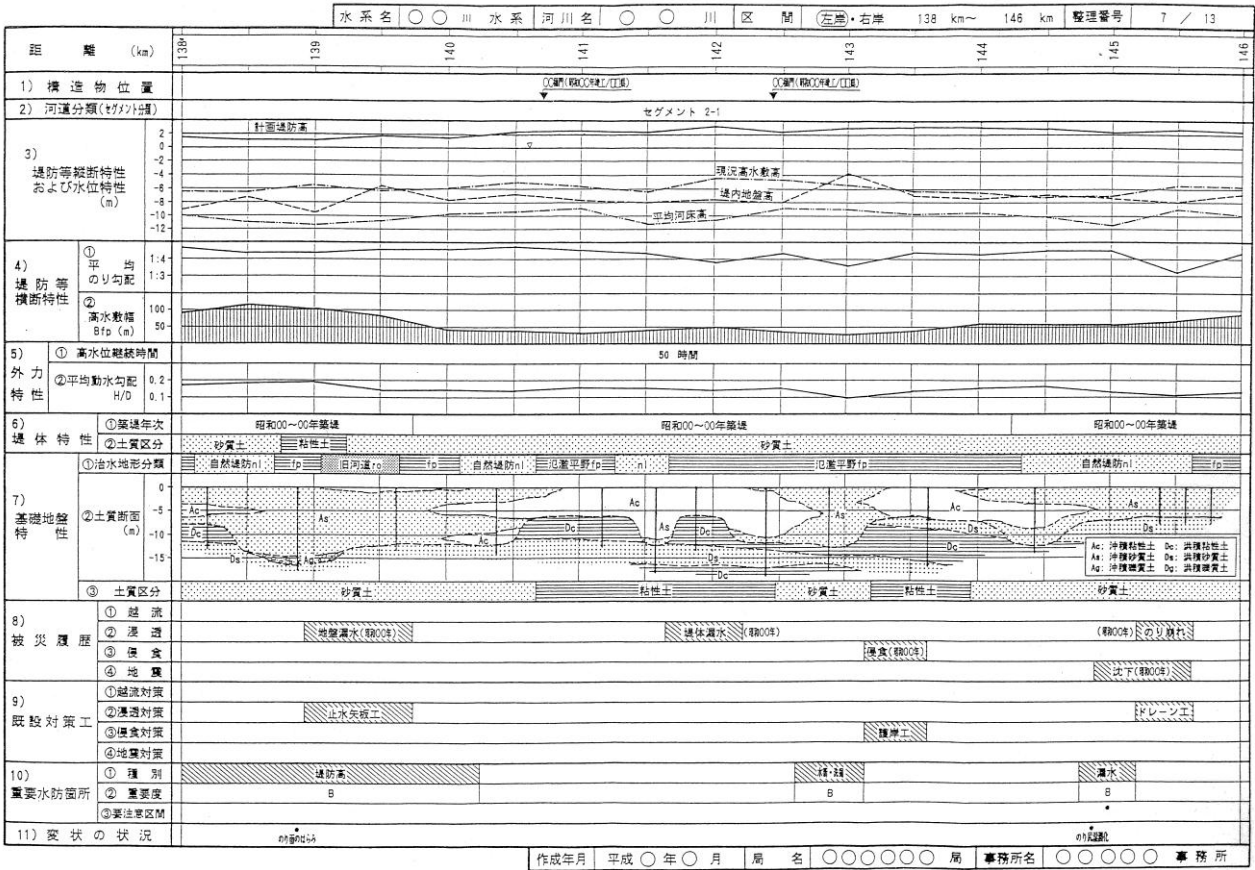


図-1 堤防概略点検結果表の例¹⁾

盤の構造は複雑であり、面的な調査手法である地形地質情報の有効利用が必要である。さらに、見落とされた箇所は精査されないため、見落としを少なくするための概査手法の高度化が必要である。

本研究は、河川堤防の基礎地盤の弱点箇所を把握する概査段階において、特にその透水特性を地形・地質学的知見を活用して、安価に面的に把握する手法を提案しようとするものである。

初年度である今年度は、まず、河川堤防周辺の地形と被災履歴との関係について、堤防概略点検結果を使って整理した。また、被災履歴と地形、地盤条件との関係を把握する目的で、実際の被災箇所の調査を行った。さらに、過去の地形情報を客観的に把握可能な調査技術をめざした、米軍空中写真のデジタル写真測量技術についての予察的な検討を行った。

2. 地形と堤防被災履歴との関係

2.1 主要河川の堤防概略点検結果表の調査方法

地形と堤防被災履歴との関係を調べる目的で、全国の主要河川について、図-1 に示す堤防概略点検結果表¹⁾より治水地形、基礎地盤・堤体土質及び堤防被災履歴の項目を100m間隔で読みとり、電子化した。その際、河川独自の記載名称を用いているものについては、治水地形分類図の凡例に読み替えた。ただし、破堤地形と記載されたものについては落堀の様な浸食地形の場合と、自然堤防に似た堆積地形の場合があるため、記述を残した。

記載された情報には粗密があり、河川によっては全く堤防被災履歴がないもの、記入されている区間が不連続なものなども多数存在した。

今年度は比較的記載が豊富な6河川(利根川、小貝川、庄内川、淀川、紀ノ川、筑後川)について地形と地質との関係、および地形と被災履歴の関係を調べた。

2.2 沿川の治水地形の出現率

河川 P の治水地形種 A の出現率 $R(P)_A$ を以下の式で定義する。

$$R(P)_A[\%] = 100 \times \frac{L(P)_A[\text{km}]}{L(P)_{\text{Total}}[\text{km}]}$$

ただし、

$L(P)_{\text{Total}}$: 河川 P の治水地形の記載総延長[km]

$L(P)_A$: 河川 P の治水地形種 A の記載延長[km]

沿川の治水地形の出現率を表-1に示す。一般には氾濫平野、自然堤防が多いが、河川によってその出現率はかなり異なることがわかった。

淀川、庄内川については湿地が多いが、他河川においてはそのほとんどが氾濫平野と分類されているものと思われる。また、紀ノ川については旧川微高地が多い。旧川微高地はその定義がわかりにくく、記載されている地形が様々であるか、記載に用いられていない。なお、旧川微高地は成因的には旧河道の一種と捉えることも可能である。

また、今回調査した6河川においては、落堀、砂丘は存在しなかった。

2.3 治水地形と基礎地盤土質との関係

表-2に治水地形別、河川別の基礎地盤土質構成比を示す。

旧河道、自然堤防などは砂質土、扇状地、旧川微高地は砂礫質が多いことがわかる。その内訳をやや詳しく見ると、例えば紀ノ川は全体に礫質であり、利根川は砂質

表-1 6河川沿川の治水地形の出現率

		治水地形の出現率(%)										延長 (km)
		氾濫平野	自然堤防	旧河道 落堀 破堤地形	湿地 旧湿地 干拓地	旧川 微高地	砂丘	扇状地	台地 山地 丘陵地	高い 盛土地	その他	
利根川	左	33.1	36.1	9.4	8.7	0.6	0.0	0.0	5.5	0.2	6.3	164.6
	右	31.9	36.3	14.0	7.2	2.3	0.0	0.0	4.0	0.0	4.2	174.8
	計	32.5	36.2	11.8	8.0	1.5	0.0	0.0	4.7	0.1	5.2	339.4
小貝川	左	33.1	48.2	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	78.0
	右	30.4	58.1	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	78.0
	計	31.7	53.1	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	156.0
庄内川	左	18.2	22.7	15.9	29.8	0.0	0.0	0.0	13.4	0.0	0.0	44.0
	右	18.7	47.3	10.6	6.9	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	46.1
	計	18.4	35.3	13.2	18.1	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	90.1
淀川	左	21.8	5.1	8.8	57.6	4.1	0.0	2.0	0.0	0.6	0.0	50.9
	右	11.6	12.2	11.8	51.9	7.6	0.0	0.0	4.0	0.0	0.8	52.4
	計	16.7	8.7	10.4	54.7	5.9	0.0	1.0	2.0	0.3	0.4	103.3
紀ノ川	左	34.9	1.4	6.3	0.0	31.7	0.0	0.0	25.7	0.0	0.0	62.2
	右	39.5	7.6	15.7	0.0	18.1	0.0	1.0	18.2	0.0	0.0	63.1
	計	37.2	4.5	11.0	0.0	24.8	0.0	0.5	21.9	0.0	0.0	125.3
筑後川	左	52.0	26.1	6.2	1.9	4.6	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	74.2
	右	49.4	29.0	7.2	1.1	5.5	0.0	0.0	7.9	0.0	0.0	72.5
	計	50.7	27.5	6.7	1.5	5.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	146.7
6河川	計	32.7	30.5	10.3	10.6	5.2	0.0	0.2	8.6	0.1	1.9	960.8

表-2 治水地形別、河川別基礎地盤土質構成比

	治水地形別基礎地盤土質構成比(%)											河川全体	
	氾濫平野	自然堤防	旧河道 落堀 破堤地形	湿地 旧湿地 干拓地	旧川 微高地	砂丘	扇状地	台地 山地 丘陵地	高い 盛土地	その他		延長 (km)	比率 (%)
利根川	粘性土	26	16	7	1	45	0	44	0	18		15.8	20
	砂質土	72	78	88	99	55	0	56	100	75		62.2	78
	礫質土	2	6	5	0	0	0	0	0	8		2.0	3
小貝川	粘性土	42	52	45	0	0	0	40	0	0		17.9	45
	砂質土	41	40	37	0	0	0	60	0	0		17.8	45
	礫質土	17	9	18	0	0	0	0	0	0		4.3	11
庄内川	粘性土	0	2	1	12	0	0	0	0	0		1.5	3
	砂質土	99	67	39	39	0	0	11	0	0		25.6	51
	礫質土	1	31	60	48	0	0	89	0	0		22.9	46
淀川	粘性土	26	43	21	35	36	0	0	0	100		26.2	29
	砂質土	69	32	62	56	61	0	0	100	0		37.9	42
	礫質土	6	24	17	9	3	100	100	0	0		25.9	29
紀ノ川	粘性土	0	0	0	0	2	0	0	0	0		0.2	0
	砂質土	16	57	20	0	37	0	50	2	0		18.2	30
	礫質土	84	43	80	0	62	0	50	98	0		41.7	69
筑後川	粘性土	48	12	40	100	14	0	50	0	0		26.3	44
	砂質土	49	79	56	0	86	0	50	0	0		32.1	53
	礫質土	3	9	4	0	0	0	0	0	0		1.6	3
6河川	粘性土	24	27	14	23	10	0	15	0	22		13.5	15
	砂質土	54	60	58	64	44	0	14	100	71		49.0	54
	礫質土	21	13	28	13	46	0	86	0	7		27.5	31

であるなど、河川ごとの特徴により、同じ地形種でもその土質構成が異なることがわかる。

同じ地形種でも河川によって基礎地盤の土質構成が大きく異なる例として、湿地、旧湿地、干拓地がある。この区分の地形種は、利根川では砂質土が99%を占めるが、筑後川では粘性土100%となっている。このことから、当区分については各河川の運搬土砂の粒度分布の違いに加え、異なる成因の地形を含んでいる可能性が示唆される。例えば筑後川についてみると、当区分の内訳は河口付近の干潟の干拓地あるが、淀川ではこれに加えて平野内陸部の後背湿地を幅広く取り込んでいる。以上のように、地形と基礎地盤にはある一般的な関係が見いだせるが、個々の川の特徴、および地形分類の仕方によってやや異なることがわかった。

2. 4 堤防被災箇所の治水地形

被災内容別のどのような地形の箇所に堤防の被災が生じているかを調べた。表-3は、代表的な3つの被災内容(破堤、漏水、のり崩れ・すべり)について、河川毎に被災箇所の治水地形を計数し、表-1の河川毎の治水地形種の出現率で規格化した、被災度を示す。

河川Pの被災内容Xについての治水地形種Aの被災度 $D(PX)_A$ を以下の式で定義する。

$$D(P, X)_A = \frac{L(P, X)_A [km]}{L(P, X)_{Total} [km] \times R(P)_A [\%] \div 100}$$

ただし、

$L(PX)_{Total}$: 河川Pの被災内容Xの被災総延長[km]

$L(PX)_A$: 河川Pの被災内容Xについての治水地形種Aの被災延長[km]

$R(P)_A$: 河川Pの治水地形種Aの出現率[%]

河川Pにおいて、被災度が1を超える地形種は、被災内容Xについて相対的に被災しやすい地形と考えることができる。

2.4.1 破堤

利根川の破堤箇所は2箇所のみであり、その内1地点は右岸、大利根町新川通付近で、その他と記載されている。なお、この地点は治水地形分類図上では氾濫平野とされている。この地点については後述するとおり、空中写真判読結果から、自然堤防あるいは破堤堆積物の存在が示唆される。

小貝川では16箇所破堤が記録されているが、下館河川事務所管内については昭和61年の破堤地点のみ記載されているため、実際はもっと多い。本河川では旧河道の被災度が高く、次いで氾濫平野が多い。自然堤防についてはその出現割合が約5割と高いため被災度は低い、3箇所破堤している。

庄内川においては、25箇所破堤の記録がある。旧河道、干拓地、自然堤防の順で被災度が高く、いずれも1を超えた。

淀川の破堤箇所は2箇所のみであり、後背湿地(湿地)および自然堤防で発生している。

紀ノ川では36箇所の破堤が生じており、わずかに分布する扇状地区間で破堤しているほか、氾濫平野、旧川微高地の被災度が1を超えた。

筑後川では12箇所の破堤が生じており、旧川微高地、自然堤防および氾濫平野の被災度が1を超えた。

2.4.2 漏水

利根川においては旧川微高地、旧河道の被災度が高かった。自然堤防、氾濫平野も被災度が1を超えた。

小貝川では自然堤防、庄内川では後背湿地(湿地)、淀

表-3 被災内容別の治水地形の被災度

	破堤箇所の地形											
	氾濫平野	自然堤防	旧河道 落堀 破堤地形	湿地 旧湿 干拓地	旧川 微高地	砂丘	扇状地	谷地 山地 丘陵地	高い 盛土地	その他	被災延長 (km)	
利根川	左	0	0	10.69	0	0	0	0	0	0	0.03	
	右	0	0	0	0	0	0	0	0	23.62	0.02	
	計	0	0	5.10	0	0	0	0	0	7.63	0.05	
小貝川	左	2.09	0.16	2.86	0	0	0	0	0	0	0.13	
	右	1.57	0.67	1.64	0	0	0	0	0	0	0.23	
	計	1.75	0.52	2.08	0	0	0	0	0	0	0.36	
庄内川	左	0	0.73	2.10	1.40	0	0	0	0.62	0	0.12	
	右	0.34	1.19	1.76	2.70	0	0	0	0	0	0.16	
	計	0.19	1.11	1.89	1.58	0	0	0	0.24	0	0.28	
淀川	左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右	0	2.73	0	1.28	0	0	0	0	0	0.03	
	計	0	3.83	0	1.22	0	0	0	0	0	0.03	
紀ノ川	左	0.79	0	0.55	0	1.74	0	0	0.54	0	0.29	
	右	1.65	0	0	0	0.55	0	15.78	0.55	0	0.20	
	計	1.15	0	0.19	0	1.48	0	12.79	0.56	0	0.49	
筑後川	左	1.19	0.91	0.77	0	2.08	0	0	0	0	0.42	
	右	0.76	1.73	0	0	2.27	0	0	0	0	0.16	
	計	1.09	1.13	0.52	0	2.05	0	0	0	0	0.58	
6河川	計	1.26	0.73	1.03	0.53	2.59	0	10.06	0.45	0	0.59	3.58

		漏水箇所の地形										
		氾濫平野	自然堤防	旧河道 落堀 破堤地形	湿地 旧湿 干拓地	旧川 微高地	砂丘	扇状地	谷地 山地 丘陵地	高い 盛土地	その他	被災延長 (km)
利根川	左	1.05	1.08	1.53	0	6.13	0	0	1.12	0	0.29	1.61
	右	1.01	1.12	1.11	0	0.74	0	0	0.14	0	2.17	1.74
	計	1.03	1.10	1.27	0	1.79	0	0	0.69	0	1.08	3.35
小貝川	左	0.83	1.25	1.26	0	0	0	0	0.18	0	0	2.65
	右	0.49	1.35	0.73	0	0	0	0	0.28	0	0	2.94
	計	0.66	1.31	0.98	0	0	0	0	0.20	0	0	5.59
庄内川	左	1.45	0.12	0.33	2.21	0	0	0	0	0	0	0.38
	右	0.47	1.47	1.23	1.25	0	0	0	0	0	0	0.23
	計	1.07	0.79	0.62	2.45	0	0	0	0	0	0	0.61
淀川	左	1.15	1.10	1.02	0.98	0.73	0	0.44	0	0	0	2.32
	右	1.59	0.68	1.02	1.03	0.83	0	0	0	0	1.67	1.57
	計	1.34	0.77	0.99	1.01	0.74	0	0.53	0	0	1.33	3.89
紀ノ川	左	1.11	1.41	4.72	0	0.84	0	0	0.12	0	0	0.98
	右	0.63	0.86	3.77	0	0.51	0	0	0	0	0	0.76
	計	0.88	0.88	3.86	0	0.76	0	0	0.08	0	0	1.74
筑後川	左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	右	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6河川	計	0.77	1.24	1.37	1.50	0.75	0	0.79	0.17	0	0.73	30.36

	のり崩れ・すべり箇所の地形										
	氾濫平野	自然堤防	旧河道 落堀 破堤地形	湿地 旧湿 干拓地	旧川 微高地	砂丘	扇状地	谷地 山地 丘陵地	高い 盛土地	その他	被災延長 (km)
利根川	左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	右	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小貝川	左	1.46	0.58	0.19	0	0	0	2.06	0	0	0.64
	右	2.03	0.53	0.91	0	0	0	0	0	0	0.55
	計	1.72	0.55	0.52	0	0	0	1.65	0	0	1.19
庄内川	左	2.86	0.88	1.26	0.13	0	0	0.30	0	0	0.25
	右	0.34	1.59	0.59	1.80	0	0	0	0	0	0.16
	計	1.85	1.17	1.11	0.40	0	0	0.16	0	0	0.41
淀川	左	1.63	1.33	2.11	0.62	0	0	0	5.75	0	0.59
	右	1.54	0.21	1.73	1.14	0	0	0	0	0	0.39
	計	1.72	0.59	1.87	0.82	0	0	0	7.03	0	0.98
紀ノ川	左	1.62	0	1.06	0	0.74	0	0.52	0	0	0.30
	右	0	0.57	2.49	0	2.41	0	0.72	0	0	0.23
	計	0.86	0.41	1.88	0	1.29	0	0.60	0	0	0.53
筑後川	左	1.04	0.80	2.69	0	0.91	0	0.45	0	0	0.48
	右	0.93	0.88	2.56	0	1.85	0	0	0	0	0.98
	計	0.96	0.87	2.67	0	1.63	0	0.16	0	0	1.46
6河川	計	1.30	0.67	1.43	0.97	1.23	0	0.61	7.01	0	9.14

川では氾濫平野、そして紀ノ川では旧河道の被災度が高い。なお、筑後川では漏水箇所の被災記録がなかった。

2.4.3 のり崩れ・すべり

6 河川中 4 河川において、旧河道、破堤地形の被災度が 1 を超えた。次いで 3 河川において、氾濫平野の被災度が 1 を超えた。また、紀ノ川、筑後川においては旧川微高地の被災度が高い。淀川では出現率が低い高い盛土地の被災度が高いが、これは河口付近の埋め立て地であった。なお、利根川においてはのり崩れ・すべりの被災記録がなかった。

2.4.4 6 河川における地形と被災履歴との関係

6 河川における地形と被災履歴との関係を調べた結果、被災内容および河川ごとに異なる特徴を有していることが判った。その原因の一つとして、出現率の低い地形種（例えば扇状地、高い盛土地）で被災が起こると、被災度が著しく大きくなることが挙げられる。また、地形区分そのものが妥当でない例（例えば利根川の破堤箇所）や他河川と整合しないもの（例えば淀川）もある。

そのため、事例数の多寡の影響や、特殊な分類の影響を小さくするために、6 河川の合計の地形出現率、被災度を見てみる。

従前より要注意地形として指摘されている、旧河道および破堤地形については、3 つの破堤内容すべてにおいて被災度が 1 を超えており、要注意地形として把握する必要があることが確認できた。

旧川微高地については河川によって記載の有無がはっきり分かれるが、記載があった紀ノ川、筑後川については破堤、およびのり崩れ・すべりについて被災度が高かった。旧川微高地という分類は地形学的に不明な分類であり、河川ごとに分類された地形が異なる可能性があるため、今後は具体的にどのような地形が記載されているのか整理する必要がある。

氾濫平野はこの分類では低地の一般面として位置づけることができるが、破堤、およびのり崩れ・すべりに関して被災度がやや高かった。一方、漏水に関しては被災度が低かった。これは氾濫平野の堆積物が軟弱でやや透水性に劣ることが関係しているのかも知れない。

平野の中で微高地を形成する自然堤防については比較的安全な土地と考えられてきたが、漏水に関しては被災度が高かったほか、河川によっては破堤の被災度が高かった。一方、のり崩れ・すべりに対しては被災度が低い。これは、自然堤防堆積物の透水性が高く、排水が良好なためと推測される。

湿地、旧湿地については旧川微高地と同じく、河川ごとに記載の有無がはっきり分かれ、その被災度もかなり

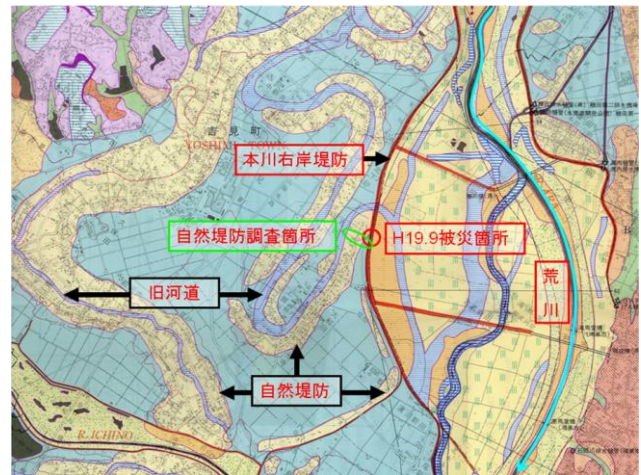


図-2 荒川右岸、埼玉県吉見町の堤防被災箇所の地形分類図²⁾に加筆

ばらつきがあることから、分類に課題があることを示唆する。

以上のように、概略点検結果表を用いた地形と堤防被災履歴の解析から、その関係の概況が把握できた。ただし、個別河川の状況を議論する際にはその区分方法を精査した上で河川ごとの特徴を議論する必要がある。

3. 堤防被災箇所の地形、地盤条件調査

堤防被災履歴と地形、地盤条件との関係を把握する目的で、今年度は 2 箇所の事例調査を行った。

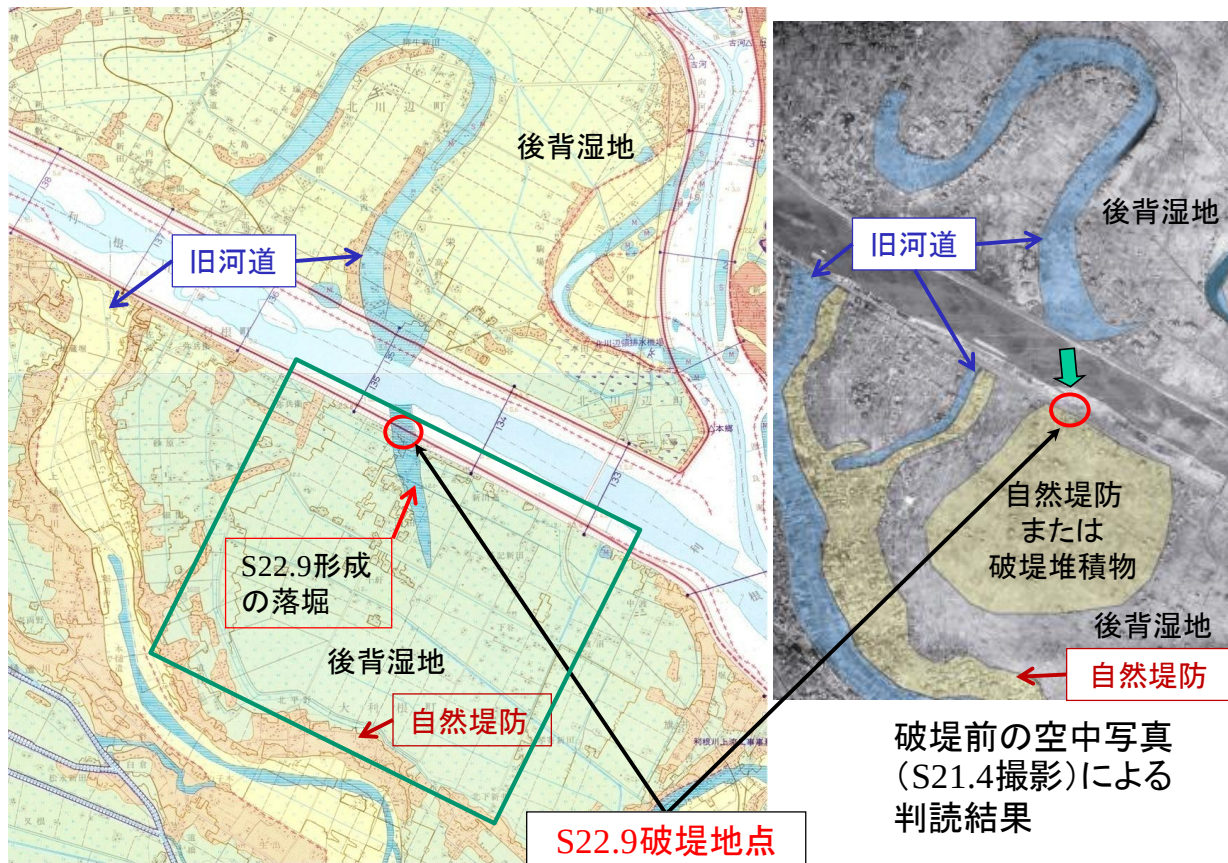
3.1 荒川中流部の事例

荒川右岸、埼玉県吉見町丸貫地先では、平成 19 年 9 月の出水時に堤防川裏小段のすべり、堤脚水路からの噴砂を伴う湧水などの変状が発生した。この箇所周辺では過去に昭和 56 年および平成 13 年にも被災している。

当該箇所の地形分類図²⁾を図-2 に示す。被災箇所付近は旧河道と自然堤防のセットが堤防と交差する地点にあたっている。

この旧河道および自然堤防地形の内部構造を調べるため、5 本のオールコアボーリング、層相の観察、および自然堤防堆積物の現場透水試験を実施した。その結果、この旧河道堆積物、自然堤防堆積物はいずれも極細砂を中心とし、シルト分を多く含む部分と、細砂、まれに中砂を含む粗粒な部分が累重した複雑な堆積物であること、また自然堤防堆積物の現場透水試験によって求まる透水係数は、 $1.5 \sim 4.5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 程度であった。さらに、堤防川裏小段で実施された、国土交通省荒川上流河川事務所実施のボーリングでは GL-2.5m 以深で同様の層相を持つ地層を確認した。

ボーリング箇所の地形は、地形判読からは後背湿地であったが、自然堤防堆積物と同様のものではあった理由と



破堤後の空中写真をもとに作成された治水地形分類図

図-3 利根川右岸、埼玉県大利根町の破堤地点の治水地形分類図³⁾と空中写真判読結果

治水地形分類図の図枠は図-5,6,7 の範囲。



図-4 利根川右岸、埼玉県大利根町の破堤後
(S22.11 撮影)の空中写真

図枠は図-5,6,7 の範囲。

して、自然堤防地形が新規の堆積物に埋積されている可能性、あるいはこの地域の後背湿地堆積物が自然堤防堆

積物と類似したものである可能性が考えられる。

以上のことから、被災箇所の基礎地盤には自然堤防堆積物と類似の地層が存在すること、この地域の自然堤防堆積物は極細砂を中心とするもので、かなり透水性が高いものを含むことがわかった。

ただし、今回の自然堤防調査の結果が自然堤防だけに特徴的な地盤構造であるかどうか、またすべての自然堤防の地盤の特徴を表しているかどうか不明であり、今後調査事例を増やす必要がある。

また、これまでの調査において、堤防の被災原因を特定するまでには至らなかったため、さらなる検討が必要である。

3. 2 利根川中流部の事例

利根川右岸、埼玉県大利根町新川通地先の昭和 22 年 9 月の破堤地点周辺の空中写真判読を実施した。その結果(図-3)、破堤前において、破堤地点周辺に自然堤防あるいは破堤堆積物による高まりが存在することが示唆された。なお、この地形については治水地形分類図³⁾に表現されていないものである。また、破堤地点上流左岸には大きく蛇行する旧河道が存在し、その延長上で破堤したことがわかった。

破堤後に撮影された空中写真（図-4）からは、破堤地点付近に長さ約 1km の落堀とともに、大きな砂堆や写真で淡い色調を示す堆積物が堆積している様子がわかる。

これらの破堤堆積物はおそらく砂分が多いものと推定される。これらのことから、破堤前にすでに存在していた自然堤防様の高まりの存在は、透水性地盤を示唆する可能性がある。

破堤の直接的原因は越水とされており、破堤と地形・地質的条件との因果関係は不明であるが、破堤に至った間接的な要因である可能性がある。

3. 3 堤防被災箇所調査のまとめ

2 箇所の堤防被災箇所調査から明らかになった点は次の通りである。

- 1) 埼玉県吉見町における自然堤防地形のボーリング調査から、自然堤防の地盤は透水性が高い部分を含む、複雑な構造の地盤であることがわかった。これらの特徴が自然堤防一般に言える特徴かどうか明らかにするためには、調査事例の蓄積が必要である。
- 2) 堤防被災箇所には、自然堤防ないし破堤堆積物の分布を示唆する地形が存在しており、これが堤防被災と関係している可能性がある。

4. 米軍空中写真へのデジタル空中写真測量技術の適用に関する予察

4. 1 過去の地形の高低を詳細に表現する技術の必要性

過去の空中写真を用いた地形判読は、地形改変の著しい日本において、堤防の基礎地盤を調査する上で不可欠な技術と考えられるが、これまで十分に活用されてこなかった。その原因として、1) 空中写真判読技術には個人差が大きく、判読結果に関する信頼度が個人の技量に依存する、2) 空中写真判読技術についての理解が一般に浸透しておらず、土木分野においては判読結果（例えば治水地形分類図）が所与のものとして取り扱われ、判読結果の利用がマニュアル記載の内容に限定されている、などが考えられる。

空中写真の判読においては、地形の高低の空間的広がり、写真の濃淡、土地利用などと、一般的な地形やその成り立ちに関する知識を総合的に勘案して地形分類を行う。判読技術者は地形やそのもの成り立ちに関する知識を元に、一種の先入観をもって写真を判読するため、場合によっては実際の地形の高低とは異なる判読結果となる場合もある。

デジタル空中写真測量技術によってもたらされる詳細な地形標高モデル(DEM)は、先入観に依らない純粋な標高を表現するため、空中写真判読を行う際に参照するこ

とで判読精度を向上させることができ、すなわち判読個人差の解消に貢献する。

また、過去の地形に関する地形標高モデルが作成できると、過去の地形を3元的に表現することが可能となり、一般の土木技術者が地形に関する理解をする手助けになる。

上記のように、過去の空中写真を用いた地形判読を十分に活用するために、デジタル空中写真測量技術を用いた、過去の地形の高低を詳細に表現する技術が必要とされる。

4. 2 米軍空中写真を用いたデジタル写真測量手法の検討

本年度は3.2で対象にした、利根川中流部右岸の埼玉県大利根町新川通（S22.9 破堤地点）付近について、S22.11 撮影の1/40,000 米軍撮影の空中写真（以下、米軍写真という）および、H20.2 撮影の空中写真（以下、最新写真という）について、それぞれ2種類の方法（ステレオマッチング法およびブレイクライン法）によるデジタル空中写真測量から地形標高モデルを作成し、その精度や作業上の留意点を明らかにした。

ステレオマッチング法は、ステレオペア写真の一方の格子点について、他方の写真上で画像の一致する箇所を自動抽出し、両写真の持つ視差を利用して格子点の標高分布を描く方法である。今回は格子点間隔を5mとした。

ブレイクライン法は、地形の変曲点に着目して、手動でステレオペア写真の同一画像箇所を抽出する。この作業を多数繰り返し、両写真の持つ視差を利用して標高分布を描く方法である。今回の場合は対照可能な同一画像箇所が十分に多くないため、抽出可能な点を出来るだけ多く採用した。

本調査地域は洪水によって破堤堆積物が堆積したことが写真より明らかであるが、その後の復旧工事によって地形が改変されている。なお、破堤地点には最近、スーパー堤防が一部完成している。

4.2.1 米軍写真の標定作業とその留意点

1) 写真の電子化

印画紙に焼き付けた状態の空中写真を10 μ m / pixelの解像度で電子画像とした。

2) 内部標定

レンズの焦点距離についての情報は存在したが、歪みについての情報は存在しなかったため、レンズには歪みがないものとして取り扱い、主点は写真指標（写真の中心を示すために、写真の四隅などに写し込む指標）の中心を用いた。

写真指標（写真の中心を示すために、写真の四隅など

に写し込む指標) が一部欠損しているものがあつたが、これについては3点の指標から他の1点を類推できることがわかつたため、大きな問題とはならなかつた。ただし、米軍写真の写真指標は、その画質から、読みとり誤差が大きいものと考えられる。

最終的な内部標定誤差(写真指標4カ所)は標準偏差で最大0.435mmと大きなものとなつた。

3) 地上基準点(GCP)の取得

米軍写真における地上基準点(GCP)の取得は、現地確認が不可能であること、また画像の解像度が不足しているために通常行われる地物の詳細な点(例えば建物の角)の識別が困難なことから、最新の空中写真との対比から対応する領域を抽出し、その領域の代表点を地上基準点とした。抽出した地上基準点の一部は大きな誤差を持つために棄却した。一部の点に大きな誤差が生じた原因について、現時点で十分明らかでないが、その一部は旧写真と新写真で異なる地物を対照していることがわかつた。

4) 絶対標定

写真測量においては、写真上の地物の座標と、実際の地物の地上座標とを対比することで標定が実現される。

今回は実際の地物の地上座標については、最新写真の写真測量結果(図-5)を用い、前述の地上基準点において対比を行った。その結果、誤差(標準偏差)水平方向で1.82m、垂直方向で1.16mとなつた。

4.2.2 ステレオマッチング法とブレイクライン法の比較

米軍写真のデジタル空中写真測量によって作成された2種類のデジタル標高モデルの比較を行う。

ステレオマッチング法(図-6)では、空中写真判読によって高まりと認識される画像中央付近が全体に低く表現されており、地形の再現性が悪い。一方ブレイクライン法(図-7)では、空中写真判読で認識される画像中央部付近の高まりがある程度表現されている。ただし、図-7は抽出点の数の不足、抽出地物の偏りがあるために、地形が十分に表現されていない箇所がある。例えば図面上部の堤防に平行あるいは直行方向の模様が見られる。これは道路の盛土を抽出したものである。

写真の解像度が悪い米軍写真においては、ステレオマッチング法よりブレイクライン法の方が精度良く地形を表現できた。ただし、ブレイクライン法では、対照する地物の選定法によって地形が正しく表現できないことがわかつた。例えば、道路は対照しやすい地物であるが、本地域のように水田地域では道路はわずかに盛土してあることが多く、周辺地盤高を代表しない。従つて、作業者は測量の目的をよく理解した上で作業を行う必要がある。

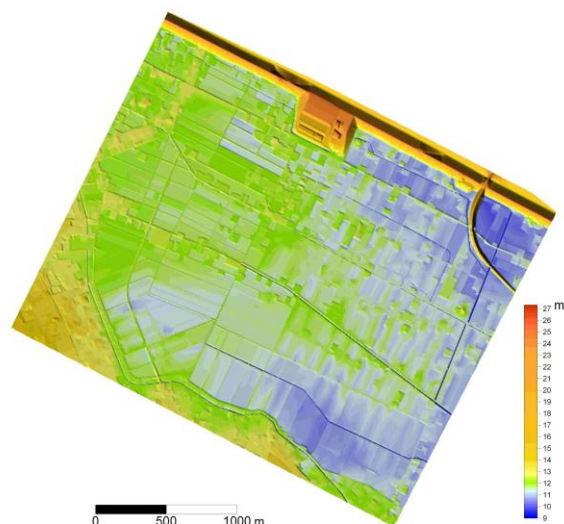


図-5 利根川右岸のデジタル標高モデル
(H20.2 撮影、ブレイクライン法) -

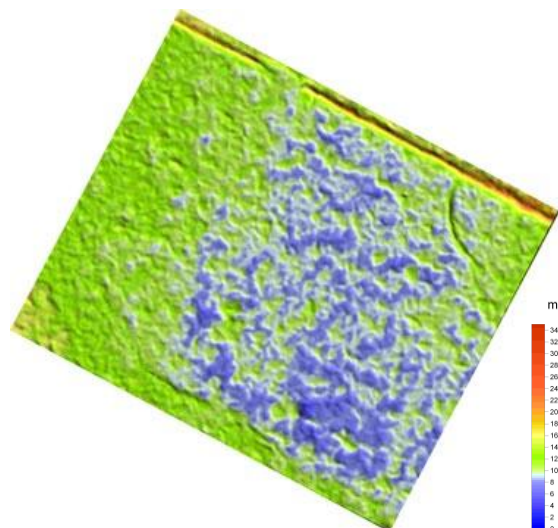


図-6 利根川右岸のデジタル標高モデル
(S22.11 撮影、ステレオマッチング法)

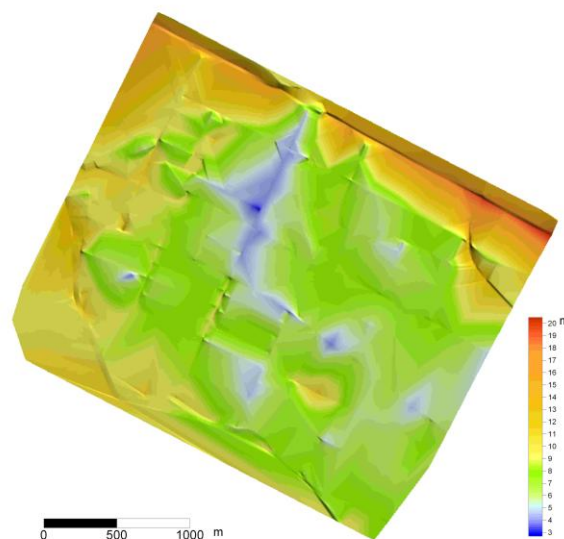


図-7 利根川右岸のデジタル標高モデル
(S22.11 撮影、ブレイクライン法)

4.2.3 米軍写真を用いたデジタル空中写真測量の適用性

米軍空中写真を用いたデジタル空中写真測量結果と地形判読結果（図-3）を比較すると、大まかには一致する結果得ることができた。しかしながら測量結果は地形の平面形に問題を生じているほか、高さ方向についても正しく表現されていない箇所がある。

前者については地物の抽出箇所を増やすことでより精度が増すものと考えられる。従って写真の状態によってはかなり正確に地形が描けるものと考えられる。

後者については例えば、破堤地点付近にある大きな砂堆が表現されていないが、この部分の写真（図-4）を見ると、砂堆全体が白く写っており、砂堆内部の形が記録されていないことがわかる。このような箇所は原理的に測量が困難である。つまり、写真の状態に依存する。

以上の結果、過去に失われてしまった微地形を客観的に表現できる可能性があることが明らかになった。

その際、1) 測量結果は写真の状態に大きく依存する、2) 写真測量の方法はブレイクライン法による処理がステレオマッチング法より優れている、3) 写真測量の際には対照する地物の選定に当たって、測量の目的を十分理解した上で作業を行う必要があることがわかった。

5. まとめ

河川堤防周辺の地形と堤防被災履歴との関係を明らかにする目的で、主要河川の堤防概略点検結果表の一部を電子化し、解析を行った。地形と被災履歴との関係から、従前より指摘されているように旧河道、落堀の被災度が高いこと、また、漏水に関しては自然堤防の被災度が高

いことなどが定量的に明らかとなった。

また、堤防被災履歴と地形、地盤条件との関係を把握する目的で、堤防被災箇所2箇所の現地調査や空中写真判読調査を実施した。その結果、いずれの地点も自然堤防あるいは破堤堆積物が基礎地盤を構成している可能性があること、またボーリング調査結果から、自然堤防堆積物の透水性が比較的高いことがわかり、堤防被災と関係している可能性が示唆された。

さらに、過去の地形情報を客観的に把握可能な調査技術をめざした、米軍空中写真のデジタル写真測量技術についての予察的な検討の結果、本方法により、過去に失われてしまった微地形を客観的に表現できる可能性があることがわかった。その精度は、写真の品質に依存するほか、作業方法にも依存することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 建設省河川局治水課：河川堤防の浸透に対する安全性の概略点検について、建設省河川局治水課、30頁、平成8年10月
- 2) 大矢雅彦、高山一、久保純子：荒川流域地形分類図（その2）、建設省関東地方整備局荒川上流工事事務所、平成8年3月
- 3) 国土地理院：治水地形分類図 栗橋、国土地理院技術資料、D・1-No.441、DVD-ROM、平成17年9月

A STUDY ON THE TECHNIQUES OF RIVER LEVEE FOUNDATION PERMEABILITY

Abstract : The high-risk landform types vulnerable to several specific damages by natural forces were examined making use of the general inspection data of river levee. The actual damages occurred to river levees suggested that the existence of the natural levee deposit or crevasse spray deposit is like to induce such damages. Additionally on the basis of the study of digital photogrammetry using U.S. Army aerial photographs, it was confirmed that it is possible to construct the digital elevation model of the landform of the past.

Key words : outline inspection of river levees, landforms, natural levees, U.S. Army aerial photographs, digital photogrammetry