

积水水門新設工事～堤防開削調査について～

清宮 敏之¹

¹利根川上流河川事務所 計画課 (〒349-1198 埼玉県久喜市栗橋北二丁目19番1号)

积水水門は、茨城県による女沼川の整備に合わせ、利根川本川左岸125.5kmで水門新設工事が施工中であり、堤防開削調査は、水門新設工事に伴い堤防を開削することとなったため、「河川堤防開削時の調査マニュアル」に基づき実施した。実施内容は、開削した下流側の堤防横断方向の断面で、開削断面の土質状況の確認、築堤履歴等の確認、土壌硬度の測定、現場密度試験、室内土質試験を行った。本報告は、開削調査より明らかになった築堤履歴および履歴毎の土質特性について結果を述べるとともに、開削調査結果の今後の活用方法について報告するものである。

キーワード 堤防開削調査、築堤履歴

1. はじめに

利根川は、図-1に示すように群馬県利根郡みなかみ町の大水上山を水源とし、千葉県銚子市において太平洋に注ぐ一級河川であり、幹川流域延長322km、流域面積16,840km²で、国内最大の流域面積の河川である。

利根川の堤防は明治時代の改修より幾度となく堤防改修事業を重ねてきており、築堤履歴が複雑である。

開削調査は、河川堤防の築堤履歴や土質を直接観察することができ、ボーリング調査では得られない情報を得ることができる。また、これらの結果を詳細に検証する事が、河川堤防の安全性の評価、今後の堤防改修等を行っていく上で重要な資料となる。

今回の開削調査は、茨城県による女沼川の整備に合わせ実施される积水水門の新設工事に伴って行ったものである。なお、開削調査は「河川堤防開削時の調査マニュアル」に基づき実施した。

2. 堤防開削調査概要

堤防開削調査は、高さ約10m、堤防断面幅で約90mの範囲で行った。

図-2は堤防開削調査の実施手順を示したものである。今回の堤防開削調査は、図-2の堤防開削調査①に該当し、积水水門完成後に撤去を行う积水樋管（积水水門より下流約1.8km）で堤防開削調査を予定しており、調査内容

は図-2の堤防開削調査②に該当する。

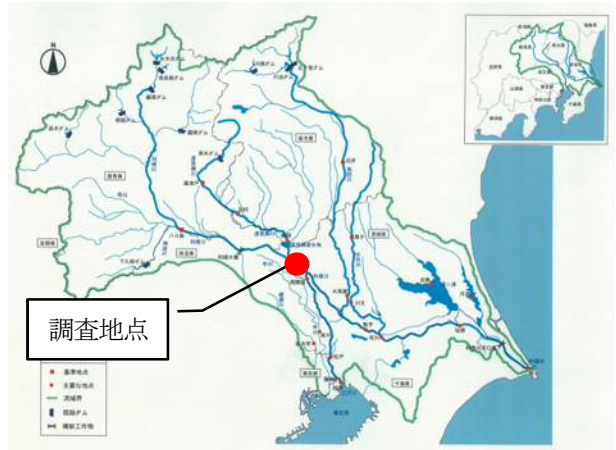


図-1 位置図

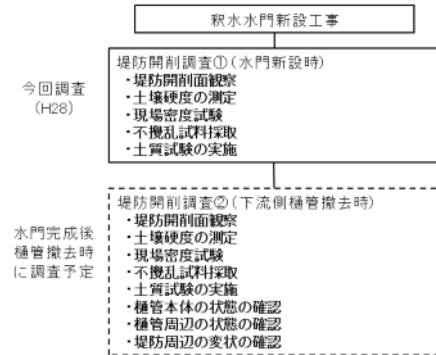


図-2 堤防開削調査フロー

3. 調査箇所の特徴

調査地点付近の地形は、図-3によると利根川東遷事業（赤堀川開削）箇所の東側であり、北側は常総台地に接している。背後は「微高地」と「氾濫平野」の境界付近に位置している。

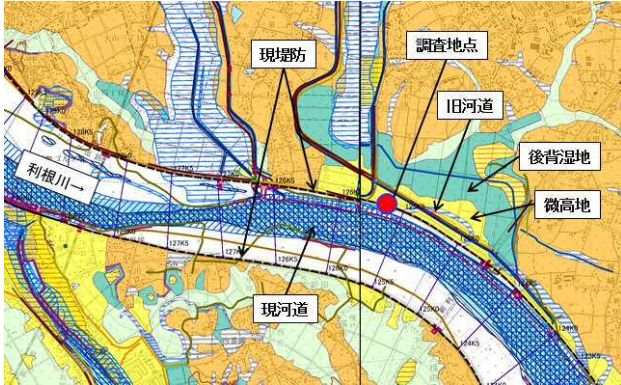


図-3 治水地形分類図
(平成23年3月国土地理院) に加筆

4. 調査箇所工事履歴

調査地点付近は、「釈迦築堤」として大正2年から大正4年にかけて築堤護岸工事を実施している。（図-4に当時の堤防位置を示した）

なお、当該箇所付近は八幡河岸とされた河岸であったとされ、当時の護岸を確認した。



図-4 迅速測図（明治17年）に加筆

また、写真-1は昭和22年と現在の堤防法線の位置を示したものである。両者を比較すると、堤防法線に変更はないが、堤体の敷幅が広がっていることが確認できる。以上のことから当該箇所では昭和22年段階の堤防に対してかさ上げ、その後拡幅を行い現在の堤防形状に至っている。

図-5は、「堤防履歴調査 築堤平面図」（S60.3 利根川上流工事事務所）より抜粋した開削調査箇所の周辺の堤防の工事履歴を示したものである。図-5より、開削調査箇所の周辺の堤防は昭和34年に築堤後、昭和46年および昭和47年にかけて川裏の尻付近を嵩上げしたことが確認できた。

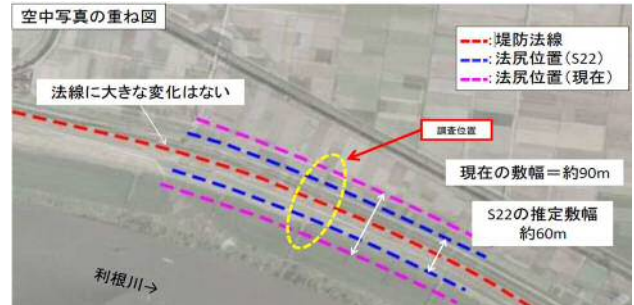


写真-1 当該箇所周辺における堤防位置の変遷

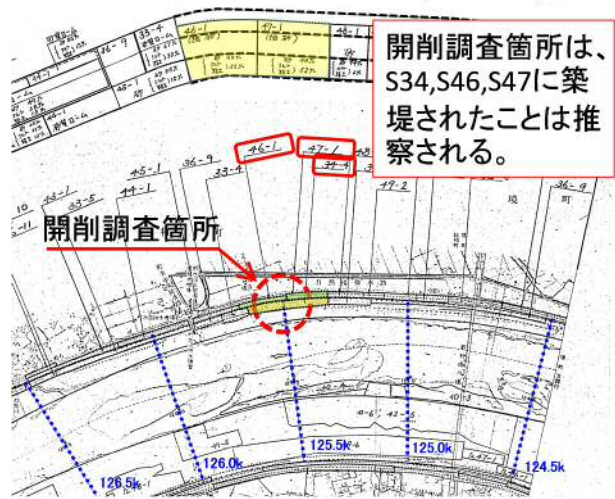


図-5 開削調査箇所周辺の築堤工事履歴

5. 開削断面における各層の特徴について

図-6は、釈水水門周辺の堤防（河川縦断方向）の基礎地盤の土質状況を示したものである。基礎地盤は砂質土（As層）を主体とした地盤で構成され、その下位には粘性土（Ac層）が分布すると推定される。

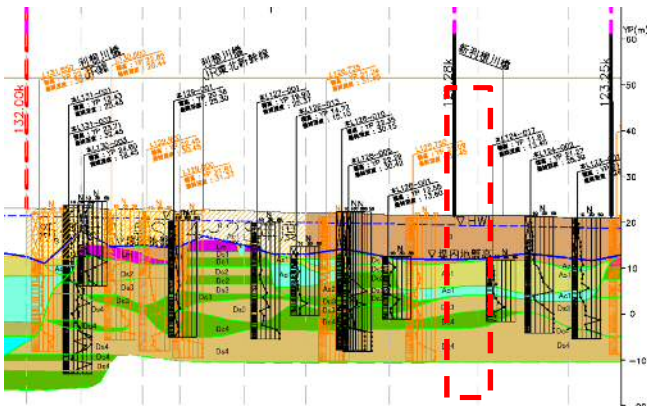


図-6 堤防縦断方向の地質縦断図

写真-2および図-7は、堤防横断方向の開削断面を示したものである。写真および図-7より、当該地の築堤履歴は複雑であり、前述した築堤工事履歴を参考にすると、築堤履歴は大きく4回に区分されることが判った。

以下に各層の施工年代および土質的特徴を示した。



写真-2 堤防開削断面写真（下流側）

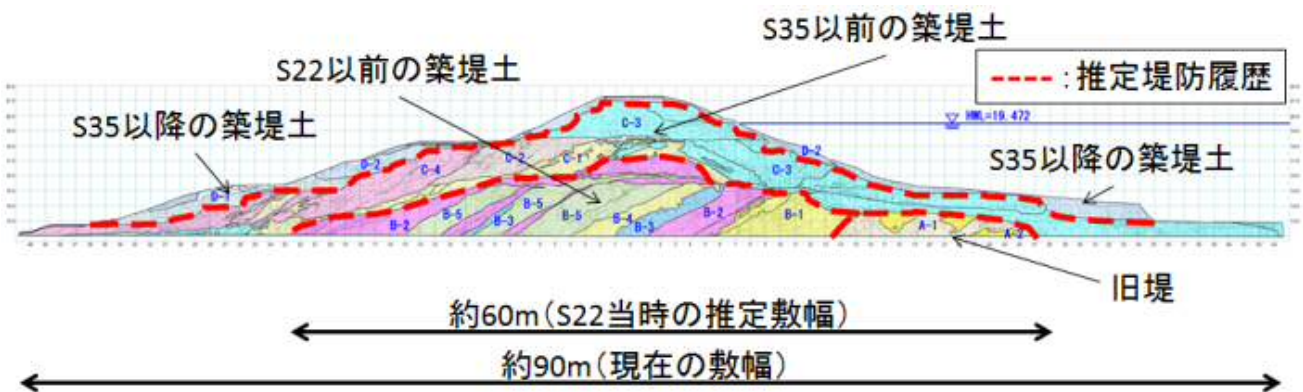


図-7 開削断面結果図（下流側）

(1) A層

明治44年の改修計画以前に施工されたと推定できる堤防であり、今回の調査で一番古い堤体と推察される。

なお、開削調査では、川表側の小段下部の本層の前面に玉石が積み上げられているのを確認し、明治32年の文献に記載されている低水護岸と推察され、本層はそれ以前に施工されたと推察される。（写真-3）

土質は砂質シルト～シルト質砂～細砂で構成され、2層に区分できる。

履歴区分A-1層は砂質シルト～シルト質砂を主体とする。砂は微細砂を主体とし、シルトを不規則に混入する。層中にはφ20mmのシルト塊を混入する。茶褐色を帯びる。

履歴区分A-2層は細砂を主体とする。茶褐色を帯びる。



写真-3 旧護岸と推定される玉石

(2) B層

明治44年改修計画から昭和14年の増補計画に該当する堤防であり、本層は堤防の中央下部の大半を構成する。

土質は、砂質土、粘性土、ロームと様々な土で構成される。各築堤土とも川裏側に向かって法面に沿う形で分布するのが特徴（写真-4）であり、大きく5つに区分できる。なお、本層の築堤年代は古く、当時の施工技術では人力施工が主である事から、比較的締固め度が低いことが特徴である。



写真-4 土質分布状況（B層）

履歴区分B-1層は砂～砂質シルトである。微細砂～中砂を主体とする。シルトを混入する。締固め具合はやや緩く、含水量は少ない。茶褐色を帯びる。

履歴区分B-2層はロームを主体とする。築堤履歴内に複数分布する。粘性は強く、含水量はやや多い。赤褐色、黄褐色を主体として、灰褐色、暗褐色が点在する。

履歴区分B-3層は不均質な粘土質シルトを主体とする。分布は限定的である。粘性はやや強く、含水量はやや多い。暗褐色を帯びる。

履歴区分B-4層は粒度分布の悪い砂を主体とする。堤防天端の下位に限定的に分布する。締り具合は緩く、含水量は少ない。灰色を帯びる。

履歴区分B-5層は火山灰質砂を主体とする。B-2と交互に分布する。粘性は弱く、含水量は少ない。硬質である。φ10～20mmのシルト塊を多く混入する。褐灰色を帯

びる。

(3) C層について

B層をかさ上げ、拡幅するように分布する。本層は、前記した図-5より昭和34年以降に築堤された堤体土と推察される。また、図-7に示した開削断面結果図より、本層の築堤時の堤防敷幅は、約90mであり、前記した写真-1の結果とも符合する。

土質は主に細粒分を多く含有する土で構成されているが、堤防内部に粒度分布の悪い砂が一部に分布し、大きく3つに区分できる。

履歴区分C-1層は細砂～中砂を主体とする粒度分布の悪い砂であり、A層の法面に沿うような形で分布する（写真-5）。また、C-1層内にはC-1層の施工後に盛りられたと推察できる粘性土が一部めり込んで分布している（写真-6）。全体に含水量は少なく、締り具合は緩い。色調は褐色を帯びる。



写真-5 粒度分布の悪い砂

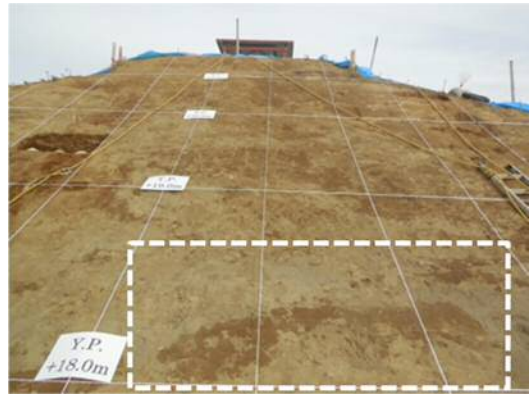


写真-6 めり込んで分布する粘性土

履歴区分C-2層は主に火山灰質細砂～細砂である。含水量は少なく、締り具合は緩い。色調は暗褐色を帯びる。

履歴区分C-3層はシルトを主体とする。わずかに微細砂を混入する。上部にはシルトが層状に存在し、草根を多く混入する。一部にφ50mmの礫を混入すると共に瀬戸物等の人工物を混入する。粘性は弱く、含水量は少ない。

履歴区分C-4層はロームを主体とする。粘性は弱く、含水量は中位、色調は暗褐色～赤褐色～褐灰色を帯びる。

(4) D層について

昭和24年の改修改訂計画に基づく築堤土の表層を覆うように分布する。

本層は、前記した図-5によると、昭和46年あるいは昭和47年に築堤された堤体土として推察され、主に堤防を表面を嵩上げ・拡幅した堤体土と考えられる。

土質は主に細粒分を多く含有する土で構成され、大きく2つに区分される。

履歴区分D-1層はロームを主体とする。粘性はやや弱く、含水量は少ない。表層は碎石を主体とする。色調は

褐色を帯びる。

履歴区分D-23層はシルトを主体とする。不均質な砂を混入する。φ5~20mmの亜鉛礫を混入する。表層付近は草根が多く混入し、一部碎石を混入する。粘性は弱く、含水量は少ない。色調は黄褐色や褐灰色を帯びる。

(5) 各築堤履歴の土質特性

開削調査より確認された各築堤履歴の土質特性（物理特性、透水特性、力学特性等）を把握するため室内土質試験結果を実施した。なお、土質特性は、図-8に示した。

築堤履歴	施工年次	土質等
A	旧堤と推定	砂質土を主体：締固め度：80%程度、内部摩擦角： $\phi = 30^\circ$ 、透水係数： $k = 3 \times 10^{-3} \text{ (m/s)}$
B	昭和22年以前の施工と推定	ローム(B-2)、粘性土(B-3、B-5)、砂質土(B-1、B-4) 盛こぼしによる施工(人力)と推定され、盛土が川裏に向かって傾斜 B-2は締め固め土が小さい箇所がある (当時の施工技術から、適切な締め固め管理が行われていなかったと推定される) B-4は粒度分布が悪い 粘性土(粘着力)： $C = 25 \sim 35 \text{ kN/m}^2$ 、砂質土(内部摩擦角)： $\phi = 35 \sim 40^\circ$ (B-5は砂分を多く含み、 $C = 14 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi = 21.9^\circ$) 透水係数：粘性土： $k = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 、砂質土： $k = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
C	昭和33年以前の施工と推定	ローム(C-4)、粘性土(C-3)、砂質土(C-1) 築堤履歴Bの形状に沿うよう川裏側に砂質土が分布し表面は粘性土とロームで構成 C-1は粒度分布が悪く、C-3は不均質で締固め度にばらつきがある 締固め度は各土質において概ね80%程度 粘性土(粘着力)： $C = 15 \text{ (kN/m}^2)$ 、砂質土(内部摩擦角)： $\phi = 30 \sim 35^\circ$ 程度 透水係数：粘性土： $k = 1 \times 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ m/s}$ 、砂質土： $k = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
D	昭和33年以降の施工と推定	粘性土主体：締固め度80%超、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 、透水係数 $k = 9.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

図-8 各築堤履歴の土質的特徴

6. すべり安全性照査について

今回の調査では、すべり安全性照査について実施した。今回の土質区分で確認するとC-4、B-2及び旧堤と同様であると想定したA-1を通る範囲となっている。(図-9)

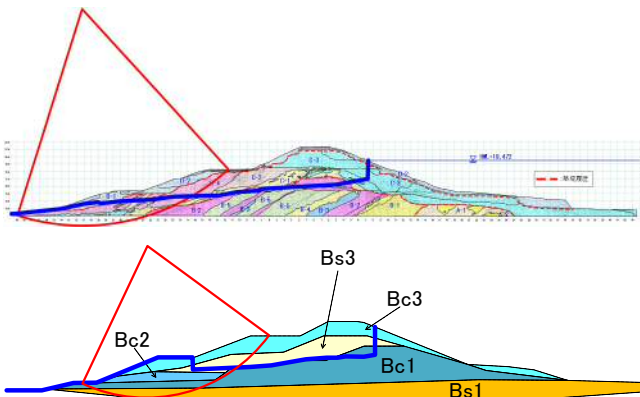


図-9 開削調査結果断面(上)と詳細点検時の代表断面(下)の円弧形状

・C-4、B-2はロームを主体とする築堤土で、今回調査(図-10)で強度は粘着力が $c = 15 \sim 25 \text{ (kN/m}^2)$ である。詳細点検(図-11)では $c = 20 \text{ (kN/m}^2)$ で設定しており、今回調査の範囲内の値であった。

・A-1については今回調査(図-10)で内部摩擦角 $\phi = 29^\circ$ が得られている。詳細点検(図-11)での設定値は $\phi = 22^\circ$ であり、詳細点検における設定値は今回調査から考えるとやや安全側の値であると考えられる。

	土質記号		湿潤密度	内部摩擦角	粘着力	透水係数	比貯留係数
	H19	H29	(kN/m^3)	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kN/m}^2)$	$k(\text{cm/sec})$	(m^{-1})
堤体	-	D-2	16.5	0	25	1.00E-04	0.0001
	Bc3	C-4	14.5	0	15	5.00E-03	0.001
	Bs3	C-2	14.5	35	1	2.00E-02	0.0001
	Bc2	B-2	11.5	0	23	9.00E-04	0.0001
	Bs2	B-1	15.0	35	1	1.00E-02	0.001
	Bs1	A-1	13.5	29	1	3.00E-03	0.0001
基礎地盤	As1	As1	19.5	45	0	7.50E-03	0.0001
	Ac1	Ac1	16.0	0	50	1.00E-05	0.001
	Dc3	Dc3	17.5	0	80	1.00E-06	0.001
	Ds3	Ds3	19.0	38	0	9.00E-04	0.0001
	Dc4	Dc4	18.0	0	135	1.00E-05	0.001
	Ds4	Ds4	19.0	32	0	1.00E-02	0.0001

図-10 堤防開削調査結果(H28)

	土質記号	湿潤密度	内部摩擦角	粘着力	透水係数	比貯留係数
		(kN/m^3)	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kN/m}^2)$	$k(\text{cm/sec})$	(m^{-1})
堤体	Bs3	18.5	36	1	2.00E-03	0.0001
	Bc3	15.0	0	20	5.00E-05	0.001
	Bc2	14.5	0	20	5.00E-05	0.001
	Bs1	17.5	22	1	2.00E-03	0.0001
	Bc1	15.0	0	20	5.00E-05	0.001
	基礎地盤	As1	19.5	45	0	7.50E-03
Ac1		16.0	0	50	1.00E-05	0.001
Dc3		17.5	0	80	1.00E-06	0.001
Ds3		19.0	38	0	9.00E-04	0.0001
Dc4		18.0	0	135	1.00E-05	0.001
Ds4		19.0	32	0	1.00E-02	0.0001

図-11 詳細点検時結果(H19実施)

7. 調査結果のまとめ

今回実施した堤防開削調査結果より、以下の事項が判明した。

- ① 築堤履歴は大きく4回程度に区分され各築堤履歴の土質構造は複雑であることが確認できた。特に昭和22年当時の堤防では傾斜した筋状の築堤土分布が見られることから、まきだしによる施工が行われていた可能性がある。
- ② 図-12及び図-13に示した詳細点検時（平成19年度実施：利根川左岸125.75km付近）の代表断面と開削調査断面（平成29年度実施：利根川125.5km付近）で築堤履歴（土質構造）の比較を行った結果、以下に示す事項を確認することができた。



図-12 詳細点検と開削調査断面位置

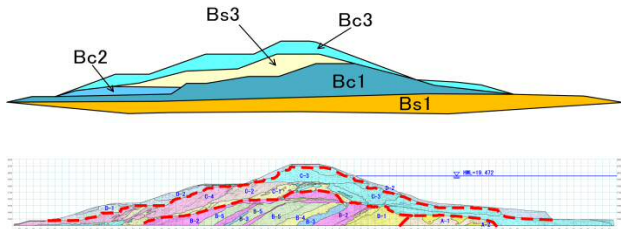


図-13 詳細点検時の代表断面（上）
と開削調査結果断面（下）

- ・Bs1層（A-1層に該当）の分布が詳細点検時と異なり、川表側にやや厚く分布する。
 - ・Bc1層（B-1層～B-5層に該当）とされていた築堤土が開削調査結果より粘性土と砂質土の互層であることが確認された。
 - ・Bs3層（C-1層，C-2層に該当）およびBc3層（C-3層，C-4層に該当）の分布状況は開削調査結果でも類似しているが、開削調査結果ではややBs3層の分布は局所的である。なお、開削調査で確認された堤体表層の被覆土（D-1層，D-2層）は、詳細点検時のBc3層に該当すると推察される。
- ③ すべり安全性照査の割増係数について
詳細点検時で川裏のすべり安全率の基準値を設定する

場合は、「河川堤防の構造検討の手引き（平成24年2月財団法人 国土技術研究センター）」に基づき、築堤履歴の複雑さに対する割増係数を設定している。

詳細点検時の川裏のすべり安全率は1.365であるのに対し、開削調査結果を反映した川裏のすべり安全率は1.612（1.18倍）であった。なお、築堤履歴が複雑な場合の割増係数は1.2であり、築堤履歴が複雑な場合における割増係数の1.2と概ね一致する。（図-14）

① 滑り破壊に対する安全性

a. 裏のりの滑り破壊に対する安全性

$$F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$$

F_s : 滑り破壊に対する安全率

α_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増係数

築堤履歴が複雑な場合 $\alpha_1 = 1.2$

築堤履歴が単純な場合 $\alpha_1 = 1.1$

新設堤防の場合 $\alpha_1 = 1.0$

α_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増係数

被災履歴あるいは要注意地形がある場合 $\alpha_2 = 1.1$

被災履歴あるいは要注意地形がない場合 $\alpha_2 = 1.0$

※築堤履歴の複雑な場合：築堤開始年代が古く、かつ築堤が数度にわたり行われている場合や履歴が不明な場合

要注意地形：旧河道、落跡などの堤防の不安定化につながる治水地形

図-14 河川堤防の構造検討の手引き（平成24年2月財団法人 国土技術研究センター）に加筆

8. 開削調査結果の今後の活用方法

堤防開削調査結果の今後の活用方法について以下に示した。

従前の河川堤防の詳細点検は、堤防横断方向で実施する3本程度のボーリング調査で堤防解析モデルを設定しており、堤体内の詳細な土質構造や築堤毎の土質特性の全容を把握するまでには至っていない。そのため、モデル化された堤防の土質構造と実際の堤防の土質構造は、乖離する可能性もあり浸透に対する安全性を過大あるいは過小に評価している場合も考えられる。

堤防開削調査は、堤体内の詳細な土質構造（スケッチ）や築堤毎の詳細な土質特性（土質試験）を得ることができる。したがって、今後堤防の浸透に対する安全性評価の精度を向上させるためには、これら開削調査結果を蓄積・共有するとともに、詳細点検結果にフィードバックするなどの取組が必要と考える。

また、堤防管理においても、このような取組が河川堤防の質的検討や対策検討、今後の維持管理の合理化等に果たす役割が大きいと考えられる。