

①-3 堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（地質）

研究担当者：佐々木靖人・品川俊介・日外勝仁

【要旨】

本研究は、基礎地盤の浸透安全性の評価のため、河川堤防基礎地盤を効率的かつ詳細に調査する手法を検討している。平成 24 年度は天竜川下流域を対象に河川周辺の微地形と基礎地盤の地質との関係を分析し、その結果を用いて地質推定の高精度化を試みた。また、土層強度検査棒による高密度サウンディング調査をある河川の地盤漏水箇所周辺に適用したところ、同一地形区分域において堆積物の帯状構造が明らかになり、漏水原因の推定に有効であった。

キーワード：河川堤防基礎地盤、地形分類図、微地形、表層地質、土層強度検査棒

1. はじめに

河川堤防の洪水時の浸透安全性、地震発生後の治水機能の保持は、水災害に対する防災上重要であることから、全国の直轄河川堤防について点検を実施したところ、安全性の不足する箇所が相当の割合で存在することがわかってきた。そのような中、コスト縮減が求められる中、優先順位をつけてより効率的・効果的に堤防整備・管理を行い、浸透・地震に対する安全性を向上させることが必要である。

一方で、堤防は長い歴史の中で多様な基礎地盤上に構築されてきた複雑な土構造物であり、さらに約 1 万 4 千箇所にも及ぶ樋門・樋管などの多数の堤防横断構造物を内在するものである。したがって、堤防、構造物、基礎地盤が相互に関係し、弱点部の安全性が堤防全体の安全性を決定する。

そのため、個別に行われてきた基礎地盤も含めた堤防と付随する樋門・樋管等の構造物の浸透安全性・耐震性をシステムとして同列に評価することが必要である。

本研究では、堤防および構造物周辺堤防の被災メカニズムの解明、堤防基礎地盤の複雑性を考慮した合理的調査方法の提案を行い、最終的に河川堤防をシステムとして浸透安全性・耐震性を評価する技術の提案を目指している。地質チームでは、特に基礎地盤の浸透安全性の評価について検討を行うこととしている。

本年度は、複雑な構造を持つ基礎地盤を効率的かつ詳細に把握するための基礎として、天竜川下流域を対

象に河川周辺の微地形と基礎地盤の地質との関係を分析し、その結果を用いて地質推定の高精度化を試みた。また、基礎地盤の詳細把握のための調査方法として、土層強度検査棒による高密度サウンディング調査をある河川の地盤漏水箇所周辺に適用し、その有効性について検討した。

2. 河川周辺の微地形と基礎地盤の地質との関係

天竜川下流域の地形分類図と、河川堤防周辺のボーリング位置情報を重ね合わせ、微地形種と表層地質との関係の把握を行った。そしてその関係に基づいて堤防沿いの地質推定の高精度化を試みた。

2.1 調査地域と作業方法

調査地域は天竜川下流域（0k～30.5k）である。地形的には上流から、山地・扇状地・氾濫平野・海岸平野を流下する区間である。地形分類図は河川沿いにおおむね堤防両岸より 1km 程度の範囲について作成した（図-1）。

地形分類図の作成に当たっては、昭和 21-23 年に撮影された米軍撮影の空中写真（縮尺約 1/4 万）を基本とし、昭和 37-42 年に撮影された国土地理院撮影の空中写真（縮尺約 1/1 万および 1/2 万）を併用した。また、明治 23 年測図の地形図（縮尺 1/5 万）および大正 6 年から平成までの 5 時期に刊行された地形図（縮尺 1/2.5 万）の地形図を読図した。

地形分類図の凡例については過年度作成した凡例を修正し、表-1 のようにし、Arc GIS(ESRI 社製)で取り扱い可能な形式で電子化した。

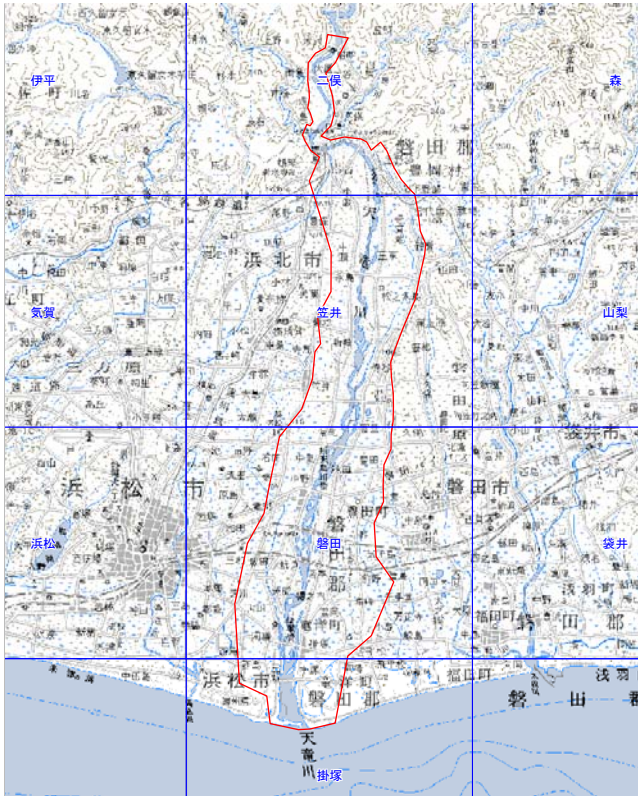


図-1 調査地域

赤線部が地形分類図作成範囲。青線は1/2.5万地形図の図画。

表-1 地形区分

区分	表記	備考
台地・丘陵・山地	M	
自然堤防	Nl	
ポイントバー	Pb	作成範囲に認められず
中州性微高地	Fcb	
海岸砂丘	Sd	
氾濫原	Fp	
後背低地	B	
堤間低地	Cp	
現河道・水面	W	
現況河川敷	Rb	
落堀・旧池沼	O	
旧流路（古地図あり）	Rc	
旧流路（古地図なし）	Rn	
崖線	TTT	
地形境界線（明瞭）	——	
地形境界線（不明瞭）	----	

国土交通省浜松河川国道事務所提供のボーリングデータを、それぞれのボーリングが存在する微地形種ごとにまとめ、微地形と表層地質との関係について、傾向を把握した。

さらに、微地形と表層地質との関係を踏まえて、既存の地質断面図の修正を試みた。

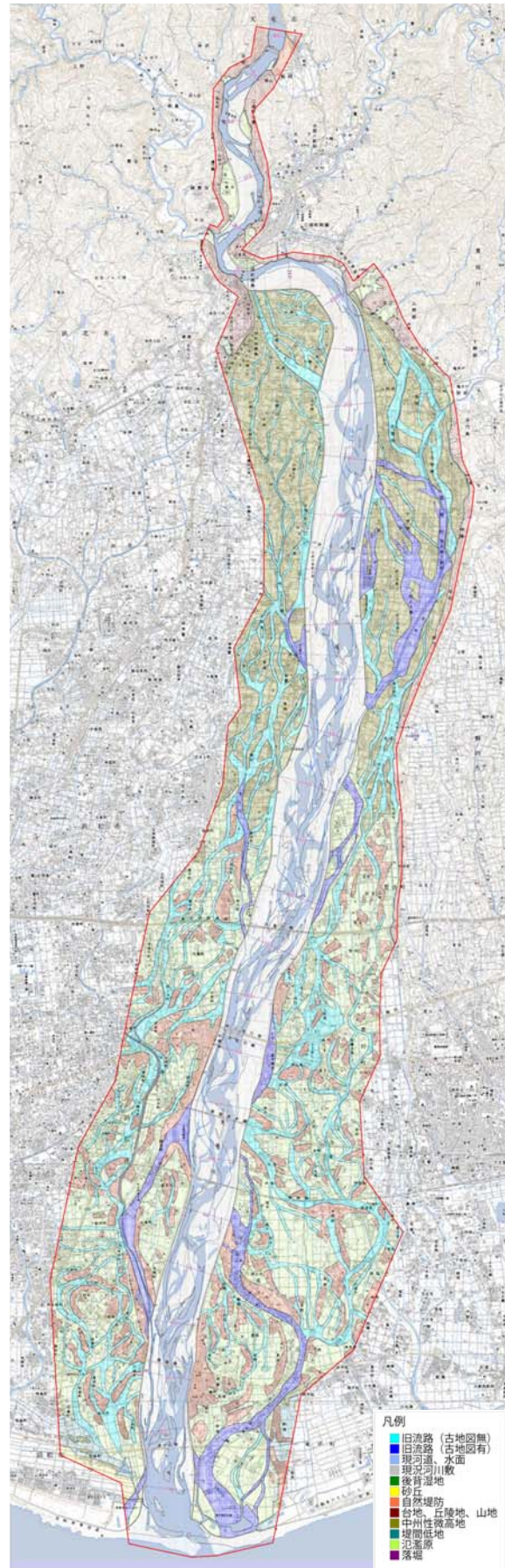


図-2 地形分類図

表-2 分析に用いたボーリング資料の微地形別集計

	地形分類	記号	右岸	左岸	合計
1	台地・丘陵地・山地	M	3	0	3
2	中州性微高地	Fcb	4	16	20
3	自然堤防	Nl	10	12	22
4	氾濫原	Fp	25	32	57
5	旧河道（古地図なし）	Rn	17	4	21
6	旧河道（古地図あり）	Rc	11	16	27
7	河川敷	Rb	8	15	23
8	現況河道	W	8	6	14
	合計		86	101	187

2.2 地形分類結果および微地形と表層地質との関係

地形分類結果を図-2に示す。調査地域の天竜川は、地形的特徴から次の4つの区間に分けることができる。

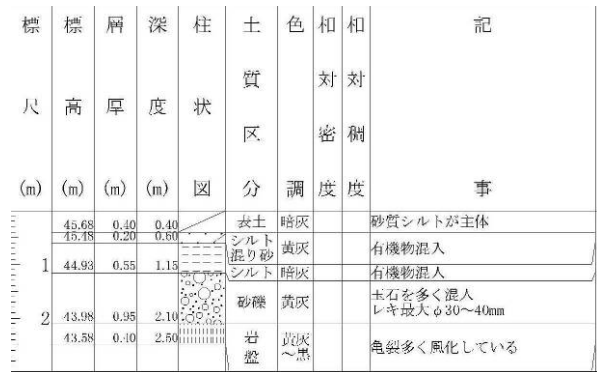
- 1) 峡谷部：鹿島橋～船明ダム付近（25.0k～30.5k）
河道周辺の地形は山地を主体とする。沖積層の分布は限られる。
- 2) 扇状地部：13.8k～鹿島橋付近（13.8k～25.0k）
微地形は、旧河道および中州性微高地が主体をなす。
- 3) 蛇行河川部：掛塚橋～13.8k 付近（3.2k～13.8k）
微地形は旧河道、氾濫原および自然堤防が主体をなす。
- 4) 河口部：河口～掛塚橋付近（河口～3.2k）
海の影響を受けた地形が見られる区間である。河川が形成する微地形としては蛇行河川部と同様であるが、海の影響を受けた微地形として、砂丘および堤間低地が認められる。

また、微地形と表層地質との関係の分析に用いたボーリング資料は187本分であった。ボーリング掘削地点を微地形別に集計した（表-2）。

以下に微地形と表層地質との関係を整理する。

(1)台地・丘陵地・山地（M）の地質（図-3）

台地・丘陵地・山地（M）に該当するボーリングデータは、天竜川峡谷部の右岸側で3本得られた。いずれのボーリングデータも、表層部に薄い表土やシルト層、砂礫層を挟むものの、地下数mからは堅固な岩盤が出現し、周辺の山地を形成している基盤岩が浅層に存在していることが確認された。



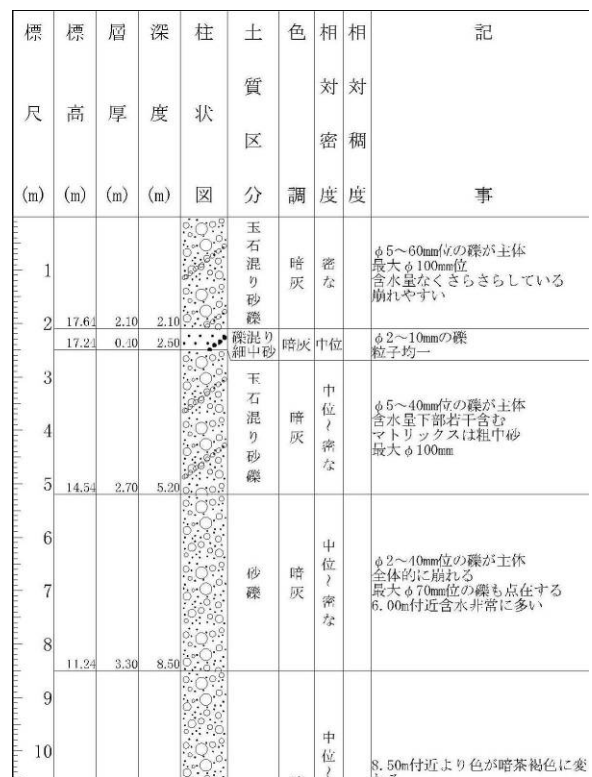
(R_M27.540(S52)No.3)

図-3 台地・丘陵地・山地におけるボーリング柱状図の代表例

(2)中州性微高地（Fcb）の地質（図-4）

中州性微高地（Fcb）に該当するボーリングデータは、天竜川扇頂部の左岸側を中心に20本得られた。

いずれのボーリングデータも大半は砂礫層からなるが、より下流部に位置するものは砂層を挟在している場合がある。また、天竜川が大きく屈曲する部分の内側に位置するものでは砂層が厚くなる傾向がある。



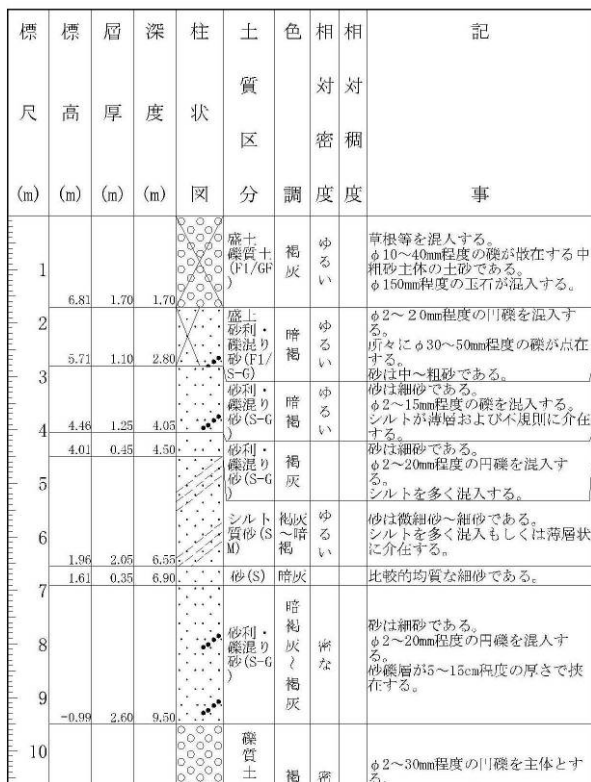
(R_Fcb14.190(H4)No.2)

図-4 中州性微高地におけるボーリング柱状図の代表例

(3)自然堤防 (N1) の地質 (図-5)

自然堤防 (N1) に該当するボーリングデータは、天竜川氾濫原の右岸側を中心に 22 本得られた。

分布範囲が河口付近から 10k 付近までと広範囲のため構成物は様々であるが、全体的な傾向として砂礫層が薄く、砂層ないし砂質シルト層が互層し、表層に近いほどゆるいものが多い。



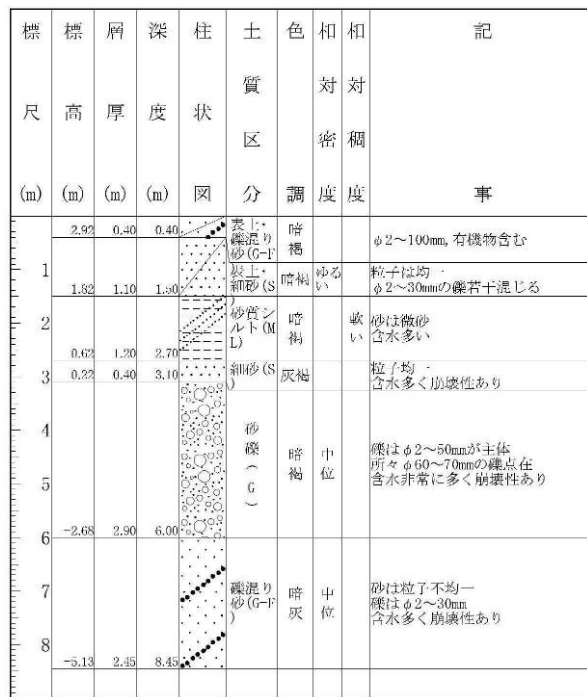
(L_NL03.040(H9)L3.0k-T)

図-5 自然堤防におけるボーリング柱状図の代表例

(4)氾濫原 (Fp) の地質 (図-6)

氾濫原 (Fp) に該当するボーリングデータは、天竜川氾濫原を中心に左右岸あわせて 57 本得られた。

天竜川峡谷部や扇頂部の河道沿いに小規模に分布するものでは砂礫質ないし砂質が優勢であるが、天竜川氾濫原に広く分布するものはシルト層が主体で、砂層や粘土層、砂礫層を挟在するゆるい層が多い。

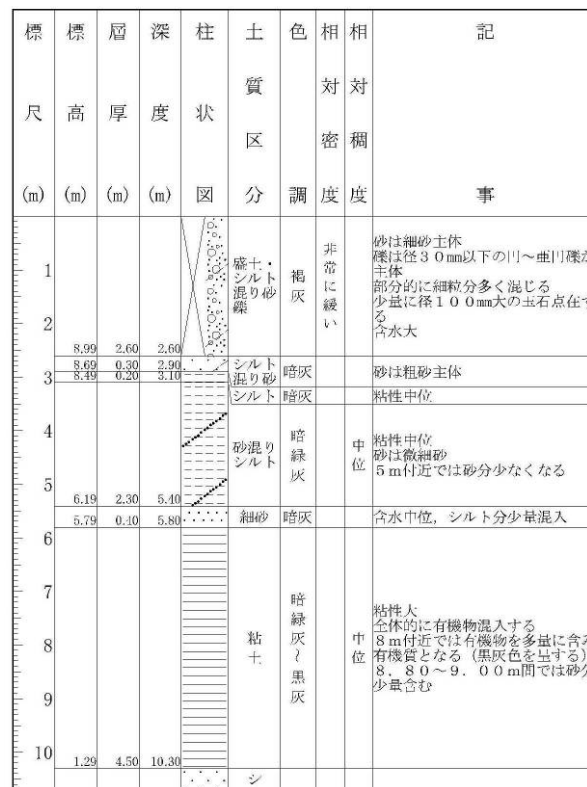


(R_Fp01.970(S59)No.10)

図-6 氾濫原におけるボーリング柱状図の代表例

(5)旧河道 (古地図なし) (Rn) の地質 (図-7)

空中写真判読で旧河道と判定されたもののうち、旧版地形図では河道であったことが確認できない



(R_Rn09.840(H10-2)R9.8-U)

図-7 旧河道 (古地図なし) におけるボーリング柱状図の代表例

ものを旧河道（古地図なし）（Rn）としているが、これに該当するボーリングデータは、天竜川扇頂部から天竜川氾濫原を中心に左右岸あわせて 21 本得られた。

天竜川峡谷部や扇頂部の旧河道では盛土の下は厚い砂礫層となっているところが大半であるが、一部砂層を挟在しているものも見られる。下流部でも砂礫層を挟むものが見られるが、ゆるい砂層やシルト層が主体となるものが多い。

(6)旧河道（古地図あり）（Rc）の地質（図-8）

空中写真判読で旧河道と判定されたもののうち、旧版地形図で河道であったことが確認できるものを旧河道（古地図あり）（Rc）としているが、これに該当するボーリングデータは、天竜川扇頂部から天竜川氾濫原を中心に左右岸あわせて 27 本得られた。

天竜川峡谷部や扇頂部の旧河道では盛土の下は厚い砂礫層となっているところが大半であるが、一部砂層を挟在しているものも見られる。下流部でも砂礫層や砂層、砂質シルト層が主体で、ゆるく含水が多いものが多数見られる。

標尺	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記
	12.78	0.10	0.10		砂礫 (G)	暗褐			礫径は50mm
1	11.28	1.50	1.60		細砂 (S)	暗褐	ゆるい		雲母片混入、粒子は均等 含水なし シルト分含む
2	11.08	0.20	1.80		玉石 (B)	暗灰			砂岩の玉石
3	9.28	1.80	3.60		細砂 (S)	暗褐	ゆるい		均等な砂、雲母混入 若干シルト混入 腐植物レンズ状に挟む 下部含水多い
4	9.08	0.20	3.80		細砂 (S)	暗灰	ゆるい		
5									
6									
7									
8					砂礫 (G)	暗灰		密なり非常に密な	礫は円礫、径2~60mm (max80mm) 含水非常に多い 礫種は砂岩、花崗岩、チャート等 磨滅激しい マトリックスは粗砂
9									
10									

(L_Rc11.600(S57)No.5)

図-8 旧河道（古地図あり）におけるボーリング柱状図の代表例

(7)河川敷（Rb）の地質（図-9）

現在の河川敷（Rb）に該当するボーリングデータは、天竜川氾濫原から河口部を中心に 23 本得られた。

現在の天竜川の氾濫の影響を受けることから砂礫層が優勢となっており、一部礫混じり砂質土層や砂層、砂質シルト層が見られる。

標尺	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記
1	5.31	0.70	0.70		粘土混り礫 (G-C)	淡褐			径2~80mmの円礫を主体とする
2					砂利・礫混り砂質土 (SP-G)	淡褐	ゆるい		細砂を主体とし、部分的にシルトをブロック状に混入する。 径10~20mmの亜円礫を混入する。 含水量が少ない。
3	2.21	3.10	3.80						
4	1.51	0.70	4.50		砂質シルト (M-S)	褐		中位	細砂~微細砂を全体に混入する。 粘り気がなく、含水量が少ない。
5	0.51	1.00	5.50		砂 (S)	淡褐		中位	粒径が均一な細砂。 含水量が少ない。
6									
7					礫 (G)	褐		中位	径10~30mmの亜円礫が主体。 最大礫径は40mm程度。 マトリックスは粗砂が主体。 含水量が多い。
8									61~7.0m以深は砂分の混入が多い。
9	-2.89	3.10	8.90						
10					砂利・礫混り砂 (S-G)	灰		密な	粒径が均一な粗砂~中砂。 径5~20mmの亜円礫を混入する。

(L_Rb00.800(H7)No.A)

図-9 河川敷におけるボーリング柱状図の代表例

(8)現況河道（W）の地質（図-10）

現況河道（W）に該当するボーリングデータは、河川敷のボーリングデータと同様、現在の天竜川の氾濫の影響を受けることから砂礫層が優勢となっており、一部礫混じり砂質土層や砂層、砂質シルト層が見られる。



(L_W00.510(N38-1)No.1)

図-10 現況河道におけるボーリング柱状図の代表例

天竜川氾濫原から河口部を中心に 14 本得られた。

(9) 既往文献による地質状況の推定

天竜川流域の微地形と表層地質との関係については、門村¹⁾の報告がある。本研究ではその記述(表-3など)も参考として地盤状況の推定を行った。

2.3 微地形と表層地質との関係を考慮した地質断面図の修正

以上の分析および既往の研究結果から、微地形と表層地質との関係が認められることがわかった。すなわち、空間的に連続する調査である地形分類の結果に基づいて、ボーリングデータが存在しない箇所を表層地質を推定することができる。そこで天竜川沿いの既存の地質断面図の修正を試みた。

天竜川の左右岸、それぞれ河口~25k までの区間について 21 カ所の修正を行った。その一例を図-11 に示す。

今後は、修正箇所における地質調査を行い、修正内容の検証を行う予定である。

表-3 天竜川下流域における微地形分類単位とその写真像の特徴および表層地質、土壌との関係¹⁾

大分類	微地形単位	一般的な写真像の特徴			写真判読によって推定された土壌母材 ¹⁾	現地調査による表層地質・土壌	
		形態・分布のパターン	土地利用	色調		表層地質 ²⁾	農学的土壌 ³⁾
河成	旧中州* (Fcb)	Alc に挟まれた微高地	畑・集落	極明るい~明るい	WS/PG~WG	砂礫	○砂礫を含む粗粒質土
	自然堤防* (NI)	Alc, Bs に限られた微高地	同上	明るい	SW & Si	砂を含む砂礫シルト, 粘土を含むシルト	○中粒質土
	ポイント・バー* (Pb)	同上	同上	同上	同上	同上	同上
	後背湿地** (Bs)	NI, Pb に囲まれた低平地	水田	極暗い	Si, C & O	シルト・粘土・砂まじり粘土など	●細粒質土
	旧低水路 (Alc)	溝状凹地	同上	極暗い~もつとも暗い	Si, C&O /Ws~WG		
河成-人工	人工改変された自然堤防・ポイント・バー	島畑密集地	畑	明るい	SW & Si		
海成	砂州* (Sb)	汀線に平行な微高地列	畑・集落	極明るい~明るい	SW	中粒砂	○砂質土
	堤間湿地** (IS)	Sb, Sd 間の凹地	水田	極暗い	Si, C & O	粘土・砂	●粗粒質土
潟性-(河成)	潟性低地** (LI)	太田川低地下流部の極低平地	同上	暗い~極暗い	Si, C & O	粘土	●細粒~極細粒質土
有機質性-(河成・潟性)	泥炭地*** (Pt)	Bs, Alc, LI の中	同上	もつとも暗い	Pt & O	泥炭・黒泥	●泥炭・黒泥
	湿地***	同上	同上	極暗い~もつとも暗い	O	粘土	●+
風成-(人工)	砂丘 (Sd)	(砂州上に形成され、人工改変されている)	森林・裸地	極明るい~もつとも明るい	SW (細砂)	細粒砂	砂質土

* 図2-2 で砂質~砂礫質の微高地として分類 **泥質低平地として分類 ***有機質土分布地域として分類

1) W: 分級のよい P: 分級の悪い G: 礫 SG: 砂礫 S: 砂 Si: シルト C: 粘土 O: 有機質土 Pt: 泥炭 WS/PG-WG: 分級のよい砂の薄層におおわれた砂礫 Si, C & O/WS-WG: 分級のよい砂または礫を薄くおおうシルト, 粘土および有機質土

2) 加藤・広川 (1965) による 3) 松坂ほか(1965) による ○細地土壌 ●水田土壌 +常にグライ土壌 -ときにグライ土壌

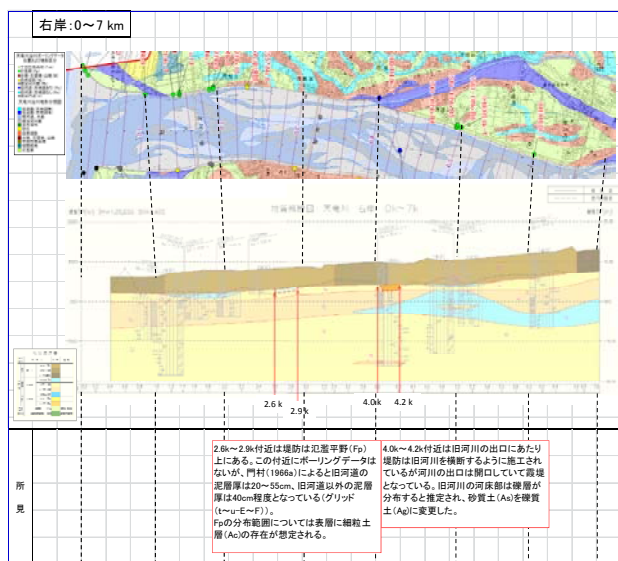


図-11 微地形と表層地質との関係に基づく既往地質断面図の修正案

3. 土層強度検査棒による高密度サウンディング調査

河川周辺の微地形と基礎地盤の地質との関係性についてはある程度関係するものの、1対1対応するようなものではないと考えられる。そこで、河川堤防基礎地盤の詳細把握のための調査方法の一つとして、斜面の土質調査用に開発された、土層強度検査棒²⁾による高密度サウンディングの適用を試みた。

3.1 調査地域と調査目的

調査地域はある河川の左岸、河口から約13km付近である。地形的には山間の狭窄部直下流の平野部に当たり、治水地形分類図では微地形分類では旧河道とされている地域である(図-12)。

当地域では出水に伴って河川堤防の川裏法尻付近の水田1カ所に多量の噴砂を伴う地盤漏水が生じた。

3.2 調査方法

土層強度検査棒は、直径1cmのステンレス鋼製のロッドの先端に、直径1.5cm、先端角60度のコーンを備えた棒で、体重により貫入するものである。地盤への貫入時に作業者の手に伝わる感覚や音で、地盤構成物質が砂分を含むかどうかや、定性的な地盤強度の深度方向変化が把握できる。

河川堤防の川裏法尻付近の水田において、土層強度検査棒による高密度サウンディングを行った。

測線配置は、堤防縦断方向の地盤構成物質の変化を知るために堤防川裏法尻付近に主測線を配置したほか、地盤の三次元構造を把握するために、おおむね50m間隔で主測線に直行する方向の測線を配置した(図-12)。

また、測線上での測点間隔は2m、調査深度約2mとした。

3.3 調査結果

土層強度検査棒を貫入する際に調査者の手に伝わる感覚に基づき、相対的に粗粒な堆積物(周辺のボーリング資料によるとシルト・砂に相当すると考えられる)が深度2m以浅に出現する範囲を図-12に示す。図より、地形判読によって旧河道とされた範囲において表層地質の帯状構造があることがわかる。相対的に粗粒な堆積物の分布は現在の河川に近いところに限定されている。また河川堆積物の堆積過程を考えると、河川の流路に近いところほど粗粒な堆積物が分布すると考えられる。

また、図-12に地盤漏水箇所を合わせて示した。地盤漏水箇所は粗粒な堆積物がまとまって分布する範囲の上流端付近にする。このことは地盤漏水と地盤構成材料や地盤構造との間に、密接な関係があることを示唆する。すなわち、粗粒な堆積物はその分布より、川表側から川裏方向に連続しており、河川水位の上昇によって川裏方向に堆積物を通じて浸透が起こった可能性が考えられる。

以上のことから、地形判読によって旧河道とされた範囲の中でも、河川の流路に近いところと遠いところで、地盤の工学的特性が異なることがあることがわかった。

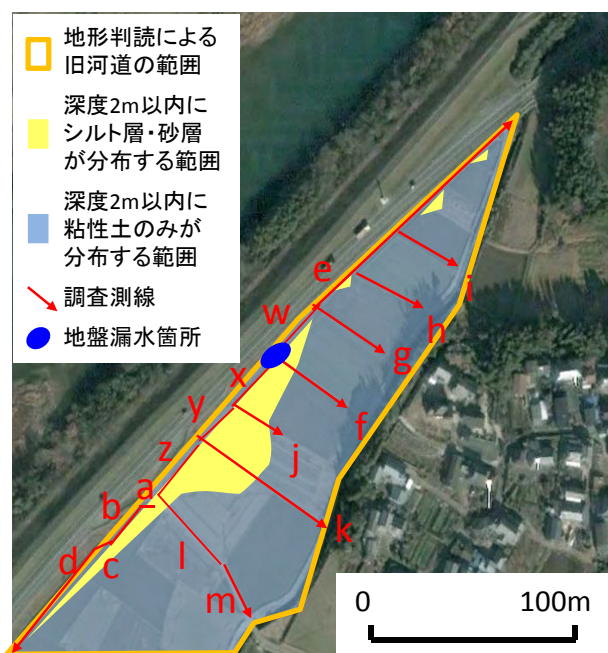


図-12 土層強度検査棒による調査で明らかになった、旧河道域の地質の帯状分布

3.4 河川堤防基礎地盤の土層強度検査棒による調査の有効性

土層強度検査棒による調査は、安価に、かなり正確に表層地質の推定が可能であると考えられる。

今回の実績では 2m ピッチ、深度 2m の調査で、2 人 1 組で 1 日 250m 実施できた。この実績に基づくと、縦断測線 1 本、1,000m に対して横断測線 10 本、各 50m を配置すると調査延長が 1,500m となり、調査の実施に 12 人日、解析に 3 人日程度で実施が可能と考えられる。

土層強度検査棒による表層地盤調査は、地形判読調査と併用することで、表層地盤の構成材料や構造に関する、高精度かつ安価な調査結果を提供できるものと考えられる。今後、調査事例を増やしてその有効性のさらなる検証を行う予定である。

4. まとめ

・天竜川下流域を対象に河川周辺の微地形と表層地質との関係を検討したところ、微地形と表層地質との間に一定の関係が認められた。そこで微地形と表層地質との関係に基づき、地質断面図の修正を試みた。

・また、基礎地盤の詳細把握のための調査方法として、土層強度検査棒による高密度サウンディング調査がある河川の地盤漏水箇所周辺に適用したところ、同一地形区分域において地質の帯状構造が明らかになり、漏水原因の推定に有効であった。

謝辞

国土交通省浜松河川国道事務所調査課には、ボーリングデータおよび地質断面図のご提供を頂きました。深く感謝致します。

参考文献

- 1) 門村浩(1966): 航空写真による軟弱地盤の判読<第 1 報 微地形の系統のおよび計測的分析による判読法の適用について>(2). 写真測量, Vol.5, No.1, pp.10-25.
- 2) 佐々木靖人(2010): 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案). 土木研究所資料, No.4176, 40p.

An evaluation technique of permeation safety and earthquake-resistance of river levee system.②

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Geology and Geotechnical
Engineering Research Group
(Geology)

Author : SASAKI Yasuhito
SHINAGAWA Shunsuke
AGUI Katuhito

Abstract:

This study considering efficiently detailed investigation method for foundation of river embankment. In 2012FY, relationship between micro landforms around the river and surface geology was analyze in down part of Tenryu River, and tried more precisely geologic estimation based on the result. Dense sounding investigation by the Soil strength testing apparatus was apply to a seepage failure site of foundation beside river embankment. The result showed zonal distribution of sediments in the same micro landform classification area and effective for estimation of the origin of leakage.

Key words: Foundation of river embankment, Landform classification map, Micro landforms, Surface geology, Soil strength testing apparatus