

吉野川堤防の開削調査結果と古文書との対比

平出 亜・高野政志・松島健之

On correlating the observation of cutting face of dyke with ancient documents

Akeshi Hiraide, Masashi Takano and Takeshi Matsushima

Abstract

The first attempt of improving the embankment of the Yoshino River started in 1900 and completed for the lower river section in 1927. Although the plan of the project was well recorded in the literatures and historical books, such as Yoshino River Centennial History, engineering design specification and technical background information were not.

Recently, we investigated and examined cross sections of the levee and engineering construction techniques used back then.

The levee exposed via the cut and cover method clearly showed stripes on its cross section consisted with alternating layers of silt and sand. The stripes were considered to be a unique characteristic of the technologies used in the past constructions of the levee. Started with this discovery, extensive literature research and field investigations on the old levee construction techniques were carried out. As a result it was found that the physical characteristics of the cross sections, such as geometry and composition of the stripes and the width and slopes of the embankment, agreed with what a Dutch civil engineer Johannes de Rijke has once proposed for the similar project on the Yodo River in late Meiji Era.

キーワード) 吉野川堤防 築堤技術 樋門 開削調査

1. まえがき

吉野川の第一期改修工事は、下流域で明治40年から始まり、昭和2年に竣工した。当時の河川改修計画については、吉野川百年史^{*1)}等の既往の資料、文献にまとめられているが、具体的な堤防の設計思想や施工方法についての記録はほとんど残っていない。

今回、吉野川右岸(8k6)で開削された堤防の内部構造を観察する機会を得た。

特に今回の堤防開削調査では、開削断面に鮮明な縞模様が残っており、これが当時の施工方法を解明する鍵となった。不確定な要素も残るが、文献資料と合わせて、当時の築堤技術がある程度推定できた。

2. 明治後期の堤防工事

明治初頭、日本政府が近代河川技術を導入するため数名のオランダ人技術者を雇い入れた。この技術責任者であったファン・ドールンが、明治6年に「治水総論」^{*2)}を記している。又、その中の技師の一人、ヨハニス・デ・レイケは、約30年に渡って日本に滞在し、淀川や木曾三川等の主要な河川の改修に実績を残しており、吉野川においても、明治17年に吉野川流域を巡視している^{*3)}。なお、明治29年から始まった淀川改良工事が、我が国最

初の大規模連続堤防工事であるといわれている。淀川改良工事では、堤防の標準断面を定め、大幅な引堤と新淀川の開削に伴う新堤防の設置、既存堤防の改築を行っている。

淀川百年史^{*4)}によると、デ・レイケ技師は、この淀川改良工事の前、明治20年4月に当時の土木局長西村捨三あてに「大阪築港並、淀川洪水通路改修計画報告書」を提出しているが、この中で、新堤防の築堤工法および、大土工工法についても大略以下のように意見を述べている。ただし、実際に施工された淀川改良工事は、海外留学から帰国した沖野忠雄が、デ・レイケ技師の上記報告書をもとに、大胆に見直した計画に基づいて行われた^{*5)}。このように、明治20年代に入ると、海外留学から帰国した日本人技術者や大学卒業技術者が、大規模な河川改修の計画や設計を行うようになっていった。

デ・レイケの意見

＜新堤防の築堤工法について＞

1. 余裕高は6尺(1.82m)とし、天端幅は20尺(6.06m)法面勾配2割を標準とする。
2. 堤防表法は計画高水位まで、厚さ2尺(0.61m)以上の粘土で覆い、また両法面には草を植え付

- け、所々に灌木を植えること。
3. 堤防の敷地は、草木類を除去し、堤基に当たる部分は土を深さ5～6寸(15～18cm)掘りおこし、砂地のところには粘土を充填すること。
 4. 盛土は手押車を用いるときは1尺(30cm)の層厚ごとに、またそれ以上の重運搬器具を用いるときは2尺(60cm)の層厚ごとに積み上げること。
 5. 粘土および土塊は、小片に破碎して、踏み固めること。
 6. 盛土の車に人馬を用いるときは、万遍なく踏み固める必要から、あらかじめ順路を決めておくこと。
 7. もし土運搬に馬を用いないときは、別に馬と馬夫を雇い、間断なく土層上を従来させて踏み固め、さらに小槌で打って、法肩を形成すること。
 8. 各層は、雨水の排水を良くし、重力による全体の締まりを図るための中央を高くすること。
 9. 粘土ばかりで盛土する時には、粘土層の土に砂を含む普通土1/8を盛土し、踏み固める。両法面には砂を含む普通土の薄層を敷いて、草を植え付ける。

<大土工工法について>

大土工工事には、土砂運搬器が必要であるが、これには軽便鉄道が最も適当である。軽便鉄道は軌間2尺(60cm)で運搬車は粘土0.5m³、軽い砂0.75m³が積載でき、平地および1/40以下の勾配のところでは2人の人夫で運転できる。

以上の記載の中には、土の締固めについて細かな配慮が記されており、締固めが土工の品質を大きく支配するものとの認識があった事を裏付けるものである。又、土の締固め方法は現在とほぼ同じであり、当時としては、かなり品質の良いものであったと考えられる。

工事は、多数の輸入した建設機械を駆使して、機械化施工が行われた。一方、淀川改良工事では、大土工機械が投入された半面、人力にたよるところも多かった。その一つに“千本づき”，“土羽ふみ”という堤防締固め工法が挙げられる。このころ、堤防工事には淀川沿岸の農民達が日雇労働者としてこぞって参加したが、男はトロ押し、女は千本づきの作業を受け持ったのである(写真-1)。以下に“千本づき”，“土羽ふみ”についての記述を抜粋する。

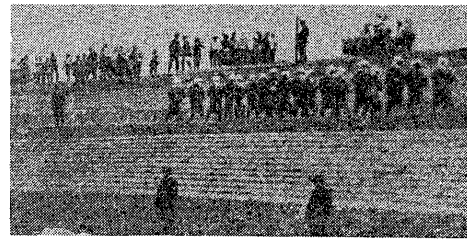
<千本づき> 淀川工事百年史より抜粋

千本づきは、1.5mくらいの杵をもって、新しい土砂を置いたばかりの堤防の上に2列か3列縦隊に並び、集団労働歌である「千本づき唄」に合わせて、両手で杵を上下して土を突き固め、さらに両足で交互に踏み固めるものである。千本づきには、美声で

機知に富んだ即興詩を作ったものが師匠となって横隊、縦隊の指示をし、また師匠の声に合わせて、搦手も唱和し、手にも足にも自然に力が入ったという。

<土羽ふみ>

以上のような千本づきの唄とは別に、また土羽ふみ唄というのがあった。やはり同じような地搦唄であるが、土羽ふみの場合は杵を用いず、多勢の女土工が列をつくり足ぶみしながら横に移動して、土羽一つつまり堤防の斜面をふみ固めたのである。



写-1 千本突きによる締固め

Photo 1: Hand compaction

吉野川の第一期改修工事も淀川改良工事と同様、ほとんどが新堤防を掘削土で築立している。当時の施工技術を詳しく記録した「吉野川百年史」*1)から抜粋して以下に示す。

明治になって行われた諸外国からの積極的な技術導入は、多数の人間や牛馬の労力と土石・木材等の天然資材を用いていた従来の施工技術に大きな変革をもたらした。

河川工事で本格的な機械化が行われたのは明治29年着工の淀川改修工事からである。

(中略)

全国の主要河川は在来の水制・護岸を主体とする低水工事から、連続堤を主体とする高水工事は移行期を迎えていたが、築堤工事の高効率化は高水工事方式への移行を円滑にした。築堤工事は、軌道上を機関車によって牽引される多数の土運車に、ラダーエクスカーターを主とする掘削機で、連続的に土砂を積み込み築堤箇所まで運搬し、締固めは人力や機関車の自重で行い、2～3年放置して自然圧密を促進させた後、法拵え、芝付を行って完成されるのが一般的な施工法であった。

又、大規模工事では、土運搬に20t級機関車が使用されるため、仮橋や軌条敷設等仮設工事に高度の技術や多くの日時を要し、仮設工のいかに施工法・経済性を左右した。

この方式による築堤工事技術は、明治から大正に

かけてほぼ確立した。しかし、大規模工事に比べ小規模工事では、軌道上を5～7t級の機関車または牛馬によって土運車を牽引して土運搬を行い、積み込み、卸し、締固め等は依然人力に頼るのが一般的であった。

吉野川第一期工事と淀川改良工事の関係については、以下の事があげられる。

- ・ 吉野川第一期改修工事における本施工は、明治45年から始まった。なお、先の淀川改良工事は明治43年に終了しており、淀川で使用した掘削機エキスカベーターと機関車が吉野川に回送され、大型建設機械は淀川改良工事から吉野川に引き継がれた。
- ・ 吉野川第一期築堤工事は淀川改良工事と同様、新堤防を掘削土で築立する我国最大級の土工であった。

このように両工事は、施工時期が連続的關係にある事、施工機械が回送されている事、同規模同種の工事であった事から考えると、淀川改良工事で実施された堤防締固め工法がある程度吉野川第一期工事にも適用された可能性が高いと考える。

3. 堤防開削調査から推定した大正時代の築堤技術

当堤防は、吉野川第一期改修事業によって築造された堤防であり、その後、法面の張り芝や天端の舗装等の付帯工事を除けば、これまで大きな拡幅や改修は行われていない。調査箇所での堤防断面形状は、概ね、高さ8.7m、天端幅8.0m、法勾配 表1:3.1 裏1:2.0である。

観察においては、開削断面の表面をジョレン等を用いて丁寧に剥ぎ取りスケッチした。

開削断面の様子は、写真-2及び図-1に示した。

(1) 堤防断面の模様から判ること

- 堤内側に小さな台形状の堤防跡(以降、初期堤1と称す)が認められる。この小堤防はシルトによって構成されており、これを十数cm程度の細砂の層②が被覆している。
- 堤内側の初期堤1を始点にして、川表側に拡幅するように細砂とシルトが互層をなす斜めの施工跡(縞模様)が認められる。シルト部の層厚は30～130cmとバラツキが大きい、40～60cm厚の所が多い。又、細砂部の層厚は20～90cm程度で、シルトに比べバラツキが小さく、30cm程度の厚さが多くなっている。
- 堤外側の堤防底部にも小さな台形模様は認められる



写-2 開削断面全景

Photo 2: Entire view of cross section of open cut

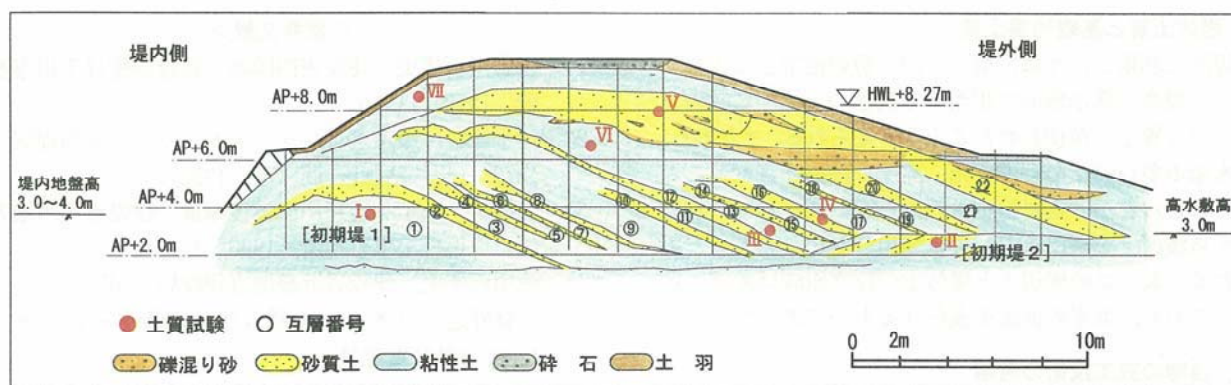


図-1 開削断面のスケッチ

Figure 1. Detailed schematic of the cross section

(初期堤2と称す)。ここでの縞模様は逆向き傾斜を呈している。

- d. 堤内側の初期堤1を拡幅嵩上げしたようなやや大きい堤防跡が認められる。このやや大きい堤防を被覆するように細砂層⑩が分布している。
- e. 堤防上部及び堤外側の法肩付近は砂が主体となっており、小礫分の混入が多い。斜めに撒き出したような跡が認められるが、全体的に乱れており、不明瞭である。又、比較的緩い。

以上の観察結果から、本堤防は初期堤1を始点とし斜めに撒き出されており、規則的な縞模様から土質材料を意図的に使い分け、交互に撒き出していたことが推測できる。

(2) 堤体の材料及び締固め度について

堤体を代表する7カ所の粒度特性と締固め特性を整理して表-1に示した。締固め度は、全体に概ね80%以上を示している。特に、初期堤1の測点Iの締固め度は85%、初期堤2の測点IIの締固め度は89%と相対的に高い値を示している。また、規則性のある縞模様内である測点IIIでは締固め度83%、測点IVでは締固め度、84%とやや高い値を示している。これは縞模様がある箇所は、単に土を盛りこぼしただけでなく、“土羽ふみ”のような方法で土を踏み固めたものと考えられる。

一方、模様の不明瞭な箇所である測点V, VI, VIIでは、締固め度78, 80, 82%と相対的に低い値であり、締固め管理が不十分であったことも考えられる。

箇所名	I	II	III	IV	V	VI	VII
土質名	シルト	シルト	シルト	細砂	細砂	シルト	シルト
乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.40	1.49	1.49	1.39	1.25	1.38	1.40
自然含水比 $W_n(\%)$	19.8	20.1	21.7	8.4	8.7	18.8	13.6
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	1.64	1.68	1.79	1.66	1.60	1.66	1.75
最適含水比 $W_{op}(\%)$	15.8	18.5	13.1	17.5	16.9	16.3	13.8
締固め度 $D(\%)$	85.3	89.1	83.3	84.1	78.3	82.7	79.8
層厚 (cm)	搬路堤 (川敷側)	搬路堤 (川敷側)	55cm	50cm	250cm	150cm	150cm

表-1 堤体内部の土質物性値

Table 1: Characteristic of soil of levee

(3) 堤体土質と基礎地盤土質

堤防に利用した土は、周辺の河川敷の掘削土とされており、現在の高水敷高に相当する高さの土（沖積層のシルトや砂質土）が使われたことが考えられる。すなわち、含水量の多い河床の浚渫土は、河岸に陸揚げされることなくほとんどが沖合に捨土されたと記録^{*1)}されていることから浚渫土を築堤土としては利用しなかったものと思われる。又、この周辺土と堤体土の粒度組成は非常に類似しており、従来の仮説を裏付けるものであった。

4 当時の施工技術の考察

今回の調査結果から当時の築堤方法において特筆する

項目をまとめて以下に示す。

- ① 吉野川の第一期改修工事における築堤では、機関車を利用されていた。機関車を利用するには十分な耐力を有した軌道が必要であるため、搬路としての初期堤は必要であろうし、斜め撒き出しは施工上効率率のでもある。このように考えると、この初期堤1と称する小さな堤防形状は、施工初期の軌道搬路であった可能性が高い。
- ② 今回確認した堤防の内部構造は淀川改良工事での締固め方法の内容と多くが整合する。例えば、撒き出し層厚を30~60cmにしている事や、粘土および土塊は小片に破碎して踏み固めている事、土は万遍なく踏み固める事等であり、土の締固めに対する意識の高さがうかがえる。土の締固めは手間のかかる仕事で工期を急いでいる時は、その効果がすぐに見えにくい事もあり、ないがしろにしたくなる工程であるが、淀川改良工事や吉野川第一改修工事は、当時の土工事としては、我が国最大級の規模であり、当時の土木技術の粋を集め、入念に施工されたものであったと考えられる。
- ③ 斜めの縞模様は、規則的な配置から意図的に盛土の安定を図るための工夫であったものと推測する。すなわち、斜め撒き出しは、足ふみをしながらの“土羽ふみ”という締固め方法や施工中の雨水排水を考えたものであると推測する。さらに、砂と粘性土の互層は、砂層が排水ドレーンの機能を果たし、盛土の圧縮を促進させ、盛土の安定を図るための工夫であったものと考えられる。

5. あとがき

土木史等に明治~大正期の土木設計図や基準類はまとめられたものがいくつかあるが、施工方法のような資料はあまり残っていない。今回、大正時代初期の河川土木技術における施工方法の一端を知ることができた。しかしながら、隠れた施工上の苦勞や知恵が十分に明らかになったわけではない。仮設工事にも様々な工夫がなされたものと思われる。土木技術も日進月歩で発展してきているが、昔の技術から学ぶものも多きを改めて感じさせられた。

<参考文献>

- 1) 吉野川百年史. 建設省四国地方建設局徳島工事事務所. 1993. 1196p
- 2) 治水総論. 般道論(ファン・ドールン) 淀川碇記. 1873. (現代語訳版 間宮清. 1992)
- 3) 工師デ・レイケ吉野川検査復命書. 建設省四国地方建設局徳島工事事務所. 1996. 123p
- 4) 淀川百年史. 建設省近畿地方建設局. 1974
- 5) 上林好之. 日本の川を蘇らせた技師デ・レイケ. 1999. (株)草思社
- 6) 写真集 吉野川今昔II. 吉野川文化研究会. 1999. 150p