

## 中国地方整備局における河川堤防強化に対する取り組み



Reinforcement of River Banks by Chugoku Regional Construction Bureau, MLIT

草野慎一 Shinichi KUSANO (国土交通省中国地方整備局河川調査官)

近年、国土交通省においては東北地方太平洋沖地震（H23）や九州地方北部豪雨（H24）に伴って発生した堤防への被害を契機として、それぞれ液状化対策や堤防設計のためのデータの照手法等の知見を加えながら技術指針を改定して対策を進めてきている。中国地方整備局においても、平成24年9月に実施した堤防の緊急点検結果を元に、これら指針に基づいた対策工事を多数実施しているところである。本稿では、国土交通省における堤防強化に関する指針の変遷を概説するとともに、現在実施中の工事を紹介し、さらに今後の課題について報告するものである。

キーワード：堤防強化、ドレーン、断面拡大、地盤改良、静的砂杭締固 (IGC：H-0, K-1, K-7)

## 1. はじめに

平成24年7月11日から14日にかけて、停滞した梅雨前線により九州地方北部は短時間に記録的な豪雨に見舞われた。福岡県八女市の黒木という観測所では、1時間で94mm、3時間で184mmという極めて強い降雨が観測され（いずれも既往最多雨量）、もし気象庁の大雨特別警報が昨年度から運用開始されていたならば、間違いなく適応されていたと思われる豪雨であった。この豪雨のために、大分県の山国川や福岡県の筑後川水系の花月川、そして矢部川などで大きな被害が発生した。中でも矢部川の被害は、国が直轄で管理する河川の堤防が決壊して浸水被害を発生させたという点で、特に重要な意味を持つ災害であった。

筆者の所属する国土交通省中国地方整備局（以下、「中国地整」）では、中国地方管内の13河川を管理しているが、上記の矢部川での破堤災害を受けて、13河川の総延長1,140kmに及ぶ河川堤防において安全性に関する緊急的な点検を実施した。その結果、1,140kmのうち約1割強にあたる140kmで、何らかの堤防強化対策が必要だという調査結果となり、昨年度後半から開始した堤防強化工事を今年度も継続して実施している所である。

本稿では、今回の堤防点検を国土交通省ではどのような基準に則って実施しているのかのかという点と共に、実際に実施した堤防強化事例、そして今後の検討課題について御紹介したい。

## 2. 国土交通省における堤防設計基準の変遷

## 2.1 安全性照査法の導入（河川堤防設計指針，H14年度）

河川堤防の設計については、従来から河川管理施設等構造令によって基本的な断面形状が規定されている。この構造令で定められているのは、堤防の断面形状（のり勾配、天端幅、余裕高等）であり、いわば形状規定方式を取っている。

堤防は長い歴史の中で順次拡張されて出来上がって来ている事の多い構造物であり、そのため時代々々でどのような材料が用いられたのか、またどのような施工方法がとられたかの詳細な記録がなかなか得られない。そこで、内部構造が判らない以上、外形的な形状から一定の安全性を経験的に判断せざるを得なかったため、このような手法を取ってきたものだと言える。この方法は簡便な割には、実用的な効果もかなり期待できるという点で極めて効率的な方法であり、堤防整備の基本として十分な役割を果たしてきた事は間違いないところである。

一方で、ある計画高水位に対して形状的には条件を満たしている堤防が、その計画高水位以下の洪水位で破壊される事例は多数報告されており、この「形状」による方法では、洪水に対する堤防の安全性を評価する事は難しいのも事実である。そこで、平成14年に当時の国土交通省河川局（現在は、水管理・国土保全局）は「河川堤防設計指針」を示し、土質工学的な知見に基づく安全性照査法を用いた堤防設計法を導入した。

この「河川堤防設計指針」により新たに導入された考え方の概要は、概ね次のようなものである。まず、ある河川の堤防整備区間を、河道特性や氾濫区域の分布等の条件から判断して、いくつかの「一連区間」に分けていく。さらに、この一連区間の中を、「堤防に求められる三つの機能」

の観点から区分して「細分区間」を設定し、その細分区間毎に「代表断面」を設定していく。

なお上記の”堤防に求められる三つの機能”とは、以下の三点である。

- ①浸透食機能：洪水及び降雨による水の浸透に耐える機能
- ②耐侵食機能：洪水による浸食に耐える機能
- ③耐震機能：地震による堤防の破壊や変異に耐える機能

こうして設定した代表断面毎に、また対象とする機能毎に、外力と耐力を設定して比較する事により、安全性の評価を行う事となった。具体的には以下の考え方により照査を行う。

- ①浸透食機能：基礎地盤及び堤体のパイピング破壊、堤防法面の滑り破壊に対する安全性
- ②耐侵食機能：堤防及び高水敷の侵食限界の判別
- ③耐震機能：堤防の変形を数値解析により算定

なお、こうして判断した照査結果が、実際に起こる現象と照らしてどれだけの信頼性があるかを常に検証を行う必要があり、そのため継続的なモニタリングの実施があわせて重要となる。

以上、堤防の形状だけでその整備水準を判断していた時代から、外力と耐力の比較による力学的な安全性照査法が導入されてきた経緯を述べてきたが、この考え方はその後も堤防の設計手法の基本的枠組みとして継承される事となる。

## 2.2 東日本大震災後の耐震性能照査(河川堤防の耐震性能照査指針, H24 年度)

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方から関東地方の広範囲にわたって河川堤防が被害を受け、被災箇所は 2,000 箇所を超えるに至った。これだけの被害が発生した原因として、まず堤防設計に用いていた地震動の大きさの問題があった。今回の地震では、従来から堤防の設計に用いていた地震動に比して、遙かに大きい地震動が発生したのである。

さらに、被災後の堤防を調査する中で判明してきたのは、液状化が発生する場所についての知見であった。今回の地震で大規模な堤防破壊が引き起こされた箇所において、その主な原因は液状化であったが、しかしその発生場所は従来から想定していた基礎地盤の中だけでなく、堤体そのものも多数液状化していたのである。

この「想定する地震動のレベルを上げる必要がある」という点と、「基礎地盤のみならず堤体自体が液状化する事で大きく堤防が沈下する事がある」という二つの点を鑑みて、国土交通省水管理・国土保全局は平成 24 年 2 月に、「河川構造物の耐震性能照査指針」を発表しその対応をとる事となった。

その基本となる枠組みは、2.1 で説明した「河川堤防設計指針」を踏襲しており、「一連堤防」や「代表断面」を設定するという手順は変わっておらず、以下のような内容が上積みされる形で整理がなされている。

まず、地震動については、レベルを二つに区分して対応を図る事となった。その二つとは次の通りである。

- ①レベル 1 地震動：河川構造物（堤防を含む）の供用期間中に発生する確率が高い地震動
- ②レベル 2 地震動：対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動。

そして、堤防の耐震性能照査の実施にあたっては、この「レベル 2 地震動」を対象として実施する事となった。

次に、液状化の発生が基礎地盤のみならず堤体そのもの部分でも発生し、大きく堤防が沈下した事例を調査した結果、この二つが同時に発生しても、堤防は元の高さの 25%分の高さは残るという事が判ってきた。

そこで、この 25%は残存するという事を踏まえた上で、3 段階の点検によって順次精度を上げながら堤防の耐震性能を評価する手法が導入された。その 3 段階にわたる点検の概要は次のとおりである。

### ①一次点検

地震被災後の堤防の残存高さを元の堤防の 25%と仮定し、その高さと照査対象とする外水位（照査外水位）を比較する。その結果、堤防の残存高さが照査外水位に比して不足する場合は、一次点検で「問題あり」と判定して二次点検の対象箇所とする。

なお照査外水位とは、平常時の最高水位であり、14 日間に発生する確率が 1/10 の水位である。

### ②二次点検

二次点検は、一次点検で「問題あり」との判定がなされた箇所について、より詳細な点検として実施するものであり、そのポイントは堤防天端の沈下量を、液状化層の厚さ及びその液状化層の繰返し三軸強度比を用いた簡易な計算式で算出し、それを照査外水位と比較するというものである。これにより、一次点検では堤防天端沈下量は「元の堤防高の 75%」と経験的な平均値で評価していたものを、個別箇所の条件を考慮した値として、より正確に設定し、安全性を評価できるようになっている。そして、二次点検でも引き続き「問題あり」と判定された箇所については、最終的な点検である三次点検へ送られる。

### ③三次点検

三次点検では代表断面の地形モデルを作成し、FEM 解析を実施して堤防天端の沈下量を計算する事となる。地震が対象であることから、解析手法として動的解析を用いる事も考えられるが、堤防は比較的単純な構造物である事から、静的解析で照査可能という立場を取っている。

また、三次点検においては、計算結果による堤防天端高さと照査外水位を単純に比較するという方法ではなく、堤防の浸透破壊を考慮する観点から、被災後の堤防内の飽和層厚（基礎地盤へめり込んだ堤防下端から堤防内水位までの盛土厚さ）が 1 m 以上あり、かつ堤防高さの 2 割以上ある場合には、耐震性能に「問題あり」と判断する。そして、三次点検で「問題あり」と判断された堤防については、堤防内水位を下げるためのドレーン工や、基盤の液状化の発

生を抑制するための地盤改良工事など、照査結果に応じた対策工事を実施していく事となる。

以上、東北地方太平洋沖地震において発生した、多数の堤防の液状化被害を契機として導入された、「河川堤防の耐震性能照査指針」について御紹介させて頂いた。

### 2.3 九州での破堤被害を受けて（河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント、H25年度）

平成24年7月の九州北部豪雨によって、福岡県矢部川における破堤被害が発生した事は冒頭でご紹介した通りである。その後、平成24年度の後半から、堤防補強の対策が本格化した事も既述のとおりであるが、この対応を行う中で、国交省の水管理・国土保全局は平成25年6月に、「河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント」（以下、「照査・設計ポイント」）を作成した。

矢部川の破堤災害は、その後の詳細な現地調査の結果、基盤漏水による堤防のり尻からの漏水に始まり、その後堤体直下に発生した空洞に堤体が陥没するという過程を経て破壊に至った事が判明している。このような堤防決壊プロセス自体は、特段新しいものではなく従来から認識されてきたものの範囲内であった。

東北地方太平洋沖地震に伴う堤体内部の液状化破壊は、前述のように新たに認識された事象であり、その新しい事象に対応するために「河川堤防の耐震性能照査指針」が必要になったものであった。一方で、今年の九州北部豪雨に伴う破堤災害は、原因は基盤漏水であり、その意味では新たな技術基準は必要がないように思われるが、逆に一般的な被害であったからこそ、今回の「照査・設計のポイント」は策定されたものと言える。

この「照査・設計のポイント」は、タイトルのとおり堤防の設計に使用するデータの「照査」という事に力点を置いている。平成14年の「河川堤防設計指針」の導入後、堤防の設計は代表断面による浸透計算やのり面安定計算によって実施される事となったが、適切な設計の前提となっているのは、地盤や堤体の透水係数や粘着力、内部摩擦角といった土質データの正確さである。堤防の設計手法を様々に高度化させたとしても、この土質データが不正確なものであれば、設計結果もそれに則ったレベルのものでしなくなる。九州北部豪雨災害での堤防破壊災害は、その事の重要性を改めて認識させたものであった。よって、これまでに取得されて来た土質データに一定のスクリーニングを掛ける意味で、この「照査・設計のポイント」は作成されている。

公共事業の実施のために取得される地盤や堤体の土質データは、それ自体が情報インフラとして貴重なものであり、広く一般に公開し、大学や各種研究機関の研究者の方々の知見も頂きながら、よりよい設計方法の確立に使用されていく事が望ましい。国土交通省でも、そのような要望に応えるために、平成27年度の1月を目途に、インターネット上へのデータ公開を始めようとしている所である。その際に、公表されるデータの品質保証的な意味合いとして、この「照査・設計のポイント」に則って、今一度データの妥当性をチェックする事となっている。

上記のとおり、「照査・設計のポイント」には、特別に新たな知見が盛り込まれている訳ではないが、堤防の構成や照査・設計の手順、土質定数の解説などが非常に分かりやすく簡潔にまとめられているのが特徴である。



写真-1 施工前



写真-2 盛土作業



写真-3 侵食防止シート設置



写真-4 完成

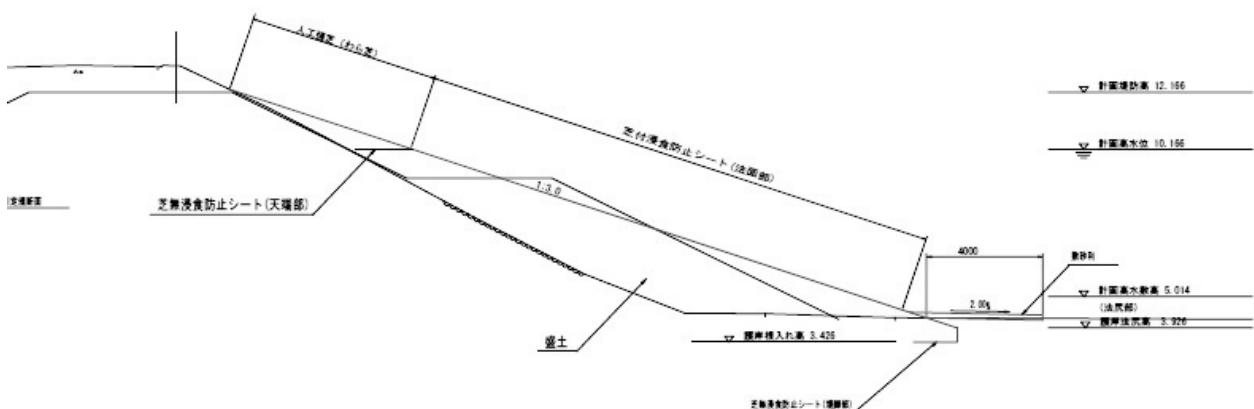


図-1 標準断面図 (高梁川西阿知堤防/断面拡大)

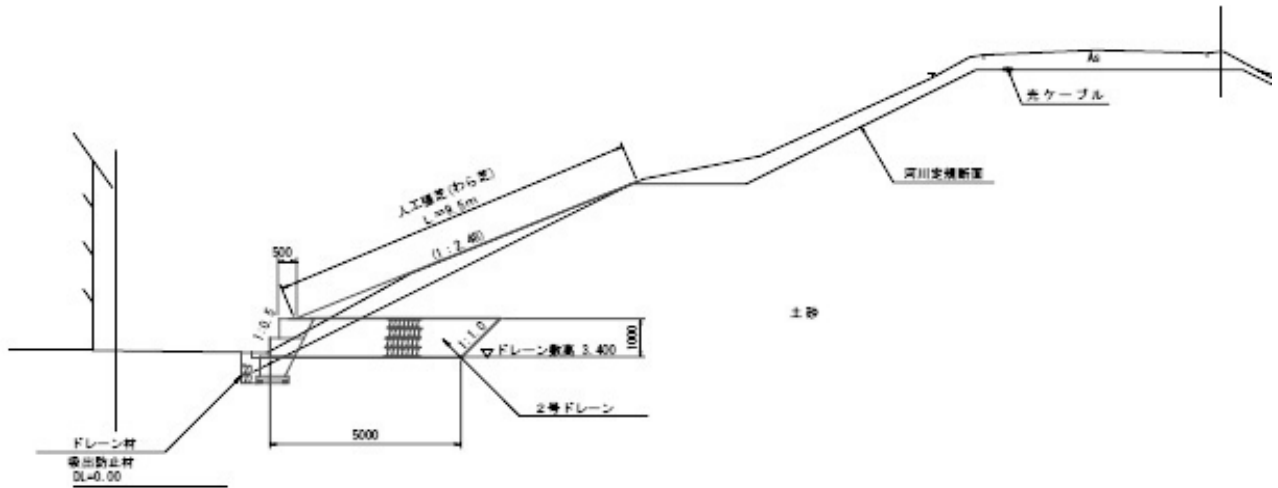


図-2 標準断面図 (高梁川西阿智ノドレーン工)

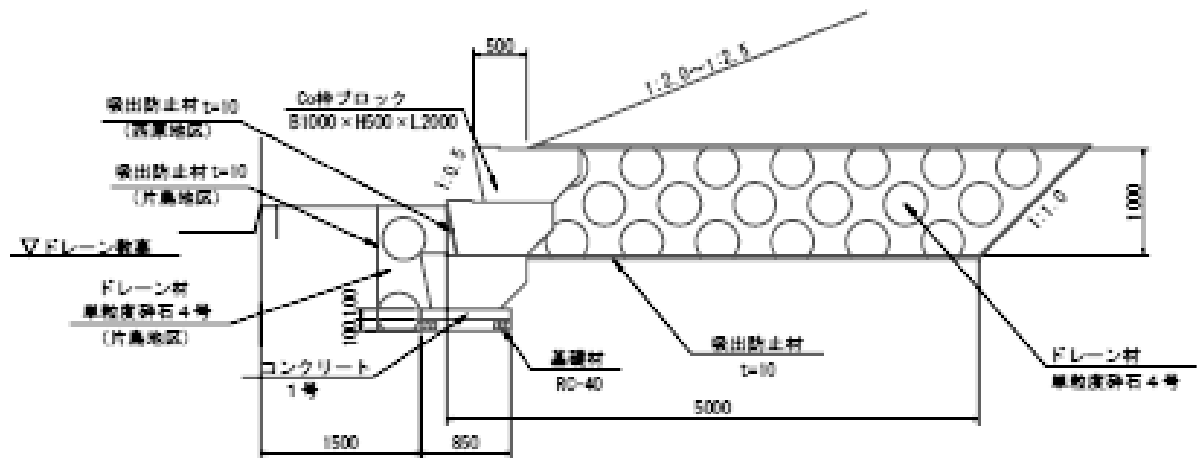


図-3 ドレーン工断面図

なお、この資料の作成と関連して、堤防の浸透対策の主要な対策工であるドレーン工については、「ドレーン工設計マニュアル」(平成25年6月)が平成10年の発表以来初めて機能規定が盛り込まれて改定されている。

以上、九州北部豪雨の災害を踏まえて、使用する土質データの妥当性を照査する事の重要性が再認識され、その対策として「照査・設計のポイント」が作成された事を御紹介させて頂いた。

### 3. 中国地整内における堤防強化工事の事例

#### 3.1 高梁川西阿知地区(断面拡大+ドレーン工)

岡山県西部を流れる高梁川の河口から左岸約6km近辺に位置する西阿知地区という箇所において、平成24年3

月～25年2月にかけて、「堤防断面の拡大(川表側:面積2,450m<sup>2</sup>)」及び、堤防裏のり尻への「ドレーン工(延長71m)」の設置を実施した。

「照査・設計のポイント」でも、堤防強化の基本は「断面拡大」であると規定されているが、この現場では川表側の堤防断面の拡大を行うとともに、侵食防止シートの設置を行っている。標準断面は図-1のとおりである。

施工前の状態(写真-1)から、まず断面拡大のための盛土を実施していく(写真-2)。その後盛土部分表面に、計画高水位の高さまで侵食防止シートを設置する(写真-3)。このシートは設置後早期に芝による被覆がなされるように、シートと芝苗が一体化している資材を使用している。なお、計画高水位より上の部分についてはシートは設置しておらず、わら芝の設置のみで対策を行っている。このようにして、川表側の堤防断面拡大強化工事は完成である





写真-5 ドレイン工施工前



写真-6 枠ブロック設置

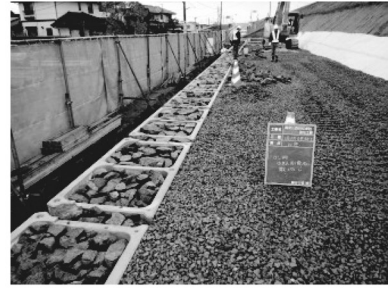


写真-7 碎石の敷設



写真-8 シートの敷設



写真-9 ドレイン完成

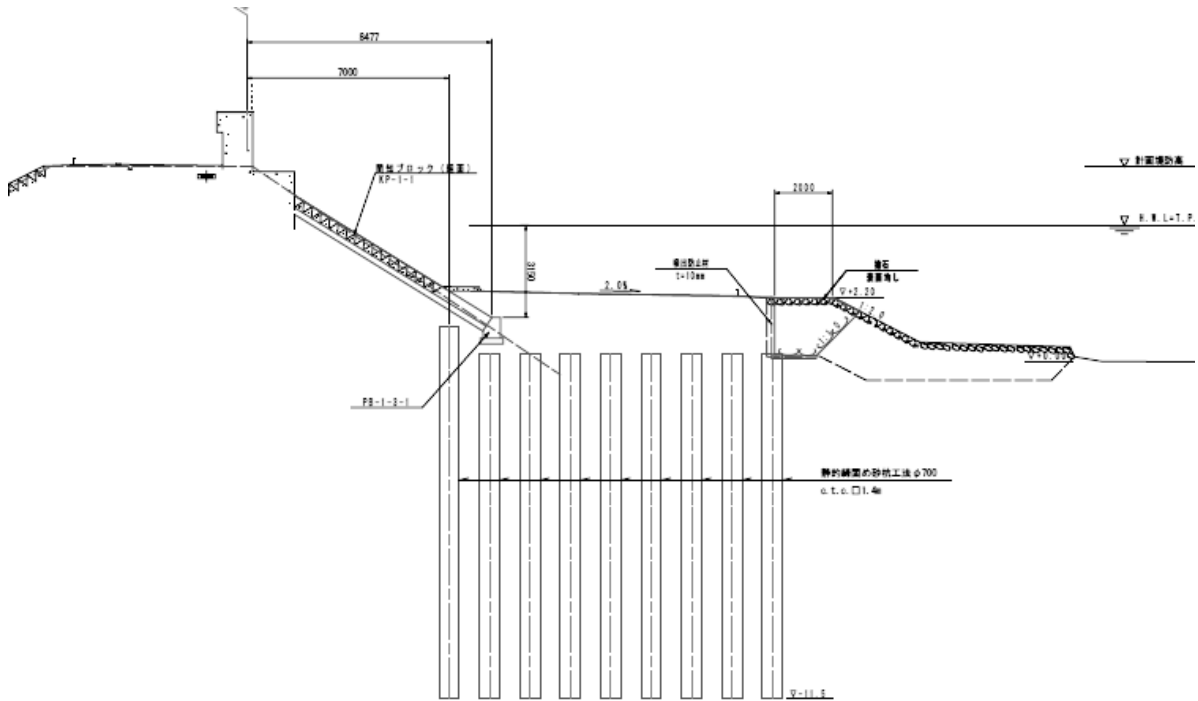


図-4 標準断面図 (高梁川鶴新田/地盤改良)

(写真-4) .

次に川裏側のドレイン工について、標準断面の全体図を図-2に示す。ドレイン部分を拡大したものが図-3である。

施工前の状態(写真-5)から、まずドレイン工を設置するために現行堤防の開削を行っている。その開削後に、ドレイン工の下端でもあり堤防のり面の加重を受け持つ機能も有するコンクリート枠ブロック(H=50cm)を設置していく(写真-6)。そしてコンクリート枠工の中及びその背後(川表側)に、ドレインの本体部分である採石を敷き詰める(写真-7)。コンクリート枠工一段分の高さの採石

が敷き詰められたら、その上面に吸い出し防止材のシートを設置して(写真-8)一段分が完成する。この箇所では同様の層構造を三層分設置した後に、開削した堤防を埋め戻して工事は完成である(写真-9)。

### 3.2 高梁川鶴新田地区(基礎地盤の耐震改良)

同じく高梁川の下流、河口から左岸約1kmの鶴新田箇所においては、周辺地域は干拓によって出来上がった土地であり、堤防基礎地盤も地震時に液状化が発生する可能性がある事が判明した事から、耐震対策のための地盤改良工



写真-10 施工前の高水敷



写真-11 施工機械の配置



写真-12 砕石の投入



写真-13 ケーシングへの砕石注入

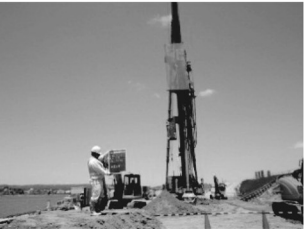


写真-14 地盤への押込



写真-15 押込み終了



写真-16 表面ブロック設置

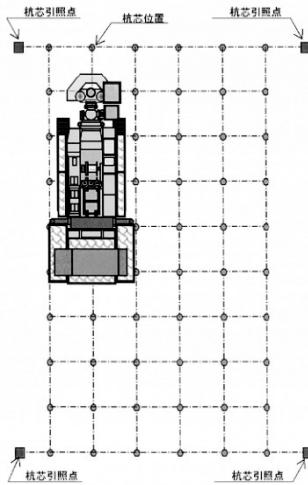


図-5 砂杭施工の平面図

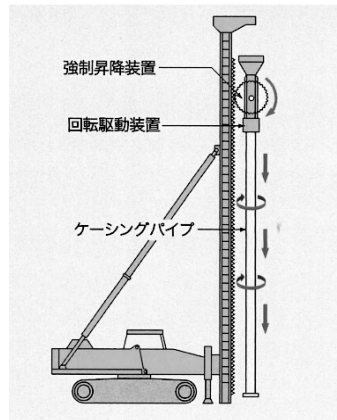


図-6 砂杭施工用機械

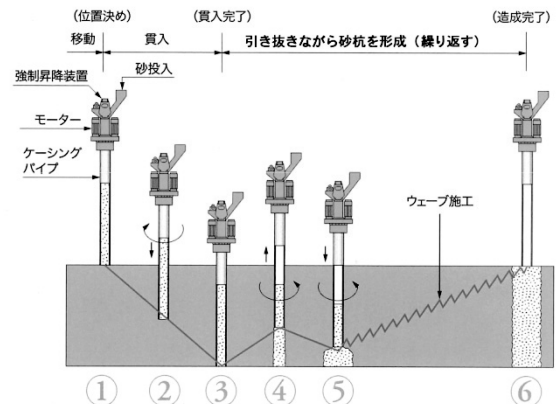


図-7 砂杭の施工手順

事を実施した。なお、堤防基礎地盤の液状化対策のためには、堤防直下の地盤に対して地盤改良を行う事が最も効果的である。しかしそのためには一旦全ての堤防を撤去しなければならず、その方法では工事期間中の洪水に対する安全度を著しく低下させる事のみならず、建設コストも多額に上る事から、今回は堤防前面側（川表側）の地盤について地盤改良を行った。標準断面図を図-4に示す。

この現場で採用した地盤改良工は、「静的砂杭締固工法」と呼ばれるものである（本数=1,832本）。原理的には、軟弱な地盤の中に複数の砂の杭を設置する事で、その杭が設置された一連の地盤の拘束力が高まり、耐震性能が向上するというものである。この砂杭は、平面的には図-5のように均等な間隔で施工していく。この砂杭施工には、専用の機械が必要であり、図-6のような大型のボーリングマシンのような機械を用いる。この機械を用いた施工手順は図-7の通りである。まず、ケーシング（筒）に採石を投入したものを、強制昇降装置という筒上部に取り付けられた機械の反力で、回転を加えながら地盤にネジ込む形で押し下

げて行く。これが所定の深さに到達した後、ケーシングだけを今度は逆方向に回転しつつ引き上げる事で、地盤の中に砂の杭が形成される。この工程は、一回分の往復だけで砂杭一本分の施工ができる訳ではなく、打ち込み深度を次第に浅くしながら、何度か繰り返し実施する事が必要である。

施工前の状況は写真-10の通りである。この場所に対して、砂杭設置機械、採石、ブルドーザなどを写真-11のように配置する。まずブルドーザを用いて採石を砂杭設置機械のバケットに投入する（写真-12）。バケットはケーシングの上部まで引き上げられて、そこでケーシング内に採石が投入される（写真-13）。その後、採石が詰められたケーシングが徐々に地盤に押し込まれていく（写真-14）。所定の位置までケーシングが埋め込まれると（写真-15）、その後ケーシングは採石を地盤の中に形成しつつ引き上げられ、再び同じ工程を繰り返していく。全ての砂杭打ち込みが終了した後、堤防表のり面にコンクリートブロックを設置してこの現場の対策工は完成である（写真-16）。

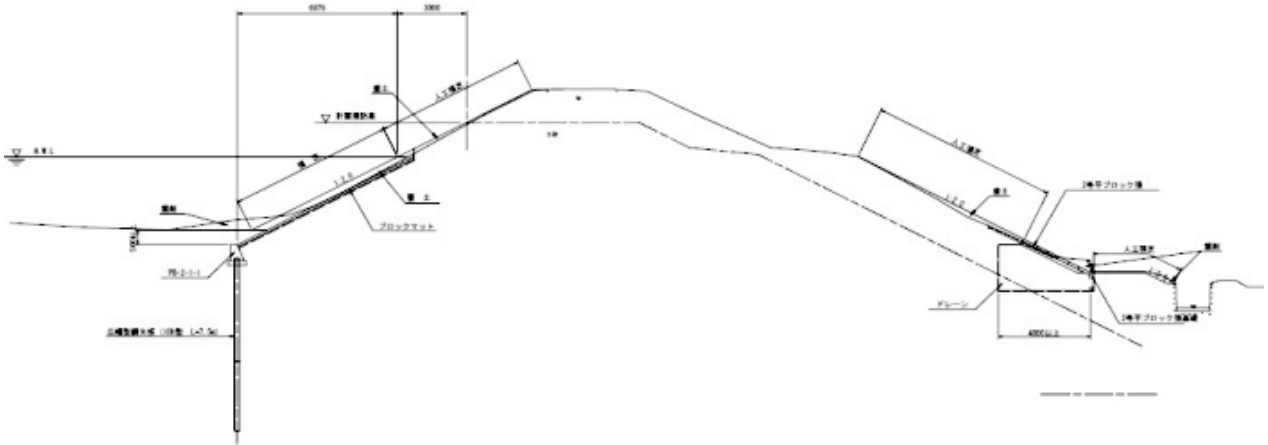


図-8 標準断面図（斐伊川今在家／止水矢板＋ドレーン工）



写真-17 堤防の開削



写真-18 砕石の設置



写真-19 平張ブロック設置



写真-20 鋼矢板設置中



写真-21 鋼矢板設置済み

### 3.3 斐伊川今在家地区（止水鋼矢板＋ドレーン工）

島根県出雲地方を流れる斐伊川の、宍道湖への河口から左岸約7kmの今在家地区において、浸透対策として川裏側のドレーン工に加えて、川表側に止水用の鋼矢板を設置する工事を行った。

標準断面図は図-8のとおりである。まず、川裏側のドレーン工については、(1)で紹介した高梁川西阿智地区の現場と違って、堤防用地が十分確保できた事から、コンクリートブロック枠を用いる事なく、ドレーン工全体を採石で建設する事ができた。既存の堤防を開削しそこに吸出し防止シートを設置した後（写真-17）、ドレーン材の採石を投入し（写真-18）、土砂で堤防を埋め戻した上でその表面を平張ブロックで被覆して工事は完成である（写真-19）。

また川表側には、クレーンでつり下げたパイプハンマーにより矢板を打ち込み（写真-20）、頭部コンクリートを施工して一体化を図っている（写真-21）。

### 4. 今後の課題

これまで御紹介してきたとおり、中国地整では地震や豪雨災害の度に改良を積み重ねてきた堤防強化の照査・設計の手法に基づき、現在も多数の場所に対策工事を実施中である。

しかし、効果的・効率的な堤防強化のために、今後も取り組まなければならないと考えている課題は未だに多く残されている。本稿の最後は、堤防断面モデリングのための現地調査手法の開発について御紹介したい。

上記3の「照査・設計のポイント」が編集された理由のところで説明したとおり、堤防の強化対策のために一番重要となるのは、元となる代表断面についての土質データである。このデータを基に、同一とみなせる土質毎で区分して作成した断面図が「堤防断面モデル」であり、この堤防断面モデルの正確さが、堤防設計の成果を左右する。



さらに、実際に堤防が施工された後のモニタリングの際、あるいは後年になって堤防が被災したり、また拡築工事が必要となった際に、この堤防断面モデルがすぐに参照できる状態で管理されている事が不可欠である。このように、堤防断面モデルの作成、蓄積、そして共有できる環境の整備こそが今後の堤防設計技術の向上、ひいてはさらに広い意味での堤防の適切な維持についての基礎となる事は間違いない。

この堤防断面モデルの作成（モデリング）に際し、基本となるのは堤防及び基礎地盤の土質データの取得である。堤防は、大量生産される工業製品とは違い、各現場毎の一品生産による建設物であり、その意味では堤防モデリングに使用する土質データも、現位置試験によるものが最も望ましい。そして、大きな延長を有する堤防の調査のためには、その試験機材もコンパクトで持ち運びが用意であり、かつ試験手法もできる限りシンプルであることが望まれる。

岡山大学大学院環境生命科学研究科の竹下祐二教授の御指導を得て、上記のような現場ニーズに応える事を目的に、土質データとして最も重要な透水係数を原位置試験によって得るための手法を検討して来ている。具体的には、高梁川をモデルサイトとし、小型の土中水分計を用いて現地試験を実施している。調査は平成21年度から開始しており、データの正確性、機材の操作性等の向上の観点で改良を進めており、今後の一般化が望まれるところである。

さらに、地表設置型地中レーダーを用いて、地表面上から非破壊状態で計測された地盤内の電磁波伝搬速度及び誘電率分布から、堤防内部の地盤構造を把握する取り組み

も行っている。こちらについても、三次元的に適切な計測データを取得するために、測線のレイアウトや計測密度について検討を進めているところである。

この堤防断面モデルの効果的、効率的な作成についての研究は、現在当中国地整のみならず、国土交通省の他の地方建設局でも鋭意取り組まれているところであり、その研究成果の蓄積及び普及が望まれる。

以上、国土交通省における堤防の照査・設計手法の変遷と、現在中国地整で実際に行っている堤防強化事例の紹介、そして今後の課題について御紹介させて頂いた。引き続き、関係各位の御指導も頂きながら、適切な堤防の設計、建造、維持管理を行っていききたいと考えている。

#### 謝辞

貴重な研究情報をご提供頂いた岡山大学の竹下先生に、改めて感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理国土保全局：河川堤防設計指針,2002.
- 2) 国土交通省水管理国土保全局：河川構造物の耐震性能照査指針,2012.
- 3) 独立行政法人土木研究所：河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント,2013.

(2013年11月17日 受付)