

## 河川堤防に関する研究課題

Problems solved for the stability of river levees



宇野尚雄 Takao UNO (広島工業大学工学部)

河川堤防は行政が管理する長大構造物であるだけでなく、その崩壊による災害の性格のために種々のデータが技術者に把握しにくい対象であった。その状況を類推しながら、頻発する水害を踏まえて技術者が解決しなければならない課題を、近年制定された「設計指針」等とくに概略点検、詳細点検から質的整備やモニタリングのガイドラインの設定に流れる背景を意識して、透水係数と強度設定などの学術的課題や行政的なニーズに関して解決を願望している研究課題を紹介する。

キーワード：堤防, 設計指針, 点検手法, モニタリング, 透水係数, 強度定数設定 (ICG:C07, D04, H04)

## 1. まえがき

平成16年の著しい河川災害は、温暖化などを含めた自然環境の変化に起因するか、我が国の治水機能が低下しているか、など種々の話題が喚起された。いずれにせよ、河川堤防を取り巻く環境には技術的課題の他に長大かつ歴史的構造物としての性格が関係する。

本文は堤防を取り巻く地盤工学的課題に触れつつ、学術的に解決が期待されている課題を指摘すると共に若干の考察を加える。

## 2. 河川堤防の現状認識

## 2.1 長良川堤防決壊災害から「設計指針」まで

我が国の堤防災害では、1976年9月の長良川堤防決壊の影響が顕著なものであった。これが原因で河川堤防の技術的進歩が停滞したと推量される。四半世紀に亘る裁判が続いたために堤防管理に関する検討がオープンにし難い状態に陥ったと推定する。なぜなら、「河川堤防設計指針」が河川堤防設計研究会により作成されたのが平成12年6月で、さらに2年後の14年7月には「河川堤防の構造検討の手引き」として国交省治水課の考え方が固まったと視られる。12年6月の指針では「設計高水位が堤防高さまで」採用されていたのに対して、手引きではHWLまでに戻されている。以下の文章では、これらの結果として設定されているものを「設計指針」と仮称する。

## 2.2 堤防の破堤3種類と堤防高さ管理

国交省では長年にわたり、表のり面の「洗掘」、 「漏水」(堤体浸透による浸透破壊)、「越流」(堤防高さを越える河川水流による破堤)の3種類に分類されてきた。これに

対して、上記の堤防設計指針は前者の形態に対する設計指針を示しているが、越流には示していない。越流に対しては、そのメカニズムが究明されていないために設計指針が示せないことが原因しているようであるが、次のように単純でない。

全国の一級河川堤防を調べても、HWLプラス余裕高さであるべき堤防高さが確保されていない未完成堤防と呼ばれているものがかなりの箇所存在する。その上、近年の集中豪雨の頻発に対して堤防を高くすることは安定性向上のように見えても逆に破堤のときの被害が甚大になると懸念する考え方や、親水性を損なうとの見方や事業効果を疑問視する風潮があって、堤防高さを補う工事への反発があるように見られる。また、越流しない堤防でも安定性の不足する堤防が未だかなり存在する現実も認めざるを得ない現状である。

## 2.3 設計指針における「概略点検」

現行の設計指針で、堤防管理のために実施される基本的な検討は「概略点検」と「詳細点検」に分けられる。堤防の有すべき機能を保持する構造になっているか否かが重要な点であるが、新規の堤防設計と現有の堤防の安定性の維持管理にも重要である。

前者の「概略点検」は、堤防を管理する立場から、①堤防土質条件、②基礎地盤条件、③外水位・外力条件、の3要素について既存データに基づいて、安全な方のAから危険なDまでの4段階に分類判定する方法である。これは全ての断面について詳細な点検を実施することが困難だったからで、概略点検で危険と判断された断面の堤防について順次「詳細点検」しようとする考え方によるものである。これらは次の図-1に示す要因によって段階的に判定される<sup>1), 2)</sup>。最終的な総合評価は「被災事例」の有無によって判断が決定的になる点に異様さを感じるであろう。これ

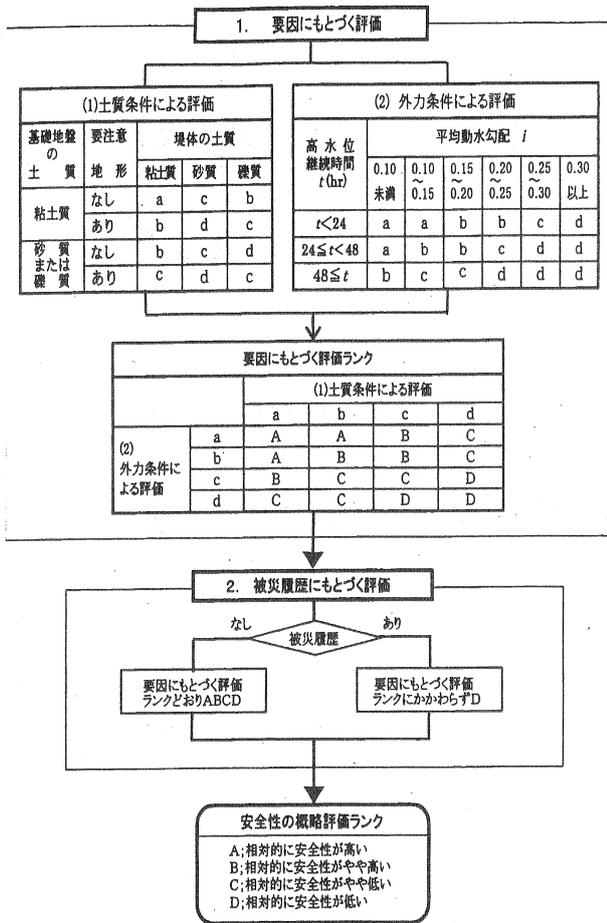


図-1 概略点検の流れ(要因(1)土質条件と(2)外力条件による評価からランク A~D の4段階評価後、被災履歴の有無による、安全性の概略評価ランク決定の流れ)

は被災をした堤防が全て原因究明できて懸念する要因を除去できるほどに対策ができていないことを暗に認めた形である。

### 2.4 設計指針における「詳細点検」

詳細点検の基本は、「浸透計算による発生間隙水圧の推定」(浸透計算)に基づく「すべり面計算による安定計算による安全率評価」(安定計算)の2つの内容からなる。前提条件として、堤防形状、土質構成、構成土質の力学定数(透水係数と水分特性曲線:浸透計算へ、土質の単位体積重量 $\gamma$ と強度定数(粘着力 $c$ 、内部摩擦角 $\phi$ ):安定計算へ)などのデータが必要である。現在は「水分特性曲線」が土質によって3種類に分類されたパターンで扱われている不可解さはあるが、浸透計算は飽和飽和浸透計算が実施されている。一方、安定計算は変形計算できる時代にも拘わらず円形すべり面計算法に依っている。

「設計指針」における、すべり面計算法における計算式の扱いには、若干混乱が見られる。すべり面計算式が全応力法と有効応力法の区別に混乱がある。これは強度定数の設定と関係しているが、粘土層には全応力法UU-試験により、砂層には有効応力法でありながらCU-試験法により試

験された強度定数が使用されるよう規定されている。多くのコンサルタント技術者が混乱する原因となっている点は後述する。

### 2.5 質的整備ガイドラインからモニタリングへ

河川堤防を取り巻く環境は技術的に解決するには厳しい面があるが、その原因は(1)自然外力という出水に対する治水システムの課題(「堤防設計指針」に整理された考え方~流出制御方法と堤防治水制御方法に大別される~に内在する課題など)、(2)工学技術(河川工学や地盤工学の専門的技術)としての解決が待たれている課題の多さ、にある。本文では、それらの内から地盤工学的課題の主要なものについて後述する。

ここでは、それらを待つことなく対応せねばならない行政現場の試行:モニタリング体制の現状認識について触れておく。平成16年6月堤防に関して二つのガイドラインが公布された。一つが「質的整備に関する技術ガイドライン」で、端的に言えば、効果的な堤防対策工法の選択基準を示したものである<sup>3)</sup>。一次段階として「安全性」のあることが絶対条件、二次段階として「維持管理」、「施工性」、「経済性」、「環境・利用性」、堤体との「なじみ」、「事業執行性」の6視点から判断する必要性が指摘されたものである。これに対して、国交省は対策工法の効果について十分な判定資料を把握していなかった

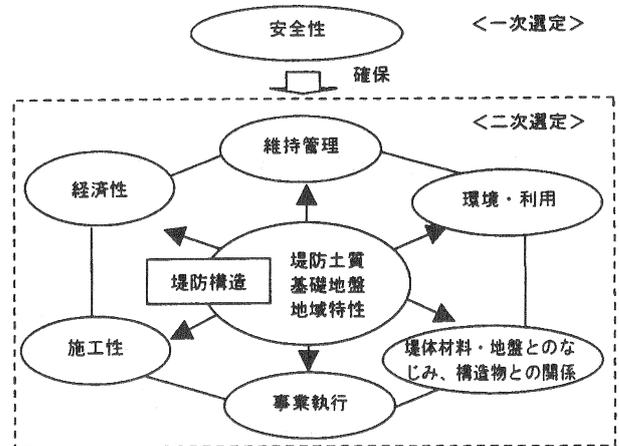


図-2 質的整備の強化工法選択基準

ために、「効果判定用の観測モニタリング」の実施が不可欠な認識および概略点検と詳細点検からなる堤防設計指針の「あいまいさ」を補充する狙いを込めて「計測」と「目視」による二つ目の「モニタリング技術ガイドライン」を定めることとなった。

しかし、目視によるモニタリングにおける、多数の項目に対する目視結果の利用方法は、十分に確立されたシステムになっていない。目視項目の重要度の差も評価したいが、容易でない。後述するように、モニター結果の効果的な活用システム工夫が期待される。

2.6 現状の課題

河川堤防に関する問題を考えると、上述のように種々の課題が山積している。以下に箇条書きすると、

- ・概略点検における課題
  - 評価要因の再検討（細分化、新規要因の有無）による精度向上の可能性（被災履歴要因の扱い）
- ・詳細点検における課題
  - 透水係数評価、鉛直に対する水平動水勾配の区別強度評価のための試験法やすべり計算式などへの学術的対応（全応力と有効応力の区別）
- ・目視モニタリング項目の重要度評価と活用法
  - 概略点検等への活用の可能性、観測データの蓄積と活用、効果的なモニタリング法と活用法など
- ・堤防の複雑な土質構成の浸透性状評価
  - 不均質性の評価（「みず道」発生など）
- ・透水係数と強度定数の力学定数
  - 関係深い密度（間隙比等）データの蓄積で補強
- ・越流に強い堤防の研究
  - 天端および裏のり面構造と越流水深、越流継続時間との関係などの究明（耐越流設計指針の確立へ）
- ・河川計画上の課題（流出率と地域開発、河川安全性、未完成堤防の消滅への道筋、・・・）

3. 堤防土質の透水係数の評価

3.1 透水係数の推定

遮水構造物としての堤防の性質として不可欠な透水係数で、堤防の現位置で試験することは増えているが、精度的に良いか否かが不明で、相変わらず室内試験法が多い。このとき試料土の現位置での密度または間隙比が把握される必要があることを強調しておきたい（現位置で透水試験するときも）。これが等閑になる理由は、現位置での透水試験における境界条件の不明さに起因する。

20%粒径を用いるクレーガー法が良く利用されているが、密度情報が入っていないので不信感がつきまとう。これまで多くの経験式が利用され、また工夫されているが、ここでは福田・宇野の方法を説明する。これは個数基準に基づく粒度分布という視点を取り入れて50%粒径と均等係数および間隙比を考慮できる推定式を理論的に誘導して提案したもので<sup>4)</sup>、次のようである。

(1) 均等係数  $U_c$  から粒度の標準偏差  $\sigma_w$  を計算する。

$$\ln(\sigma_w) = 0.484 + 0.420 \ln(U_c)$$

(2) 土の真比重  $G_s$ 、50%粒径  $D_{50}$ 、間隙比  $e$  を用いて、平均間隙径深  $h$  (mm) は次式で計算する。

$$h = \frac{0.3D_{50}}{\exp\{0.5 \times \ln^2(\sigma_w)\}} \times \frac{e}{G_s} = d_c \times \frac{e}{G_s}$$

(3) 透水係数  $k$  (cm/s) は次式で計算される。

$$\ln(k) = \{1 + \ln(h)\}, \quad (\text{ただし, } h: \text{mm})$$

これは粘性土でもかなりの精度で評価できることを確認したものであるが<sup>4)</sup>、細粒分の多い土の均等係数とくに10%粒径の算出には特別の配慮が必要であり、これを違えると適用性が低下するケースも散見される。

筆者は上記の方法で整理した結果をみたいと願いがあった。均等係数とくに細粒土の10%粒径の取り方に筆者らの配慮が採用されているか否か吟味していないので、別途に筆者は他に得られたデータを元に吟味してその精度を確かめたいと考えている。因みに森田ら<sup>6)</sup>が経験公式として重回帰分析により「締め度ランク（5段階）」なる指標を用いた提案をしているので合わせて吟味したい。最終的な活用できる式は論理的な説明力が必要であると考えている。

淀川筋の堤防土質で住田<sup>5)</sup>が検討した結果を紹介すると、室内試験結果との比較が図-3(a)である。細粒土になるとズレが大きくなる傾向があるようである。

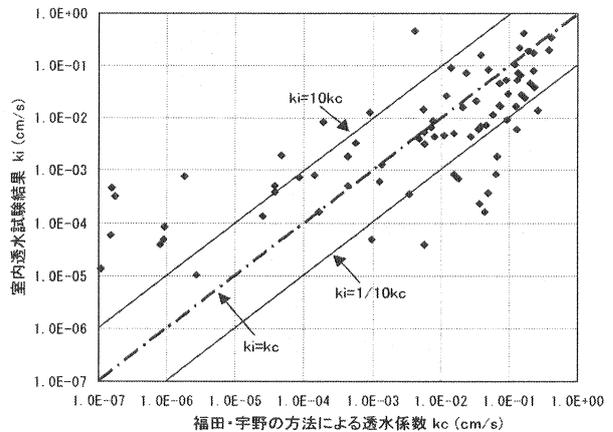


図-3(a) 室内透水試験結果との対比

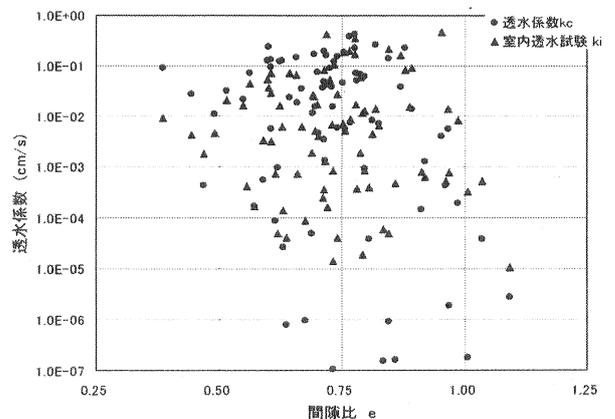


図-3(b) 間隙の透水係数への影響

これに対して筆者は土質の密度状態を重視しているの  
で、**図-3 (b)**には間隙比の影響度を示した。間隙比の感  
度は意外にも鈍く、原因を究明する必要がある。均等係  
数と代表的な粒径として選択した 50%粒径との関係は**図  
-3 (c), (d)**に合わせて示した。これらの関係は理論的  
にも頷ける関係である。均等係数が大きければ粒子間の詰  
まりが良くなり、透水係数が小さくなる。一方、50%粒径  
が大きくなれば透水係数は増大する。

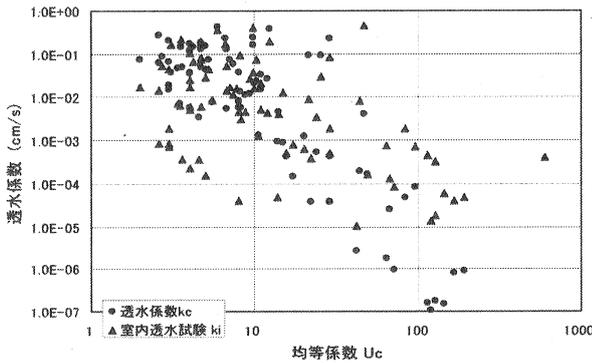


図-3 (c) 均等係数の影響

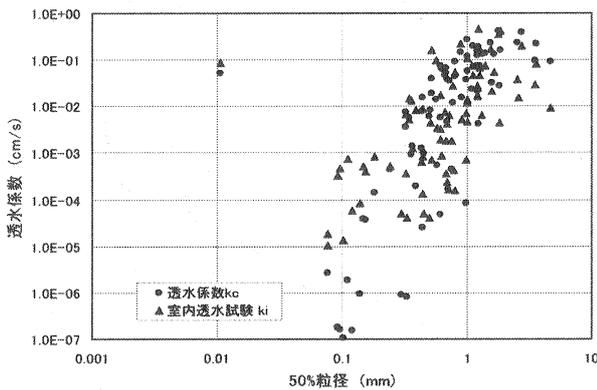


図-3 (d) 50%粒径の影響

## 4. 堤防土質の強度評価

### 4.1 設計指針での扱い

各種盛土と同様に、河川堤防の施工に当たっては、土質  
の締固めは平均締固め度、D 値などで管理されているが、  
強度基準が規定されていない。堤防の安定性評価のために  
土質の強度を試験する必要がある。

土質力学は、土質の置かれている排水条件により、非圧  
密非排水試験：UU 試験による粘着力  $c_u$  評価、圧密非排水  
試験：CU 試験パー（計測される間隙水圧考慮した有効応  
力整理）による強度定数  $c'$ 、 $\phi'$  評価、圧密排水試験：CD  
試験による排水強度  $c_d$ 、 $\phi_d$  評価、という3種類のせん断試  
験条件の適用性を教えてきた。しかし、これらは飽和土に  
対するものであるから、河川堤防に限らず斜面地山の土質  
強度を調べるには、不飽和土の特性を考慮する必要がある。

現在の河川堤防設計指針では、不飽和土に対するせん断  
試験機が未だ普及していないことを前提に作成されてい  
る。従って、指針では土試料が不飽和であるけれども、「粘  
性土には UU 試験、砂質土には CU 試験（間隙水圧考慮し  
ない）」をそれぞれ推奨している。このために不飽和土と  
しての体積変化は間隙空気部分の圧縮量と区別しても計  
測されない。粘土に対する UU 試験は良いけれども、砂質  
土に対する CU 試験は、飽和土で御法度の強度試験法であ  
り、技術者を悩ませる状態にある。この点に関して指針で  
は特段の説明はない。このため不飽和土研究の立場からコ  
メントを探すと次のようである。

太田らは締固め土の管理基準を検討する立場から、等体  
積型の一面せん断試験により「等体積せん断強度と等価先  
行圧密圧力」関係を含水比に影響されない形式で把握して  
評価している<sup>7)</sup>。

不飽和土は間隙空気部分の高い圧縮性が飽和土と異な  
るために、研究の立場から軽部らは排気条件と排水条件に  
よる分類を示して体積変化、換言すると体積ひずみの挙動  
特性に注目している<sup>8)</sup>。そして、砂質土では飽和度による  
強度変化はないが、粘性土では大きい強度低下が生じると  
している。これは不飽和土に発生する負の間隙水圧、つま  
りサクションが砂では小さく、粘土では大きいサクション  
のために浸水に伴う強度低下が著しいことに起因する。

### 4.2 河川堤防の土質強度試験の条件

河川堤防が破壊するときの土質がいかなる体積ひずみ  
条件下にあるかは他の土構造物と同様に不明である。通常  
の河川堤防は、出水という浸水時に危機状態に陥ると考え  
て差し支えないだろう。

浸水時に体積変化（減少）の発生がある（コラプス）か  
否か（等体積か膨潤か）が想定される。せん断時に拘束す  
る排気・排水条件に関わるけれども、この推論には複雑な  
場合分けが必要になり、収束する論理が見当たらない。前  
節に述べた太田らの等体積せん断試験法は、間隙の流体比  
率を変えないで（サクション効果を変えないで）行うわけ  
で、一つの考える基準となる。しかし、堤防に限らず不飽  
和土では状態も複雑であるから土構造物の強度を強度定  
数に捕らわれないで、せん断強さとしてまとめて評価する  
造成盛土における支持力等による判断基準としての指針  
作りという考え方もあるであろう。

指針が砂質土に対して CU 試験という理解しにくい方法  
であるために、CU パー試験（間隙水圧を計測して）によ  
る有効応力で表現する  $c'$ 、 $\phi'$  を求める試行や、さらに進め  
て圧密排水試験の CD 試験を行っているケースもある。こ  
れらで両方の試験結果を出している事務所は少ないが、一  
例を示そう。土質は砂礫層の砂に対する試験結果を表-1  
に示す<sup>9)</sup>。**図-4**はそれを用いた  $\sigma - \tau$  図上の表現で、微  
妙に異なる関係にあるが、垂直応力の範囲でせん断強さが  
異なることが明白である。このことは強度定数  $c$ 、 $\phi$  の試

験結果には大小関係が逆比例の関係になりやすいことを示している。図-4 (b)は強度定数  $c$ ,  $\tan(\phi)$ の合算が強度に効くと考えて、それらの推定誤差の

表-1 試験法による強度定数の違い

(上段がCU試験, 下段がCD試験によるもの)

試料 No.	粘着力 $c_u$ (kN/m <sup>2</sup> ) $c_d$	内部摩擦角 $\phi_u$ (°) $\phi_d$	備考
1-CU	16	25	堤体上部
1-CD	4	35	
2-CU	35	30	堤体下部
2-CD	15	37	
3-CU	27	31	堤体下部
3-CD	14	37	

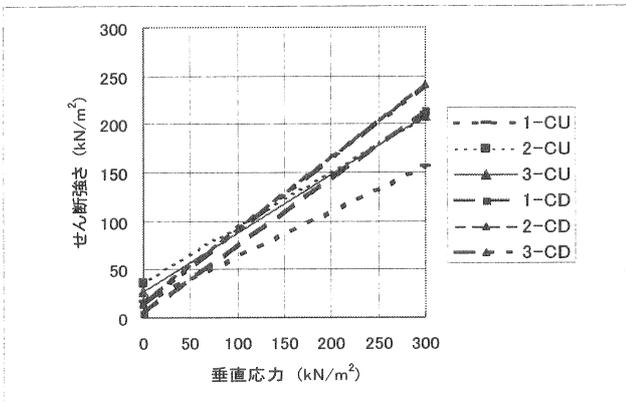


図-4 (a) 表-1 の  $c$ ,  $\phi$  を表現したクーロン直線式

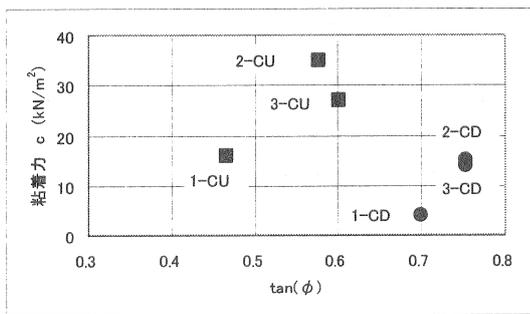


図-4 (b)  $c - \tan(\phi)$  関係へのプロット

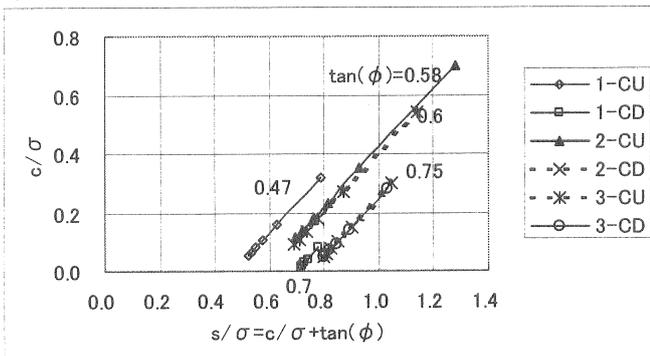


図-4 (c) 「 $s/\sigma - c/\sigma$ 」関係 ( $\sigma=50\sim 300$  kN/m<sup>2</sup>範囲)

影響度を考えるとき「原点から右上に遠い点にプロットされと強い土質を表す」ので、 $c$ ,  $\phi$  そのものを個々に議論するのではなく両者の合計で考えようとしたもので、図-4 (c)は横座標をせん断強さにして無次元化した。横軸との切片が  $\tan(\phi)$ を表している。

CD試験値は図-4 (b)では右下側に位置して  $c$  が小さく  $\phi$  が大きい。CU試験値は逆に左上に現れる。破壊時の間隙比は、いずれも試料 NO.1 が 0.58, No.2, 3 が 0.49 であって CU と CD 試験値のときの差はないが、排水試験の方が摩擦角は大きめに現れることが多い。

#### 4.3 シルト質土の浸水時の強度<sup>10)</sup>

せん断試験の途中で(土に動員されたせん断応力発生状態の土に対して)浸水させたリングせん断試験結果の一例を図-5に示す。粘着力も摩擦抵抗力もあるシルト(長良川堤防土)を用いて、非浸水試料の最大せん断強度の6割まで動員させた試料に浸水させたとき、緩速の「ひずみ制御」試験結果と「応力制御」試験結果を併記した。いずれも浸水により体積減少(コラプス)する、緩めの試料である。間隙水圧の発生しない、ひずみ制御の方は著しい約半減の強度低下を起こしているが、間隙水圧が発生する応力制御の方は強度低下を起こさずに水平せん断変位が急激に増大している。下図の対応する体積変化は、ひずみ制御の方が大きく圧縮している一方、応力制御の方は水平変位が進んでから、ひずみ制御の体積減少に遅れて追従して、強度が発現するには、ある大きさの歪み発生が必要である。結論的に、小さいレベルの歪み時には強度発現が浸水時に相当低下するが、大変位後の強度としてはさほど低下しない。この関係を堤防設計時の土質強度評価にどう考慮すべきかが課題である。

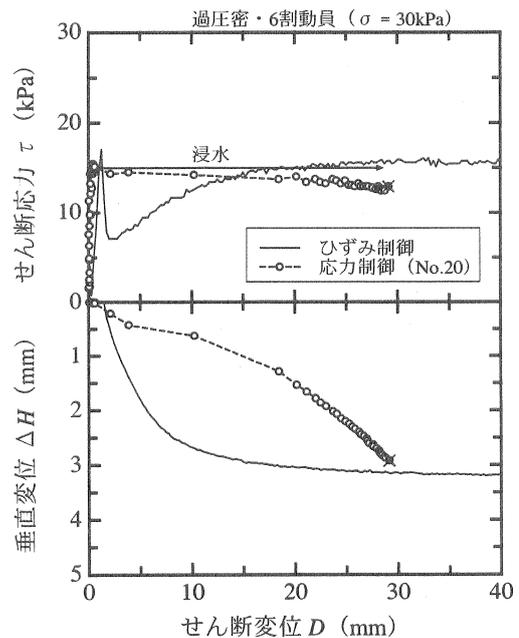


図-5 浸水時のシルトのリングせん断試験結果 (ひずみ制御と応力制御の2方式による)

#### 4.4 土質の強度評価のまとめ

設計指針の曖昧さ（特に砂質土に対する CU 試験法の疑問）を解決すべく、堤防の強度試験がいかなる条件で試験されるべきかを考察してきたが、解決策は見出しにくい。不飽和土の力学研究が完成するまでの間、(1) 等体積せん断試験法を基本として評価し、それが危険側か安全側かの確認点検、(2) 不飽和浸透で計算される間隙水圧の影響を考慮できる「せん断強さ表現法」の確立（便宜的でも実務に役立つ方法）、の2通りが考えられる。

学会レベルで行政の技術支援ができる体制を準備する必要がある。

### 5. 詳細点検における「水平動水勾配」

現行の詳細点検業務を見聞きすると、かなりの堤防で裏法尻部付近の「水平方向の動水勾配」が基準値 0.5 を超えることが多い。しかも水平方向動水勾配が「鉛直上向き」の動水勾配（設計の限界値は 0.5）と同等に扱うよう設計指針で誤って示されている。水平方向の限界値は鉛直より小さく、法尻傾斜等により 0.2~0.4 に低減するので、指針で安全と点検されても危険となることがある。

現在、河川堤防の安全度照査に利用されている「河川堤防設計指針」や「手引き」では、限界動水勾配の照査を、鉛直方向と水平方向で実施することとされている。基準値 0.5 の根拠は、鉛直方向の理論的な限界動水勾配約 1.0 を安全率 2 で除したものである。水平方向については、下記に示すように殆ど余裕がない状態で、水平方向動水勾配をチェックする限界値としては、0.2 程度を採用しておく見当ではないかと考える。詳細は以下に述べる。

(1) 水平方向の動水勾配に対しては、限界値が示し難い。

限界値に関する既往の研究成果としては、赤井と久保田の提案式が別々にある<sup>11)~12)</sup>。

(2) 水平方向の限界値は「水中重量による抵抗」の鉛直方向よりも小さく、メカニズムが違って、せん断強度で水平流に抵抗する形である。

(3) 堤防設計指針での「水平方向動水勾配」に対する扱いが、具体例の検討では次の状況にある。

(あ) 鉛直と同様な限界規準値(0.5)の混同使用になっていること、(い) のり尻のような場所の危険個所が選定されているか疑問、(う) 滑り円計算法でも薄い滑り円を計算すると、法尻の評価が近似的に出来るが、粘着力の評価に課題が残る。

「設計指針」等において、水平方向の限界動水勾配値にも 0.5 が用いられていることが問題である理由は上記の(3)の(あ)である。従って、今後は、限界的な「水平方向動水勾配」は鉛直方向より更に小さい値になるので、

より厳しく設計動水勾配を抑制する必要がある。淀川堤防では緩い裏法面勾配のために、通常の動水勾配は 0.02 程度の小さい値になるが、これが 0.3~0.4 前後の値では相当危険状態である。詳細は上記の赤井の式とか久保田の式を利用すべきだ。これらで試算すると、限界動水勾配は(法尻の)法面勾配、土の内部摩擦角などに影響されるが、概ね 0.3~0.5 程度になるからである。

〔補足〕これまで、水平方向動水勾配について神経質に議論していない理由は次の事情にあると考えている。

裏法面の法尻付近の小崩壊は発生しても、緊急応急的な処置(水防活動)によって堤防本体の崩壊を防ぐことができたこと(これが今後保証されるか否かが重要な課題:メンテナンスフリーとは相反する考えだから)、裏法尻部の傾斜は「空石積み」、「空石張り」で補強する処置が取られてきたこと、などである。即ち、裏法尻の形態によって対応が現場で種々工夫されてきたわけである。

### 6. 堤防のモニタリング

危険個所を探る概略点検は、一面では堤防の監視、モニタリング業務でもある。堤防に働く外力としての地震や出水豪雨により、ある箇所の堤防が傷む。それを維持管理する立場では、目視または計測により把握する。昨年公示されたモニタリングガイドラインでは、その目視項目の数は数十項目に及び、容易なことでは全体像を把握することが困難である。このため、目視項目の重要度、その影響度を明確にして、それらの効率的な活用を進めたいと考えることは簡単であるが、具体策は容易にみつかる訳ではない。これは改善すべき研究視点の一つである。

図一6は、佐古らが描いた破壊機構との関連を想像して描いた目視項目の一例である<sup>13)</sup>。多数の目視項目と破壊メカニズムの組み合わせと、それらの堤防決壊に繋がる重要度をシステムティックに数値的に表現できると、目視が有意義なものとなる願望で描いたものである。

H16年6月公示されたモニタリング技術ガイドラインには、極めて多数の目視項目が列挙されている。それらの中から選択して、それらの目視項目が関係する破壊形式との関係を表一2(最後の頁、文献の後)に例示した。筆者の気持ちを表現した程度であるので、◎、○、△の重要度表現は今後研究課題であるが、目視モニタリング結果を活用するための試行的な整理である。

この種の意義付けが明確でないと、結果の利用が進まないと考えている。図一6はそのような考えを図示したものである(作成は国土技術研究C・佐古氏)。このような分かり易いモニタリング指針が現場技術者にとって明確に認識を高めることに繋がれば幸である。

これらの数値化には、既述した表一1の概略点検の要因の細分化や数値化データと合わせた条件設定が効果を挙げることになる。

## 裏のり面・のり尻の漏水・泥滓化から推測される 堤体漏水破壊の危険性

- ・ 漏水点の位置により、堤体構成を踏まえた漏水破壊現象を推定

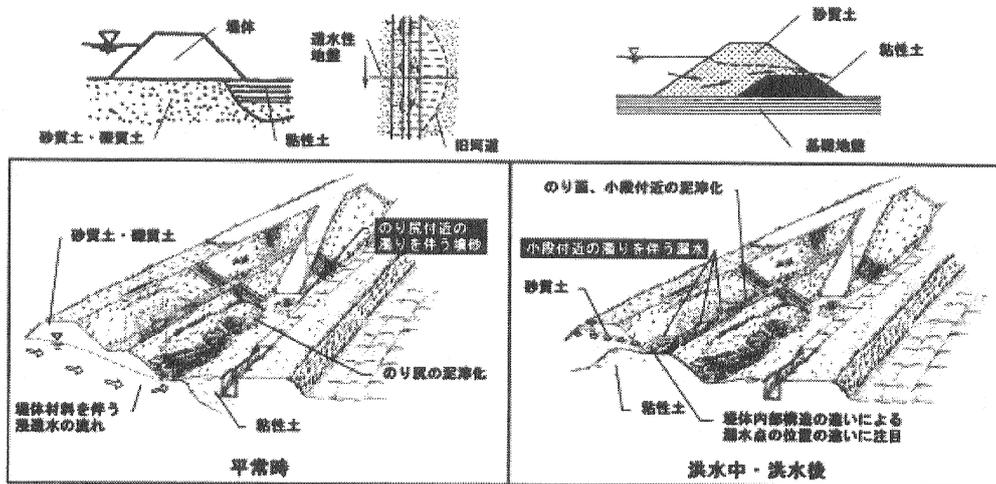


図-6 モニタリング項目と破壊との関連<sup>13)</sup>

現象が違う要因の重要度は、力学的には判定しようがないけれども、被災事例の統計的な判別により可能である<sup>14)-15)</sup>。これは重要な点であって、誤認してはならない。現象が未知のときには経験から技術を探索したと同様に統計分析からメカニズムの理解を把握する端緒を掴むことを躊躇する必要はない。故村山朔郎教授が新神戸トンネル建設中に点検のため切り羽に臨んだ際、ある点に気づいて対策する余裕が無く出坑され、翌日崩壊が起こったという有名な話はモニタリングの重要性を訴える。

### 7. あとがき

河川堤防は將に学際的な課題を抱えているということであって、地盤調査業、河川工学、地盤工学、安全工学、計画学、経済学など種々の知恵が課題解決に要請されると言える。

この意味でも専門分化した研究だけでは実務の解決にはならないことを明記して、本文はこれからの研究者に期待を込めて河川堤防の研究課題を整理してみた。

### 参考文献

- 1) 建設省河川局治水課：河川堤防設計指針（第3稿），平成12年6月，241頁。
- 2) 財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，平成14年7月，192頁。

- 3) 宇野尚雄：河川堤防の質的整備に関する技術検討概要，土と基礎，Vol. 52, No. 4, p. 36, 2004。
- 4) 福田光治・宇野尚雄：透水係数に関係する粒度分布と間隙指標，土木学会論文集，No. 561/III-38, 1997, pp. 193-204。
- 5) 住田賢二氏からの私信（平成16年始め）
- 6) 森田悠紀雄・坪田邦治・西垣誠・小松満：粒度分布と間隙率を考慮した土の透水係数の推定方法，土と基礎，53-7, pp. 5-7, 2005。
- 7) 太田秀樹・西田義親・国安逸朗・金子義信：土の締固め～管理基準と品質管理～，土と基礎，Vol. 34, No. 5, pp. 43-48, 1986。
- 8) 軽部大蔵・阿部廣史・鈴木寿・畠山正則：不飽和土の三軸試験における試験方法，土質工学会「三軸試験方法に関するシンポジウム」発表論文集，II-1, pp. 125-130, 2001。
- 9) 国交省太田川河川事務所・応用地質（株）：中調子排水樋管開削土質調査報告書，H16.3, 41頁。
- 10) 宇野尚雄・神谷浩二・高木哲也・藤本博文：浸水時における不飽和土の強度低下量，第37回地盤工学研究発表会講演集，185, pp. 367-368, 2002。
- 11) 久保田・河野・宇野共著：透水一設計へのアプローチ，鹿島出版会，初版（S51年）～第3版（S54年）。128頁の赤井の式（6-27）または久保田の式（6-28）参照。これらは法尻での動水勾配をチェックするもの。しかし、久保田の式には若干疑問点がある（粘着力項の次元が不整合）。また赤井の式には決めにくい係数が入っているので、使用にあたってはそれぞれ留意が必要。なお、上

記の関係をを使用した検討例は、次のものがある。

- 12) 宇野尚雄：透水性地盤上の盛土の浸透破壊に対する安全性、土と基礎、Vol.16, No. 2, pp.7~9, 1968. 計算例に示してあるが、法勾配が緩くなると限界動水勾配が大きくなるなどの結果が出る、正統的な検討法。但し、この論文では「洗掘破壊」という言葉が「浸透破壊」に替わって使用されている。

- 13) 河川堤防モニタリング委員会資料(平成 16 年秋)

- 14) 宇野尚雄：堤防の被災対策と安全性評価（木曾三川を例として）、全地連「技術フォーラム'97」講演集（記念講演）、pp.1-15, 1997(9 月、名古屋にて)。

- 15) 宇野・森杉・杉井・中野：被災事例に基づく河川堤防の安定性評価、土木学会論文集、400, 161-170, 1988.

(2005 年 9 月 16 日 受付)

表一 2 モニタリングにおける目視項目の重要度と破壊形式

点検項目	重要性	破壊形式・危険な兆候の内容	概略・詳細点検の対応項目
<b>(基礎地盤)</b>			
ガマ	○	噴出水量の他に、濁りや土砂噴出の有無、ガマ規模の拡大傾向の有無、ガマ発生の平面的分布に注目。	基礎地盤の土質構成
地盤の隆起・陥没	◎	地盤破壊の兆候で、原因を明確に把握する必要。	同上
<b>(堤体漏水) (裏法)</b>			
小段漏水	◎	河川から浸透した水の時、次の項目より重い因子：みずみち懸念。雨水浸透した水の時普通の現象。	被災履歴
裏法尻漏水	◎	「濃みと水量と濁り」が鍵。濃みは排水性と、水量は堤体土の透水係数と対比。濁りは堤体土の内部侵食を懸念する。	同上
亀裂の有無	◎	浸透による滑り破壊か、地震後の発生か、いずれにせよ規模が重要点。亀裂両側の表面にズレの有るとき、滑り破壊へ。	同上
モグラ小孔漏水	△	小孔の内容と発生原因究明により、重要度が変わる。異物腐食による小孔は危険信号。	同上
<b>(法尻)</b>			
漏水・濁り	○	通常みられるが、「水量と濁り」が鍵。水量は堤体土の透水係数と対比。濁りは堤体土の空洞化を懸念する。	堤体土質構成 (1)
浸潤状況	○	浸潤線の高さによっては、○に、滑り破壊への懸念があるから。	同上
<b>(天端)</b>			
天端の状況(わだち、低い天端等)	△	低い天端の沈下原因が判断の分かれ目。天端からの滑り懸念。堤体の「濃み」、基盤と堤体内部の空洞の発生懸念が怖いこと。	堤体土質構成 (2)
亀裂の有無	◎	通常の亀裂は法線に沿う方向だから、亀裂の長さや深度が重要。滑り破壊。	耐浸透・低下 耐侵食・低下
<b>(表法崩れ) (表法)</b>			
陥没等の変状	◎	堤体内部の空洞発生を懸念。	耐侵食・低下
亀裂の有無	◎	滑り破壊の懸念。	同上
ガリ浸食等	△	侵食規模による。	同上
<b>(堤防侵食) 高水敷</b>			
樹木の倒伏	△	高水敷への影響	耐侵食・低下
侵食状況	△	堤体本体への影響の程度	同上
<b>表法面</b>			
法面侵食	○	堤体断面積、のり面勾配への状況により安定に影響するので重要。	同上
護岸や堤防境界付近の侵食等の変状	◎	特に、見えない堤体部の変状の影響見極め。◎付加。	附帯構造物 関連性
構造物周辺の侵食等の変状	◎	接触部の隙間は侵食が拡大するので危険な要因。◎付加したい。	同上
護岸の陥没等の変状	○	堤体の表層における空洞の発生を示唆する。内部を調査する必要。	同上
雨水の集中する箇所の有無	△		?