

河川堤防の堤体土質特性に関する考察

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF SOILS USED FOR RIVER LEVEES

三木 博史¹・中山 修²・佐古 俊介³・堀越 信雄⁴

Hiroshi MIKI, Osamu NAKAYAMA, Shunsuke SAKO and Nobuo HORIKOSHI

¹正会員 工博 建設省土木研究所 材料施工部 (〒305 茨城県つくば市旭1番地)

²財団法人国土開発技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2目8-10 第15森ビル)

³正会員 工修 財団法人国土開発技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2目8-10 第15森ビル)

⁴応用地質株式会社 河川部 (〒330-8632 埼玉県土呂町2丁目61-5)

River levees are generally constructed to match the conditions of the natural river path. The composition of foundation ground, however, is usually complicated, and so is the composition of levees, since their widths and heights are extended after every major disaster. However, few studies have been done so far on the characteristics of soils used for river levees, thus in most cases they are virtually unknown.

In this study, the results of previous studies with respect to the characteristics of soils used for levees, and the results of soil tests conducted for existing river levees were classified, and the characteristics of soils used for river levees are investigated.

Key Words : River levee, characteristics of soil, soil test, cohesion, internal friction angle

1. はじめに

河川堤防は、洪水時の流水を河道内に閉じ込めることにより流域の洪水被害を軽減する防災構造物である。したがって、氾濫域を同一とする一連の区間の堤防が連続していること、すなわち長大な連続構造物であることが大きな特徴である。また、堤防の高さは洪水時の河川水位をもとに設定されており、そのため堤内地盤高に応じて一連区間内においても堤防高は大きく変化する。

河川堤防のもう一つの特徴は、その多くが長い治水の歴史を経て形成されてきたことである。すなわち、古くは自然状態の河道に合わせて築堤したことに始まり、以後は長期間にわたり主として災害を契機として嵩上げや拡幅等による補強がなされてきたという築堤履歴を有している。このことが堤体と基礎地盤の土質の複雑さの主要因となっている。

内部構造ということでは、大部分の堤防が土を材料としていることを特徴とする。これは、材料の取得が容易で安価なこと、構造物としての劣化現象が起きにくいこと、基礎地盤と一体としてなじむこと、変形に追随できること、特別な基礎を必要としないこと、補修や拡築等が容易であること等の利点がある。しかし、土で構成されていることの脆弱（飽和することによる強度低下等）さを内在しているものともいえる。

また、基礎地盤に目を向けてみると、多くの場合、自然の河道状況にあわせて築造しているために、基礎地盤は多様であり、特別な場合を除き地盤改良等は実施していない。

このような特徴を有する河川堤防の土質特性を分析した例は少なく、ほとんどの場合堤体の土質特性が明らかにされていないのが実態である。

本研究は、過去に実施した河川堤防の土質調査結果をとりまとめ、現存する河川堤防の堤体土質特性の

工学的性質を考察したものであり、堤防の耐力に影響を及ぼす土質定数の実態を明らかにするとともに、土質材料区分と土質強度等の関係を明らかにしたものである。

2. 既往の堤防土質調査結果について

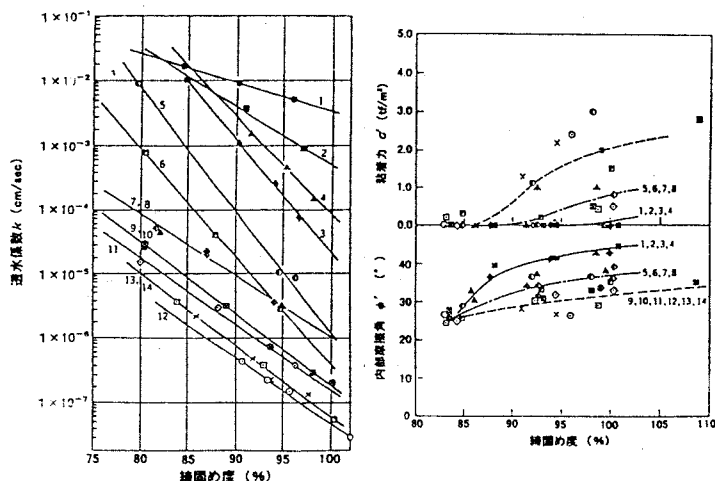
河川堤防の安全性は、外力と耐力（堤体土質の強度）に支配されているわけであるが、堤体の耐力に着目すると、耐力を支配する要因は主として粒度組成から分類される土の種類、締固め度および状態に左右される。

まず、土の種類ということでは、便宜上、粘性土や砂質土にわけて考えるのが普通である。両者は強度の発現の仕方が異なり、砂質土や礫質土は粘着力を持たず、強度は土粒子間の摩擦により発現する。一方、粘性土は逆に摩擦力は小さく粘着力のみによって強度が発現する。

しかしながら、自然の土は、粒度調整をしない限りは、多様な粒度組成を有しており、このことは土の強度を支配する大きな要因の一つである。

一方、土の種類が全く同じでも、締固め度により強度は大きく異なる。久楽・三木・関（1982）らは、締固め度と強度定数（粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ ）および透水係数の関係を明らかにしており、これによると、締固め度と透水係数、強度定数は綿密な関係があることを示している。

土質材料にもよるが、締固め度が 85% から 90% に向上すると、透水係数は最大 1 オーダー程度小さくなり、粘着力は最大 1tf/m^2 、内部摩擦角は最大 10° 増加している。（図-1）



注) 図中の数字は試料番号で、これが小さいほど細粒分が少なく、大きいほど細粒分が多い。

a) 締固め度と透水係数の関係 b) 締固め度と強度定数の関係

図-1 締固め度が土質定数に及ぼす影響の検討事例

河川堤防は、堤体と基礎地盤とが一体として機能を発揮するものであるが、自然な河道に合わせて堤防を築堤したということは、地盤条件を選択できなかったこと、工学的評価の上にたって基礎地盤を選択しているわけではないことを示している。一般に氾濫域を構成する土質は軟弱な沖積層であり、その表層部は氾濫等の影響を受けて複雑な性状を有しており、そのような基礎地盤の上に河川堤防は成立していることになる。

一方、堤体そのものは、洪水による災害を蒙るために嵩上げや拡幅等による補強が繰り返され現在に至っているものが多く、材料に至っては河道の浚渫土や高水敷の掘削土等の現地発生材料を主体として築堤されてきた。したがって、土質や施工方法はその時代の技術力や経済力を反映して様々で、一つとして同じ中身がないとも言える。

関東技術事務所（1983）がとりまとめた堤防開削調査時の土質サンプリング資料によると、既設堤防の土質はシルト質砂が 30% 程度占めるものの、礫粒土から細粒土まで幅広い土質材料が使われている。締固め度をみても 70%~95% と広く分布していることが分かる。

以上のことから、現存する河川堤防の土質は多様であり、耐力に最も影響を及ぼす締固め度も低い水準にあることが伺える。

	含水比 W (%)	孔隙率 n (%)	液性指数 U_c (g/cm ³)	塑性指数 U_p (g/cm ³)	土質分類 S, (N)	締固め度 C, (%)	透水係数 K (cm/sec)
(1) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(2) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(3) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(4) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(5) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(6) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(7) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(8) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(9) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(10) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(11) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(12) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(13) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(14) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(15) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(16) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(17) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(18) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(19) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41
(20) 砂	20.40	60.00	12.41	61.82	20.40	60.00	12.41

図-2 既設堤防の土質性状

3. 河川堤防の土質調査結果

堤防が均一の土質で構築されていた場合、浸透に対する堤防の安全性は、土のせん断強度を支配する粘着力 (c) 及び内部摩擦角 (ϕ) に左右されることは先程にも述べた。これらの値は土の種類によって異なるほか、施工時の締固めの程度によっても大きく異なることが報告されている。

平成 9 年 10 月より行われている「河川堤防の浸透に対する調査要領」に基づいて実施された調査成果から、堤体を構成する土の土質強度（内部摩擦角 (ϕ) と、粘着力 (c)) を対象に、その頻度分布について整理したものを図-3 と図-4 に示す。

土質試験は乱さない試料（粘性土）もしくは密度調

節した試料（礫質土および砂質土）について実施しているが、いずれも飽和状態を対象とし、試験の方法は地盤工学会の基準による。

また、試験条件は礫質土・砂質土については圧密非排水（CU）条件、粘性土については非圧密非排水（UU）条件としている。

なお、データは三軸圧縮試験を行った 59 河川 1124 試料中、砂質土・礫質土に相当する土質のもの 727 事例と粘性土に相当する土質のもの 372 事例を対象としている。（25 事例は値が不明だったもの。）

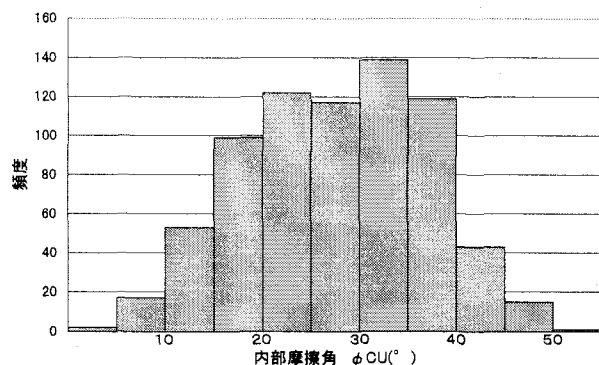


図-3 内部摩擦角 ϕ_{cu} の頻度分布

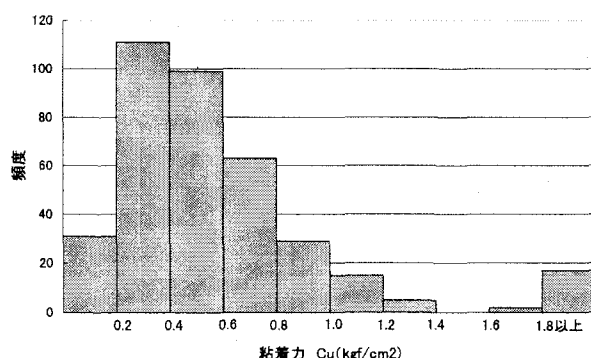


図-4 粘着力 C_u の頻度分布

これによると、内部摩擦角（ ϕ_{cu} ）のばらつきは $5^\circ \sim 55^\circ$ 、粘着力（ C_u ）については $0.1 \text{ kgf/cm}^2 \sim 1.4 \text{ kgf/cm}^2$ というような広い範囲でばらついていることが判る。

また、細粒分含有量の明らかなもの約 80 事例について抽出し、細粒分含有量（ F_c ）と内部摩擦角（ ϕ_{cu} ）との関係を整理したものを、図-5 に示す。

これから明らかなように、同じような粒度組成を有する土でも内部摩擦角は相当な幅をもって分布している。これはすでに述べた締固め度や状態の違いを反映したものであると考えられる。

このように、既設堤防は土質（分類）の多様さに加え、工学的に見ても極めて複雑で、強度面からみても不均質な状態であると言える。

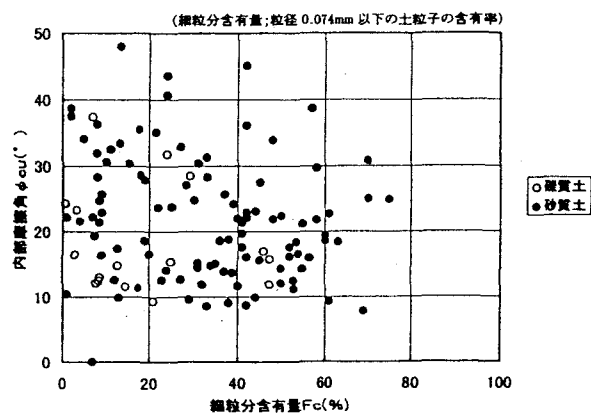


図-5 細粒分含有量と内部摩擦角の関係

4. 土の強度定数等が安全率に及ぼす影響

堤体の強度を支配する要因は、主として粒度組成から分類される土の種類と、締固め度および状態であること、また、強度定数は実堤防においては非常にばらつきが大きいことは先に述べた通りである。ここでは、堤体の強度定数が安全率にどのように影響するか試算を行う。

堤体の内部摩擦角 ϕ_u 、密度 ρ と安全率の関係を試算した結果を図-7、8 に示す。計算手法は浸透流計算を実施した後、全応力法による円弧すべり法を用い裏のり面の最小すべり安全率を算出した。計算に用いた堤防形状は高さ 10m、不飽和透水係数 $k=1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ の砂質土堤防を想定しており、基礎地盤は $k=1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、法尻部から堤内は $k=1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ である。また、外力は河川水位として天端水位の非定常波形を与え、天端水位継続時間は 20 時間とした。降雨は事前降雨量 200mm、降雨量 300mm である。なお、図中のパラメータはのり勾配である。

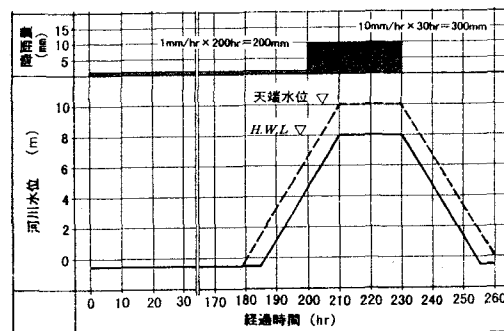
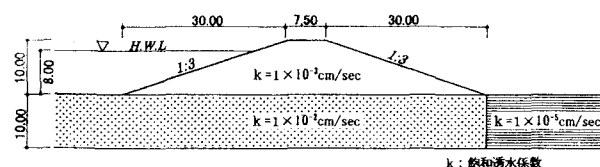


図-6 試算のモデルと設定外力

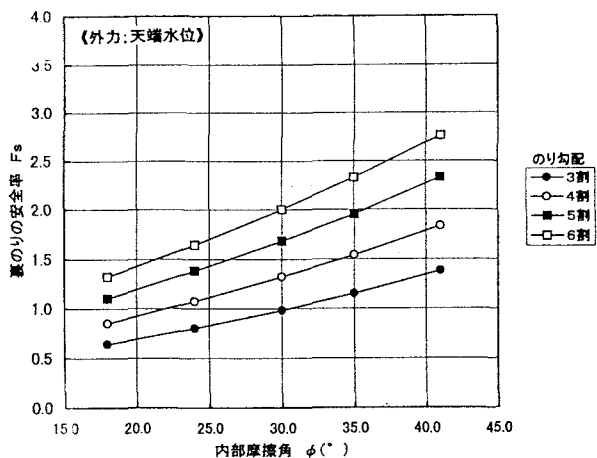


図-7 堤体の内部摩擦角と安全率の関係

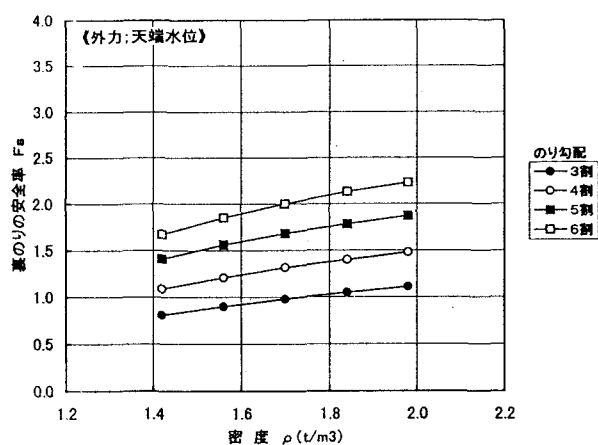


図-8 堤体の密度と安全率の関係

まず、内部摩擦角と安全率の関係でみると、それが 5° 異なると安全率は0.2~0.5前後変化することがわかる。一方、密度に応じて安全率は変

化するが、一般的には堤体を構成する土の密度は図に示すほどの差異はないので、内部摩擦角ほどには安全率に影響を与えないと言えそうである。

4. 結論

河川堤防はその多くが長い治水の歴史を経て形成されており、基礎地盤は複雑で、堤体も嵩上げや拡幅等による補強がなされてきたという築堤履歴のために複雑である。また、土質や施工方法はその時代の技術力や経済力を反映して様々である。さらに、同一土質に分類されて土質強度はばらつきが大きく、一定の傾向が見いだせないことが明らかになった。

以上の結果より、既設の河川堤防の安全性評価に当たっては、N 値等から土質強度を推定する手法を用いて値の設定を行うと、現実の堤防とはかけ離れた値となることとなるために、堤体の土質構成に応じてサンプリングを行い、適切な土質試験を行って、土質強度の設定をすることが必要である。

なお、既設堤防の延長は長大であることから堤防の土質調査にあたっては、安価で効率的な土質調査法の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 久楽、三木、堰：締固め度がレキ混じり粘性土の工学的性質に及ぼす影響（第2報）、土木技術資料 24-3、1982
- 2) 関東技術事務所：既設堤防の土質特性に関する調査報告書、1983

(2000. 4. 17 受付)