

河川堤防の構造検討の手引き 新旧対照表

箇所	現 行	改 訂 案	改訂内容及び根拠																																												
P25 3.2 浸透に対する構造検討のための調査 3.2.2 土質調査 3) 堤防縦断方向の土質調査 (2) 調査の内容及び方法 b) 調査の方法 ③土質試験	③土質試験 標準貫入試験器によって採取した乱した試料を対象に、堤体および基礎地盤の分類特性、すなわち物理的な性質を把握するための土質試験を実施する。試験の項目は表 3.2.1 に示すとおりである。実施する頻度は土質が変化する深さごとを原則とするが、土質が比較的均一とみられる場合でも、堤体では 1 m ごと、基礎地盤については 2～3 m ごとに実施しておくことが望ましい。なお、土質試験の方法は地盤工学会の基準 <sup>6)</sup> による。  表 3.2.1 堤防縦断方向の土質調査における土質試験の項目 <table border="1" data-bbox="599 472 1380 695"> <thead> <tr> <th colspan="2">土質試験の項目</th> <th>礫質土</th> <th>砂質土</th> <th>粘性土</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">物理 試験</td> <td>土粒子の密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>含水量試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> 注) 礫質土は統一土質分類の礫粒土 G で、[G], [G-F], {GF} に該当する 砂質土は同じく砂粒土 S で、[S], [S-F], {SF} に該当する 粘性土は同じく細粒土 F で、{M}, {C} に該当する	土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	物理 試験	土粒子の密度試験	○	○	○	含水量試験	○	○	○	粒度試験	○	○	○	液性限界・塑性限界試験			○	③土質試験 標準貫入試験器によって採取した乱した試料を対象に、堤体および基礎地盤の分類特性、すなわち物理的な性質を把握するための土質試験を実施する。試験の項目は表 3.2.1 に示すとおりである。実施する頻度は土質が変化する深さごとを原則とするが、土質が比較的均一とみられる場合でも、堤体では 1 m ごと、基礎地盤については 2～3 m ごとに実施しておくことが望ましい。なお、土質試験の方法は地盤工学会の基準 <sup>6)</sup> による。  表 3.2.1 堤防縦断方向の土質調査における土質試験の項目 <table border="1" data-bbox="1519 472 2300 695"> <thead> <tr> <th colspan="2">土質試験の項目</th> <th>礫質土</th> <th>砂質土</th> <th>粘性土</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">物理 試験</td> <td>土粒子の密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>含水量試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td>注)</td> <td>注)</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> 注) 礫質土は統一土質分類の礫粒土 G で、[G], [G-F], {GF} に該当する 砂質土は同じく砂粒土 S で、[S], [S-F], {SF} に該当する 粘性土は同じく細粒土 F で、{M}, {C} に該当する 礫質土・砂質土は、細粒分含有率が 15% 程度以上の場合には、液性限界・塑性限界試験を実施することが望ましい。	土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	物理 試験	土粒子の密度試験	○	○	○	含水量試験	○	○	○	粒度試験	○	○	○	液性限界・塑性限界試験	注)	注)	○	
土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土																																											
物理 試験	土粒子の密度試験	○	○	○																																											
	含水量試験	○	○	○																																											
	粒度試験	○	○	○																																											
	液性限界・塑性限界試験			○																																											
土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土																																											
物理 試験	土粒子の密度試験	○	○	○																																											
	含水量試験	○	○	○																																											
	粒度試験	○	○	○																																											
	液性限界・塑性限界試験	注)	注)	○																																											

箇所	現 行	改 訂 案	改訂内容及び根拠																																																																																																																										
<p>P30</p> <p>3.2 浸透に対する構造検討のための調査</p> <p>3.2.2 土質調査</p> <p>4) 堤防縦断方向の土質調査</p> <p>(4) 調査の方法</p> <p>c) 土質調査</p>	<p>c) 土質試験</p> <p>標準貫入試験器によって採取した乱した試料を、堤防縦断方向の調査と同様の項目の土質試験（試験の項目は表 3.2.1 と同様）に供するとともに、力学試験用に採取した試料について表 3.2.3 に示す項目の土質試験を実施する。</p> <p>力学試験は乱さない試料（粘性土）もしくは密度調整した試料（礫質土および砂質土）について実施するが、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<sup>6)</sup>による。</p> <p>堤体の透水性を把握するための透水試験は原則としては礫質土あるいは砂質土を対象とし、粘性土については、後述するように一定の値を設定することが望ましいことから、試験を行う必要はない（第4章）。</p> <p style="text-align: center;">表 3.2.3 堤防横断方向の土質試験の項目（力学試験用試料）</p> <table border="1" data-bbox="543 552 1433 1024"> <thead> <tr> <th colspan="2">土質試験の項目</th> <th>礫質土</th> <th>砂質土</th> <th>粘性土</th> <th>得られる定数等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">物理試験</td> <td>土粒子の密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>土粒子の密度 <math>\rho_s</math></td> </tr> <tr> <td>含水量試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>含水比 <math>w_n</math></td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>粒径加積曲線、10%粒径 <math>D_{10}</math>等</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>液性限界 <math>w_L</math>、塑性限界 <math>w_p</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">湿潤密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>湿潤密度 <math>\rho_t</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">力学試験</td> <td>透水試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>飽和透水係数 <math>k_s</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">三軸圧縮試験もしくは等体積一面せん断試験</td> <td>UU 条件</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>粘着力 <math>c_U</math>（内部摩擦角 <math>\phi_U</math>）</td> </tr> <tr> <td>CU 条件</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>内部摩擦角 <math>\phi_{CU}</math>（粘着力 <math>c_{CU}</math>）</td> </tr> <tr> <td colspan="2">材料試験（堤防新設の場合）</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>最大乾燥密度 <math>\rho_{dmax}</math>等</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1)UU 条件は非圧密非排水条件、CU 条件は圧密非排水条件である 注 2)土質分類（礫質土、砂質土、粘性土）は表 3.2.1 に同じである</p> <p>一方、強度定数を知るための試験は三軸圧縮試験もしくは等体積一面せん断試験による。試験条件は、粘性土については非圧密非排水(UU)条件、礫質土あるいは砂質土については圧密非排水(CU)条件を原則とする。試験条件をこのようにしたのは、浸透に対する堤防の安全性を照査する際の安定計算を全応力法によることとしたためである。また、堤体そのものは土被りが小さいので極力低拘束圧のもとで試験を実施する必要がある。</p> <p>なお、新設堤防の場合は土取場等から採取した試料を対象に、材料試験を実施する。試験の項目は、締固め試験および締固めた材料の力学試験で、後者については締固め度が90%の飽和試料を対象とする。力学試験の内容は表 3.2.3 に示す試験と同じである。</p>	土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等	物理試験	土粒子の密度試験	○	○	○	土粒子の密度 $\rho_s$	含水量試験	○	○	○	含水比 $w_n$	粒度試験	○	○	○	粒径加積曲線、10%粒径 $D_{10}$ 等	液性限界・塑性限界試験	○	○	○	液性限界 $w_L$ 、塑性限界 $w_p$	湿潤密度試験		○	○	○	湿潤密度 $\rho_t$	力学試験	透水試験	○	○	○	飽和透水係数 $k_s$	三軸圧縮試験もしくは等体積一面せん断試験	UU 条件	○	○	○	粘着力 $c_U$ （内部摩擦角 $\phi_U$ ）	CU 条件	○	○	○	内部摩擦角 $\phi_{CU}$ （粘着力 $c_{CU}$ ）	材料試験（堤防新設の場合）		○	○	○	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ 等	<p>c) 土質試験</p> <p>標準貫入試験用サンプラーによって採取した乱した試料を、堤防縦断方向の調査と同様の項目の土質試験（試験の項目は表 3.2.1 と同様）に供するとともに、力学試験用に採取した試料について表 3.2.3 に示す項目の土質試験を実施する。</p> <p>力学試験は乱さない試料（粘性土）もしくは密度調整した試料（礫質土および砂質土）について実施するが、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<sup>6)</sup>による。乱さない試料（粘性土）については、サンプリング、供試体の成形、供試体の試験機への設置等の各過程において、応力解放と機械的な乱れを受けることは避けられないが、できるだけ乾燥などの乱れが小さくなるよう試料の取り扱いを丁寧に行うことが重要である。</p> <p>堤体の透水性を把握するための透水試験は原則としては礫質土あるいは砂質土を対象とし、粘性土については、後述するように一定の値を設定することが望ましいことから、試験を行う必要はない（第4章）。</p> <p style="text-align: center;">表 3.2.3 堤防横断方向の土質試験の項目（力学試験用試料）</p> <table border="1" data-bbox="1463 625 2353 1098"> <thead> <tr> <th colspan="2">土質試験の項目</th> <th>礫質土</th> <th>砂質土</th> <th>粘性土</th> <th>得られる定数等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">物理試験</td> <td>土粒子の密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>土粒子の密度 <math>\rho_s</math></td> </tr> <tr> <td>含水量試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>含水比 <math>w_n</math></td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>粒径加積曲線、10%粒径 <math>D_{10}</math>等</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td>注3)</td> <td>注3)</td> <td>○</td> <td>液性限界 <math>w_L</math>、塑性限界 <math>w_p</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">湿潤密度試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>湿潤密度 <math>\rho_t</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">力学試験</td> <td>透水試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>飽和透水係数 <math>k_s</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">三軸圧縮試験もしくは一面せん断試験<sup>注4)</sup></td> <td>UU 試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>粘着力 <math>c_U</math>（内部摩擦角 <math>\phi_U</math>）</td> </tr> <tr> <td>CU 試験</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>◎</td> <td>粘着力 <math>c_{CU}</math>、内部摩擦角 <math>\phi_{CU}</math></td> </tr> <tr> <td>CUB 試験</td> <td>◎</td> <td>◎</td> <td>◎</td> <td>粘着力 <math>c</math>、<math>c'</math>、内部摩擦角 <math>\phi</math>、<math>\phi'</math></td> </tr> <tr> <td>CD 試験</td> <td>◎</td> <td>◎</td> <td>◎</td> <td>粘着力 <math>c_d</math>、内部摩擦角 <math>\phi_d</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">材料試験（堤防新設の場合）</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>最大乾燥密度 <math>\rho_{dmax}</math>等</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1)UU 試験は非圧密非排水条件、CU 試験は圧密非排水条件、CUB 試験は圧密非排水条件（間隙水圧測定）、CD 試験は圧密排水条件である 注 2)土質分類（礫質土、砂質土、粘性土）は表 3.2.1 に同じである 注 3)礫質土・砂質土は、細粒分含有率が 15%程度以上の場合には、液性限界・塑性限界試験を実施することが望ましい 注 4)せん断強度試験の結果は、一般全応力法によるすべり安定計算に利用する</p> <p>一方、強度定数を知るための試験は三軸圧縮試験もしくは一面せん断試験による。試験条件には、UU 試験（非圧密非排水条件）、CU 試験（圧密非排水条件）、CUB 試験（圧密非排水条件、間隙水圧測定）、CD 試験（圧密排水条件）があり、試料の透水性や堤体の土層構成から想定される被災メカニズム、土質の不均質さ、隣接する土層の排水条件などを考慮し工学的判断の上、選択する。また、三軸圧縮試験と一面せん断試験は、圧密条件やせん断モード等が異なることから<sup>7)</sup>、想定される圧密応力履歴や被災メカニズム等を勘案し、目的に応じたせん断試験を選択すること、両試験から得られた強度定数を混同して使用しないことに注意を要する<sup>8)</sup>。</p> <p>従来、三軸圧縮試験および一面せん断試験における拘束応力の設定に配慮不足な面があった。すべり面計算に用いる三軸圧縮試験等のせん断強度試験は、発生すると予想されるすべり面の深さにおいて、発揮する強度が評価されるように、低い拘束応力範囲を含むように設定することが望ましい。高拘束圧下の試験結果から得られた粘着力を見込むと、低拘束圧下で過大な強度となり、過大な安全率が得られることもあるため、粘着力の評価に必要な注意事項である。次に、一般全応力法でも、すべり面スライスが当たる土層が排水性のとき、排水条件の CD 試験による強度を使用するため、CD 試験または CUB 試験が必要となる<sup>9)</sup>。とくに、透水性の高い礫質土などでは、排水条件の試験を選択することが望ましい。</p> <p>なお、粘性土について、UU 試験を使用する場合は、サンプリング時の乱れや供試体作製過程の影響を受けやすいこと等に留意する必要がある。UU 試験の結果、粘着力 <math>c</math> が過度に</p>	土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等	物理試験	土粒子の密度試験	○	○	○	土粒子の密度 $\rho_s$	含水量試験	○	○	○	含水比 $w_n$	粒度試験	○	○	○	粒径加積曲線、10%粒径 $D_{10}$ 等	液性限界・塑性限界試験	注3)	注3)	○	液性限界 $w_L$ 、塑性限界 $w_p$	湿潤密度試験		○	○	○	湿潤密度 $\rho_t$	力学試験	透水試験	○	○	○	飽和透水係数 $k_s$	三軸圧縮試験もしくは一面せん断試験 <sup>注4)</sup>	UU 試験	○	○	○	粘着力 $c_U$ （内部摩擦角 $\phi_U$ ）	CU 試験	○	○	◎	粘着力 $c_{CU}$ 、内部摩擦角 $\phi_{CU}$	CUB 試験	◎	◎	◎	粘着力 $c$ 、 $c'$ 、内部摩擦角 $\phi$ 、 $\phi'$	CD 試験	◎	◎	◎	粘着力 $c_d$ 、内部摩擦角 $\phi_d$	材料試験（堤防新設の場合）		○	○	○	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ 等	
土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等																																																																																																																								
物理試験	土粒子の密度試験	○	○	○	土粒子の密度 $\rho_s$																																																																																																																								
	含水量試験	○	○	○	含水比 $w_n$																																																																																																																								
	粒度試験	○	○	○	粒径加積曲線、10%粒径 $D_{10}$ 等																																																																																																																								
	液性限界・塑性限界試験	○	○	○	液性限界 $w_L$ 、塑性限界 $w_p$																																																																																																																								
湿潤密度試験		○	○	○	湿潤密度 $\rho_t$																																																																																																																								
力学試験	透水試験	○	○	○	飽和透水係数 $k_s$																																																																																																																								
	三軸圧縮試験もしくは等体積一面せん断試験	UU 条件	○	○	○	粘着力 $c_U$ （内部摩擦角 $\phi_U$ ）																																																																																																																							
		CU 条件	○	○	○	内部摩擦角 $\phi_{CU}$ （粘着力 $c_{CU}$ ）																																																																																																																							
材料試験（堤防新設の場合）		○	○	○	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ 等																																																																																																																								
土質試験の項目		礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等																																																																																																																								
物理試験	土粒子の密度試験	○	○	○	土粒子の密度 $\rho_s$																																																																																																																								
	含水量試験	○	○	○	含水比 $w_n$																																																																																																																								
	粒度試験	○	○	○	粒径加積曲線、10%粒径 $D_{10}$ 等																																																																																																																								
	液性限界・塑性限界試験	注3)	注3)	○	液性限界 $w_L$ 、塑性限界 $w_p$																																																																																																																								
湿潤密度試験		○	○	○	湿潤密度 $\rho_t$																																																																																																																								
力学試験	透水試験	○	○	○	飽和透水係数 $k_s$																																																																																																																								
	三軸圧縮試験もしくは一面せん断試験 <sup>注4)</sup>	UU 試験	○	○	○	粘着力 $c_U$ （内部摩擦角 $\phi_U$ ）																																																																																																																							
		CU 試験	○	○	◎	粘着力 $c_{CU}$ 、内部摩擦角 $\phi_{CU}$																																																																																																																							
		CUB 試験	◎	◎	◎	粘着力 $c$ 、 $c'$ 、内部摩擦角 $\phi$ 、 $\phi'$																																																																																																																							
CD 試験	◎	◎	◎	粘着力 $c_d$ 、内部摩擦角 $\phi_d$																																																																																																																									
材料試験（堤防新設の場合）		○	○	○	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ 等																																																																																																																								

箇所	現 行	改 訂 案	改訂内容及び根拠									
<p>P48 4.3 安全性の照査 4.3.3 照査に方法 2) 円弧すべり法による安定計算法</p>	<p>2) 円弧すべり法による安定計算法 浸透流計算によって得られた浸潤面の中から最も危険なものを抽出し、全応力法にもとづく次式によってすべり破壊に対する最小安全率を算出する。</p> $F_s = \frac{cl + (W - ub) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \alpha}$ <p>ここに、<math>F_s</math>: 安全率 <math>u</math>: すべり面の間隙水圧 (tf/m<sup>2</sup>) <math>W</math>: 分割片の重量 (tf) <math>c</math>: すべり面に沿う土の粘着力 (tf/m<sup>2</sup>) <math>l</math>: 円弧の長さ (m) <math>\phi</math>: すべり面に沿う土の内部摩擦角 (°) <math>b</math>: 分割片の幅 (m)</p> <p>円弧すべり法による安定計算には数多くの方法が提案されているが、ここで提示した計算式は簡便分割法と呼ばれる方法である。 安定計算においては、複数の円弧中心に対して最小安全率を求め、そのなかの最小値が計算断面に対する最小安全率となる。</p>	<p>小さい場合や内部摩擦角 <math>\phi</math> が求まる場合、堤防縦断方向の同一土層の試験結果に対しパラツキが見られる場合等では、試験数量を増やすことや試験条件を CU 試験に変えるなどの検討が必要である。なお、内部摩擦角 <math>\phi</math> が求まるのは、供試体が不飽和の状態の場合によく見られる現象であり、目標とする試験条件である飽和状態を満足していない可能性が高い。また、一軸圧縮試験から求まる一軸圧縮強さの 1/2 (<math>q_u/2</math>) は、UU 試験から求まる粘着力 <math>c</math> の最小値と見なせることから、必要に応じて UU 試験と一軸圧縮試験を合わせて実施することが望ましい。</p> <p>なお、新設堤防の場合は土取場等から採取した試料を対象に、材料試験を実施する。試験の項目は、締固め試験および締固めた材料の力学試験で、後者については締固め管理基準値 (締固め度 90%) の飽和試料を対象とする。力学試験の内容は表 3.2.3 に示す試験と同じである。</p> <p>2) 円弧すべり法による安定計算法 浸透流計算によって得られた浸潤面の中から最も危険なものを抽出し、一般全応力法にもとづいて、次式によってすべり破壊に対する最小安全率を算出する。</p> $F_s = \frac{\Sigma \{cl + (W - ub) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{W \cdot \sin \alpha}$ <p>ここに、<math>F_s</math>: 安全率 <math>u</math>: すべり面の間隙水圧 (kPa) <math>W</math>: 分割片の重量 (kN/m) <math>c</math>: すべり面に沿う土の粘着力 (kPa) <math>l</math>: 円弧の長さ (m) <math>\phi</math>: すべり面に沿う土の内部摩擦角 (°) <math>b</math>: 分割片の幅 (m)</p> <p>一般全応力法は、実際と同じ応力条件と排水条件を与えたせん断試験を行って、いわゆる見かけの強度定数 <math>c</math>、<math>\phi</math> を求め、すべり面の間隙水圧を用いて安定計算を行う方法である<sup>2),3)</sup>。一般全応力法で用いる強度定数および間隙水圧を表 4.3.1 に示す。間隙水圧には、降雨・河川水等の浸透・排水による間隙水圧と、せん断に伴う土の体積膨張または体積収縮による間隙水圧等がある。上記計算式のすべり面の間隙水圧とは、浸透・排水による間隙水圧のことを意味し、テルツァーギはこの間隙水圧のことを「中立間隙水圧」と形容している<sup>2)</sup>。一般全応力法では、強度定数を求める土質試験の中で、せん断に伴う間隙水圧が反映されていることから、上記計算式ではせん断に伴う間隙水圧を考慮しない。</p> <p>円弧すべり法による安定計算には数多くの方法が提案されているが、ここで提示した計算式は修正フェレニウス式と呼ばれる。 安定計算においては、複数の円弧中心に対して最小安全率を求め、そのなかの最小値が計算断面に対する最小安全率となる。</p> <p style="text-align: center;">表 4.3.1 一般全応力法に用いる強度定数と間隙水圧</p> <table border="1" data-bbox="1460 1535 2356 1707"> <thead> <tr> <th>分割片底面の条件</th> <th>強度定数</th> <th>間隙水圧</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>非排水条件 (透水性が低い場合)</td> <td>粘着力 <math>c_v</math> (内部摩擦角 <math>\phi_v \cong 0</math>) または、粘着力 <math>c_{cu}</math>、内部摩擦角 <math>\phi_{cu}</math></td> <td>浸透・排水による 間隙水圧 <math>u</math></td> </tr> <tr> <td>排水条件 (透水性が高い場合)</td> <td>粘着力 <math>c_d \cong c'</math>、内部摩擦角 <math>\phi_d \cong \phi'</math></td> <td>浸透・排水による 間隙水圧 <math>u</math></td> </tr> </tbody> </table>	分割片底面の条件	強度定数	間隙水圧	非排水条件 (透水性が低い場合)	粘着力 $c_v$ (内部摩擦角 $\phi_v \cong 0$ ) または、粘着力 $c_{cu}$ 、内部摩擦角 $\phi_{cu}$	浸透・排水による 間隙水圧 $u$	排水条件 (透水性が高い場合)	粘着力 $c_d \cong c'$ 、内部摩擦角 $\phi_d \cong \phi'$	浸透・排水による 間隙水圧 $u$	
分割片底面の条件	強度定数	間隙水圧										
非排水条件 (透水性が低い場合)	粘着力 $c_v$ (内部摩擦角 $\phi_v \cong 0$ ) または、粘着力 $c_{cu}$ 、内部摩擦角 $\phi_{cu}$	浸透・排水による 間隙水圧 $u$										
排水条件 (透水性が高い場合)	粘着力 $c_d \cong c'$ 、内部摩擦角 $\phi_d \cong \phi'$	浸透・排水による 間隙水圧 $u$										

箇所	現 行	改 訂 案	改訂内容及び根拠																																				
P50 4.3 安全性の照査 4.3.4 照査にあたっての留意点 1) 堤防(堤体および基礎地盤)のモデル化 (3) 土質定数の設定	(3) 土質定数の設定 浸透に対する堤防の安全性の照査に必要な土質定数は表 4.3.1 に示すとおりで、原則として原位置(現場)における試験および室内での土質試験の結果にもとづいて、モデル化した土質区分ごとに適切に設定する。土質定数の設定にあたっては、土質の不均質さを十分に考慮するとともに、経験的に知られている値についても勘案する。  表 4.3.1 浸透に対する堤防の安全性確認に必要な土質定数 <table border="1" data-bbox="543 394 1433 856"> <thead> <tr> <th colspan="2">必要な土質定数</th> <th>用途</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">飽和透水係数 <math>k_s</math></td> <td rowspan="3">非 定 常 浸透流計算</td> <td>現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">不 飽 和 浸透特性</td> <td>比透水係数 <math>\theta \sim k_r</math></td> <td rowspan="2">体積含水率 <math>\theta</math> と比透水係数 <math>k_r</math> (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 <math>\theta</math> と負の圧力水頭 <math>\phi</math> の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする</td> </tr> <tr> <td>水分特性曲線 <math>\theta \sim \phi</math></td> </tr> <tr> <td>湿潤密度 <math>\rho_t</math></td> <td rowspan="3">安 定 計 算</td> <td>原則として室内試験結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td>粘着力 <math>c</math></td> <td rowspan="2">粘性土については非圧密非排水(UU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験、砂質土については圧密非排水(CU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験の結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td>内部摩擦角 <math>\phi</math></td> </tr> </tbody> </table>	必要な土質定数		用途	備考	飽和透水係数 $k_s$		非 定 常 浸透流計算	現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する	不 飽 和 浸透特性	比透水係数 $\theta \sim k_r$	体積含水率 $\theta$ と比透水係数 $k_r$ (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 $\theta$ と負の圧力水頭 $\phi$ の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする	水分特性曲線 $\theta \sim \phi$	湿潤密度 $\rho_t$	安 定 計 算	原則として室内試験結果にもとづいて設定する	粘着力 $c$	粘性土については非圧密非排水(UU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験、砂質土については圧密非排水(CU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験の結果にもとづいて設定する	内部摩擦角 $\phi$	(3) 土質定数の設定 浸透に対する堤防の安全性の照査に必要な土質定数は表 4.3.1 に示すとおりで、原位置(現場)における試験および室内での土質試験の結果を参考に、モデル化した土質区分ごとに適切に設定する。土質定数の設定にあたっては、試料の透水性や堤体の土層構成から想定される被災メカニズム、土質の不均質さなどを十分に考慮するとともに、経験的に知られている値についても勘案する。  表 4.3.1 浸透に対する堤防の安全性確認に必要な土質定数 <table border="1" data-bbox="1463 394 2353 877"> <thead> <tr> <th colspan="2">必要な土質定数</th> <th>用途</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">飽和透水係数 <math>k_s</math></td> <td rowspan="3">非 定 常 浸透流計算</td> <td>現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">不 飽 和 浸透特性</td> <td>比透水係数 <math>\theta \sim k_r</math></td> <td rowspan="2">体積含水率 <math>\theta</math> と比透水係数 <math>k_r</math> (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 <math>\theta</math> と負の圧力水頭 <math>\phi</math> の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする</td> </tr> <tr> <td>水分特性曲線 <math>\theta \sim \phi</math></td> </tr> <tr> <td>湿潤密度 <math>\rho_t</math></td> <td rowspan="3">安 定 計 算<sup>注)</sup></td> <td>原則として室内試験結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td>粘着力 <math>c</math></td> <td rowspan="2">粘性土については CU 試験または UU 試験の結果に基づいて設定する。 砂質土については CUB 試験、CD 試験または CU 試験の結果にもとづいて設定する</td> </tr> <tr> <td>内部摩擦角 <math>\phi</math></td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1507 884 1961 911">注) 安定計算は一般全応力法にもとづいて実施</p>	必要な土質定数		用途	備考	飽和透水係数 $k_s$		非 定 常 浸透流計算	現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する	不 飽 和 浸透特性	比透水係数 $\theta \sim k_r$	体積含水率 $\theta$ と比透水係数 $k_r$ (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 $\theta$ と負の圧力水頭 $\phi$ の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする	水分特性曲線 $\theta \sim \phi$	湿潤密度 $\rho_t$	安 定 計 算 <sup>注)</sup>	原則として室内試験結果にもとづいて設定する	粘着力 $c$	粘性土については CU 試験または UU 試験の結果に基づいて設定する。 砂質土については CUB 試験、CD 試験または CU 試験の結果にもとづいて設定する	内部摩擦角 $\phi$	
必要な土質定数		用途	備考																																				
飽和透水係数 $k_s$		非 定 常 浸透流計算	現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する																																				
不 飽 和 浸透特性	比透水係数 $\theta \sim k_r$		体積含水率 $\theta$ と比透水係数 $k_r$ (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 $\theta$ と負の圧力水頭 $\phi$ の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする																																				
	水分特性曲線 $\theta \sim \phi$																																						
湿潤密度 $\rho_t$	安 定 計 算	原則として室内試験結果にもとづいて設定する																																					
粘着力 $c$		粘性土については非圧密非排水(UU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験、砂質土については圧密非排水(CU)条件の三軸圧縮試験または等体積一面せん断試験の結果にもとづいて設定する																																					
内部摩擦角 $\phi$																																							
必要な土質定数		用途	備考																																				
飽和透水係数 $k_s$		非 定 常 浸透流計算	現場および室内での透水試験結果にもとづいて設定する																																				
不 飽 和 浸透特性	比透水係数 $\theta \sim k_r$		体積含水率 $\theta$ と比透水係数 $k_r$ (不飽和透水係数/飽和透水係数) の関係、および体積含水率 $\theta$ と負の圧力水頭 $\phi$ の関係(水分特性曲線)を示すもので、実際に求める場合には特別な試験が必要で、本手引きでは原則として後出の図 4.3.5 および図 4.3.6 に設定される不飽和浸透特性を利用することとする																																				
	水分特性曲線 $\theta \sim \phi$																																						
湿潤密度 $\rho_t$	安 定 計 算 <sup>注)</sup>	原則として室内試験結果にもとづいて設定する																																					
粘着力 $c$		粘性土については CU 試験または UU 試験の結果に基づいて設定する。 砂質土については CUB 試験、CD 試験または CU 試験の結果にもとづいて設定する																																					
内部摩擦角 $\phi$																																							

箇所	現 行	改 訂 案	改訂内容及び根拠
<p>P57</p> <p>4.3 安全性の照査</p> <p>4.3.4 照査にあたっての留意点</p> <p>1) 堤防(堤体および基礎地盤)のモデル化</p> <p>b) 安定計算に必要な土質定数</p>	<p>b) 安定計算に必要な土質定数</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・湿潤密度 <math>\rho_t</math></li> </ul> <p>原則としては土質試験(湿潤密度試験)の結果にもとづいて設定する。なお、湿潤密度 <math>\rho_t</math> は飽和度によって変化するので、厳密には飽和度に応じて設定する必要があるが、ここでは安全側に、モデル化した土質ごとに飽和状態に近い値を採用する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・粘着力 <math>c</math></li> </ul> <p>主として粘性土に与える強度定数で、飽和状態の非圧密非排水条件(UU条件)の三軸圧縮試験の結果にもとづいて設定する。この場合は原則的には内部摩擦角 <math>\phi</math> は <math>0</math> (<math>\phi = 0^\circ</math>) である。乱さない試料の採取ができない等の理由で土質試験の実施が困難な場合には、<math>N</math> 値等から粘着力を推定することができるが、あくまでも止むを得ない場合の対応と考えるべきである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内部摩擦角 <math>\phi</math></li> </ul> <p>内部摩擦角 <math>\phi</math> は砂質土および礫質土について設定する強度定数で、原則として密度調整した試料(飽和状態)を対象とした三軸圧縮試験あるいは等体積一面せん断試験(いずれも CU 条件の試験)の結果をもとに設定する。よく締った土、細粒分の多い土、あるいは不飽和な土では、砂質土に分類されるようなものでも、CU条件の三軸圧縮試験等から <math>c</math> および <math>\phi</math> の双方が得られる場合がある。粘性土と砂質土の中間的な性質を有する土も多いが、設計上は粘性土は <math>\phi = 0</math>、砂質土と礫質土は <math>c = 0</math> と割り切って扱うのが一般的であり、また浸透に対する安全性照査という観点からいっても、砂質土や礫質土について過大な粘着力 <math>c</math> を見込むのは好ましいものではない。したがって、土質試験の結果を機械的に適用するのではなく、経験的に知られている値や <math>N</math> 値等から推定される値、あるいは隣接する断面の類似の土質に対する試験の結果等を十分に勘案し、適切に設定する必要がある。</p> <p>安定計算の技術上の問題からいえば、堤体土が砂質土や礫質土の場合に <math>\phi = 0</math> とすると、のり面の表層をかすめるような円弧が最小安全率を示すことがあり、堤防全体の安全性を照査するという意味からは望ましいものではない。したがって、実務においては三軸圧縮試験等の結果が <math>c = 0</math> であっても <math>c = 0.1 \text{ tf/m}^2</math> 程度を見込んでおくことが必要である。</p> <p>なお、標準貫入試験から得られる <math>N</math> 値と内部摩擦角 <math>\phi</math> の関係については多数の提案があり、参考に代表的なものを列挙すれば次のとおりである。</p> <p>Peck(1953) <math>\phi = 0.3N + 27</math></p> <p>大崎(1959) <math>\phi = \sqrt{20N} + 15</math></p> <p>Meyerhof(1956) <math>\phi = (5/6)N + 26.7</math> (<math>4 \leq N &lt; 10</math>)  <math>\phi = (1/4)N + 32.5</math> (<math>10 \leq N \leq 50</math>)</p> <p>Dunham(1954) ① <math>\phi = \sqrt{12N} + 25</math> (角張った粒子で、粒度配合がよい)      ② <math>\phi = \sqrt{12N} + 20</math> (丸くて良配合・角張って悪配合)      ③ <math>\phi = \sqrt{12N} + 15</math> (丸い粒子で、粒度配合悪い)</p> <p>道路橋下部構造設計指針(1968) <math>\phi = \sqrt{15N} + 15 \leq 45^\circ</math></p> <p>国鉄建造物設計標準解説(1986) <math>\phi = \left[ 1.85 \frac{N}{\sigma_v' + 0.7} \right] + 26</math>  <span style="color: red;">(<math>\sigma_v'</math>; 有効上載圧)</span></p>	<p>b) 安定計算に必要な土質定数</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・湿潤密度 <math>\rho_t</math></li> </ul> <p>原則としては土質試験(湿潤密度試験)の結果にもとづいて設定する。なお、湿潤密度 <math>\rho_t</math> は飽和度によって変化するので、厳密には飽和度に応じて設定する必要があるが、ここでは安全側に、モデル化した土質ごとに飽和状態に近い値を採用するのがよい。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・粘着力 <math>c</math>、内部摩擦角 <math>\phi</math></li> </ul> <p>従来、三軸圧縮試験および一面せん断試験における拘束応力の設定に配慮不足な面があった。すべり面計算に用いる三軸圧縮試験等のせん断強度試験は、発生すると予想されるすべり面の深さにおいて、発揮する強度が評価されるように、低い拘束応力範囲を含むように設定する。高拘束圧下の試験結果から得られた粘着力を見込むと、低拘束圧下で過大な強度となり、過大な安全率が得られることもあるため、粘着力の評価に必要な注意事項である。</p> <p>よく締った土、細粒分の多い土、あるいは不飽和な土では、砂質土に分類されるようなものでも、CU試験から <math>c_{cu}</math> および <math>\phi_{cu}</math> の双方が得られる場合がある。このような場合、土質試験の結果を機械的に適用するのではなく、<math>c_{cu}</math> と <math>\phi_{cu}</math> の両者を考慮し設定する必要がある。その際には、試験条件の見直し、経験的に知られている値や <math>N</math> 値等から推定される値、あるいは隣接する断面の類似の土質に対する試験の結果等を十分に勘案する必要がある。</p> <p>次に、一般全応力法でも、すべり面スライスが当たる土層が排水性のとき、排水条件の CD 試験による強度を使用するため、CD 試験または CUB 試験が必要となる。</p> <p>粘性土を対象とした UU 試験にもとづく場合は原則的には内部摩擦角 <math>\phi</math> は <math>0</math> (<math>\phi = 0^\circ</math>) である。粘着力 <math>c</math> は試料の採取深度によって変わるため、深度に応じた強度増加を考慮する場合には、CU 試験または採取深度を変えて UU 試験を行うことを検討する。また、UU 試験は、サンプリング時の乱れや供試体作製過程の影響を受けやすいこと等に留意する必要がある。UU 試験の結果、粘着力 <math>c</math> が過度に小さい場合や内部摩擦角 <math>\phi</math> が求まる場合、堤防縦断方向の同一土層の試験結果に対しバラツキが見られる場合等では、試験数量を増やすことや試験条件を CU 試験に変えるなどの検討が必要である。なお、内部摩擦角 <math>\phi</math> が求まるのは、供試体が不飽和の状態の場合によく見られる現象であり、目標とする試験条件である飽和状態を満足していない可能性が高い。また、一軸圧縮試験から求まる一軸圧縮強さの <math>1/2</math> (<math>q_u/2</math>) は、UU 試験から求まる粘着力 <math>c</math> の最小値と見なせることから、必要に応じて UU 試験と一軸圧縮試験を合わせて実施することが望ましい。</p> <p>安定計算の技術上の問題からいえば、堤体土が砂質土や礫質土の場合に <math>c = 0</math> とすると、のり面の表層をかすめるような円弧が最小安全率を示すことがあり、堤防全体の安全性を照査するという意味からは望ましいものではない。実務においては三軸圧縮試験等の結果が <math>c = 0</math> であっても <math>c = 1 \text{ kN/m}^2</math> 程度を見込んでおくことが推奨されてきたのは軽微な規模の破壊を過大視しないためである。</p> <p>なお、標準貫入試験から得られる <math>N</math> 値と内部摩擦角 <math>\phi</math> の関係については多数の提案があり、参考に代表的なものを列挙すれば次のとおりである。</p> <p>Peck(1953) <math>\phi = 0.3N + 27</math></p> <p>大崎(1959) <math>\phi = \sqrt{20N} + 15</math></p> <p>Meyerhof(1956) <math>\phi = (5/6)N + 26.7</math> (<math>4 \leq N &lt; 10</math>)  <math>\phi = (1/4)N + 32.5</math> (<math>10 \leq N \leq 50</math>)</p> <p>Dunham(1954) ① <math>\phi = \sqrt{12N} + 25</math> (角張った粒子で、粒度配合がよい)      ② <math>\phi = \sqrt{12N} + 20</math> (丸くて良配合・角張って悪配合)      ③ <math>\phi = \sqrt{12N} + 15</math> (丸い粒子で、粒度配合悪い)</p> <p>道路橋示方書・同解説下部構造編(2002) <math>\phi = 4.8 \log \left[ \frac{170N}{\sigma_v' + 70} \right] + 21</math></p> <p>鉄道建造物等設計標準・同解説一土建造物(2007) <math>\phi = 1.85 \left[ \frac{N}{\sigma_v' / 100 + 0.7} \right]^{0.6} + 26</math>  <span style="color: red;">(<math>\sigma_v'</math>; 有効上載圧 <math>\text{kN/m}^2</math>)</span></p>	