

3.7 レベル2地震動に対する耐震性能の照査

重要度区分AA種におけるレベル2地震動に対する耐震性能照査に当たっては、個々のため池の諸条件を十分考慮した上で、適切な方法により実施しなければならない。

本照査では、発生確率は低い、断層近傍域で発生するような極めて激しい強さを持つ「レベル2地震動」により実施する。

3.7.1 重要度区分AA種の耐震照査手順

重要度区分AA種におけるレベル2地震動に対する耐震性能照査は、図-3.7.1に示す手順により行う。また、液状化の検討については、「3.8液状化の検討」により行うものとする。

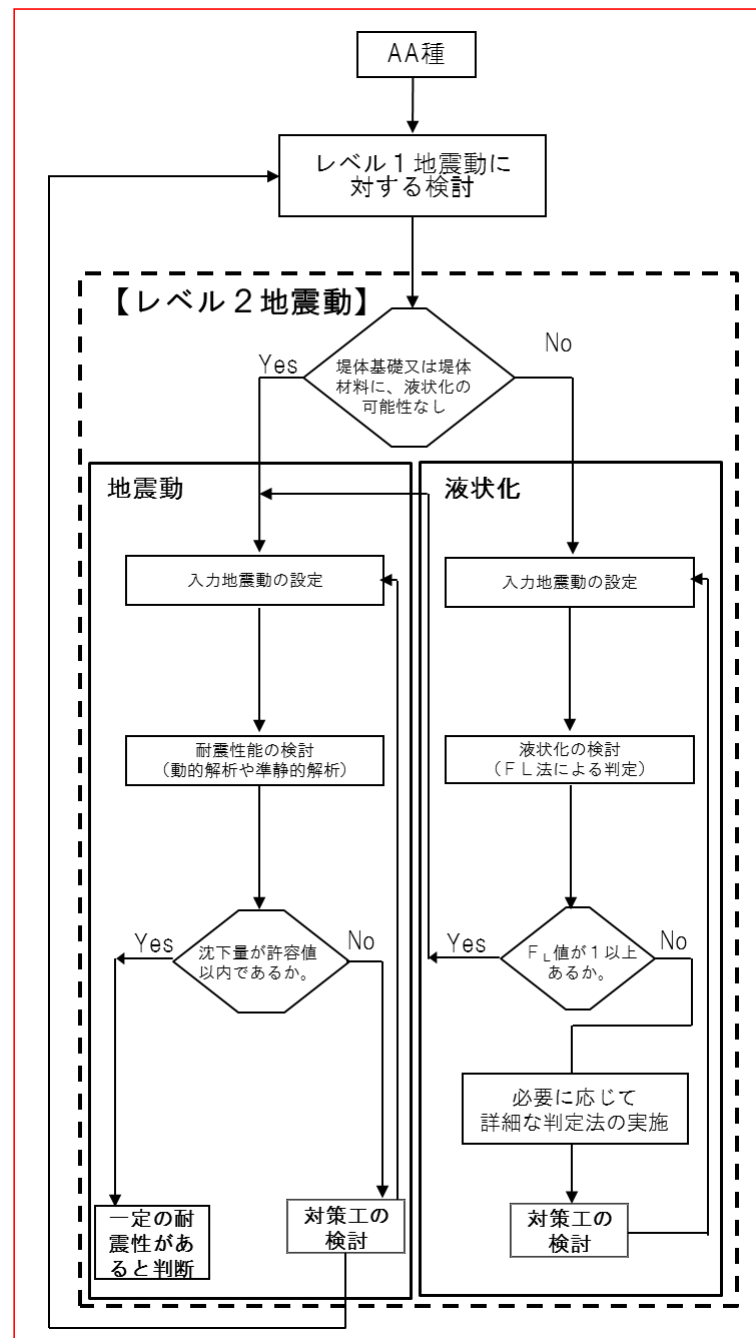


図-3.7.1 レベル2地震動に対する耐震性能照査手順

改 定	現 行	備 考																																																																								
<p>3.7.2 試験</p> <p>ため池の既存堤体は施工方法が不明であることが多く、締固め不足の状態も想定される。締固め不足が原因で大規模地震時にすべり破壊が発生する可能性があるため、現況を適切に把握することが重要である。</p> <p>(1)土質試験</p> <p>(a)土質試験項目</p> <p>レベル2地震動に対する耐震性能の照査に必要な土質試験は、「2.1.2 地質調査及び土質試験」により、実施するものとする。</p> <p style="text-align: center;">表-3.7.1 土質試験項目（レベル2地震動に対する照査を行う場合）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">試 験 項 目</th> <th style="text-align: center;">試験規格</th> <th style="text-align: center;">築堤材料</th> <th style="text-align: center;">現況堤体</th> <th style="text-align: center;">基礎地盤</th> <th style="text-align: center;">備 考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>土粒子の密度試験</td> <td>JIS A 1202</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td rowspan="13">○：必ず実施する。 △：必要に応じて実施する。 *：現況堤体の大部分を利用して盛土する場合は必ず実施する。</td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>〃 1204</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>含水比試験</td> <td>〃 1203</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td>〃 1205</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>現場密度の測定</td> <td>〃 1214他</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> <tr> <td>突固めによる土の締固め試験</td> <td>〃 1210</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">*△</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> <tr> <td>透水試験</td> <td>〃 1218他</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○ (現場)</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>一軸圧縮試験</td> <td>〃 1216</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> <tr> <td>三軸圧縮試験</td> <td>JGS 0524他</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>圧密試験</td> <td>JIS A 1217</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>単調載荷試験</td> <td>JGS 0523</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>液状化試験</td> <td>〃 0541</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> <tr> <td>繰返し三軸試験</td> <td>〃 0542</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> <td style="text-align: center;">△</td> </tr> </tbody> </table>	試 験 項 目	試験規格	築堤材料	現況堤体	基礎地盤	備 考	土粒子の密度試験	JIS A 1202	○	○	△	○：必ず実施する。 △：必要に応じて実施する。 *：現況堤体の大部分を利用して盛土する場合は必ず実施する。	粒度試験	〃 1204	○	○	△	含水比試験	〃 1203	○	○	△	液性限界・塑性限界試験	〃 1205	○	○	△	現場密度の測定	〃 1214他	—	—	—	突固めによる土の締固め試験	〃 1210	○	*△	—	透水試験	〃 1218他	○	○ (現場)	△	一軸圧縮試験	〃 1216	—	—	—	三軸圧縮試験	JGS 0524他	○	○	△	圧密試験	JIS A 1217	△	△	△	単調載荷試験	JGS 0523	△	△	△	液状化試験	〃 0541	△	△	△	繰返し三軸試験	〃 0542	△	△	△		
試 験 項 目	試験規格	築堤材料	現況堤体	基礎地盤	備 考																																																																					
土粒子の密度試験	JIS A 1202	○	○	△	○：必ず実施する。 △：必要に応じて実施する。 *：現況堤体の大部分を利用して盛土する場合は必ず実施する。																																																																					
粒度試験	〃 1204	○	○	△																																																																						
含水比試験	〃 1203	○	○	△																																																																						
液性限界・塑性限界試験	〃 1205	○	○	△																																																																						
現場密度の測定	〃 1214他	—	—	—																																																																						
突固めによる土の締固め試験	〃 1210	○	*△	—																																																																						
透水試験	〃 1218他	○	○ (現場)	△																																																																						
一軸圧縮試験	〃 1216	—	—	—																																																																						
三軸圧縮試験	JGS 0524他	○	○	△																																																																						
圧密試験	JIS A 1217	△	△	△																																																																						
単調載荷試験	JGS 0523	△	△	△																																																																						
液状化試験	〃 0541	△	△	△																																																																						
繰返し三軸試験	〃 0542	△	△	△																																																																						

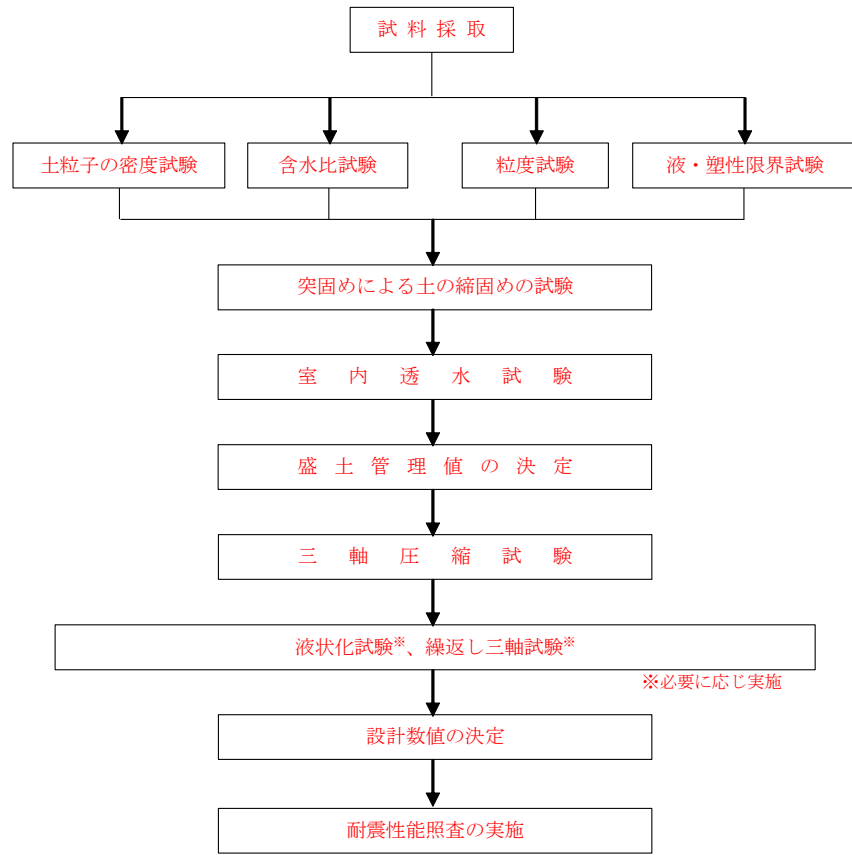


図-3.7.2 土質試験の手順

(b) 動的解析に必要な試験項目

動的解析手法を用いてレベル2地震動に対する照査を行う場合に必要試験項目を、表-3.7.2に示す。

表-3.7.2に示すように、検討に用いる解析コードにより、必要な試験が異なることから、実施する解析に合わせた試験の実施が必要である。

表-3.7.2 試験法と安定解析の適用

解析法	試 験 法	計算斜面	照査方法
全応力解析	圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験 繰返し三軸試験 液状化試験 繰返し三軸試験+単調載荷試験	上・下流側	沈下量が許容値以内
有効応力解析	圧密・非排水(CU)試験、又は 圧密・排水(CD)試験 繰返し三軸試験 液状化試験	〃	〃

注) 動的解析手法を用いる際には、地震波の入力位置として、S波速度300~700m/s程度以上の工学的基盤面の確認が必要であるため、調査ボーリングはN値50(S波速度300~400m/s相当)以上の深度を確認する必要がある。

改 定	現 行	備 考						
<p>(c) 堤体材料の設計弾性定数</p> <p>レベル2地震動に対する照査を行う場合の地震応答解析に用いる動的せん断剛性(G_{max})、動ポアソン比(ν_d)、減衰定数(h)、$G/G_{max}-\gamma$、$h-\gamma$ 曲線(ひずみ依存、双曲線モデル)については、下表により設定する。</p> <p style="text-align: center;">表-3.7.5 設計弾性定数の設定方法</p> <table border="1" data-bbox="133 388 1261 577"> <thead> <tr> <th>必要となるデータ</th> <th>設定方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>動的せん断剛性 (G_{max}) 動ポアソン比 (ν_d)</td> <td>PS 検層を実施し、V_s、V_p を求め、算定する。 PS 検層が実施できない場合、文献を参照し、提案されている経験式から算定する。</td> </tr> <tr> <td>$G/G_{max}-\gamma$ $h-\gamma$</td> <td>対象となる試料を用い、変形特性を求めるための繰返し三軸試験を実施する。試料採取が困難と考えられる場合、物理特性等の近い資料での試験データを文献等から収集し活用する。</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.7.3 堤体の耐震性能照査</p> <p>(1)照査の諸条件</p> <p>(a) 安全率</p> <p>重要度区分AA種のため池は、レベル2地震動に対する安定計算を行い、堤体の沈下量を算出する。沈下量が設定した許容沈下量を下回れば、耐震性能を満足するとみなしてよい。</p> <p>(b) 許容沈下量</p> <p>ため池の許容沈下量については、具体的な数値を示すことは困難であるが、①堤頂と常時満水位 (FWL) との標高差、②堤頂と設計洪水水位 (HWL) との標高差、③1.0m (余盛やフリーボードを考慮) 等がある。ただし、材料試験や安定計算の精度や基礎地盤の不確定要素に加え、下流への影響度や地域におけるため池の重要度等、個々のため池の事情を勘案し、適正に設定する必要がある。</p> <div data-bbox="172 1113 1222 1549" data-label="Diagram"> </div> <p style="text-align: center;">図-3.7.3 許容沈下量の設定方法</p>	必要となるデータ	設定方法	動的せん断剛性 (G_{max}) 動ポアソン比 (ν_d)	PS 検層を実施し、 V_s 、 V_p を求め、算定する。 PS 検層が実施できない場合、文献を参照し、提案されている経験式から算定する。	$G/G_{max}-\gamma$ $h-\gamma$	対象となる試料を用い、変形特性を求めるための繰返し三軸試験を実施する。試料採取が困難と考えられる場合、物理特性等の近い資料での試験データを文献等から収集し活用する。		
必要となるデータ	設定方法							
動的せん断剛性 (G_{max}) 動ポアソン比 (ν_d)	PS 検層を実施し、 V_s 、 V_p を求め、算定する。 PS 検層が実施できない場合、文献を参照し、提案されている経験式から算定する。							
$G/G_{max}-\gamma$ $h-\gamma$	対象となる試料を用い、変形特性を求めるための繰返し三軸試験を実施する。試料採取が困難と考えられる場合、物理特性等の近い資料での試験データを文献等から収集し活用する。							

改 定	現 行	備 考
<p>(c) 入力地震動</p> <p>入力地震動は 図-3.7.4に示す作業手順によりタイプⅠ（プレート境界型）とタイプⅡ（内陸直下型）を想定した2種類の波形を設定する。入力地震動の設定に当たっては、位相特性と振幅特性を設定する必要がある。なお、位相特性は地震動の波形形状を、振幅特性は地震動の強さを規定している。</p> <p>入力地震動の設定に当たっては、想定される地震断層により生じる地震動、既往の地震動、地域の防災計画において想定されている地震動等の情報を十分に収集し、検討を行う。</p> <p>大規模な地震の発生が想定されない地域であっても、レベル2地震動相当の地震動に対する耐震性を照査する観点から、国土交通省が平成17年3月に制定した「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」（以下「指針（案）」という。）の照査用下限加速度応答スペクトルを準用し、必ず、この照査用下限加速度応答スペクトル以上のものを用いることとする。</p> <p>なお、照査用下限加速度スペクトルは最新のものを用いる。</p> <div data-bbox="400 724 994 1113" data-label="Diagram"> <pre> graph TD START[START] --> PHASE[位相特性] START --> AMP[振幅特性] PHASE --> PHASE_BOX[既往の地震動に関する情報およびデータ収集と原種波形の設定] AMP --> AMP_BOX[地震動の強さに関する検討と加速度応答スペクトルの設定] PHASE_BOX --> DECISION[入力地震動の決定 (プレート境界型と内陸直下型)] AMP_BOX --> DECISION </pre> </div> <p>図-3.7.4 入力地震動設定作業フロー</p>		

改 定	現 行	備 考
<p>(2) 耐震計算法</p> <p>(a) ため池における耐震計算法</p> <p>レベル2地震動に対する耐震計算法は、動的応答解析、又は塑性すべり解析を用いる。</p> <p>動的応答解析とは、地震時における構造物の動的な挙動を、動力学的に解析して設計する耐震計算法である。動的解析法は、静的解析法に比べて実際の現象に近い挙動を再現でき、様々な構造物や地盤に適応できるが、モデル化や入力地震動の設定によって解析結果が大きく変化するので目的に合った解析法を適用する必要がある。</p> <p>また、現在、ため池と類似した構造であるフィルダムを対象にレベル2地震動に対する耐震性能照査に関する検討が進められているところであるが、これらの検討状況を踏まえ、ため池の耐震性能照査を実施する必要がある。</p> <p>(b) 動的応答解析の概要</p> <p>動的応答解析は、図-3.7.5に示す解析対象のモデル化、入力地震動、材料の構成関係、及び運動方程式の解法などの条件の違いにより、結果は大きく異なったものとなる。図中の項目の他にも、波動反射などの境界条件、逸散減衰などの減衰条件、地盤及び貯水との相互作用問題など、解析結果を左右する因子は多い。</p> <p>材料の構成関係</p> <p>運動方程式の方法</p> <p>図-3.7.5 有限要素法による動的解析手法の分類</p>		

改 定	現 行	備 考
<p>(c) 運動方程式の解法</p> <p>地震力が作用したときのダムの応答を数値的に解析する方法としては、有限要素法により式 (9.1.7-1) の運動方程式を解くのが一般的である。</p> $M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = R(t)$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> M : 系全体の質量マトリックス C : " 減衰マトリックス K : " 剛性マトリックス <p>(材料の応力とひずみの関係 (弾性弾塑性など))</p> <p>$\ddot{U}(t)$、$\dot{U}(t)$、$U(t)$: 節点の加速度、速度、変位ベクトル</p> <p>$R(t)$: 地震外力のベクトル</p> <p>有限要素法によって動的応答解析を行う際には、要素の大きさが解析結果に影響を与える。地震波の伝達される方向 (一般的に鉛直方向) の 1 要素の寸法は、波長の 1/5 以下とする必要がある。図-9.1.7-2 に示した運動方程式の解法には、それぞれ以下のような特徴がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 逐次積分法 : 繰返しの多い非線形計算に適している。陽解法では、時間刻みを適正に設定しないと解が得られない。 ② モード重畳法 : 3 次元モデルなどの大規模な系の計算に適しているが、非線形計算はできない。 ③ 複素応答法 : 地震応答を周波数領域で計算するので、時間領域との変換が必要となる。非線形性は等価線形法を適用することでしか考慮できず、厳密な非線形計算はできない。 <p>(d) ため池の耐震計算に考慮する必要がある事項</p> <p>ため池については、近代的な設計、施工方法で築造されていないものが多く、長時間継続する地震動によって、堤体土の強度が時間の経過とともに低下する可能性があることが解っている。</p> <p>これは、近代的な設計、施工方法で築造されたフィルダムとは異なり、堤体土の土質や締固密度が影響していると考えられる。</p> <p>従って、長時間継続する地震動によって、堤体土の強度低下が懸念されるため池にあつては、これを考慮した耐震計算法により検討する必要がある。</p>		

改 定		現 行	備 考
<p>[参考] 堤体土の強度低下を考慮した計算法の事例</p> <p>築堤年代の古いため池では近代的な重機施工ではないことから締固め度が不足し、D値が90%未満のものも多く見受けられる。このようなため池にレベル2地震動の強い地震動が作用した場合、レベル1地震動では問題とならなかった過剰間隙水圧の上昇により盛土材料のせん断強度が低下する現象が発生することが報告されている。このような現象が生じることが想定されるため池については、レベル2地震動に対する耐震照査において、地震中の間隙水圧の上昇によるせん断強度の低下及び剛性の低下を考慮する必要がある。</p> <p>これに対応する動的解析手法としては、全応力解析と有効応力解析に大別され、①全応力解析としては、過剰間隙水圧の上昇は直接求めず、その影響を反映した試験結果により堤体土の強度低下を評価し、すべり変形量を算出する「塑性すべり解析」手法、②有効応力解析としては、地震による過剰間隙水圧の上昇・圧密消散や剛性の低下を直接計算して残留変形や応力を算出する「動的応答解析」手法が挙げられる。</p>			
<p>参表-1 全応力解析と有効応力解析の概要</p>			
予測法の種類		予測法の特徴	
		土の応力と土の応力-ひずみ関係	
全 応 力 解 析	(A) 堤体の透水を考慮しない方法	過剰間隙水圧の上昇、消散による有効応力の変化に関わらず、土の応力-ひずみ関係は一定である。したがって、地震応答解析と変形解析とは別々に行われる。 (非連成問題)	理論的には有効応力解析に劣るが、手軽で運用実績も多い。
	(B) 堤体の透水を考慮しない方法	過剰間隙水圧の上昇、消散による有効応力の変化に応じて土の応力-ひずみ関係を時々刻々と変化させる。したがって、地震応答解析に変形化解析も含まれる。 (連成問題)	手間は(D)と大差ないが、(D)の方がより精度の高い結果が得られるので、ほとんど用いられていない。
有 効 応 力 解 析	(C) 堤体の透水を考慮する方法		理論的に最も優れた方法である。実際の場への適用が多くなっている。

改 定		現 行	備 考												
<p>参表-2 に各手法の概要を示す。</p> <p style="text-align: center;">参表-2 代表的な耐震照査手法の概要</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">応力条件</th> <th style="width: 65%;">特 徴</th> <th style="width: 20%;">備 考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 有効応力法(1)</td> <td> <p>○残留変形、間隙水圧、剛性低下の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・過剰間隙水圧の発生は累積塑性せん断仕事と液状化フロントを考慮した井合モデルを適用して算定する。 ・間隙水圧の消散は算定できない。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・双曲線バネを想定した多重せん断バネモデルにより、固相（土粒子）の応力-ひずみを計算する。 </td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. 有効応力法(2)</td> <td> <p>○圧密沈下を含む残留変形、間隙水圧、剛性低下、の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・間隙水圧は液相自体の変位-ひずみ関係、応力-ひずみ、質量や運動量の保存側、連続式および固相との総合作用力を考慮して求められる。 ・間隙水圧は地震中の上昇、地震後の消散を考慮する。これにより圧密沈下の算定ができる。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震による繰返し応力に対する応力-ひずみ関係を弾塑性や弾粘塑性のモデルを適用して各時刻の応力、変位を求める。 <p>適用モデルは次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 繰返し弾塑性モデル ii) 繰返し弾粘塑性モデル iii) 拡張された弾塑性モデル iv) 修正 R-0 モデル（間隙水圧が発生しない材料） </td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. 全応力法</td> <td> <p>○すべり円弧の残留変形</p> <p>①損傷度による「強度低下の算定</p> <p>②動的変形特性（H-D モデル、GHE モデル^{注)}）</p> <p>③動的応答解析は等価線形化法、非線形弾性解析</p> </td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				応力条件	特 徴	備 考	1. 有効応力法(1)	<p>○残留変形、間隙水圧、剛性低下の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・過剰間隙水圧の発生は累積塑性せん断仕事と液状化フロントを考慮した井合モデルを適用して算定する。 ・間隙水圧の消散は算定できない。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・双曲線バネを想定した多重せん断バネモデルにより、固相（土粒子）の応力-ひずみを計算する。 		2. 有効応力法(2)	<p>○圧密沈下を含む残留変形、間隙水圧、剛性低下、の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・間隙水圧は液相自体の変位-ひずみ関係、応力-ひずみ、質量や運動量の保存側、連続式および固相との総合作用力を考慮して求められる。 ・間隙水圧は地震中の上昇、地震後の消散を考慮する。これにより圧密沈下の算定ができる。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震による繰返し応力に対する応力-ひずみ関係を弾塑性や弾粘塑性のモデルを適用して各時刻の応力、変位を求める。 <p>適用モデルは次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 繰返し弾塑性モデル ii) 繰返し弾粘塑性モデル iii) 拡張された弾塑性モデル iv) 修正 R-0 モデル（間隙水圧が発生しない材料） 		3. 全応力法	<p>○すべり円弧の残留変形</p> <p>①損傷度による「強度低下の算定</p> <p>②動的変形特性（H-D モデル、GHE モデル^{注)}）</p> <p>③動的応答解析は等価線形化法、非線形弾性解析</p>	
応力条件	特 徴	備 考													
1. 有効応力法(1)	<p>○残留変形、間隙水圧、剛性低下の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・過剰間隙水圧の発生は累積塑性せん断仕事と液状化フロントを考慮した井合モデルを適用して算定する。 ・間隙水圧の消散は算定できない。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・双曲線バネを想定した多重せん断バネモデルにより、固相（土粒子）の応力-ひずみを計算する。 														
2. 有効応力法(2)	<p>○圧密沈下を含む残留変形、間隙水圧、剛性低下、の算定</p> <p>①過剰間隙水圧発生モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飽和した土を固相（土粒子）と液相（水）に区分して取扱い、固相の応力と液相の応力（間隙水圧）の和を全応力とする。 ・間隙水圧は液相自体の変位-ひずみ関係、応力-ひずみ、質量や運動量の保存側、連続式および固相との総合作用力を考慮して求められる。 ・間隙水圧は地震中の上昇、地震後の消散を考慮する。これにより圧密沈下の算定ができる。 <p>②土のせん断応力-せん断ひずみモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震による繰返し応力に対する応力-ひずみ関係を弾塑性や弾粘塑性のモデルを適用して各時刻の応力、変位を求める。 <p>適用モデルは次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 繰返し弾塑性モデル ii) 繰返し弾粘塑性モデル iii) 拡張された弾塑性モデル iv) 修正 R-0 モデル（間隙水圧が発生しない材料） 														
3. 全応力法	<p>○すべり円弧の残留変形</p> <p>①損傷度による「強度低下の算定</p> <p>②動的変形特性（H-D モデル、GHE モデル^{注)}）</p> <p>③動的応答解析は等価線形化法、非線形弾性解析</p>														
<p>注) H-D モデルはHardin-Drnevich モデル、GHE モデルは一般化双曲線モデル。</p>															

改 定	現 行	備 考
<p>3.7.4 ため池の耐震対策工法</p> <p>耐震対策工法としては、地盤改良、押さえ盛土、盛土の補強等があり、一覧を参考資料に示す。地震動や液状化といった要因に応じて、対策時点での最も適切な工法を選択するものとする。</p> <p>また、ハード対策に加え、ハザードマップの作成、公開・周知、防災・避難訓練の実施等のソフト対策により、地域の安全・安心の確保を考慮することが望ましい場合がある。また、ハザードマップによって把握した被害想定をハード対策の優先順位の検討等に考慮することで、効果的な耐震対策を推進することが可能となる。</p> <p>参考) ため池ハザードマップ作成の手引き（農村振興局整備部防災課 平成25年5月） URL : http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/pdf/tameike_manual_1rev.pdf</p>		

改 定	現 行	備 考
<p>3.8 液状化の検討</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>堤体あるいは基礎地盤で、液状化が生じると予想される場合には、生じる影響を適切に判定し堤体及び基礎地盤の安全性について検討を行わなければならない。</p> </div> <p>堤体あるいは基礎地盤を構成する土が、地震力による過剰間隙水圧の発生に伴い、有効応力が減少し土粒子間のせん断強度を失うことを液状化という。液状化は、砂やシルトからなるゆる詰状態の土が飽和され、かつ地震力が加わると体積が収縮しようとするため、それに伴って間隙水圧が上昇し、間隙水が排出されるまで土粒子が間隙水の中に一時的に浮いた状態となり、土粒子間のせん断強度が失われるために発生するものと考えられている。従って、たとえ砂質土であっても近代的工法により密に締固めれば前述のような液状化は発生しないと考えられるが、緩い砂質地盤上に堤体を築造する場合や過剰間隙水圧の上昇によりせん断強度の低下が生じることが予想される場合には、基礎地盤あるいは堤体そのものの液状化について検討する必要がある。</p> <p>3.8.1 液状化の判定</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>液状化判定として、現在用いられている方法には、以下に示す3種類がある。 設計レベルや構造物の規模・重要性に応じて、いずれかの方法で検討する必要がある。原則として(1)の方法によるものとする。</p> <p>(1) 土質調査・試験結果を基にした簡易な判定法 (2) FL 値や室内液状化試験結果を用いて、静的、又は動的解析を行う詳細な判定法 (3) 模型震動台実験や原位置液状化試験を行う判定法</p> </div> <p>簡易判定法の一般的な方法としては、「粒度とN値による方法」と「FL 値法」があり、いずれも標準貫入試験結果から得られるN値を用いる。また、FL 値を深さ方向に重み付けして積分した値である「液状化指数 (PL 値) によって判定する方法」もある。</p> <p>また、詳細判定法としては、静的解析もしくは動的解析による検討が一般的である。</p> <p>なお、簡易判定手法 (FL 値法) による液状化の判定については、『土地改良事業設計指針「耐震設計」平成27年3月/第6章6.2』によるものとし、詳細判定手法については、同指針『第6章6.2』に特徴等が示されているので参照されたい。</p> <p>堤体あるいは基礎地盤の液状化の検討は、図-3.8.1 及び図-3.8.2 のフローに基づき実施する。ただし、詳細判定法により実施することを妨げるものではない。</p>		

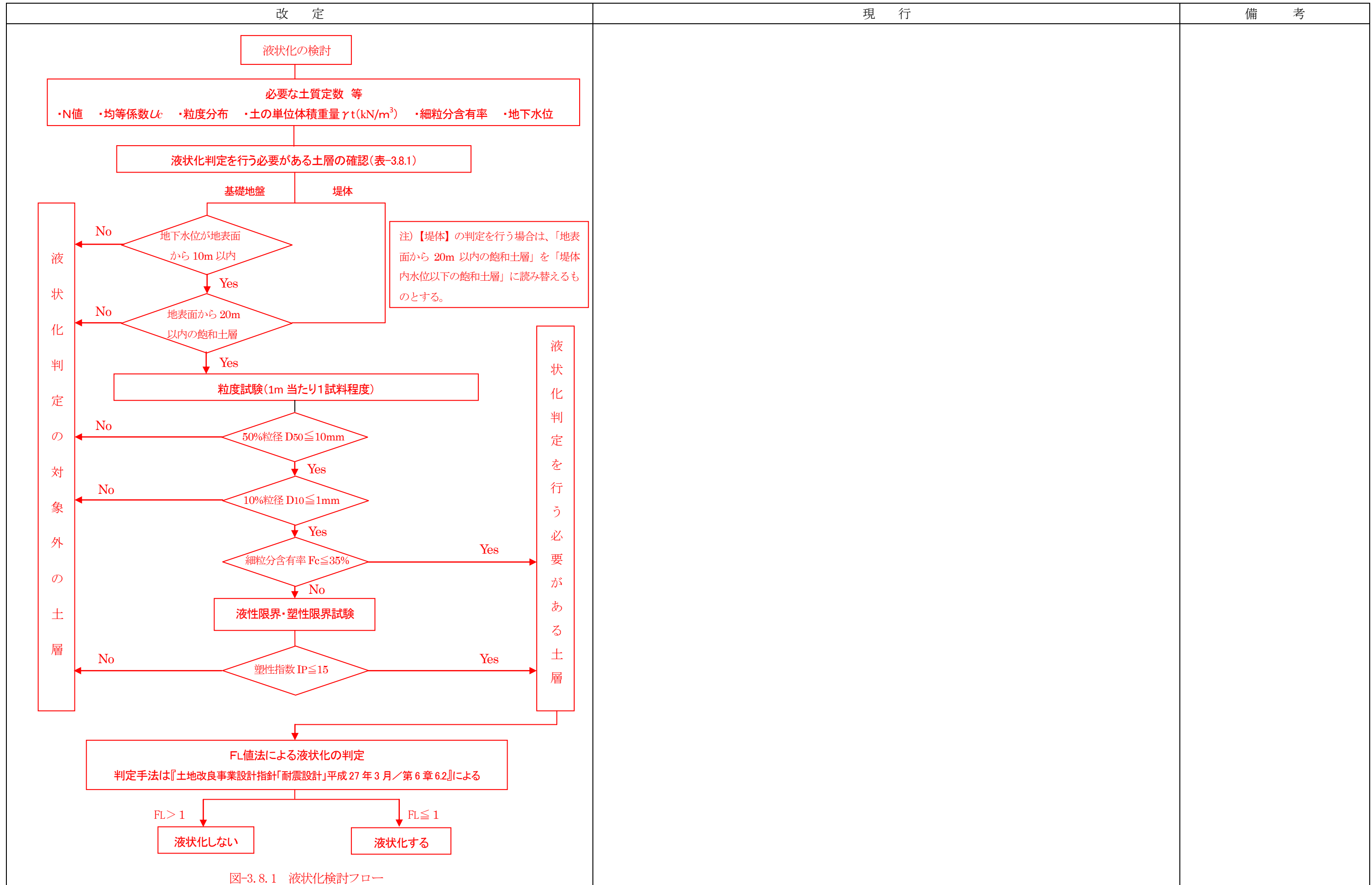


図-3.8.1 液状化検討フロー

改 定	現 行	備 考																																												
<p style="text-align: center;">表-3.8.1 液状化判定を行う必要がある土層</p> <table border="1"> <tr> <td>地下水位面と現地盤面の距離</td> <td>10m 以内</td> </tr> <tr> <td>現地盤面からの距離</td> <td>20m 以内</td> </tr> <tr> <td>粒度特性</td> <td>$D_{50} \leq 10.0 \text{ mm}$ かつ $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>細粒分特性 (Fc・Ip)</td> <td>Fc $\leq 35\%$、又は Fc $> 35\%$ かつ Ip ≤ 15</td> </tr> </table> <p>注) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編より</p> <p>(1)簡易判定法</p> <p>1)判定に必要な定数は土質試験により求められる。 各試験については表-3.8.2を参考とする。</p> <p style="text-align: center;">表-3.8.2 必要な土質試験</p> <table border="1"> <tr> <td>試 験 名</td> <td>土質定数への利用</td> </tr> <tr> <td>標準貫入試験</td> <td>N値</td> </tr> <tr> <td>土粒子の密度試験 含水比試験</td> <td>乾燥密度、湿潤密度、飽和密度</td> </tr> <tr> <td>粒度試験</td> <td>細粒分含有率 FC、平均粒径 D₅₀</td> </tr> <tr> <td>液性限界・塑性限界試験</td> <td>塑性指数 Ip</td> </tr> </table> <p>2)設計水平震度</p> <p>FL 値法による判定に当たっては、堤体及び基礎地盤の条件を考慮し、適切な設計水平震度を設定する必要がある。</p> <p>①「基礎地盤」の設計水平震度</p> <p>表-3.8.3に示す値を、基礎地盤に対する設計水平震度の標準値とする。</p> <p style="text-align: center;">表-3.8.3 設計水平震度の標準値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>レベル1地震動</th> <th>レベル2地震動 (タイプI)</th> <th>レベル2地震動 (タイプII)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I種地盤</td> <td>0.12</td> <td>0.50</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>II種地盤</td> <td>0.15</td> <td>0.45</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>III種地盤</td> <td>0.18</td> <td>0.40</td> <td>0.60</td> </tr> </tbody> </table> <p>②「堤体」の設計水平震度</p> <p>表-3.8.4に示す値を堤体に対する設計水平震度の標準値とする。 なお、レベル2地震動については、堤体の動的解析等手法による照査時の資料に用いる「液状化試験 (JGS0542)」について、必要有無を判定するために用いる基準値とする。</p> <p style="text-align: center;">表-3.8.4 設計水平震度の標準値及び基準値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>レベル1地震動</th> <th>レベル2地震動</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I種地盤</td> <td>0.12</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">0.35</td> </tr> <tr> <td>II種地盤</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>III種地盤</td> <td>0.18</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) レベル1地震動の値は標準値であり、レベル2地震動の値は基準値である。</p>	地下水位面と現地盤面の距離	10m 以内	現地盤面からの距離	20m 以内	粒度特性	$D_{50} \leq 10.0 \text{ mm}$ かつ $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$	細粒分特性 (Fc・Ip)	Fc $\leq 35\%$ 、又は Fc $> 35\%$ かつ Ip ≤ 15	試 験 名	土質定数への利用	標準貫入試験	N値	土粒子の密度試験 含水比試験	乾燥密度、湿潤密度、飽和密度	粒度試験	細粒分含有率 FC、平均粒径 D ₅₀	液性限界・塑性限界試験	塑性指数 Ip	地盤種別	レベル1地震動	レベル2地震動 (タイプI)	レベル2地震動 (タイプII)	I種地盤	0.12	0.50	0.80	II種地盤	0.15	0.45	0.70	III種地盤	0.18	0.40	0.60	地盤種別	レベル1地震動	レベル2地震動	I種地盤	0.12	0.35	II種地盤	0.15	III種地盤	0.18		
地下水位面と現地盤面の距離	10m 以内																																													
現地盤面からの距離	20m 以内																																													
粒度特性	$D_{50} \leq 10.0 \text{ mm}$ かつ $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$																																													
細粒分特性 (Fc・Ip)	Fc $\leq 35\%$ 、又は Fc $> 35\%$ かつ Ip ≤ 15																																													
試 験 名	土質定数への利用																																													
標準貫入試験	N値																																													
土粒子の密度試験 含水比試験	乾燥密度、湿潤密度、飽和密度																																													
粒度試験	細粒分含有率 FC、平均粒径 D ₅₀																																													
液性限界・塑性限界試験	塑性指数 Ip																																													
地盤種別	レベル1地震動	レベル2地震動 (タイプI)	レベル2地震動 (タイプII)																																											
I種地盤	0.12	0.50	0.80																																											
II種地盤	0.15	0.45	0.70																																											
III種地盤	0.18	0.40	0.60																																											
地盤種別	レベル1地震動	レベル2地震動																																												
I種地盤	0.12	0.35																																												
II種地盤	0.15																																													
III種地盤	0.18																																													

改 定	現 行	備 考
<p>3) 補正係数等</p> <p>前記2)の標準値を用い検討を行う場合、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に示される、【震度特性による補正 (Cw)】、【地区別補正 (Cz)】を用いて液状化の判定を行うものとする。</p> <p>ただし、2)②のうちレベル2地震動により堤体の液状化試験の必要有無を判断する場合、基準値に他する補正は行わないものとする。</p> <p>図-3.8.2 液状化検討の諸数値設定フロー</p>		

改 定	現 行	備 考																																																																			
<p>[参 考]</p> <p>① 詳細な判定法による液状化検討結果と設計水平震度の関係</p> <p>本指針の改訂に当たり、日本海中部地震の際、液状化により被災したと判定されたAため池において、静的解析法（①及び②）及び動的解析法（③及び④）を用いた再現解析及びレベル2地震動による解析を行い、ため池の液状化検討に用いる設計水平震度の検証を行った。</p> <p>1) 設計水平震度の推定結果は表-3.8.5のとおりであり、0.081～0.086の値となった。 堤体に作用する設計水平震度は入力地震動の0.26倍から0.71倍と小さくなり、「1.被災再現解析」と「2.レベル2地震動による解析」でほとんど差は見られない結果となっている。 なお、Aため池の実測値の加速度から求めた設計水平震度は、概ねレベル1地震動相当である。</p> <p style="text-align: center;">表-3.8.5 設計水平震度の推定結果</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>検討ケース</th> <th>入力加速度</th> <th>①</th> <th>②</th> <th>③</th> <th>④</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.被災再現解析</td> <td>※1 119gal [0.121]</td> <td>0.081 (0.67倍)</td> <td>0.086 (0.71倍)</td> <td>0.086 (0.71倍)</td> <td>0.082 (0.68倍)</td> </tr> <tr> <td>2.レベル2地震動による解析</td> <td>※2 322gal [0.329]</td> <td>0.084 (0.26倍)</td> <td>0.084 (0.26倍)</td> <td>0.084 (0.26倍)</td> <td>0.080 (0.24倍)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1) [] は加速度から水平震度に換算したときの設計水平震度 () は入力加速度との比</p> <p>注2) ※1 Aため池近傍ダムで観測された地震動 ※2 照査下限値を用いたレベル2地震発生時におけるKため池の入力地震動（タイプII）</p> <p>2) Aため池における被災時の沈下量と各解析結果における計算沈下量は表-3.8.6に示すとおりであり、計算沈下量は概ね実測値と一致しているが、設計水平震度は「道路橋示方書」（表-3.8.6）の標準値あるいは、第3章「3.3.4(7)堤体の安定計算」（参考表3.3.6）の基準値と異なった結果となっている。 なお、Aため池の基礎地盤はII種地盤に相当している。</p> <p style="text-align: center;">表-3.8.6 解析計算結果一覧</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>検討ケース</th> <th>設計水平震度</th> <th>天端下流側 沈下量</th> <th>堤体上流面 沈下量</th> <th>安全率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①</td> <td>再現解析</td> <td>0.081</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">—</td> <td>0.985</td> </tr> <tr> <td>レベル2</td> <td>0.084</td> <td>0.946</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②</td> <td>再現解析</td> <td>0.086</td> <td>0.7m</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td>レベル2</td> <td>0.084</td> <td>0.4m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">③</td> <td>再現解析</td> <td>0.086</td> <td>1.3m</td> <td>2.0m</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td>レベル2</td> <td>0.084</td> <td>0.4m</td> <td>0.4m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">④</td> <td>再現解析</td> <td>0.082</td> <td>1.5m</td> <td>2.1m</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td>レベル2</td> <td>0.080</td> <td>0.9m</td> <td>0.7m</td> </tr> <tr> <td>Aため池 実測値</td> <td>被災時</td> <td>0.121</td> <td>0.7m</td> <td>1.8m</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	検討ケース	入力加速度	①	②	③	④	1.被災再現解析	※1 119gal [0.121]	0.081 (0.67倍)	0.086 (0.71倍)	0.086 (0.71倍)	0.082 (0.68倍)	2.レベル2地震動による解析	※2 322gal [0.329]	0.084 (0.26倍)	0.084 (0.26倍)	0.084 (0.26倍)	0.080 (0.24倍)	検討ケース	設計水平震度	天端下流側 沈下量	堤体上流面 沈下量	安全率	①	再現解析	0.081	—	—	0.985	レベル2	0.084	0.946	②	再現解析	0.086	0.7m	—	—	レベル2	0.084	0.4m	③	再現解析	0.086	1.3m	2.0m	—	レベル2	0.084	0.4m	0.4m	④	再現解析	0.082	1.5m	2.1m	—	レベル2	0.080	0.9m	0.7m	Aため池 実測値	被災時	0.121	0.7m	1.8m	—		
検討ケース	入力加速度	①	②	③	④																																																																
1.被災再現解析	※1 119gal [0.121]	0.081 (0.67倍)	0.086 (0.71倍)	0.086 (0.71倍)	0.082 (0.68倍)																																																																
2.レベル2地震動による解析	※2 322gal [0.329]	0.084 (0.26倍)	0.084 (0.26倍)	0.084 (0.26倍)	0.080 (0.24倍)																																																																
検討ケース	設計水平震度	天端下流側 沈下量	堤体上流面 沈下量	安全率																																																																	
①	再現解析	0.081	—	—	0.985																																																																
	レベル2	0.084			0.946																																																																
②	再現解析	0.086	0.7m	—	—																																																																
	レベル2	0.084	0.4m																																																																		
③	再現解析	0.086	1.3m	2.0m	—																																																																
	レベル2	0.084	0.4m	0.4m																																																																	
④	再現解析	0.082	1.5m	2.1m	—																																																																
	レベル2	0.080	0.9m	0.7m																																																																	
Aため池 実測値	被災時	0.121	0.7m	1.8m	—																																																																

改 定	現 行	備 考
表-3.8.7 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値		
地盤種別	レベル1 地震動	レベル2 地震動 (タイプⅠ) (タイプⅡ)
Ⅰ種地盤	0.12	0.50 0.80
Ⅱ種地盤	0.15	0.45 0.70
Ⅲ種地盤	0.18	0.40 0.60
<small>注1) タイプⅠ地震動は、プレート境界型の大規模な地震を想定した地震動であり、タイプⅡ地震動は、兵庫県南部地震のような内陸直下型地震による地震動。 (道路橋示方書・同解説 V耐震設計編より)</small>		
(参考：表-3.3.6 設計震度の基準)		
地域区分	強震帯地域	中震帯地域 弱震帯地域
堤体がおおむね均一の材料によるもの	0.15	0.15 0.12
その他のもの	0.15	0.12 0.10
<small>注) 「その他のもの」とは、ロック材や遮水壁(地盤材料以外)等でゾーニングされたものをいう。</small>		
<p>3) 道路橋示方書におけるⅡ種地盤の設計水平震度の標準値はレベル1地震動で0.15、レベル2地震動で0.45から0.70であり、レベル2地震時にはレベル1地震時の3倍から4.7倍になるとされている。一方、Aため池における解析結果(表-3.8.6)の比較より、レベル2地震時にも液状化層が存在する場合には加速度が大きくなり、被災再現解析時の設計水平震度とほとんど差は見られない。これは、液状化層により加速度の減衰が生じているためと考えられる。</p> <p>4) 沈下量では、被災再現解析よりレベル2地震動のケースの方が少なくなっている。この理由として、基盤内の液状化の影響により基盤変形量は増加しないものの地震波が減衰され、このため、応答加速度が低下し、堤体に作用する地震力が小さくなるため、堤体を含めた沈下量は少なくなっているものと推測される。</p> <p>5) Aため池の事例より、ため池の堤体として施工された盛土及びその基礎地盤における液状化の検討に当たっては、レベル2地震時においてもレベル1地震時相当の設計水平震度を用いて判定を行っても良いと考えられるが、この結果は1ため池での検証事例であり、他の液状化により被災したため池で同様の傾向が得られるかは不明であることから、ため池の設計水平震度の設定については、今後の調査研究により明らかにしていくことが必要である。</p>		