

樋門・樋管耐震性能照査(L2)のチェックポイントシート(その1)

令和5年9月版

【耐震設計の準備】

- ・1 適用する基準は最新か
- ・2 治水・利水上の区分は妥当か(□重要な水門・樋門/□その他の樋門)
- ・3 要求性能(限界状態)による性能レベルは妥当か(□耐震性能1/□耐震性能2/□耐震性能3)
- ・4 耐震性能照査を行なう対象部位は適切か(□函体/□門柱/□ゲート操作台/□ゲート/□基礎工)

【基本条件】

- ・5 地域別補正係数は妥当か(地域区分: □A1/□A2/□B1/□B2/□C)
- ・6 耐震設計上の地盤種別は妥当か(□I種/□II種/□III種)
- ・7 設計水平震度は、適正な地盤別補正係数及び固有周期を用いて算出されているか
- ・8 構造物特性補正係数は、構造部材の塑性化の程度等の力学的特性を考慮して適切に設定されているか

【函渠:レベル2に対する照査(杭基礎を除く)】

1) 条件整理

- ・9 地下水位の設定は妥当か
- ・10 地盤の情報に不足はないか
- ・11 液状化の判定は妥当か
- ・12 繰返し三軸強度比RLは妥当か

2) 外力の設定

- ・13 変形解析の手法は妥当か(□自重変形解析/□動的変形解析)
- ・14 地盤のモデル化は妥当か
- ・15 計算ステップは施工段階(床掘りによるリバウンド等の各ステップの地形条件)を考慮した計算ステップとなっているか
- ・16 堤体の変状結果(鉛直方向、水平方向)は妥当か
- ・17 液状化層の体積圧縮に伴う沈下量を考慮しているか
- ・18 地盤の変形解析時の函体部については、内空による重量軽減を考慮しているか

3) 弾塑性床上の梁解析のモデル化

- ・19 鉛直方向の地盤反力係数は地盤の鉛直方向パネ(道路橋示方書V耐震設計編)上限値を用いて確認しているか
- ・20 水平方向のせん断反力係数は函渠周囲に鉛直方向地盤反力係数の1/3~1/4の値のせん断パネを考慮しているか
- ・21 地盤変位に伴い函体に作用する水平荷重は妥当か(上限値:最大周面摩擦力)
- ・22 地盤変位に伴い函体に作用する鉛直荷重は妥当か(上限値:割り増しを考慮した函体上面の鉛直土圧)
- ・23 胸壁に作用する土圧を考慮しているか。またその土圧は静止土圧としているか
- ・24 地盤変形に伴い遮水壁に作用する水平荷重はパネに水平変位を与え、水平力を作用させているか
- ・25 自重は、載荷重として必要な本体構造の自重が考慮されているか
- ・26 基礎地盤液状化による影響の考慮(低減係数 D_E の考慮)をおこなっているか
- ・27 函体の継手については結合条件としてフリーとしているか

4) 構造解析

- ・28 地盤変形解析結果における液状化判定時のFL値の分布図において、液状化を想定した地層とFL値の1以下の分布は合致しているか
- ・29 地盤変形解析結果における地盤変形において、いびつな変状結果となっていないか
- ・30 函体縦方向解析結果でのモーメント及びせん断力の発生方向がいびつではないか
- ・31 継手開口量や目違いの変状についていびつな結果となっていないか

5) 照査

- ・32 地震後の函体に発生する応力度については許容値以内か
- ・33 耐震性能2において開口量、目違い量は想定した許容値以内か

地震動と耐震性能

地震動	治水または利水上重要な水門・樋門及び堰	それ以外の水門・樋門及び堰
レベル1地震動	地震によって水門・樋門又は堰としての健全性を損なわない性能(耐震性能1)	
レベル2-1地震動(プレート境界型)	地震によって水門・樋門又は堰としての機能を保持する性能(耐震性能2)	地震による損傷が限定的なものにとどまり、水門・樋門又は堰としての機能の回復が速やかに行い得る性能(耐震性能3)
レベル2-2地震動(内陸直下型)		

函渠の耐震照査手順



項目	確認	確認日	確認資料・チェック結果
照査項目番号	照査項目に✓を記入	確認した日付を記入	確認できる資料の名称、頁等を記入、☑結果を簡潔に記入(例:関連基準類、過年度成果の該当項目、妥当性判断等の根拠)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			

【参考文献】 河川構造物の耐震性能照査指針・解説 I 共通編(平成24年2月)

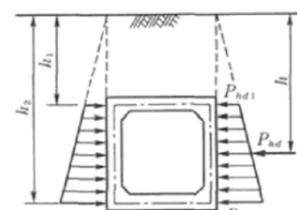
【参考文献】 河川構造物の耐震性能照査指針・解説IV水門・樋門及び堰編(令和2年2月(6月一部追記))

【参考文献】 河川構造物の耐震性能照査指針(案)一問一答(平成19年11月版)

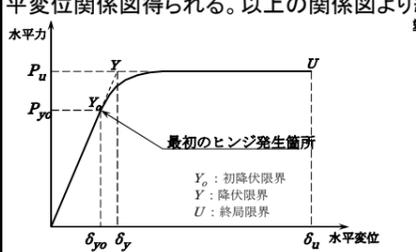
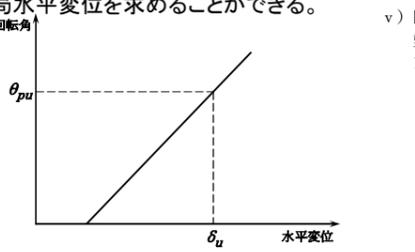
【参考文献】 柔構造樋門設計の手引き(平成10年11月)

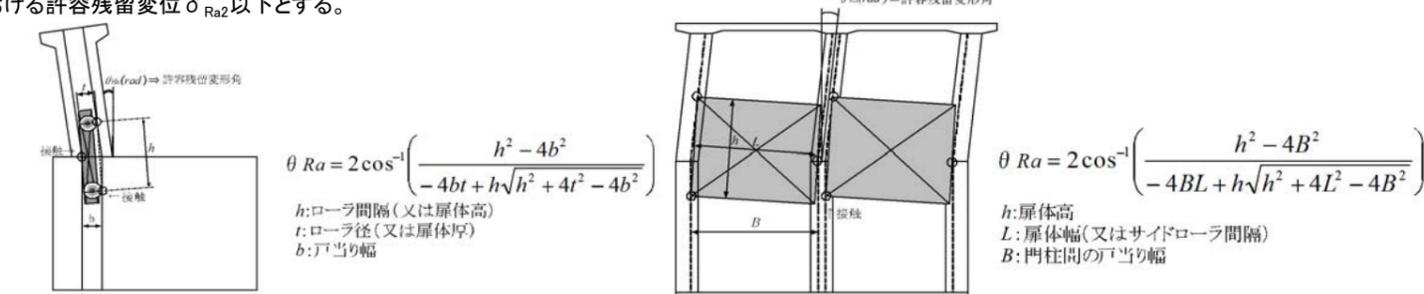
【参考文献】 道路橋示方書(IV下部構造編)・同解説(平成24年3月)

【参考文献】 道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成24年3月)

項目	NO	チェック項目	留意点など (注: 諸数値は基準改定により変わる可能性があるため、最新基準を確認する。)
【耐震検討の準備】	1	適用する基準は最新か	□河川構造物の耐震性能照査指針・解説I 共通編(平成24年2月)、□河川構造物の耐震性能照査指針・解説IV水門・樋門及び堰編(令和2年2月(6月一部追記))
	2	治水・利水上の区分は妥当か(□重要な水門・樋門/□その他の樋門)	「治水・利水上重要な樋門・樋管」は、地震後においてもゲートの開閉性、ゲート全閉時の水密性、函渠の水密性等の確保が求められることから、地震によりある程度の損傷が生じた場合においても、樋門・樋管としての機能を保持する必要がある施設とする。(河川管理者との確認が必要)
	3	要求性能(限界状態)による性能レベルは妥当か(□耐震性能1/□耐震性能2/□耐震性能3)	1)耐震性能1:地震によって樋門・樋管としての健全性を損なわない性能、2)耐震性能2:地震後においても、水門・樋門としての機能を保持する性能、3)耐震性能3:地震による損傷が限定的なものにとどまり、樋門・樋管としての機能の回復が速やかに行い得る性能。河川構造物の耐震性能照査指針(案)一問一答(平成19年11月版)別表に合わせ各部位ごと要求性能を決定する
	4	耐震性能照査を行なう対象部位は適切か(□函体/□門柱/□ゲート操作台/□ゲート/□基礎工)	対象部位の整理:耐震性能照査についての対象部位を選定する。:①函体、②門柱、③ゲート操作台、④ゲート、⑤基礎工※河川構造物の耐震性能照査指針(案)一問一答(平成19年11月版)別表を参照すること。
【基本条件】	5	地域別補正係数は妥当か(地域区分:□A1/□A2/□B1/□B2/□C)	地域別補正係数(強震帯地域区分A1(c ₂ =1.0、c ₁₂ =1.2、c ₂₂ =1.0)、A2(c ₂ =1.0、c ₁₂ =1.0、c ₂₂ =1.0)、中震帯地域B1(c ₂ =0.85、c ₁₂ =1.2、c ₂₂ =0.85)、B2(c ₂ =0.85、c ₁₂ =1.0、c ₂₂ =0.85)、弱震帯地域区分C(c ₂ =0.7、c ₁₂ =0.8、c ₂₂ =0.7))
	6	地盤種別は妥当か(□I種/□II種/□III種)	耐震設計上の地盤種別:地盤の基本固有周期TGをもとにI種、II種、III種に区別する
	7	設計水平震度は、適正な地盤別補正係数及び固有周期を用いて算出されているか	基本的には、構造物補正係数c _s と地域別補正係数c ₁₂ 、c ₂₂ と各タイプでの水平震度の標準値を乗じた値とする。 【L2-1】上記の乗じた結果が0.40を下回る場合には、水平震度は0.40に構造物特性補正係数c _s を乗じた値とする。また、水平震度が0.40に地域別補正係数c ₁₂ を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.40に地域別補正係数c ₁₂ を乗じた値とする。 【L2-2】上記の乗じた結果が0.60を下回る場合には、水平震度は0.60に構造物特性補正係数c _s を乗じた値とする。また、水平震度が0.60に地域別補正係数c ₂₂ を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.60に地域別補正係数c ₂₂ を乗じた値とする。
【函渠:レベル2に対する照査(杭基礎を除く)】 1)条件整理	8	構造物特性補正係数c _s は、適切に構造部材の塑性化の程度等の力学的特性を考慮して適切に設定されているか	レベル2地震動の水平震度は、構造部材に許容できる塑性化の程度等によって変化するため、当該構造部材の力学特性を踏まえて構造物特性補正係数c _s を適切に設定する必要がある。構造物特性補正係数は、本来、河川構造物に必要とされる耐震性能、河川構造物の構造部材の特徴等に応じて定めるべきものであるが、現状では十分な知見の蓄積もないため、道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成24年3月)を参照して算出するのがよい
	9	地下水位の設定は妥当か	ボーリングにより確認された地下水位の他、その他周辺の井戸及び既往地質調査結果を利用して、現状にあった適切な地下水位を設定しているか
	10	地盤の情報に不足はないか	横断方向の地層構成、液状化層の範囲、土質試験(N値、粒度試験、液性・塑性限界等)の確認
	11	液状化の判定は妥当か	液状化の判定を行う必要がある土層は、沖積層及び堤体の土層で次の3条件すべてに該当する場合には、FL値の算出によって液状化の判定を行わなければならない。 1)地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層 2)細粒分含有率FCが35%以下の土層、又は、FCが35%を超えても塑性指数IPが15以下の土層 3)平均粒径D50が10mm以下で、かつ、10%粒径D10が1mm以下である土層
2)外力の設定	12	繰返し三軸強度比RLは妥当か(□算定式によるもの、□繰返し三軸強度試験によるもの)	繰返し三軸強度比RL、「河川構造物の耐震性能照査指針」に基づいて算定したか
	13	変形解析の手法は妥当か(□自重変形解析/□動的変形解析)	静的FEMによる地盤変形解析、間隙水圧消散に伴う圧縮解析を含む。
	14	地盤のモデル化は妥当か	モデルの範囲、土層区分、解析パラメータ、境界条件は問題はないか。
	15	計算ステップは施工段階を考慮(床掘りによるリバウンドを考慮)した計算ステップとなっているか	現況から床掘り完了時の施工ステップの変状を確認し、その後の埋め戻し、盛土の各ステップについても確認する。
	16	堤体の変状結果(鉛直方向、水平方向)は妥当か	最大沈下量0.75H以下とし、最大沈下量を超える場合の補正をおこなっているか(液状化層の拘束圧補正の採用、浮力ばねの採用)
	17	液状化層の体積圧縮に伴う沈下量を考慮しているか	過剰間隙水圧の消散に伴って生じる沈下量の算定には、過剰間隙水圧消散に伴う体積ひずみに関する実験の例であり、FLとDr(相対密度)から体積ひずみを求めることができる。
3)弾塑性床土上の梁解析のモデル化	18	地盤の変形解析時の函体部については、内空による重量軽減を考慮しているか	地盤の変形解析時の函体部については、内空による重量軽減を考慮して土より軽い単体重量を設定する必要がある
	19	鉛直方向の地盤反力係数は地盤の鉛直方向バネ(道示)を用いて上限値は確認しているか	鉛直方向の地盤反力係数については、地盤の鉛直方向バネ(H24道路橋示方書IV下部構造編p.284)を用い、以下の値を上限値としたバイリニア型とする。 函体上面の上限値:P _{vmax} (割り増しを考慮した函体上面の鉛直土圧)/函体下面の上限値:極限支持力(H24道路橋示方書IV下部構造編P.297)
	20	水平方向のせん断地盤反力係数は函渠周面に鉛直方向地盤反力係数の1/3~1/4の値のせん断バネを考慮しているか	水平方向のせん断地盤反力係数(柔構造の手引きP.81)上限値:割り増しを考慮した函体上面鉛直土圧、函体下面の地盤反力および側面の水平土圧に摩擦係数を乗じた周面摩擦力を上限としたバイリニア型とする。函体周面の摩擦力:下記を積算した値を用いる。 <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>函体上面 $F_1 = \mu P_{vmax} B$</p> <p>函体側面 $F_2 = \mu 1/2 (P_{hd1} + P_{hd2}) H$</p> <p>函体底面 $F_3 = \mu (P_{vmax} B + W)$</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>ここに、</p> <p>P_{vmax}: 割り増しを考慮した函体上面鉛直土圧</p> <p>μ: 摩擦係数 0.364 (tan2/3φ) (道示下部構造編P.281)</p> <p>γ: 土の単体重量、B: 函体幅、H: 函体高</p> <p>h_1: 土被り厚</p> <p>h_i: 地表面からの深度 ($h_1 \sim h_2$)</p> <p>K_0: 静止土圧係数 0.5</p> </div> </div> 
	21	地盤変位に伴い函体に作用する水平荷重は妥当か(上限値:最大周面摩擦力)	水平方向せん断バネを設定し、バネに水平変位(=地盤水平方向変位)を与え、水平力を作用させる。上限は最大周面摩擦力とする。(摩擦力算定に用いる鉛直土圧の上限はP _{vmax} (割り増しを考慮した函体上面の鉛直土圧))
	22	地盤変位に伴い函体に作用する鉛直荷重は妥当か(上限値:割り増しを考慮した函体上面の鉛直土圧)	地盤の鉛直方向バネを設定し、バネに鉛直変位(=地盤沈下量)を与え、鉛直力を作用させる。上限はP _{vmax} (割り増しを考慮した函体上面の鉛直土圧)とする。
	23	胸壁に作用する土圧を考慮しているか。またその土圧は静止土圧としているか	胸壁には、静止土圧を作用させる。静止土圧係数K0=0.5とする。
24	地盤変形に伴い遮水壁に作用する水平荷重はバネに水平変位を与え、水平力を作用させているか	地盤の水平方向バネを設定し、バネに水平変位(=地盤水平方向変位)を与え、水平力を作用させる。上限値は、受働土圧とする。 ※ なお、計算の結果遮水壁に作用する荷重が遮水壁の耐力を超える場合は遮水壁は無いものとして再度解析を行う。	
25	自重は、載荷重として必要な本体構造の自重が考慮されているか	函渠、門柱・操作台、胸壁・しゃ水壁: 常時設計値を用いる。浮力及び水圧($\gamma_w=9.81\text{kN/m}^3$)地下水位により函体に作用する浮力を考慮する。(函内水位なし)水圧は、函軸方向にバランスしているため考慮しない。	

項目	NO	チェック項目	留意点など (注: 諸数値は基準改定により変わる可能性があるため、最新基準を確認する。)																											
3)弾塑性床土上の梁解析のモデル化	26	基礎地盤液状化による影響の考慮をおこなっているか	<p>レベル2地震動で液状化が生じると判定された土層は、算出した液状化に対する抵抗率FLの値に応じて耐震性能照査上土質定数を低減させる。液状化が生じると判定された場合の土質定数は、その土層が液状化しないと仮定して求めた土質定数に右表の係数DEを乗じて算出する。なお、DE=0の場合の土層は耐震性能照査上土質定数を0(ゼロ)とする土層とする。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> H24道示 耐震設計編 (p.142) より </div> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表-解 6.4.1 土質定数の低減係数 D_L</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">F_Lの範囲</th> <th rowspan="2">地表面からの深度 x (m)</th> <th colspan="2">動的せん断強度比 R</th> </tr> <tr> <th>$R \leq 0.3$</th> <th>$0.3 < R$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">$F_L \leq 1/3$</td> <td>$0 \leq x \leq 10$</td> <td>0</td> <td>1/6</td> </tr> <tr> <td>$10 < x \leq 20$</td> <td>1/3</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">$1/3 < F_L \leq 2/3$</td> <td>$0 \leq x \leq 10$</td> <td>1/3</td> <td>2/3</td> </tr> <tr> <td>$10 < x \leq 20$</td> <td>2/3</td> <td>2/3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">$2/3 < F_L \leq 1$</td> <td>$0 \leq x \leq 10$</td> <td>2/3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$10 < x \leq 20$</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	F_L の範囲	地表面からの深度 x (m)	動的せん断強度比 R		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$	$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3	$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3	$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1	$10 < x \leq 20$	1	1
	F_L の範囲	地表面からの深度 x (m)	動的せん断強度比 R																											
$R \leq 0.3$			$0.3 < R$																											
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6																											
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3																											
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3																											
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3																											
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1																											
	$10 < x \leq 20$	1	1																											
	27	函体の継手については結合条件としてフリーとしているか	継手形式は可とう継手であることから、函体の結合条件として「フリー」とする。																											
4)構造解析	28	地盤変形解析結果における液状化判定時のFL値の分布図において、液状化を想定した地層とFL値の1以下の分布は合致しているか	地質調査に基づき各層ごとにFL値の検証を行った結果と地盤変形解析によるFL値の分布図による液状化発生位置の確認を行う																											
	29	地盤変形解析結果における地盤変形において、いびつな結果となっていないか	液状化対象層の影響を受けた変状と推測される地形の変状結果を確認																											
	30	函体縦方向解析結果でのモーメント及びせん断力の発生方向がいびつではないか	堤体中央部が最も沈み込むため下方向のモーメントは中央部に発生し、端部スパンは上にモーメントが発生することが多い。またせん断応力はモーメント最大一がゼロとなり、それを境に正側、負側と別れる。																											
	31	継手開口量や目違いの変状についていびつな結果となっていないか	一般に堤体中央部が最も沈み込み、両スパンは中央スパンに追従して変形する。																											
【照査】	32	地震後の函体に発生する応力度については許容値以内か	【耐震性能2、3】地震後の函体に生じる曲げモーメント及びせん断力が、それぞれ終局曲げモーメント及びせん断耐力以下であるかの照査を行う。																											
	33	耐震性能2において開口量、目違い量は想定した許容値以内か	【耐震性能2】継手を有する場合には継手の変位が許容変位以下であることを照査する。																											

項目	NO	チェック項目	留意点など (注: 諸数値は基準改定により変わる可能性があるため、最新基準を確認する。)
【門柱: レベル2 に対する照査】 1) 条件整理	34	構造図、配筋図の資料収集が十分又は適正にモデル化されているか	構造部形状および配筋図に基づき適正にモデル化されているかを確認
	35	照査断面について適切に断面定数が設定されているか	モデル化においては躯体の寸法、積載荷重、門柱、操作台の断面寸法から決まる断面定数(断面積、断面二次モーメント等)を忠実に表現することが重要である。
	36	レベル1の照査時に2連以上の樋門の場合は中間門柱の扱いを適切に考慮して断面照査しているか	2連以上の樋門の場合は中間門柱があるため、水流方向の解析では条件の異なる門柱全てを切り出して解析モデルを作成してそれぞれの解析を行う。
	37	操作台に作用している積載荷重に漏れが無い	操作台上面に配置される、上屋荷重、開閉機荷重、操作盤荷重、発電機荷重、管理橋反力等の地震慣性力の影響を受ける施設は漏れなく十分確認する必要がある。
	38	載荷荷重の載荷位置を十分把握しているか	チェック35の載荷重に対して載荷位置を十分把握しておく必要がある。
	39	機械荷重及び管理橋からの慣性力が適正に作用するモデルとなっているか	ゲート重量、管理橋からの反力についても慣性力が作用するようにモデル化することが必要である。
	40	レベル2地震動に対する静的照査法による耐震性能の照査方法は、地震時保有水平耐力法によるものか	耐震性能の照査方法は、構造物の地震時挙動を動的に解析する動的照査法と地震の影響を静力学的に解析する静的照査法に大別される。樋門の門柱は、一般に、橋脚に類似した比較的単純な構造物であり、地震時には1次振動モードが卓越し、また、主たる塑性化の生じる部位が明確であるため、静的解析法が望ましく、その一つの解析手法である地震時保有水平耐力法を用いることができる。それは、構造部材の強度を向上させるだけでは地震に抵抗するには限界があるため、構造部材が塑性化しても適切に粘りを持たせ、エネルギー吸収能力を高めることにより構造部材に生じる損傷を許容できる範囲に留めることが重要である。
41	水流直角方向は門型ラーメン構造、水流方向は片持ち梁構造のモデルを利用する場合、静的照査法を行うためのモデルとして妥当か	門柱の照査は、函体上面より上部の部分を梁要素で評価した立体フレームモデルを設定し、函体上面を固定端とした解析モデルとし、門柱横方向は、函体に支持された門型ラーメン構造としてモデル化し、門柱縦方向は梁モデル(片持ち構造)の検討とする。	
42	鉄筋コンクリートの材料非線形モデルは各部材の曲げ特性(M-φ特性)を考慮したモデルとなっているか	M-φ特性を作成するときに横拘束筋が構造細目を満たし、拘束効果を見込める場合には、見込めない場合と比較して横拘束筋で拘束されたコンクリートの強度が増大すること、コンクリートが最大圧縮応力に達する時のひずみや終局ひずみが大きくなることを評価できる。更に、終局ひずみについては、レベル2-1地震動とレベル2-2地震動では算出方法が異なる。よって、拘束効果を見込める場合には、M-φ特性の異なる2つの解析モデルを作成する必要がある。	
2) 固有値解析	43	レベル2地震動に対する固有周期は各部材の降伏剛性を用いて算定されているか	降伏剛性とは、部材の曲げ変形による降伏時の割線剛性をいい、部材の降伏耐力と降伏変位の比により求める(下図参照)。レベル1地震動時の線形解析で用いた剛性に比べ、小さい値となるので固有周期は長くなる。  図 降伏剛性の概念(塑性回転バネの曲げモーメントと曲率関係図)
	44	終局変位を求めるための算定方法としてプッシュオーバー解析(増分解析)を行っているか	門型ラーメン構造である門柱操作台については不静定構造の場合は、複数の塑性ヒンジが発生するため、部材の降伏状況を順次追跡して、構造物全体系の崩壊機構(メカニズム)を把握して、耐力、変位を求める必要がある。その手法としてプッシュオーバー解析(増分解析)により、上部構造の慣性力の作用位置において水平力を漸増させ、水平力-水平変位の関係から、構造物全体系の降伏及び終局耐力及び変位を順次求め、塑性回転角-水平変位関係図より水平力-水平変位関係図得られる。以上の関係図より終局水平変位を求めることができる。  図一解10.8.5 プッシュオーバー解析から得られる水平力-水平変位の関係  図一解10.8.6 塑性ヒンジに生じる塑性回転角-水平変位関係 v) 図一解 10.8.5 に示すよう水平力の最大値を終局水平耐力 P_u とする。また 1 番目の塑性ヒンジが降伏に達するときの水平変位を δ_{y0} 、水平力を P_{y0} とし、式(解 10.8.2)より降伏変位 δ_y を求める。 $\delta_y = \delta_{y0} \frac{P_u}{P_{y0}} \dots\dots\dots (解 10.8.2)$ ここに、 δ_y : 降伏限界の水平変位 (mm) δ_{y0} : 1つ目の塑性ヒンジが降伏に達する時の水平変位 (mm) P_u : 終局水平力 (N) P_{y0} : 1つ目の塑性ヒンジが降伏に達する時の水平力 (N)
3) プッシュオーバー解析	45	非線形性を考慮した解析モデルに対して、複数の塑性ヒンジを発生させ、終局水平耐力とする水平力の最大値まで確認したか	プッシュオーバー解析(増分解析)により、非線形性を考慮した解析モデルに対して水平震度を構造物としての終局を迎えるまで漸増させ解析を実施する。ここで、構造物としての終局とは、ある部材がヒンジを迎えたときではなく、あくまで構造物を全体系で捉え、ヒンジ箇所が多数発生し構造物が全体として水平力を負担出来なくなるまでを表す。
	46	破壊形態の判定は適切か(□曲げ破壊型/□曲げ損傷からせん断破壊移行型/□せん断破壊型)	構造物としての終局時に、部材に発生したせん断力とせん断耐力を比較し、破壊形態の判定を行う。判定は、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型、せん断破壊型の3つとし、ここでの判定では優劣をつけるのではなく、この後の照査における係数を定めるために実施するものである。 $P_u \leq P_s$: 曲げ破壊型 $P_s < P_u \leq P_{s0}$: 曲げ損傷からせん断破壊移行型 $P_{s0} < P_u$: せん断破壊型 ここに、 P_u : 門柱・堰柱の終局水平耐力(N) P_s : 門柱・堰柱のせん断耐力(N) P_{s0} : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数を1.0とした場合に算出される門柱・堰柱のせん断耐力(N)
4) 破壊形態の判定	46	破壊形態の判定は適切か(□曲げ破壊型/□曲げ損傷からせん断破壊移行型/□せん断破壊型)	構造物としての終局時に、部材に発生したせん断力とせん断耐力を比較し、破壊形態の判定を行う。判定は、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型、せん断破壊型の3つとし、ここでの判定では優劣をつけるのではなく、この後の照査における係数を定めるために実施するものである。 $P_u \leq P_s$: 曲げ破壊型 $P_s < P_u \leq P_{s0}$: 曲げ損傷からせん断破壊移行型 $P_{s0} < P_u$: せん断破壊型 ここに、 P_u : 門柱・堰柱の終局水平耐力(N) P_s : 門柱・堰柱のせん断耐力(N) P_{s0} : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数を1.0とした場合に算出される門柱・堰柱のせん断耐力(N)

項目	NO	チェック項目	留意点など (注: 諸数値は基準改定により変わる可能性があるため、最新基準を確認する。)																																
4) 水平震度の算出	47	許容塑性率 μ_a の算出は、破壊形態に応じた算定値となっているか	前項の「ブッシュオーバー解析」で得られた降伏変位 δ_y 、終局変位 δ_u を用いて解析対象の許容塑性率 μ_a を算出する。 ① 曲げ破壊型と判定された場合の許容塑性率は、下式に手算出する。 ここに、 $\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y} \dots$ μ_a : 門柱・堰柱の許容塑性率 δ_u : 門柱・堰柱の終局変位(mm) δ_y : 門柱・堰柱の降伏変位(mm) α : 安全係数で、レベル2-1地震動及びレベル2-2地震動のタイプによる塑性応答変形の繰返し回数の影響は認められないことから、1.5 (ただし、(2)に規定する耐震性能3に対する照査時においては、1.2)。 ② 曲げ損傷からせん断破壊移行型と判定された場合及びせん断破壊型と判定された場合は、許容塑性率は1.0とする。																																
	48	許容塑性率 μ_a の算出の際の終局変位 δ_u の算出は「H14年道路橋示方書 V 耐震設計編」に基づいて算出しているか	終局変位 δ_u の算出にあたっては、部材の終局曲率、降伏曲率及び塑性ヒンジ長を適切に設定することが必要となるが、これらについては「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成14年3月)」の方法に基づいて算出する。これは、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成14年3月)」の計算方法により、一般的な構造諸元を有する樋門の門柱の終局変位が良好に再現されることが実験的に確認されたこと、その他の水門及び堰の門柱・堰柱についても類似した構造特性を有することから、「河川構造物の耐震性能照査指針-IV. 水門・樋門及び堰編-(令和2年6月)」ではこの方法を準用することができるものとしている。(p.37)(前項の54参照)																																
	49	構造物補正係数 c_s は破壊形態に応じた算定値となっているか	算出した許容塑性率 μ_a を用いて下式により構造物補正係数を算定する。しかし下式により算定できる構造物補正係数は破壊形態で「曲げ破壊型」の場合のみであり、その他の破壊形態の場合では構造物補正係数は c_s は1.0として扱うものとする。 $c_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu_a - 1}} \dots$																																
	50	設計水平震度の算出はレベル2-1、レベル2-2とも適正な引数を用いた計算結果となっているか	【L2-1】 レベル2-1地震動の水平震度は、下式により算出するものとする。ただし、レベル2-1地震動の水平震度の標準値 k_{h10} に地域別補正係数 c_{1Z} を乗じた値が0.40を下回る場合には、水平震度は0.40に構造物特性補正係数 c_s を乗じた値とする。また、水平震度が0.40に地域別補正係数 c_{1Z} を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.40に地域別補正係数 c_{1Z} を乗じた値とする。 $k_{h1} = c_s c_{1Z} k_{h10}$ ここに、 k_{h1} : レベル2-1地震動の水平震度(四捨五入により小数点以下2桁にまとめる)。 k_{h10} : レベル2-1地震動の標準値で、表-6.2.2による。 c_s : 6.2.7に規定する構造物特性補正係数 c_{1Z} : 4.4に規定するレベル2-1地震動の地盤種別係数 表-6.2.2 レベル2-1地震動の水平震度の標準値 k_{h10} の値 <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th colspan="3">固有周期 T(s) に対する k_{h10} の値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ⅰ種</td> <td>$T < 0.16$ $k_{h10} = 2.58T^{1/3}$</td> <td>$0.16 \leq T \leq 0.6$ $k_{h10} = 1.40$</td> <td>$0.6 < T$ $k_{h10} = 0.996/T^{2/3}$</td> </tr> <tr> <td>Ⅱ種</td> <td>$T < 0.22$ $k_{h10} = 2.15T^{1/3}$</td> <td>$0.22 \leq T \leq 0.9$ $k_{h10} = 1.30$</td> <td>$0.9 < T$ $k_{h10} = 1.21/T^{2/3}$</td> </tr> <tr> <td>Ⅲ種</td> <td>$T < 0.34$ $k_{h10} = 1.72T^{1/3}$</td> <td>$0.34 \leq T \leq 1.4$ $k_{h10} = 1.20$</td> <td>$1.4 < T$ $k_{h10} = 1.50/T^{2/3}$</td> </tr> </tbody> </table> 【L2-2】 レベル2-2地震動の水平震度は、式(6.2.5)により算出するものとする。ただし、レベル2-2地震動の水平震度の標準値 k_{h20} に地域別補正係数 c_{2Z} を乗じた値が0.60を下回る場合には、水平震度は0.60に構造物特性補正係数 c_s を乗じた値とする。また、水平震度が0.4に地域別補正係数 c_{2Z} を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.4に地域別補正係数 c_{2Z} を乗じた値とする。 $k_{h2} = c_s c_{2Z} k_{h20}$ ここに、 k_{h2} : レベル2-2地震動の水平震度(四捨五入により小数点以下2桁にまとめる)。 k_{h20} : レベル2-2地震動の標準値で、表-6.2.3による。 c_s : 6.2.7に規定する構造物特性補正係数 c_{2Z} : 4.4に規定するレベル2-2地震動の地盤種別係数 表-6.2.3 レベル2-2地震動の水平震度の標準値 k_{h20} の値 <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th colspan="3">固有周期 T(s) に対する k_{h20} の値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ⅰ種</td> <td>$T < 0.30$ $k_{h20} = 4.46T^{1/3}$</td> <td>$0.30 \leq T \leq 0.7$ $k_{h20} = 1.40$</td> <td>$0.70 < T$ $k_{h20} = 1.24/T^{2/3}$</td> </tr> <tr> <td>Ⅱ種</td> <td>$T < 0.40$ $k_{h20} = 3.22T^{1/3}$</td> <td>$0.40 \leq T \leq 1.20$ $k_{h20} = 1.75$</td> <td>$1.20 < T$ $k_{h20} = 2.23/T^{2/3}$</td> </tr> <tr> <td>Ⅲ種</td> <td>$T < 0.50$ $k_{h20} = 2.38T^{1/3}$</td> <td>$0.50 \leq T \leq 1.50$ $k_{h20} = 1.50$</td> <td>$1.5 < T$ $k_{h20} = 2.57/T^{2/3}$</td> </tr> </tbody> </table>	地盤種別	固有周期 T(s) に対する k_{h10} の値			Ⅰ種	$T < 0.16$ $k_{h10} = 2.58T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $k_{h10} = 1.40$	$0.6 < T$ $k_{h10} = 0.996/T^{2/3}$	Ⅱ種	$T < 0.22$ $k_{h10} = 2.15T^{1/3}$	$0.22 \leq T \leq 0.9$ $k_{h10} = 1.30$	$0.9 < T$ $k_{h10} = 1.21/T^{2/3}$	Ⅲ種	$T < 0.34$ $k_{h10} = 1.72T^{1/3}$	$0.34 \leq T \leq 1.4$ $k_{h10} = 1.20$	$1.4 < T$ $k_{h10} = 1.50/T^{2/3}$	地盤種別	固有周期 T(s) に対する k_{h20} の値			Ⅰ種	$T < 0.30$ $k_{h20} = 4.46T^{1/3}$	$0.30 \leq T \leq 0.7$ $k_{h20} = 1.40$	$0.70 < T$ $k_{h20} = 1.24/T^{2/3}$	Ⅱ種	$T < 0.40$ $k_{h20} = 3.22T^{1/3}$	$0.40 \leq T \leq 1.20$ $k_{h20} = 1.75$	$1.20 < T$ $k_{h20} = 2.23/T^{2/3}$	Ⅲ種	$T < 0.50$ $k_{h20} = 2.38T^{1/3}$	$0.50 \leq T \leq 1.50$ $k_{h20} = 1.50$	$1.5 < T$ $k_{h20} = 2.57/T^{2/3}$
	地盤種別	固有周期 T(s) に対する k_{h10} の値																																	
Ⅰ種	$T < 0.16$ $k_{h10} = 2.58T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $k_{h10} = 1.40$	$0.6 < T$ $k_{h10} = 0.996/T^{2/3}$																																
Ⅱ種	$T < 0.22$ $k_{h10} = 2.15T^{1/3}$	$0.22 \leq T \leq 0.9$ $k_{h10} = 1.30$	$0.9 < T$ $k_{h10} = 1.21/T^{2/3}$																																
Ⅲ種	$T < 0.34$ $k_{h10} = 1.72T^{1/3}$	$0.34 \leq T \leq 1.4$ $k_{h10} = 1.20$	$1.4 < T$ $k_{h10} = 1.50/T^{2/3}$																																
地盤種別	固有周期 T(s) に対する k_{h20} の値																																		
Ⅰ種	$T < 0.30$ $k_{h20} = 4.46T^{1/3}$	$0.30 \leq T \leq 0.7$ $k_{h20} = 1.40$	$0.70 < T$ $k_{h20} = 1.24/T^{2/3}$																																
Ⅱ種	$T < 0.40$ $k_{h20} = 3.22T^{1/3}$	$0.40 \leq T \leq 1.20$ $k_{h20} = 1.75$	$1.20 < T$ $k_{h20} = 2.23/T^{2/3}$																																
Ⅲ種	$T < 0.50$ $k_{h20} = 2.38T^{1/3}$	$0.50 \leq T \leq 1.50$ $k_{h20} = 1.50$	$1.5 < T$ $k_{h20} = 2.57/T^{2/3}$																																
51	等価重量 W の算定方法は妥当か	門柱の自重及びそれが支持している上部構造の重量から算出する。また、等価重量の算出は、門柱の構造形式を考慮して行うものとし、「H24道路橋示方書耐震設計編P100」を参考するものとし、等価重量算出係数 c_p の適用について確認を行う。																																	
52	破壊形態に応じた地震時保有水平耐力 P_a となっているか	各破壊形態による終局水平耐力及びせん断耐力から地震時保有水平耐力を算出する。 $P_a = \begin{cases} P_u \text{ (曲げ破壊型)} \text{ (ただし、} P_e < P_u \text{)} & \text{ここに、} \\ P_u \text{ (曲げ損傷からせん断破壊移行型)} & P_e: \text{門柱・堰柱のひび割れ水平耐力(N)} \\ P_{s0} \text{ (せん断破壊型)} \end{cases}$																																	
5) 照査	53	降伏変位 δ_y 、終局変位 δ_u を用いて解析対象の許容塑性率 μ_a を算出しているか	耐震性能2における許容残留変位は、原則として、扉体やローラ、戸当たり等との関係から定まるゲートの開閉を妨げない残留変位(下記参照)。ただし耐震性能3における許容残留変位 δ_{Ra2} 以下とする。 																																
	54	耐震性能3における許容残留変位 δ_{Ra1} の算出は妥当か	耐震性能3における門柱の許容残留変位は、門柱構造に応じて、門柱の下端から上部構造の慣性力の作用位置までの高さの1/100とする。																																
	55	地震時補修水平耐力 $P_a \geq$ 慣性力 $k_{hc} \cdot W$ となっているか	【耐震性能2】門柱の地震時保有水平耐力が門柱に作用する慣性力を下回らないとともに、門柱の残留変位がゲートの開閉性から決定される許容残留変位以下であることを照査する。																																
	56	残留変位 $\delta_R \leq$ 許容残留変位 δ_{Ra} となっているか	【耐震性能3】門柱の地震時保有水平耐力が門柱に作用する慣性力を下回らないとともに、門柱の残留変位が許容残留変位以下であることを照査する。																																
	57	破壊形態が曲げ破壊型と判定されたものについては残留変位の照査を行っているか	曲げ破壊型と判定された場合のみ、塑性変形性能やそれによるエネルギー吸収効果を期待することができるためその照査のための残留変位の照査を行なう。また、その他の破壊形態ではぜい性的な破壊形態をとるため塑性変形を期待することはできない。																																

項目	NO	チェック項目	留意点など（注：諸数値は基準改定により変わる可能性があるため、最新基準を確認する。）
【ゲート工：レベル2に対する照査】 1)条件整理	58	照査外水位(津波遡上水位)に影響を受ける構造物か	ゲート前面に照査外水位が影響しない場合は照査の必要はない。しかし、操作台に影響する設備は、施設荷重、配置位置を十分把握しておく必要がある。
	59	対象とする設計荷重は妥当か	考慮する設計荷重については、「水門樋門ゲート設計要領」(P.36～44を参照
	60	設計荷重の組合せは妥当か	荷重の組合せはゲート設備の設置目的、設置環境及びゲート形式を考慮して決定する必要がある。水門等の操作水位及び開閉荷重の組合せは、「水門樋門ゲート設計要領」(P.45～46を参照
2)許容応力度の決定	61	選定材料に対しての許容応力度は妥当か。また地震時の補正は行っているか。	許容応力度及び許容応力度の補正は、「水門樋門ゲート設計要領」(P.59～72を参照)
3)発生応力度等との比較	62	ゲートの残留変位は要求性能の条件に合わせた許容値を満足しているか	【耐震性能2】ゲートの残留変位がゲートの開閉性から決定される許容残留変位以下であることを照査 【耐震性能3】ゲートの残留変位が許容残留変位以下であることを照査。
	63	ゲートの部材に生じる応力度は許容応力度以下か	【耐震性能2、3共通】ゲートの部材に生じる応力度が許容応力度以下でとなっているか