

3.3 線形動的解析

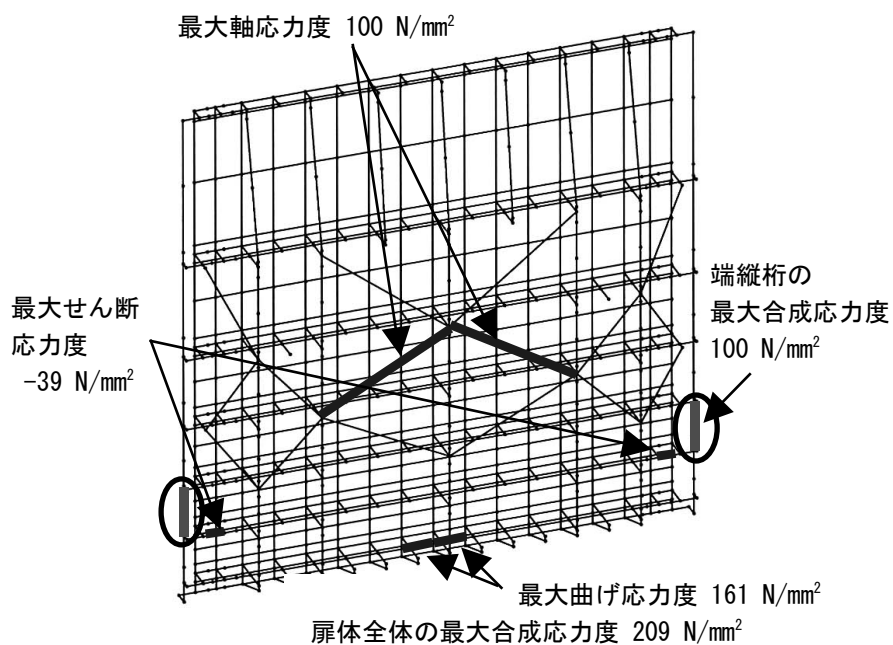
各部材（鋼材）の応力－ひずみ関係を線形として扱う線形動的解析（減衰定数＝2%^{注）}）により、各部材の応答変位および発生応力の時刻歴を求めた。なお、ローラゲートでは構造上、軸圧縮力を受ける部材はないため、軸圧縮力による部材の全体座屈（限界座屈）が生じる可能性を考慮する必要はない。

架構部の各構造部材における発生応力について、軸方向、曲げおよびせん断の各応力度についてそれぞれ最大応答が生じた部材の位置とその最大応答値を図－例 3.2.5 に示す。発生応力はいずれも表－例 3.2.3 の降伏応力度を下回っている。なお、架構部の各構造部材降伏に対する照査は、以下の(1)に示すように、合成応力度により実施した。

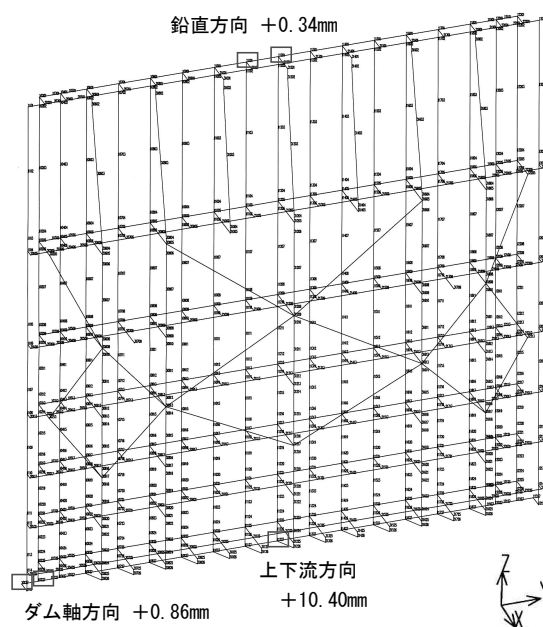
架構部の各構造部材の応答変位について、上下流方向および鉛直方向にそれぞれ最大応答が生じた部材の位置とその最大応答値を図－例 3.2.6 に示すが、応答変位は最大で 10mm（下部戸当たり部、上下流方向）程度である。

スキンプレート部材について、最大の応力が発生した部材の位置と応力値を図－例 3.2.7 に示すが、いずれも表－例 3.2.3 の降伏応力度を下回っている。

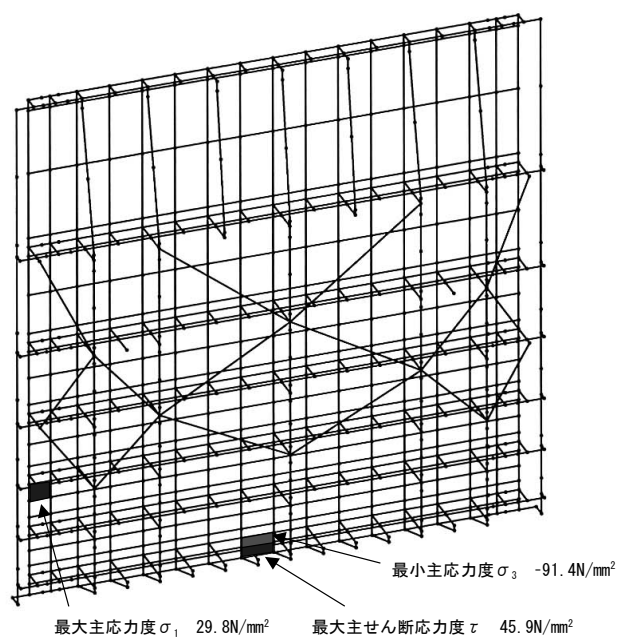
注）構造的に類似すると考えられる道路橋（鋼橋上部構造）の設計基準（『道路橋示方書・同解説』Ⅴ耐震設計編において示されている線形域での解析用参考値（2～3%））を参考に設定した。



図一例 3.2.5 最大発生応力（架構部）



図一例 3.2.6 最大応答変位（架構部）



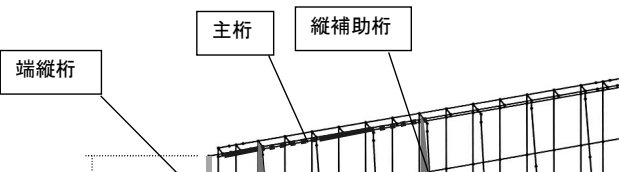
図一例 3.2.7 最大発生応力（スキンプレート）

(1) 降伏に対する照査

降伏（塑性化）に対する照査は、上記の線形動的解析の結果得られた各部材の発生応力（絶対値の最大値）をもとに、式（例3.1.1）により、図一例3.2.8に示す各部材（主桁、端桁、縦補助桁、ブレースング材、スキンプレート）ごとの合成応力度を算定し、これを表一例3.2.3に示した各部材の降伏応力度と比較することによって行った。

その結果を表一例3.2.6に示す。表一例3.2.6より、いずれの部材においても最大発生応力の合成応力度は降伏応力度を下回っていることから、本ゲートでは構造部材の降伏（塑性化）が生じるおそれはないものと判断される。

表一例3.2.6 部材の降伏(塑性化)に対する照査結果

部 位			部材長 (mm)	塑性化の照査			部 位			部材長 (mm)	塑性化の照査		
				降伏応力度 (N/mm ²)	部材応答値 照査応力 ^{※1} (N/mm ²)	塑性化の 判定					降伏応力度 (N/mm ²)	部材応答値 照査応力 ^{※1} (N/mm ²)	塑性化の 判定
主桁	上端部	端部	1000	235	62	OK	縦補助桁	端部上流	上端部	3000	235	22	OK
		中間部B1	1350	235	51	OK			中間部B1	2100	235	50	OK
		中間部B2	1350	235	38	OK			中間部B2	1560	235	79	OK
		中間部B3	1350	235	37	OK			中間部B3	1350	235	58	OK
	中間部B1	端部	1000	235	124	OK		端部下流	中間部B4	1120	235	59	OK
		中間部B1	1350	235	127	OK			下端部	1060	235	69	OK
		中間部B2	1350	235	133	OK			上端部	3000	235	24	OK
		中間部B3	1350	235	133	OK			中間部B1	2100	235	68	OK
	中間部B2	端部	1000	235	113	OK		中間部上流	中間部B2	1560	235	91	OK
		中間部B1	1350	235	142	OK			中間部B3	1350	235	69	OK
		中間部B2	1350	235	162	OK			中間部B4	1120	235	106	OK
		中間部B3	1350	235	167	OK			下端部	1060	235	63	OK
	中間部B3	端部	1000	235	139	OK		中間部下流	上端部	3000	235	21	OK
		中間部B1	1350	235	171	OK			中間部B1	2100	235	67	OK
		中間部B2	1350	235	162	OK			中間部B2	1560	235	39	OK
		中間部B3	1350	235	177	OK			中間部B3	1350	235	38	OK
	中間部B4	端部	1000	235	175	OK		中間部下流	中間部B4	1120	235	31	OK
		中間部B1	1350	235	170	OK			下端部	1060	235	69	OK
		中間部B2	1350	235	181	OK			上端部	3000	235	25	OK
		中間部B3	1350	235	193	OK			中間部B1	2100	235	94	OK
	中間部B5	端部	1000	235	153	OK			中間部B2	1560	235	23	OK
		中間部B1	1350	235	183	OK			中間部B3	1350	235	27	OK
		中間部B2	1350	235	188	OK			中間部B4	1120	235	41	OK
		中間部B3	1350	235	202	OK			下端部	1060	235	79	OK
下端部	端部	1000	235	135	OK								
	中間部B1	1350	235	181	OK								
	中間部B2	1350	235	192	OK								
	中間部B3	1350	235	209	OK								
	上端部	上端部	3234	235	15								OK
		中間部B1	2100	235	69								OK
		中間部B2	1560	235	27								OK
		中間部B3	1350	235	36								OK
端縦桁	中間部B4	1120	235	99	OK								
	下端部	1060	235	69	OK								

(2) 座屈に対する照査

①全体座屈に対する照査

前述のように、ローラ形式の本ゲートでは、その構造上、軸方向圧縮力を受ける部材がないことから、限界座屈が生じるおそれはないと判断した。また、主桁、縦桁および端桁は圧縮フランジ側がスキンプレートに直接固定されているため、横倒れ座屈についても生じないものと判断した。

②局部座屈に対する照査

局部座屈に対する照査は、各部材のフランジ・ウェブが降伏応力度に達するまで局部座屈を生じないような部材寸法であるかをフランジ・ウェブの幅

図一例 3.2.8 照査部材位置

厚比および垂直補剛板の幅・板厚・設置間隔・断面二次モーメントの値を設計基準値^{注1)}と比較し、これを満足しているかを確認することによって行った。なお、本ゲートの場合、端縦桁および縦補助桁には垂直補剛材を設置していないため、垂直補剛材についての照査は、主桁についてのみ実施した。その結果は表一例3.2.7に示すとおりであり、各部材寸法は設計基準値を満足していることから、局部座屈が生じるおそれはないものと判断した。

表一例3.2.7 局部座屈に対する照査結果

部 位			断面 番号	部材長 (mm)	部材寸法の判定(局部座屈の照査)						
					フランジ 板厚	ウェブ 板厚	垂直補剛 材	垂直補剛材 間隔	垂直補剛材 板厚	垂直補剛材 幅	垂直補剛材 断面二次 モーメント
主桁	上端部	端部	115	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部1	114	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部2	112	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	中間部1	中間部3	111	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		端部	125	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部1	123	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	中間部2	中間部2	121	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部3	121	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		端部	135	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	中間部3	中間部1	133	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部2	131	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部3	131	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	中間部4	端部	145	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部1	143	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部2	141	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	中間部5	中間部3	141	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		端部	145	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部1	143	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
	下端部	中間部2	161	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部3	161	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		端部	175	1000	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部1	173	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部2	171	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
		中間部3	171	1350	OK	OK	有り	OK	OK	OK	OK
端縦桁		上端部	1	3234	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部1	1	2100	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部2	1	1560	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部3	1	1350	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部4	1	1120	OK	OK	なし	-	-	-	-
		下端部	1	1060	OK	OK	なし	-	-	-	-
縦補助桁	端部上成	上端部	311	3000	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部1	321	2100	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部2	333	1560	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部3	331	1350	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部4	331	1120	OK	OK	なし	-	-	-	-
		下端部	331	1060	OK	OK	なし	-	-	-	-
	端部下成	上端部	312	3000	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部1	324	2100	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部2	334	1560	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部3	332	1350	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部4	351	1120	OK	OK	なし	-	-	-	-
		下端部	351	1060	OK	OK	なし	-	-	-	-
	中間部上成	上端部	311	3000	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部1	321	2100	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部2	331	1560	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部3	331	1350	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部4	331	1120	OK	OK	なし	-	-	-	-
		下端部	331	1060	OK	OK	なし	-	-	-	-
	中間部下成	上端部	312	3000	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部1	322	2100	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部2	332	1560	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部3	332	1350	OK	OK	なし	-	-	-	-
		中間部4	351	1120	OK	OK	なし	-	-	-	-
		下端部	351	1060	OK	OK	なし	-	-	-	-

以上より、本ゲートでは座屈に対する安全性は確保されると判断される^{注2)}。

注1) 『ダム・堰施設技術基準（案）』に示されている部材の設計に関する例示仕様を参照した。

注2) 本事例では、座屈に対する問題は生じない結果となったが、補助構造部材の一部で座屈が生じるおそれのある場合は、座屈のおそれがある部材における圧縮耐力の低下を考慮する等、座屈の影響を考慮して再度動的解析を実施し、各部材について同様の評価を行う必要がある。

(3) 線形動的解析結果のまとめ

線形動的解析結果に基づく以上の検討により、本ゲートにおいては、解析モデルにおいて考慮した構造部材において、レベル2地震動に対しても座屈に対する安全性は確保され、また部材の降伏により塑性化が生じるおそれはないと判断される。

3.4 動的解析においてモデル化していない部材の照査

引き続き、動的解析において考慮していない部材（非モデル化部材）について照査を行う。

扉体固定部の各部材（主ローラ、フロントローラ、サイドローラ、戸当り金物部）については、線形動的解析において境界条件としては考慮したが、直接その部材をモデル化していない。このため、線形動的解析で得られた当該部材位置での最大支点反力を外力として考慮し、『ダム・堰施設技術基準（案）』に準拠した構造計算によりこれら部材の照査を行った。また、扉体戸当たり部の最大応答変位から水密部の照査を行った。

(1) 固定部の照査

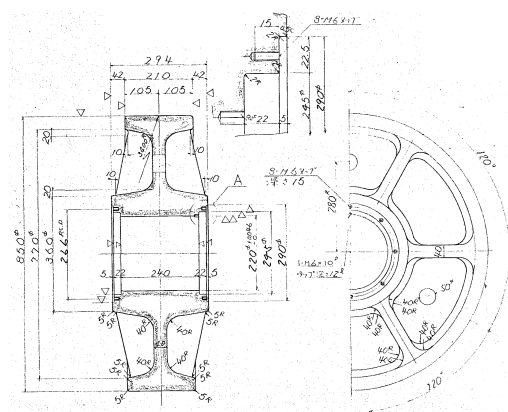
① ローラ部

本ゲートにおける各ローラの構造および照査結果をそれぞれ図一例3.2.9および表一例3.2.8に示す。各ローラの接触応力度、軸受けの面圧、ローラ軸の曲げおよびせん断応力度、また主ローラについてはこれらに加えてロッカービームおよび受台の応力度について照査を行った。その結果、いずれも降伏応力度を下回る値となった。したがって、ローラ部において問題となる損傷が生じるおそれはないと考えられる。

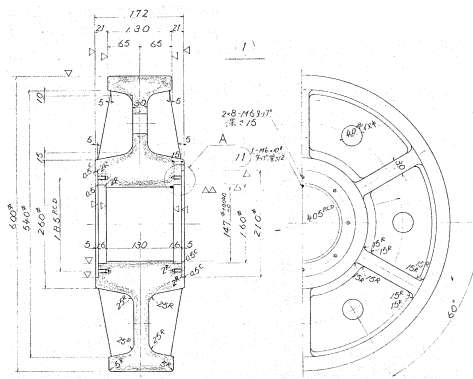
表一例 3.2.8 ローラ部の照査結果

(a) 主ローラ

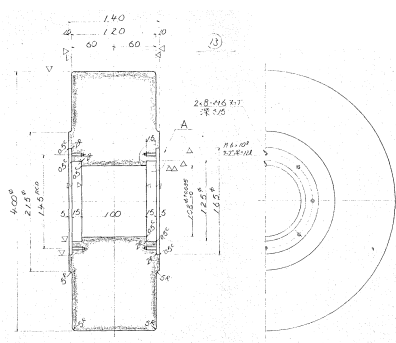
項 目					備 考
主ローラ	材質	SCCrM3			
	許容接触応力度	N/mm^2	pa	829	
	降伏接触応力度	N/mm^2	py	1,658	
	作用荷重	kN	P	2,080	
	ヘルツの式による接触 応力度	N/mm^2	p	938	< py 1,658
軸受け	材質	オイレス # 500SP			
	軸受け許容面圧	N/mm^2	σa	25	
	軸受け降伏面圧	N/mm^2	σy	49	
	作用荷重	kN	P	2,080	
	面圧	N/mm^2	σ	46	< σy 49
ローラ軸	材質	SF490			
	降伏曲げ応力度	N/mm^2	σy	245	
	降伏せん断応力度	N/mm^2	τy	142	
	最大曲げモーメント	kN・mm	M	131,528	
	最大せん断力	kN	S	1,040	
	曲げ応力度	N/mm^2	σ	195	< σy 245
	せん断応力度	N/mm^2	τ	49	< τy 142
ロッカー・ビーム (中央部)	材質	SC450			
	降伏曲げ応力度	N/mm^2	σy	225	
	降伏せん断応力度	N/mm^2	τy	130	
	最大曲げモーメント	kN・mm	M	1,507,638	
	最大せん断力	kN	S	2,080	
	圧縮縁応力度	N/mm^2	σc	127	< σy 225
	引張縁応力度	N/mm^2	σt	127	< σy 225
ロッカー・ビーム 受台	せん断応力度	N/mm^2	τ	77	< τy 130
	材質	SC450			
	降伏曲げ応力度	N/mm^2	σy	225	
	降伏せん断応力度	N/mm^2	τy	130	
	最大曲げモーメント	kN・mm	M	258,898	
	最大せん断力	kN	S	2,080	
	圧縮縁応力度	N/mm^2	σc	205	< σy 225
	引張縁応力度	N/mm^2	σt	81	< σy 225
	せん断応力度	N/mm^2	τ	102	< τy 130



(a) 主ローラ



(b) フロントローラ



(c) サイドローラ

(b) フロントローラ

項 目					備 考
フロントローラ	材質	SCMn2A			
	許容接触応力度	N/mm^2	pa	603	
	降伏接触応力度	N/mm^2	py	1,206	
	作用荷重	kN	P	387	
	ヘルツの式による接触 応力度	N/mm^2	p	622	< py 1,206
軸受け	材質	オイレス #500SP			
	軸受け許容面圧	N/mm^2	σa	25	
	軸受け降伏面圧	N/mm^2	σy	49	
	作用荷重	kN	P	387	
	面圧	N/mm^2	σ	24	< σy 49
ローラ軸	材質	S45C			
	降伏曲げ応力度	N/mm^2	σy	345	
	降伏せん断応力度	N/mm^2	τy	199	
	最大曲げモーメント	kN・mm	M	34,162	
	最大せん断力	kN	S	194	
	曲げ応力度	N/mm^2	σ	178	< σy 345
	せん断応力度	N/mm^2	τ	21	< τy 199

(c) サイドローラ

項 目					備 考	
サドルロー	材質	SCMn2A				
	許容接触応力度	N/mm^2	pa	603		
	降伏接触応力度	N/mm^2	py	1,206		
	作用荷重	kN	P	432		
	ヘルツの式による接触 応力度	N/mm^2	p	841	< py	1,206
軸受け	材質	オイスレス #500SP				
	軸受け許容面圧	N/mm^2	σa	25		
	軸受け降伏面圧	N/mm^2	σy	49		
	作用荷重	kN	P	432		
	面圧	N/mm^2	σ	48	< σy	49
ロー軸	材質	SUS304				
	降伏曲げ応力度	N/mm^2	σy	200		
	降伏せん断応力度	N/mm^2	τy	116		
	最大曲げモーメント	$kN \cdot mm$	M	13,296		
	最大せん断力	kN	S	216		
	曲げ応力度	N/mm^2	σ	186	< σy	200
	せん断応力度	N/mm^2	τ	45	< τy	116

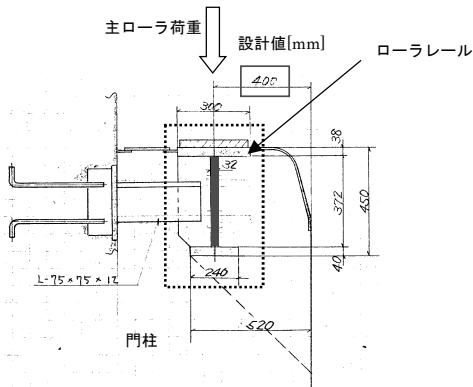
図一例 3.2.9 ローラ部の構造

②戸当たり金物部

戸当たり金物部の構造を図一例 3. 2. 10 に、また照査結果を表一例 3. 2. 9 に示す。基礎コンクリートの支圧応力については許容値を下回ったが、主戸当りの門柱側面からローラ中心までの必要距離については、『ダム・堰施設技術基準（案）』に示された条件を満足しない。また、ローラレールのウェブに生じる局部支圧応力度が部材の降伏応力度を上回ることから、塑性化が生じる可能性があると考えられる。

しかし、以下の理由により本ゲート全体構造の安定性に問題が生じさせるおそれはないと判断した。

- 1)門柱側面からローラ中心までの必要距離についての不足長は 2%程度と小さい。
- 2)ローラレールのウェブについては、部材の周囲を門柱のコンクリートにより覆われており、部材の塑性化が生じた場合にも周辺のコンクリートによって支持されるため、戸当たりが大きく変形（破損）する等の問題は生じないものと考えられること。



図一例3. 2. 10 戸当たり金物部の構造

表一例3. 2. 9 戸当たり金物部の照査結果

項 目				備 考	
部材	・ローラレール				
	材質	SM400			
	降伏曲げ圧縮応力度	N/mm ²	σ_y	235	
	降伏せん断応力度	N/mm ²	τ_y	136	
	降伏支圧応力度	N/mm ²	σ_{sy}	353	
	・基礎コンクリート			$f_{ck}=18\text{N/mm}^2$	
	許容支圧応力度	N/mm ²	σ'_{ca}	5.4	
ローラ荷重中心までの必要距離	限界支圧応力度	N/mm ²	f_{ak}	36	
	作用荷重	kN	P	2,080	
	門柱側面からローラ荷重中心までの距離	mm	b	400	
	必要距離	mm		408	> b 400 NG
ローラレール	作用荷重	kN	P	2,080	
	最大曲げモーメント	N・mm	M	8.32E+08	
	最大支圧応力	N/mm ²	K	5	
	ウェブせん断応力度	N/mm ²	τ_w	87	< τ_y 136
	ウェブ局部支圧応力度	N/mm ²	σ_b	406	> σ_{sy} 353 NG
	底面フランジ曲げ応力度	N/mm ²	σ_f	128	< σ_y 235
基礎コンクリート	作用荷重	kN	P	2,080	
	コンクリート支圧応力	N/mm ²	f_c	5	< f_{ak} 36

(2) 戸当たり水密部の照査

本ゲートの戸当たり部は、扉体側部および下部を水密ゴムにより止水する方式としている。扉体側部および下部戸当たりの最大応答変位は、線形動的解析の結果、表一例 3. 2. 10 に示すとおりであった。

下部戸当たりについては、上下流方向に最大 10mm 程度の変位が生じる可能性があるが、本ゲートでは下部戸当たり金物のフランジ幅が 150mm であることから、扉体の変位が生じた場合にも下部戸当たり部と扉体下端部水密ゴムは密着した状態は維持され、水密性は保持されと考えられる。

側部戸当たりについては、上下流方向に 2mm 程度の変位が生じる可能性があるが、側部水密ゴムのつぶれ代が 5mm であるので、水密性は保持されと考えられる。

以上より、本ゲートでは戸当たり部の変位によっても水密性が保持され、貯水機能は十分維持されと考えられる。

表一例3. 2. 10 戸当たり部の最大応答変位

戸当たり位置	上下流(X)方向	ダム軸(Y)方向	鉛直(Z)方向
下部	10. 4mm	0. 9mm	0. 0mm
側部	1. 8mm	0. 2mm	0. 2mm

3. 4 地震応答解析による照査結果のまとめ

以上の検討結果を総合すると、本ゲートでは、レベル 2 地震動により戸当たり金物に一部塑性化が生じる可能性があるが、全体構造の安定性に影響を及ぼすおそれはなく、またその他の部材の応答は弾性域内にとどまると考えられる。したがって、貯水機能に支障をきたすような損傷が生じるおそれはないと判断される。