2. ダムの諸元および地震観測

2.1 ダム・基礎岩盤・貯水池の概要

2.1.1 ダム

札内川ダムは、十勝川水系札内川の北海道河西郡中札内村地先に建設された多目的ダムである。 施工は、RCD(Roller Compacted Concrete for Dam)工法である。

解析対象とするダムの諸元は以下の通りである。

形式	:重力式コンクリートダム(RCD)
堤高	: 114.0 m
堤頂長	: 300.0 m
堤体積	$: 770.0 \neq m^3$
天端標高	: EL.488.0 m
越流標高	: EL.484.0 m
最低基礎面標高	: EL.374.0 m
設計震度	: 0.12g

ダムの平面図,標準断面図,上流面図および下流面図をそれぞれ図 2-1,図 2-2,図 2-3 および図 2-4 に示す。

札内川ダム工事誌(第1章事業計画、1.3計画の概要、表−1.3.2札内川ダム計画概要(2))により、ダム堤体の設計用物性は以下の通りである。

単位体積重量	$: 2.3 tf/m^3$
弾性係数	$: 330,000 kgf/cm^2 (32362 MPa)$
ポアソン比	: 0.2

2.1.2 基礎岩盤

ダムサイトの基礎の状況を図 2-5 に示す。ダム基礎の地質は主にヤオロマップ砂岩,一部は泥質であり,大規模な断層破砕帯はない。岩級区分は図 2-5 に示すとおりであり,ダム下方岩盤は B 級,両岸地山は CH 級,または CM 級に属する。

札内川ダム工事誌(第2章調査、2.2.4ダムサイトの地形地質とダム軸の選定、表-2.2.6 岩石試験結果総括表)により、基礎岩盤の物性値は以下のとおりである。

平均せん断波速度:3060 m/s単位体積重量 : $2.74 tf/m^3$

2.1.3 貯水池

貯水池の河床平坦部の幅は約60mで、斜面部の傾斜は約40°前後である。

常時満水位	: EL.474.0 <i>m</i>
低水位	: EL.447.5 <i>m</i>
総貯水容量	$: 54,000 \neq m^3$



図 2-1 ダムおよび周辺地形の平面図











図 2-4 ダムの下流面図



図 2-5 ダムサイトの地形断面と岩級区分

2.2 地震観測

2.2.1 地震計の設置状況

札内川ダムでは、多数の地震計が設置されており、1997年以来多くの地震記録を得ている。図 2-6には地震計の設置位置を示し、具体的な個々の情報を表 2-1に示す。

地震計設置場所	標高(m)	ダム軸方向位置	上下流方向位置
岩盤下部	317.0	J11より左へ約 4m	上流面より下流側約 8.5m
岩盤上部	373.0	J11 より左へ約 4m	上流面より下流側約7m
下流開放基盤	404.0	J4 と J5 の間	上流面より下流側約 260m
左岸リムトンネル内	488.7	J0 より左へ約約 85m	上流面相当
右岸リムトンネル内	488.7	J21 より右へ約約 67m	上流面相当
ダム堤体左岸部	484.5	J1 より左へ約 4m	ダム軸
ダム堤体天端部	488.5	J10 より右へ約 4m	上流面より下流側約 9m
ダム堤体右岸部	478.4	J19より右へ約 1m	上流面より下流側約 6.5m

表 2-1 札内川ダムの地震計設置位置情報

2.2.2 観測された主な地震動

観測された地震動のうち,図 2-6 に示すダム底面(F2 点)の上下流方向の最大加速度が 10gal 以上の記録を抽出し,各観測点の最大加速度値を表 2-2 に示す。また,これらの地震時,ダム底面 に対するダム天端中央(T2 点)の加速度応答の増幅率を表 2-3 に,岩盤下部(F1 点)に対する他 の基礎岩盤の加速度増幅率を表 2-4 に示す。

ダム本体の加速度の増幅率については、上下流方向では最小でも 7.8 倍であり、高さ 114m のコ ンクリート重力式ダムとしてはかなり大きいものである。また、基礎岩盤の増幅率については、場 所によって、かなり異なり、地質および地形の特性による現象ではないかと考える。

表 2-2 における上位 4 個の地震記録の加速度応答スペクトルを計算し、その主な箇所のスペクト ル比を図 2-7~図 2-10 に示す。これらの地震は震源特性、伝播特性などが異なると考えられるが、 ダム本体の加速度応答スペクトル比としては、ほぼ同じ周期にピークが表れている。一方、基礎岩 盤の加速度応答スペクトル比にはピークの周期が地震によって、ある程度の差が見受けられる。

また,表 2-5 に地震時水位と加速度の増幅率をまとめ,図 2-11 にその対応関係を示す。これは水 位がダムの応答に及ぼす影響をみるために整理したものであるが、図 2-11 に示すように,水位 461m ~473m の場合,明瞭な水位と加速度の増幅率の変化関係はなかった。



	最大	継続	堤	体天端	部	Ļ	岩盤上剖	ß	;	岩盤下部	ß	左岸リ	ムトン	ネル内	ţ	是体左肩	Î	ţ	是体右肩	Î	右岸リ	ムトン	ネル内	ダム	下流開加	汝基盤
起動時刻	值 (mall)	時間	上下 流	ダム 軸	鉛直	上下 流	ダム 軸	鉛直	上下流	ダム 軸	鉛直	上下 流	ダム 軸	鉛直	上下 流	ダム 軸	鉛直	上下 流	ダム 軸	鉛直	上下流	ダム 軸	鉛直	上下 流	ダム 軸	鉛直
	(gal)	(sec)	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023	024
1999/05/13 02:59	296.0	88	296.0	246.2	98.8	37.9	40.9	22.1	23.6	41.1	26.4	37.8	44.1	23.5	118.6	153.6	83.4	95.6	125.8	63.5	41.2	46.5	35.6	31.1	50.9	32.7
2002/07/28 20:31	92.8	52	92.8	35.3	21.6	11.0	7.3	5.6	5.9	5.5	4.5	8.7	7.1	10.6	25.7	17.4	16.1	24.8	21.7	19.7	12.9	10.0	10.3	5.4	5.5	9.2
2003/01/07 03:27	223.0	43	223.0	48.5	30.9	15.0	10.3	6.9	12.1	9.4	6.0	13.9	9.2	6.7	35.5	25.4	15.3	43.8	36.6	22.3	20.3	15.4	11.0	11.7	8.8	10.8
2003/06/18 13:36	100.4	35	100.4	38.0	26.8	10.2	6.5	6.3	9.3	6.4	3.8	8.1	6.7	7.9	24.5	20.7	14.7	33.3	15.3	13.4	18.0	7.9	7.0	7.7	7.9	10.6
2003/09/26 04:50	676.7	204	676.7	303.5	206.8	61.5	67.0	56.3	51.0	68.9	46.6	66.1	64.7	72.1	199.3	216.2	116.9	214.1	195.6	151.5	79.1	98.2	103.3	59.1	74.8	69.0
2003/09/26 06:08	182.8	121	182.8	81.3	40.9	22.8	15.8	17.1	18.6	13.7	14.2	22.9	18.5	23.6	41.5	38.6	33.4	55.0	52.6	34.0	28.6	29.6	25.3	17.7	15.5	21.3
2003/11/24 21:18	123.8	61	123.8	50.0	38.4	13.6	9.5	9.9	11.3	9.1	7.4	10.5	11.4	14.2	36.4	41.8	20.6	34.7	33.8	26.0	18.0	18.1	15.5	9.8	7.8	8.9
2004/11/29 03:32	123.6	103	123.6	34.5	21.3	10.6	9.8	10.1	8.5	11.2	9.0	14.9	13.0	14.9	25.4	22.4	13.9	28.5	26.3	20.8	14.3	12.7	16.9	13.0	9.6	11.4

表 2-2 観測された主な地震動(岩盤上部で 10gal 以上)

表 2-3 主な地震時のダム本体の増幅率(T2/F2)

却動時刻	最大値	応答倍率					
此到时刻	(gal)	上下流	ダム軸	鉛直			
1999/05/13 02:59	296.0	7.8	6.0	4.5			
2002/07/28 20:31	92.8	8.5	4.8	3.9			
2003/01/07 03:27	223.0	14.8	4.7	4.5			
2003/06/18 13:36	100. 4	9.8	5.8	4.3			
2003/09/26 04:50	676.7	11.0	4.5	3.7			
2003/09/26 06:08	182.8	8.0	5.1	2.4			
2003/11/24 21:18	123.8	9.1	5.3	3.9			
2004/11/29 03:32	123.6	11.7	3.5	2.1			
平均		10.1	5.0	3.7			

表 2-4 主な地震時岩盤下部(F1)に対する基礎岩盤の増幅率

打動時刻	岩橋	鉴上部(F2/	F1)	左岸リム	トンネル内	9(R1/F1)	右岸リム	トンネルロ	勺(R2/F1)	ダム下流開放基盤(G1/F1)			
起到时刻	上下流	ダム軸	鉛直	上下流	ダム軸	鉛直	上下流	ダム軸	鉛直	上下流	ダム軸	鉛直	
1999/05/13 02:59	1.6	1.0	0.8	1.6	1.1	0.9	1.7	1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	
2002/07/28 20:31	1.8	1.3	1.2	1.5	1.3	2.4	2.2	1.8	2.3	0.9	1.0	2.0	
2003/01/07 03:27	1.2	1.1	1.2	1.2	1.0	1.1	1.7	1.6	1.8	1.0	0.9	1.8	
2003/06/18 13:36	1.1	1.0	1.6	0.9	1.0	2.1	1.9	1.2	1.8	0.8	1.2	2.8	
2003/09/26 04:50	1.2	1.0	1.2	1.3	0.9	1.5	1.6	1.4	2.2	1.2	1.1	1.5	
2003/09/26 06:08	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.7	1.5	2.2	1.8	1.0	1.1	1.5	
2003/11/24 21:18	1.2	1.0	1.3	0.9	1.3	1.9	1.6	2.0	2.1	0.9	0.9	1.2	
2004/11/29 03:32	1.2	0.9	1.1	1.7	1.2	1.7	1.7	1.1	1.9	1.5	0.9	1.3	
平均	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.7	1.7	1.6	1.9	1.1	1.0	1.7	



図 2-7 岩盤上部に対する天端中央の加速度応答スペクトル比



図 2-8 岩盤下部に対する岩盤上部の加速度応答スペクトル比



図 2-9 岩盤下部に対する左岸リムトンネル内の加速度応答スペクトル比





図 2-10 岩盤下部に対する右岸リムトンネル内の加速度応答スペクトル比

No	却動時刻	最大値	水位		応答倍率	
NO.	起到时刻	(gal)	(m)	上下流	ダム軸	鉛直
41	1999/05/13 02:59	296.0	469.7	7.8	6.0	4.5
109	2002/07/28 20:31	92.8	461.0	8.5	4.8	3.9
126	2003/01/07 03:27	223.0	469.8	14.8	4.7	4.5
144	2003/06/18 13:36	100.4	468.3	9.8	5.8	4.3
154	2003/09/26 04:50	676.7	461.8	11.0	4.5	3.7
163	2003/09/26 06:08	182.8	461.9	8.0	5.1	2.4
206	2003/11/24 21:18	123.8	472.9	9.1	5.3	3.9
241	2004/11/29 03:32	123.6	472.5	11.7	3.5	2.1

表 2-5 地震時水位と加速度の応答倍率(天端中央/ダム底面)



図 2-11 地震時水位と加速度の増幅率

2.2.3 十勝沖地震時の地震動記録と分析

2003 年 9 月 26 日午前 4 時 50 分頃, 十勝沖(北緯 41 度 47 分, 東経 144 度 05 分, 震源深さ約 42 km)を震源とするマグニチュード 8 の地震が発生した(釧路地方気象台平成 15 年 9 月 26 日 8 時 30 分発表データ)。十勝地域で最大震度 6 弱が記録され,多くの道路,河川,港湾および農業施設が被害を受けた。

図 2-12 に札内川ダムの各観測点における地震動の時刻歴を示す。ダム天端中央の上下流方向の最 大加速度が 677gal であり、ダム底面の最大加速度の比は 11.0 倍となっている。高さ 114m の重力 式コンクリートダムに対しては、これほどの増幅率が生じたのは極めて稀である。これは堤体の増 幅に対する常用洪水吐および天端中央のゲート操作室などの地震応答による影響が寄与したもので はないかと推測される。

図 2-13 には、天端中央観測点とダム底面観測点の加速度応答スペクトル比を示す。この図からダ ム本体の固有振動数を推定することができる。図に〇数値で示しているのは推定されたダム本体の 固有モードの次数である。そのうち、堤体上下流方向の1次固有振動モードの周期は約 0.202 秒で ある。

2.3 物性値についての調査

札内川ダムおよび基礎岩盤の物性値について,工事誌および地震観測記録により調査し,表 2-6 に示す物性が得られている。

	動弾性係数 (MPa)	密度 (g/cm ³)	ポアソン比	減衰係数
堤体	35000 (*1)	2.44 (*2)	0.20 (*3)	観測記録(2003/09/26,04:50)に基づき, ハーフパワー法で求めた(1.97%)(*6)
岩盤	33000 (*4)	2.74 (*5)	0.24 (*3)	同上(ダム直下の観測点F2の記録から 2.24~4.35%と推定した)(*6)

表 2-6 札内川ダムの物性値に関する調査結果

注:*1:工事誌, p.444, コンクリート試験の結果を用いた。

$$E = \frac{10,000 \cdot t}{0.1922 + 0.02927 \cdot t} \qquad (\stackrel{\text{(ABB)}}{=} \stackrel{\text{(ABB)}}{=} E_{RCD} = \frac{10,000 \cdot t}{0.1930 + 0.02807 \cdot t} \qquad (\text{RCD})$$

 $t = \infty$ の時は, $E \cong 35000 MPa$

*2:工事誌,表-4.6.22品質管理結果一覧表

*3:工事誌,表·9.5.9 物性值一覧

- *4:岩盤の動的弾性係数については、以下の静的試験および動的試験のデータから推定した。
 ① 岩盤の静的弾性係数は、各打設年次における解析結果と岩盤変位計の値を比較し、逆 解析により求めた。*Es=*1700*MPa*が得られている(札内川ダム工事誌p.444 参照)。動的 弾性係数は静的試験から得られた値の2倍程度の値がだいたいの目安である4ことを踏 まえ、ここでは、*Ea=*34000*MPa*程度であろうと推定した。
 - ② 一方,工事誌,表-2-2-6 岩石試験結果総括表には,岩石の平均せん断波速度が 3060 m/s であることが記述されている。せん断波速度と動的せん断弾性係数の関係により,

 $G = \rho V_s^2 = 2.74 \times 3060^2 / 9.8 = 2617986 \, tf / m^2 \approx 25656 MPa$

であることがわかる。しかし,基礎岩盤の動的弾性係数は,岩石の弾性波試験から得ら れた値の約1/2に相当する4から,

G = 12828MPa, $E_d = 2(1+v)G = 2(1+0.24) \times 12828 = 31813MPa$ ≥ 723

以上をまとめると,基礎岩盤の動的弾性係数は約33000MPa であると推定した。 *5:工事誌,表-2-2-6 岩石試験結果総括表

- *6:本業務の再現解析対象2003年9月26日04:50十勝沖地震時計測されたデータに基づき,
 - ハーフパワー法により求めた。 図 2-14 には、ハーフパワー法によるダム堤体および基礎 岩盤の減衰係数の求め方を示す。ダム堤体の減衰係数は 1.97%であり、ダム直下岩盤の減 衰係数は 2.27%~4.35%であると推定されている。



図 2-12(a) ダム天端中央の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(b) 岩盤上部の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(c) 岩盤下部の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(d) 左岸リムトンネル内の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(e) ダム天端左肩の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(f) ダム天端右肩の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(g) 右岸リムトンネル内の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)



図 2-12(h) 下流側開放基盤面の地震動(2003 年 9 月 26 日 04:50)







図 2-13 岩盤上部に対する天端中央のスペクトル比



図 2-14(a) 岩盤上部に対するダム天端中央のフーリエスペクトル比



図 2-14(b) 岩盤下部に対する岩盤上部のフーリエスペクトル比