

奥新冠ダム地点におけるダムコンクリートの凍結融解現象現場実験について

正員 伊藤 哲夫*

正員 ○阿部 博俊*

1. ま え が き

この実験は、日本大ダム会議が企画しその依頼により実施しているもので、ダムコンクリートの自然条件下における凍結融解の反覆による劣化状態を調査する一方、実験室での供試体による実験結果と対比して、両者間の関係を求める目的で、日本大ダム会議が選定した酷寒地の5ダム地点で、統一的な実験を行なうことになった。

当社では、新冠川上流奥新冠発電所ダム地点で実施することになり、各種配合の1m立方のコンクリートブロックおよび、標準供試体を昭和37年9月よりダム工事と並行して作成し、図-1のように設置し測定を実施している。現在実験室での試験は、材齢5年の強度を除いて各種試験を終了しており、現場測定、観測は今後長期間継続する予定である。

以下この実験の内容ならびに現在までの実施経過について述べる。

2. 配合種別および供試体数量

1) コンクリートの配合

配合は4種類とし、その他にダムと相似した打継面をもったものを作成した。

a. ダムと同一配合のコンクリート。

b. ウォーカビリチー、空気量はダムコンクリートと同一で水セメント比が10%大きいコンクリート。

c. 水セメント比、ウォーカビリチーはダムコンクリートと同一で、混和剤を用いないコンクリート。

d. 水セメント比、ウォーカビリチー、空気量はダムコンクリートと同一で、セメントは普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混合 ($F/C+F=0.20$) したものをを使用したコンクリート。

2) 供試体、テストブロックの数量および寸法

a. テストブロック

1×1×1m: 2個×4種=8個

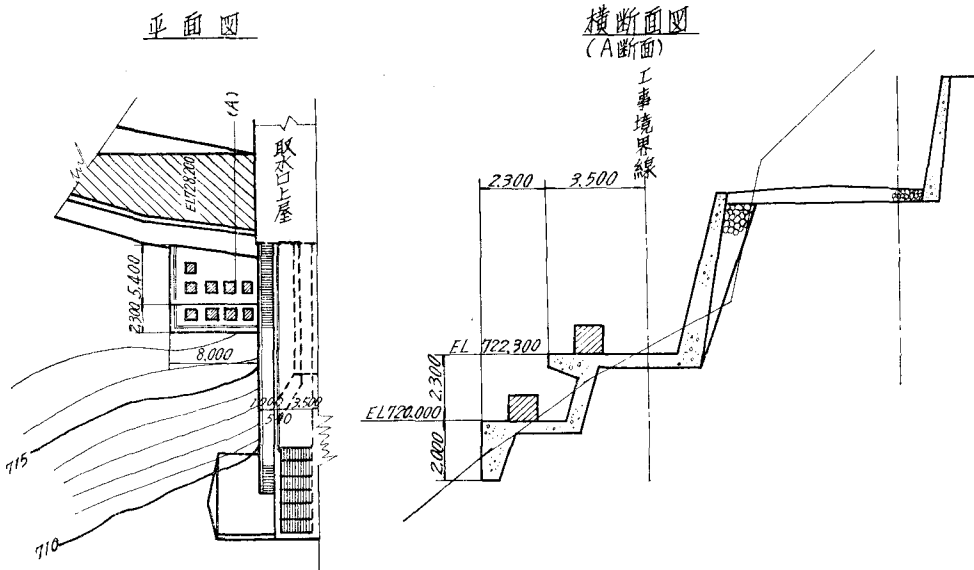


図-1 テストブロック配置図

* 北海道電力株式会社技術研究所

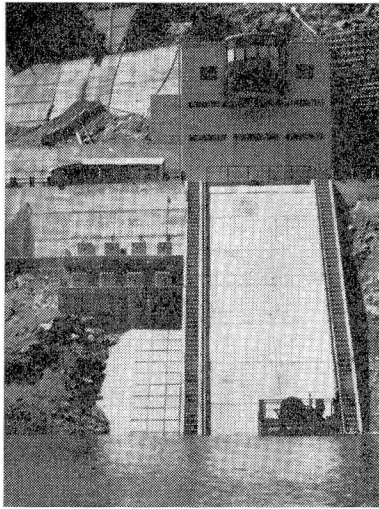


写真-1 テストブロック設置状況

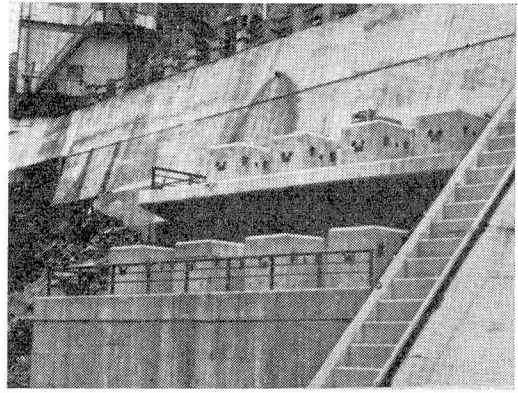


写真-2

(注) 上段ブロックのうしろに供試体を置く

表-1 測定要領一覧表

供 試 体		測 定 記 録	使 用 測 定 器	要 領
現	テ ス ト ブ ロ ッ ク	超音波伝播速度 写 真 記 録 温 度 履 歴 測定時状態記録 コ ア ー 採 取	超音波伝播速度測定器 (円井製) カールソン型埋込温度計 未 定	図-2 参照 劣化し易い面を毎回同位置より 自動記録計による連続記録 測定前数日の天候、乾湿状態 未 定
	地 圧 縮 用 試 体	超音波伝播速度 共 振 周 波 数 重 量 圧 縮 強 度 中 性 化 温 度 履 歴	超音波伝播速度測定器 ヤング率測定器 (円井, 日本電子製) 卓上台秤 圧縮試験機 (100 屯前川製) フェノールフタレン 1% 溶液 カールソン型埋込温度計	テストブロック測定時 同上および強度試験時, JISA 1127 " 所定材齢 (28 日, 91 日, 1 年, 5 年) 時 " 自動記録計による連続記録
実 験	凍結融解用 供 試 体	超音波伝播速度 共 振 周 波 数 重 量 温 度 履 歴	前 述 " " "	テストブロック測定時 " " "
	そ の 他	気 温 水 温 貯 水 池 水 位 気 象 凍 結 状 況	カールソン型埋込温度計 " 取水口水位計 保守員記録 "	自動記録計による連続記録 " 日 平 均 天候, 風向, 積雪等定時観測 凍結, 融解状況, 写真を含む
実 験 室 実 験	圧 縮 用 試 体	超音波伝播速度 共 振 周 波 数 重 量 圧 縮 強 度 中 性 化	前 述 " " " "	所定材齢 (28 日, 91 日, 1 年, 5 年) 時 " " " "
	凍結融解用 供 試 体	凍結融解試験 共 振 周 波 数 重 量	容量 30 本全自動運転 前 述 "	ASTMC-290 水中において急速凍結 融解によるコンクリート供試体の抵 抗性試験方法に準ずる。

- b. 凍結融解用供試体 (現場養生用)
ASTM 型: 2 本×4 種=8 本
- c. 凍結融解用供試体 (標準養生用)
ASTM 型: 4 本×4 種=16 本
- d. 圧縮強度用供試体 (現場, 標準養生同数)
φ 15 cm×30 cm: 3 本×4 材齢×4 種=48 本×2=96 本
- b, c は 25 mm 網フルイで, d は 40 mm 網フルイでウェットスクリーニングして作成した。

3. 測定および観察方法

各種供試体, テストブロックの測定・観察は, 日本大ダム会議および関連機関の担当者打合せの結果から, 当社では表-1 の要領で, 現地測定は毎年 5 月と 11 月に実施することにした。

テストブロックの超音波伝播速度測定は, 当初各地点 (黒部第 4, 奥只見, 川俣, 本別) で画一的な測定方法が決まらず暫定的に独自の方法で実施していたが, 38 年 8 月に測定点, 測定法がきめられ図-2 のように実施しているが, ブロックの位置, 測定時の水位等により, 測定できない測点が生じた場合は, 現場の状況に応じて適宜その位置を変更するが, 測点は原則として変えない。

超音波伝播速度からの動弾性係数の算出には, 次式を用いる。

$$E_D = 1.02 \times 10^{-6} \rho V^2 \frac{(1+K)(1-2K)}{(1-K)} \quad (1)$$

ここに E_D : 動弾性係数 kg/cm²

V : 縦波速度 cm/sec

ρ : コンクリートの密度 g/cm³

K : 動ポアソン比

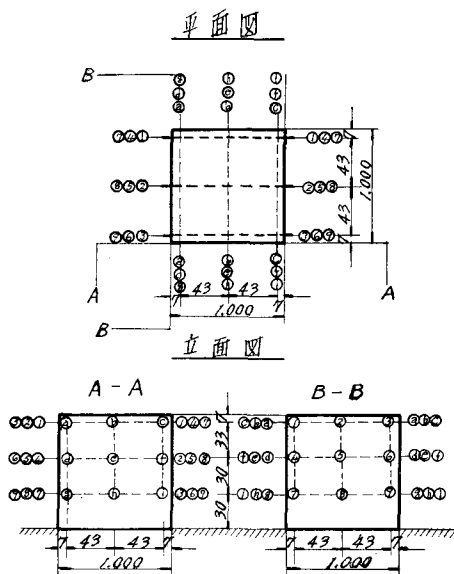


図-2 測定位置図

動ポアソン比は縦波と横波の伝播時間の同時測定ができなければ求めることができない。横波の測定ができない場合は, 動ポアソン比を 0.2 と仮定する。この場合 (1) 式は次のようになる。

$$E_D = 0.918 \times 10^{-6} \rho V^2 \quad (2)$$

超音波法による測定値は, 乾湿の程度に相当影響されるので, 測定時, 測定前の気象状況, 測定時のコンクリート乾湿の状態を記録し, また受信波は振動子の接触状態によって影響されるので, コンクリート面によく密着するように, グリースの塗布による方法を実施した。

共鳴振動方法による周波数の測定および動弾性係数の算出は, JISA 1127 (土木学会基準 47 章) によって行なうものとし, 凍結融解試験用コンクリート供試体についてはタワミ振動の一次共鳴振動数を, また, 強度試験用コンクリート供試体については縦振動の一次共鳴振動数を測定した。

4. 供試コンクリート

1) 使用セメント

日本セメント上磯工場製の中熱ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用し, その物理的性質, 化学成分は表-2, 表-3 のとおりで, 試験方法はすべて JIS に準拠した。

2) フライアッシュ

北海道電力滝川火力発電所製のフライアッシュを使用し, その物理的性質, 化学成分は表-4 のとおりで, 試験方法はすべて JIS に準拠した。

3) 混和剤

日曹マスタービルダース製のボゾリス No. 8, 空気連行剤として #202 を使用した。

4) 骨材

a. 粗骨材は奥新冠ダム湛水区域内の堆積物を使用し, 天然と砕石混合とし, 100~50 mm, 50~25 mm, 25~5 mm の 3 種に分級使用した。岩石は主として角閃岩である。その物理的性質は表-5 のとおりである。

b. 細骨材は奥新冠ダム湛水区域内の堆積物を使用し, 天然砂とロッドミルによる砕砂の混合とし, 5 mm 以下の 1 種で使用する。岩石は主として角閃岩細片である。その物理的性質は表-6 のとおりである。

5) コンクリートの打設

a. 型枠: テストブロックの型枠は木製とし, コンクリート露出面に接する面は平滑に仕上げを行ない, セキ板および型枠相互の接合は本ズネ接合とし, 型枠の内側にはカップグリースを均一に塗布し水密性には特に留意した。コンクリート打設中の振動, 荷重などによりひずみを生じないように, ボルト締めにより均等に充分緊張した。

b. 練り混ぜ: 日本建機 0.75 m³×2, 全自動パッチャープラントを使用し練り混ぜ時間はすべて全材料投入後 3 分

表-2 セメントの物理的性質

配合	種 類	比 重	粉 末 度		凝 結		安定性	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)			水和熱 (cal/g)	
			ブレン値 (cm ² /g)	88μ フルイ (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)		7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	7 日	28 日
A	中庸熱ポルト	3.20	3,030	1.8	2-50	5-00	良	39.8	67.7	80.5	154	373	483	52.9	76.0
B	"	3.20	3,030	1.8	2-50	5-00	良	39.8	67.7	80.5	154	373	483	52.9	76.0
C	"	3.20	3,010	1.6	2-50	5-05	良	40.6	65.8	79.9	152	371	477	52.8	75.2
D	普通ポルト	3.16	3,050	3.3	2-19	3-33	良	50.5	73.0	—	241	430	—	—	—

表-3 セメントの化学成分

配 合	種 類	強熱減量 (%)	不溶解 残 分 (%)	シリカ (%)	アルミナ (%)	酸化鉄 (%)	酸化カル シウム (%)	酸化マグ ネシウム (%)	無水硫酸 (%)	計 (%)
A	中庸熱ポルト	0.4	0.5	24.3	4.5	4.2	63.0	1.3	1.3	99.5
B	"	0.4	0.5	24.3	4.5	4.2	63.0	1.3	1.3	99.5
C	"	0.5	0.4	24.4	4.4	4.3	63.3	1.3	1.4	100.0
D	普通ポルト	0.4	—	—	—	—	—	1.4	1.6	—

表-4 フライアッシュの性質

化 学 成 分			物 理 的 性 質						
シリカ (%)	湿 分 (%)	強熱減量 (%)	比 重	粉 末 度 (ブレン法) (cm ² /g)	単位水量比 (%)	圧 縮 強 度 比 (%)			
						7 日	28 日	91 日	
60.0	0.2	1.2	2.13	3,750	95.6	84.5	81.2	101.0	

表-5 粗骨材の性質

配合 No.	配 合 種 別	比 重	単 重 (kg/m³)	吸水量 (%)	粒 度								粗 粒 率
					フルイに止まる量の重量百分率								
					100 (mm)	80	40	20	10	5	5 以下		
A	ダムと同一配合	2.90	1,965	0.8	0	12.8	30.1	33.9	17.9	1.4	4.2	8.23	
B	同上より w/c=10% 大きいもの	2.95	—	0.9	0	21.0	26.5	24.8	20.7	6.5	0.5	8.33	
C	ダムと同一配合で AE 剤を入れない	2.92	—	—	0	18.5	21.7	31.3	16.8	10.2	1.5	8.17	
D	ダムと同一配合でフライアッシュ代替	2.93	—	0.9	0	12.7	28.2	19.5	25.2	9.7	4.7	8.05	

表-6 細骨材の性質

配合 No.	比 重	単 重 (kg/m³)	吸水量 (%)	有機不純物	粒 度 (mm)								粗 粒 率
					~ 5 以上 (%)	5 ~ 2.5 (%)	2.5 ~ 1.2 (%)	1.2 ~ 0.6 (%)	0.6 ~ 0.3 (%)	0.3 ~ 0.15 (%)	0.15 ~ 0.088 (%)	0.088 以下 (%)	
A	2.86	1,800	0.2	標準色より淡	0.5	13.3	24.7	20.5	11.6	17.9	6.5	5.0	2.72
B	2.86	1,832	1.8	〃	1.6	11.8	20.0	33.6	10.2	6.8	7.0	9.0	2.77
C	2.86	1,800	2.0	〃	0.6	13.0	21.4	27.0	13.0	6.5	10.1	8.4	2.68
D	2.86	1,800	2.0	〃	1.2	12.8	24.0	26.6	15.4	5.0	9.5	6.5	2.75

表-7 コンクリート配合表

配合 No.	粗骨 材最大 寸法 (mm)	単位 水量 W (kg)	単位セメント量 (C+F)		水セメ ント比 W/C+F (%)	フライア ッシュ比 F C+F (%)	細骨 材率 S/a (%)	単 位 骨材量 A (kg)	単位細 骨材量 S (kg)	単位粗 骨材量 G (kg)	単位混和剤量		スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	単重 (kg/m³)	打設 月日 (月/日)	
			セメン ト C (kg)	フライア ッシュ F (kg)							ボ ゾ リス No. 8 (g)	#202 1%液 (cc)					
A	1	100	105	245	—	43	—	26	2,244	573	1,671	613	2,400	2.2	5.3	2,525	37年
	2	"	105	245	—	43	—	26	2,244	573	1,671	613	2,400	2.2	5.7	—	9/19
B	1	"	103.4	195	—	53	—	29	2,284	656	1,628	488	1,800	0.6	3.8	2,536	9/25
	2	"	106.5	201	—	53	—	29	2,269	652	1,617	503	2,000	2.2	4.9	2,475	
C	1	"	114	265	—	43	—	29	2,323	668	1,655	—	—	2.5	2.0	2,548	10/5
	2	"	114	265	—	43	—	29	2,323	668	1,655	—	—	2.6	2.0	—	
D	1	"	110	204.6	51.2	43	20	26	2,184	562	1,622	640	3,400	2.5	5.3	2,465	9/30
	2	"	110	204.6	51.2	43	20	26	2,184	562	1,622	640	3,400	2.3	6.0	2,448	

間とした。

c. まだ固まらないコンクリートの測定：40 mm 網フルイで Wet screening したものについてスランプ、空気量の測定を JIS 規格に準じて行なった。空気量はローリング型 6ℓ を使用した。

d. 打ち込み：同一配合について 0.75 m³/バッチ、2 バッチをホッパーに同時に投入し、それぞれ測定を行なった後運搬台車により型枠近傍まで運搬し、スコップで投入し 3 層に締め固め 1 ブロックおよび供試体を作成した。バイブレーターは φ 50 mm (エア式) のものを使用した。

e. 打設記録：コンクリートの配合内容は表-7 のとおりである。

6) 養 生

テストブロックは、打込後 72 時間は型枠設置のまま散水養生、それ以降 2 日間はシーボルトをゆるめ、散水養生した。運搬(ケーブルクレーンによる吊上げ)は材齢 7 日以降に行なった。

供試体は、現場設置用供試体をテストブロックと相似させた。標準養生用供試体は現場実験室解体の関係から現場実験室での霧室養生約 1 カ月後、技術研究所に運搬し試験材齢まで水中養生を行なった。

5. カールソン型温度計の設置

1) 設 置 箇 所

コンクリート内部温度測定のためカールソン型共和電業 CTE-100 k 埋込温度計を使用した。テストブロックは上段、下段各 1 個に夫々 3 本を対角線上に埋込み、圧縮供試体、凍結融解用供試体には 1 本ずつ温度測定用供試体を作り埋込んだ。その他水温用として上・下段各 1 本を露出させ、気温用として、取水口横の百葉箱に設置した。

2) 自 動 記 録 計

この実験は、コンクリート、水温、気温の温度サイクルが非常に重要なので、温度測定はすべて連続自動記録することとし、奥新冠発電所取水口上屋内に表-8 の仕様による

表-8

項 目	仕 様
型 式	SRP-212 TCAS 12 点式
測 定 方 法	ホイートストンブリッジ式
測 定 範 囲	-40°C ~ +60°C
総 合 精 度	±0.5°C
記 録 方 式	打点色別 茶、赤、黒、青の 4 色。打点マーク + , ○, △ の組合せ
印 字 車 速 度	全目盛幅 5.5 秒
打 点 間 隔	6 秒
記 録 紙 速 度	50, 75, 100 mm/H の 3 段切替
記 録 紙 目 盛	-40 ~ 60°C とする。50 mm/H に対して 24 時間目盛を有する
電 源	AC 100 V 50 c/s

自動記録計を設置した。

6. 測定結果

1) 供試体圧縮強度

材齢5年を残して、現在まで実施した圧縮強度を表-9に示す。なお現地放置の圧縮供試体は、本実験のために作成したもの以外に同時期に打設したダム本体(A配合)の供試体約40本があるので、今後この実験に加えて随時測定を行なう予定である。

現地養生において、材齢28日は10月中で平均気温が7~13℃程度、材齢91日は11、12月となり平均気温で-6℃まで下った。従って強度も小さく標準養生に比してかなりの低下を示した。しかし材齢1年では夏期のかい復があり、大きな伸び率を示し、外観・強度のうえからも凍害・風化を殆んどうけていないと考えられる。なお材齢1年までの冬期は、ダムのたん水がなく水中に没することはなかった。全般的にみて、それぞれの配合の特質を表わしていると思う。

2) 凍結融解試験

試験は、ASTM の水中急速凍結融解試験法に準拠して行なった。供試体は25mmでWet screeningしたもの

7.5×10×40cmの型枠で作成し、ゴム容器に収納し、注水して水中での凍結融解サイクルを与えた。サイクル温度は供試体中心で-18~5℃とし、1サイクル当りの時間は約3時間で8サイクル/日である。供試体の凍結抵抗性は、ソニック法による動弾性係数の減少からこれを表現し、測定は土木学会規準47章(JISA 1127)によって行なった。動弾

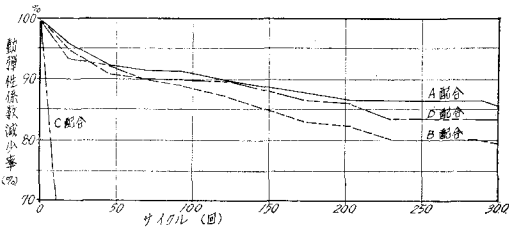


図-3 供試体弾性係数減少率図

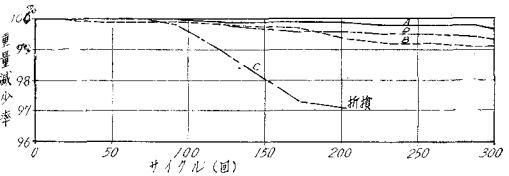


図-4 供試体重量減少率図

表-9 供試体圧縮強度

材 齢	養 生 方 法	配 合							
		A		B		C		D	
		現 地	標 準	現 地	標 準	現 地	標 準	現 地	標 準
28	日	(85) 344	404	(63) 220	349	(75) 308	409	(81) 203	250
91	日	(87) 367	423	(62) 225	364	(72) 344	478	(67) 252	375
1	年	(95) 428	450	(85) 312	366	(100) 503	505	(88) 391	445

注：単位は kg/cm²，供試体3本の平均値，() 内は標準養生に対する割合 (%)

表-10 供試体凍結抵抗性

配 合	種 別	サ イ ク ル											
		0	19	45	70	93	123	173	203	230	259	288	300
A	動 弾 性	100	95.0	92.3	91.3	91.3	89.6	87.7	86.5	86.5	86.5	86.5	85.7
	重 量	100	100	100	100	100	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.8	99.7
B	動 弾 性	100	94.8	90.9	89.9	88.8	87.0	82.9	82.1	80.0	80.0	80.0	79.5
	重 量	100	100	99.9	99.9	99.9	99.8	99.7	99.3	99.2	99.2	99.1	99.1
C	動 弾 性	100	46.6	47.1	45.5	41.7	39.9	34.5	33.3	折損 測定 不能			
	重 量	100	100	100	100	99.8	98.9	97.3	97.1				
D	動 弾 性	100	93.3	92.2	89.9	89.9	89.6	86.4	85.8	83.5	83.5	83.5	83.5
	重 量	100	100	100	100	99.9	99.8	99.6	99.6	99.5	99.5	99.4	99.3

注：表中数字は減少率 (%) を表わす

表-11 テストブロック測定値

配合 No.	ブロック No.	測点位置	測 定 時 期					
			38年10月材齢1年1ヶ月		39年6月材齢1年9ヶ月		39年11月材齢2年1ヶ月	
			動弾性係数	%	動弾性係数	%	動弾性係数	%
A	1	a	482,000	100			507,000	105.2
		b	492,000	100			526,000	106.9
		c	495,000	100			514,000	103.8
	2	a	490,000	100	495,000	101	514,000	104.9
		b	494,000	100	464,000	93.9	521,000	105.5
		c	501,000	100	471,000	94.0	531,000	106.0
B	1	a	501,000	100			525,000	104.8
		b	483,000	100			524,000	108.5
		c	505,000	100			549,000	108.7
	2	a	431,000	100	417,000	96.8	456,000	105.8
		b	469,000	100	448,000	95.5	486,000	103.6
		c	485,000	100	462,000	95.3	509,000	104.9
C	1	a	555,000	100			585,000	105.4
		b	503,000	100			565,000	112.3
		c	504,000	100			566,000	112.3
	2	a	497,000	100	493,000	99.4	549,000	110.7
		b	513,000	100	491,000	95.7	556,000	108.4
		c	527,000	100	502,000	95.3	542,000	103.0
D	1	a	424,000	100			460,000	108.5
		b	428,000	100			460,000	107.5
		c	456,000	100			483,000	105.9
	2	a	415,000	100	409,000	98.6	451,000	108.7
		b	441,000	100	418,000	94.8	466,000	105.7
		c	445,000	100	422,000	94.8	478,000	107.4

性係数減少率を表-10、図-3、重量減少率を表-10、図-4に示す。なお試験は材齢91日より開始し、300サイクルまで実施した。今後現地放置供試体の測定によりその関係を求めるのであるが、現地供試体は2年を経過した現在では、まだ低下はみられない。

3) テストブロック

超音波伝播速度による動弾性係数の測定結果は表-11のとおりである。計算は横波速度が測定できないので動ポアソン比を0.2と仮定し、前述の第3章(2)式によった。なお第1回測定(材齢20~35日)、第2回測定(材齢228~244日)は、測定位置、方法が違うので第3回(材齢1年)以降の南北方向のみについて表示した。

39年6月の測定において、貯水池水位が高く上段の測定のみで、下段は測定不能であった。また測定値は、38年10月より下っているが外観上供試体の測定値からみても劣化したとは考えられない。39年11月測定ではまだ強度の増進が認められる。これは、超音波の伝播速度は、コンクリ

ートの湿潤状態に影響されるものであって、次式に表わされる。

$$V = \sqrt{\kappa/\rho}$$

ここに V: 超音波伝播速度

κ : 体積弾性率

ρ : 密度

39年6月の測定時は、コンクリートブロックが水中から露出して数日しかたらず、更に前日夕刻より降雨がありコンクリートはかなりの湿潤状態であった。

いずれにしても、コンクリートの経年変化量の測定にあたり、超音波法など間接的な方法は、測定時の気象条件、コンクリートの状態、装置の状態などにより測定値の変動は或る程度さけられないと思われ、基準値の判定にしても相当期間の測定をした後、諸条件を考慮して決めなければならない。

7. む す び

以上簡単に実験の方法ならびに経過の概要についてのべたが、何分長期間の測定が必要であり、まだ測定回数が少なく、超音波法、共鳴振動法による数値と諸条件との関係について判断することも難かしく、現在出ている数値から云々することは出来ない。

この実験記録は毎年日本大ダム会議に報告し、他の電源開発奥只見ダム、本別ダム、関西電力の黒部第4ダム、建設省の川俣ダムとともに集約されており、将来の解析結果は非常に期待される。

今回は実験の紹介に止まったが、当社では奥新冠ダム地点とともに本別ダム地点の測定も実施しており、今後の経過とともに機会を得て報告したいと考える。