

[222] 小水力ダムコンクリートの耐摩耗性評価に関する一考察

正会員 杉田英明 (九州電力総合研究所)

正会員 ○永松武教 (西日本技術開発調査部)

正会員 大和竹史 (福岡大学工学部)

1. まえがき

小水力発電所における越流式取水ダムの越流部や水叩き部のコンクリートは、河川増水時の土石流やキャビテーションによって、衝撃・摩耗等の損傷を受け、その保全対策が緊急な課題となっている。しかし、ダムコンクリートが摩耗作用によって浸食されてゆくメカニズムやその傾向は極めて複雑であり、コンクリートの摩耗作用に対する抵抗性の評価規準はいまだ確立されていない。そこで筆者らは、ダムコンクリートの摩耗機構を模擬した2種の試験装置を用いて耐摩耗性を考慮したコンクリートの基礎的実験を行なった。その結果、耐摩耗性を考慮したコンクリートの配合条件をある程度見出すことが出来たので、その配合を実構造物の一部に用いた試験施工を実施した。本報告では、以上の基礎的実験結果並びに試験施工後のコンクリートの摩耗状況等を検討した。

2. コンクリートの耐摩耗性試験

2.1 実験概要

本実験は、小規模なダムコンクリートの摩耗機構の内、砂礫の流下によって作用する掃流摩耗と衝撃摩耗とを模擬した2種の試験装置で行なった基礎試験である。掃流摩耗を対象とした試験装置は、図-1に示すような半円環状供試体(内径130mm, 外径250mm, 高さ100mm)の内曲面に水と砂(粒径12~5mm)を混入し、それを試験機軸の両端翼が回転することによって掃流作用を与え摩耗させるものである¹⁾。衝撃摩耗作用を対象とした試験装置は、図-2に示すような傾胴式ドラム型(内径750mm, 深さ200mm)のもので、ドラム内面にそって4個の供試体(内径500mm, 外径740mm, 高さ200mm, 内曲面長さ390mm)を同時に定着出来るようになっており、摩耗材(シルベップφ20×40mm)と水(5kg)を入れてドラムを回転させ、供試体内曲面にすりへり作用及びころがり作用を与えて摩耗させるものである²⁾。摩耗時間については、掃流摩耗の場合、回転翼を1740rpmの速さで8時間回転させるものであり、衝撃摩耗の場合、ドラムを毎分60回の速度で3万回回転させる。コンクリートの単位摩耗量は、試験前後における供試体重量を測定し、次式によって求めた。

$$Ru = 1/A \cdot (Wa - Wn) / \rho_c$$

但し、Ru: 単位摩耗量(cml/cml), Wa: 試験前の供試体重量(g), Wn: 試験後の供試体重量(g), A: 供試体の内曲面積(cml), ρ_c: 供試体の密度(g/cml)
 なお、衝撃試験でのシルベップの個数は、あらかじめモルタル供試体による摩耗試験を実施して定めた。その結果を図-3に示す。この図より単位摩耗量は、圧縮強度と高い相関性を示し、シルベップの量によっても明確な差が認められた。シルベップ30個と45個では、30個の方がわずかではあるものの試験値のばらつきが小さいものであった。よって、基礎試験では、シルベップの量を30個(3±0.5kg)とした。本実験に用いたコ

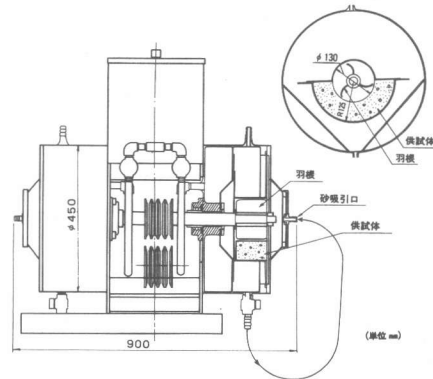


図-1 掃流式摩耗試験機

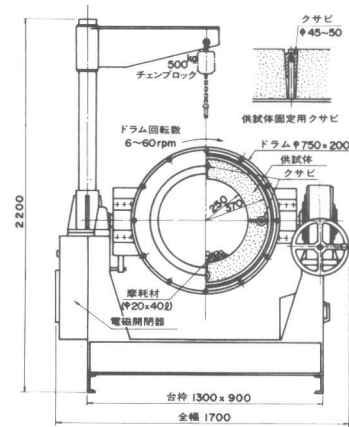


図-2 ドラム式摩耗試験機

ンクリートの種類は、普通コンクリート、繊維補強コンクリート及び高強度コンクリートの3種とし、配合区分は、混和材料の種類、混入率及び単位セメント量(300,400,500kg/m³の3種)を変え、更に普通コンクリートについては、粗骨材の最大寸法を変えた合計33配合にした。なお、コンクリートは、A E 剤を用いないものとし、目標スランブを8±2cmとした。供試体の養生は、いずれも水中標準養生とし、試験材令は、圧縮強度を7,28,91日、その他の試験は28日とした。本実験に用いた材料の詳細を表-1に示し、コンクリートの配合及びコンクリート試験結果を表-2に示す。

2.2 実験結果

コンクリートの強度性状及び摩耗試験の結果を図-4～6に示す。図-4は、セメント水比と圧縮強度の関係をすべてのコンクリートについて示したものである。この図より、一般に認められているようにコンクリートの種別に関係なくセメント水比と圧縮強度には、高い相関性が存在する。また、圧縮強度をコンクリートの種類別でみると繊維補強コンクリートは、単位水量が増加することによって全体的に小さな強度を示し、高強度用混和材を用いたコンクリートは、比較的高い強度を示した。図-5と図-6は、掃流摩耗試験と衝撃摩耗試験による圧縮強度と単位摩耗量の関係を示したものである。これらの図より、単位摩耗量は、圧

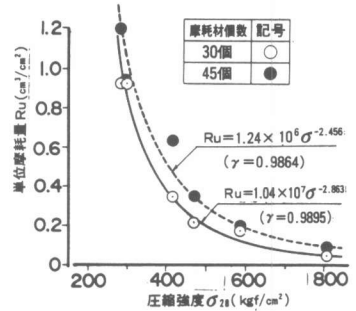


図-3 圧縮強度と単位摩耗量の関係(モルタル)

表-1 使用材料

材料名	仕 様
セメント	A社製 普通ポルトランドセメント 比重:3.16 ブレーン:3320cm/g
細骨材	球磨川産川砂 比重:2.58 吸水率:2.95, FM:2.8
粗骨材	球磨川産川砂利 φ25mm, φ40mm 比重:2.64 吸水率:1.39, FM:7.19
鋼繊維	伸縮スチールファイバー 0.6φ×50mm 比重:7.85
ポリマ繊維	ポリエチレンファイバー 0.7φ×40mm 比重:0.95
減水剤	オキシカルボンサン塩系
流動化剤	アルキルアルシルホニオン酸塩取合物
高性能減水剤	アルキルアルシルホネートポリマー
高強度用混和材	エトリンガイド系 比重:2.13

表-2 コンクリートの配合及び試験結果

コンクリートの種類	配合番号	粗骨材の種類	細骨材の種類	混和材の種類	混和剤の種類	設計スランブ(cm)	設計空気量(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位セメント量(kg/m³)	コンクリートの性状		強度性状 (kgf/cm²)						単位摩耗量 (cm³)	
											スランブ(cm)	空気量(%)	圧 縮		引 張		曲 げ		掃 流	衝 撃
													7日	28日	7日	28日	28日	28日		
普通コンクリート	A	川砂利 φ40	川砂	—	減水剤	8	2	53.3	38.5	300	9.0	2.3	230	325	379	34.0	49.5	0.364	0.260	
								42.5	37.0	400	7.0	2.1	299	399	396	36.0	57.7	0.294	0.150	
								37.0	35.5	500	8.0	2.0	314	399	433	33.3	58.9	0.269	0.116	
								55.7	44.0	300	7.5	2.1	212	327	333	31.6	54.2	0.421	0.337	
								43.8	41.0	400	7.6	2.1	313	428	432	37.6	63.9	0.344	0.260	
	B	川砂利 φ25	川砂	—	—	—	2	36.0	39.0	500	8.5	2.4	330	447	460	37.5	64.6	0.382	0.195	
								54.0	44.0	300	3.5-8.5	2.4-3.0	222	327	367	33.8	56.2	0.270	0.314	
								42.3	41.0	400	4.0-9.0	2.1-2.9	326	426	474	34.8	62.6	0.233	0.218	
								35.2	39.0	500	3.0-8.0	1.7-2.6	353	452	498	39.8	68.3	0.233	0.294	
								73.3	61.0	300	8.0	2.2	142	220	255	34.3	47.1	0.314	0.541	
繊維補強コンクリート	S	川砂利 φ25	川砂	鋼繊維 1.0VOL%	減水剤	8	2	54.5	58.0	400	9.5	2.4	238	337	382	38.5	69.7	0.256	0.416	
								43.2	55.0	500	8.5	2.5	320	423	466	44.2	71.1	0.226	0.237	
								78.0	69.0	300	7.0	2.8	126	215	251	29.5	52.9	0.300	0.630	
								58.0	67.0	400	9.0	2.9	238	348	390	39.6	61.0	0.201	0.452	
								46.0	65.0	500	8.5	2.7	330	461	505	65.8	83.4	0.157	0.220	
	V	川砂利 φ25	川砂	—	ポリマ繊維 1.0VOL%	減水剤	8	2	64.7	55.0	300	8.8	3.0	187	270	298	30.3	53.5	0.206	0.322
									49.5	52.0	400	9.0	2.8	253	344	394	33.5	54.5	0.179	0.256
									40.4	49.0	500	8.5	2.6	298	398	416	38.9	57.9	0.102	0.222
									70.0	65.0	300	8.0	3.6	147	218	254	28.3	46.3	0.288	0.416
									53.0	62.0	400	9.0	3.4	236	349	371	31.2	51.3	0.166	0.160
高強度コンクリート	K	川砂利 φ25	川砂	—	高性能減水剤	8	2	43.0	59.0	500	8.0	2.9	291	397	417	36.1	64.2	0.128	0.121	
								48.3	44.0	300	7.5	3.7	284	418	447	29.6	52.5	0.189	0.235	
								36.3	41.0	400	9.0	3.6	404	552	594	36.5	63.9	0.171	0.174	
								29.6	39.0	500	8.5	2.4	506	582	589	26.5	75.8	0.158	0.140	
								65.3	65.0	300	7.0	3.8	164	247	302	41.0	47.5	0.190	0.364	
	D	川砂利 φ25	川砂	—	ポリマ繊維 1.5VOL%	—	8	2	46.8	62.0	400	9.0	4.3	323	416	458	28.6	55.9	0.169	0.182
									35.8	59.0	500	8.5	3.9	414	504	546	33.9	63.9	0.146	0.127
									42.0	44.0	300	8.0	4.4	376	514	601	45.2	64.6	0.083	0.123
									31.8	41.0	400	10.0	3.7	545	636	749	50.2	77.6	0.088	0.075
									28.8	39.0	500	10.0	2.5	582	635	772	50.0	80.0	0.120	0.104
K	川砂利 φ25	川砂	—	高強度用混和材	—	8	2	59.3	65.0	300	8.0	5.8	210	294	353	28.6	52.7	0.162	0.274	
								39.0	62.0	400	8.5	5.1	438	548	626	46.1	76.7	0.093	0.080	
								30.8	59.0	500	6.5	3.1	567	629	728	45.1	92.2	0.092	0.059	

縮強度が大きくなると小さくなる傾向が認められ、圧縮強度200kgf/cm²から400kgf/cm²にかけて急激に小さくなり、圧縮強度400kgf/cm²以上になると単位摩耗量の減少も緩慢となる（単位摩耗量 0.2cm³/cm²以下）。また、繊維補強したコンクリートとそうでないコンクリートの単位摩耗量は、衝撃摩耗試験でその差はほとんど認められないが、掃流試験では明確に認められる。ちなみに掃流試験の場合、繊維補強コンクリートの単位摩耗量は、圧縮強度400kgf/cm²で普通コンクリートの56%程度である。しかし圧縮強度が500kgf/cm²以上になると繊維補強の効果はほとんど認められない。更に、両者の試験における鋼繊維(D・E)とポリマ繊維(F・G)の耐摩耗性の効果は、ポリマ繊維の方が優れている。次に、普通コンクリートで用いた最大粗骨材寸法φ40mm(A)とφ25mm(B)では、粗骨材寸法φ40mmの方が耐摩耗性に優れていた。以上、コンクリートの耐摩耗性について掃流摩耗と衝撃摩耗の

両面から検討した結果、耐摩耗性に優れているコンクリートは、圧縮強度と単位摩耗量の関係から単位摩耗量が0.2cm³/cm²以下の圧縮強度400~500kgf/cm²以上にするのが望ましいと判断された。

3. 試験施工

3.1 試験施工の概要

試験施工を実施した地点は、九州の宮崎県中部を貫流する一ツ瀬川及びその支流を含める5箇所の取水ダム内の、最も摩耗作用を受けると思われる1箇所である。試験施工に際しては、その取水ダム（矢立ダム）を耐摩耗性コンクリートで施工し、実構造物の摩耗性状からコンクリートの基礎試験結果を検証することにした。コンクリートの配合は、セメント量を増した配合（以下、高強度コンクリートAと言う）、高強度用混和材を用いた配合（以下、高強度コンクリートBと言う）及び標準堤体コンクリート（以下、普通コンクリートと言う）の3種のコンクリートで施工した。ダム堤体の打設区分は、図-7に示すとおりであり、耐摩耗性を考慮したコンクリートは、摩耗作用を受ける堤体表層部（斜線部）に打設した。表-3にそれぞれのコンクリートの配合を示すがコンクリートの設計強度は、普通コンクリートで180kgf/cm²、2種の高強度コンクリートで400kgf/cm²以上とした。

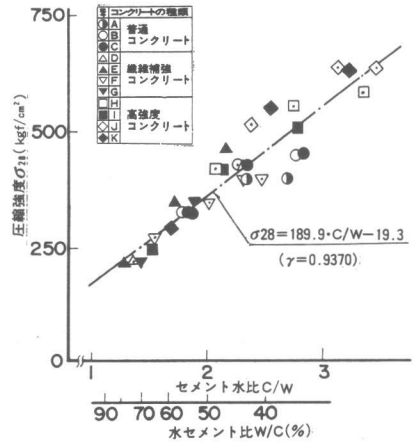


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

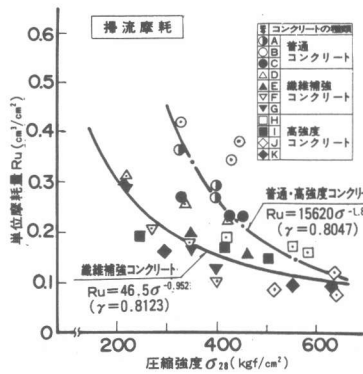


図-5 圧縮強度と単位摩耗量の関係

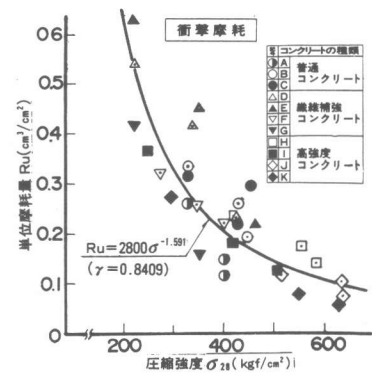


図-6 圧縮強度と単位摩耗量の関係

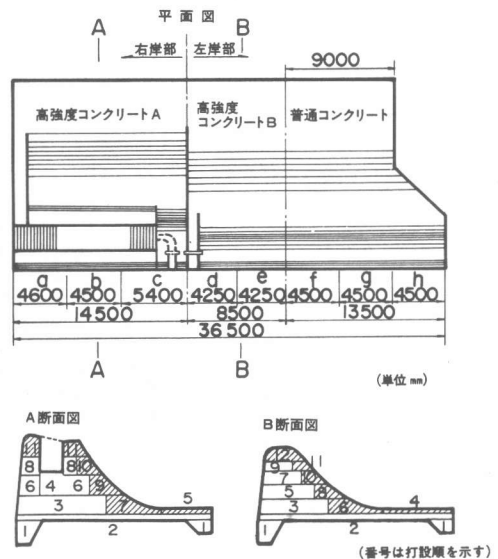


図-7 ダムコンクリートの打設区分

3.2 現場打設コンクリートの品質管理

打設したコンクリートの品質試験は、各コンクリートの代表試料について、スランブ、空気量、圧縮強度及び摩耗試験を実施した。その結果を表一3に示す。打設時のスランブは、普通コンクリートで設計値を概ね満足したが、2種の高強度コンクリートでは比較的大きな値であった。また、空気量は、普通コンクリートが4.5~5.2%、高強度コンクリートAが4.0~5.7%とわずかに大きな値であったのに対し、高強度コンクリートBでは1.8%と小さな値であった。次に、コンクリートの圧縮強度（材令28日）は、平均値で普通コンクリートは220kgf/cm程度、高強度コンクリートAは390kgf/cm程度、高強度コンクリートBは440kgf/cm程度となり、高強度コンクリートAがわずかに設計強度を下回ったものその他については、すべて設計強度を満足した。

3.3 施工1年後の摩耗状況

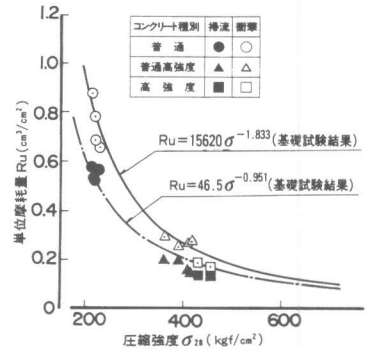
矢立取水ダム完成時の状況を写真一1に示し、施工1年後の水叩き部における摩耗状況を写真二、3にそれぞれ示す。写真二、3から施工1年後においてすでに普通コンクリートと2種の高強度コンクリートの摩耗状況の違いが明確に認められ、普通コンクリートでは、表面のモルタル部が失われて骨材が露出しているのに対して、高強度コンクリートでは、それほど摩耗された形跡は認められなかった。すなわち、施工1年後においては、圧縮強度400kgf/cm以上の耐摩耗性コンクリートの効果が顕著に認められた。

4. あとがき

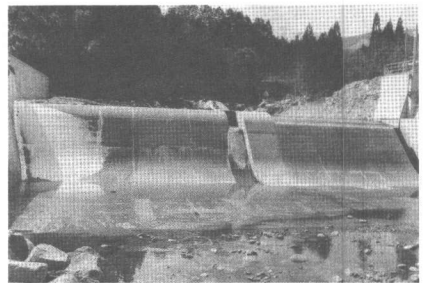
耐摩耗性コンクリートの基礎的実験の結果、耐摩耗性に優れているコンクリートは、400~500kgf/cm以上の比較的高い強度にすることが望ましいと判断された。また、圧縮強度400kgf/cm以上の耐摩耗性を考慮したコンクリートによる実構造物の試験施工を実施した結果は、施工1年後においてすでに普通コンクリートと高強度コンクリートの摩耗状況の違いが明確

表一3 現場打設コンクリートの配合及び試験結果

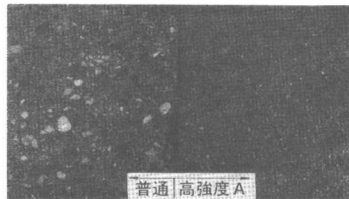
コンクリートの種類	打設ブロック	混和材(湖)の種類	設計スランブ(cm)	設計空気量(%)	配合条件			コンクリートの性状		圧縮強度(kgf/cm ²)			単位摩耗量(m ³ /cm ²)	
					水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位セメント量(kg/m ³)	スランブ(cm)	空気量(%)	7日	28日	91日	28日	91日
普通コンクリート	f, g, h	AE減水剤	8	4	56.0	39.9	257	6.5	4.5	140	221	238	0.785	0.533
								6.5	5.1	137	214	234	0.871	0.579
								8.5	5.2	138	221	232	0.683	0.524
								8.2	5.1	146	231	256	0.654	0.569
高強度コンクリートA	a, b, c	AE減水剤	8	4	34.0	38.7	476	11.5	4.5	314	390	416	0.265	0.198
								15.5	5.7	290	362	395	0.298	0.200
								11.5	4.0	321	413	429	0.272	0.149
								9.5	5.0	301	410	427	0.261	0.150
高強度コンクリートB	d, e	高強度混和材	8	4	39.2	42.3	300	21.0	1.8	326	433	499	0.183	0.131
								20.5	1.8	313	454	492	0.170	0.132



図一8 圧縮強度と単位摩耗量の関係



写真一1 矢立ダム完成時の状況



写真二 摩耗状況の比較①



写真三 摩耗状況の比較②

に認められ、耐摩耗性コンクリートの効果は顕著であった。おわりに、試験施工にあたって、多大の御協力を頂いた大河内発電所建設所の武富所長を始め関係者各位に心から感謝の意を表す。

〔参考文献〕1) 大浜文彦：酸および海水の作用による高炉セメントコンクリートの強度と耐摩耗性の変化、セメント技術年報38年XⅦ(38)

2) 杉田英明他：耐摩耗性コンクリートに関する基礎的実験、土木学会西部支部研究発表会 1985