

文献調査委員会

アラブ連合（カタラ低地）における海水揚水発電計画
Water Power/小森 修蔵
 たわみ性舗装たわみの季節変化
Proc. of A.S.C.E., HW/島田社二郎
 世界の大河川の流出土砂量
Water Resources Research/由明 功臣
 火力発電所冷却水放流による湾内水温分布の解析
Proc. of A.S.C.E., SA/片野 尚明

アラブ連合（カタラ低地）における 海水揚水発電計画

“Scheme for the Qattara Depression”
 Bassler, F.
Water Power Vol. 20, No. 12
 pp. 494~498, December (1968)

アラブ連合はアフリカ大陸の約 1/30 の大きさであり、面積は 100 万 km²、そのうち 36% が利用可能な土地であり、残りは砂漠である。今日、ここに約 3 000 万の人が住んでいる。

アラブ連合の海は世の多くの海港とつながっており、海運としての価値は高いが、塩分濃度が高いため、海水から真水を得ることは経済的に不可能であり、また潮差が小さいのでエネルギー源として直接利用するのも適当ではない。したがって、もしナイル河の利用が限度に達すれば、アラブ連合は他の方法で水を利用することを考えねばならない。

このような背景からドイツ連邦共和国（西ドイツ）がアラブ連合共和国に技術援助をして造りあげたカタラ低地の計画が脚光をあびるに至っている。この計画は 1912 年ベルリンの地理学の教授 Penk によってその可能性を指示されたことに端を発している。

ところで、1975 年の電力需要量は 4 000 MW と推定されている。現在の火力発電量 1 000 MW がその時までにはたとえ 2 倍になったとしても、ナイル河の水力発電量はピーク時の需要量に追いつかなくなる。したがって、カタラ低地の水力エネルギーがこのギャップをうめためますます重要になっているのである。

北アフリカ砂漠の低地にちなんで名付けられたカタラ計画はスケールの大きな多目的計画であり、他の多くの目的のために水が利用されるのであるが、主として水力でピーク時の発電をすることである。

カタラ低地は地球上で最も単純な風景の一つであり、

長さ 300 km、幅 150 km の卵形であり、一番低いところは海拔 -135 m である。海面以下の土地は 9 500 km² であり、これは大体スイスの面積の半分である。

低地の北端はけわしい山がせまっており、その高さは海拔 230 m あり、ゆるやかに地中海に向かって下っている。したがって、低地の底と山の上とは 365 m の差があることになる。ここに人工的な滝をつくることができれば大きなエネルギーを得ることができる。しかし、ここは雨が少なく空からの水源は期待できない。

一方、無限の広がりをもつ地中海はここより 80 km 北方である。もし、海水をカタラ低地まで運河なり、トンネルなりで導くことができたなら、そして利用後の海水を排出することができたなら海水発電は可能になる。しかし、この低地は自然排水は望めず、岩が塩の沈でん物でおおわれているため、地下への浸透も望めない。

そこで、残る一つの有効な手段はこのような場合、大気中への蒸発であろう。蒸発高は調査によれば、年平均 1 700 mm であり、ドイツの 3~4 倍である。

よく知られているように、蒸発高は一定であるが、蒸発量は水面積が関係してくる。水面高を上げ、水面積を広げると蒸発量は多くなり、地中海から多くの海水をとることができる。しかしそうすると、地中海の海面と低地の水面との落差が小さくなり効率が悪くなる。最も適当な水面高を計算してみると、海拔 -60 m になり、水面積は 12 000 km² である。そして蒸発量は年 190 億 m³ となり、地中海から 600 m³/s の海水を取水できることになる。

一方この計画を進めている間に、カタラ低地の北端にあたる山の上に貯水能力 5 000 万 m³ の自然の池（池面高、+215 m）が発見された。

当初の計画によれば、地中海からとった海水を海拔 -54 m の地下発電所に落とし、発電することになっていたが、電力のピーク時外に余剰の電力で +215 m の池へ海水を汲み上げておき、落差 269 m (215 m + 54 m) を有効に利用しようという計画が新たにつけ加わった。

アラブ連合の発電量はこのカタラ低地を利用した高、低落差両発電所を含めると 1975 年の需要量 4 000 MW はまかなえる。

カタラ低地の電力はナイル河の電力にくらべて、河の水量の変動に影響をうけないし、アスワダムより 500 km も電力需要地に近いから送電損失が少ないという利点をもっている。

この計画を完成させるのに必要な費用は現在のところまだ算出されていない。

80 km を運河にするか、トンネルにするかによって費用は違ってくるであろうが、運河にし、原子力を利用して開削したとして 28 億 DM（ドイツマルク）(252 億

図-1 カタラ低地とアスワンダム

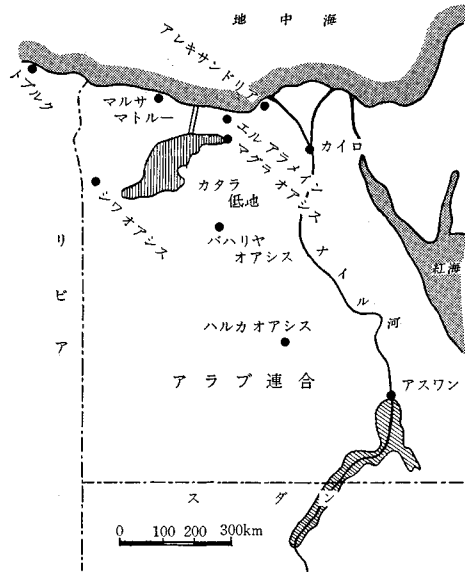
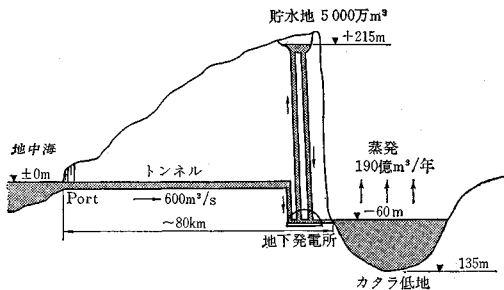


図-2 カタラ低地開発の概略図



円)に達する。

トンネルにすればいろいろ便利な点もあるが、今日の技術では直径が 10~12 m が 1 つの限度であることが難点である。

カタラ低地に地中海より海水を導くことは、海水発電のほかいろいろと副次的な利益が考えられる。

まず、海水が低地をおおうことによりこれまで地下水が表面にしみ上がってきて蒸発していたのがなくなり、これに付随して地下水位が上り、近くのオアシスがうるおい居住地域が拡大する。

カタラ低地に導かれた海水が蒸発することにより塩分濃度は普通の海水の 10 倍にも達し、塩を容易にうることができるようになり化学工業の基礎となりうる。

また新しい湖は、1 年を通じ保養地として活用できる。

そして、低地より地中海に至る 80 km が運河でつながれば、アレキサンドリアから 200 km 離れたこの地は海運としてたいそう価値ある場所になるであろう。

(委員 小森 修蔵)

たわみ性舗装たわみの季節変化

“Seasonal Variation in Flexible Pavement Deflections”

Krizek, R.J.

Proc. of A.S.C.E., HW, Vol. 94, No. 2

pp. 219~228, November (1968)

たわみ性舗装のたわみは舗装設計にとって重要な要素であり、特に春の隔雪時に舗装の荷重支持力を減ずるようなところでは、許容輪荷重の制限に使用されている。普通、たわみ性舗装のたわみは舗装表面のたわみを指しているが、実際には各層のたわみや、変位した路床の形などがこれに重なって影響を与える。たわみ量の測定的第一の目的は、応力に抵抗する舗装の特性を調べることである。舗装内の応力、ひずみ、たわみの関係から、たわみは舗装の耐荷能力を十分示していることが分っており、このことはたわみの測定が比較の簡単であることから、道路技術者にとっては有利なことである。

既往の研究では、Williams と Lee は、メリーランドにおいて 1958 年の春と秋に、約 1 000 箇所で行なった。その結果、同断面の舗装でもたわみの大きさに大きな範囲があったが、路床土の支持力との関係は得られなかった。ただ舗装のたわみに対して、気候の影響が顕著であることが分った。Hicks は、ベンケルマンビームによるたわみ量測定により、3 ヶ年に渡りノースカロライナで舗装構造の調査を行ない、たわみ調査が舗装評価に有効な手段であることを示した。Walker らは、ベンケルマンビームにより各層のたわみを測定し、路床土、車線、舗装厚はたわみに影響を与え、クラックは路盤のたわみに関係するなどの結論を得た。このほかに種々試験結果もあるが、それぞれ矛盾を有している。

本論文では、ベンケルマンビームで測った舗装のたわみ δ を、表層、基層、路盤のそれぞれの厚さ a, b, c 、と車両の軸荷重 P 、および時間 t 、によって表わそうというものである。舗装のたわみ δ を、暦日 CD に対して描けば、図-1 のようになる。ここで暦日は、1956 年 7 月 1 日を 0 としている。 δ は一般に、

$$\delta = \bar{\delta} + \delta_A \sin \frac{2\pi}{365} (t - t_0)$$

で表わされる。ここに $\bar{\delta}$ は基準線、 δ_A は振幅、 t は暦日で示した時間、 t_0 は時間定数であり、 $\bar{\delta}$ は種々の研究結果からほぼ一定値であるか、わずかに負勾配を持っていることが分っている。

舗装の厚さを示す指標 D を

$$D = 0.44 a + 0.14 b + 0.11 c$$

と表わすと、 $\bar{\delta}$ および $2\delta_A$ と D の関係は、

$$\bar{\delta} = \bar{I} - D \cdot \bar{S}$$

図-1 たわみ量の季節変化

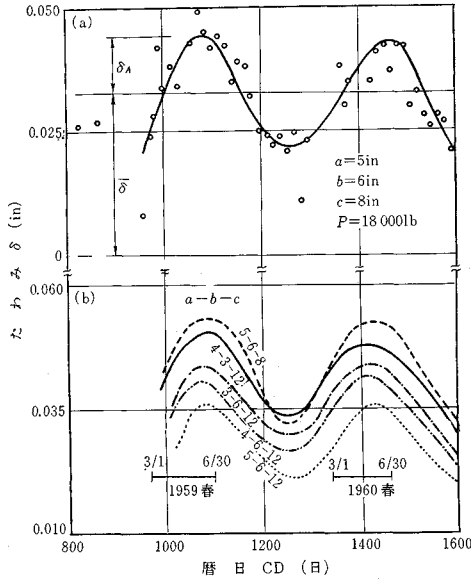
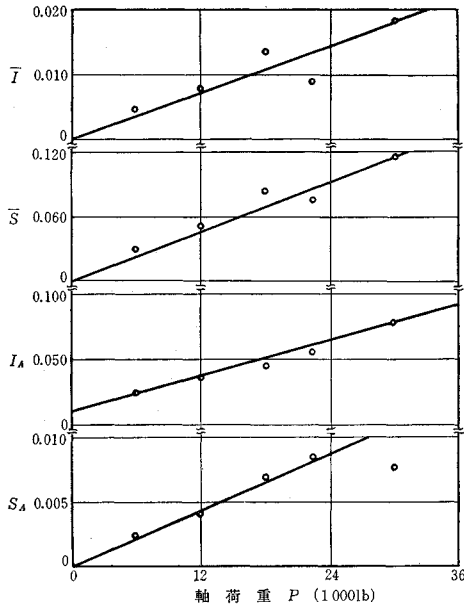


図-2 \bar{I} , \bar{S} , I_A , S_A と軸荷重の関係



$$2\delta_A = I_A - D \cdot S_A$$

ただし \bar{I} : $\delta-D$ 式の $\bar{\delta}$ 切片

\bar{S} : $\delta-D$ 式の勾配

I_A : δ_A-D 式の δ_A 切片

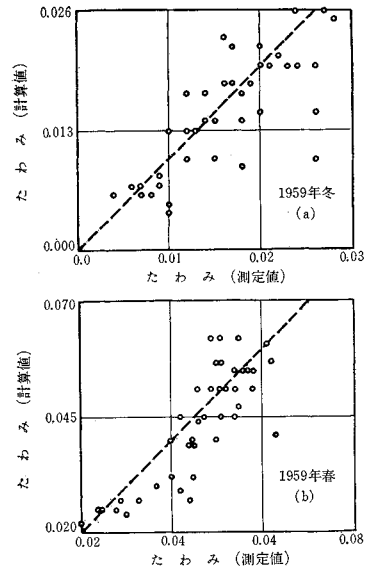
S_A : δ_A-D 式の勾配

で表わされる。つぎに、 \bar{I} , \bar{S} , I_A , S_A と作用荷重 P の関係は、図-2 のようになり、それぞれ

$$\bar{I} = 0.0038 P$$

$$\bar{S} = 0.0006 P$$

図-3 測定値と計算



$$I_A = 0.01 + 0.0023 P$$

$$S_A = 0.00037 P$$

と表わされる。ただし P は 1000 ポンド単位である。これらを先の式に代入すると、 δ は結局、 D , P および t の関数で表わされ、

$$\delta = 10^{-4} \left\{ [38 \quad 6D] \cdot P \cdot \left[\frac{50}{P} + 11.5 - 1.85 D \right] P \times \sin \left[\frac{2\pi}{365} (t - t_0) \right] \right\}$$

として得られる。

図-3 は、この式による計算値と、1959 年春と冬に行なわれた試験とを比較したものである。

(委員 島田壮八郎)

世界の大河川の流出土砂量

“The Sediment Yield of Major Rivers of the World”

Holeman J.N.

Water Resources Research, Vol. 4, No. 4,

pp. 737~747, August (1968)

世界各国の大河川の浮遊土砂実測資料を収集し、大陸別に整理してリスト・アップする。このような世界的視野に立った流出土砂量のとりまとめに関しては従来あまり見るべきものがなかった。本誌に浮遊土砂量の測定された大河川のすべての資料を完全に集大成できたとはいえないが、少なくとも刊行資料で現在までに著者が探し出すことのできたものはすべて含んでいる。収集した資料の中には、測定が短期間であったり、サンプリング方法の相違などのため妥当性に若干問題のあるものも含まれているが、これらを大陸別に流砂実測期間ならびに資

表-1 北 ア メ リ カ

河川名	位 置	流域面積 (km ²)	年平均浮遊土砂量		河口における 平均流量 (m ³ /s)	流砂実測期間	データ、ソース	
			(10 ³ t)	(t/km ²)				
ミシシッピー川	Baton Rouge	ルイジアナ州	262 487			10/49-9/66	Hobbs, B.L. (P C, 1968)	
アトチャファラヤ川	Simmesport	ルイジアナ州	121 400			10/51-9/65	Hobbs, B.L. (P C, 1968)	
ミシシッピー川	(上記2つの計)	3 222 000	344 000	107	17 800	10/51-9/65	Hobbs, B.L. (P C, 1968)	
ミズーリ川*	Hermann	ミズーリ州	1 368 000	239 562	175	19 600	1949-54	Hobbs, B.L. (P C, 1968)
セントローレンス川	河口	カナダ	1 290 000	4 000	3	14 200		Corbel [1959]
コロラド川	グランドキャニオン	アリゾナ州	356 900	149 000	418	160	10/25-9/57	Judson and Ritter [1964]
サスカチュワン川	The Pas	カナダ	323 900	4 600	14	2 270	1954-60; 62-64	IASH [1967]
レッド川	Lockport	カナダ	286 900	1 770	6	2 270	1956-58; 61-64	IASH [1967]
スネイク川	Central Ferry	ワシントン州	268 100	13 100	49	1 380	4/50-7/52	Judson and Ritter [1964]
コロンビア川	Pasco	ワシントン州	265 700	10 300	39	7 250	6/50-7/52	Judson and Ritter [1964]
オハイオ川*	Cincinnati	オハイオ州	198 300	15 000	76	7 310	10/41-9/42	Hobbs, B.L. (P C, 1968)
イェローストン川*	Glendire	モンタナ州	173 200	30 300	176	—	1929-31	Fournier [1960]
ブラゾス川	Richmond	テキサス州	90 130	34 800	386	150	1924-1950	Fournier [1960]
リオグランデ川	San Acacia	ニューメキシコ州	69 330	9 420	136	77	10/47-9/56	Judson and Ritter [1964]
アラバマ川	Claiborne	アラバマ州	56 980	2 130	37	900	10/52-9/60	Judson and Ritter [1964]
ポトマック川	河口	メリーランド・バージニア州	37 810	2 500	66	310	—	Sedimentation [1967]
サンウォーキン川	Vernalis	カリフォルニア州	36 290	347	10	130	10/56-9/60	Judson and Ritter [1964]
リオサンジュアン川	Santa Rosalia	メキシコ	31 080	5 340	172	9	1934-1941	Fournier [1960]
デラウェア川	Trenton	ニュージャージー州	17 560	998	57	570	10/49-9/57	Judson and Ritter [1964]
サバイン川	Logansport	ルイジアナ州	12 590	730	58	250	1932-1950	Fournier [1960]
ベコス川	Puerto de Luna	ニューメキシコ州	10 280	2 720	264	17	10/48-9/57	Judson and Ritter [1964]
イール川	Scotia	カリフォルニア州	8 060	18 200	2 257	200	10/57-9/60	Judson and Ritter [1964]
計 (支川を除く)		6 383 400	603 955	平均 95				

*: 表中の川の支川, P.C.; personal communication

表-2 南アメリカ・アフリカ・オーストラリア

河川名	位 置	流域面積 (km ²)	年平均浮遊土砂量		河口における 平均流量 (m ³ /s)	流砂実測期間	データ・ソース	
			(10 ³ t)	(t/km ²)				
南アメリカ								
アマゾン川	河口	ブラジル	6 133 000	400 000	66	181 000	Ames, F.C. (P C, 1967)	
パラナ川	河口	アルゼンチン	2 305 000	90 000	39	14 900	Corbel [1959]	
オリノコ川	河口	ベネズエラ	949 800	95 340	100	22 700	Van Andel [1967]	
ウルグアイ川	Concordia	アルゼンチン	388 500	15 000	39	3 970	Babb [1893]	
ネグロ川*	Primera Augustura	アルゼンチン	94 980	1 487	156	1 020	1935-1965	IASH [1967]
カロニ川*	at Orinoco	ベネズエラ	90 650	52 500	579		Koelzer, V.A. (P C, 1967)	
コロラド川	Pichi Mahuida	アルゼンチン	23 310	7 600	340		1938-1964	IASH [1967]
計 (支川を除く)		9 894 760	609 427	平均 62				
アフリカ								
コンゴ川	河口	コンゴ	4 014 500	71 300	18	39 600	Corbel [1959]	
ナイル川	デルタ	アラブ連合	2 978 500	121 854	39	2 830	1958-1964	Simons, D.B. (P.C, 1967)
ニジェール川	Baro	ナイジェリア	1 113 700	4 960	5	6 090		Dekker [1961]
シェリフ川	河口	アルジェリア	22 300	3 400	153		16 年	Tixeront [1960]
Medjerdah 川	河口	チュニジア	20 900	14 750	705		5 年	Tixeront [1960]
計		8 149 900	216 264	平均 27				
オーストラリア, 他								
30 河川	オーストラリア東部				33		2 年	Douglas [1967]
マレー・ダーリング川	オーストラリア		1 072 200	35 190				
Waipaoa 川	Kanakanaia	ニュージーランド	1 600	12 160	7 695	370	1960-1964	IASH [1967]
計		1 073 800	47 350	平均 44				

料の出典を付けて表-1~4に整理し簡単な説明を加える。

(1) アメリカ

ミシシッピー川では 1949 年以来観測が続けられてい

る。1952 年以前は Baton Rouse で年 5 億 t 以上の実測値が普通だったが、それ以後どの年も 3.25 億 t 以下に減少してきた。この原因としては土壌保全、流路堤の安定、貯水池の建設があげられる。ミズーリ川でも貯水池の建設により 1953 年以来浮遊土砂の顕著な減少が認め

表-3 ヨーロッパ

河川名	位置	流域面積 (km ²)	年平均浮遊土砂量		河口における 平均流量 (m ³ /s)	流砂実測期間	データ・ソース
			(10 ³ t)	(t/km ²)			
ボルガ川	Dubovka ソ連	1 350 700	20 770	15	8 020	1934, 35, 38-40	Lopatin, 1952
ダニューブ川	河口 ソ連	815 900	21 420	26	6 170		Babb, 1893; Corbel, 1959
ドニエプル川	Verkhnedneprovsk ソ連	433 900	1 210	3	5 490	1938-39	Lopatin, 1952
ドン(ボルガ支川)川	Razdorskaya, ソ連	378 200	5 360	14		1932-40, 46, 47	Lopatin, 1952
ウラル川	Topolinski ソ連	193 700	1 760	9		1936-41, 47	Lopatin, 1952
Vistula 川	Tozew ポーランド	193 100	1 690	9	1 080	1946-53	Jarocki, 1963 (p. 80)
Tisza 川*	at Danube R. ハンガリー	156 200	11 040	69		不明	Fournier, 1960
ライン川	河口 ポーランド	145 000	504	3	2 210	不明	Corbel, 1959
ライン川*	Lake Constance スイス	11 900	9 632†	808		不明	Corbel, 1959
ロアール川	Nantes フランス	120 400	467	4	850	不明	Corbel, 1959
オーデル川	Gozdowice ポーランド	109 400	147	2		1961-64	IASH, 1967
ポーン川	Pontelaguscuro イタリア	54 300	16 770	309	1 440	1956-62	IASH, 1967
セーヌ川	Paris フランス	44 400	1 220†	27		1953 以前	Corbel, 1959
チベール川	Rome イタリア	16 600	6 420	388		1933-46, 49-63	IASH, 1967
Drin 川	Can Deje アルバニア	12 400	16 220	1 313		1960-63	IASH, 1967
ガローヌ川	Toulouse フランス	10 000	2 760	276	680	1839-46	Fournier, 1960
Inn 川*	Reisach スイット	9 800	3 515	360		1953-1960	IASH, 1967
Arno 川	San Giovanni alla Vena イタリア	8 200	2 430	297		1936-42, 54-64	IASH, 1967
Semani 川	Urae Kucit アルバニア	5 300	24 190	4 573		1961-63	IASH, 1967
Simento 川	Giarretta シンチー	1 800	3 960	2 164		1936-42, 57-63	IASH, 1967 他
		3 515 600	121 938	平均 35			

†: 捕流砂を含む

表-4 アジア

河川名	位置	流域面積 (km ²)	年平均浮遊土砂量		河口における 平均流量 (m ³ /s)	流砂実測期間	データ・ソース
			(10 ³ t)	(t/km ²)			
エニセイ川	Igarka ソ連	2 471 400	11 600	5	17 400	1942, 43	Lopatin [1952]
オビ川	Salekhard ソ連	2 448 300	15 700	7	12 500	1948-44	Lopatin [1952]
ガンジス川	デルタ 東パキスタン	1 059 800	1 600 000	1 544	14 100	1874-1879	Fournier [1960]
揚子江	Chikiang 中国	1 024 700	552 000	541	21 800		U.N. [1953]
インダス川	Kotri 西パキスタン	958 300	481 000	502	6 800	1902-25	Fournier [1960]
インダス川*	Kalabagh 西パキスタン	304 800	751 000	2 459			U.N. [1965]
黄河	Shenh sien 中国	714 800	2 083 000	2 913	1 500	1934-42	U.N. [1953]
ブラマプトラ川	デルタ 東パキスタン	559 400	800 000	1 429	20 000		U.N. [1965]
メコン川	Mukdaham タイ	391 100	187 000	479	15 000		U.N. [1965]
イラワジ川	Prome ビルマ	367 000	331 000	903	13 600		U.N. [1953]
珠・西江	Wuchow 中国	312 900	30 800	97	7 800		U.N. [1953]
マリナジ川	Naraj インド	132 100	67 800	514	2 900		U.N. [1953]
ユーフラテス川	Tabga シリア	120 600	4 750	39	1 400	1962-64	IASH [1967]
レッド川	Hanoi 北ベトナム	119 900	143 000	1 189	3 910		U.N. [1965]
Chao Phya 川*	Nakornsawan タイ	106 400	12 490	116		1956-63	IASH [1967]
カプール川	Nowshera 西パキスタン	90 300	26 000	288	680	1961, 1962	Koelzer [1967]
チグリス川	Bagdad イラク	79 800	57 600	722	1 400	1918, 1919	Fournier [1960]
Kosi 川	Chatra インド	61 600	190 000	3 081	1 800		U.N. [1965]
チン川*	Changchiashan 中国	57 000	450 000	7 915	57	1932-45	U.N. [1953]
Chenab 川*	Alexandria Bridge 西パキスタン	32 500	55 000	1 691		1961, 1962	Koelzer [1967]
ロアン川	Chuantou 中国	27 000	210 000	7 799		1934-45	U.N. [1953]
ダモダル川	Rhondia インド	19 900	31 300	1 564	312		U.N. [1953]
石狩川	江別 日本	12 700	1 926	152		1960	IASH [1967]
利根川	取手 日本	12 000	3 160	300		1951	IASH [1967]
計 (支川を除く)		10 911 200	6 414 576	平均 591			

られる。北アメリカの河川の流出土砂量の年平均値は 95 t/km² でアジアについて 2 番目である。

(2) 南アメリカ

アマゾン川は流域面積、流量とも世界最大であり、世界の河川の全流量の 11~18% を占めると推測されてい

るが、海域へ放出する浮遊土砂量は約 2% にすぎない。オリノコ川やパラナ川も流域面積と流量では世界有数であるが、浮遊土砂流出量は比較的少ない。

(3) アフリカ

北部の Medjerdah 川とシェリフ川が高い値を示し、

中部のコンゴ川、ニジェール川がきわめて低い値となっている。アフリカ南部では侵食作用の激しいことが認められているが、量的に裏づける資料は得られなかった。

(4) ヨーロッパ

ライン川はスイスのコンスタンス湖に入るまで多量の浮遊土砂を運んでいるが、オランダの平地に達するまでには急激に減少する。イタリアのポー川、チベール川、アルノ川は単位面積当りの浮遊土砂量が比較的高い値を示しているが、ヨーロッパでは一般に降雨が年間を通じて弱く穏やかなため、侵食が大きな問題とはならない。

(5) アジア

浮遊土砂を年に1億t以上海に運ぶ河川を土砂量の多いものの順にならべると、① 黄河、② ガンジス川、③ ブラマプトラ川、④ 揚子江、⑤ インダス川、⑥ アマゾン川、⑦ ミシシッピ川、⑧ イラワジ川、⑨ メコン川、⑩ コロラド川、⑪ レッド川(北ベトナム)、⑫ ナイル川となり、12中8河川が南アジアに属している。黄河の浮遊土砂は中国中部(チン川、ロー川など)を源とし、世界の大河川中、総量、単位面積当り量とも1位である。ガンジス川、ブラマプトラ川などは背後の急峻な地形とモンスーン気候のため侵食の激しいことが浮遊土砂の多い原因である。

一方北アジアのエニセイ川、オビ川などはきわめて低い値となっている。

アジアの河川の浮遊流出土砂量の年平均は 591 t/km² と際立って大きな値である。

ここに収録した河川の流域面積の総計は約 4 000 万 km² で、これは海洋へ排水する世界全流域の 1/3 以上を占めている。これらの資料を基に大陸別に外そうして、海域へ流出される年間の浮遊土砂量を推算すると約 200 億 t になる。この内約 80% がアジアの河川からの流出分である。

(委員 虫明 功臣)

火力発電所冷却水放流による
湾内水温分布の解析

“Analyzing Steam Electric Power Plant Discharge”
Fdinger, J.F. and Geyer, J.C.
Proc. of A.S.C.E., SA, Vol. 94, No. 4,
pp. 611~623, August (1968)

(1) 計算対象地点

水温分布の計算対象地点は図-1に示すようにわん曲したく形状の小湾をなし、取放水口は発電所のある半島

図-1 計算対象地点の平面配置図

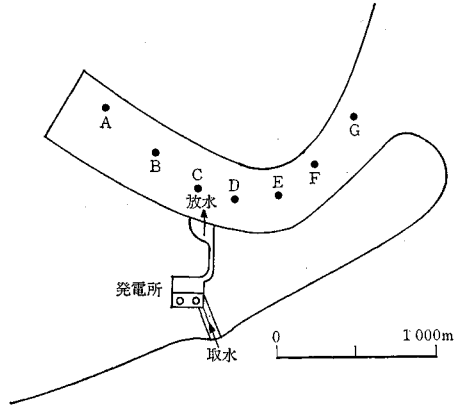


表-1 湾内の月別平均水温 (単位 °C)

地 点	出力 200 MW, Q _p =8.6 m ³ /s					出力 400 MW, Q _p =17.2 m ³ /s				
	5月	6月	7月	8月	9月	5月	6月	7月	8月	9月
取水口 T _f	21.4	25.4	25.6	25.3	21.4	16.6	23.5	25.6	24.4	19.2
Station A	20.4	26.6	27.4	27.2	23.1	21.4	26.4	27.7	26.3	20.0
” B	20.5	26.6	27.7	27.2	23.0	21.4	26.8	27.8	26.4	20.3
” C	21.1	27.5	28.6	27.4	23.5	22.1	27.5	28.6	27.7	22.4
” D	21.1	27.1	28.2	28.0	24.1	21.9	27.7	29.5	28.4	23.3
” E	20.5	26.6	27.4	27.4	23.7	20.2	26.7	29.3	28.2	21.8
” F	20.5	26.6	27.4	27.2	23.1	20.0	26.1	28.8	26.9	21.8
” G	20.3	26.1	26.7	26.1	22.5	19.2	24.4	27.8	26.6	21.1

状の地形をはさんで位置する。放流水域は 1.41 km² の表面積を有し、水深は一様で 1.2 m と浅く、潮汐の小さい地点である。発電所は初年度に 200 MW の発電量、8.6 m³/s の冷却水使用量を要し、2 年後には 400 MW、17.2 m³/s を必要とする。また、復水器による上昇水温はいずれも 5.6°C である。

(2) 観測結果

取水地点を含む放流水域 8 地点(図-1 参照)の平均水温が 5 月から 9 月にわたって観測された。その結果を表-1 に示す。

この結果から最も水温の高い 7 月において、湾口の G 点では取水温より 200 MW で 1.1°C、400 MW で 2.1°C の上昇をもたらしている。また、最高上昇水温は放水温 5.6°C に対して 200 MW で 3°C、400 MW で 3.9°C である。

(3) 解析のための式

湾内の任意の点 x におけるある時間 t の水温 T(x, t) は、① 水柱の熱量の変化、② 平均流速 U による Advection、③ 潮汐混合効果を考慮した拡散数 D による拡散、および ④ 熱収支項 H_n による大気との熱交換によって定まる。すなわち、

$$\rho C_p d \left[\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial T}{\partial x} \right) \right] = H_n$$

.....(1)

ここに、 ρ :水の密度、 C_p :水の比熱、 d :水柱の高さである。式(1)はとりも直さず一次元一様流体における熱量保存方程式である。式(1)中の H_n はつぎのように表わす。

$$H_n = -K(T - E) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 K :熱交換係数、 E :平衡水温である。平衡状態を考慮して平衡水温からの温度差を θ とすると式、(1)はつぎのように書き改めることができる。

$$U \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{KQ}{\rho C_p D} = 0 \dots \dots (3)$$

座標軸は放流点を原点、湾口方向を正にとる。放流流量 Q_p による流速 U は正方向のみに流れるものとする。したがって、流速 U は流量を湾内の流積($w \cdot d$)で割ったものとする。これより $x \geq 0$ に対して $D = D_1$ 一定として、 $x = 0$ で $\theta = \theta_0$ 、 $x \rightarrow \infty$ で $\theta \rightarrow 0$ とおけば式(3)の解は

$$\frac{\theta(x)}{\theta_0} = \exp \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{Q_p}{D_1 w d} - \sqrt{\left(\frac{Q_p}{D_1 w d} \right)^2 + \frac{4K}{\rho C_p D_1 d}} \right] x \right\} \dots \dots (4)$$

つぎに、湾奥方向 $x \leq 0$ において $U = 0$ 、 $D = D_2$ 、および $x = -L$ において $D_2 \partial T / \partial x = 0$ とおけば式(3)の解は

$$\frac{\theta(x)}{\theta_0} = \frac{\exp \left\{ -b \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right\} + \exp \left\{ b \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right\}}{\exp(b) + \exp(-b)} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 $b^2 = KL^2 / \rho C_p D_2 d$ である。さらに、 $x = 0$ に対して θ_p を復水器の上昇水温とすれば、

$$\frac{\theta_0}{\theta_p} = \left[\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{Kw^2 d D_1}{\rho C_p Q_p^2}} + \sqrt{\frac{w^2 D_2 d K}{\rho C_p Q_p^2} \left\{ \frac{\exp(b) - \exp(-b)}{\exp(b) + \exp(-b)} \right\}} \right]^{-1} \dots \dots \dots (6)$$

となる。

(4) 計算結果とその検討

式(4)、(5)、および式(6)について各種のパラメータを与えて計算することにより、それぞれ湾口方向、湾奥方向および放流点の水温分布が図-2、3および図-4のごとく求まる。図中には定常状態と思われる7月の観測結果をプロットしてある。この観測結果に最も適合する係数を求めると表-2のようになる。

表-2から、拡散係数 D は潮汐の大きさから予想された値であり、熱交換係数 K はMayerの蒸発式から求めた結果と一致する。発電所廃熱量のうち大気へ逸散する割合は大気との熱交換係数を2.58 cal/sec·m·°Cとす

図-2 湾奥側の水温分布

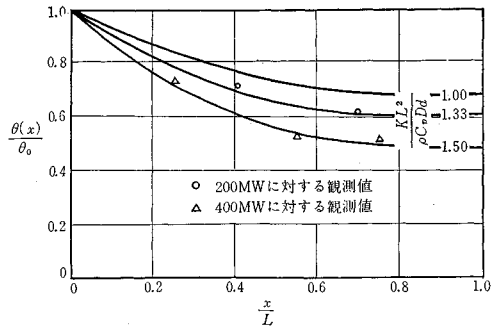


図-3 発電所放流流量に対する放水地点の水温分布

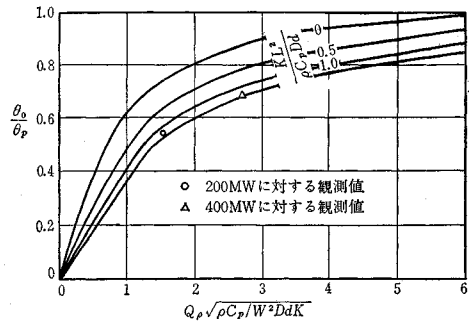


図-4 湾口側の水温分布

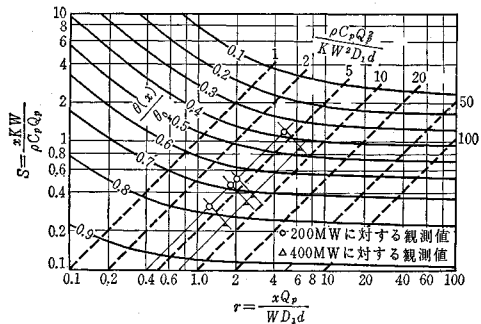


表-2 観測データに適合するパラメータ

パラメータ	200MW	400MW
使用水量 Q_p (m ³ /sec)	8.6	17.2
閉塞点までの距離 L (m)	1190	2560
熱交換係数 K (cal/sec·m·°C)	2.67	2.48
湾奥側拡散係数 D_2 (m ² /sec)	7.6	10.8
湾口側拡散係数 D_1 (m ² /sec)	4.06	4.9

ると、200 MW で 94.5%、400 MW で 63.4% である。以上、ここに述べたような単純な地形の地点であれば、現場観測データに基づいたパラメータによって単純な熱量保存式から十分な解析結果が得られる。そして、増設後の水温分布の予知を可能にする。

(片野 尚明)