

発電所港湾における港内堆砂に関する現地調査

丸山 康樹*・鹿島 遼一*・近藤 浩右**

1. はじめに

構造物と砂の挙動に関連する問題の1つとして、港内堆砂問題がある。発電所用港湾は荷役のための静穏域確保に加えて、冷却水取水域として利用される例が多い。この種の発電所の港内堆砂を対象とした研究として、Fleming ら (1976, 1978)^{1),2)} を挙げる事ができる。

しかし、港内堆砂現象は複雑で、その実態の工学的な認識も十分とは言難い。そこで、東京電力福島第一原子力発電所港湾を対象とし、総合的な調査計画に基づき1979年7月から現地調査を行った。当地点は防波堤完成(1969年10月)から現在まで、年4回の深浅測量や波浪観測等のデータが豊富に蓄積されており、長期的な堆砂現象を把握する上で好適である。

本報文は、既存資料の解析および調査結果から得られた発電所港湾の港内堆砂現象の知見を報告するものである。

2. 既存資料の検討

福島第一原子力発電所は直接太平洋に面し、高波浪の発生頻度が高い。過去10年間における年平均沿岸方向エネルギー流束 E_x の概算値は約 7.6×10^6 ton-m/m/year (絶対値の和) と推定され、SPM-1973³⁾ の漂砂量推定式によれば、約300万 m^3 /year の砂を沿岸方向に移動させるエネルギーに相当する。高さ約30mの崖からなる海岸線はほぼ南北に延び、漂砂源と推定される海崖の泥岩は約70%が砂分、残りの約30%がシルトおよび粘土分である。

深浅図から土量変化を計算し、その累積変化を図-1に示した。計算領域は港外北側(約65.5万 m^2)、南側(約48万 m^2) および港内(約17.5万 m^2) の3領域である。港内堆砂量は10年間で約45万 m^3 であり、1975年までは年間2~3万 m^3 、冷却水取水量が増加した1976年以降は年間6~8万 m^3 となっている。

図-1の土量累積変化には変動が見られるので、平滑

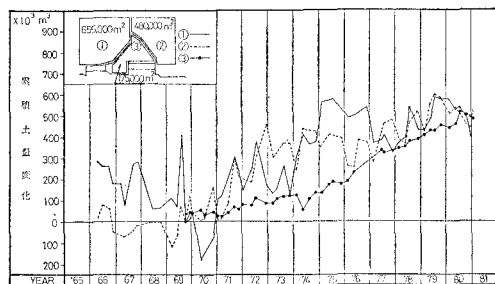


図-1 領域別土量累積変化 (1965年~1980年)

化したトレンド曲線を求め、この曲線から算出した期間平均の港内堆砂量 q_i (m^3 /day) と、この間の平均波浪エネルギー Ec_g (ton-m/m/day) および平均冷却水取水量 q_0 (m^3 /sec) との関係を図-2に示した。 q_i と q_0 には比較的良好な相関が見られ、次のような関係式が得られる。

$$q_i = 0.75q_0 + 50 \quad \dots\dots\dots (1)$$

波浪エネルギーの港内堆砂量への寄与は比較的時間スケールが短く、3か月間隔の深浅測量図からその影響を抽出することは困難である。

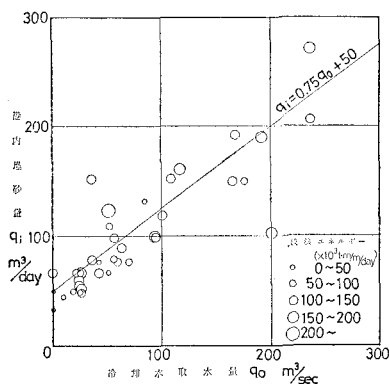


図-2 港内堆砂量と冷却水取水量および波浪エネルギーの関係

3. 現地調査結果

3.1 港口部漂砂現象

(1) 流況および波浪

港口部の波高、流速、濁度を測定するため、モニタリングポストを建設し(写真-1)、1979年7月から1日4

* 正会員 工修 (財)電力中央研究所 土木技術研究所
海岸水理研究室

** 正会員 工修 五洋建設株式会社 土木設計部

回の観測を開始した。

モニタリングポストにおける平均流速の月別平均値と冷却水取水量の月間平均および取水量から計算した港口断面平均流速を表一に示した。水深別 3 層の平均流速は鉛直方向に

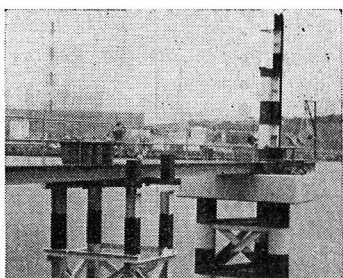


写真-1 港口部モニタリングポスト

表一 モニタリングポストの平均流速と港口断面平均流速 (計算値)

年 月	モニタリングポスト平均流速 (m/sec)				冷却水取水量 (m ³ /sec)	港口断面平均流速 (m/sec)
	底面+0.5 m	底面+1.0 m	底面+5.5 m	3 層 平 均		
1979. 7	0.22	0.24	0.20	0.22	260	0.28
8	0.19	0.26	0.24	0.23	239	0.26
9	0.17	0.18	0.19	0.18	249	0.27
10	0.11	0.19	0.16	0.15	219	0.24
11	0.16	0.15	0.13	0.15	204	0.22
12	0.17	0.15	0.14	0.15	222	0.24

はそれぞれ、2.0, 2.6, 2.7 (平均 2.4) であった。

沖波とモニタリングポストでの波高を比較すると、入射波の波向が ENE より北寄りで遮蔽率が 0.5 以上になる。また、遮蔽率が小さいほど周期比は小さくなり、入射波浪を方向スペクトルを持つ不規則波として扱う必要が認められる。

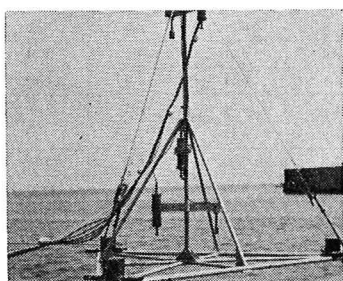


写真-2 船上観測用計器取付架台 (アルミ製)

ほぼ一様であるが、3 層平均流速値は計算した港口断面平均流速の 60~80% しか示さない。

この点をより詳しく調査するため、方位計を内蔵した電磁流速計 3 台を取付けたアルミ製架台 (写真-2) を用い、起重機船により港口断面上の調査を行った。図-3 は港口部 5 地点 (X1~X5) と同時刻のモニタリングポスト (M.P.) における流速測定結果で、下層 (海底面上 0.5m) のみを示した。港口北側の X1 地点に近いほど平均流速は大きく、3 回実施した船上観測の結果総てにこの傾向が見られ、3 層平均流速の X1 と M.P. の比率

(2) 掃流砂および浮遊砂

モニタリングポストでは、濁度計 5 台のほかに、遠隔操作による水中ポンプ採水方式で浮遊砂濃度測定を毎日 2 回実施し、また、図-4 に示す捕砂トラップを用いて毎週 1 回掃流砂と浮遊砂の調査を行った。

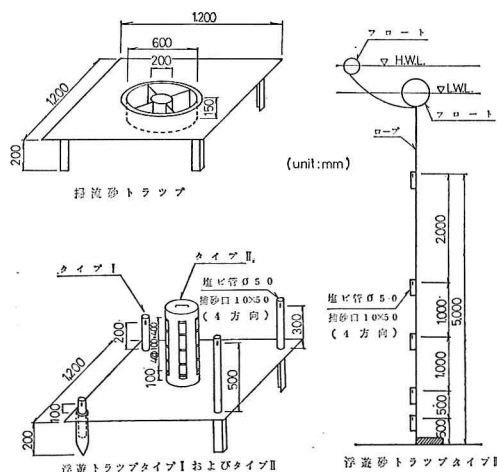


図-4 各種の捕砂トラップ

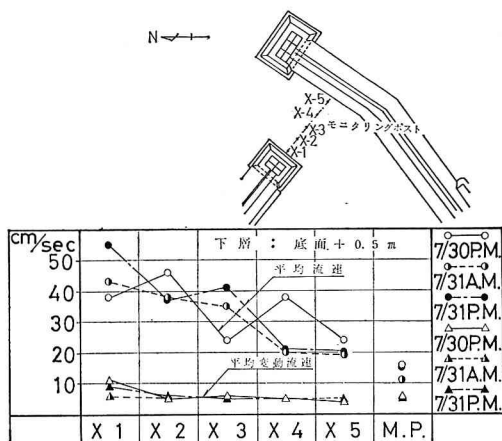
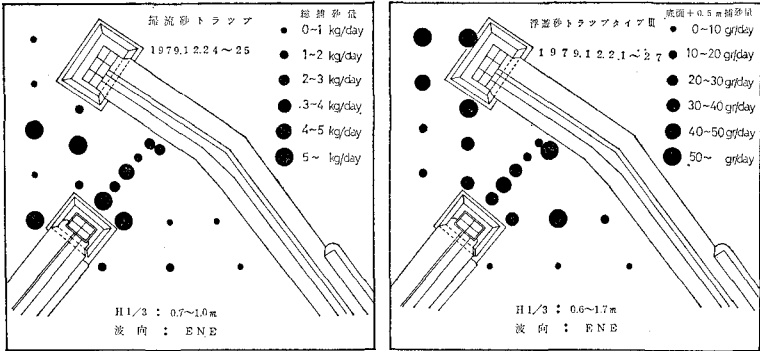


図-3 港口断面における流速分布 (第 1 回船上観測)

港口部周辺についても、船上観測時に同様の調査を実施しており、図-5 は第 2 回目の結果である。図は掃流砂トラップの総捕砂量、浮遊砂トラップ (タイプ III) の海底面上 0.5m での捕砂量を示したもので、設置期間はそれぞれ 1 日、6 日である。掃流砂トラップの総捕砂量は港口断面北側と南側で明瞭な差があり、この差は第 2



図一5 掃流砂トラップと浮遊砂トラップ(タイプⅢ)による港口部周辺の測定例(第2回船上観測)

回目では比較的小さく5~10倍程度であるが、第1回目では20~100倍にも達した。

第1回時の波向はE~ESEで回折効果を受け、第2回目の波向はENEで直接港口に侵入し、港口断面上の波高変化は後者の方が少ない。平均流速と波高(軌道流速)の港口断面上での差が掃流砂量の変化に強く影響する。

この例のように、港口断面上の掃流砂量の差が予想以上に激しい

表一2 掃流砂トラップ総捕砂量(モニタリングポストとX1地点)

No.	年月日	中央粒径 D (mm)	平均流速 U (m/sec)	水深 h (m)	有義波(トラップ地点)		総捕砂量: 乾燥重量 (kg/day)
					底面最大 流速 U_B (m/sec)	周期 $T_{1/3}$ (sec)	
1	1979. 7. 6	0.17	0.22	7.8	0.18	5.3	0.75
2	7. 12	0.17	0.24	8.0	0.21	3.6	1.21
3	7. 26	0.17	0.20	7.9	0.19	5.3	0.82
4	8. 2	0.17	0.21	7.9	0.18	6.3	0.52
5	8. 9	0.22	0.24	7.8	0.16	6.2	0.32
6	8. 17	0.22	0.19	7.7	0.25	6.5	1.64
7	8. 23	0.22	0.18	7.8	0.24	6.5	0.89
8	8. 30	0.22	0.18	8.0	0.21	4.7	1.04
9	9. 6	0.20	0.19	8.1	0.24	7.8	0.92
10	9. 13	0.20	0.23	8.1	0.21	7.4	1.80
11	10. 4	0.20	0.16	7.9	0.25	7.6	2.29
12	12. 6	0.23	0.10	7.5	0.25	6.2	1.84
13	12. 13	0.23	0.14	7.5	0.30	7.8	12.47
14	12. 22	0.21	0.31	7.7	0.34	6.7	19.28
15	12. 23	0.21	0.27	7.7	0.27	8.0	2.38
16	12. 24	0.21	0.26	7.7	0.22	4.7	2.58
17	12. 25	0.21	0.22	7.7	0.18	5.2	1.30
18	1980. 1. 9	0.24	0.14	7.6	0.21	5.2	0.26
19	2. 7	0.24	0.15	7.5	0.25	7.7	5.27
20	2. 22	0.24	0.14	7.2	0.21	6.0	8.54
21	2. 23	0.24	0.19	7.3	0.25	8.0	16.65
22	4. 2	0.24	0.23	6.8	0.47	9.0	51.17
23	4. 3	0.24	0.28	6.7	0.30	6.2	27.54
24	4. 7	0.24	0.27	6.7	0.27	4.5	13.21
25	4. 11	0.24	0.25	7.0	0.18	6.3	0.50
26	5. 8	0.22	0.15	6.9	0.28	6.7	6.04
27	6. 27	0.20	0.13	7.2	0.19	4.8	0.93
28	1979. 12. 21	0.23	0.30	8.2	0.56	11.8	満杯
29	12. 22	0.23	0.29	8.2	0.47	6.7	32.72
30	12. 24	0.23	0.24	8.2	0.22	4.7	9.45
31	1979. 12. 26	0.23	0.37	8.2	0.30	5.4	28.10
32	1980. 2. 18	0.26	0.31	7.4	0.34	5.4	35.15
33	2. 20	0.26	0.35	7.4	0.49	6.6	37.31
34	4. 2	0.23	0.35	7.7	0.59	9.0	満杯
35	4. 3	0.23	0.23	7.6	0.34	6.2	38.33
36	4. 4	0.23	0.26	7.5	0.47	7.4	57.52
37	4. 5	0.23	0.39	7.6	0.31	5.3	50.53
38	4. 6	0.23	0.15	7.6	0.47	5.3	47.18
39	4. 7	0.23	0.28	7.7	0.31	4.5	28.20
40	7. 30	0.23	0.39	7.6	0.22	4.2	9.38

ので、1980年1月以降はモニタリングポストでの調査に加え、港口断面上のトラップ設置頻度を月1回の割合に増加した。表-2はその結果の一部である。

一方、図-5の浮遊砂トラップによる捕砂量には5倍程度の差が見られるが、傾向として明確でない。水中ポンプ採水の結果も同様であった。図-6は浮遊砂トラッ

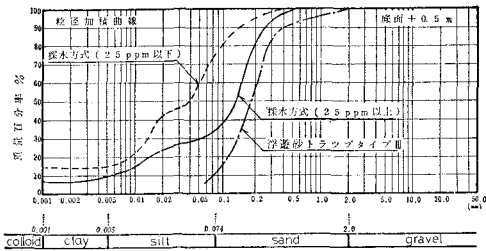


図-6 浮遊砂トラップ(タイプⅢ)と採水方式による浮遊土砂の粒度特性

プ(タイプⅢ)と採水方式により得た海底面上0.5mでの浮遊砂の粒度分布を示したもので、トラップでは粒径の細かい成分を捕捉し得ない。ただし、図は1979年12月の試料を総合した結果である。また、採水方式の浮遊砂には濃度が25ppm以下のとき、港口の底質には存在しない粒径0.1mm以下の成分が80%近く含まれ、高濃度になるとその比率は減少する。

表-3はモニタリングポストでの採水方式による月間平均の濃度を水深別3層について示したもので、指数関

数的な減少傾向は見られない。月間濃度と波浪との間にはモニタリングポストよりむしろ沖波との相関が認められた。

Ackers and White(1973)⁴⁾は混合粒径を考慮した上で、一方向流の全砂移動量推定式を提案し、Willis (1978)⁶⁾はさらに往復流が共存する条件への拡張を行った。図-7は後者の方法による推定値と表-3の掃流砂トラップ総捕砂量との相関を調べたもので、両者にはほぼ比例関係が成立する。単一粒径を対象としたMadsen and Grant (1976)⁶⁾やKomar (1978)⁷⁾による推定値は過大評価となる傾向が認められた。

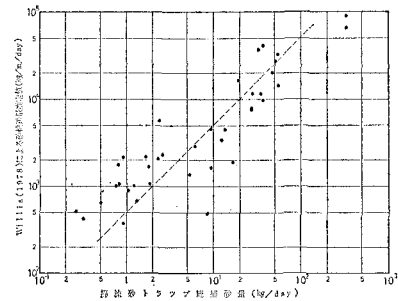


図-7 Willis (1978) による推定値と掃流砂トラップ総捕砂量の比較

3.2 港内堆積状況

港内堆積状況をより詳しく調べるために、1979年7月以降毎月実施した港口部および港内の深浅測量結果に基

表-3 モニタリングポストの浮遊砂濃度(採水方式)

年 月	浮 遊 砂 濃 度 (ppm)			平 均 流 速 (m/sec)	有 義 波 高 (m)	有 義 波 周 期 (sec)
	底面+0.5m	底面+1.0m	底面+5.5m			
1979. 7	—	—	—	0.22	0.27	5.6
8	12	9	—	0.23	0.28	5.7
9	20	13	—	0.18	0.36	6.0
10	20	27	—	0.15	0.53	6.3
11	51	28	—	0.15	0.56	6.2
12	23	18	—	0.15	0.44	6.8
1980. 1	40	27	14	0.16	0.54	6.7
2	29	21	12	0.14	0.40	6.6
3	66	39	26	0.16	0.43	6.0
4	49	33	17	0.19	0.45	6.2
5	58	34	17	0.15	0.36	6.3
6	24	15	8	0.12	0.29	5.7
7	14	8	5	0.16	0.34	5.2
8	51	22	8	0.16	0.52	6.4
9	29	20	8	0.23	0.35	5.7
10	48	36	23	0.16	0.43	5.9
11	34	17	9	0.16	0.39	5.5
12	—	—	—	0.18	0.54	7.6

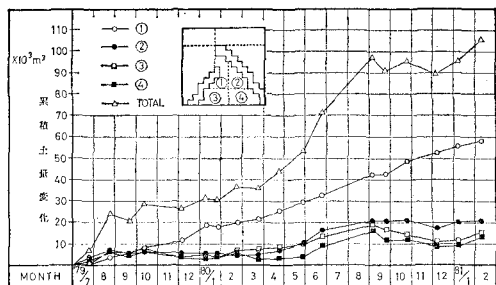


図-8 港内4領域の累積土量変化
(1979年7月～1981年2月)

づき、港内各領域における土量累積変化を求め、図-8に示した。港口部近傍の領域①では年間を通じてほぼ一様に堆積するのに対し、港奥部の領域②、③、④では堆積は夏期の4～8月に集中する。

毎月実施した港内外50地点における底質の粒度分析結果によれば、港口部近傍の底質は中央粒径0.20mm以上であり、港奥部では中央粒径0.15mm以下でシルト成分を多く含む。港内における土砂の移動・沈降現象には取水流による流れの分布と波高分布が重要な役割を果たしており、粒径の相違に伴う移動形態の差が堆積傾向に直接結びついているものと考えられる。

浮遊あるいは掃流形態で港内に流入した土砂の一部は放水流に伴って港外へと流出する可能性がある。そこで、港内取水口カーテンウォール前面で水深別3層の浮遊砂濃度測定を1980年3月から毎日実施した。

港内堆砂量、モニタリングポストおよびカーテンウォール前面における浮遊砂濃度と取水量の積から推定した

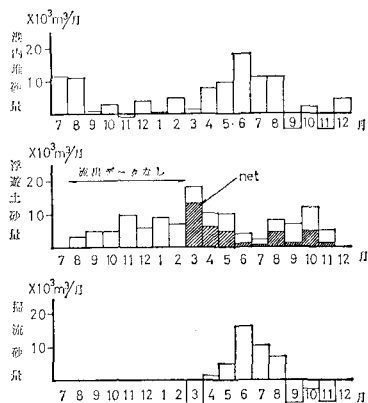


図-9 港内堆砂量に占める浮遊土砂と掃流砂の割合
(推定値)

netの浮遊土砂の流入量および両者の差から推定した掃流砂による堆砂量の月別変化を図示したものが図-9である。netの浮遊土砂量は港内堆砂量とは逆に、季節的には冬期に大きめの値を示し、両者の差として算出される掃流砂量は負の値を示す月もある。この点は浮遊砂量の推定精度の問題の外に、港内堆積土砂の再浮遊化等の複雑な現象を示唆しており、シルト成分の挙動等、粒径差による現象について、より詳しく検討する計画である。

4. おわりに

本報文の調査では、高波浪時のデータが得られなかった。また、土砂の港内における堆積状況と外力との関係についてもより詳しく調査する必要が認められた。この2つの問題点に対処するための調査を現在継続中である。

今後これらの調査結果を活用し、発電所港湾における港内堆砂現象の解明をすすめるとともに、防砂対策の検討を行う予定である。

資料の収集、調査の実施に当り、東京電力株式会社福島第一原子力改良工事事務所の沼田、加迎の両氏を始め、関係者の方々の多大な協力をいただいた。また、東京大学土木工学科堀川清司教授からは適切な助言をいただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Fleming, C. A. and J. N. Hunt: An application of a sediment transport model, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1184~1202, 1976.
- 2) Bettes, P., Fleming, C. A., Heinrich, J. C., Zienkiewicz, O. C. and Austin, D. I.: Longshore currents due to surf zone barrier, Proc. 16th Conf. Coastal Eng., pp. 776~790, 1978.
- 3) Galvin, C. and P. Vitale: Longshore transport prediction—SPM 1973 equation, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1133~1148, 1976.
- 4) Ackers, P. and W. R. White: Sediment transport, new approach and analysis, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041~2060, 1973.
- 5) Willis, D. H.: Sediment load under waves and currents, Proc. 16th Conf. Coastal Eng., pp. 1626~1637, 1978.
- 6) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Quantitative description of sediment transport by waves, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1093~1112, 1976.
- 7) Komar, P. D.: Beach sand transport, distribution and total drift, Jour. of the Waterway Port Coastal and Ocean Division, ASCE, Vol. 103, No. WW2, pp. 225~239, 1977.