

海食崖前面に建設された港湾周辺の 海浜変形の長期モニタリング

LONG-TERM MONITORING OF BEACH CHANGES
AROUND THE PORT OF HIRONO BUILT OFF SEA CLIFF

安田勝則¹・川村哲也²・小池雄一郎¹・
宇多高明³・大熊義夫⁴・阿部光信⁴

Katsunori YASUDA, Tetsuya KAWAMURA, Yu-ichiro KOIKE,
Takaaki UDA, Yoshio OHKUMA and Mitsunobu ABE

¹正会員 東京電力株式会社広野火力建設所土木グループ (〒979-0402 福島県双葉郡広野町下北迫二ツ沼 58)

²正会員 工修 東京電力株式会社建設部海外事業グループ (〒100-0011 東京都千代田区幸町一丁目 1-3)

³正会員 工博 建設省土木研究所河川部長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

⁴正会員 東電設計株式会社第二土木本部 (〒110-0015 東京都台東区東上野三丁目 3-3)

Long-term monitoring of beach changes around the port of Hirono Thermal Power Plant in Fukushima Prefecture facing the Pacific Ocean was carried out. Topographic surveys have been conducted around this port since 1972, and beach changes were analyzed by using these data sets. Longshore sand transport rate (Q) was estimated to be around $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ from the change in accumulated sand volume inside the port. This value has the same order of magnitude with $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ predicted by the relation $|Q| = 780 h_c^{5/2}$ given by the author, where (h_c) is the critical depth for beach changes. Measured value is 39% smaller than calculated one. This difference is considered to be due to that a large part of this coast is covered by exposed rock and, therefore, the amount of littoral sediment is small compared with the sandy beach.

Key Words : beach changes, longshore sand transport, wave sheltering effect, breakwater, monitoring

1. まえがき

茨城県北部から宮城県南部にかけての沿岸は砂岩・泥岩からなる海食崖が発達している。この海食崖は、以前は風化や波浪による侵食によって多量の土砂を周辺の海岸に供給してきたが、近年では海食崖の基部に消波工がほぼ連続的に設置され、侵食防止が図られている。このため、海岸への土砂供給量は減少しているが、沖合の露岩域周辺では依然として活発な漂砂移動が見られる。

また、この地域はわが国の主要なエネルギー基地として多数の発電所が立地し、そのほとんどが専用の港湾施設を有している。これらの専用港湾は、ほぼ南北に延びる海岸線上に突出した護岸や防波堤で形成されており、いずれの専用港湾でも港内堆砂の問題を抱えている。一方、これらの専用港湾周辺では海岸侵食が起きている場所もあるが、それらの因果関係は解明されていない。このような堆砂、侵食のそれぞれについて有効な対策を立

案するには現地の実態をモニターすることが重要である。各発電所周辺海域では、このような主旨から深淺測量や波浪観測などのモニタリングを長期にわたって実施してきている。

本論文では、東京電力(株)広野火力発電所周辺での深淺測量成果を分析整理して、海食崖沖に発達する海底露岩域周辺での海浜変形の実態を明らかにし、今後の港内堆砂、海岸侵食の対策に活かそうとするものである。

2. 調査地域の概況と港湾の建設経緯

調査対象の広野火力発電所は、図-1に示すように太平洋に東面した福島県浜通り地方に位置している。発電所用地と専用港湾は、海岸線に沿った比高約45mの海食崖の前面に建設され、1973年に港湾・土地造成工事を開始し、1980年に発電所1,2号機の運転を開始した。この発電所の北約12kmには東京電力(株)福島第二原子力発電

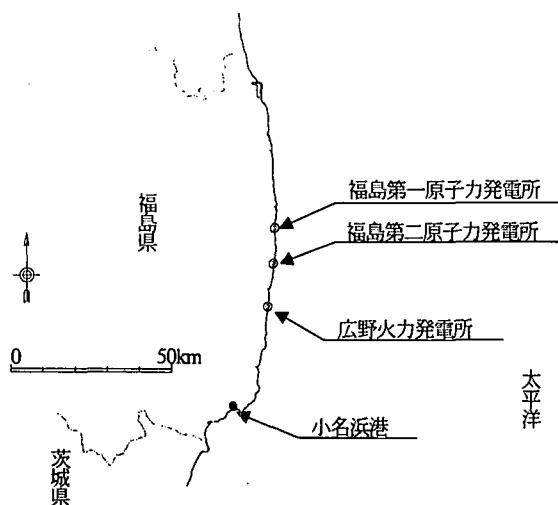


図-1 調査対象位置図

所が、さらにその北約 13km には同福島第一原子力発電所が立地している。

図-2 は 1978 年および 1986 年に実施した音波探査に基づく広野火力発電所周辺海域の海底状況で、図中の網掛け部分は海底に岩が露出している露岩域である。これによれば、当該海域の福島第二原子力発電所から井出川河口前面までの海域と広野火力発電所南側の海域は沖合まで露岩域が広がっており、この範囲の海底地形変化はほとんどないものと推察される。一方、井出川河口前面から広野火力発電所までの海域は、随所に露岩域があるものの、全体としては 2.0m 前後の堆積層に覆われている。

図-3 は広野火力発電所専用港湾の現在の港湾レイアウトである。当該港湾は、汀線際の沿岸距離約 1.2km、岸沖距離約 0.3~0.8km の埋立地が発電所用地で、南側用地の前面が 5000DWT 級のタンカーが入港する専用港湾となっている。専用港湾を取り囲む南防波堤は北方に港口を向け、防波堤先端水深は約-10.0m であり、港内の航路・泊地部の水深も浚渫によって約-10.0m（余掘を考慮して約-11.0m）としている。

図-4 は広野火力発電所専用港湾の建設過程を示したものである。防波堤・護岸の建設工事は 1974 年より始ま

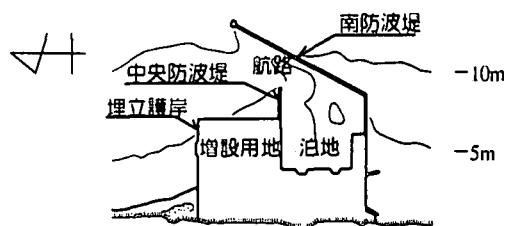


図-3 広野火力発電所港湾レイアウト

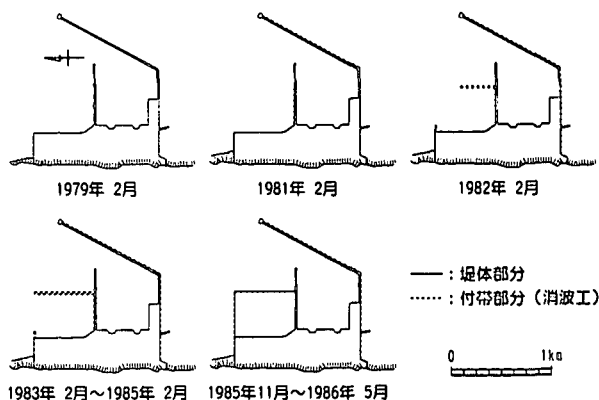


図-4 広野火力発電所専用港湾の建設過程

り、1978 年に泊地の浚渫工事（水深-9.0m に増深）、1979 年に防波堤、埋立護岸工事が完了し、発電所専用港湾の初期形状が完成した。その後、発電所増設のための新たな土地造成として、1981 年~1985 年に専用港湾北側増設用地の防波堤、埋立護岸工事、1987 年~1988 年に航路・泊地の浚渫工事（水深-9.0m から-11.0m に増深）を行い、現在の港湾形状となった。

3. 調査地域の等深線図の比較

調査地域では、1981 年以降毎年 4 回、モニタリングのための深浅測量を実施している。しかし、1981 年には広野火力発電所専用港湾の初期の防波堤・埋立護岸がほぼ完成しており、防波堤建設に伴う海浜変形を調べるためには、防波堤建設以前と建設後の深浅測量結果を比較す

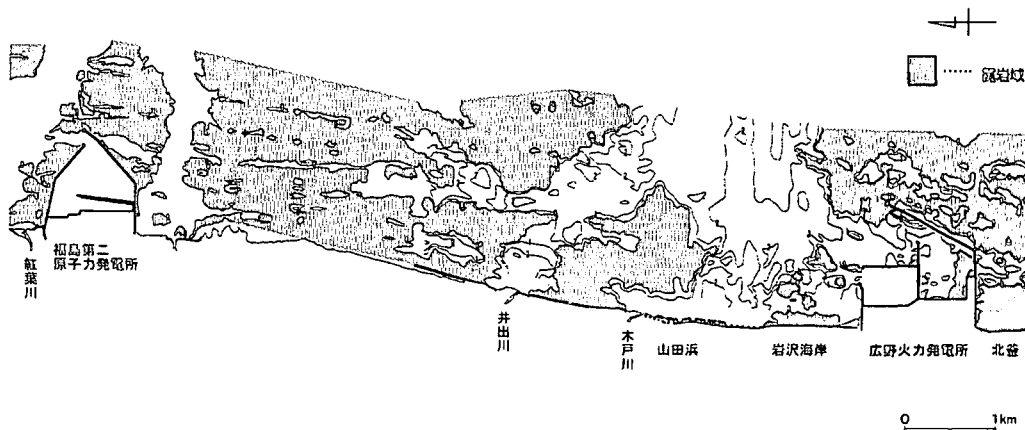


図-2 調査対象海域の海底状況

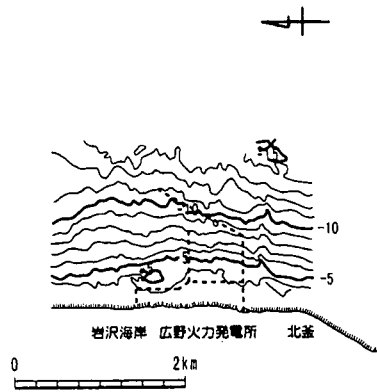


図-5 調査地域の等深線図 (1972 年)

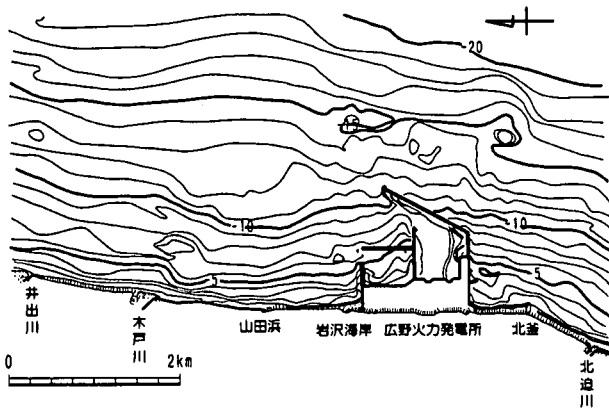


図-6 調査地域の等深線図 (1983 年)

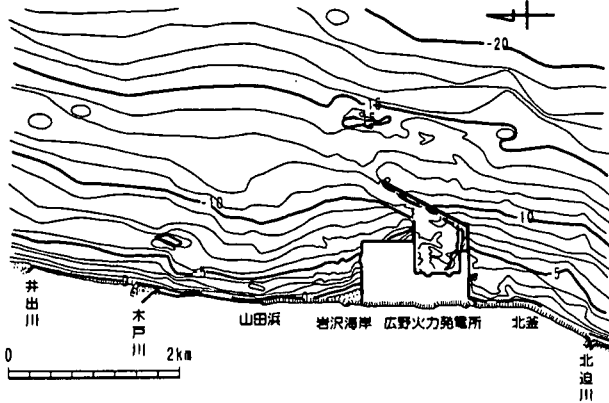


図-7 調査地域の等深線図 (1988 年)

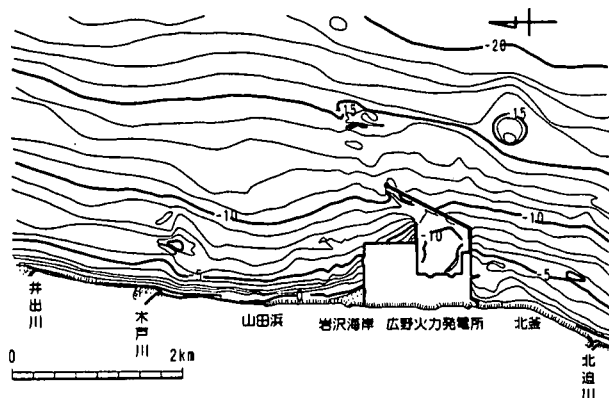


図-8 調査地域の等深線図 (1994 年)

必要がある。防波堤建設以前の深浅測量は、1972 年 5 月に 1 回のみ、発電所専用港湾建設予定地周辺の狭領域について実施している。

ここでは、防波堤建設前の 1972 年 5 月、防波堤建設後の 1983 年 8 月、増設用地埋立護岸完成直後の 1988 年 8 月、その後の 1994 年 8 月、そして最近のデータである 1997 年 8 月の 5 回の深浅測量によって得られた等深線図を整理して、その経年変化傾向を調査した。

図-5 は 1972 年 5 月の調査対象地域の等深線図である。図中の点線は、その後建設される広野火力発電所専用港湾の防波堤・護岸の概形である。これによれば、当該地点の -7.0m 以浅の海底等深線は海岸線とほぼ平行になっているが、 -7.0m ～ -10.0m の等深線は南防波堤建設予定位置の先端付近で沖側に向かって緩やかに突出している。これは、南防波堤建設予定位置の沖合に広く分布する岩礁の消波効果によるものと考えられる。

図-6 は発電所専用港湾の初期の防波堤・護岸建設後の 1983 年における等深線図である。図-5 に比べて北側および沖側の測量範囲が広がっている。この時期までに発電所専用港湾の南防波堤は完成し、汀線際には沿岸距離約 1.2km 、岸沖距離約 0.3km の発電所用地の埋立が完了した。1972 年の等深線図と比較すると、発電所専用港湾北側の -2.0m ～ -8.0m の等深線が大きく前進し、発電所北側用地と中央防波堤の間に顕著な堆積域が形成された。また、発電所用地の北側に隣接する岩沢海岸でも汀線の前進が若干見られ、小規模な砂浜が形成された。一方、発電所用地の北側約 2.0km の木戸川河口前面の水深 -7.0m 付近には図-2 で明らかなように岩礁域があり、その南側は -6.0m 以浅の等深線が凹状となっている。1972 年の等深線図にはこの範囲がなかったので断定はできないが、木戸川河口前面が侵食され、その土砂が発電所専用港湾側に移動したことが予想できる。すなわち、発電所専用港湾の建設によって北向きよりも南向きの漂砂が卓越するようになって、木戸川河口前面の岩礁域の沿岸漂砂低減効果により、漂砂の下手側が侵食されたものと推定できる。

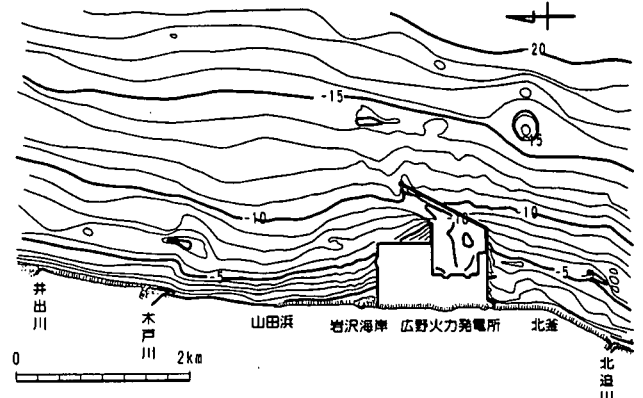


図-9 調査地域の等深線図 (1997 年)

図-7は1988年の等深線図である。この時期までに発電所専用港湾北側の用地は岸沖距離約0.8kmまで増設された。1983年の等深線図と比較すると、発電所用地の北側に隣接する岩沢海岸での等深線の前進が著しくなり、沿岸方向に約0.5kmの三角形の前浜が形成された。また、その北側の山田浜前面では、-5.0m以浅の等深線がやや後退し、海底勾配が急になったが、木戸川河口前面では著しい変化は見られなかった。これらのことより、前述の発電所北側海域での南向きの漂砂移動が継続し、侵食域がやや南側に移動したものと推定される。

図-8は増設用地の埋立護岸工事および航路・泊地の浚渫工事が終了して約6年が経過した1994年の等深線図である。1988年の等深線図と比較すると、発電所用地北側の岩沢海岸の等深線がやや前進したが、全体的には著しい変化は見られない。ここで注目されるのは、発電所南防波堤背後の航路内の地形変化である。1988年には航路は水深約-11.0mまで浚渫されたが、1994年には水深約-9.0m程度まで変化しており、港内土砂堆積が進行している。

図-9は最近の1997年の等深線図である。発電所用地北側の岩沢海岸、その北側の山田浜前面、木戸川河口前面の等深線は1988年および1994年の等深線とほぼ同じ

傾向を示し、この周辺の海底地形変化はおおむね終息したものと考えられる。

以上のように、広野火力発電所北側海域での海底地形変化は、発電所専用港湾の建設によって南向きの漂砂が卓越するようになり、発電所用地北側の広い範囲で堆積域が広がったが、その地形変化も1988年頃までにほぼ安定状態に達したものと推察される。

4. 等深線図に基づく水深変化量の平面分布

調査地域の海底地形変化状況を定量的に把握するために、1983年～1988年と1988年～1997年の2期間の等深線図の差で表される水深の変化量を求め、その平面分布図を作成した。

図-10は1983年から1988年までの水深変化量の平面分布を示したものである。この期間に顕著な侵食が見られるのは、木戸川河口前面岩礁の南側隣接海域と山田浜前面海域である。一方、顕著な堆積が見られるのは、発電所北側の岩沢海岸前面から発電所増設用地前面までの範囲である。すなわち、南防波堤による波の遮蔽域の外側では侵食が、遮蔽域の内側では堆積が生じており、これらの地形変化が防波堤による波の遮蔽域の形成に伴っ

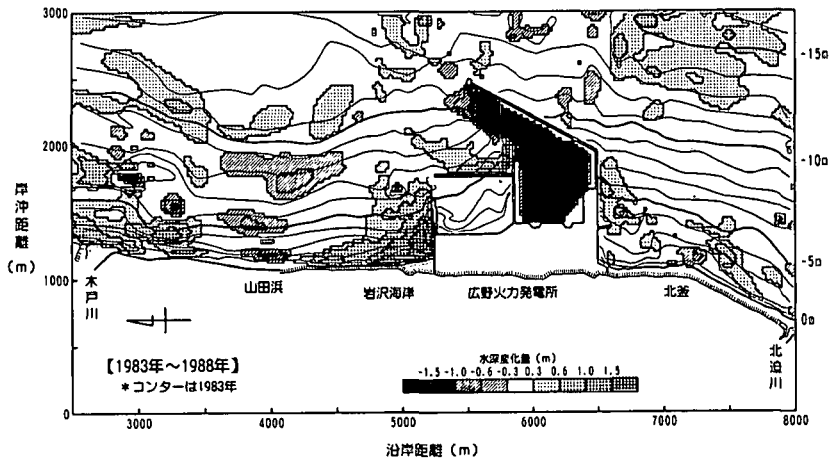


図-10 水深変化量の平面分布（1983年→1988年）

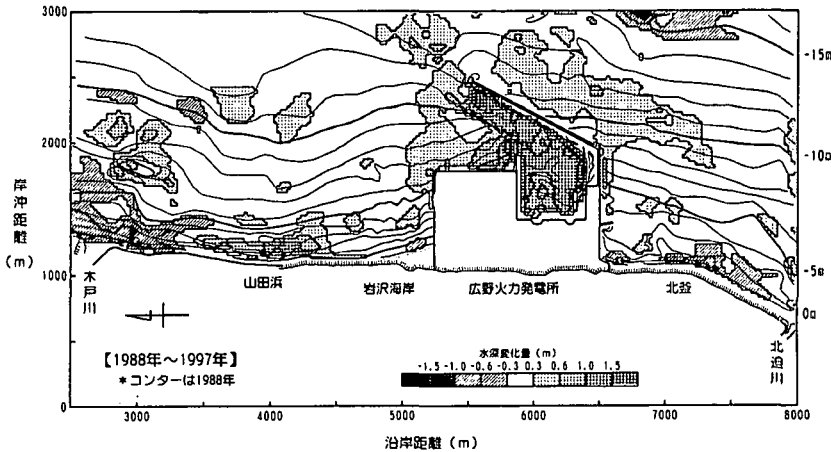


図-11 水深変化量の平面分布（1988年→1997年）

て、防波堤背後域に向かう沿岸漂砂が発達したことに起因するものと考えられる。

図-11 は1988年から1997年までの水深変化量の平面分布を示す。この期間では、図-10で見られた木戸川河口前面南側隣接海域の局所的な侵食が見られなくなり、河口前面の広い範囲で侵食傾向を示している。木戸川河口前面の岩礁域が沿岸漂砂を十分阻止するほどの規模であればこのような傾向は見られないはずであり、岩礁背後に幅広く侵食域があるのは、岩礁域による沿岸漂砂阻止効果が不完全なことを表しているものと考えられる。なお、この侵食土砂は山田浜前面の細長い堆積域に移動したものと考えられる。一方、図-10では顕著に見られた発電所北側の岩沢海岸前面での地形変化は、この期間ではほとんど見られない。

以上のように、広野火力発電所専用港湾の北側海域では、防波堤が完成した1983年以降は南向きの沿岸漂砂の影響により、発電所北側の岩沢海岸での顕著な堆積、その北側の山田浜、木戸川河口南側隣接海域での侵食が見られた。しかし、そのような地形変化も1988年頃までにおおむね終息に近づいているものと判断される。

5. 港湾建設に伴う発電所周辺海岸の土量変化

前項で述べたように、調査地域では港湾周辺において特徴的な地形変化を示した。そこで、港湾周辺を図-12に示す7つの水域ブロックに分割して、それぞれの水域ブロックの平均海底地盤高および土砂量の変化状況を検討した。

図-13 は1979年から1996年までの各水域ブロックの海底地盤高変化量と累積土量変化量を示したものである。

最も著しい変化が現れた水域ブロックは発電所専用港湾内の B1 で、次いで発電所専用港湾北側浅海部の A3 および増設用地前面の A2 である。

港湾内の B1 では、1979 年以降ほぼ単調に海底地盤高が上昇し、1986 年末までの地盤高上昇量は約 0.5m であった。その後 1987～1988 年に港内で浚渫が行われ、一挙に約 3.0m 地盤高が低下したが、1989 年以降は再び地盤

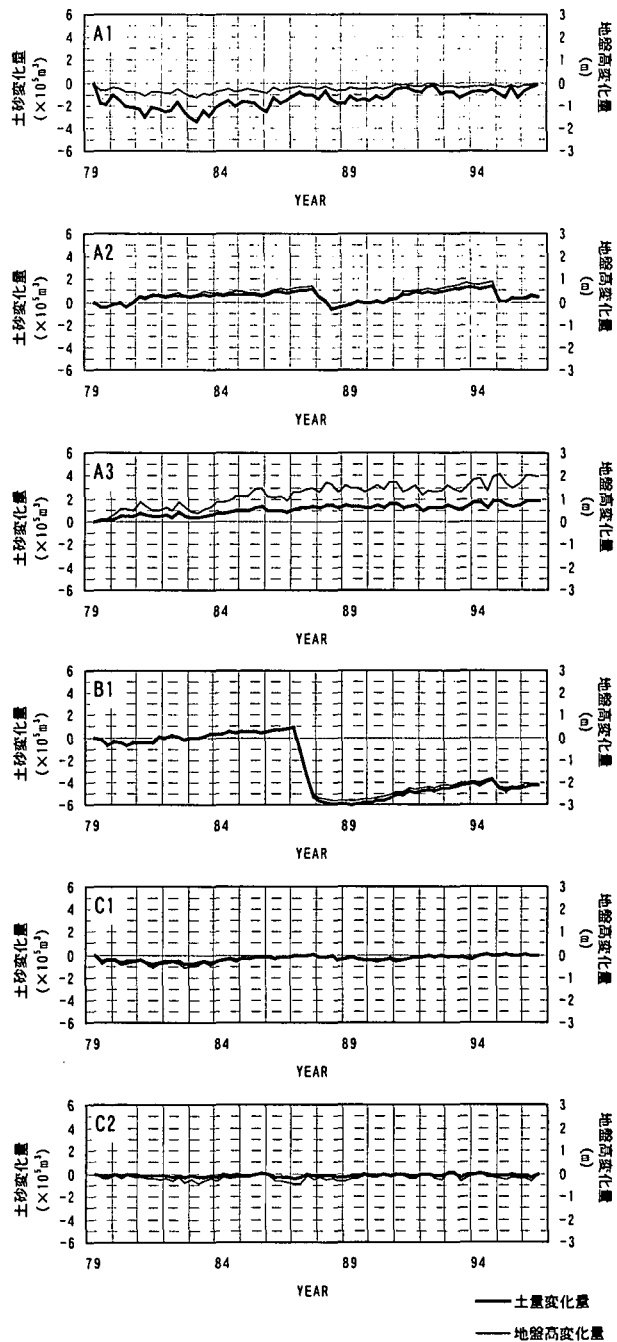


図-13 水域ブロックごとの海底地盤高と土砂量の経時変化図

高が上昇し、2 回目の維持浚渫が行われた 1995 年までの地盤高上昇量は約 1.0m であった。

発電所増設用地前面の A2 では、水域ブロック内に港内浚渫の対象エリアである航路部を含んでいるため、B1 と同様に 1988 年と 1995 年に海底地盤高が約 1.0m 低下した。ただし、航路部の浚渫時期は港内の浚渫時期より 1 年後であるため、地形変化の時期にはわずかな差がある。それ以外の時期では、地盤高はほぼ単調に上昇し、上昇量は 1979 年から 1988 年までは約 0.5m、1989 年から 1994 年までは約 1.0m である。このように、A2 での地形変化は、全体的には B1 とよく似た変化傾向を示し

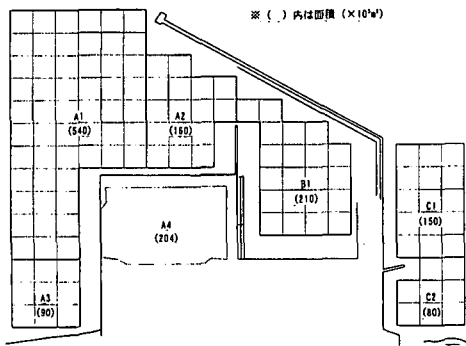


図-12 海底地盤高変化量および土量変化量の算定のための領域分割

た。

発電所専用港湾北側浅海部の A3 では、1979 年から 1988 年までは急速に海底地盤高の上昇が進んだが、その後は 1993 年頃まで地盤高の変化は少なく、ほぼ平衡状態にある。この水域ブロックでは、護岸が南向きの沿岸漂砂を阻止する限りにおいては地盤高の上昇が継続するが、堆積土砂が満たされると過剰な土砂は A1 を経て A2 へと流出するものと考えられる。A3 では、1988 年頃までにこのエリアの土砂堆積が飽和状態になったため、その後の海底地盤高の変化はほとんど見られなかったものと推察される。

なお、発電所専用港湾北側沖合部の A1 では、1979 年から 1988 年までの間に海底地盤高が 0.5m 程度の変化を示したが、全体的な地形変化はほとんど見られなかった。これは、この水域ブロックが南向きの沿岸漂砂に対して土砂の通過エリアにあたるためと考えられ、短期的には多少の地盤高の変化があるものの、長期的には安定しているものと推察される。

また、発電所専用港湾南側の C1 および C2 では、1979 年から 1996 年までの約 18 年間でほとんど地盤高の変化は見られなかった。これは発電所専用港湾北側の地形変化が南側には影響を及ぼしていないことを表している。

6. 沿岸漂砂量の算定

図-14 は、図-12 に示した水域ブロックのうち顕著な地形変化を示した A2, A3, A4, B1 の 4 ブロックの合計の海底地盤高と土砂量の経年変化を示したものである。これらの水域ブロックでの土量変化量は、1979～1986 年の 7 年間で $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ の増加、1989～1994 年の 6 年間でも $60 \times 10^4 \text{ m}^3$ の増加が見られた。年間の平均堆積土量は、それぞれの時期で約 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、約 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ である。

宇多（1997）²⁾は、波による地形変化の限界水深 h_c と沿岸漂砂量の絶対値 $|Q|$ の間には次式の関係が成立することを示している。

$$|Q| = 780 h_c^{5/2} \quad (1)$$

当該調査地域では、前述の図-5～9において南防波堤周辺における等深線の前進・後退が水深 -8.0m 付近まで顕著であることから、移動限界水深は $h_c = 8.0\text{m}$ であると考えられる。この値を式(1)に代入すると、沿岸漂砂量は $|Q| = 14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。この推定値は、上記の 2 時期の土量変化量から求められた平均堆積土量、すなわち沿岸漂砂量の約 $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と比較すると、約 39% 過少となっている。これは当該調査地域が露岩域を多く持つ海域であるためと考えられる。

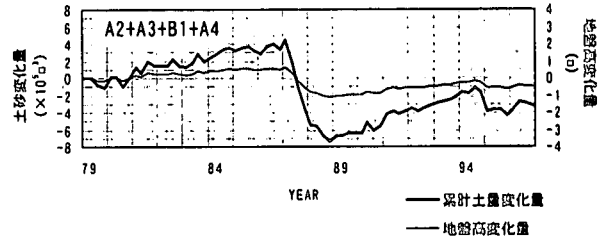


図-14 港湾周辺の水域ブロックにおける
海底地盤高と土砂量の経時変化図

7. まとめ

広野火力発電所北側海域において継続的に実施してきたモニタリング調査結果を分析することにより、以下のことが明らかになった。

- ① 発電所北側に隣接する岩沢海岸は、発電所南防波堤による波の遮蔽域となっているため、1983 年以降前浜が急速に前進してきたが、現在の発電所専用港湾がほぼ完成した 1988 年以降は、地形変化がおおむね平衡状態になった。
- ② 1983 年から 1988 年に見られた発電所北側海域の岩沢海岸での堆積域、ならびに山田浜前面や木戸川河口前面岩礁南側で見られた侵食域は、1988 年以降は見られなくなった。
- ③ 1988 年以降の地形変化は発電所専用港湾周辺海域では顕著には見られなくなったが、専用港湾内の航路・泊地では緩やかな堆積傾向が継続している。
- ④ 発電所専用港湾周辺海域での土量変化量から推定した沿岸漂砂量は、宇多ら（1997）²⁾が提案した略算式による推定値に比べるとかなり少ない。これは、当該海域が露岩域の多い海域で潜在的な漂砂能力が小さいためと考えられる。

以上のように、調査対象海域での海浜変形は、発電所専用港湾建設後の数年間は見られたが、1988 年頃以降はおおむね安定した状況になっているものと推察される。

参考文献

- 1) 司代明・川村哲也・田中正博・大熊義夫・宇多高明：茨城県北部大津漁港～高戸海岸における広域海浜変形変化の現地観測，海岸工学論文集，第 44 巻，pp.656-660，1997。
- 2) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，442p.，1997。