

露岩域と砂層域の混在する海域への 等深線変化モデルの適用性に関する一考察

STUDY ON APPLICATION OF CONTOUR LINE CHANGE MODEL
TO SEA AREA WITH EXPOSED ROCK AND SAND LAYER

阿部光信¹・佐々木政秀²・石井敏雅³・
安田勝則⁴・小池雄一郎⁵・宇多高明⁶

Mitsunobu ABE, Masahide SASAKI, Toshimasa ISHII,
Katsunori YASUDA, Yu-ichiro KOIKE and Takaaki UDA

¹正会員 東電設計(株)第二土木本部港湾・海岸部 (〒110-0015 東京都台東区東上野三丁目3-3)

²正会員 修(工) 東電設計(株)第二土木本部港湾・海岸部 (同上)

³正会員 博(工) 東京電力(株)電力技術研究所土木グループ (〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

⁴正会員 東京電力(株)電力技術研究所土木グループ (同上)

⁵正会員 (前)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)
(現・東京電力株式会社建設部海外事業グループ)

⁶正会員 工博 国土交通省土木研究所河川部長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

An analysis of beach deformation based on the long-term monitoring data at the Hirono coast in Fukushima Prefecture was carried out in order to consider measures against beach erosion and siltation in a port. The contour line change model was extended to predict topographic changes in the sea area with exposed rocks. The model was improved by considering spatial change in the depth distribution of longshore sediment transport rate based on the field observation.

Key Words : *Topographic change, contour line change model, longshore sediment transport rate, rock exposed bed*

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、過去には風化や波浪による侵食によって多量の土砂を周辺海岸へ供給してきたが、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て侵食防止が図られたために、海岸への土砂供給量は大きく減少している。これらの海岸の前面海域は、露岩域と砂層域が混在した複雑な海底地形を呈しており、砂層域の発達した砂浜海岸に比べると潜在的な漂砂能力は少ないものの、浅海域では比較的活発な漂砂移動が見られる^{1) 2) 3)}。

この地域には専用の港湾施設を有する火力・原子力発電所が数多く建設されている。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。また、これらの専用港湾周辺では海浜変形が

起きている場所もあるが、それらの因果関係は十分には解明されていない。このような港内堆砂、海浜変形のそれぞれについて有効な対策を立案するには、深浅測量や波浪調査などの長期モニタリングによる海浜変形の実態の把握と、それらの現地状況を踏まえた海浜変形シミュレーションによる原因解明が重要である。

一方、海域での平面的な地形変化を予測する海浜変形シミュレーションとしては、汀線変化モデル、等深線変化モデル、3次元海浜変形モデルなどがある。これらのうち、等深線変化モデルは、比較的単純なモデルではあるが沿岸漂砂を水深方向に配分することによって平面的な地形変化も計算でき、広領域かつ長期の地形変化を予測するのに有効な手法である。このモデルについては、これまで自然海岸や突堤、護岸等の海岸構造物周辺の海浜変形に対して検討が行われてきた⁴⁾。しかし、既往の検討では砂層域の発達した砂浜海岸を対象としており、露岩域と砂層域が混在した複雑な海域の海浜変形に対し

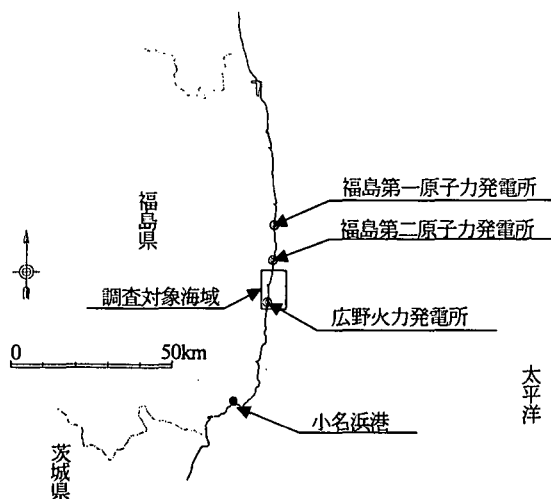


図-1 調査対象位置図

ての適用性は確認されていない。

本研究では、露岩域と砂層域が混在する東京電力(株)広野火力発電所（以降記載のない“発電所”は広野火力発電所をさす）の北側海域をモデル調査地域として、長期間の深浅測量データによる海底地形の平面変化、縦断変化の詳細分析を行った。さらに、その分析結果を踏まえて等深線変化モデルによる現地再現計算を実施し、露岩域が発達した海域での海浜変形予測手法の適用方法と再現性を明らかにする。

2. 調査地域の概況

調査対象海域は、図-1 に示す太平洋に東面した福島県浜通り地方の広野火力発電所の北側海域である。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から福島第二原子力発電所までの海底状況で、図中の網掛け部分は海底に岩が露出してい

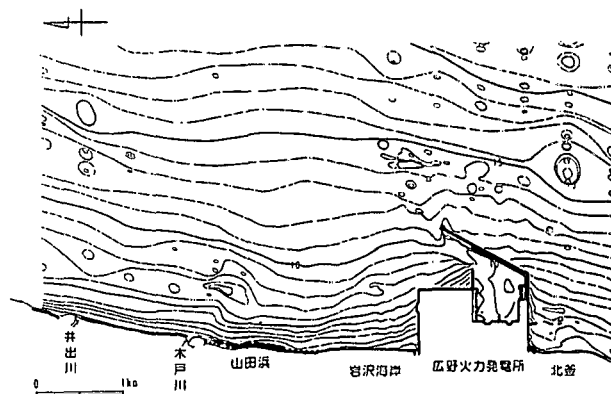


図-3 深浅測量に基づく海底等深線図

る露岩域である³⁾。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、一部に露岩域があるものの、全体としては2m前後の堆積砂層に覆われている²⁾。

図-3は1997年に実施した深浅測量に基づく広野火力発電所から井出川河口までの深浅図である。この海域は露岩域と砂層域が混在しているが、岩礁が発達している木戸川河口前面でやや複雑な海底地形を呈している以外は、海底地形は1/50~1/100の一樣勾配の直線状平行等深線海岸となっている。なお、発電所用地は、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である。専用港湾を取り囲む防波堤は北方に港口を向け、防波堤先端水深は約10mであり、港内の航路・泊地部の水深も浚渫によって約10mとしている。

図-4は1983年から1989年までの7年間にわたり発電所防波堤の先端地点（図-2、A点）で実施した波浪観測に基づく波向別有義波高出現頻度である。これによれば、当該海域での有義波高は0.5~1.0mの出現頻度が高く、1.5m以下の出現率は約80%になっている。また、最多出現波向がE、次いでESEとなっており、この2波向の出現率で約70%を占める。

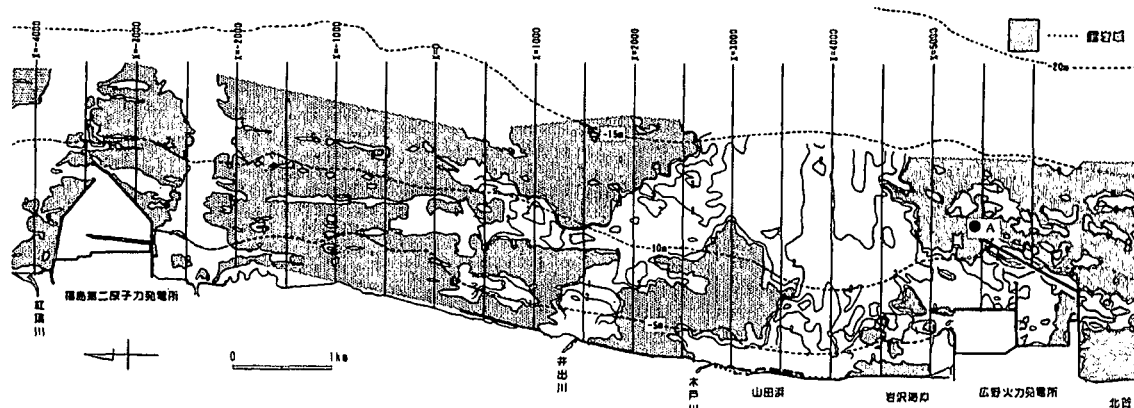


図-2 調査対象海域の海底状況（基盤等深線図）

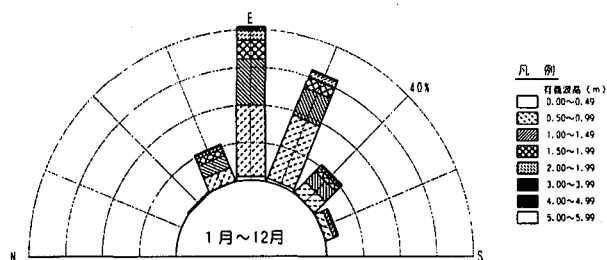


図-4 波向別有義波高出現頻度

3. 調査海域の海底地形変化特性

本調査対象海域では、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。

図-5は発電所護岸工事がほぼ完了した1983年8月と1988年8月の深浅測量による等深線を重ね書きしたものである。図中の実線は1983年の等深線、点線は1988年の等深線で、同じコンターの位置の差が5年間の地形変化を示し、斜線部が侵食域、網掛け部が堆積域に相当する。

これによれば、発電所北側に隣接した岩沢海岸で顕著な堆積が見られ、-5mまでの等深線が沿岸距離約500mにわたって50~100m程度前進している。岩沢海岸北側

の山田浜では、-9mまでの範囲で侵食が見られ、さらにその北側の木戸川河口から井出川河口までの範囲では顕著な堆積が見られる。以上のように、この期間の海浜変形は、露岩域が混在して潜在的な漂砂能力が小さい海域であるにもかかわらず比較的顕著であり、これらの海底地形は発電所専用港湾の建設によるものと推察される。

図-6は同様に1983年8月と1997年8月の深浅測量結果を重ね書きしたもので14年間の地形変化を示している。これによれば、岩沢海岸での顕著な堆積および山田浜での侵食については図-5の1988年8月までの地形変化と同一傾向であるが、木戸川河口前面と井出川河口前面では1988年8月までの地形変化と異なり、わずかに侵食傾向を示した。また、発電所港湾北側では、水深がやや大きい-10m付近の海域でも地形変化が見られた。

木戸川河口から井出川河口までの範囲の各年の地形変化を詳細に分析すると、1988年8月の地形変化のみが堆積傾向を示しており、図-5では短期的な地形変化が表れており、長期的には図-6のように侵食傾向を示すものと推察される。

図-7は調査対象海域の代表測線における1983年8月から1997年8月までの各年の深浅測量による海底縦断形を重ね書きしたもので、海底縦断形を表す線のばらつき

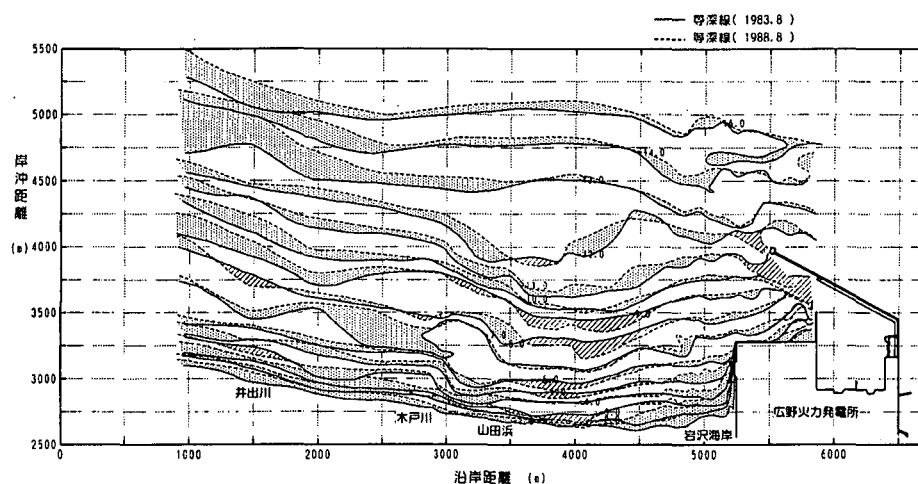


図-5 海底等深線比較図 (1983年→1988年)

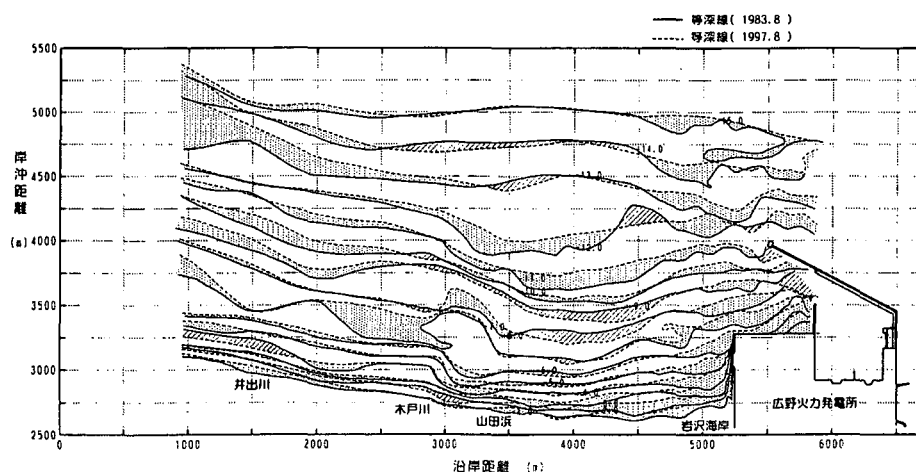


図-6 海底等深線比較図 (1983年→1997年)

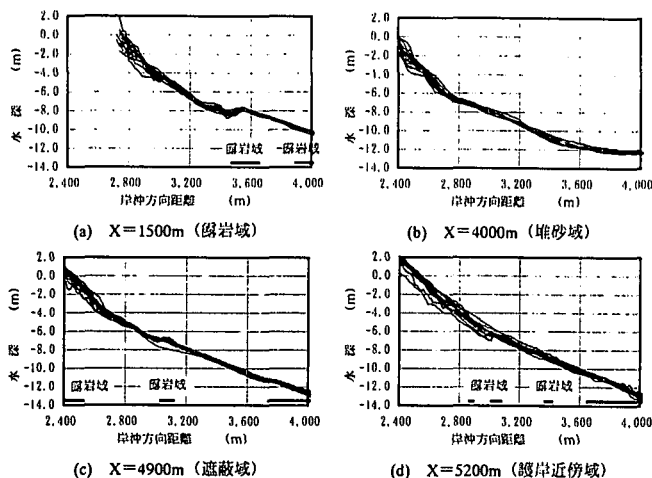


図-7 代表測線における海底縦断形

が水深変化の大きさを示している。各図の測線位置は、(a)は露岩域が混在する井出川河口前面の $X=1500\text{m}$ 、(b)は砂層域の $X=4000\text{m}$ 、(c)、(d)は発電所の防波堤による波の遮蔽の影響を受ける $X=4900\text{m}$ 、 5200m である。

これによれば、顕著な水深変化が見られる範囲は、(a)および(c)では -4m 以浅、(b)および(d)では -6m 以浅となっている。そのほかの測線についても同様の分析を行った結果、当該海域の水深変化特性は底質状況や波浪状況によって若干の違いがあることがわかった。

4. 縦断地形変化データに基づく

沿岸漂砂量の水深方向分布

調査対象海域の縦断形変化データに基づいて、等深線変化モデルに適用する沿岸漂砂量の水深方向分布について検討した。検討にあたっては、まず各測線の縦断形から1年ごとの水深変化量を算定し、その14年分の水深変化量の平均値を求めた。各測線ごとの平均水深変化量の算出では、前述の水深変化量の分析結果に基づいて当該海域を図-8に示す4ブロックに分割した。

図-9の細線はブロックごとに整理した各測線の平均水深変化量で、縦軸に水深、横軸にピーク値で無次元化した水深変化量を示している。

露岩域が混在する(a)では、 $-2\sim 3\text{m}$ で水深変化量のピークが現れ、 -6m 以深では水深変化がほとんどない。砂層域の(b)では、 -2m と -5m で水深変化量が大きくなり、水深変化が少なくなるのは -7m 以深である。発電所防波堤の遮蔽の影響を受けている(c)では、水深変化量のピークが現れているのは $-3\sim 4\text{m}$ で、 -8m 付近までの地形変化が大きくなっている。発電所護岸近傍の(d)では、水深変化量は $-4\sim 6\text{m}$ 付近にピークが現れている。

等深線変化モデルに適用する沿岸漂砂量の水深方向分布は、このような水域ブロックによる水深変化量の相違を考慮して図-9の太線のように設定した。

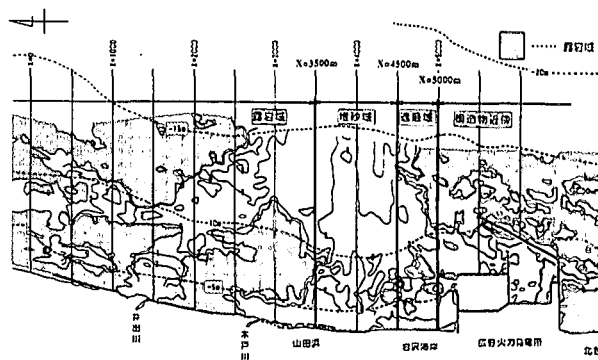


図-8 水域ブロック分割図

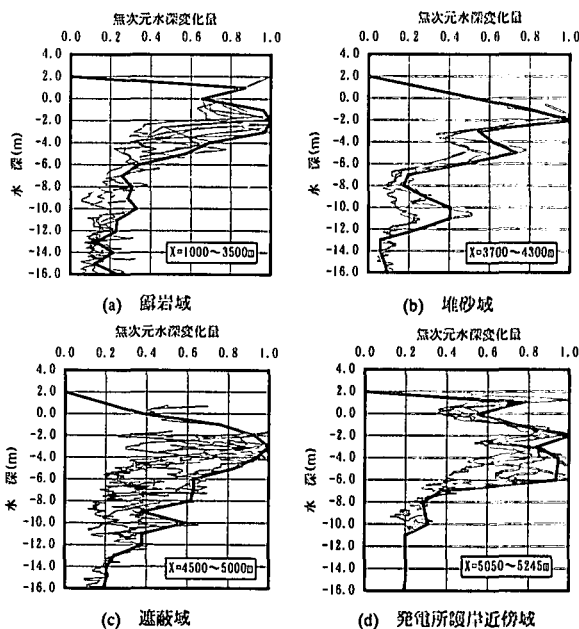


図-9 水域ブロックごとの各測線の平均水深変化量

5. 調査対象海域への等深線変化モデルの適用性の検討

等深線変化モデルを用いた調査対象海域の海底地形変化の再現計算を行った。再現期間は1983年8月～1997年8月の14年間で、波浪条件は図-4の7年間の波浪観測データに基づく季節別波向系(S系、N系)別エネルギー平均波を用いた。沿岸漂砂量については小笹・Bramptonの算定式⁹⁾によって算定し、前述のブロック別沿岸漂砂量水深方向分布にて等深線ごとに分配した。また、岩礁域の効果は、清水・池野が提案した基盤上の堆積層が限界層厚よりも薄くなった場合に沿岸漂砂量を次式により低減する方法を適用した。

$$m_k = \min(\delta_k / \delta_c, 1) \quad (1)$$

ここで、 m_k は等深線 k の沿岸漂砂量の低減率、 δ_k は等深線 k の堆積層厚、 δ_c は限界堆積層厚(ここでは $\delta_c = 0.5\text{m}$)である。

図-10は等深線変化モデルで用いた初期等深線(1983年8月)と検証等深線(1997年8月)を重ね書きした等深線変化図で、それぞれの等深線は実測データをスムー

ジグリングして設定している。また、図-11 は前項で検討した沿岸漂砂量分布を用いた等深線変化モデル(“改良モデル”と称す)によって求めた海底等深線の再現計算結果、図-12 は宇多ら⁴⁾が提案した汀線付近にピークがある

沿岸漂砂量水深方向分布を用いた等深線変化モデル(“従来モデル”と称す)による再現計算結果で、いずれのモデルでも沿岸漂砂量係数は岩沢海岸での再現性より $K_1=0.06$, $K_2/K_1=3.24$ とした。

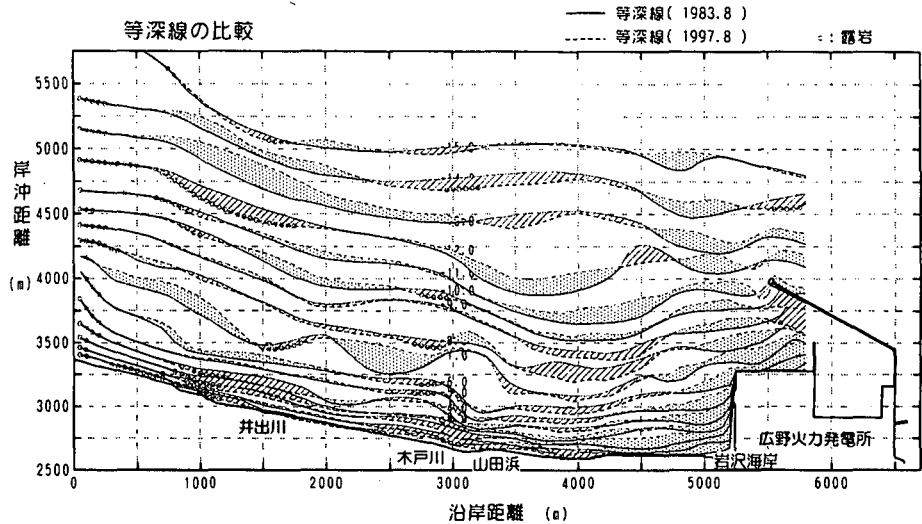


図-10 実測データに基づく等深線変化図

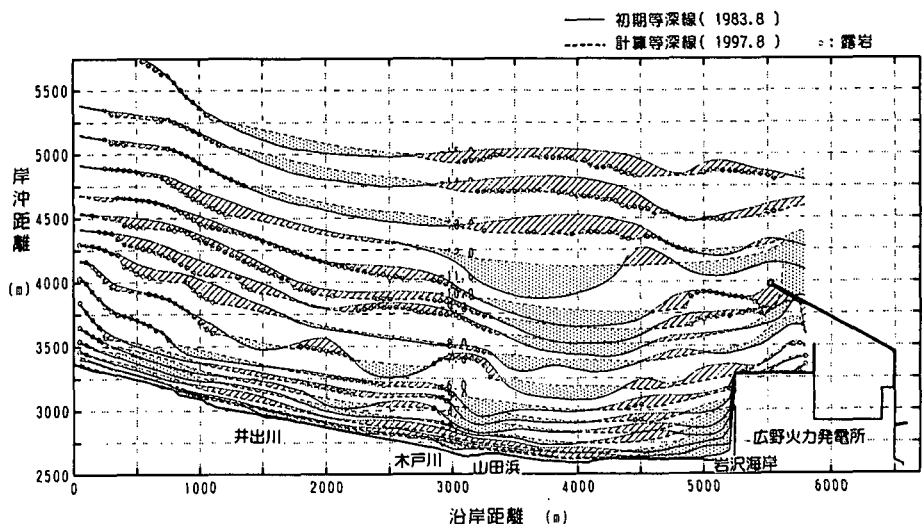


図-11 改良モデルによる等深線変化図

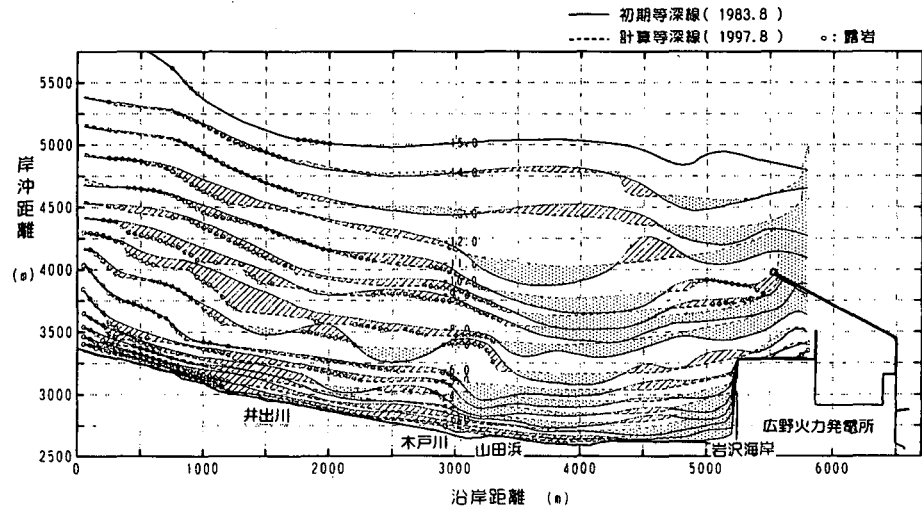


図-12 従来モデルによる等深線変化図

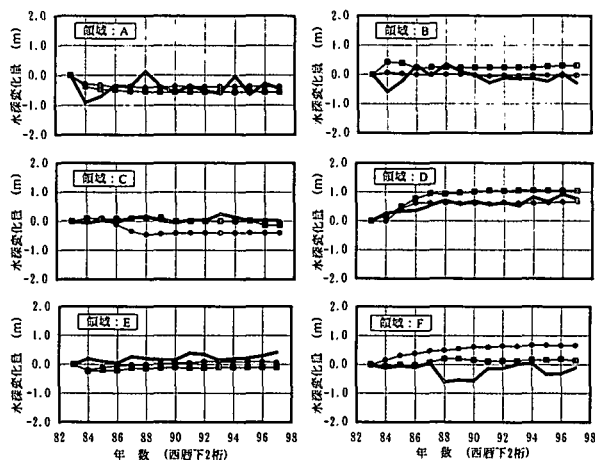
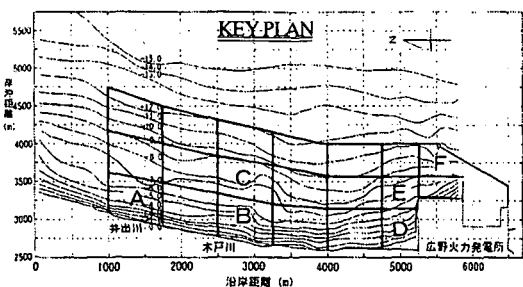


図-13 代表水域の平均水深変化量の経時変化

図-13 は井出川、木戸川河口前面、岩沢海岸前面等の代表水域での平均水深変化量の経時変化を示したもので、太実線が実測データ、■が改良モデルによる結果、●が従来モデルによる結果である。

これらによれば、汀線付近については、岩沢海岸前面での堆積、木戸川河口付近と井出川河口付近の侵食はいずれの沿岸漂砂量分布であってもおおむね再現できているが、木戸川河口と井出川河口の間の海岸では従来モデルでは堆積傾向を示しているのに対して改良モデルでは地形変化が非常に少なく、実測データに近い値を示している。また、-8~-9mの等深線に着目すると、木戸川河口から井出川河口にかけての前面海域で地形変化が少ないこと、岩沢海岸前面海域の一部で侵食傾向が見られることなどは、改良モデルにおいてのみ再現されており、水域別平均水深変化量では、水域Cや水域Fの再現性が高くなっている。

以上のことから、等深線変化モデルにおいては、沿岸漂砂量の水深方向分布を現地の状況を考慮して適切に設定することにより、海底地形変化の再現性が向上するこ

とが明らかとなり、露岩域と砂層域が混在する複雑な海域に対しても適用可能なことがわかった。

6. まとめ

露岩域と砂層域が混在する広野火力発電所の北側海域をモデル調査海域として、深浅測量データによる海底地形変化の分析と等深線変化モデルによる海浜変形解析の適用性の検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 露岩域と砂層域が混在する複雑な海域での地形変化は、場所によって水深変化特性が若干異なり、底質状況と波浪状況によって分類ができる。
- ② 長期モニタリングによる深浅測量データに基づく縦断地形変化を分析することによって、等深線変化モデルに用いる沿岸漂砂量水深方向分布を適切に設定することができる。
- ③ 露岩域と砂層域が混在する海域の地形変化は、沿岸漂砂量分布の場所的な違いを考慮した等深線変化モデルによって推定することができる。

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) 安田勝則・川村哲也・小池雄一郎・宇多高明・大熊義夫・阿部光信：海食崖前面に建設された港湾周辺の高浜変形の長期モニタリング，海洋開発論文集，第16巻，pp.565-570, 2000.
- 3) 川村哲也・安田勝則・小池雄一郎・宇多高明・樋口豊久・阿部光信・佐々木政秀：海食崖の発達する福島県広野町沖合の海底露岩域および埋積谷周辺における漂砂の観測，地形，Vol.21，pp.209-221, 2000.
- 4) 宇多高明・河野茂樹：海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発，土木学会論文集，No.539/Ⅱ-35，pp.121-139, 1996.
- 5) 小笹博昭・A.H.Brampton：護岸のある海浜の汀線変化数値計算，港湾技術研究所報告，第18巻，第4号，pp.77-104, 1979.