

後浜の地下水位変動と汀線変化の関係について

The Relationship between Shoreline Migration and Groundwater Level Fluctuation at Backshore

竹内 麻衣子¹・青木 伸一²・加藤 茂³・浪花 まなみ⁴

Maiko TAKEUCHI, Shin-ichi AOKI, Shigeru KATO and Manami NANIWA

In this study, the characteristics of groundwater level fluctuation and relationship between the shoreline migration and the variation of groundwater level were investigated for two different beaches facing the Pacific Ocean: Omotehama and Hazaki coasts, where responses of the shoreline to the tide level and wave heights show different characteristics. The tide level fluctuation influences greatly on the groundwater variation on the Omotehama coast, whereas the rainfall has dominant impacts at the Hazaki coast. On the Omotehama coast, it reveals that the shoreline tends to retreat when the difference between groundwater level and tidal level exceeds 1.3m.

1. はじめに

近年の海岸管理には、防災や国土保全だけでなく、海岸が本来持つ自然環境の保全や海岸利用の観点から、砂浜を適切に維持・管理することが強く求められている。砂浜海岸の保全計画においては、まず、確保すべき適切な砂浜幅あるいは管理目標とする汀線（管理汀線）が検討される場合が多いが、そのためには、汀線の短期的な変動特性を外力と関連づけて明らかにしておくことが重要である。汀線の短期変動については、これまでに多くの海岸を対象に、現地データに基づく種々の特性解析が行われているが（砂村, 1980; 加藤ら, 1987）、汀線変動に影響を及ぼす主要因が、対象とする海岸によって異なっている場合が見られる。たとえば、本研究で比較対象とした茨城県波崎海岸においては、汀線変動は波浪の影響を強く受け、入射波のエネルギーによってほぼ説明できるとされている（加藤ら, 1987）のに対し、愛知県渥美半島の表浜海岸においては、むしろ平均潮位の影響を強く受け、数10cm程度の異常潮位に対しても大きな汀線後退が生じることもわかっている（青木・小畑, 2000; 加藤ら, 2006）。両海岸はともに太平洋に面しており、波高や周期などに大きな違いはないが、海岸の後背地の地形が大きく異なっており、その影響が考えられる。

一方、地下水位の汀線変化への影響については、海浜のサブサンドフィルター工法（柳嶋ら, 1991, 1995）やBMS工法（西村ら, 1999）など海浜安定化工法に関連

してその影響が調べられた例があり、地下水位の変化と汀線の前進・後退は密接な関係があることが明らかとなっている。著者らの知る限り、自然海浜の汀線変化と地下水位の関係について研究された例はほとんどないと思われるが、汀線変動を考える上で、陸側から作用する地下水の影響と海側からの潮汐、波浪の影響との相対的な重要性を明らかにしておくことは重要であろう。

本研究は、前述の表浜海岸と波崎海岸を対象とし、後背地の地形の差異による地下水位の変動特性の違いに着目し、地下水位変動と汀線変化の関係について考察したものである。

2. 対象海岸の短期汀線変動の特性

愛知県渥美半島太平洋岸の直線的な砂浜海岸に位置する表浜海岸は、長く続く海食崖の前面に砂浜が形成されている（写真-1）。今回解析対象とした海岸（豊橋市小松原町）は、汀線から200mほど陸側では標高40m程度に達する海食崖が存在する海岸である（図-1）。地下水データは、汀線から岸側約65mの位置に設置した井戸により取得した。井戸の周囲には植生帯が存在し、小丘になっている。汀線から後浜までは約1/13の勾配であり、波崎海岸に比較して急勾配となっている。また、前浜と



写真-1 表浜海岸の状況

- | | | |
|---|----------|----------------------------|
| 1 | 工修 | (株)ニュージェック 港湾・海岸グループ |
| 2 | 正会員 工博 | 豊橋技術科学大学教授 建設工学系 |
| 3 | 正会員 博(工) | 豊橋技術科学大学准教授 工学教育国際協力研究センター |
| 4 | | 豊橋技術科学大学元学生 建設工学課程 |

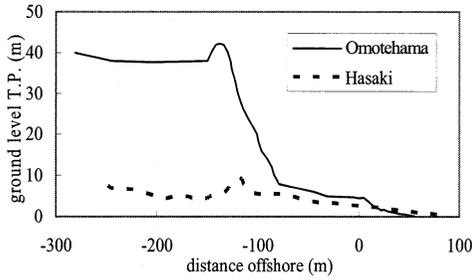


図-1 両海岸の断面図

後浜の境界付近(井戸から約22m 沖側)に消波ブロックが設置されており、平穏時は砂が消波ブロックを覆い隠すが、高波浪時や台風接近時には露出する状況にある。

一方、波崎海岸は砂丘と松の防風林が20kmに渡って続く遠浅の海岸である。表浜海岸とは異なり、後背地の

標高は5~10mであり、沖積層により成る低地が続いている。D.L.±0mの位置より約65mに位置する井戸は、高波浪時や台風接近時に波浪の影響が及ぶが、平穏時には波の遡上は無く、前浜勾配は、1/30ほどの緩やかな勾配であり、汀線の変動幅も広い海岸である。なお、波崎海岸におけるデータは、港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設(HORS)で取得されたデータを用いた。

3. 地下水位変動の特性

(1) 観測の概要と観測結果

本研究の解析には、両海岸において計測された砂浜断面測量データ、地下水位データ、および海象・気象データを用いた。表浜海岸については、2006年10月4日から2008年3月31日の約1年半、波崎海岸については、1997年1月1日から1997年12月31日の1年間のデータを使用した。表浜海岸の海象・気象データは、舞阪験潮所の潮位、浜

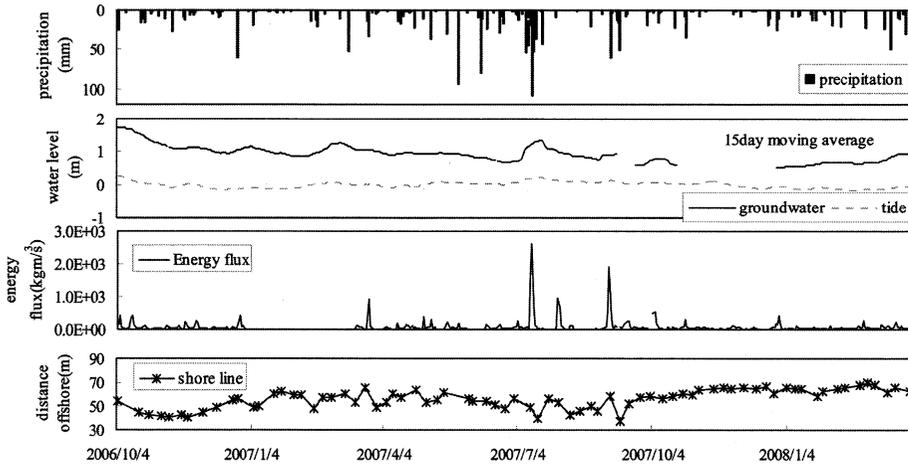


図-2 表浜海岸での各観測結果の時系列

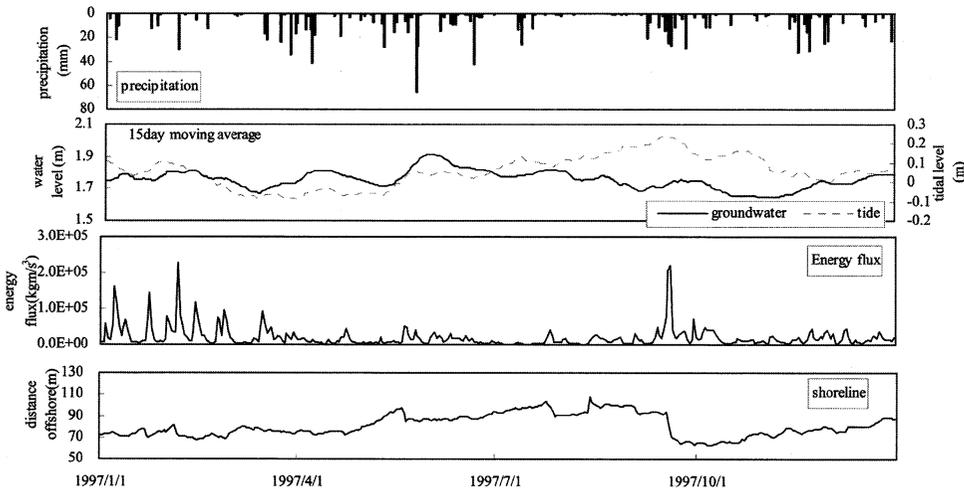


図-3 波崎海岸での各観測結果の時系列

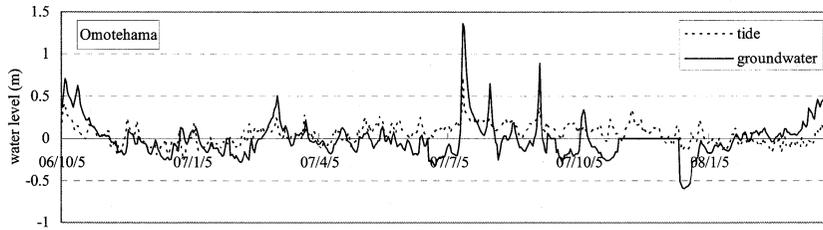


図-4 表浜海岸における日平均の潮位 (tide) と地下水位 (groundwater) の時系列

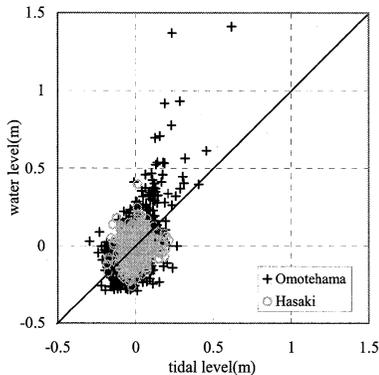


図-5 潮位と地下水位の関係

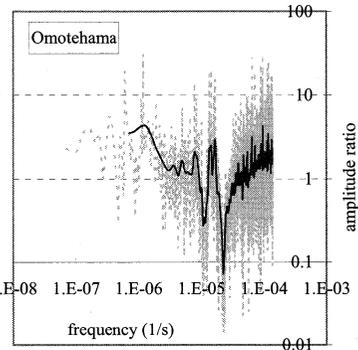


図-6 潮位から地下水位の伝達率のスペクトル (表浜)

松測候所の降雨量と天竜川沖水深40mで毎偶数時に観測されている波浪データ(静岡県)を用いた。波崎海岸については、銚子漁港での潮位、降雨量、および鹿島港沖水深24mで観測されたナウファス(全国港湾海洋波浪情報網)の毎偶数時に観測された波浪データを用いた。波浪データについては、観測データ(有義波高、有義波周期)の1日平均値を代表値とした。潮位データに関しては、1日平均潮位(平均水位)を用いた。

表浜海岸における汀線変化は、豊橋技術科学大学で1999年以来継続的に実施している1週間ごとの海浜断面データを利用した。断面測量はできるだけ干潮時に汀線付近までを対象に行うようにしているが、毎回平均海面位置まで測量することは困難であるので、汀線位置は朔望平均満潮位(以下H.W.L.:T.P.+0.88m)と砂浜表面の交点として定義した。一方、波崎海岸では、砂浜断面は休日を除く毎日取得されており、汀線位置は表浜海岸と同様にH.W.L.(T.P.+0.687m)と砂浜表面の交点としている。ただし、休日のデータは線形補間を行って処理した。

地下水位の観測については、表浜海岸では井戸にCTD(電気伝導度、水温、水圧)と気圧計を設置し、大気圧補正を行って地下水位を連続観測しているが、解析では5分毎の平均値を使用した。波崎海岸で観測された地下水位においても大気圧補正を行い、毎正時をはさむ20分間の平均値を使用した。

図-2および図-3は、それぞれ表浜海岸および波崎海岸における降雨量、15日間移動平均した地下水位と潮位、波浪エネルギーフラックス、汀線位置を示したものである。これより、地下水位については、両海岸ともに後浜の地下水位が潮位よりも常に高くなっており、短期的には地下水位は降雨や潮位の影響を受けて変動していることがわかる。汀線位置については、いずれの海岸においても夏から秋の台風時期に汀線後退が見られる。表浜海岸では、2006年10月以降の汀線後退傾向は11月には前進傾向へと転換し、2007年1月から5月までは、前進後退を繰り返しながら、全体として緩やかな前進傾向にある。2007年6月に入ると汀線が再び後退傾向に転換し、その後一時的な台風の影響(7月14日および8月6日付近)を受けながら徐々に後退し、10月から3月にかけては砂浜が回復している。一方、波崎海岸においては、秋の台風接近時(9月19日)に汀線が大きく後退し、その後冬から春にかけてはゆっくりと前進傾向が続き、夏に最大の浜幅に達している。

(2) 地下水位に及ぼす潮位の影響

図-2に示す表浜海岸について、15日間で移動平均した地下水位と潮位の時系列を比較すると、両者は良く似た変動傾向を示している。ただし、地下水位の方が潮位よりも変動幅が大きい点が特徴的である。また、地下水位には潮位にはない長期的なトレンド成分(全体的に緩やかな低下傾向)が見られる。図-4は、地下水のトレンド

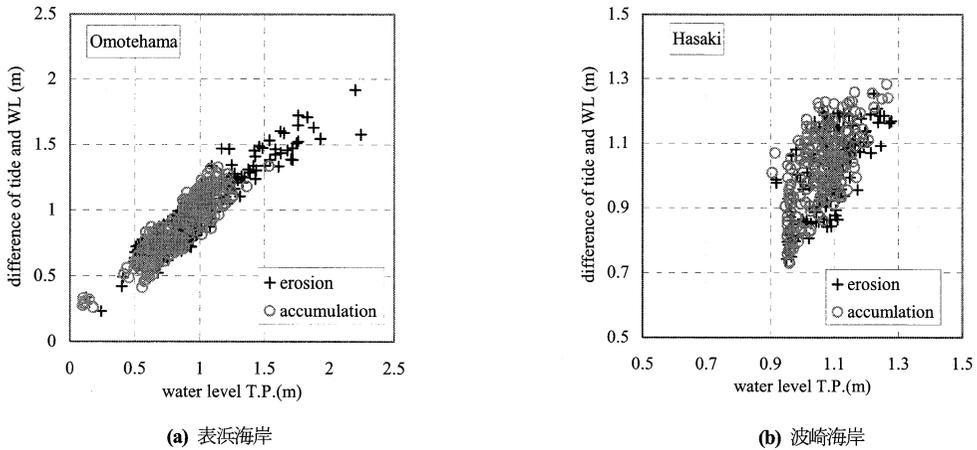


図-7 地下水位と潮位の差(沖方向圧力勾配)と地下水位の関係

成分を差し引いて求めた日平均の地下水位変動と潮位の時系列を示している。図-5は、図-4に示した日平均の潮位と地下水位の関係を、波崎海岸を含めて示したものである。これより、波崎海岸については両者の相関がほとんどないのに対し、表浜海岸では特に地下水位が高い場合に両者の相関が強く現れていることがわかる。さらに、地下水位の高い範囲で回帰直線を想定すれば、その傾きは1よりも大きくなり、地下水位の変動が潮位変動よりも大きく(増幅されて)生じていることが確認できる。

図-6は、表浜海岸のデータに対して、潮位変動と地下水位変動のスペクトル(それぞれ $S_{tide}(f)$ および $S_{WL}(f)$)から求めた変動振幅の周波数応答関数(潮位を入力、地下水位を出力とみなした場合の伝達率 $=\sqrt{S_{WL}(f)/S_{tide}(f)}$)を示したものである。潮位変動が卓越する12時間、24時間付近の周波数帯では地下水位変動への伝達率は小さいのに対して、数日から数ヶ月程度の低周波数領域では、伝達率が1よりも大きくなっており、緩やかな変動成分については、潮位変動が増幅された形で地下水位に現れていることがわかる。この原因についてはよくわからないが、同様の結果が、東播海岸の海食崖前面の養浜海岸で関口ら(2007)が行った観測でも見られている。

(3) 地下水位に及ぼす降雨および波浪の影響

1日から2週間程度の時間スケールでの地下水位の変化特性を調べると、表浜海岸においては、降雨の影響はほとんどの場合5日ほど遅れて出現し、その影響は潮位ほど大きくないことがわかった。一方波崎海岸においては、全体的に降雨量との相関が高く、降水があった直後から地下水位は反応し、その影響は数時間から数日という短期的な応答が卓越することがわかった。これは、柳嶋ら

(1993)でも報告されている。この違いは、両海岸の地形的な違いから起こるものと考えられる。すなわち、表浜海岸は写真-1に示すように砂浜の背後に海食崖を有する海岸であり、その後背地は内陸側に進むにつれて低地となっている。そのため、ある一定以上の降雨がない限り、降雨は低地側に流入し海岸の地下水位には直接影響しないことが予想される。反面、降雨がない日が継続しても低地に蓄積された地下水が海岸に定常的に流出しているものと考えられる。一方、波崎海岸においては、後背地が内陸部まで続く低地となっており、降雨に対する海岸への応答が短期間に発生すると考えられる。

なお、地下水位に対する波浪の影響については、Wave-setupを推定して関係を見たが、両海岸とも短期的な影響としてしか現れなかった。以上のように、両海岸では地下水位の変動特性およびその要因が大きく異なることがわかった。

4. 地下水位変動と汀線変化の関係

(1) 地下水位の影響に関する既往の研究

汀線変化に与える地下水位の影響については、透水層を用いた侵食対策工法に関するいくつかの研究において検討されている。サブサンドフィルター工法やBMS工法などは、砂浜の地中に排水管を設置することで、土砂移動の抑制を考えたものであるが、前浜の地下水位を低下させることで汀線の後退を抑制させる効果があることがわかっている(柳嶋ら, 1995; 西村ら, 1999; 橋詰ら, 1999)。これらの工法に対する検討では、地下水位低下により沖向きの浸透流が抑制され、汀線後退が抑制されると考えられている。これまでの結果(橋詰ら, 1999)では水位低下が汀線の前進を促すまでには至っていないものの、これらの工法において地下水は汀線変動の重要な

役割を担っており、自然海浜においても地下水位の変化と汀線変化には密接な関係があることが示唆されている。

(2) 汀線変化に及ぼす地下水位・潮位の影響

図-7は、地下水位と潮位の差（圧力勾配に相当）を地下水位に対してプロットしたものである。図中のシンボルは、対応する時期に汀線が前進する傾向にあるもの（○）と後退傾向にあるもの（+）に分類している。これより、両海岸とも地下水位と地下水位と潮位の差には高い相関性があるが、特に表浜海岸ではその傾向が明瞭である。これは、地下水位に長期的なトレンドが存在することと、潮位変動が増幅される形で地下水位の変動が現れるためである。さらに、図-7(a)に示す表浜海岸では、地下水位と潮位の差が1.3m以上となるすべてのケースで汀線が後退傾向になっており、地下水位と潮位の差が大きくなれば、汀線が後退傾向を示すことが確認できる。ただし、地下水位と潮位の差が1.3mより小さい場合には、侵食傾向と堆積傾向が混在しており、地下水位の影響が明確に表れていない。一方、図-7(b)の波崎海岸では、地下水位と潮位の差と汀線の前進・後退との関連を見いだすことができず、地下水位の影響は小さいことがわかる。

5. おわりに

本研究を実施するきっかけは、1999年に遠州灘で生じた数ヶ月間にわたる20cm～30cm程度の平均潮位の上昇（異常潮位）が表浜海岸一帯に一時的に大きな汀線後退をもたらしたことである。その後、長期間の汀線モニタリングデータを用いて汀線の変動特性を調べると、表浜海岸では波崎海岸に比べて日平均潮位の影響が大きいという特徴があることがわかった。この平均潮位の影響がどのようなメカニズムで汀線の挙動と関連しているのかは未だ明確になったわけではないが、本論文は、その1つの要因として地下水との相互影響を指摘したものである。

本研究における主な結論を以下にとりまとめる。

- (1) 地下水位の変動は、数日から数ヶ月周期の長期的な変動成分が卓越し、これは表浜海岸では平均潮位の影響を、波崎海岸では降雨の影響を強く受けていることがわかった。
- (2) 表浜海岸では、潮位の変動に比べて地下水位の変動が大きく、潮位変動に対する応答として地下水位変動を

とらえた場合、数日以上にわたる長期的な変動成分の伝達率は1を越えることがわかった。

- (3) 表浜海岸では、地下水位と潮位の差が1.3m以上となる場合には汀線が後退傾向にあることがわかり、沖向きの圧力勾配と汀線変化に関係があることが示唆された。

最後に、本研究を実施するにあたり、独立行政法人港湾空港技術研究所漂砂研究室の栗山氏、柳嶋氏にはデータ提供等多大なご協力をいただいた。また、海岸測量では豊橋技術科学大学海岸工学研究室の学生諸君の力を借りた。ここに記して謝意を表する。

本研究は科学技術振興調整費「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」（代表：青木伸一、豊橋技術科学大学）の関連研究として実施されたことをここに記します。

参考文献

- 青木伸一・小畑浩子（2000）：汀線および前浜断面の短期変動に及ぼす異常潮位の影響，海岸工学論文集，第47巻，pp.586-590
- 加藤 茂・竹内麻衣子・青木伸一・栗山善昭（2006）：判別分析を用いた定性的汀線変動予測とその予測精度に関する考察，海岸工学論文集，第53巻，pp.561-565.
- 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児（1987）：汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み，港湾技術研究所報告，第26巻第2号。
- 砂村継夫（1980）：自然海浜における汀線位置の時間変化に関する予測モデル，第27回海岸工学講演会論文集，pp.255-259.
- 関口秀雄・東 良慶・クリヨサンボド（2007）：養浜海岸域における不圧地下水の動態観測とその意義，海岸工学論文集，第54巻，pp.721-725.
- 西村晋・宇多高明・国栖広志（1999）：南九十九里浜 BMS 工法の侵食防止効果と地下水特性の現地調査，海岸工学論文集，第46巻，pp.691-695.
- 橋詰正広・鈴木和重・水谷俊孝・金子典由・歌川紀之・西村仁嗣（1999）：改良型ウェルポイントによる海浜安定化の現地実験，海岸工学論文集，第46巻，pp.701-705.
- 宮武誠・藤間聡・川森晃（2001）：前浜浸透流が汀線浸食現象に及ぼす影響について，海岸工学論文集，第48巻，pp.151-155.
- 柳嶋慎一・加藤一正・片山忠・磯上知良・村上裕幸（1991）：地下水位低下の前浜地形変化に及ぼす影響，海岸工学論文集，第38巻，pp.266-270.
- 柳嶋慎一・加藤一正・福田真人（1993）：現地海岸における前浜地下水位の変動特性，海岸工学論文集，第40巻，pp.411-415.
- 柳嶋慎一・加藤一正・天坂勇治・名城 整・望月徳雄（1995）：現地海岸に埋設した透水層の排水流量と前浜地形変化，海岸工学論文集，第42巻，pp.726-730.