

堆砂と清浄海水の取水面から見た茅ヶ崎海岸のBMSの検討

宇多高明*・西村 晋**・高橋 巖***
 平野浩一***・渡辺 敏****

1. まえがき

神奈川県茅ヶ崎地先海岸(以下、茅ヶ崎海岸と呼ぶ)では、Beach Management System (BMS)の現地実験が進められてきている。実験の詳細は平野ら(1997)に示されているが、汀線近傍の地下約1.5~2.0mに集水管を設置し、それによって集水管中を自然流下した地下水を吸引して排水するものであり、海浜の地下水位の低下を通じて海浜への堆砂を促進することを目的としている。

平野ら(1997)では、現地実験に基づいて、波による海浜地形変動の下で集水管が安定性を保つのに必要なかぶり厚が約1.5m(必要厚1.3m+余裕厚0.2m)であることを明らかにした。その後、西村ら(1998;前報と呼ぶ)では、平野ら(1997)に基づき、平均海浜地盤高より約1.5m下方(T.P.0m~-0.5m)に新しく設置した集水管で連続的な集水を行い、これによって海浜の地下水位が間違いなく低下すること、そして、この地下水位の低下は、波の遡上高の絶対標高がT.P.約2m以下のときに明瞭に現れることを明らかにした。このように、遡上高の絶対標高がT.P.約2m以下であるとき、地下水位の低下が確認されることから、従来から言われているBMSの堆砂効果はこの条件の下で発揮されると考えられるが、茅ヶ崎海岸の現地実験ではこの効果について実測に基づいた確認は行われていない。

そこで、本研究は前報と同様な集水施設において、詳細な海浜地形測量を実施することにより、BMSの堆砂効果を確認することにした。また、取水された海水の有効利用を考えて水質分析も行った。

2. 茅ヶ崎海岸のBMSの概要と測線配置

神奈川県茅ヶ崎海岸は、図-1に示すように相模湾に面し、相模川河口左岸からヘッドランドの東約1kmまでに延びる約4.8kmの砂浜海岸である。観測区域は、図-2に示すように幅約20m、勾配1/10、中央粒径0.55

mmの細砂からなる前浜であり、東西を突堤(東側:4号,西側:3号)によって区分された延長約200mの海浜である。BMSの集水管は東端の4号突堤から10m離れた位置から西向きに85mの延長を有している。BMSの集水施設は前報と全く同様であって、海浜地下に埋設されたものをそのまま用いている。また、図-2には海浜縦断形の観測測線A~Hも併せて示す。測線間隔は25mであり、集水管は測線A~D内に設置しているため、この区間をBMS設置区間と呼び、一方、D~Hは集水管を設置していないため、非設置区間と呼ぶ。また、BMS集水管の法線の延長線上で、測線A~Hと交差する点から約2m陸側に離れた点に、25m間隔で塩化ビニール製の長さ2.5mの標尺を海浜に打ち込み、これを目印としてレベルによって沿岸方向に5m間隔で海浜地盤高を測定した。したがって、これらの測線での海浜地盤高の相違を検討することによってBMSの効果検討が可能であ

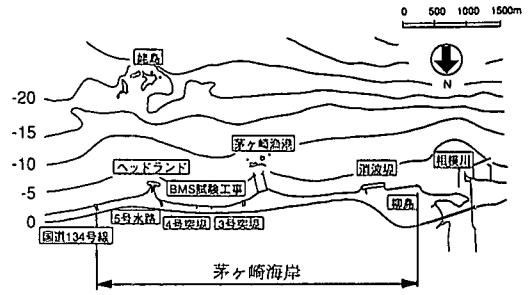


図-1 神奈川県茅ヶ崎海岸の位置

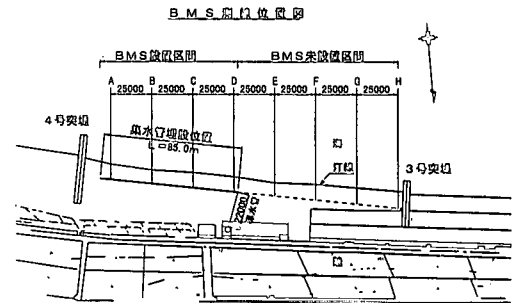


図-2 BMSの観測区域と測線配置

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
 ** 正会員 財団法人土木研究センター 研究開発一部
 *** 神奈川県湘南なぎさ事務所 海岸砂防課
 **** 財団法人神奈川県都市整備技術センター

る。なお、海浜測量は1998年7月16日より開始し、9月24日まで延べ11回実施した。

1997年来襲した幾つかの台風により茅ヶ崎海岸では著しい被害を受けた。被害を受けた護岸や突堤（宇多ら、1998a；1998b）の災害復旧、および養浜工などの工事実施に絡み1998年2月からBMSの運転を休止していたが、6月末には工事が全て完了したため、7月16日からBMSの運転を再開した。

運転後の8月31日には台風4号が、9月13日には台風5号が、そして9月20日～23日には台風6、7号に伴う高波浪が来襲した結果、台風5号通過後の9月16日には全ての標尺が流出するような侵食を受けたが、集水管が露出したり、目詰まりするような事態は生じていない。また、集水量は平均して215 m³/hr（日量5,160 m³）が常に取水可能であった。なお、観測期間中の潮位・波浪条件は、科学技術庁防災科学研究所平塚実験所で観測されたものを用いた。

3. 観測期間中の波浪・気象条件の変化と海浜地盤高の変化

前報において、集水管を標高0 m～-0.5 m付近に設置したBMSでは、潮位と Hunt の式から求めた波の遡上高を加えた絶対標高が T.P. 約 2 m 以下のときに地下水位の低下効果が見られることを明らかにした。そこで、地下水位の低下によって海浜への堆砂が促進されると仮定すると、BMS の集水管の設置位置は前報と同じなので、波の遡上高の絶対標高が T.P. 約 2 m 以下のときに堆砂効果が現れる可能性が大きい。そこで、このような波浪条件であった期間とその時の海浜地盤の変動量との関係を明らかにするために、平塚沖の波浪観測結果とそれに対応する絶対標高、および図-2 に示した海浜縦断形の 8 測線のうち、A、B、D、F、G の 5 測線と集水管設置法線と交わる各点の運転開始日を初期値とした地盤変動量について同じの時系列で整理したものを図-3 に示す。

まず、波の遡上高の絶対標高については、BMS の運転を開始した 7 月 16 日から台風 4 号の襲来前の 8 月 27 日までは 7 月 23 日を除き、絶対標高が T.P. 約 2 m 以下であったが、台風 4 号の来襲時には最大 2.8 m の有義波高が出現している。その後、9 月 3 日から 9 月 15 日までは再び絶対標高が T.P. 約 2 m 以下の波浪条件となったが、9 月 16 日には台風 5 号による有義波高 6.6 m の高波浪が出現した。したがって、この図から明らかに絶対標高が T.P. 約 2 m 以下となった期間は運転開始日の 7 月 16 日から 8 月 27 日までであり、この期間において BMS による堆砂効果が確認できることが予想される。

そこで、この期間において海浜地盤高の変動量につい

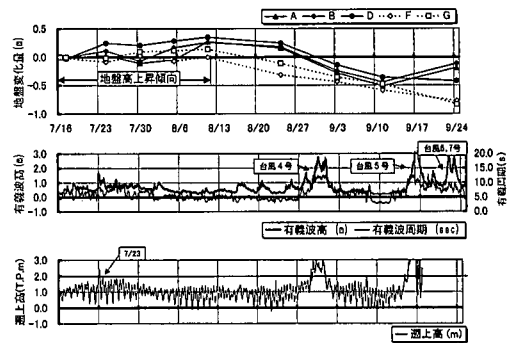


図-3 集水管直上の海浜地盤高と波浪遡上高の経時変化

て注目すると BMS の設置区間内の A、B、D の各測点では 8 月 11 日をピークに海浜地盤高が上昇傾向にあり、BMS の非設置区間のそれとは明らかな差がある。また、その後の 8 月末および 9 月中旬にかけて台風による高波浪が来襲すると全測点で地盤高が急激に低下している。したがって、この地盤高の差が BMS による堆砂効果に起因するものと考えられるが、一方で両端を突堤で囲まれた海浜では、波が斜め入射することによって沿岸漂砂移動が生じ、これによって生じた海浜地形変化であるといった見方もある。沿岸漂砂による土砂移動の有無については 4 章で明らかにするが、この図において特筆すべきは、突堤間のほぼ中央（集水管基部）に位置する D 測点の変動量が他の測点と比べ、堆積・侵食傾向ともに優位になっているところである。一般に突堤で挟まれた海浜において波の入射条件が度々変化するときの汀線はシーソーのように変化する。このとき、海浜中央はシーソーの作用点となるため、この位置での変動量は小さいはずである。また、岸沖漂砂による変動と考えるならば、各測線とも一様な堆積を見るはずであり、このような地盤の変動差は生じないものと考えられる。

4. 海浜地盤高の測定結果

BMS 集水管法線上の海浜地盤高の沿岸方向分布を図-4 に示す。図には測線の位置と集水管の設置区間についても示している。BMS 集水管法線上における海浜地盤高は、全体として懸垂曲線のような特徴を有し、両側の突堤近傍では地盤高が高く、中央部で低いという特徴がある。BMS の運転開始（図中：●印）後、8 月 11 日（図中：▲印）までには BMS の設置区間を中心として広い区域で最大約 0.4 m 厚の堆砂が生じた。堆積厚は BMS の設置区間では厚く、それより西側では薄くなる傾向にある。ここで、堆砂厚の違いによって BMS の堆砂効果を検証しようとするとき BMS の非設置区間である測点 E、F もそれぞれ約 0.3 m、0.2 m の堆砂が確認されていることから堆砂厚に大きな違いはなかった。そこで、

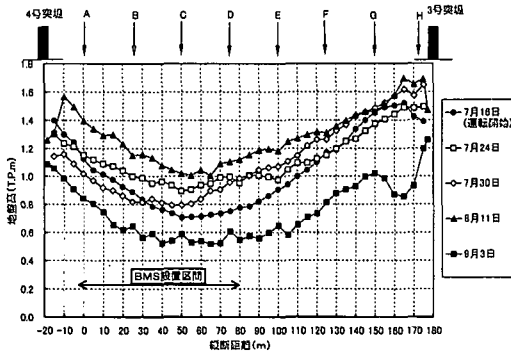


図-4 集水管法線上の海浜地盤高の経時変化

表-1 土砂移動を考慮した BMS の総堆砂厚の集計

単位: m

測点 No.	BMS 設置区間				BMS 非設置区間			
	A	B	C	D	E	F	G	H
総堆砂量	0.27	0.26	0.31	0.35	0.28	0.14	0.00	0.30
平均値	0.30				0.18			
増減量	-0.14	-0.18	-0.10	-0.04	0.10	0.11	0.11	0.15
修正総堆砂量	0.41	0.44	0.42	0.39	0.18	0.03	-0.11	0.15
平均堆砂量	0.41				0.06			

BMS 設置区間の平均堆砂厚は約 0.4 m であり、一方非設置区間のそれは約 0.1 m であったため、BMS による堆砂効果は非設置区間の約 4 倍あることがわかった。

BMS の堆砂効果は地下水位の低下によってはじめて発揮される。しかし、波の絶対遡上高が T.P. 約 2 m 以上となる外力が作用したときには BMS の効果は期待できない。それを示す現象として 8 月 30 日に有義波高 2.8 m の高波浪が来襲した後、9 月 3 日の測定値に見られるように前浜の地盤高が大きく低下している。このときの海浜地盤高は沿岸方向にほぼ一定量の低下を示している。

図-5 には BMS 運転開始時の 7 月 16 日の測定値を基準とした海浜地盤高の変動量の沿岸分布を示す。これによれば、波の絶対遡上高が T.P. 約 2 m 以下の条件下で、BMS の設置区間で海浜がこんもりと高まったこと、そして BMS の設置区間から西へ 50 m 付近まで堆砂効果が現れていることが分かる。

5. 養浜後の海浜縦断形の変化と海浜断面積の変化

1997 年に来襲した幾つかの台風により茅ヶ崎海岸は著しい被害を受けた。実験区域も被害を受け、護岸や突堤 (宇多ら, 1998a; 1998b) の災害復旧はもとより、養浜も実施している。養浜工は BMS の堆砂効果の検証に少なからず影響を与えと考えられるので、ここでは養浜砂の行方とその流出防止に果たす BMS の効果について検討を加える。

観測区域の中から 4 測線を選んで海浜縦断形の経時変化を示したものを図-6 に示す。各測線ともに、高波浪によって侵食を受けた直後の 1997 年 10 月 2 日と、1998 年 7 月 16 日、9 月 24 日の縦断形を示す。災害復旧工事と養浜は 1998 年 6 月末に完了したので、7 月 16 日は養浜直後の海浜縦断形を示している。いずれの断面でも標高約 3.5 m 付近にほぼ平坦な地盤面が見られるが、これは養浜施工時にその上部を平坦に均したことによる。養浜土量は観測区域全体で約 4,000 m³ であった。養浜に用いられた土砂は、茅ヶ崎湾の航路浚渫土砂と藤沢市の地下駐車場工事からの発生土砂を混合したものであり、養浜材の中央粒径はそれぞれ 0.30 mm と 0.21 mm である。

7 月 16 日から 9 月 24 日の間、いずれの断面でも養浜砂が流出し、海浜縦断形は結局、1997 年の台風 20 号により著しい侵食を受けた直後の海浜縦断形に漸近している。

図-7 は 1998 年に観測区域内の 4 測線の汀線付近から採取した海浜砂の粒径加積曲線である。粒径はほぼ 0.4~10 mm の間に分布し、中央粒径の平均値は 2.3 mm である。図にはこれに加えて 1994 年 2 月に観測区域内の汀線付近から採取した海浜砂と、今回の養浜に用いた茅ヶ崎湾の航路浚渫土砂と藤沢市の地下駐車場工事が

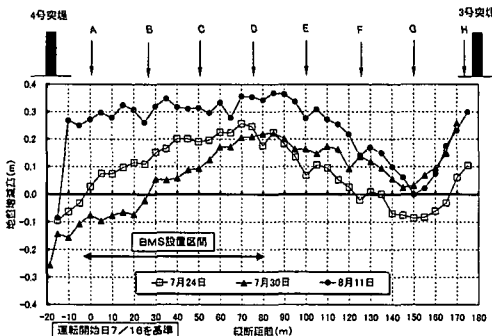


図-5 集水管法線上の海浜地盤高変動量の経時変化

7 月 24 日 (図中: □印) から 7 月 30 日 (図中: ◇印) の地盤変動に注目すると、海浜中央より東側では地盤高が低下し、西側では増加するというシーソーモードの地形変化が生じている。つまり、この期間では東向き波の入射があり、西向き沿岸漂砂が生じて中央から東側で侵食が、西半分で堆積が起きたことを示しており、この土砂移動の後にさらなる堆積があったため、運転開始から 8 月 11 日までの BMS 設置区間と非設置区間の堆砂厚の違いが明瞭に現れなかったものと考えられる。したがって、BMS による堆砂効果を正當に評価しようとすると各測点において土砂移動が見られた 7 月 24 日から 7 月 30 日までの堆砂の増減を総堆砂厚から加除することで可能であり、その結果を表-1 に示す。この結果から

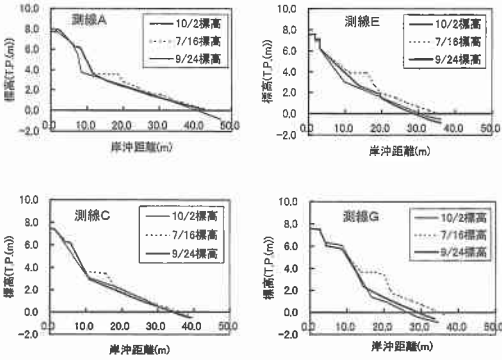


図-6 測線 A, C, E, G における海浜縦断形の変化

らの発生土砂の粒径加積曲線も併せて示す。これによれば 1994 年に比較して今回の調査では粗粒化が進んでいる。これは侵食を受けて前浜勾配が急になってきていることに対応していると考えられる。また、今回の養浜に用いた材料の粒径範囲であるが、まず藤沢市の地下駐車場工事からの発生土砂では、0.4 mm 以上が 3%程度しかなく、したがって汀線付近に残留することがほとんどない材料であったことが分かる。また茅ヶ崎漁港の航路浚渫土砂では 0.4 mm 以上が 30%を占めてはいるが、それでも 1 mm 以下が 96%であるため、粗粒分が少ない。このように、今回の養浜では養浜材の粒径が観測区域の海浜砂の粒径より小さかったことにより、前浜上に養浜した土砂の急速な流出につながったものと考えられる。この結果から、現地海浜より細粒の材料を用いた場合の養浜砂の流出防止には BMS はほとんど効果がないことがわかった。

次に各測線において、図-8 に示すような定義に基づき、7月16日の縦断形を基準として、そこからの海浜断面面積の変化量を計算し、その差を求めて海浜の堆積・侵食量について求め、全測線における海浜断面面積の経時変化をまとめたものを図-9 に示す。図の横軸は各測線の位置を示し、縦軸は断面面積の変化量であり、奥行方向に時間を取っている。これによれば BMS の設置区間である A, B, C, D 測線の縦断形では 8月11日の観測値でいずれも明瞭な堆積が見られたのに対し、同じ期間における BMS の非設置区間である E, F, G, H 測線の縦断形では堆砂が見られなかったことが分かる。8月11日には、図-4 に示した海浜地盤高の変動に見られたように突堤間で沿岸漂砂によるシーソーモードの地盤変化は起きていないことから、図-9 に示す結果は主に BMS の堆砂効果が現れているものと考えられる。また、台風 4 号来襲直後の 9月3日にはいずれの測線においても海浜断面面積は大きく減少したが、その際の見られた低下量は 3号突堤に隣接する測線 H を除いて、BMS の設置

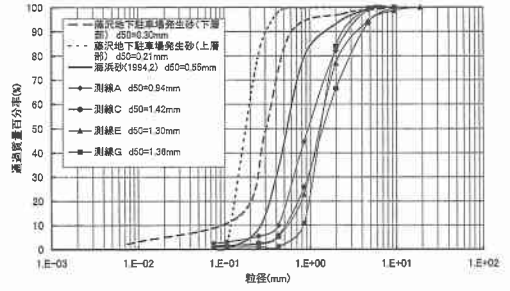


図-7 養浜材と海浜材料の粒径加積曲線

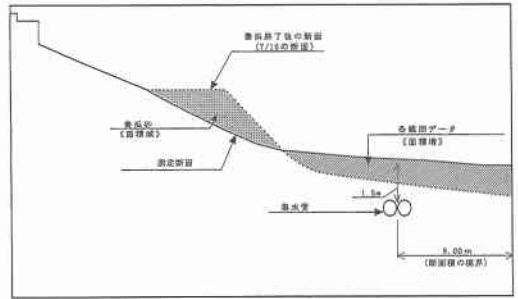


図-8 海浜断面面積の変化量の定義

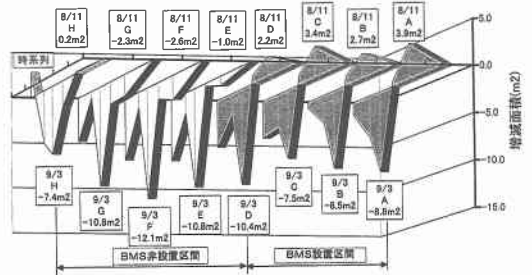
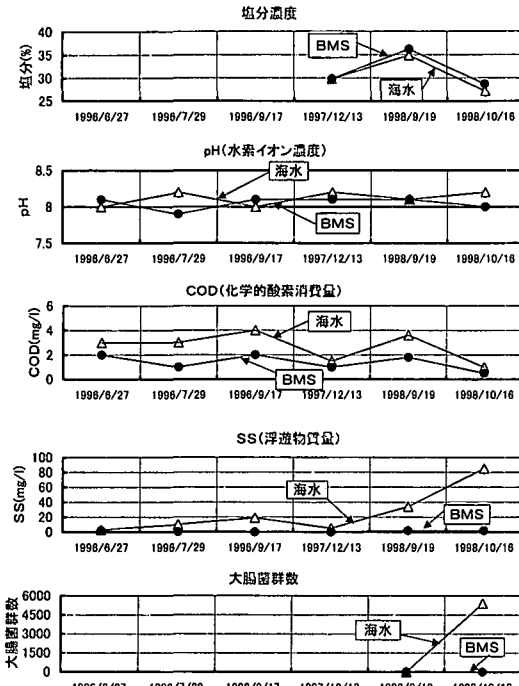


図-9 各測線における海浜断面面積の経時変化

区間の方が BMS の非設置区間の低下量よりも平均で 20%小さい。なお、このときの海浜変形は図-4 に示すように一様な低下を示していることから沿岸漂砂による影響はほとんどない。つまり、図-9 に示す低下量の差から、BMS には侵食を軽減させる効果も一部見られるようである。

6. 清浄海水の取水

茅ヶ崎海岸の BMS においては、現在のところ汲み上げられた海水はそのまま海へと排水されている。しかし、汲み上げられた海水は海浜による浸透濾過を受けているので清浄であると考えられること、また一般に清浄な海水を取水するためには多額の経費がかかることを考慮すれば、汲み上げられた海水の有効利用が考えられてよい。



図一〇 BMSにより集水された海水の水質特性
(塩分, pH, COD, SS, 大腸菌群数)

そこで、その第一歩として、汲み上げられた海水の水質を調べた。なお、水質改善度を比較するための通常海水の採取地点は、浸透前後の水質を比較する意味で図一に示す4号突堤上付近から採取した。

塩分, pH, COD, SS, 大腸菌群数の測定結果をまとめたものを図一〇に示す。塩分は、3回の測定で平均約3.0%の上昇が見られたが、ほぼ通常海水と同じレベルの取水ができてることがわかる。次に、pHも平均約4.0%の低下は見られるものの、その変化はごく小さい。CODは海水の平均値約2.7 mg/lに対して1.4 mg/lと著しく清浄な取水がなされている。SSは、海水の平均値が26に対しBMSでは1以下であって、いずれの測定の場合にもほとんど1以下と測定され、著しい浄化機能が見られる。また大腸菌群数も同様であり、著しい低下が見られる。

以上より、茅ヶ崎海岸におけるBMSによれば清浄な海水を大量に取水することが可能であり、その量は毎時215 m³ (日量5,160 m³)もの取水が可能である。現在、集水はφ300 mm×2本、長さ85 mの集水管で行われているので、集水管の長さを増やすか、あるいは増設すれば集水量の増加を図ることができる。

BMSは、海浜の堆砂効果の促進および侵食を防止するうえ、清浄な海水を安定して取水可能であることから、今後、他の様々な用途への複合的かつ積極的な適用が可能と考えられる。

7. 結論

(1) 茅ヶ崎海岸でのBMSの現地実験により、波の絶対遡上高がT.P.約2 m以下の場合に前浜での堆砂効果が促進されることがわかった。堆砂厚は最大で約40 cmであり、その堆砂効果は通常の海浜に比べ、約4倍高い。

(2) 災害復旧で観測区域内に投入した約4,000 m³の養浜土砂は、そのほとんどが流失した。その原因として養浜材の粒径が観測区域の海浜砂の粒径より細かい粒径の土砂で構成されていたことによる。また、このような養浜砂の流失防止にはBMSはほとんど効果がない。

(3) 海浜断面積の変化から算出した海浜の侵食・堆積厚の変化でBMS設置区間の侵食厚は非設置区間のそれと比べて、平均で約20%小さい。

(4) 茅ヶ崎海岸のBMSでは清浄な海水を大量に継続的にかつ安定的に集水可能であることが明らかになった。また、水質調査の結果、水質改善がなされた項目はCOD, SS, 大腸菌群数であり、特に著しい改善効果が得られたのはSSであった。

なお、茅ヶ崎海岸におけるBMS現地実証実験の詳細な結果については、神奈川県(1999)にまとめてある。

謝辞：科学技術庁防災科学技術研究所平塚実験場の渡部勲主任研究官には、貴重な波浪データを提供していただいたことに感謝します。

参考文献

- 平野浩一・千田昌平・和田信昭・宇多高明・見附敬三 (1997): 茅ヶ崎海岸におけるBMSの被災原因とその改良方策, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 981-985.
- 宇多高明・内田 剛・高橋由貴・西村 晋・福山慎一 (1998 a): 湘南海岸における台風7,9号による侵食災害の現地踏査, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 263-268.
- 宇多高明・内田 剛・平野浩一・西村 晋 (1998b): 台風9720号による湘南海岸の侵食災害, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 257-262.
- 西村 晋・宇多高明・平野浩一・渡辺 敏 (1998): 茅ヶ崎海岸におけるBMSによる地下水水位低下の現地実測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 646-650.
- 神奈川県他 (1999): ビーチマネジメント・システム (BMS) 共同研究報告書.