

茅ヶ崎海岸における BMS の被災原因とその改良方策

平野 浩一* ・ 千田 昌平** ・ 和田 信昭***
宇多 高明**** ・ 見附 敬三*****

1. ま え が き

近年、海浜の浸透性を向上させることにより、海浜への堆積を促そうとする工法が各地で試みられるようになった。浸透性を向上させる手法として、柳島ら(1995; 1996)は、汀線と直交するトレンチに浸透性の良好な砂礫を敷き詰め、自然流下で地下水を排除する方法を検討した。一方、最近では汀線と平行に集水管を設置する方法(Beach Management System; BMS)も提案されている。BMSにより地下水位を下げて砂浜の浸透性を向上させ、汀線付近への堆砂を促す場合、その効果を高めようとするならば、BMSの位置をできるだけ海側に設置したくなる。しかし、地下の集水管位置を海側にすればするほど、波による海浜の変動量も大きくなるから、高波浪時、集水管が海底面に露出して壊れる危険性も高くなる。一方、現地海岸では沿岸漂砂の作用が強いので、無限に長い海岸線を持つ場合を除いて、有限長の海岸線を持った区域にBMSを設置する場合には、その周辺の構造物が沿岸漂砂を阻止することによる汀線変動にも十分な注意が必要である。しかしこれらの点を考慮した設計法は確立していない。

最近、茅ヶ崎海岸ではパイロット事業としてBMSの試験運用がなされ、その効果検討が行われたが、試験期間中の1996年9月22日に来襲した台風17号の高波浪により、集水管が露出し壊れた。本研究は、この被災原因について検討し、今後の改良計画について検討するものである。なお、茅ヶ崎海岸におけるBMS工法の検討は、神奈川県が(財)土木研究センター、(財)神奈川県都市整備技術センターとの共同研究として進めているものである。

2. BMS 試験区域における長期的海浜変形

BMSの試験は、相模湾に面した湘南海岸東部の茅ヶ崎海岸で行われた。この海岸における潮位は、朔望平均

満潮位がT.P.0.64 m、干潮位が-0.93 mにあり、また試験区域の西5.5 kmに位置する科学技術庁防災技術研究所の「平塚沖」波浪観測によれば、エネルギー平均波高は0.83 m、周期は6.3 sである。茅ヶ崎海岸には1991年までに堤長160 m、基部からヘッド部までの沖向き距離230 mのヘッドランドが侵食対策として建設されている。図-1には、このヘッドランドと茅ヶ崎漁港周辺の深淺図を示す。同時に長期的海浜変形を調べるために、1987年5月と1996年3月の深淺図を重ね合わせ侵食・堆積域の区別を付けている。両者を比較すると、ヘッドランドの周辺区域と茅ヶ崎漁港の防波堤の遮蔽域に入る漁港の東側隣接部で堆積が進んでいる。とくにヘッドランドの周辺域での堆積が著しい。ヘッドランド周辺では、図-2に示すように経年的に養浜が行われてきた。したがってヘッドランド周辺での堆積土砂の多くは養浜に起因している。しかしながら、ヘッドランドと茅ヶ崎漁港の中央部の-4~-9 mの間では広い範囲で等深線が後退し、侵食が進んでいることから、ヘッドランド周辺および茅ヶ崎漁港の東側隣接部での堆積土砂には、中央部の侵食土

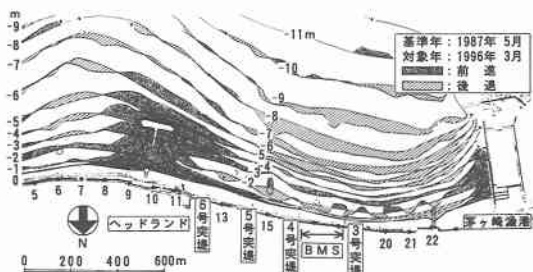


図-1 茅ヶ崎海岸のヘッドランドと茅ヶ崎漁港周辺の海浜変形

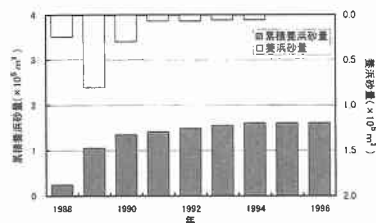


図-2 茅ヶ崎海岸における養浜工の経過

* 神奈川県湘南なぎさ事務所副技幹
** 正会員 工博 (財)土木研究センター常務理事
*** (財)土木研究センター部長
**** 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
***** 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)



写真-1 ヘッドランド～茅ヶ崎漁港間の全体的海浜状況
(1996年12月20日撮影)

砂も含まれていると考えられる。海浜の両側に波の遮蔽構造物があるために、中央部の前浜が狭い場所で養浜しても養浜砂はそこには止まらず、両側の波の静穏な区域へと移動する。このことは、養浜をよほど大量に行わない限り、中央部の前浜が狭い区域で堆砂を進めることは困難であることを意味する。こうしたことから、前浜を少しでも拡大し侵食防止を図ることを目的としてBMSが設置された。

写真-1は、ヘッドランドの東側から茅ヶ崎漁港を望む海浜状況である。写真に示すように、ヘッドランドより西向きに砂浜幅は次第に狭くなるが、砂浜幅が最も狭くなる付近にBMSは設置された。図-1に示したように、この付近は両側に施設に挟まれているために、相対的に波高が高く、かつ長期的にみてその沖合部が侵食されて深くなりつつある区域である。したがってそこでは海浜の地形変動量も大きいことが想定された。このことは侵食制御のための設置の理由を与える反面、BMSの耐久性の確保がかなり難しいことを意味している。

3. BMSの試験施工

BMSは、平均汀線付近において、海浜変動を考慮して初期におけるかぶり厚を約1.7mとして設計された。集水管は、汀線とほぼ平行に、沿岸方向180mの範囲に設置された。集水管は2本の径0.3mの透水管(ポリプロピレン製)であり、前浜背後に掘られた井戸まで海水を自然流下させ、貯水槽に設置されたポンプ(最大流量0.139m³/s)により海水を吸い上げる構造を有する。配管工事はドライ施工とするために、写真-2に示すように、突堤に挟まれた区域に矢板を打ち、海水の侵入防止を図った上で1996年3月までに行われた。その後1996年5月17日から試験運転に入ったが、図-3に示すように、5月20日には東端から20mが被災したので直ちに仮復旧を行った。7月10日には台風5号の波浪によりさらに40mが、そして9月22日には台風17号の高波浪により全長40m部分が海底面に露出し、集水管に直接



写真-2 BMS工事中の海岸線状況 (1995年12月21日撮影)

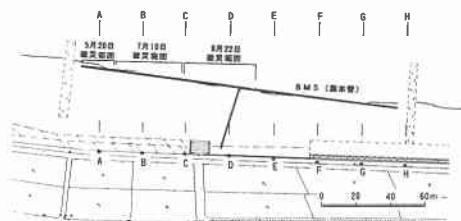


図-3 BMSの被災範囲

砂が流入するとともに、集水管が破損したため試験を中断した。

なお、写真-2に示す突堤周辺の汀線形状を調べると、左側に位置する3号突堤の左(西)側の汀線に対して4号突堤の右(東)側の汀線は明らかに後退している。このことは、この写真を撮影した1995年12月頃には西寄りの入射波条件により東向きの沿岸漂砂が卓越していたことを示している。

4. BMS周辺の短期的海浜変動

図-4には、深浅測量データから求めた試験期間中の砂浜幅の沿岸分布を示す。図には汀線の前進・後退の区別を付けるとともに、限界砂浜幅の目安として砂浜幅30mの線を記入している。これによれば、BMSはヘッドランドと茅ヶ崎漁港の間で砂浜幅が30mを切り、最も砂浜幅が狭い付近で導入されたことになる。また、汀線変化を調べると、汀線が鋭角状に突出したヘッドランド背後において、3月から11月にはヘッドランドの東側で汀線が前進し、このとき同時にヘッドランド西側のNo.13, 14付近では汀線が後退している。不透透構造物であるヘッドランドを挟んで東側で汀線が前進、西側で後退する特徴は、この間東側からの入射波が卓越し、これによって西向きの沿岸漂砂が卓越していたことを表している。

写真-3は、1996年6月7日における3号突堤周辺の汀線状況を示したものである。突堤の左(東)側の汀線が西側に比較して前進しており、西向きの沿岸漂砂の卓越を表すが、この結果は図-4の結果と調和的である。さらに、写真-4は1996年9月12日の海岸状況であるが、

手前側の3号突堤を境に西側の汀線が後退している。この状況もまた、写真-3で見られた特徴と同一傾向である。したがって写真-3の撮影時期(1996年6月7日)から写真-4の撮影時期(1996年9月12日)の間では、東寄りの入射波向のもとで西向きの沿岸漂砂が発達していたことがわかる。

このような沿岸漂砂の方向は、写真-2に示した工事中の状況と全く逆転していることが注目される。すなわち茅ヶ崎海岸では、波向変動に伴ってサイクリックモードの汀線変動が生じることで特徴付けられる。

図-5は、BMSの設置区域を挟む2基の突堤間における1996年4月17日～9月6日の汀線変化を示す。この間、4号突堤の西側隣接部で汀線が後退し、3号突堤の東側隣接部では前進している。以上の状況は、写真から得られた特徴と同じである。9月6日のように4号突堤の西側隣接部が後退した状態において、9月22日に高波浪が作用したため、BMSは中央より東側が一部露出した上、被害を被った。

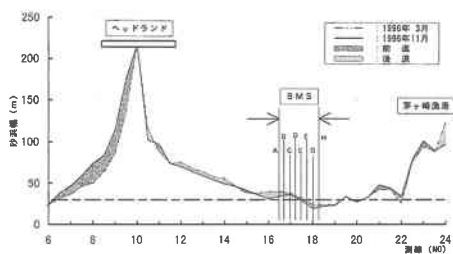


図-4 砂浜幅の沿岸方向分布

写真-5(a)は、台風来襲直前の9月18日における3号突堤周辺の海岸状況である。9月22日には台風17号に伴う高波浪(茅ヶ崎海岸の西5.5kmに位置する平塚沖観測所での $H_{1/3}=2.4\text{ m}$)が来襲した。平型ブロック製の突堤の左(東)側の汀線が前進し、ブロックの大部分には砂が被さっていることが見て取れる。同じく台風来襲時の写真-5(b)ではブロック上の砂は洗い流され、ブロックが露出している。ブロックの幅が約2mであることを考慮すると、1m程度砂浜の地盤高が低下したことがわかる。

BMSの安定性にはかぶり厚が大きく関与する。そこで、1996年4月17日～9月24日の測量データをもとに、BMS上のかぶり厚の沿岸方向分布を調べた。図-6に結果を示す。工事完成直後の4月17日では、かぶり厚はやや東側で小さいが、全体的にほぼ1.5m程度以上のかぶり厚を有していた。しかし、6月6日では4号突堤の西側隣接部でかぶり厚が減少し、これと対照的に3号突堤の東側隣接部でのかぶり厚の増加が見られる。すなわちこの期間において突堤間でのシーソーモードの汀線

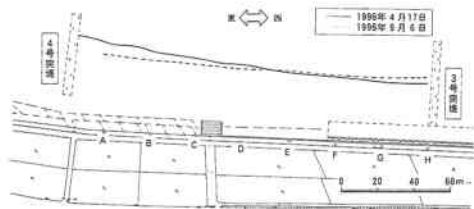


図-5 BMS設置区間における短期的汀線変化



写真-3 3号突堤周辺の汀線状況(1996年6月7日撮影)



(a) 台風来襲前の1996年8月18日



写真-4 茅ヶ崎漁港側からBMS試験区間を望む状況(1996年9月12日撮影)



(b) 台風来襲時の1996年9月22日

写真-5 3号突堤周辺の海浜状況

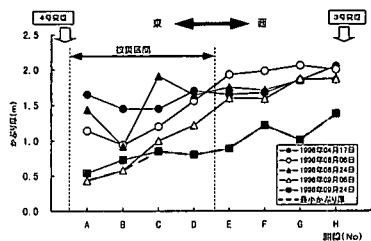


図-6 BMS上のかぶり厚の沿岸方向分布

変化が発生し始めた。しかしながら、それでも最小のかぶり厚は約1mはあった。6月24日には測線Bを除いて測線Dより東側ではかぶり厚が増加し、測線Eより西側では緩やかにかぶり厚が減少している。全体的には突堤間でシーソーモードを有するが、測線C付近では測線Aよりもはるかに大きくかぶり厚が増加している。その変化傾向から、波向変動に伴う海浜変形とは考えにくいから、局所的なかぶり厚の増加はBMSの効果が現れたものと考えられる。しかし9月6日になると、中央より東側でかぶり厚が減少し、とくに東端のかぶり厚は0.5m以下となった。さらに9月24日の台風来襲直後では、左右の汀線がシーソーモードを示さないことから判断すると、高波浪による沖向き漂砂に起因して全体にかぶり厚が大きく減少したと考えられる。

図-6には以上5回の観測値にもとづくかぶり厚の最小値を破線で示す。最小値は、被災直後の9月24日の測定値の影響を強く受けているが、観測区域の東端で最小の約0.5mを示し、西端では約1.4mと東西で1m近い差がでている。BMSの被災は中央より東側で著しかったことから、図-6はその状況をよく説明しており、かぶり厚がほぼ0.8m以下となると安定性に障害が出ると言える。ただし、図示する台風後のかぶり厚は、台風後の測量によるものであって高波浪の作用中ではない。実際には図示するかぶり厚より洗掘が進んで集水管が露出したか、あるいは集水管の露出はないものの海底面に水みちが形成されたことによって破壊されたかは確認できない。したがって安全性を考えると、かぶり厚は約1mは必要と考えられる。

実際には、最小かぶり厚が与えられたのみでは設計できない。なぜなら、ある時刻の海浜縦断形が与えられたとしても、それが侵食された状態にあるのか、あるいは堆積した状態にあるかによって結果が大きく異なるからである。侵食され切った状態で最小かぶり厚を与えれば安全側となるが、堆積した状態では危険側となる。したがって海浜の平均断面形との関係において議論し、ある時刻の海浜縦断形と平均断面形との差異については別に検討する必要がある。このことから、図-7には、突堤間において50m間隔で並んだ測線A, C, E, Gを選んで、

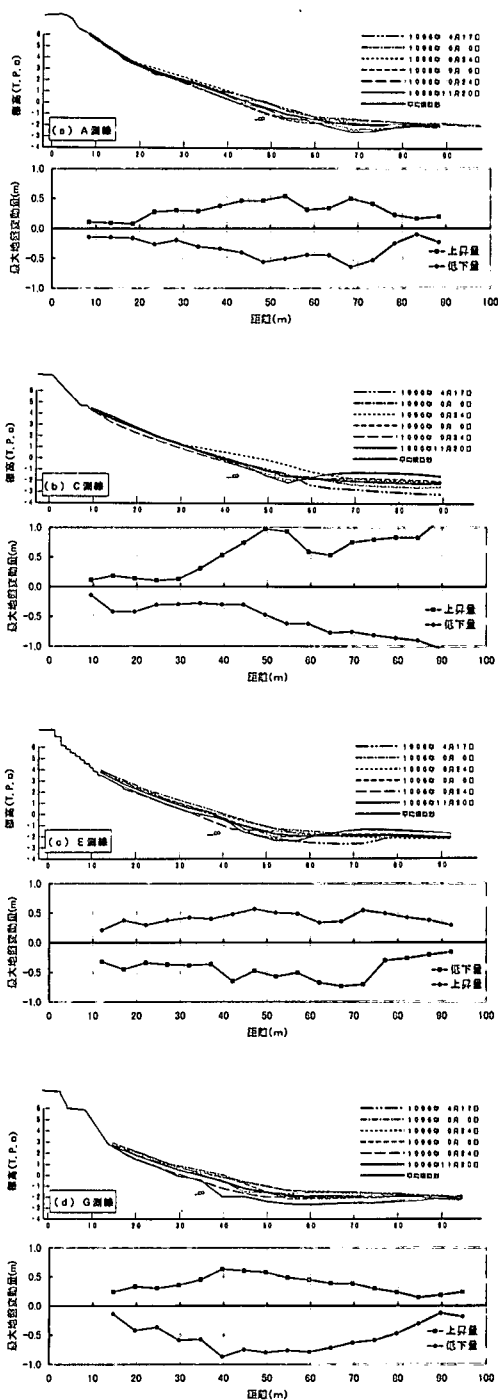


図-7 海浜縦断形の変化と最大地盤変動量の岸沖分布

観測期間中の深浅測量データをもとに、海浜縦断形、平均縦断形およびそれによる地盤変動量の岸沖分布を示す。併せて集水管位置も示す。

平均縦断形による地盤変動量において、海底地盤が低下する場合についてみると、A～G測線とも海浜地盤高

の低下量は前浜から汀線へと増加し、汀線付近で最大値をとる。もしシーソーモードの海浜縦断形の変化が著しく卓越するのであれば、突堤間の中央部では両側より変動量が相対的に小さく出るはずであるが、これらの図ではそのような特性は見られない。したがって、この地盤変動量には突堤間でのシーソーモードによる地形変化と、岸沖漂砂による地形変化が重なっており、両者の区別はかなり難しいと考えられる。そこで安全側として、図示する変動が全て岸沖漂砂に起因するとして平均値を求めると、汀線付近では平均約0.5 mである。このことは汀線付近にBMSを設置する場合、平均縦断形よりも約0.5 m下方までは海底面が低下しうることを意味する。これに加えて前述のように約1.0 mのかぶり厚を必要とする。なお、設置位置が汀線より岸側となればその分地盤変動量は小さくなるので、かぶり厚は小さくすることができる。

5. 観測井戸による地下水レベルの観測

1996年5月17日からの試験運用に際して、海浜の地下水レベルの変化を観測井戸により観測した。観測井戸は測線B付近の前浜上T.P.2 m付近に設置して、地下水位の経時観測を行った。併せて潮位データとして「平塚沖」のデータを収集した。図-8には観測結果を示す。観測井戸付近の地下水位は0~1.2 mの間で変動し、潮位変化に対して約1時間の位相遅れを有している。集水は5月17日の11時から開始されたが、集水開始とともに、地下水レベルに変動が現れた。図-9には、地下水と潮位の変動状況を比較するために、両者の相関を示す。これによれば、集水前の水位(○印)に対して、集水後の水位(●印)には明らかに低下が認められる。集水後には変動量が大きいが、平均的に潮位がT.P.0.5 mで0.16 m, T.P.0 mで0.20 m, T.P. -0.5 mで0.25 mの水位低下が認められ、BMSにより海浜部の地下水低下効果が現れたことがわかる。

6. ま と め

茅ヶ崎海岸でのBMSの現地実験では、実験期間中に集水管の一部が海底面に露出し、試験体の一部が破損し

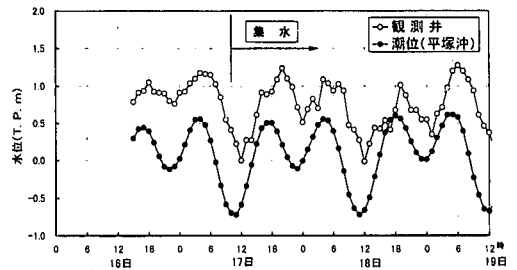


図-8 海浜の地下水レベルと潮位の経時変化

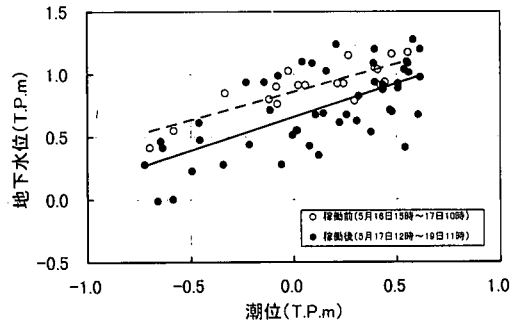


図-9 地下水レベルと潮位の相関

た。その原因としては、集水管位置がやや海側過ぎ、そこでの海底面変動に対してかぶり厚が不足したことがあげられる。また、BMS設置区間の両側に設置された突堤によるサイクリックモードの汀線変化が生じたことがかぶり厚の低下を招いた主因であることがわかった。このことから、汀線付近にBMSを設置する場合には、平均海浜縦断形に対して約0.5 mの海浜地盤高の低下を見込んだ上、さらに最小かぶり厚約1.0 mが満足されるよう集水管を設置すべきことが必要と言える。

参 考 文 献

- 柳島慎一・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管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.
- 柳島慎一・金澤 寛・平井宣典・加藤一正・望月徳雄 (1996): ストライプ状透水層の前浜地形変化に及ぼす三次元効果, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 661-665.