埋立護岸背後での越波増大と背後地盤の陥没 -館山湾に面した見物海岸の事例-

西村 和真¹・小林 昭男²・宇多 高明³・野志 保仁⁴

¹ 日本大学理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

² 正会員 日本大学教授理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: kobayashi.akio@nihon-u.ac.jp

³ 正会員 一般財団法人土木研究センターなぎさ総合研究所長兼日本大学客員教授理工学部
海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

E-mail: uda@pwrc.or.jp

⁴ 正会員 日本大学助教授理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: noshi.yasuhito@nihon-u.ac.jp

2015年4月18日、館山湾南岸にある見物海岸の刀切神社前面の公園を観察した。この公園は、磯と砂浜の続く場所が埋め立てられて造成されたもので、直立護岸背後の平坦地が公園となっていた。公園の外郭をなす護岸付近を観察したところ、護岸前面に岩礁がある場所では背後地は安定であったが、岩礁と岩礁の間で沖合から護岸前面へと深みが迫る場所では護岸背後への越波が著しく、背後地では吸出しによる陥没も起きていた。本研究では、この理由を調べることを目的とし、地形測量や越波の現地観測を行うとともにVOF法による越波量の計算を行うことにより考察した。

Key Words : land reclamation, Kenbutsu coast, Tateyama Bay, wave overtopping, field observation

1. はじめに

2015年4月18日、館山湾南岸において洲崎へと続く海岸線のほぼ中央部に位置する見物海岸の現地踏査を行った。この踏査では、海岸線近くにある刀切神社の前面において埋め立てにより造られた公園を観察した。踏査によれば、この公園は元々磯とパッチ状の砂浜からなっていた場所が埋め立てられて造成されたもので、その外縁は滑らかな曲線状の護岸で防護されていた。すなわち、この公園は埋め立てにより海浜地が盛り土され、その海側端に直立護岸が伸ばされたもので、その背後の平坦地が芝張りのなされた公園となっていた。しかしながら、公園の外郭をなす護岸付近を観察したところ、護岸前面に岩礁がある場所では背後地は安定であったが、岩礁と岩礁の間で沖合から護岸前面へと深みが迫る場所では護岸背後への越波が著しく、背後地では吸出しによる陥没も観察された。このような状況は、元々見物海岸での埋立地造成において護岸前面にある岩礁間の深みの存在と無関係に埋立法線が定められた結果、岩礁背後では護岸基部の標高が高くなったのに対し、岩礁間の窪地では地盤高が低く、このため波の侵入度が高まったためと推察された。このように、海岸線付近での埋立地造成では、海側の条件が十分考慮されないまま都市計画の立場から土地

(a) 館山湾と調査区域

(b) 調査区域の拡大衛星画像

図-1 見物海岸の位置

の利便性を最大限高めるように埋立地の法線形が定められることが問題の発端となり、そのことが後に背後地の維持管理に課題を残し、新たな消波対策が求められる要因となる。この種の実例は全国的に多く見られる。そこで本研究では、見物海岸を研究対象として地形測量や越波観測とともに、VOF法による越波計算によりこの種の課題について考察した。

2. 見物海岸の地形的特徴

見物海岸は、房総半島先端部にある館山湾の南岸、洲崎の東4.5 kmに位置し、館山湾を北に望んでいる(図-1(a))。洲崎に至る半島が西向きに大きく伸び、その北岸に位置するため、当海岸では太平洋からの波は半島により遮蔽され、主に北側の館山湾からの入射波が作用する。図-1(b)は、図-1(a)に示す矩形区域の拡大衛星画像を示す。図に示す矩形区域が調査対象区域で、見物海岸の東側には浜田港の防波堤が、また西側には別の舟溜まりが造られており、それらにより汀線が固定されている。見物海岸の西部は緩やかに凹状の汀線からなる砂浜であるが、東部では海岸線が逆に緩やかに突出している。この突出部が調査区域である。図-2にはアメダス館山による2015年の風配図を示す。見物海岸で出現頻度が最も高い風向はNNEであり、それにNが続く。図-1(a)から卓越風向NNE方向のフェッチを求めると6.9 kmとなる。

3. 現地観測の方法

図-3は、図-1(b)に示す矩形区域の拡大画像であり、2015年10月9日の衛星画像を示す。公園を防護する護岸の前面には東部と西部に岩礁が分布している。ここでは便宜上、東側の岩礁を岩礁A、西側を岩礁Bと呼ぶ。岩礁Aは岩礁幅が広く岩礁の陸側端の護岸との接点付近にはほぼ半円形状の砂浜を有している。これに比べ、岩礁Bは沿岸方向に60 mの長さを有しているものの、岩礁Aより規模が小さい。一方、岩礁A,B間では沖合から護岸前面へと深みが迫る。図-3には以下の解析で用いた座標系

図-2 館山での風向出現頻度分布

を示す。西端に原点を設け、東向きに沿岸方向距離 X を定めた。また、図示したNo.1~No.6の測線ではRTK-GPSを用いて2016年8月15日に縦断形測量を行った。また図に白字で示す1~6では2016年12月15日に写真撮影を行った。図-4には2016年の空中写真より判読した汀線と護岸形状を、護岸建設前の1968年の汀線形状と併せて示す。これによると1968~2016年では岩礁Aの東側区間では汀線が約23 m後退している。岩礁A,B間での汀線後退量はわずかであるが、現況では汀線は護岸線と重なっている。

4. 現地状況と縦断形

海岸状況は、図-3に番号1~6で示す地点で調べたことから、以下6枚の写真で現地状況を示す。まず図-5は、2016年12月15日に撮影した岩礁Aの東側に残された砂浜背後のSt.1の状況を示す。この付近では護岸前面に狭い前浜が残されていたが、護岸への越波が著しく、天端上には多くの漂流物が運び込まれていた。

次に、2016年8月15日に岩礁A,B間の標高2.9 mの護岸上のSt.2から東向きに海岸状況を望んだ写真を図-6に示す。前方に見える岩礁Aの背後では、護岸ののり先地盤高が高いが、岩礁A上には砂礫が堆積し砂浜が形成されており、その背後では護岸の天端上に砂礫が堆積していた。砂浜の位置と護岸上での砂の堆積位置がほぼ

図-3 見物海岸の観測区域

図-4 1968年と2016年の汀線形状の比較

対応することから、越波時に護岸前面の砂浜から砂礫が護岸上へ運ばれ堆積したものと考えられる。

次に、護岸 A を背にして St.3 から西向きに護岸の天端状況を撮影した写真を図-7 に示す。西部の岩礁 B では岩の密度が東部の岩礁 A と比べやや低く、またその手前(東)側には深みが岸近くまで伸びており、そこでは護岸の天端が黒く変色しているのみでなく、護岸背後に越波痕跡が残されていたことから、この深みの背後で越波が著しいことが分かった。

図-8 は 2016 年 8 月 15 日の干潮時に、岩礁 A, B 間の護岸下の St.4 で東向きに撮影した護岸基礎の状況を示す。護岸前面では深みが迫り、そこでは護岸の基礎が黒い帯状に現れていた。さらに図-8 の撮影地点の護岸背後の St.5 では大小複数の吸出し跡が発見された。図-9 は St.5 で発見された吸出し穴の 2016 年 8 月 15 日撮影の状況を示す。この調査時には、穴の長径は 2.2 m, 短径が 0.6 m, 深さ 0.4 m の穴であった。しかし、2016 年 12 月 15 日の再調査時には穴の長径と短径は夏季と同一であったが、深さが 0.5 m と増大していた。図-8 に示したようにこの付近では護岸の基礎が露出していることから、その付近で護岸背後の裏込め土砂が吸い出された結果背後地盤の陥没が起きたと考えられる。また陥没穴の深さが 2016 年 8 月 15 日の 0.4 m から同年 12 月 15 日の 0.5 m へと増大

図-7 護岸とその前面に広がる岩礁 B (St. 3)

図-8 護岸下部へと迫る深み (St. 4)

図-5 護岸天端上に残された漂流物 (St. 1)

図-9 護岸天端背後に発見された陥没穴 (St. 5)

図-6 岩礁Aおよび護岸天端上へ打ち上げられた砂 (St. 2)

図-10 護岸背後地への越波状況 (St. 6)

したことから吸出しは現在もなお続いていることが分かる。現況では吸出しの進行を防ぐために土嚢が設置されているが、穴は完全には塞がれてはいなかった。

最後に、図-10は測線No.3上のSt.6で撮影した越波状況写真を示す。この付近では吸出しによる陥没穴、植生が全面的に枯れた区域、半分枯れた区域が確認でき、陥没穴の周辺で植生が枯れ、塩害が著しいことが明らかである。以上のことから、岩礁帯の有無によって見物海岸では越波の発生状況が定まっていると考えられる。

図-11には測線No.1～No.5の縦断形を示す。No.1, No.2は岩礁帯Bを横断する測線であり、岩礁Bでは水面上のT.P. 0.0 m～0.4 m間に岩が出ている。No.3は岩礁間の深みを横断しており、護岸前面の水深は0.3 mで、その沖では勾配1/33で水深が増加していた。No.4, No.5は岩礁Aを横断する縦断形である。No.4上では岩礁の最高標高はT.P.0.31 m、またNo.5では護岸基部の標高はT.P.0.8 mであり、西部の岩礁Bと比べ岩礁の高さが高かった。

5. 飛沫観測

2016年12月15日の満潮時、飛沫観測を行った。観測には水分が付着すると青く変色する感水紙を用いた。

図-11 測線No.1～No.5の縦断形

この感水紙は $50\mu\text{m}$ の液滴まで反応する。感水紙は図-12に示すように、護岸背後地の沿岸方向に23 m、幅10 mのほぼ矩形区域内に、約10 m間隔で合計63地点配置した。感水紙は、図-13に示すように地表面上0.5 mとなるよう棒の先に取り付け、地面と垂直でかつ沖向きに設置した。観測は8人で行い、観測前には感水紙をジップロックで覆っておき、観測開始時と同時にジップロックを外し、10分間観測を行い、観測終了後直ちにジップロックを感水紙にかぶせてそれ以上の水滴の付着を防止した。その後、感水紙を集めて飛沫の面積率を求めた。感水紙への水分付着状況は青/黄色の面積率により計測した。図-14には実例を示す。aは0.0%、bは11.9%、cは76.1%の付着状況を示す。なお、気象庁が観測した観測時の館山の風向はNNE、風速は2.68 m/sであった。

図-15は全63地点で観測された感水紙の面積率(%)を示す。飛沫量が高い場所は岩礁A, B間の区域の護岸近傍であり、とくに図の矢印位置では100%の飛沫量が観測された。この付近は図-10に示したように、護岸背後での吸出しが起こると同時に越波被害が著しい場所と一致した。図-16には2015年8月15日と12月15日の測量結果から補間して求めた深淺図に、飛沫観測結果を重ねて示した。東部と西部には岩礁A, Bがある一方、中央部には護岸前面まで深みが迫っている。飛沫の面積率は、

$X=80\text{ m}$ 地点でとくに高く、陸側では飛沫発生量が急減していた。その付近は護岸前面の水深が大きい場所と完全に一致している。

6. VOF 法による越波計算

2016年12月15日の調査時には、実際に越波の発生が見られたこと、および現地状況からも越波被害があると考えられることから、VOF法を用いた越波計算を行った。図-16に示したように研究対象区域では中央に深みが迫り、護岸前面の水深が大きい、その東側と西側には岩礁があるため水深が小さい。また、当地での卓越風NNE方向でありこれらの岩礁または深みを斜めに切る方向から風波が作用することになる。そこで図-16のようにこれらの深みと岩礁を横断する方向に測線I,II,IIIを定め、これらの断面で越波状況の相違について調べた。図-17にはこれらの断面形状を示す。測線Iは岩礁が護岸前面にあるため他の測線に比べて標高が一番高い。測線IIは岩礁間の深みを横断する測線のため護岸前面の水深が大きく、越波が最も著しいと考えられる断面である。また、測線IIIは岩礁と砂浜が混在しているために測線II

計算にはCADMAS-SURF¹⁾のプログラムを用い、今回は2次元計算を行った。当地は館山港に近接しているので館山港の潮位データを参照すると、HHWLが1.95 m、HWLが1 mである。また、波高は2015年のアメダス館山の風向風速を基にSMB法により1年間の波高を推算し、上位10%の波高の平均値(0.83 m)を用いた。また、周期は2017年1月5日に現地で撮影した動画から読み取った値(3.5 s)を用いた。図-18には計算結果を示す。護岸前面に岩礁の存在する測線Iでは、若干の飛沫が上がるものの越波はしなかった。護岸前面に岩礁のない測線IIでは、護岸の前面水深が最も大きいため波は減衰することなく護岸に衝突し、飛沫および越波が起きた。一方、測線IIIでは越波も飛沫も観測されなかった。

7. まとめ

見物海岸での観測結果によれば、護岸背後で越波が集中する場所は護岸前面まで沖合から深みが迫っている場所であり、そこではまた護岸背後で陥没穴も発見され、そこが海岸管理上の弱点となっていることが明らかになった。このような弱点箇所では、一般に護岸前面に消波

図-12 感水紙の設置地点

図-14 飛沫試験に用いた感水紙

図-13 感水紙の設置方法

図-15 飛沫面積率の観測結果

と比べると標高が約0.5 m高い。

図-16 深浅図と飛沫面積率の分布

図-17 VOF 法に用いた 3 断面の縦断面形

工を並べたり、あるいは沖合に離岸堤や人工リーフが設置され、この場合自然海岸の風景が損なわれる結果を招く。しかし現地条件をよく考慮すれば、岩礁に挟まれた区間の物理条件を無視して護岸が直線状に造られたことが問題の発端となっていたのであって、防護のために余分な費用のかかる姿は当初の海岸条件についての理解の不足が招いたものであることは注意すべきことと考えられる。なお、本研究で述べた考え方は、海岸保全施設の

図-18 越波計算の結果 (H.W.L.時)

維持管理マニュアル²⁾において、施設の健全性を担保する上で堤防・護岸の前面の砂浜と施設との関係について留意することが大事とされる点とも一致している。

参考文献

- 1) 財団法人沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発，p.235，2010.
- 2) 海岸保全施設維持管理マニュアル～堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案～：
http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr7_000014.html

(2017.2.2 受付)

INCREASE IN WAVE OVERTOPPING OVER SEAWALL OF RECLAIMED LAND AND CAVE-IN OF GROUND - AN EXAMPLE OF KENBUTSU COAST -

Kazuma NISHIMURA, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA and Yasuhito NOSHI

On April 18, 2015, field observation was carried out on the Kenbutsu coast in front of Katanagiri Shrine, which is located on the south shore of Tateyama Bay. A park was constructed by land reclamation in a shallow sea with reefs and narrow sandy beaches, and a seawall was built in front of the reclaimed land. Near the seawall surrounding the park, the backyard of the seawall was stable at a place with rocky reefs in front, but in an area with a large water depth between the rocks, wave overtopping was severe and sinking of the ground was found. In this study, the seabed topography was measured near the seawall together with the observation of wave overtopping. Then, the wave overtopping was calculated by using the VOF method.