

日立市沿岸における海蝕洞の統計的性質

STATISTICAL ANALYSIS ON CHARACTERISTICS OF SEA CAVES ALONG HITACHI COAST

宇多高明¹・住谷廸夫²・長山英樹³・熊田貴之⁴
Takaaki UDA, Michio SUMIYA, Hideki NAGAYAMA and
Takayuki KUMADA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なぎさ総合研究室長
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 タカラビル)

² (財) 土木研究センター専門調査役 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

³正会員 修 (工) 東洋建設株式会社技術本部土木エンジニアリング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-43)

⁴正会員 博 (工) (株) 水圏科学コンサルタント (〒145-0064 東京都大田区上池台1-14-1 明伸ビル)

The locations and statistical characteristics of sea caves formed on the sea cliff composed of unconsolidated layers along the coastline in Hitachi City facing the Pacific Ocean were investigated through field observations. The number of large-scale sea caves reached 26, and their location and shapes were measured. This information is useful for considering the measures against the subsidence of ground surface over the sea caves. Maximum width, height and length of the sea caves were 20 m, 20 m and 30 m, respectively. The mean height, width and length were 5.4 m ($\sigma=4.1$ m), 9.3 m ($\sigma=5.2$ m) and 14.0 m ($\sigma=8.2$ m), respectively.

Key Words : Sea cave, statistical analysis, field observation, Hitachi City

1. まえがき

茨城県北部から福島県, および宮城県南部に至る海岸線には, 主に未固結の砂岩・泥岩からなる海蝕崖が続き, それらは波蝕により次第に後退してきた。その一例として, 宇多ら¹⁾は, 茨城県北部に位置する五浦海岸を対象として, 岩石海岸の浸蝕実態を現地調査によって調べた。これによれば海蝕崖の地層は砂岩・泥質砂岩, 凝灰岩, 泥岩などによって構成されていること, またこの海蝕崖の後退速度が1.1m/yr程度であることが明らかにされた。日立市沿岸も北茨城市の五浦海岸とよく似た条件にあり, 海岸線に沿って海蝕崖が伸び, 所々に規模の大きな海蝕洞を発達させている。これにより海岸線近傍の道路や住宅地の陥没, あるいは高波浪時に住宅地で振動が起こることなど, 実被害が生じているが, 海蝕洞の正確な場所や規模が特定されていないことから対策に苦慮しているのが実状であった。このことから, 本研究では日立市沿岸の海蝕崖に発達する海蝕洞について実測を行い, それらの特徴を調べた。この場合, 多くの海蝕洞はほぼ垂直に切り立った海蝕崖に発達していることから人が陸側から接近できず, 同様に多くの海蝕洞では海側に水深の小さい波蝕棚があり, かつ海蝕崖からの反射波があって船舶

の接近を拒むことから, 多くの海蝕洞ではそこへ接近すること自体が難しい。このことから, 本研究では, 日立市消防署のレスキュー隊員の全面的協力を仰ぎ, 隊員が海蝕洞へと接近することによって調査を可能とした。

2. 調査方法

海蝕洞の現地調査は, 図-1 に示すように太平洋に東面する日立市沿岸において, 2007年6月16日, 7月30日および8月7日の干潮時に実施した。垂直に近く, かつ海側から接近することができない海蝕崖の場合, レスキュー隊員がハシゴ車を利用して海蝕洞へ接近した。またハシゴ車は使えないが, 汀線側から海蝕洞に接近できる場所では, ウエットスーツを着用したレスキュー隊員が海岸線に沿って徒歩で海蝕洞に達し, メジャーを用いて海蝕洞の幅と高さを測定するとともに, レーザー測距儀を用いて奥行きを測定した。調査区域は北端の川尻海岸から, 南端の水木漁港海岸まで延長約20km区間である。これらのうち, 6地区で海蝕洞の発達が見られた。図-1には6地区の位置を示すが, 北から順に川尻, 日高(南静公園), 小木津, 田尻, 滑川, 水

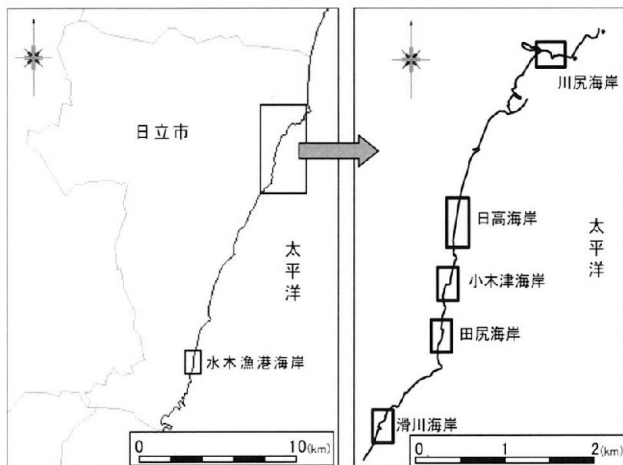


図-1 日立沿岸における海蝕洞調査地

表-1 海蝕洞の諸元

川尻海岸	K1	K2	K3	K4		
高さ(m)	3.4	4.0	3.0	5.0		
幅(m)	11.2	14.1	12.0	12.0		
奥行き(m)	10.8	7.9	5.0	10.0		
海蝕洞方位	N160.9° E	N105.4° W	N157.7° W	N162.4° W		
日高海岸	H1	H2	H3	H4	H5	
高さ(m)	3.0	1.0	8.0	5.0	5.5	
幅(m)	1.4	3.0	5.5	8.0	10.0	
奥行き(m)	7.0	8.0	26.0	27.0	8.5	
海蝕洞方位	N125.3° E	N129.8° E	N129.7° E	N108.5° E	N135.7° E	
小木津海岸	O1	O2	O3	O4	O5	
高さ(m)	5.5	3.2	2.4	7.0	慢食対策済	
幅(m)	7.0	2.2	0.6	3.4		
奥行き(m)	8.0	6.5	8.0	8.0		
海蝕洞方位	N162.2° E	N161.3° E	N163.2° E	N163° E	済	
田尻海岸	T1	T2	T3	T4	T5	
高さ(m)	1.5	14.0	6.0	慢食対策済	6.0	
幅(m)	14.0	20.0	5.6		18.5	
奥行き(m)	8.5	30.0	26.0		14.0	
海蝕洞方位	N137.1° E	N108.7° E	N146.1° E		N146.1° E	
滑川海岸	N1	N2	N3	N4	N5	N6
高さ(m)	2.5	2.5	3.5	6.0	20.0	3.5
幅(m)	15.0	8.5	8.5	9.0	16.0	6.0
奥行き(m)	17.5	10.0	12.5	10.0	25.5	30.0
海蝕洞方位	N141.4° E	N118.7° E	N88.3° E	N104.4° E	N104.3° E	N161.2° E
水木漁港海岸	M1					
高さ(m)	9.0					
幅(m)	11.0					
奥行き(m)	12.0					
海蝕洞方位	N46.2° E					

木漁港海岸である。表-1 に示すように、各地域における海蝕洞の箇所数は 4 (川尻)、5 (日高)、5 (小木津)、5 (田尻)、6 (滑川)、1 (水木漁港) で、全体では 26 箇所である。各海蝕洞は海岸名のイニシャルと番号で区別する。なお、海蝕崖はほとんどが凝灰質シルト岩(泥岩)でできている。

3. 個別海岸における海蝕洞の発達状況

図-2 は、川尻 (K) 海岸で見出された海蝕洞 K1～K4 の位置を示す。鶴ノ岬から南に連なる海蝕崖の南端部に海蝕洞がある。十王川が台地に沿って太平洋へ流れ込んでおり、この川沿いに海蝕崖が連なる。表-1 にはこれらの海蝕洞の高さ、幅、奥行きおよび海蝕洞方位をまとめて示す。ここに海蝕洞方位は図-3 の定義に従うものとし、N 軸基準で左回りの方向に海蝕洞が伸びる場合、海蝕洞を発達させた波の入射方向は $NX^{\circ} E$ となるので、この方向を海蝕洞方位とする。右回りに海蝕洞が伸びる場合には $NX^{\circ} W$ となる。川尻海岸の海蝕洞の上部はいずれも

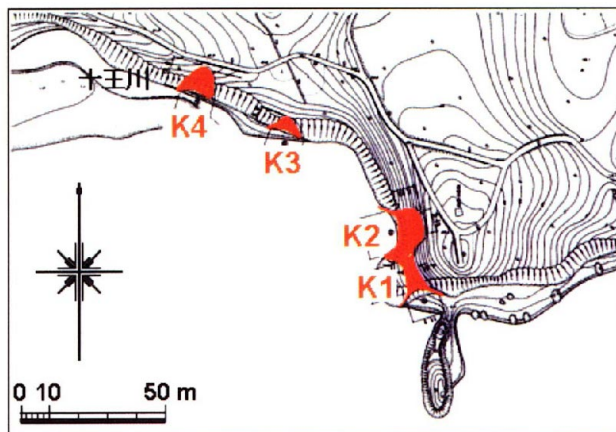


図-2 川尻 (K) 海岸で見出された海蝕洞 K1～K4 の位置

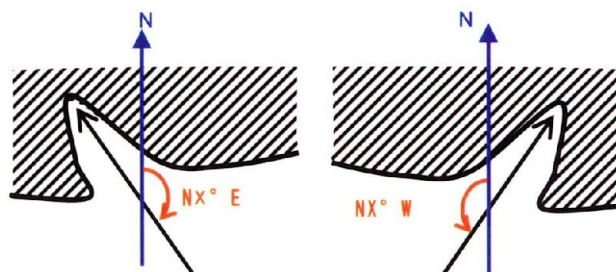
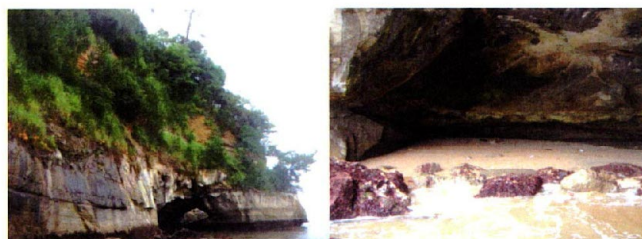


図-3 海蝕洞方位の定義



(a) 海蝕洞 K1

(b) 海蝕洞 K2



(a) 海蝕洞 K3

(b) 海蝕洞 K4

図-4 海蝕洞 K1～K4 の状況

小貝ヶ浜緑地であり松林で覆われている。海蝕洞は幅が 11.2～14.1m に対し、高さは 3～5m と低い。また奥行きは K3 が最も短く 5m であるが、K4 は 10m と高さの 2 倍もの長さを有している。さらに K1 は岬を貫通しており、奥行きは 10.8m である。

図-4 (a)～図-4 (d) は海蝕洞 K1～K4 の状況を示す。K1 では海蝕洞の東 (右) 側にはほぼ一定の高さのノッチが形成されている。K2 では海蝕洞の最奥部は細砂で埋っており、砂面と岩盤は鋭角状に交差している。K3、K4 では海蝕洞の前面に海蝕崖上部から崩落した岩石が見られるが、その周辺は細砂で覆われている。

日高 (H) 海岸 (南静公園) では 5 箇所海蝕洞が



図-5 海蝕洞H1～H5の位置

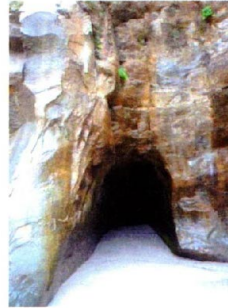
見出された。図-5には海蝕洞 H1～H5 の位置を示す。日高海岸では、海蝕崖前面に前浜があり通常の波浪条件では海蝕洞にまで波が作用せず、高潮位時のみ波が海蝕洞に作用する条件にある。表-1に示すように、海蝕洞の奥行きは H3, H4 がそれぞれ 26, 27m と大きく、とくに H4 は海岸線に沿って走る県道を横切って民地まで達している。また H3 は高さが 8m に対し奥行きが 26m もあり、楔状に陸深く入り込んでいる。H4 も同様であり、高さ 5m に対し奥行きが 27m もある。また日高海岸の海蝕洞は、その方位が平均的な海岸線への法線方向より右回りに傾き、南側からの高波浪の作用により形成されたことを示唆する。

図-6 (a)～図-6 (e)には海蝕洞 H1～H5 の状況を示す。H1 では節理に沿って海蝕洞が発達し、奥ほど高さが低くなって楔状をなしている。また海蝕洞の中は細砂で埋まっている。H1 は縦に長く横に狭いが、H2 は逆に縦に狭く横に広いという特徴を有する。ここでも海蝕洞は多数の節理がある部分で発達している。また水平な地層があるため、海蝕洞の上面は地層の分かれ目で制約されている。H3 は H1 の規模をより大きくしたような形状を有する。H1 と同様、海蝕洞内は細砂が詰まっている。H4 は図-5 に示したように、背後の県道を貫いて深く侵入した海蝕洞であるが、入口の幅は 8m と H1～H3 より大きい。現況では海蝕洞の前面には細砂が堆積し、堆積面が侵食されて浜崖が形成されている。H5 では海蝕崖の崩落が起きたばかりであり、地表面に生育していた松の倒木が見られる。

小木津 (0) 海岸では 6 箇所で見出された。図-7には海蝕洞 01～05 の位置を示す。海蝕洞



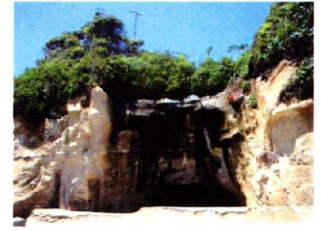
(a) 海蝕洞H1



(c) 海蝕洞H3



(b) 海蝕洞H2



(d) 海蝕洞H4



(e) 海蝕洞H5

図-6 海蝕洞H1～H5の状況

は三角形に突出した海蝕崖も北東面では見られず、南東に面した部分に集中的に形成されている。表-1に示すように、海蝕洞は奥行きが最も長いもので 8m と日高海岸の場合ほど長くない。小木津海岸では、いずれの海蝕洞も入口には直立護岸が設置され、海蝕洞の発達が抑制されていた。

図-8 (a)～図-8 (e)には海蝕洞 01～05 の状況を示す。01 では護岸背後に水が溜まり小規模な池ができています。海蝕洞の中央部の天井には縦に 5 本の節理が見られ、岩盤の弱点に沿って浸蝕が進んだことが分かる。また水面付近では磨耗作用を受けて岩盤が丸みを帯びている。02 では海蝕洞の最奥部に礫が集積している。このように海蝕洞の最奥部における礫の集積は、磨耗作用を増大させる可能性が高い。また海蝕洞の側面は一面穿孔貝に覆われている。一方 03 は節理に沿って幅が狭いものの奥行きが 8m と長い海蝕洞である。基部には直立護岸が設置されているが、護岸上部に開口部があるため、そこから波浪が侵入することができる。04 は小木津海岸で高さが最も高い海蝕洞で、鉛直に伸びた節理に沿って高さ 7m まで発達している。また海蝕洞の基部には高さの低い護岸が整備されている。一方、05 は直立護岸による侵食対策が行われているため海蝕洞状況は不明である。

田尻 (T) 海岸では 5 箇所で見出された。図-9には海蝕洞 T1～T5 の位置を、また表-1には海蝕洞の諸元を示す。田尻海岸での海蝕洞の軸は、T1 を除けば平均海岸線への法線方向より右回りの方向に傾いている。T4 は侵食対策が行われている

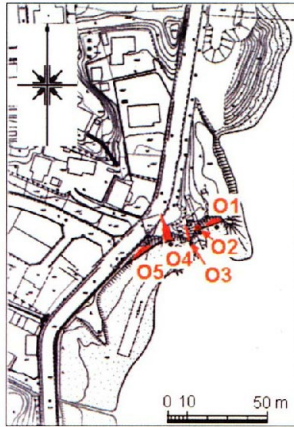


図-7 海蝕洞01～05の位置

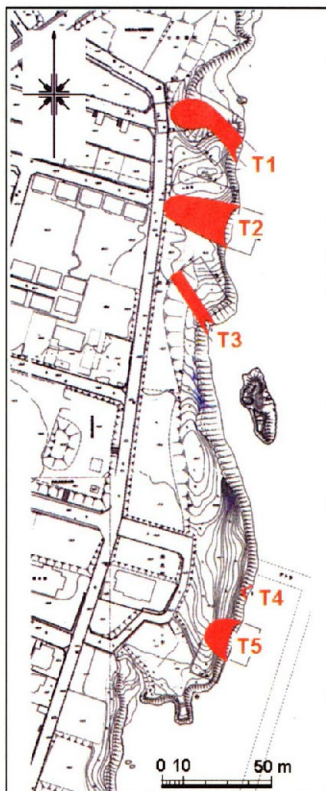


図-9 海蝕洞T1～T5の位置

ため除くと、T2 において奥行きが 30m と日立沿岸で最も奥行きが長い海蝕洞が形成され、先端が県道下まで到達している。同様に T1, T3 も県道近傍まで発達している。

図-10 (a) ～図-10 (e) には海蝕洞 T1～T5 の状況を示す。T1 は海蝕洞の正面には岩盤があるので侵食を受けにくいと見られるが、左側の岩盤を貫いて波が侵入していることから、正面は陥没穴と推定される。T2 は規模が最も大きな海蝕洞であるが、前面が海で、しかも連続的に海蝕崖が発達しているため接近が困難を極めた。T3 は入口が三角形状であり、高さが 6m、幅が 5.6m と狭いが、奥行きが 26m と非常に細長いのが特徴である。T4 は、海蝕洞前面に捨石層が並べられると同時に海蝕洞の入口は完全に塞がれていた。T5 は、海蝕洞の沖に直線状に消波



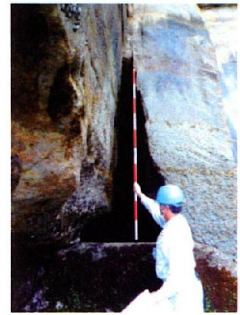
(a) 海蝕洞01



(b) 海蝕洞02



(e) 海蝕洞05



(c) 海蝕洞03



(d) 海蝕洞04

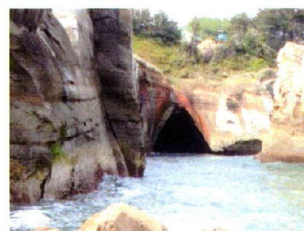
図-8 海蝕洞01～05の状況



(a) 海蝕洞T1



(b) 海蝕洞T2



(c) 海蝕洞T3



(d) 海蝕洞T4



(e) 海蝕洞T5

図-10 海蝕洞T1～T5の状況

堤が設置されている。

滑川 (N) 海岸では 6 箇所で海蝕洞が発見された。図-11 には海蝕洞 N1～N6 の位置を、また表-1 には

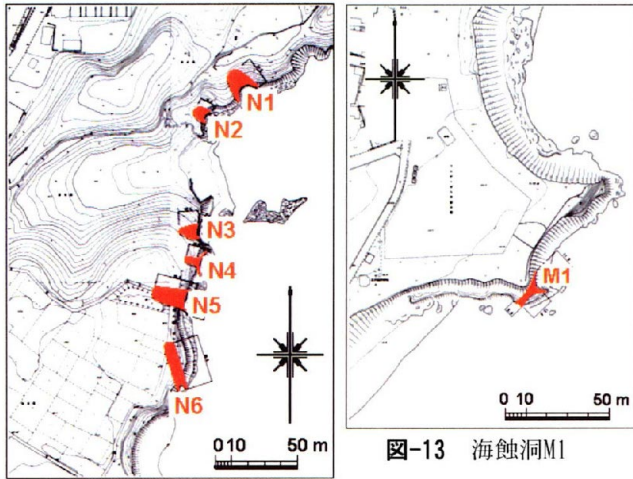
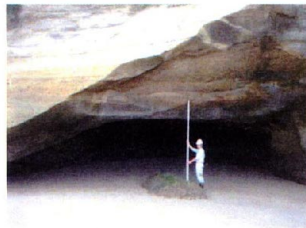


図-11 海蝕洞N1～N6の位置

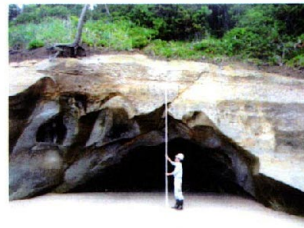
図-13 海蝕洞M1

海蝕洞の諸元を示す。大部分の海蝕洞は海蝕崖の東側側面にできているが、N6では海蝕崖の正面ではなく、南側から海蝕崖を掘り込んで海蝕洞が形成されている。滑川海岸の海蝕洞は奥行きが10m以上とかなり大きく、とくにN6では30mと斜め奥まで伸びている。またN5では幅が16mと広い。図-12(a)～図-12(f)には海蝕洞N1～N6の状況を示す。

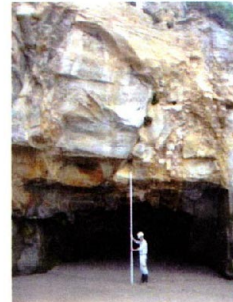
水木漁港(M)海岸では1箇所で見つかった。図-13にはこの海蝕洞M1の位置を、また表-1には海蝕洞の諸元を示す。



(a) 海蝕洞N1



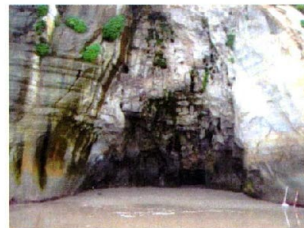
(b) 海蝕洞N2



(c) 海蝕洞N3



(d) 海蝕洞N4



(e) 海蝕洞N5



(f) 海蝕洞N6

図-12 海蝕洞N1～N6の状況

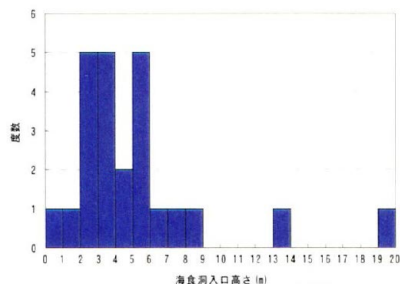


図-14 1m間隔で測った海蝕洞入口の高さの度数分布

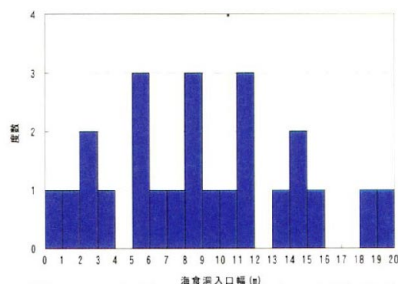


図-15 海蝕洞入口の幅の度数分布

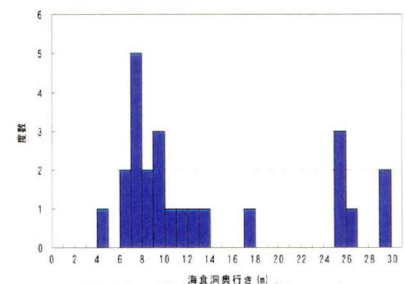


図-16 奥行きのはらつき

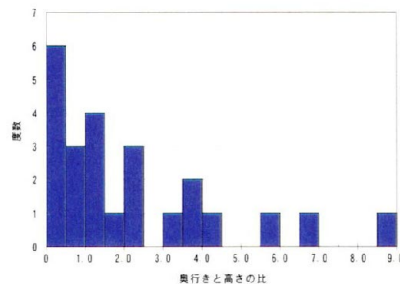


図-17 海蝕洞の奥行きと高さの比の度数分布

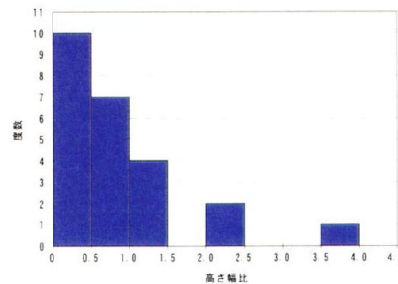


図-18 海蝕洞の幅を基準とした高さ幅比

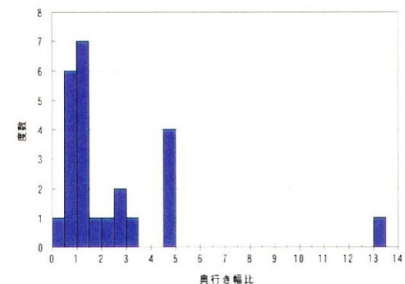


図-19 海蝕洞の奥行き幅比の度数分布

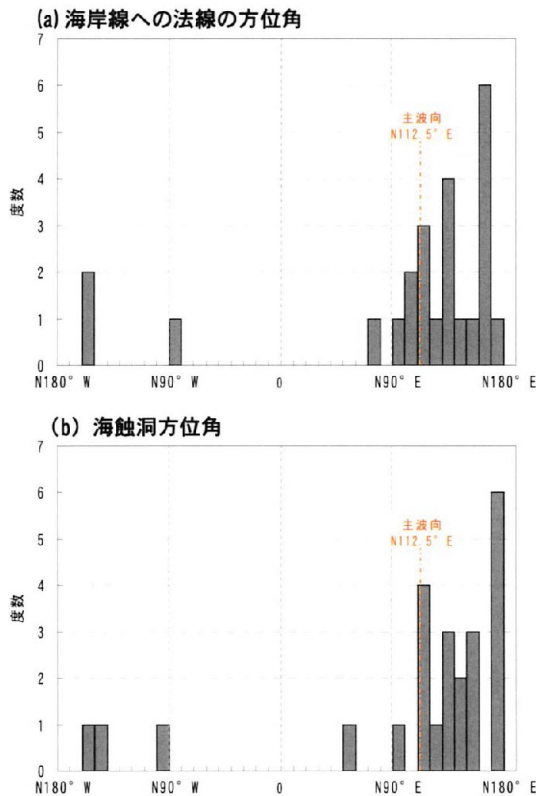


図-20 海岸線への法線の方位角と海蝕洞方位

4. 海蝕洞の統計的性質

日立沿岸で観察した 26 箇所の海蝕洞の個々の特性は表-1 に示したが、この表をもとに日立沿岸の海蝕洞の一般的特性について述べる。まず図-14 は、1m 間隔で測った海蝕洞入口の高さの度数分布である。最も高いのは 20m であるが、大部分は 10m 以下である。平均高さは 5.4m で標準偏差は 4.1m である。図-15 は海蝕洞入口の幅の度数分布を示す。幅は最小の 0.6m から最大 20m と高さと比較して分布幅が広い。平均値は 9.3m、標準偏差は 5.2m である。奥行きについては図-16 のようにばらつきが大きい。平均値は 14.0m、標準偏差は 8.2m であるが、8-9m と 26-27m に 2 つのピークがある。

海蝕洞の個別スケールは以上の通りであるが、海蝕洞の高さ、幅、奥行きの相互関係を調べるために、図-17 には奥行きと高さの比の度数分布を示す。奥行き高さ比は 0-0.5 の場合の度数が 6 と最大で、奥行き高さ比が大きくなると度数は単調に減少する。奥行き高さ比の平均値は 2.2 ± 2.2 である。同様に図-18 には海蝕洞の幅を基準とした高さ幅比を示す。この場合も高さ幅比が大きい場合度数は急速に減少する。高さ幅比の平均値は 0.88 ± 0.85 である。図-19 には海蝕洞の奥行き幅比の度数分布を示す。奥行き幅比はばらつきが大きく、13.5-14 に著しく大きな値もある。平均値は 2.47、標準偏差は 2.7 である。

26 箇所の海蝕洞について海蝕洞付近の海岸線に

対し法線を引き、海蝕洞方位と同様にして N 軸からの方向角を測定した。図-20 には海岸線への法線の方位角と海蝕洞方位をまとめて示す。これによれば海蝕洞方位は海岸線への法線の方位角と比例し、海蝕洞は平均海岸線とほぼ直角方向に発達していることが分かる。またこれらの図には山本ら²⁾および司代ら³⁾で述べられているように北茨城周辺での主波向 (ESE : N112.5° E) も示すが、海蝕洞は南側からの入射波の作用によって形成されたものが多いことが分かる。

5. まとめ

日立市沿岸の海蝕崖に形成された海蝕洞の特徴を日立市消防署のレスキュー隊員の協力を得て調査した。この結果以下の結果が得られた。

- ① 今回の調査により、日立市沿岸における規模の大きな海蝕洞が 26 箇所存在すること、またそれらの正確な場所と規模が特定された。これは今後の陥没の危険除去を行う際役立つ。
- ② これらの海蝕洞入口の最大幅は 20m、最大高さは 20m、最大奥行きは 30m であり、背後地を走る県道の下部まで達しているものがあつた。
- ③ 海蝕洞の平均高さは 5.4m ($\sigma=4.1$ m)、平均幅は 9.3m ($\sigma=5.2$ m)、平均奥行きは 14.0m ($\sigma=8.2$ m) である。海蝕洞の陥没対策の概略検討では、このような海蝕洞の規模を規定すればよい。
- ④ 海蝕洞方位は海岸線への法線の方位角と正比例の関係にあり、平均海岸線とほぼ直角方向に海蝕洞が発達している。また北茨城周辺での主波向 (ESE : N112.5° E) より南側からの入射波の作用によって形成されたものが多いことが分かった。

謝辞：本研究は通常接近できない場所での調査に日立市消防署のレスキュー隊員の協力得て初めて可能となった。日立市および日立市消防署にはこのことに対して深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明・山本幸次・砂村継夫・前原隆生：茨城県、五浦海岸(岩石海岸)の地形学的特徴について、海岸工学論文集、第 37 巻、pp.364-368, 1990.
- 2) 山本幸次・砂村継夫・宇多高明：重複波作用時における岩盤の割れ目内の圧力上昇に関する実験的研究、海岸工学論文集、第 37 巻、pp.314-318, 1990.
- 3) 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地形変化の現地観測、海岸工学論文集、第 44 巻、pp.656-660, 1997.