

内湾域における水遊び中の事故に関する現地調査

FIELD INVESTIGATIONS ON A FATAL SWIMMING ACCIDENT IN A SEAFRONT PARK IN TOKYO BAY

高橋重雄¹・姜 閔求²・奥平敦彦³・黒田豊和⁴

Shigeo TAKAHASHI, Yoon-Koo KANG, Atsuhiko OKUDAIRA and Toyokazu KURODA

¹正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部長 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³ 工修 シバタ工業株式会社 技術開発本部 (〒674-0082 明石市魚住町中尾1058)
(前, 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部)

⁴ 独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

A fatal swimming accident was occurred in an artificial beach in Tokyo Bay in July 30, 2000, where two elementary school children were killed due to relatively high waves in the bay. Field investigations including measurements of sea topography and numerical calculations to elucidate wave actions on the children on the beach were carried out. Large change in the water level due to a spring tide with a typical multiple bar-trough sea bottom topography is one of the reason of the accident.

Key Words : Sea bathing, rip current, marine recreation, swimming, beach accident, lifesaving, recreational beach, Kasai seafront park

1. まえがき

近年, 海水浴場など海辺で種々の活動を楽しむ人が増える傾向にあるが, 毎年多くの事故が報告されている. このような事故を少なくするため, 著者らはいくつかの研究を行っているが, 平成5年度からは海水浴の安全性調査を行っている(高橋ら, 1998, 1999). 例えば, 波高0.5~1 mという比較的小さ

い波によっても事故が発生することなどが分かっている. しかしながら, こうした波による事故は外洋に面した海浜で発生しており, 東京湾のような比較的に静穏と考えられている海浜での波による事故はあまり考えられていなかった.

2000年7月30日, 東京湾奥に位置する葛西海浜公園の西なぎさで水遊びをしていた子供たちが, 内湾としては比較的大きい波によって重大な事故にまき

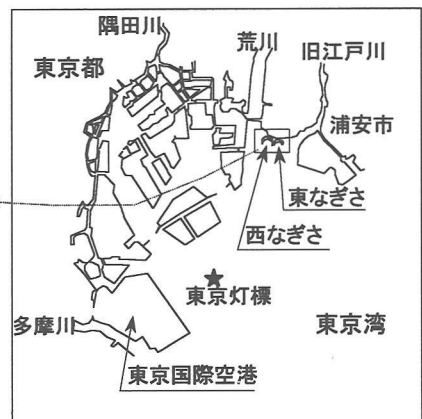


写真-1 葛西海浜公園の位置および状況と子供の発見場所

こまれた。

著者らはこうした事故の再発防止を目的として、その発生メカニズムを検討するため、事故当時の状況の把握および深淺測量などの調査を行っており、本論文はその概要を報告するものである。なお、当公園は海水浴場ではなく、遊泳は禁止されており、水遊び場として市民に解放されている。

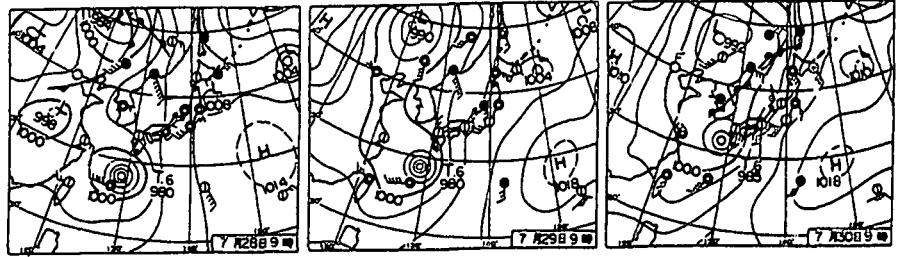


図-1 天気図（2000年7月28日～30日）

2. 事故の経緯と当日の気象および海象

(1) 事故経緯

葛西海浜公園は、干潟を保存し、あわせて都民に海辺のレクリエーションの場を提供するために、1980年から1989年までに整備されたものである。写真-1は、2001年3月27日干潮時に撮った航空写真であり、西なぎさと東なぎさを示している。両者はそれぞれ東西約1 km南北0.5 kmで突堤に囲まれたポケットビーチ状の海浜である。水遊び事故の発生した西なぎさは、潮干狩りや水遊びなどのレクリエーションや野鳥を始めとする自然の観察を行う海浜ゾーンである（エコポート（海域）技術推進会議、1999）。

事故は、2000年7月30日12時30～40分の間で発生したと考えられている。後掲の図-2によると、当日は大潮で、事故発生時は、10時20分の干潮（10 cm）から潮位が50～60 cmほどに上がっている上げ潮時であった。また、天候は晴れで暑く、夏休みの日曜日であったため多くの人々（13,000人）が訪れ、水遊びを楽しんでいた。当日、3人の小学生（A君8才、B君8才、C君7才）が葛西海浜公園の西なぎさの海に入って水遊び中、高波にさらわれ、B君は自力で浜へ戻り無事だったが、残念ながらA君とC君は死亡してしまった。なお、A君とC君の発見場所は写真-1に示してある。

(2) 事故当日の気象および海象

図-1は、7月28日～30日間の天気図である。全国的な気象攪乱としては台風6号があり、関東地方に影響をもたらしている。7月30日の葛西海浜公園における事故は、台風6号が日本海側を抜ける際に発生したものであり、当日の関東地方では強い風が吹いていた。

図-2は、葛西海浜公園から8 kmほど南に位置している東京灯標（写真-1）で観測した事故当日の(a)風の風速および風向、(b)潮位変動および(c)波浪の有義波の波高と周期を示したものである。

まず、同図(a)より、事故発生当時の風は、南風が13 m/s以上となっており、東京湾内としては非常

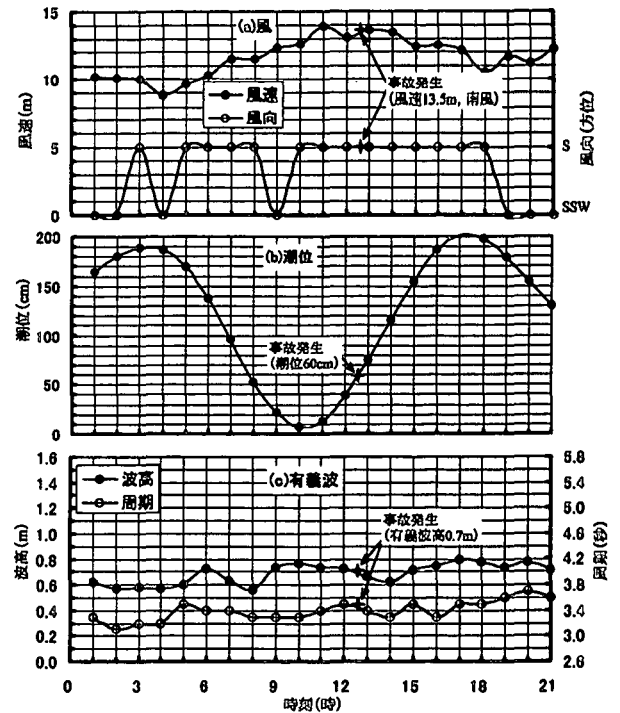


図-2 気象および海象状況（風、潮位、波浪）

に強い風である。ただし、西なぎさ内では突堤などの影響により、かなりの減衰があったと考えられる。同図(b)より、当日の干潮は10時20分ごろであり、事故の発生した12時30～40分の間では潮位が50～60 cm程度と推定される。同図(c)より、東京灯標では、事故発生3時間前から周期3.4秒、波高0.7 m以上の波が続いており、波数が1時間に1000波を越えることから、事故発生当時の最大波高は有義波高の1.8倍の1.2 m以上も考えられる。東京灯標における年間の平均有義波高は30 cm程度であり、この0.7 mの有義波は東京湾内で年数回程度発生する高波に相当する。なお、東京灯標と事故発生場所は8 kmほど離れているため、事故発生場所に来襲してくる波は、事故発生30分～1時間前の観測波に対応し、より発達していることも考えられる。

3. 現地踏査および深淺測量

(1) 調査内容

現地調査としては、事故直後の8月3日に現地踏査を行っており、8月28日と9月27日の大潮時に深浅測量を行った。なお、2001年3月27日の最干時と満潮時に空中写真の撮影も行っている。

深浅測量は、なぎさ橋の中央ラインを基準線とし、12本の測線（後掲の図-4参照）について行った。測量は、レーザー測距儀とプリズムを設けたポールを用いて行った。ただし、これは足が着く水深1.5m程度の範囲までであり、それより沖はボードにのって、水深をレッドで計測した。測線の間隔は、事故の発生した付近では40m間隔で、その他では、60mから90mにしている。

(2) 現地踏査の結果

a) 遠浅のバートラフ地形

踏査した8月3日は干潮が13時15分頃であり、潮位が23cmまで下がっている。この潮位では、海浜が非常に遠浅でしかもバーとトラフが4～5回も繰り返す特徴的な地形になっていることが分かった。写真-2は、事故発生推定場所の近傍の状況を東側突堤の先端から撮った写真である。事故現場付近は2本の杭付近でバーになっており、干潮時には海面上に現われる（同写真(a)）。干潮時に東側の突堤から陸続きになり容易に2本の杭付近に近づくことができ、なお海浜の休憩所前からも4つのバーとトラフを経てそこに達することができる。しかし、干潮から+10cm程度までの潮位となる時間は、干潮時の前後の1時間から1時間半、計2～3時間ほどであり、それを過ぎると急に潮位が上がって沖合のバーから次第に水中に没し（同写真(b)）、平均潮位（+114cm）を過ぎると汀線は急勾配となる前浜部に達する。この潮位ではバーはほとんど見えなくなる。

b) 流れ

踏査した日は波が小さく、事故当日の波の状況を類推することは困難であった。ただし、午前中の引き潮時には、沖の中央の杭付近で流れが沖向きに出ていた。流速の測定は困難であったが、0.1～0.3m/s程度と思われる。その場所の沖側では海上にゴミが集まっており、当日の弱い南風による吹送流でできた岸側の流れとこの沖側の流れがぶつかっていたと思われる。

なお、事故当日救助作業を行ったダイバーの証言によると、当時は風が強かったため表層では、岸向きの吹送流が発生しており、下層では沖向きの流れがあったようである。

c) 水遊び

葛西海浜公園を利用するのは若い家族が多く、小さな子供を遊ばせることも多い。当日も小学生以下の子供が多く、ほとんどが急勾配の前浜部付近で遊んでおり、干潮時にもその付近に残った水場で遊んでいる（写真-3）。ただし、干潮時には沖側先端あるいはその一つ岸側のバー付近で遊ぶ人々も見られた（写真-4）。踏査した日には、10分間に1度くらい警告のアナウンスメントがあり、先端のバーより

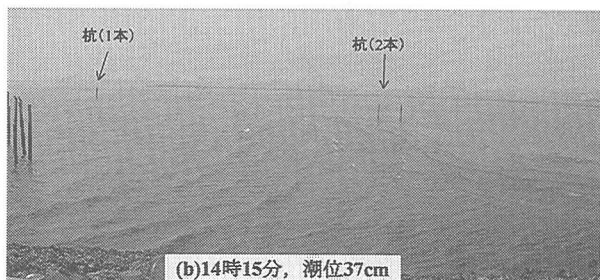
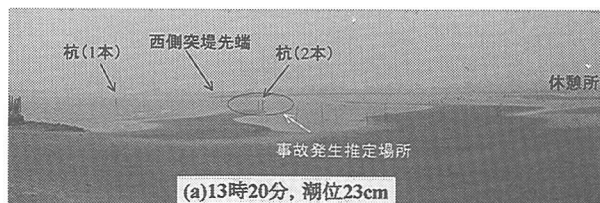


写真-2 潮位変動にともなう事故発生推定場所近傍の状況（東側突堤の先端からみた状況，8月3日）



写真-3 水溜まり場で遊ぶ子供たち（8月3日，13:00，潮位23cm）



写真-4 最先端のバー付近で遊ぶ人々（8月3日，12:58，潮位:23cm）

沖側に出る人は少なかったが、警告がなければ、そこまで行くことは容易に考えられる。特に利用者が多い場合には、混雑を避けて沖側に出て遊ぶことは十分考えられる。

(3) 深浅測量の結果

図-3は事故が発生したと考えられている測線L5からL7の岸沖断面地形を示したものである。横軸は汀

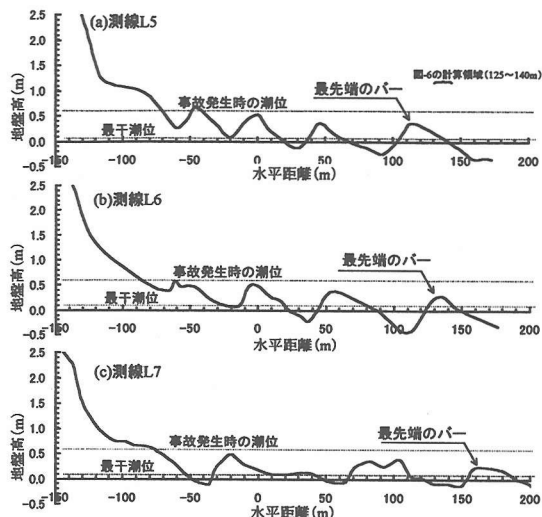


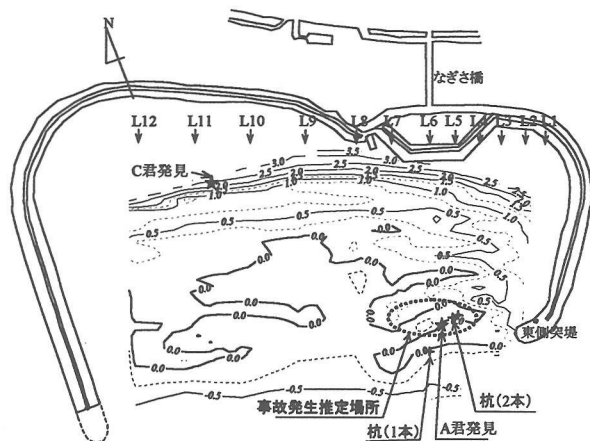
図-3 岸沖断面地形 ((a)L5, (b)L6, (c)L7)

線に直角方向を示し、縦軸がCDL上の高さ(深さ)であり、事故発生時の水深を同時に示している。なお東京湾のH. W. L. は2.2mである。

測線L5からL7の先端のバー付近で事故が発生したと考えられているが、この付近は踏査でも分かっていたようにバーとトラフが顕著である。後浜(休憩所下の平坦な砂浜)が+3m以上であり、そこから+1mまで急に下がる急勾配の前浜部(1/10から1/20の勾配)があり、やや平坦なステップからバーとトラフが繰り返す海底地形となっている。先端付近ではバーとバーの間隔が40~80m、高低差が50~100cmである。

例えば測線L5では、事故が発生したと思われる最先端のバーはその頂部が+40cmで沖側に1/30~1/60ほどの勾配で-30cmまで下がり、そこから40mほどやや平坦なステップ上の地形となり、そこから1/50程度の勾配で深くなっている。この最先端のバーは、当日の干潮時で水面より30cmほど高くなっており、潮位40cm(12時)まではみえる。それから3,40分後の事故の発生した時はバーの頂部でも水深が20~30cmとなって、8歳の子供の場合、ひざの付近まで水位がくると思われる。なお、測線L6やL7からも分かるように、西側になるほどバーは沖側に移動し、その頂部の高さはL. W. L. 程度、あるいはそれ以下となっている。

図-4は、測量結果から全体の深浅図を求めたものであり、C. D. L. 上の高さ(深さ)で表しており、図中のL1~L12は深浅測量の測線番号である。全体的には、この海岸の中央部が深く、両突堤側で浅くなっている。また、今回の測量では明確ではないが、沖側には浚渫で深くなっている場所があり、それに向かって全体的に急に深くなっている。全体的に図-3で述べたバートラフ地形であるが、中央はやや深く、バー・トラフ地形が顕著ではなく、西側は平坦なステップ上の地形が長いのが特徴であるが、先端部はやはりバー・トラフとなっている。こうした



4. 波の変形

(1) 数値計算による砕波

図-4に示した地形形状における波の伝播、とくに砕波による流速等について、VOF法による数値計算（磯部ら，1999）を行った。

図-5(a) (b) (c)は、波高 H が40cm、60cmそして80cmの波が入射した場合における、波の伝播を示すものであり、測線L5の海底形状について沖側先端のバーとその前のステップ上の地形について計算を行っている。

入射波高が40cmでは、水深が70cm程度の斜面前部で砕け始め、水深が40cm程度のところでも40cm以上の波高となっている。入射波高が60cmでは水深80cmの前面ステップのところで砕け、70cm程度の波高になっており、水深40cmでも40cm程度の波高となっている。入射波高が80cmでは、計算造波境界ですでに砕波しておりステップの前の斜面で砕波し、水深40cmのバーの斜面では20cmの波高とかえって小さくなっている。

図-6は、図-5と同様に、入射波高40cmの波が測線L5の最先端バーの頂部から沖側27mから12mまで（区間140m～125m、水深で約50cmから30cm）のところで砕波する様子である。水深が45cm付近で波が砕け、波の峰の高さは静水面上55cmとなり波高もほぼ60cmとなっている。こうした波が人に作用すると波面の衝突によって衝撃的な力となり危険である。図には速度ベクトルが示してあるが、流速も1m/sを超えるものが出ており、また砕波後には海底面に向かう渦が認められ、巻き込まれる危険性がある。

(2) 砕波限界波高とその波峰高

バーは潜堤の形状となり、来襲してくる波はバー上か、あるいはそれより沖で砕波し、ボア状になって岸向きの早い流速を引き起こすと考えられる。

図-7は、L5、L6およびL7の地形に対して最先端バーの付近の海底地形と図表から求めた砕波限界波高とその波峰高を示したものである。周期3.4秒の波が浅水変形をし、事故発生地点に到達したときの砕波限界波高とその峰高を合田の砕波指標（合田，1970）より求めている。なお、図中の Y_b は、各地点における最大水深になる。

まず、L5に対して砕波限界波高はバー頂部で20cmと小さいが、バー沖の斜面上（水深20～90cm）では20～70cmとなる。また、そのときの最大水深（ Y_b ）は50～150cmとなり、身長120cmほどの小学生の身長を超えところもある。また、砕波限界波高からみると、観測されている入射波の有義波高は70cmであるため、かなりの数の波はバーの沖でも砕波し、

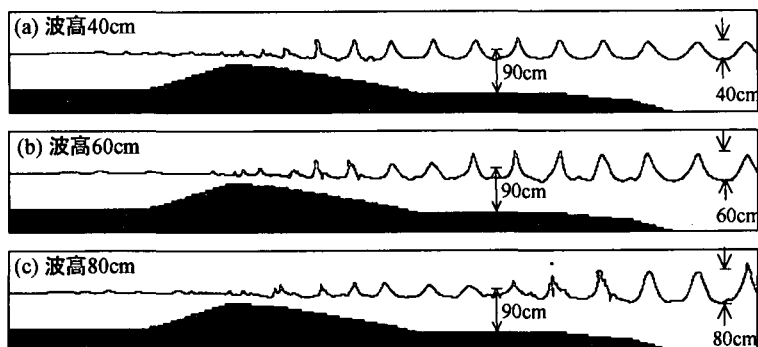


図-5 最先端バー近傍における空間波形（測線L5，周期3.4秒）

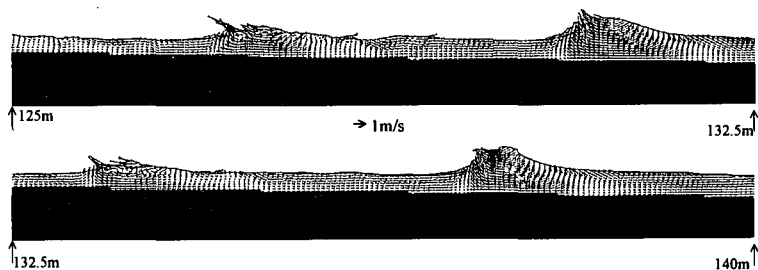


図-6 測線L5におけるVOFによる砕波変形計算（計算条件：沖合波高40cm，周期3.4秒；計算区間125m～140m）

バー上でほとんどの波が砕波していると思われる。

なお、L6やL7上ではL5より水深が大きくなり、バー頂部でもさらに大きな波高で砕波し、峰高もさらに大きくなることが分かる。

5. 事故発生に対する考察

(1) 流速と転倒

事故が砕波による速い流れによって生じたとする、子供の場合、膝ほどの水深でどの程度の流速までに耐えるかを明らかにする必要がある。こうした実験データはほとんどないが、定常流による実験では、身長180cmほどの大人の場合、例えば水深60cmであると流速が120cm/sであれば転倒すると報告されている（高橋ら，1992）。フルードの相似則が成り立つとすれば、例えば身長が120cmの子供の場合、水深40cmで流速が100cm/sで転倒する危険性がある。もちろん、事故が砕波によって起こされたとすれば、砕波による水塊の衝突によって砕波に巻き込まれて転倒し、流される場合も想定される。外海に面した海水浴場での経験では、波高がその人の身長程度であると波に巻き込まれる危険性があると思われる。

(2) 事故状況の検討

以上の気象・海象状況等から事故発生について推測してみる。まず、事故に巻き込まれた子供たちはおそらく干潮時に最先端のバーまで歩いていって、砂堀や水遊びをしていたと思われる。潮位が10～

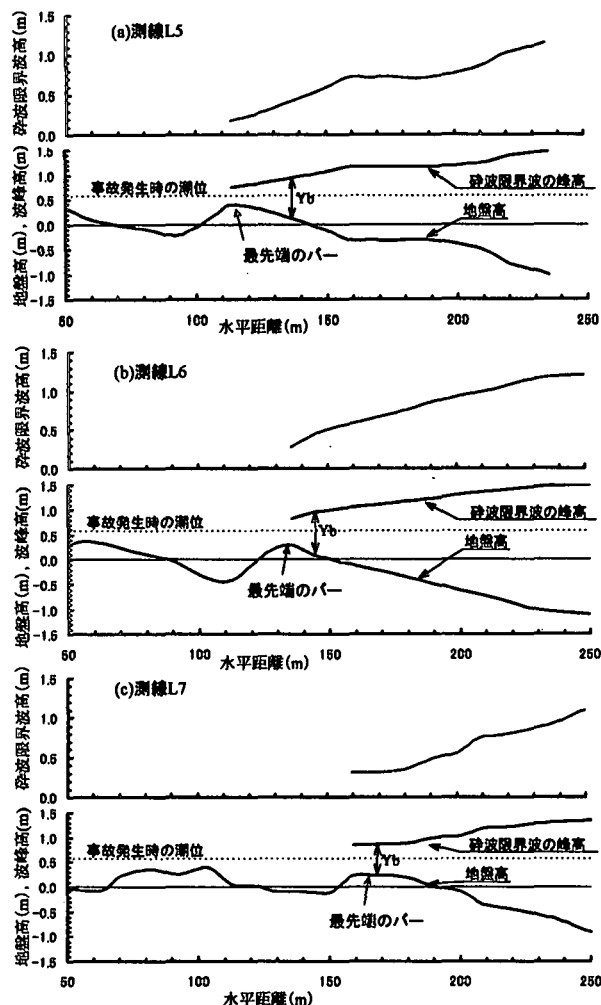


図-7 最先端バーの沖側における砕波限界波高とその波峰高（計算条件：勾配1/30，沖換算波長18m）

20cmの場合，比較的大きな波はバーのかなり沖で砕波しているため，波等に巻き込まれる危険性は少ない。しかし，事故の発生した12時30～40分頃，潮位が徐々に上がって50～60cmとなると，バーでの頂部でも水深が20～30cmになり，バー付近かやや沖で大きな波が砕波するようになる。

砕波の数値計算では，バー斜面の水深50cmのところにいると，60cmの波高の波が砕け，その波に巻かれる危険性があることが分かった。この場合は，ここでおぼれてそのまま沖側に引き込まれたか，そこで次々に砕ける波によってトラフまで運ばれたと考えられる。トラフまで流されたとすると，そこにはトラフ地形に沿った流れがあり，それによって中央付近まで流されたと考えられる。C君は，風による流れ（吹送流）によってさらに流され，海岸の砂浜上まで運ばれたと考えられる。

また，L7の地形のようにバーの天端が低い場合には，ここで砕ける波によって巻き込まれ，そのまま背後のトラフに運ばれておぼれたと考えることもできる。

6. あとがき

東京湾奥に位置する葛西海浜公園の西なぎさで発生した水遊び事故について，現地調査等を行い，事故発生に対する考察を行った。必ずしも十分な調査ではなく，事故時に近い波浪および流れ条件での調査など，さらなる検討が必要である。ただし，葛西海浜公園のような多段のバーとトラフ地形をしている特殊な海底地形では，潮位によっては危険な場所があり，湾内の波浪であっても，小さな子供にとって危険な場合があることに注意する必要がある。

葛西海浜公園では，事故防止のさらなる対策として測量結果などを基に，図-4で示した沖から2番目のバーに杭を打って特に危険な区域を明示している。また，地形や潮位の特徴，あるいは遊泳時の注意点などについて利用者に啓蒙をはかる事を計画している。

謝辞：現地調査と観測データの収集にあたり，財）東京港埠頭公社東部公園管理事務所葛西海浜公園 柴田幸夫管理係長，川船安吉管理係に御協力を得ている。また，東京都港湾局東京港防災事務所緑地課 氏家幹雄課長補佐，山口 正主事，東京都港湾局港湾整備部技術管理課 樋口友行調査係には波浪・潮位等のデータについて情報を提供して頂いている。また，日本ライフセービング協会 小林雅彦一元事務局長，他多数のライフセーバーには深淺測量にあたり御協力を得ている。なお，本研究の実施にあたり，独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 耐波研究室 下迫健一郎室長，海洋・水工部 鈴木高二朗主任研究官から貴重な御助言を頂いている。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 磯部雅彦，高橋重雄，余 錫平，榊山 勉，藤間功司，川崎浩司，将 勤，秋山 実，大山洋志：数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究－VOF法基本プログラムの作成－，海洋開発論文集，第15巻，pp. 321-326，1999。
- 2) エコポート（海域）技術推進会議：自然と生物にやさしい海域創造事例集，財）港湾空間高度化センター，pp. 29-34，1999。
- 3) 合田良実：砕波指標の整理について，土木学会論文報告集，第180号，pp. 39-49，1970。
- 4) 高橋重雄，遠藤仁彦，室善一朗：越波時における防波堤上の人の転倒に関する研究－親水性港湾構造物に関する水工学的研究（第2報）－，港湾技術研究所報告，第31巻，第4号，pp. 3-31，1992。
- 5) 高橋重雄，常数浩二，鈴木高二朗，成瀬 進，土棚 毅，池田義紀：海水浴中の重大事故事例に関する一調査，海岸工学論文集，第45巻，pp. 1211-1215，1998。
- 6) 高橋重雄，常数浩二，鈴木高二朗，西田仁志，土棚 毅，小林雅彦，小沢保臣：離岸流にともなう海水浴中の事故発生に関する一考察，海洋開発論文集，第15巻，pp. 743-748，1999。