

水難事故防止のための静岡海岸付近の波浪および流況特性の把握

水圏防災工学研究室 四家 哲人

指導教員 犬飼 直之

1. 研究背景

2018年8月22日-23日に静岡県静岡市高松の大谷海岸において、大学生3名が沖に流される事故が発生した。事故は23日6時に通報を受け明らかになった。被害者は22日23時に砂浜で遊んでいたことが確認されている。大谷海岸の波浪・流況特性を分析することで、今回の事故の発生メカニズムを明らかにし、海難事故の未然防止へ寄与することを本研究の目的とする。



図 1-1 大谷海岸位置図

2. 事故発生時の検証

2.1 事故発生場所および事故発生状況

報道によると¹⁾、事故発生海岸は図 1-1 及び図 2-1 に示す静岡市高松海岸で、23日午前6過ぎに図-2 内ベンチに3人分の荷物が置かれたままになっているのを通行人が発見し110番通報した。その後、23日から26日にかけて駿河湾内で不明者3名は発見された。目撃証言などから推測すると、事故は22日22時頃から3時くらいの間には発生したと考えられる。

また、現場海岸は離岸堤が複数設置された海岸であるが、現場付近は2つの離岸堤の中

間に位置し、入射した波浪は減衰せずに海岸へ入射する場所であった。



図 2-1 事故発生海岸の衛星写真(Google Earth)

2.2 気象状況

海岸情報管理システム²⁾より、2018年8月1ヶ月間の平均の有義波は1.2mなのに対し、事故が発生した22日-23日の平均は2.6mと2倍以上になっているのがわかる。原因としては台風20号が接近していたためだと考えられる。

2.3 海象

現場海岸から東方へ約2kmに位置する波浪観測所³⁾(図 1-1)によると、推定される事故発生時間における波浪は、有義波高は2.5m程度、最大波高は3.5m程度であった。また、有義波周期は11秒程度であった。この波浪状態は翌23日の捜索活動時も同様に継続していた。

2.4 報道映像による現場の波浪状況及び事故時の波浪の推定

写真-1に示すように、8月23日13時15分の報道の映像¹⁾によると、遡上した波浪は荷

物が置かれていたベンチのすぐ下まで波が遡上した痕跡がある。図 2-2 及び図 2-3 より、推定事故発生時間から 23 日の日中にかけて、波浪状況はほぼ一定であったので、事故発生時も同様な波浪状況であったと考えられる。これより、最大波時には遡上波浪がベンチ下まで到達していたと考えられる。



写真-1 波浪の遡上状況 (2018年8月23日 13時15分頃, 朝日デジタル)

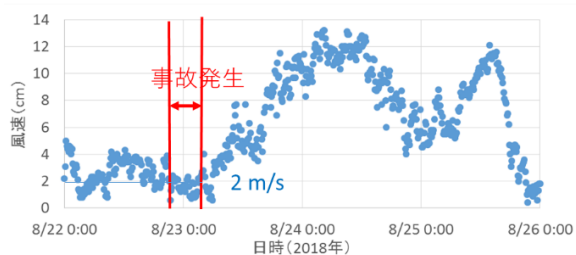


図 2-2 事故発生日前後の風速の時間変化 (2018年8月22日～26日, 静岡海岸情報管理システム²⁾)

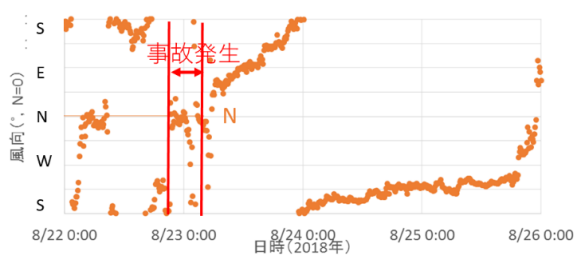


図 2-3 事故発生日前後の風向の時間変化 (2018年8月22日～26日, 静岡海岸情報管理システム²⁾)

2.5 事故時の遡上波浪状況の把握

2.5.1 鉛直 2 次元数値計算

今回 CADMAS-SURF 2D を用いて計算を行った。計算条件は有義波で波高 2.9m, 周

期 12.0s, 最高波で波高 5.2m, 周期 13.0s とした。計算の結果有義波で 68m, 最高波で 81m 波が遡上していたことがわかった。

計算結果を図 2-4, 図 2-5 に示す。図はそれぞれ上図に水位変動, 下図に流速を示す。

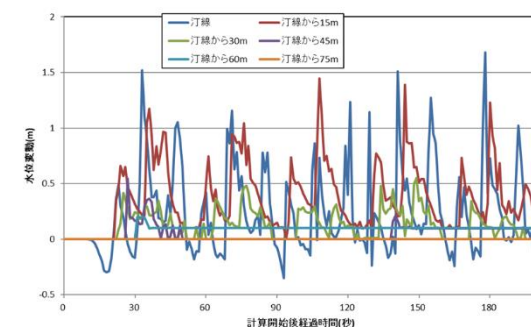
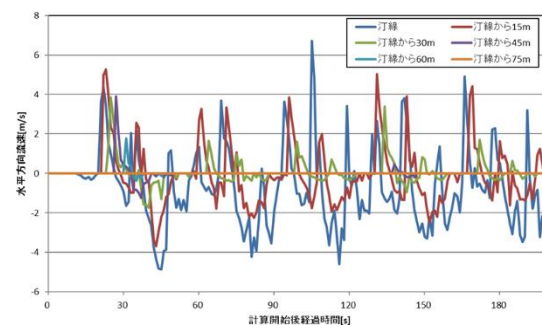


図 2-4 有義波計算結果

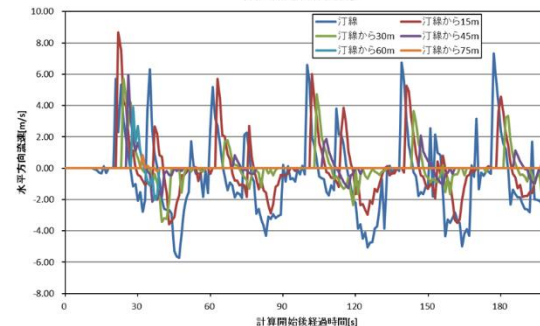
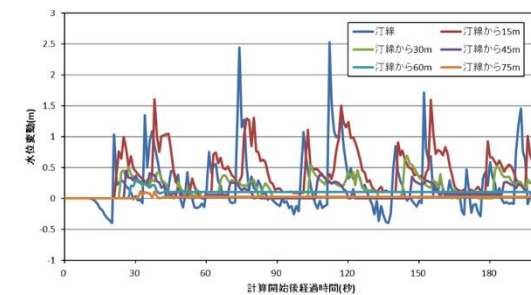


図 2-5 最高波計算結果

2.6 計算結果の妥当性の検証

Hunt の式³⁾を用いて遡上距離の計算をしたところ、有義波で 64m、最高波で 81m だった。また、事故時の報道写真から、ベンチ付近まで波が遡上していたことがわかっている。以上のことから、計算結果が妥当であるとわかる。

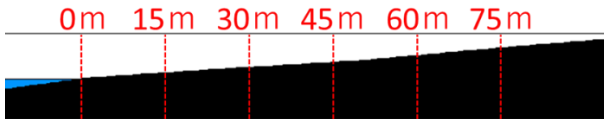


図 2-6 汀線からベンチ前までの地形及び距離（ベンチまで 75m）

2.7 危険度の判別

高橋ら⁴⁾の研究により、水位 0.5m で転倒の恐れがあることがわかっている。また、石垣ら⁵⁾の研究により水深 0.3m 程度では流速 2.8m/s 以上に達すると避難が困難であることがわかっている。今回はこの 2 つの指標を使って危険度の判定を行った。

2.8 事故発生時の危険度の判定

2.7 の指標を用いて判定を行ったところ、有義波において、汀線から 53m 地点で転倒の可能性が高く、汀線から 58m 地点で避難困難、最高波において汀線から 55m 地点で転倒の可能性が高く、汀線から 64m 地点で避難困難であることがわかった。

3. 調査時の検証

3.1 現地調査概要

2019年8月19日に現地調査を実施した。調査時の波浪状況時における汀線付近での波浪挙動や遡上波浪の挙動を把握し、人体への影響を把握した。調査は水難学会事故調査委員会メンバーが作業を行った。

3.2 現地調査日の気象及び海象状況

3.2.1 気象

図 3-1 に調査時である 2019 年 8 月 19 日 12 時の天気図を示す。当日は静岡県の太平洋沖合には高気圧が位置しており、天候は晴れ。現場付近の静岡の観測データ²⁾によると、風速は 3m/s 前後であり、13 時に 32.8℃の最高気温となった。また、降雨量はゼロであった。

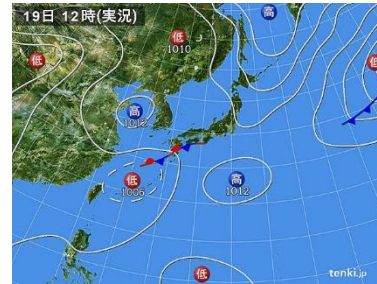


図 3-1 現地調査日天気図（2019年8月19日12時）

3.2.2 海象

図 3-2 に調査日の静岡海岸波浪観測所における有義波高及び最大波高の時間変化を示す。図より、調査時間帯の有義波高は午前中に 1.5m 程度であったが、12 時以降に 0.8m 程度まで低下した。また、最大波高は午前中に 1.7m 程度であったが、午後からは 1.3-1.5m 程度となった。

この日の波浪状況は 2018, 2019 年 8 月の平均的な波浪状況と大きな差はなく平穏な波浪状況であった。

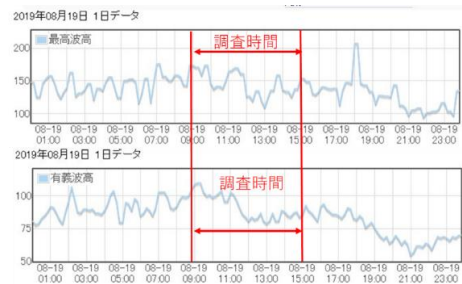


図 3-2 静岡海岸の有義波高及び最大波高の時間変化（2019年8月19日1時～23時）

3.3 海岸の岸沖方向の水深変化

海岸内陸部から汀線までの岸沖方向への地形変化を現場付近で把握した。しかし、調査時には汀線付近では碎波の挙動が激しく水深を計測することができなかった。よって、静岡県土木事務所から2018年6月の安部川河口深浅図を提供していただき、事故現場付近の岸沖方向の地形変化を把握すると共に、現地調査で測量図と同じ測線の地形変化を把握した。

図3-3に示す深浅図ではNo.48の測線が現場海岸であった。その結果、測量日と調査日の砂浜の地形変化はほぼ同様であることから、地形には変化がないとして、汀線から沖側の水中の地形変化は深浅測量図の結果を使用する事とした。

また、図より、汀線を境に陸上側の前浜勾配では1/10程度であり、汀線から海側の水底勾配では1/7.3程度となっている。

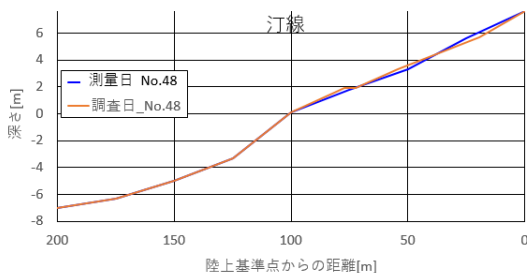


図 3-3 現場付近の岸沖方向の地形変化

3.4 波浪状況把握実験

3.4.1 砂浜上での遡上波浪の挙動把握の実験方法

今回の事故は砂浜を遡上する波浪に流されたことが原因であると考えられることから、調査日における波浪状況での遡上波浪の挙動を把握する事を試みた。具体的には、遡上波浪が挙動する砂浜上に被験者が立ち、遡上波浪による被験者の挙動を動画で記録した。実

験に際しては、水難からのサバイバルを専門に訓練した水難学会統括指導員が行った。

3.4.2 転倒実験及び転倒後の挙動

波浪は不規則波である為に、有義波や最大波が混在して到来する事より、時々波浪が顕著に増大することがある。

もし低波浪時に波打ち際まで接近していたと仮定すると、その後に最大波浪に近い大波浪が到来すると、遡上波浪の水厚は大きくなり更に大流速となる事が考えられ、それにより転倒してしまうと考えられる。

実際に、調査時には写真-2のような波浪が継続した後に、約3分間隔程度で写真-4のような大きな波浪が到来した。また、この大きな波浪は毎回5-6波連続して到来した。

写真-2～6に実験時の様子を示す。

写真-2は平均的な波浪が汀線へ到来している際の碎波状況である。被験者はこの波浪時の波うち際まで接近している。写真-3は、遡上波浪が被験者を通過し遡上する様子を示す。被験者は遡上波浪の水厚が膝下程度である。写真-4は最大波と思われる波浪が碎波している状況である。写真-2の平均的な波浪の碎波時よりも碎波波高が増大している。写真-5は最大波と思われる遡上波浪で被験者が転倒する様子である。被験者を通過する際の水厚は被験者の腰上程度まで増大している。写真-6は最大波と思われる遡上波浪の到達場所の様子である。平均的と思われる波浪時よりも大きく陸側へ遡上した。

遡上波浪は遡上した後、今度は汀線方向へ流下を開始する。その場合、もし被験者の転倒場所での水厚及び流速が大きい場合には、被験者は汀線方向まで流出してしまう。



写真-2 平均的な波浪の砕波状況 (2019年8月19日12時40分頃)



写真-5 最大波と思われる遡上波浪で転倒 (2019年8月19日12時41分頃)



写真-3 平均的な波浪の遡上状況 (2019年8月19日12時40分頃)



写真-6 最大波と思われる波浪の遡上上限 (2019年8月19日12時41分頃)



写真-4 最大波と思われる波浪砕波状況 (水位: 0.89m, 流速 2.36m/s, 2019年8月19日12時41分頃)

3.4.3 転倒後砕波帯からの脱出実験 (汀線付近での砕波波浪と遡上波浪の挙動把握)

遡上波浪で転倒し、汀線方向への戻り流れで汀線まで流出した場合、そこから陸側へ再度戻らなければならない。そのためには汀線付近での波浪の挙動を把握しておく必要がある。

ここでは被験者が汀線上の砕波帯に入り、そこから脱出する際の砕波波浪や遡上波浪の挙動を把握した。

写真-7～10に、実験時の波浪の挙動を示す。

写真-7では被験者は汀線付近にいる。被験者の上部へ覆い被さるように砕波波浪が汀線へ到達し、波浪が砂浜上を遡上開始している状況である。写真-8は、砕波後の波浪が砂浜場を遡上している状況である。この場合、被験者は遡上波浪の挙動と一緒に陸側へ移動し

ている。写真-9は波浪が遡上後、汀線方向へ流下している状況である。被験者は汀線方向への戻り流れに流され、汀線方向へ流下している。写真-10は次の波浪が汀線付近へ到達し砕波している状況である。被験者は汀線付近まで流出しており、砕波波浪が被験者の上部へ覆い被さるように汀線へ到達している。

以上より、流下する戻り流れの水厚及び流速が大きい場合、これらの波浪の一連の挙動から抜け出すのは困難な状況となる。また、波浪や前浜の条件によっては、砕波波浪が汀線へ到達するタイミングでも戻り流れが汀線付近へ流入しているタイミングとなっている可能性もあると考えられ、この場合には、砕波帯付近から陸側へ抜け出すのは更に困難な状況となると考えられる。



写真-7 最大波と思われる波浪時の砕波状況 (2019年8月19日12時46分頃)



写真-8 最大波と思われる波浪時の遡上状況 (2019年8月19日12時46分頃)



写真-9 最大波と思われる波浪時の遡上後流下状況 (2019年8月19日12時46分頃)



写真-10 最大波と思われる波浪時の砕波状況 (2019年8月19日12時46分頃)

3.5 調査時の遡上波浪状況の把握

3.5.1 鉛直2次元数値計算

今回 CADMAS-SURF 2D を用いて計算を行った。計算条件は有義波で波高 0.8m, 周期 7.6s, 最高波で波高 2.0m, 周期 9.1s とした。計算結果を図に示す。図はそれぞれ上図に水位変動, 下図に流速を示す。

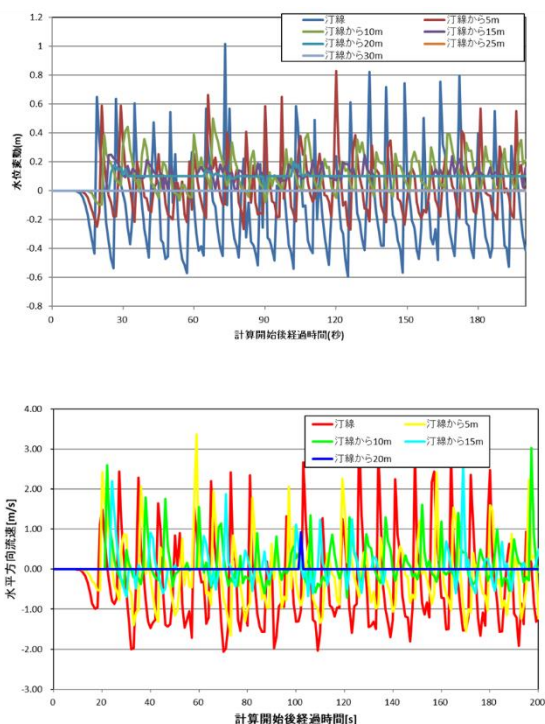


図 3-4 有義波計算結果

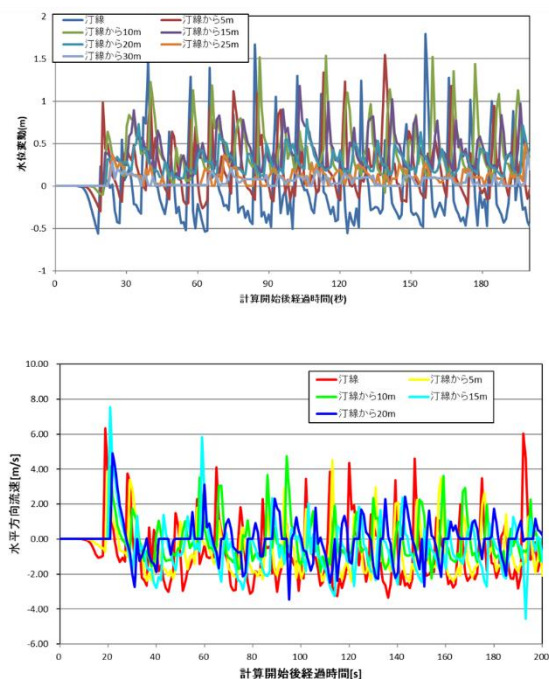


図 3-5 最高波計算結果

3.6 調査時の危険度判定

2.7 の指標を用いて判定を行ったところ、有義波において、汀線から 11m 点で転倒の可能性が高く、汀線から 13m 地点で避難困難、最高波において汀線から 24m 地点

で転倒の可能性が高く、汀線から 30m 地点で避難困難であることがわかった。

4. 事故発生危険度の高い波浪状況の検討

4.1 計算条件

2018, 2019 年 8 月の波高, 周期出現度より波高 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 周期 5.5s, 6.5s, 7.5s, 8.5s の組み合わせ計 16 パターンで計算を行った。

4.2 計算結果

表 4-1 はから汀線から 5m 地点, 汀線から 10m 地点, 汀線から 15m 地点での計算の結果である。色分けは以下の様になっている。

橙色：子供膝丈

黄色：避難困難

赤色：転倒の危険性が高い

計算の結果波高 1.5m を越えると事故発生の危険性が高いことがわかった。現在の警報発令の整備状況は、注意報, 有義波高 3.0m, 警報, 有義波高 6.0m であり計算結果の 2 倍以上の波高でなければ注意報は発令されない。

表 4-1 計算結果

		周期			
		5.5	6.5	7.5	8.5
有義波高 [m]	0.5	0.18(0.38)	0.22(0.72)	0.26(1.77)	0.25(2.37)
	1.0	0.41(3.81)	0.3(5.1)	0.51(2.59)	0.54(3.15)
	1.5	0.59(2.62)	0.46(4.07)	0.7(4.36)	0.99(6.34)
	2.0	0.65(3.89)	0.6(5.11)	0.79(4.76)	1.1(4.92)
		周期			
		5.5	6.5	7.5	8.5
有義波高	0.5	0(0)	0.12(0)	0.16(0)	0.16(1.02)
	1.0	0.18(0.31)	0.27(1.1)	0.33(2.04)	0.32(3.26)
	1.5	0.33(2.46)	0.36(2.85)	0.43(2.98)	0.45(3.33)
	2.0	0.31(2.15)	0.46(5.13)	0.54(1.98)	0.77(4.96)
		周期			
		5.5	6.5	7.5	8.5
有義波高	0.5	0(0)	0(0)	0(0)	0.11(0)
	1.0	0(0)	0.16(0.49)	0.16(2.42)	0.18(1.33)
	1.5	0.24(2.54)	0.18(1.18)	0.31(3.26)	0.3(3.1)
	2.0	0.21(4.71)	0.26(1.64)	0.25(1.75)	0.33(4.03)

5. まとめ

今回の研究により、事故発生時は台風接近により遡上距離が非常に長かったこと、大谷海岸では平均的な波浪状況においても事故発生危険性が有ること、事故発生可能性の高い波浪状況が明らかになった

今後の課題としては、警報発令基準の見直し、警報の周知方法の検討である。

6. 参考文献

- 1) 朝日新聞社：朝日 DIGITAL, https://www.asahi.com/articles/ASL8R3CMRL8RUTPB001.html?iref=pc_extlink, 2018
- 2) 海岸情報管理システム, <http://shizuokakigan.pref.shizuoka.jp/sys/wh/>
- 3) Hunt.I.A, “Design of seawall and breakwaters”
- 4) 高橋重雄, 遠藤仁彦, 室善一郎：越波時における防波堤上の人転倒に関する研究 -浸水性港湾構造物に関する水工学的研究(第2報)-, 運輸省港湾技術研究所, 港湾技術研究所報告, VOL.34, NO.4, pp3-31, 1992.
- 5) 石垣泰輔, 戸田圭一, 尾崎平, 馬場康之, 井上和美：内水氾濫時における大規模地下空間浸水と避難, 京都大学防災研究所年報, 第54号B, pp.471-476, 2011.