

砕波帯内の橋脚周辺の洗掘地形の現地観測

堀田新太郎*・宇多 高明**・佐々木民雄***

1. ま え が き

長周期水面振動と海底地形との関係、および棧橋構造物周辺の局所洗掘の形状、洗掘深と水深との関係を検討するために、長周期水面振動および水深の変化を与えるものとして潮汐を選び、茨城県那珂湊市阿字ヶ浦海岸における建設省土木研究所の漂砂観測用の棧橋を利用して一連の現地観測を実施した。その結果、潮汐が海底地形の変動に与える影響は小さいこと、および棧橋構造物周辺の局所洗掘に関する 2, 3 の性質が明らかになったのでここに報告する。

現地観測は 1975 年 6 月 21 日, 22 日, 8 月 6 日, 7 日, 31 日, 9 月 7 日, 8 日, 12 月 5 日, 6 日, 20 日, 21 日, 1976 年 3 月 11 日, 12 日, 13 日, 14 日, 15 日, 5 月 1 日, 2 日, 3 日, 15 日, 16 日に実施した。たまたま現地観測の途中, 1976 年 2 月に棧橋の延長工事が完工し, 得られるデータの量は飛躍的に増加した。棧橋延長工事の完工以前に得られたデータの解析の結果は, 完工後に得られたデータ解析の結果と一致するので, ここでは主として 1976 年 3 月以後に得られたデータに基づいて結果を述べることにする。

2. 観測項目及び観測方法

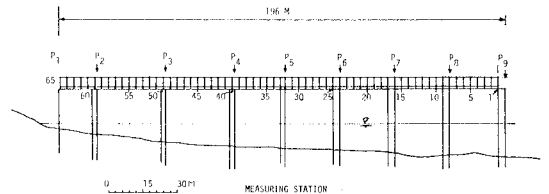
観測された項目, および観測方法は次の通りである。

(1) 棧橋に沿う海底地形 (beach profile)

棧橋上より測鎖を用いて測定した。観測間隔は 2 時間ごと, 3 時間ごと, 高潮位, 低潮位ごと, または高・低潮位時の前後等, 潮位と地形応答の関係を追うために適宜選択した。棧橋上の観測地点は図—1 に示してある。

(2) ピアー周辺の局所洗掘深および局所洗掘の形状

海底地形の観測と同時に棧橋より測鎖を用いてピアー周辺の洗掘深を, また洗掘形状は平板とスタッフによる地形測量によって観測した。洗掘形状, 特に reverse-cone 形状の観測には海象によっては ロッドとテープを



図—1 棧橋上の測定点

用いて行った。

(3) 洗掘におけるアーミング効果について

砕波が 2 回程度で破波波高 2m 以下であるならばダイビングによってアーミングの状態の観察, および底質の採集が可能である。今回の観測はすべてダイビングにて行った。

(4) 波浪

16 mm メモーションカメラでピアーを標識として波浪を撮影し, 解析した。

(5) 海浜流

浮子追跡法, またはプロペラ型流速計 (CM-2) を用いた。

(6) 潮汐

1975 年 8 月 6 日, 7 日に検潮儀を用いて, 棧橋先端で観測した阿字ヶ浦の潮位は, 大洗港にて三浜港湾工事事務所によって観測された潮位と全く一致したので, 以後の観測にて潮位の観測は実施せず, 大洗港のデータを用いることにし, 適宜検証するにとどめた。

3. 観測結果とその検討

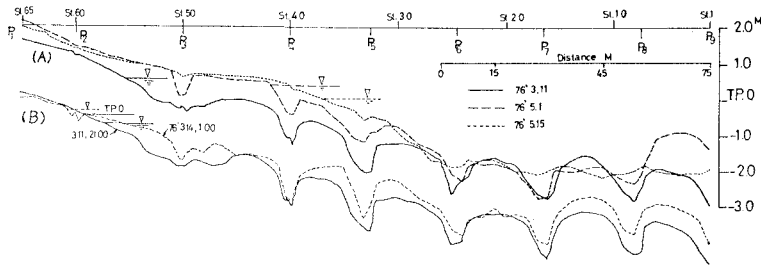
(1) 潮位変動による海底地形の変動について

図—2 (A) にて 1976 年 3 月 11 日, 5 月 1 日, 5 月 15 日の観測期間中の代表的な海底地形が示されている。これらのプロファイルはおのおの典型的なビーチプロファイルの例である。すなわち 3 月 11 日のプロファイルは, 低気圧の通過時における荒天時の例であり, このとき波は, 汀線に至るまでに 5 ないし 7 回砕波し, 砕波帯の幅は数百メートルに及んでいた。5 月 1 日のプロファイルは中程度の波高の例である。このとき, ちょ

* 正会員 工修 東京都立大学 土木工学科

** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室

*** 正会員 工博 (株) I.N.A. 新土木研究所

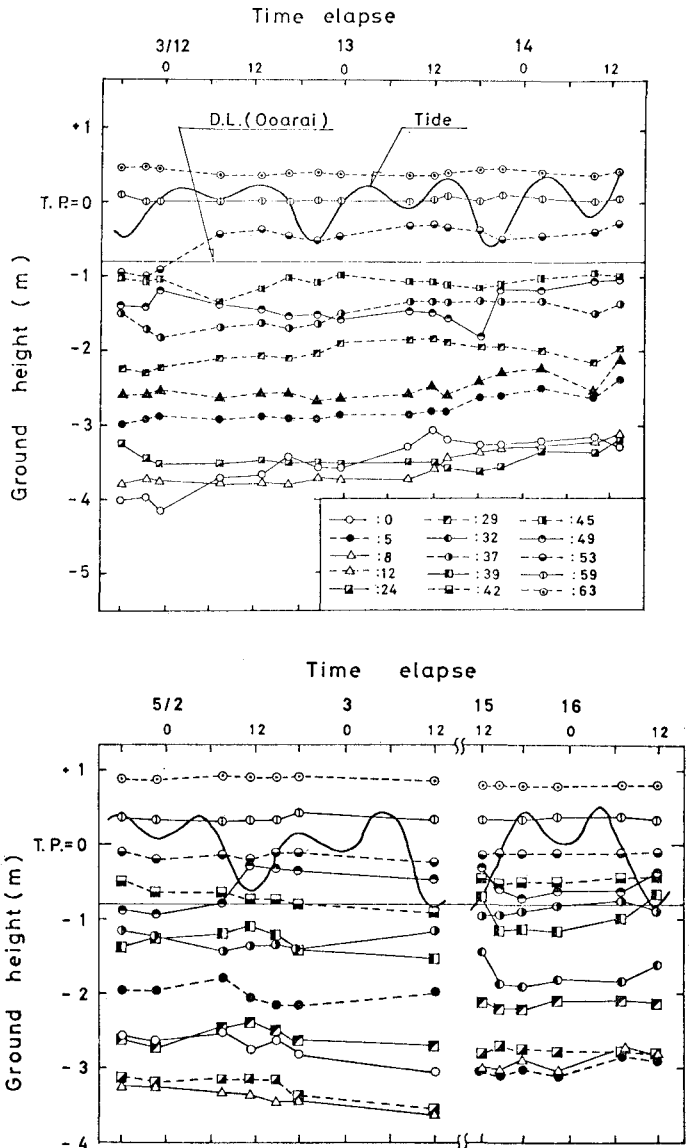


図—2 代表的な海底地形

うど栈橋の先端付近に bar があり、波がここで一度砕波し、再生後 swash zone の末端で砕波しはい上る場合である。最後の 5 月 15 日のプロファイルは静隠時の例である。波は高潮位時には一度の砕波ではい上る。しかし低潮位時には、栈橋の先端で砕波して、2 回目の砕波ではい上る状態であったが、波高は小さい。図—3 に代表的な測点の海底高の時間推移が示されている。これらのいずれの観測時にも波浪条件の急激な変化はなくほぼ一定であった。図—3 より潮位が明らかに海底に影響を与えているということを指摘することは困難である。

海底地形の時間的変動を表わす一方法として、最も単純な標準偏差を求めてみる。図—4 にこの偏差値が表示されている。図—4 により変動の大きな点はピアーのある地点、および swash zone 末端であることがわかる。しかし、平均の偏差値は 15~20 cm 程度とみてよい。3 月 11 日より 14 日までの変化を 図—3、および 図—2 (B) の下端にみると潮位より他の要因にてプロファイルが徐々に変化していくことが推定される。以上のことから、潮位変動は海底地形に与える影響は小さいと結論するものと考えられる。したがって堀川¹⁾が海浜流の観測に関連して、低潮位時に海底地形を測量し、中潮位、高潮位時の海浜流の計算にその海底地形を利用したり、また低潮位時に撮影した航空写真より rip channel を見つけ出し、rip currents の発生間隔を求めることは、十分に妥当性のあることを意味する。

図—5 に 1975 年 8 月 31 日から 9 月 11 日に至る海底地形の変化が示されている。9 月 4 日より 8 日まで



図—3 海底地盤高の時間的変化

の 4 日間に夏期にみられる berm が消失している。これは 9 月 7 日に沖合を台風が通過したときのしけによるもの

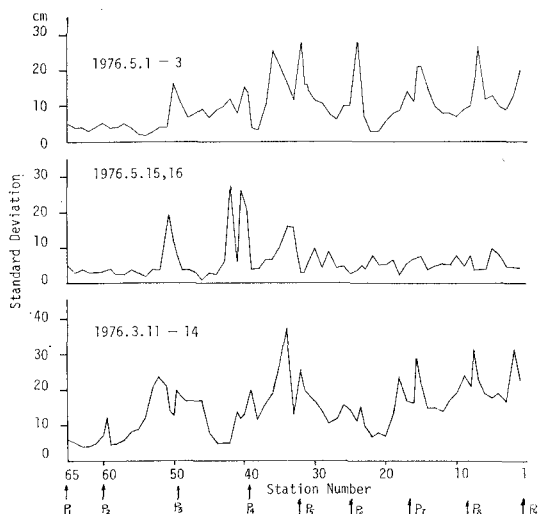


図-4 海底地盤高変動の標準偏差

のである。すなわち、波浪が静天より荒天に変わるとき、海底地形の変化は激しい。

(2) 海底地形と局所洗掘の関係

河川での橋脚周辺の洗掘形状変化は、砂堆等の移動による河床全体としての変動と橋脚による流れの局所的な乱れによる洗掘とが重合して生ずるものである。海岸においても同じようにピア自身による局所洗掘は、海底地形に重ね合わさっている。これは図-2における5月1日の海底地形によって明らかに示されている。すなわち、棧橋先端にては bar が存在し、測点7から30までに trough が存在していて、ピアの局所洗掘がこの海底地形に重ね合わさっている。これは局所洗掘を考えると海底地形の変動を除外して考えることはできないということを意味する。

(3) ピア周辺の局所洗掘について

海岸における波の運動が、砕波する以前の浅海領域にある場合と砕波後とではその運動のメカニズムは全く異なる。したがって、ピア周辺の洗掘機構は、ピアが砕波帯内にある場合と浅海領域内にある場合では異なるということは容易に推定できる。著者は、洗掘機構を正しく理解するために可能な限りダイビングによる観察、および水中カメラによる記録を試みた。水質が写真の鮮明度を支配するという理由で現在のところ公表に足りる写真は得られていないが、観察によると洗掘の機構は、次の通りである。浅海領域では波の峯の接近につれて、一様流の scour with continuous sedimenta-

tion²⁾の実験にて観察される状態になる。峯の通過後、谷の接近で運動の方向が反対になる。このときの洗掘形状は、砕波帯における洗掘形状にて述べられるような大きな reverse-cone の形成はない。ピアのごく周辺部に小さい reverse-cone のごときものが見られる程度である。しかしながら、洗掘の影響のおよぶ範囲は、かなり広範囲のようである。砕波帯内では、水の運動は、概略、静水上を bore が進行している状態とみることができる。bore がピアに衝突したとき、前面に激しい渦ができる。これが図-6に示される reverse-cone を形成する。さらにピア側面を通過した bore はピア背面に大きな後流域を形成し、この後流域に対応して洗掘される。

図-6は1975年8月31日に観測された例であるが、これは前述の観測結果と一致するよい例である。この図より、砕波帯内の洗掘形状の特性について、2, 3 上げることができる。すなわち、前面の reverse-cone の角度はほぼ底質の水中安息角に等しいこと、そして洗掘形状は海浜流の影響を受けるということである。図中では、流れは右から左(現地では南より北へ)に流れ、流れの下流に流れによる等深線の広がりが見られる。この観測時の流れの強さは、浮子追跡法によると約 20~30 cm/sec のオーダーであった。この程度では流れの影響はそう大きくはない。しかし、3月11日よりの観測時に CM-2 を用いた観測では 1.8 m/sec を越える場合があった。このようなときには流れは大きく洗掘形状に影響

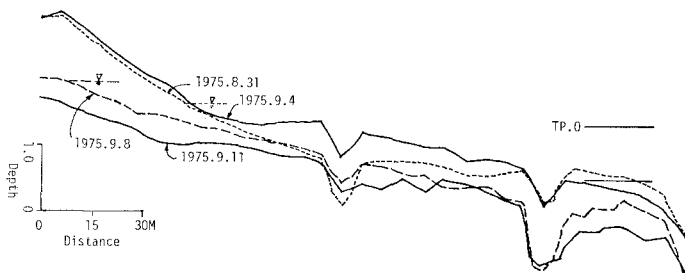


図-5 海底地形の変動

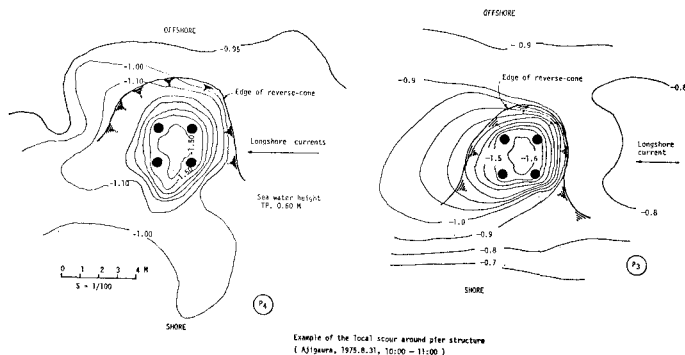


図-6 局所洗掘形状

響を及ぼすということは容易に想像できる。

海岸における水深は波の運動形態を定める。したがってピアの存在する場所の水深は洗掘を支配する最も重要な要因と考えられる。しかるに潮位の変動は、海底地形に与える影響は小さいこと、および局所洗掘がプロファイルの変動に重なっているという事実は、洗掘現象を考慮するとき、いかなる水深（潮位）を取るべきかという問題を惹き起こす。図一7 は 3 月 11 日より始まる荒天時に観測された典型的な洗掘断面である。図に示されている記号にしたがって 3 月 11 日より 14 日までの各観測値より S/h の最大、最小、平均を求めてみると表一1 になる。図一2 および 4 からわかるように S/h の大きな P_4 , P_5 の地点は海底勾配の変化も大きく、また、最も底質の移動の激しい地点である。 P_6 を過ぎると海底勾配も緩くなり、 S/h もほぼ一定となる。水深が洗掘深を支配する最も大きな要因であるという考えと、観測されたデータの最大値とにより、最大洗掘深を予測する基準として $S/h=1.00$ がえられる。しかしながら、 P_4 の地点は、この観測中に水深が 0.7m より 1.7m まで変化し、潮位の変動が直に水深に関係する地点であることを考慮して除外し、普通の砕波帯の最大洗掘予測の値として、

$$S/h=0.6\sim 0.8$$

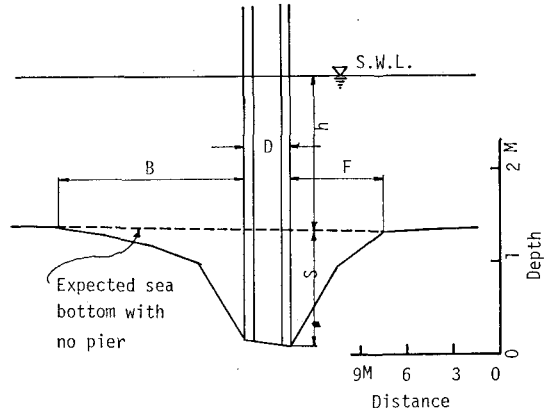
とする方が妥当なようである。 $S/h=0.8$ とすれば一樣流における Andru⁹⁾ の式になる。

洗掘形状の前面、後面の影響範囲、 F/D , B/D の値は、それぞれ、 $F/D=1.8\sim 2.2$, $B/D=3.2\sim 4.2$ であった。平均として影響圏は前面で構造物の大きさの 2 倍、後面で 4 倍とみることができる。

reverse-cone の底部に粗な粒子によるアーミングが観測された。図一8 は reverse-cone の底部と edge におけるふるい分け試験の結果の一例を示す。5 月 2 日における観測では、 P_8 は図一2 より明らかなように swash zone の中に位置し、潮位変動による洗掘、埋め戻しを受けている。埋め戻される底質は、swash zone にある底質でアーミング効果はない。アーミング効果を示す良い例は P_5 である。

P_4 はピアがちょうど swash zone の末端に位置し、比較的粗な粒子の集まる地点である。それゆえ reverse-cone の Edge における粒子も他の地点におけるより粗なことを示している。

5 月 15 日の例は、浅海における洗掘

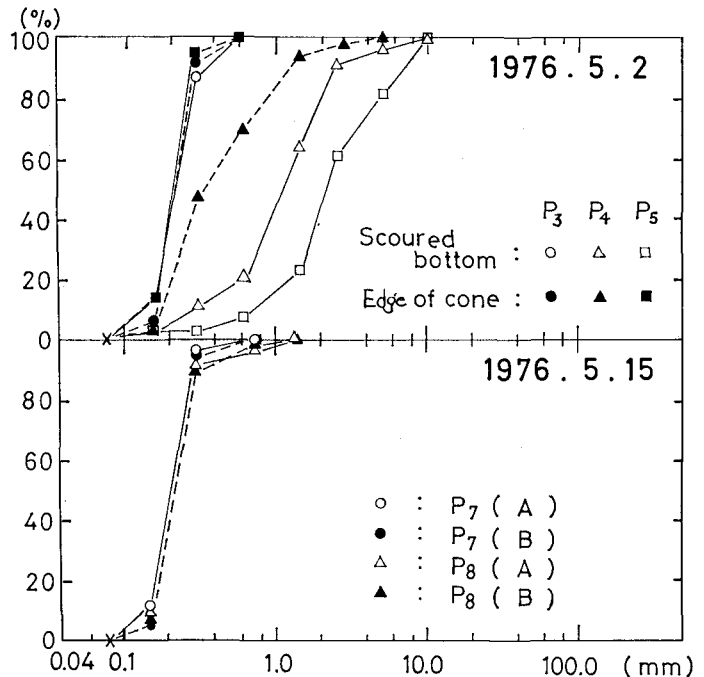


図一7 観測された典型的な洗掘形状断面

表一1 洗掘深と水深の関係

橋 脚 (No.)	s/h		
	max. (低潮位時)	min (高潮位時)	平 均
P_9	0.67	0.30	0.39
P_8	0.53	0.30	0.38
P_7	0.55	0.33	0.45
P_6	0.55	0.31	0.41
P_5	0.82	0.41	0.58
P_4	1.00	0.44	0.71

底部のふるい分け試験の結果である。図一9 に採集地点が示されている。他の観測時にはかなり粗な粒子によるアーミングが観測された例があるが、この例は全くア



図一8 Reverse-cone 底部の底質のふるい分け試験結果

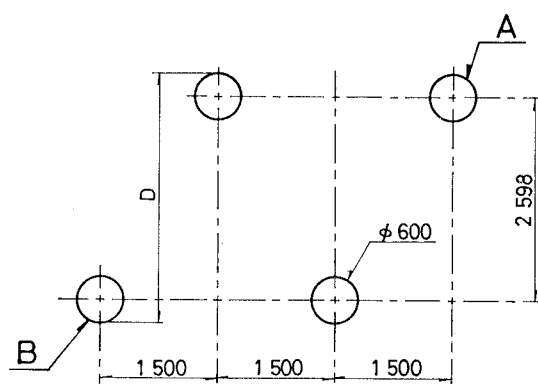
Arangement of Pier (P₆, P₇, P₈, P₉)

図-9 ピア配置図

アーミングされていない。たぶん、ビーチプロファイルが堆積性に変化しつつある埋め戻しの状態と推定される。

アーミング効果と他の要因についての関係は現在の段階では不明である。ここではアーミングの効果があることをあげておくにとどめる。

4. 結 論

現地観測のデータを基にして、潮位と海底変動との関

係、および nearshore zone における局部洗掘の 2, 3 の特性を明らかにすることができた。しかしながら、これらはまた、アーミング効果、海浜流の影響、水深の取り方など新しい問題を生み出した。今後さらなる現地観測、実験、理論的追求が期待される。

謝辞：現地観測では多くの人々の援助を受けた。特に東京大学土木工学科港湾研究室受託研究員 久保田 進氏、東京都立大学土木工学科 鹿田成則氏には、なみなみならぬ協力を得た。ここに感謝の意を表します。

なお、この研究は一部、昭和 50 年度文部省科学技術研究費補助金、総合研究A（海浜過程におけるダイナミックシステムの研究、研究代表者 堀川清司 東京大学土木工学科教授）によることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘：海浜流に関する研究(第3報)，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 127.
- 2) Laursen, E.M.: Observations on the Nature of scour, Proceedings, Fifth Hydraulics Conference, State University of Iowa, Iowa City, Iowa, pp. 179~197, 1952,
- 3) Andru, P.: Scour at obstruction in non-cohesive beds, Thesis for M.S., University of Alberta, 1956.