

高波来襲時の緩傾斜堤の被災に関する実験的研究

高橋 敏彦*・沼田 淳**・高橋 庄史***

1. ま え が き

近年、海岸侵食対策の一つとして親水性や景観面も配慮した工法として、緩傾斜堤が築造されている。現在施工されている緩傾斜堤の勾配は、1/3～1/5 がほとんどであり、緩傾斜堤の被災の多くは太平洋や日本海などに直面する海岸であることが報告されている(宇多ら,1991)。これは、低気圧、台風等による高波の来襲を直接受けるためと考えられる。そこで本研究では、比較的多く施工されている基礎工を根入れした緩傾斜堤の勾配と設置位置を種々変えて、高波が継続して来襲した場合を想定し、海底地形変化と緩傾斜堤の被災過程、状況等を把握することを目的とした。

2. 実験装置及び実験条件

実験は、長さ20.0 m、幅0.6 m、深さ0.7 mの両面ガラス張り造波水路を2分して片側0.3 mとし、両側の水路を使用して行った。水路の一端にはピストン型反射波吸収制御付き造波装置が装備されている。他端には細砂(天然珪砂7号、 $d_{50}=0.15\text{ mm}$ 、比重=2.60)で1/20勾配の海底地形を作成した。緩傾斜堤を設置する場合は、1/20勾配上に1/3、1/4、1/5、1/6勾配の4種類の模型堤体を設置した。図-1に、実験水路概略図を示す。模型堤体は、「有孔被覆ブロック+透水層」であり、模型縮尺1/40で実験を行った。被覆ブロックの空隙率は15%であり、透水層としての裏込め工は、砂利($d=2.5\sim4.75\text{ mm}$)の単層構造で層厚は約20.0 mmである。

水深は、0.3 m、周期 $T=1.42\text{ sec}$ 、波高 $H=12\text{ cm}$ に固定した。沖波波形勾配は $H_0/L_0=0.041$ である。この波は、堀川・砂村等(1975)による汀線の前進(堆積)・後退(侵食)の境界式、

$$H_0/L_0=C(\tan\beta)^{-0.27}(d/L_0)^{0.67}\dots\dots\dots(1)$$

ここに、

H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長、 $\tan\beta$: 初期勾配

d : 底質粒径、 C : 定数

によって区別すると汀線の後退領域に対応する。また、Iwagaki, Y and H. Noda (1962) に従い暴風海浜と正常海浜とに区別すると、今回の条件は暴風海浜となる。表-1に実験条件を示す。表中の波浪条件は、堀川・砂村等の境界式で判別した条件を示している。緩傾斜堤の名称及び記号を図-2に示す。入射波、反射波は、合田の入

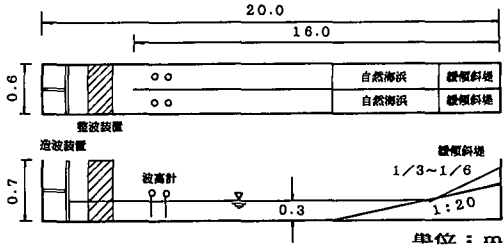


図-1 実験水路概略図

表-1 実験条件

実験 No.	T (sec)	H (cm)	緩傾斜堤	l_i (cm) (l_i/L_0)	l/L_0	波浪条件
A- 0	1.42	12.0	無	—	—	侵食
A- 1			1/3	31.5 (0.1)	0.085	
A- 2			1/4		0.080	
A- 3			1/5		0.075	
A- 4			1/6		0.070	
A- 5			1/3	0.0	0.0	
A- 6			1/4			
A- 7			1/5			
A- 8			1/6			
A- 9			1/3	-31.5 (- 0.1)	-0.085	
A-10			1/4		-0.080	
A-11			1/5		-0.075	
A-12			1/6		-0.070	

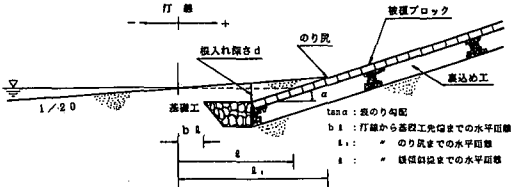


図-2 緩傾斜堤の名称及び記号

* 正会員 東北工業大学講師 土木工学科
** 正会員 工博 東北工業大学教授 土木工学科
*** 東北工業大学 土木工学科研究生

反射分離法 (1976) で計測した。海底地形は、両水路中央において砂面計により最小 1 cm～最大 30 cm 間隔で計測すると同時に、緩傾斜堤あるいは汀線付近の状態をスケッチ及び写真に記録した。緩傾斜堤の設置位置は、 $h/L_0 = -0.1$ (沖側), 0 (汀線地点), 0.1 (陸側) の 3 種類である。実験は、連続 24.0 時間の継続実験である。各実験ケース共、起波後 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24 時間後の海底地形を測定した。ただし、基礎工、被覆ブロックの移動、沈下等の被災時にはその都度記録した。なお、基礎工は石詰め蛇籠とし、根入れ深さ d (初期地形から基礎工上端までの深さ) は、設計の手引 (建設省, 1989) に概略値として示されている深さの 1/40, すなわち、堤法尻が汀線から沖側に位置する場合は 5 cm, 陸側に位置する場合は 2.5 cm とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 自然海浜の海底地形変化

図-3(a), (b) は、自然海浜に $t = 4, 8; 20, 24$ 時間 ($t/T \approx 10,000, 20,000; 51,000, 61,000$) 波を作用させた後の海浜地形を示したものであり、図中の矢印は、それぞれの地形に対応する碎波点の位置である。堀川等 (1973) は、海浜変形を 3 つのタイプに分類しているが、今回の実験結果は、「タイプ I : 汀線が後退し、沖において砂が堆積するタイプ」に分類され、時間の経過とともに汀線が後退してその砂が沖側へ移動し、徐々に bar が発達していく傾向が認められる。

3.2 緩傾斜堤の勾配の違いによる海浜地形変化

図-4(a), (b), (c) は、自然海浜上に 1/3～1/6 勾配

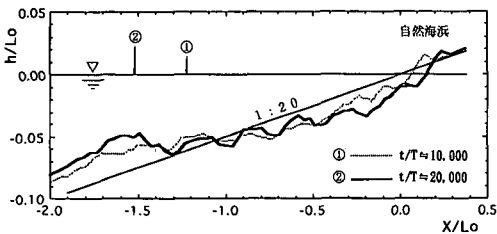


図-3(a) 自然海浜の海底地形変化 矢印は碎波地点

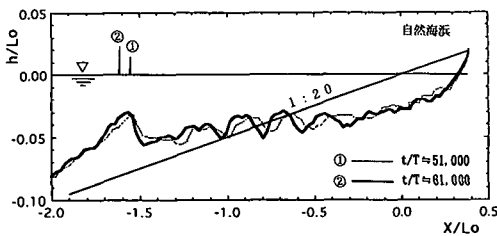


図-3(b) 自然海浜の海底地形変化 矢印は碎波地点

の緩傾斜堤を設置した場合の海底地形変化を示した一例である。(a) は、設置位置 $h/L_0 = 0$ (汀線) における $t/T \approx 5,000$ (約 2 時間) 後, (b) は、設置位置 $h/L_0 = 0.1$ (陸側) における $t/T \approx 20,000$ (約 8 時間) 後, (c) は、設置位置 $h/L_0 = -0.1$ (沖側) における $t/T \approx 61,000$ (約 24 時間) 後の状態をそれぞれ比較したものである。

図-4(a)においては、各勾配とも基礎工上にはまだ砂が残っており、勾配の違いによる海浜地形の差はそれ程見られない。(b)においては、各勾配とも堤上の砂はなくなり堤前面が掘れてきている。特に最も急な 1/3 勾配に対応する海浜地形の変動が、他と比べて幾分大きくなっているようである。(c)においては、各勾配とも(b)より更に海浜地形の変動が大きくなっているが、bar の発達は勾配が緩いほど顕著になっている。しかし、その発生位置は、いずれの勾配に対しても $X/L_0 \approx -1.5$ 付近に集中している。また、基礎工前面での深掘れの位置は、

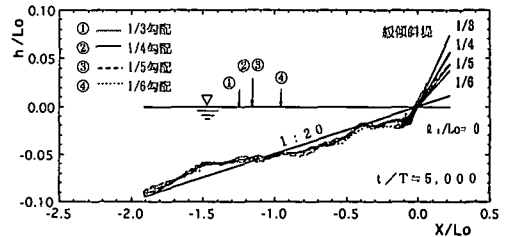


図-4(a) 勾配の違いによる海浜地形変動の比較 矢印は碎波地点

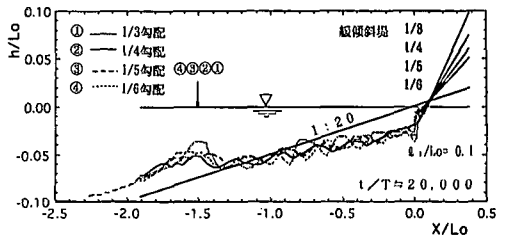


図-4(b) 勾配の違いによる海浜地形変動急の比較 矢印は碎波地点

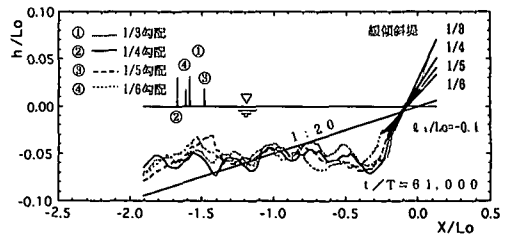


図-4(c) 勾配の違いによる海浜地形変動の比較 矢印は碎波地点

[illegible]

表-3 緩傾斜堤の被災と波の作用継続時間

t/T	1/3			1/4			1/5			1/6		
	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0.1
8000	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
15000	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
23000	無	無	A	無	無	A	無	無	A	無	無	A
30000	無	無	C	無	無	C	無	無	B	A	A	B
38000	A	C	C	無	無	C	無	無	C	B	B	C
46000	C	C	C	A	A	C	無	A	C	B	B	C
53000	C	C	C	C	A	C	A	A	C	B	B	C
61000	C	C	C	C	A	C	C	A	C	B	B	C

無：被害無し，A：基礎工が初期設置位置より少しでも動いたり傾いたりした状態
B：基礎工の移動・傾きなどにより，堤中詰め材が吸い出される状態
C：ブロックの沈下，陥没等の状態

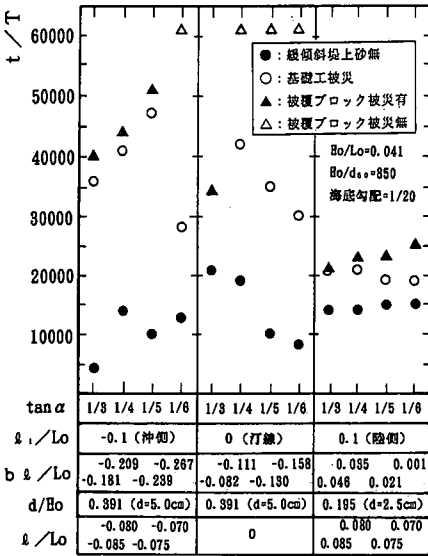


図-6 緩傾斜堤の被災と実験条件との関係

認められる特徴的な現象は、

① $h/L_0 = -0.1$ (沖側) と $h/L_0 = 0.1$ (陸側) に設置した緩傾斜堤の場合、その勾配が緩いほど被災しにくい傾向を示しているのに対し、 $h/L_0 = 0$ (汀線) に設置した緩傾斜堤は逆の傾向を示している。

② $h/L_0 = 0.1$ (陸側) に設置した緩傾斜堤は、①に述べたように、その勾配が緩いほど被災しにくい傾向を示すものの、被災に至るまでの高波継続時間の勾配による差は小さく、しかも堤が露出してからごく短時間で被覆ブロックが被災する傾向を示している。

等である。

今回の実験では、図-2 に示すようにのり尻を護岸設置位置と定義しているため、勾配の緩い緩傾斜堤ほど基礎工の設置位置 (b/L_0) が沖側に移動する結果となること、及び陸側に設置した場合の根入れ深さを海側の 1/2 としていることと波浪条件との複合作用に起因して上述のような現象が生じたものと考えられるが、詳細につい

ては今後の検討課題である。いずれにしても、侵食型の高波が長時間作用するような海岸に緩傾斜堤を設置する場合は、基礎工の設置位置や根入れ深さについてより慎重な配慮が必要と考えられる。

3.5 基礎工前面の最大洗掘深

前述したように本実験の範囲 ($-0.1 < h/L_0 < 0.1$) では、緩傾斜堤被覆ブロックの崩壊は、基礎工前面の洗掘後に起こるパターンが一般的であると考えられるので、本節では、法面勾配や高波の作用時間が基礎工前面の最大洗掘深に及ぼす影響について検討してみる。

図-7 は、基礎工前面の洗掘状況を模式的に示したもので、各測定時における初期地形からの洗掘深さの最大値を基礎工前面の最大洗掘深 h_{max} と定義した。一般に、護岸前面の洗掘は、重複波の作用、碎波によって生ずる水塊の作用、戻り流れの作用等に起因すると考えられる。

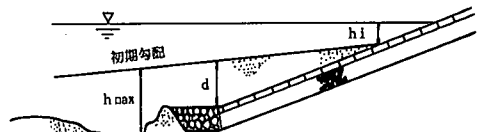


図-7 基礎工前面の最大洗掘深さの説明図

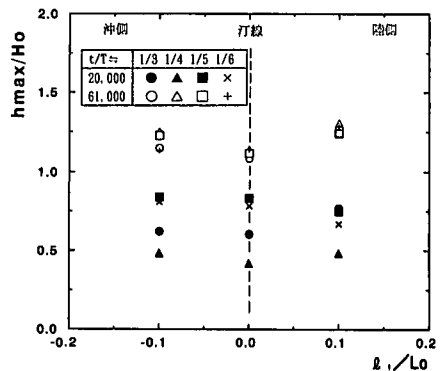


図-8(a) h/L_0 と h_{max}/H_0 の関係 ($t/T = 20,000, 61,000$)

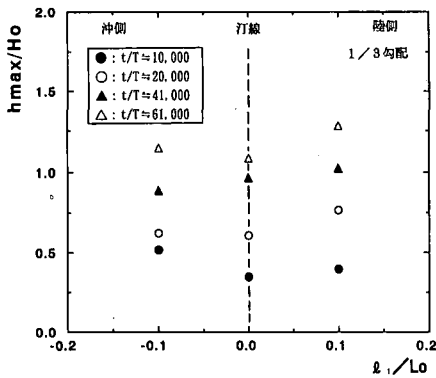


図-8(b) l/L_0 と $h_{\max}/H_0$ の関係 (1/3 勾配)

今回の実験では、かなり沖合い ($X/L_0 \approx -1.0 \sim -1.8$) で碎波しており、碎波の影響は比較的小さいと思われる。また、反射率も実験初期の段階で 8% 前後、侵食が進行している段階でも 20% 前後で堤勾配による差があまり見られないことを考えると、本実験における基礎工前面の洗掘は、主に戻り流れの作用に起因するのではないかと推測される。そこで、堤勾配による最大洗掘深の違いを調べてみた一例が図-8(a) である。 $t/T \approx 20,000$ (約 8 時間) 後の最大洗掘深は勾配による差が明瞭であるが、予想に反して 1/5, 1/6 勾配斜面の方が 1/3, 1/4 勾配より設置位置に関係なく大きい値を示している。一方、 $t/T \approx 61,000$ (約 24 時間) すなわち高波の作用時間が極端に長くなると、海浜形状が作用波に対して全体的にほぼ安定な状態に達するためと考えられるが、勾配及び設置位置に関係なく最大洗掘深はほぼ一定値に落ちつくように思われる。本実験の場合その値は、 $h_{\max}/H_0 \approx 1.20$ 程度である。図-8(b) は、最大洗掘深の時間的な変化を一例として 1/3 勾配斜面の場合について示したものであるが、設置位置の違いによる特徴的な傾向は認められなかった。

4. あとがき

緩傾斜堤を設置した海岸に、高波が継続して来襲した場合の海浜地形の変化と緩傾斜堤の被災過程等を把握するための実験を行った。ごく限られた条件のもとでの実験であり、時間スケールの問題など、さらに検討すべき

課題もあるが、本実験の結果を要約すると以下のようになる。

(1) 緩傾斜堤の被災は一般的に堤上の砂の消滅、基礎工前面の洗掘、基礎工の被災、被覆ブロックの崩壊の順に進行する。

(2) 図-6 に見られるように、勾配が急なほど被災しやすい傾向は見られるものの、汀線に設置した場合は逆の傾向を示している。また、陸側に設置したときは堤が露出してから、ごく短時間で被覆ブロックが被災するなどの特徴的な傾向が見られた。後者は、根入れ深さを他のケースの 1/2 としているためと考えられるが、前者についてはさらに詳細な検討が必要である。

(3) 基礎工前面の最大洗掘深は、高波の作用時間が極端に長くなると、設置位置及び勾配の違いによる差は認められず、 $h_{\max}/H_0 \approx 1.20$ 程度となっている。

(4) 侵食型の波が長時間作用するような海岸に緩傾斜堤を設置する場合は、基礎工の設置位置や根入れ深さについてより慎重な配慮が必要と考えられる。

謝辞：本実験およびデータ整理には、当時東北工業大学学部学生木村貴彦(運輸省)と加藤洋行(常磐工業(株))の両君に協力していただいた。また、本論文の公表にあたり、小川記念基金の補助を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 宇多高明・小菅 晋・柳澤 修 (1991): 緩傾斜堤の安定性に関する全国実態調査, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 651-655.
- 建設省河川局海岸課監修 (1989): 緩傾斜堤の設計の手引き, 全国海岸協会, 48 p.
- 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治 (1976): 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 運輸省港湾技術研究所, No. 248, pp. 24.
- 堀川清司・砂村継夫・鬼頭平三 (1973): 波による海浜変形に関する一考察, 第 20 回海岸工学講演会論文集, pp. 357-363.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 329-334.
- Iwagaki, Y. and H. Noda (1962): Laboratory study of scale effects in two-dimensionnal beach processes, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., pp. 194-210.