

二次元模型実験による現地海浜変形の 再現性に関する研究

伊 藤 政 博*

1. 緒 言

海岸侵食対策や海岸構造物設置による周辺海岸への影響を検討するに際して、2次元あるいは3次元海岸移動床模型実験が従来よりその解決手段の一つとして用いられてきている。しかしながら、波による海浜変形の模型実験には、縮尺効果の影響が入り、原型と模型とが常に相似とならないことが Savill¹⁾や岩垣・野田²⁾らによって指摘されている。そのため、海浜変形の模型実験を行なう場合、模型の海浜形状が現地海岸と相似になるように外力と底質の縮尺関係を試行錯誤的に決定し、場合によっては模型の縮尺に幾何学的歪を与えるなどして、その相似性を保たせるよう努力が払われている。このように、現在、海浜変形模型実験の指針となるべき普遍化された相似則が定量的関係で表示されていないために、模型の実験条件の設定が多大な労力を費やしつづ、実験者の感をたよりに行なわれている現状である。

そのため、筆者ら³⁾は、2次元海浜変形を対象にして、

原型および模型の海浜変形が規則波の作用によってほぼ平衡状態に達している場合について、模型の縦横方向の縮尺歪みが無く、底質に原型と同程度の比重を有する砂を使用したときに、海浜変形の相似則が成立する領域を図示した。この図に追加実験結果を若干加えて、再整理した結果は 図—1 のように表わされる。

本研究では、海浜変形の相似則を示す 図—1 を用いて、現地海岸を縮尺 1/40 の2次元模型実験で再現させた場合、海岸断面形状が定量的に相似となる実験条件を見出す。このようにして再現性が確かめられた実験条件と 図—1 との関連性を検討するとともに、広範囲にわたる縮尺 (Scale=1/1~1/100) で海浜変形の相似則が成立する領域を示す。

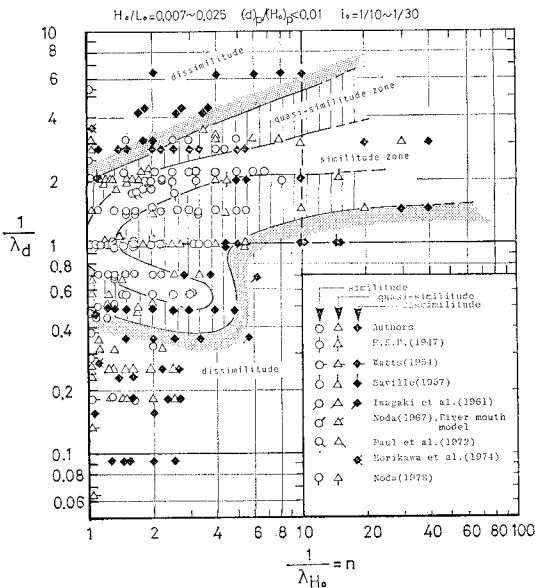
2. 実験対象海岸とその概要

実験対象の現地海岸は、図—2 で示される静岡県・遠州海岸を選び、天竜川河口から海岸に放出された河川流出土砂による影響が少なく、年間を通じて卓越波の入射角が海岸に対してほとんど直角に近く、波はあまり屈折せず、沿岸方向の漂砂移動が少ない天竜川河口から約 6 km 離れた右岸側の2次元性の強い海岸 (St. No. 165) とした。

(1) 海浜形状

実験対象海岸 (St. No. 165) では、1970 年以後、毎年7月から8月にかけて深浅測量が行なわれているので、この資料によると、海岸断面形状の年変動が 図—3 (b) のように表わされる。この図から、同海岸は 1970 年~1979 年の間では、顕著な海岸断面の変化が見られない。さらに、St. No. 165 およびこの地点から右左にそれぞれ 400 m 離れた St. No. 164 と 166 地点の海岸における汀線の経年変化は、年間 ±20 m 程度内の前進・後退を示すが、長期的な傾向は見られない。したがって、St. No. 165 付近の海岸は、海岸断面および汀線移動の経年的変化から、比較的安定していると考えられる。

本研究では、以上のことを考慮して 1975 年 7 月~8 月にかけて測量された St. No. 165 の海岸断面を実験の対象とした。



図—1 海浜変形の相似則が成立する領域

* 正会員 工修 名城大学講師 理工学部土木工学科

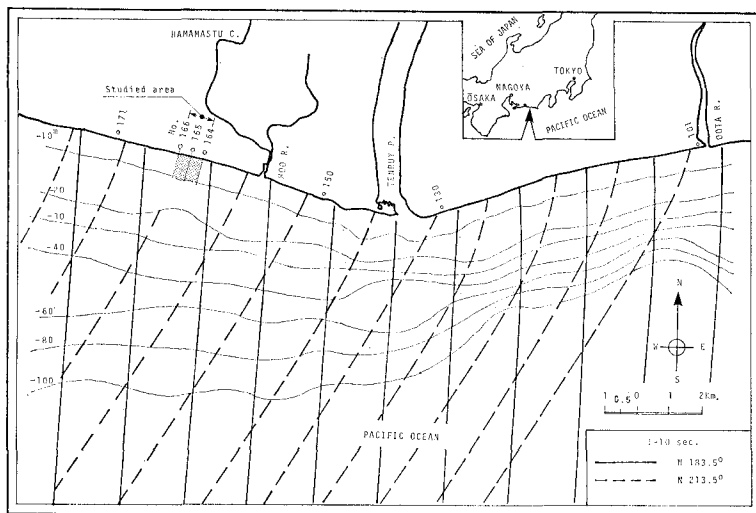


図-2 実験対象海岸および卓越入射波の屈折図

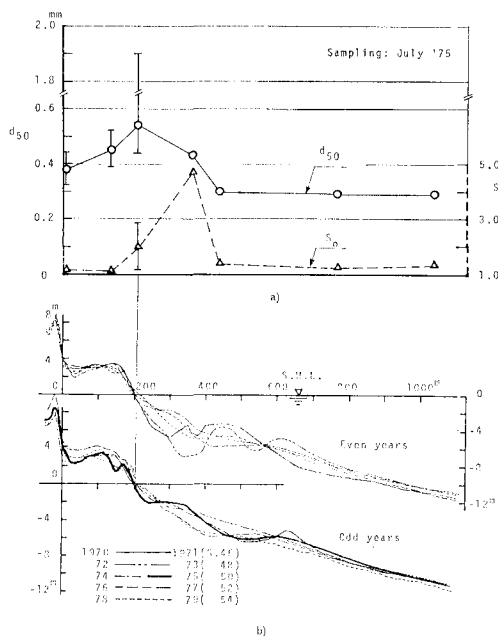


図-3 実験対象海岸の底質分布および海岸断面形状の年変動

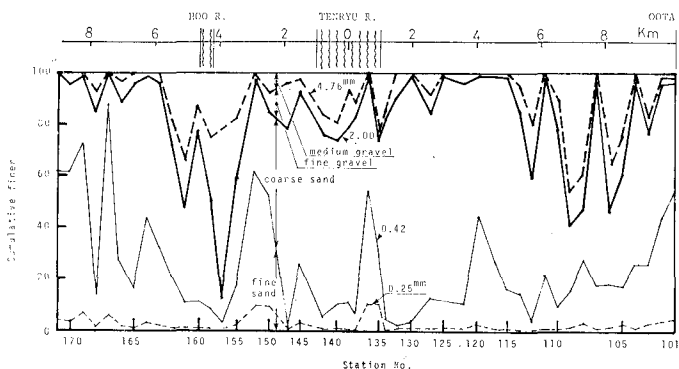


図-4 天竜川河口周辺海岸の汀線で6月採取した底質砂の沿岸方向分布

(2) 底質特性

1975年6月に天竜川河口, St. No. 101~171 の約 20 km の範囲にわたって、汀線から採取した底質の粒径分布を 図-4 に示す。この図から、底質分布は沿岸方向に比較的一様な分布を示すことがわかる。また、図-3 (b) には、実験対象海岸における岸沖方向の底質の中央粒径 d_{50} および淘汰係数 S_0 の分布を海岸断面形状と対応づけて示した。特に、この図では汀線から後浜に至る区域に限って、St. No. 164 および 166 で採取した試料の結果が変動として図中に表わされている。図-3 (b) から、

波の影響を受ける部分の底質粒径は、汀線で最も粗く、沖方向に徐々に細くなり、 $d_{50}=0.29\sim1.9\text{ mm}$ の範囲からなっている。また、淘汰係数 $S_0=1.1\sim4.8$ である。底質砂の比重は 2.65 である。

(3) 波浪特性

天竜川河口右岸側海岸、水深約 4~5 m 地点の入射波をスタジア式波高計で、1963年9月~1964年12月および1974年4月~1980年2月の期間に観測された資料を用いて、日有義波の月平均値、波高 $\bar{H}_{1/3}$ 、周期 $\bar{T}_{1/3}$ および波形勾配 $(H/L)_{1/3}$ を求め、その経年変化を 図-5 に示した。波の観測がスタジア式波高計によるため、波高 2.5 m 以上の波は計測器の性能により非常に精度が悪くなるとともに欠測となっている場合が多かった。したがって、しけ時などの波については、十分な観測結果が望めない筈がある。

波向は、毎年同じような季節的傾向を示し、実験対象海岸に対して夏期にはほとんど直角、冬期には南西方向から入射している。そこで、この海岸に入射する代表的な波向 $N-183.5^\circ$ および $N-213.5^\circ$ について、周期 10 秒の波の屈折状態が 図-2 に示してある。この図から

も認められるように、実験対象海岸付近では波の屈折のために1年間を通じて、波の入射角が海岸線に対して直角に近い状態になっている。

3. 海岸移動床模型実験

(1) 実験条件の設定方法

前述の 2. (1)~(3) に基づいて、以下に述べるような方法で、実験条件を定める。

a) 初期海岸断面

図-2 に示した St. No. 165 における

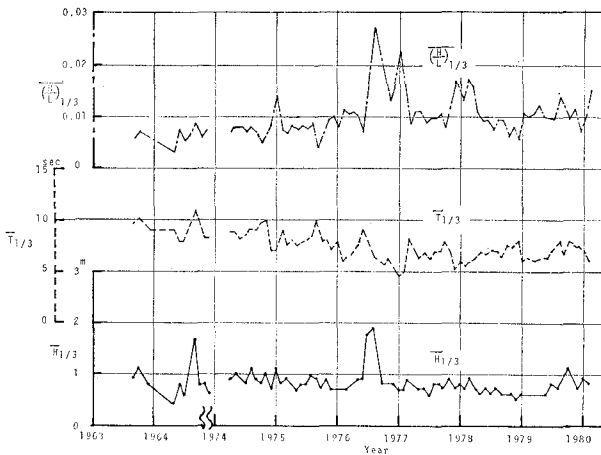


図-5 遠州海岸における入射波浪の経年変化

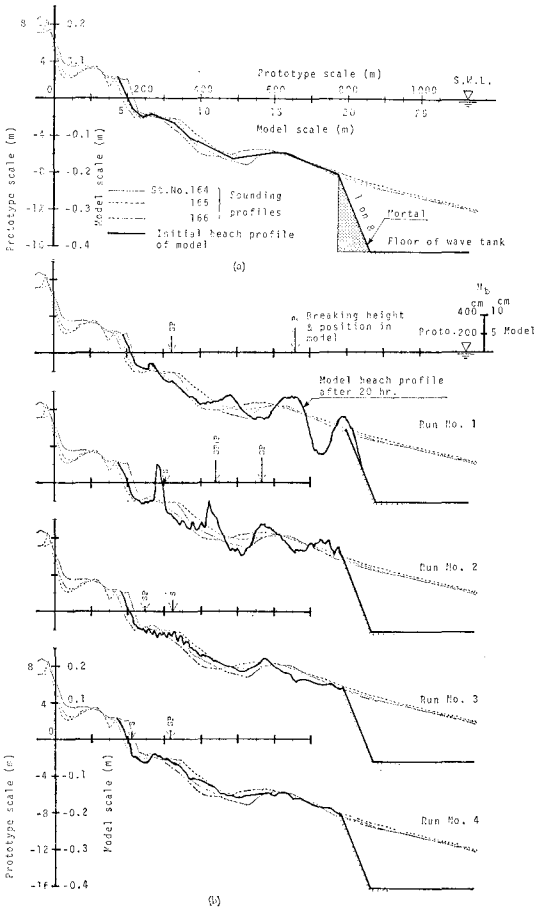


図-6 初期海岸断面形状と実験結果

後浜より沖側 1200 m (水深約 12 m) の範囲を, 1975 年 7 月～8 月にかけて測量した海岸断面形状と, さらにこの地点から両側へ 400 m 離れた St. No. 164 および 165 の海岸断面を加えて, 図-6 (a) で示されるように 3 断面の平均を定め, これを初期海岸断面とした。なお,

図-6 (a) の初期海岸断面は現地海岸で波による地形変化が比較的活発な部分である。

このような水深約 8 m までの初期海岸断面を幾何学的相似則に従って, 鉛直および水平方向の縮尺 1/40 で, 2 次元造波水槽内に移動床で設定する。

b) 実験に使用する底質

実験対象海岸は, 図-3 (a) で示されるように底質の中央粒径 d_{50} が沖方向に様でなく, $(d_{50})_p = 0.26 \sim 1.9 \text{ mm}$ の砂で構成されている。これに対して海岸移動床に使用する底質材料および粒径は, 著者らによる海浜変形の相似則の成立領域を示す図-1 に準拠して定めることにした。その結果, まず底質として, 粒径の比較的均一な珪砂を用いることにした。さらに, 粒径は現地海岸より若干細かい, $(d_{50})_m = 0.15 \text{ mm}$, $S_0 = 1.23$, 比重 = 2.77 および $(d_{50})_m = 0.30 \text{ mm}$, $S_0 = 1.20$, 比重 = 2.75 の 2 種類とした。

c) 実験波

深浅測量を行なった時期より半年間前 (1975 年 1 月～6 月) までの波浪観測資料に基づいて, この期間内に数回発生する荒天時の波と平均的な波の 2 種を選び出し, これらの波に対応する実験波を定めることにする。2 種類の現地波に対して, 実験で使用する規則波は力学的相似則として Froude 則にしたがって定める。このようにして選び出した現地波および実験波の諸元をまとめて表-1 に示した。

さらに, 現地海岸における半年間の日有義波の波高 $H_{1/3}$ および周期 $T_{1/3}$ の確率分布を 図-7 に示すとともに, 比較のために実験波を図中に併示した。

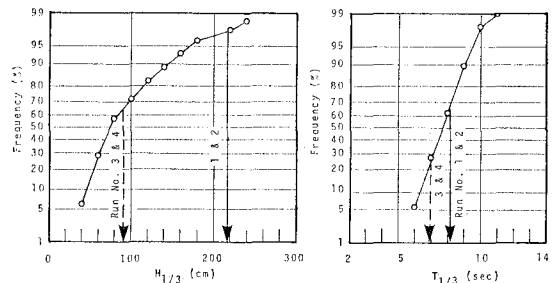


図-7 遠州海岸の 1975 年 1 月～6 月の期間における日有義波の確率分布

(2) 実験および結果

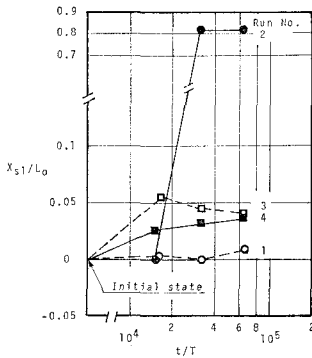
実験は, 長さ 28 m, 幅 1 m, 高さ 1 m の鋼鉄製片面ガラス張りのフラッター式造波機を取り付けた造波水槽を幅約 50 cm に中仕切板で仕切り, その片面のみを使用して行なった。造波水槽水平床部の水深 h は全実験を通して, 一定不変とし, 40 cm に保った。

3. (1) a)～c) の方法で定めた実験条件を一括表示し

表一 実験条件および実験結果の再現性

Run No.	H (cm)		T (sec)		H/L	H ₀ /L ₀	d ₅₀ (mm)		h (cm)	実験結果	再現性の判定
	Proto.	Model	Proto.	Model			Proto.	Model			
1	208	5.2	8.2	1.3	0.024	0.022	0.54 ^{+1.36} -0.3	0.15	40	汀線の移動は少ないが、沖浜の海浜変形が顕著。	非相似
2	208	5.2	8.2	1.3	0.024	0.022		0.30		汀線の移動および海浜変形が顕著。	非相似
3	84	2.1	7.0	1.1	0.012	0.012		0.15		全体に微小な海浜の変形が生じた。	相似
4	84	2.1	7.0	1.1	0.012	0.012		0.30		海浜の変形が汀線付近のみで生じた。	擬相似

た表一の実験条件に従って実験を行なった。実験で、波の作用時間に伴う汀線の移動、海岸断面形状、碎波点の位置および碎波高の時間的变化を詳細に調べた結果、波の作用後20時間でこれらの変化が平衡状態に近づくことがわかった。



図—8 汀線移動の時間的变化

この1例として、図—8には波の作用時間 t に伴う初期状態からの汀線移動の変化を示してある。波の作用20時間後の海岸断面ならびに碎波特性が実験対象海岸断面とともに図—6(b), Run No. 1~4に示してある。

4. 実験結果の再現性

実験による海岸断面形状および波の諸特性が現地海岸を適確に再現しているか否かについては、一般に実験特有の実験誤差⁵⁾を考慮に入れて、判断する必要がある。本研究では、現地海岸における正確な碎波特性を知る資料がないので、海岸断面形状のみに注目して、模型実験で定量的に再現できたか否かについて検討する。

そこで、波の作用20時間後の海岸断面が初期海岸断面より変化しても、深浅測量による3海岸断面(St. No. 164, 165, 166)の相違内に止どまる場合、実験対象海岸を再現(相似)できたものと判断した。

また、実験に使用した底質粒径が粗すぎて、波による底質移動が生じないか、あるいは反対に粒径が細かすぎるために、海岸断面の変形が著しい場合、非相似とした。

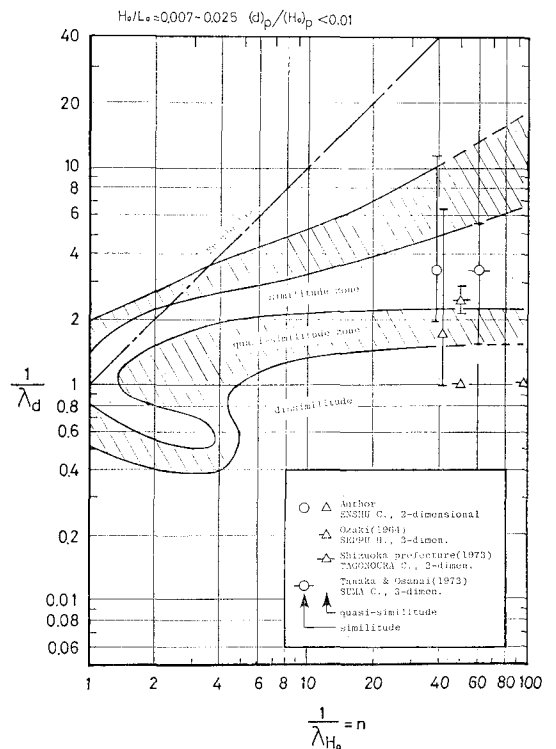
さらに、“相似”と“非相似”との中間的な場合、擬相似とした。

以上の判定基準に基づいて、図—6(b)の実験結果を図—8で示される汀線移動量の程度も加味しながら判定した。この判定結果は表一の判定覧にまとめて記した。その結果、表一、Run No. 1および2のしけ時

の波を作用させた実験結果はいずれも非相似となった。しかし、Run No. 3および4の平均的な波を作用させた実験結果は再現性が比較的良好だった。このような原因の1つとして、実験対象海岸の海象条件が比較的穏やかであった時期の海岸断面を実験に使用したことがあげられる。

Run No. 3と4の実験結果は、現地海岸の底質粒径と模型との比: $(d_{50})_p/(d_{50})_m = 1/\lambda_d$ と実験の幾何学的縮尺: $\text{Scale} = 1/n$ ($n=40$) の逆数; $1/\text{Scale} = n = 1/\lambda_H$ との関係で整理した。この整理結果は、図—1にならってまとめ、図—9に示す。

また、図—9には、他の実験者による論文および実験報告書の中で、本研究とよく似た実験主旨で行なわれたものを選び出し、Ozakiによる北海道・節婦港の3次元平面実験⁶⁾、静岡県による田子の浦港海岸の2次元実験⁷⁾



図—9 現地海浜変形の再現が可能な実験条件

および田中・小山内らによる兵庫県・須磨海岸の3次元平面実験⁹⁾などの結果が併せて示してある。これらは、いずれも現地海岸を実験的に再現していると考えられるものである。したがって、再現性の程度については、筆者なりに判定した結果が図-9に表示されている。

その結果、図-9で、本実験結果の中で Run No. 3 および田中・小山内らの実験がいずれも相似となる関係が、従来筆者らによる海浜変形の相似則成立領域を表わす図-1とよく一致することは注目に値しよう。

5. 結 語

模型の底質として、現地実験対象海岸と同程度の比重で、かつ若干細かい粒径を使用し、現地の平均的な波に相当する規則波を用いた実験結果は、現地海岸をかなり忠実に再現する。この場合における実験条件は、図-1で表わされる傾向とよく一致する。また、このようにして確かめられた海浜変形の相似則が成立する領域は、他の実験者によってすでに行なわれた2次元および3次元模型実験の結果ともよく一致することが認められた。

図-9で示される海浜変形の相似則が成立する領域は、長さに関する幾何学的縮尺 $Scale=1/1\sim 1/100$, $H_0/L_0=0.007\sim 0.025$ および $(d)_p/(H_0)_p<0.01$ の条件を満たすものについて、極めて有意であると考えられる。

最後に、本研究は京都大学防災研究所土屋義人教授の

指導によって行なったものである。さらに、遠州海岸の深浅測量図および波浪観測資料は、建設省浜松工事事務所の好意によるものである。また、本研究の実験は名城大学理工学部土木工学科卒業研究生の諸氏による協力を得た。ここに付記して感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) Saville, T., Jr.: Scale effects in two dimensional beach studies, Proc. 7th General Meeting, I.A.H.R., pp. A3-1~8, 1957.
- 2) 岩垣雄一・野田英明: 海浜変形の実験における縮尺効果の研究, 第8回海岸工学講演会講演集, pp. 139~143, 1961.
- 3) 土屋義人・伊藤政博: 海浜変形の相似則に関する実験的研究, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 315~319, 1981.
- 4) 伊藤政博・新井宗之・安田孝志: 遠州海岸の海浜変形と底質及び波浪特性について, 名城大学理工学部研究報告第20号, pp. 141~150, 1980.
- 5) 伊藤政博: 海浜変形の再現実験における実験誤差——特に汀線の移動について——, 第36回年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp. 831~832, 1981.
- 6) Ozaki, A.: On the effect of an offshore breakwater on the maintenance of a harbor constructed on a sandy beach, Proc. of 9th Conf. on Coastal Eng., pp. 323~322, 1964.
- 7) 静岡県: 田子の浦港海岸侵食対策水理模型実験報告書, 211 p., 1973.
- 8) 田中則男・小山内英雄: 養浜工に関する研究(その2)——神戸市須磨海岸における人工海浜の安定に関する実験およびその一般的考察——, 港湾技研資料, No. 326, 50 p., 1979.