

# リーフ周辺護岸の越波量に関する水理模型実験

大城 直<sup>1</sup>・金城 健吾<sup>1</sup>

1 那覇港湾・空港整備事務所 那覇空港新滑走路整備推進室 調査課  
(〒901-0142 沖縄県那覇市字鏡水 344)

本実験は、浅瀬やリーフ等が発達した複雑な海底地形を有する海域における人工島護岸の越波量を水理模型実験にて確認することにより、設計断面の妥当性を確認するものである。具体的には、那覇空港の滑走路増設に係る空港島護岸のうち南側護岸の模型を製作し、平面水槽による越波実験を行い、これら護岸における空港用地境界への許容越波量 0.02m<sup>3</sup>/s/m を満足するか確認するものである。

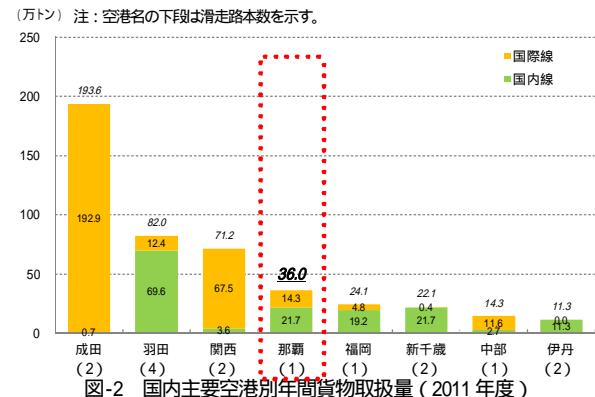
キーワード 水理模型実験、許容越波流量、人工島、リーフ地形  
那覇空港、滑走路増設事業

## 1. 那覇空港滑走路増設事業について

### (1)事業の目的・背景

那覇空港は、沖縄の玄関口として国内外各地を結ぶ拠点空港であるとともに、県内離島と沖縄本島を結ぶハブ空港として重要な役割を果たしており、沖縄県のリーディング産業である観光・リゾート産業をはじめとして、様々な経済活動や県民生活を支える重要な社会基盤である。

那覇空港は、滑走路1本の空港としては国内で2番目に利用度が高い。この状況を国内の主要空港と比較すると、滑走路1本であるものの旅客数は5位(図-1)、取扱貨物量は4位(国際貨物取扱量では3位)(図-2)である。これに伴い、夏休みや春休みにあたる観光シーズンのピーク時を中心に増便がなされているが希望する便の予約が取れないなどの状況が生じている。このため、那覇空港においては、将来の需要に適切に対応するとともに、沖縄県の持続的発展に寄与するため、また、将来にわたり国内外航空ネットワークにおける拠点性を發揮しうるように、沖合に2本目の滑走路を新設する事業が計画されている。



### (2)滑走路増設の検討経緯

那覇空港については、滑走路増設を含めた将来整備のあり方、必要性についての検討が必要となったことから、2003年度から2007年度にかけて地元沖縄県と連携しながら「総合的な調査」を実施した。調査には、透明性の確保や説明責任の一層の遂行の観点から、パブリック・インボルブメント(PI)の手法を取り入れ、県民等に情報提供を行い広く意見を聞きながら実施した。

総合的な調査の結果、2010～2015年頃には、現在の施設では夏季を中心に航空需要の増加に対応できないおそれがあり、抜本的な方策として滑走路増設が必要であることが確認された。また、これらの内容についてはPIを通じて情報提供を行った結果、滑走路増設に肯定的な意見が多数寄せられたことから、これらの結果を踏まえ、2008年度に複数の選択肢から増設滑走路の概ねの位置、方位、規模等の基本的な諸元に関する一つの候補地を選定する「構想段階」の検討に着手した。構想段階では、調査段階と同様、PIの手法を取り入れながら、滑走路増設案について検討を行い、複数の選択肢から滑走路増設案(滑走路間隔1,310m)を選定した。

構想段階修了後は、「施設計画段階」へ移行し、具体的な施設計画について検討を行い、環境影響評価法の手続きに入った。(図-3)

環境影響評価法の手続きについては、2010年に方法書、2012年に準備書の手続きを経て、2013年6月に環境影響評価書を提出したところである。

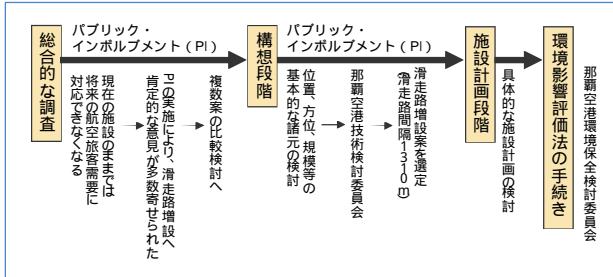


図-3 検討経緯のフロー

### (3)滑走路増設の設計概要

那覇空港滑走路増設に伴い築造される人工島については、外周を護岸で囲い、その中を埋立てることで造成される。外周護岸の設計については、計画条件、自然条件、施工条件を考慮し、設計工区を40工区に分割した。

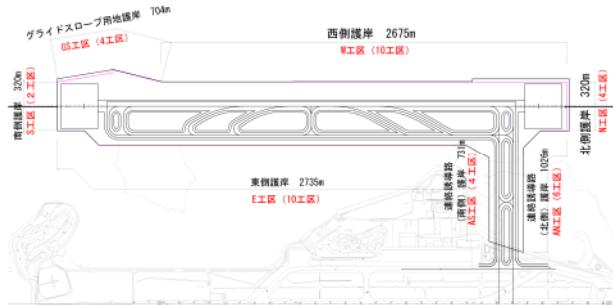


図-4 平面図（設計工区）

外周護岸の天端高さについては、許容越波流量などの条件を考慮して決定する。越波流量とは、越波した水の総容量を測定時間で割って得られる単位時間当たりに越波する水の平均容積である。通常はこれらの量は単位幅当たりの量で示される。許容越波流量については、護岸の構造、護岸背後の土地利用状況、排水施設の能力等によってその値が異なるため、状況に応じて適切に設定する必要がある。今回、設計した外周護岸の許容越波流量の設計条件については、表-1のとおり設定した。

	条件	備考
許容越波流量	・空港用地境界での越波流量 50年確率波に対して $0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$ ・護岸を前出とする場合 護岸法線上: 50年確率波に対して $0.2 \text{ m}^3/\text{m/s}$ 用地境界上: 50年確率波に対して $0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$	空港土木施設構造設計基準 港湾の施設の技術上の基準・同解説

表-1 外周護岸の許容越波流量の設計条件

「空港土木施設構造設計要領」においては、護岸の設定時に想定する許容越波流量は、H.W.L 時の 50 年確率波高に対して、 $0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$  程度としている。また、護岸の前出し等の越波対策を行う場合は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示されている表-2に基づいて、護岸の被災限界の許容越波流量を  $0.2 \text{ m}^3/\text{m/s}$  以下として設定した。

種別	被覆工	越波流量 ( $\text{m}^3/\text{m/s}$ )
護岸	背後舗装済み	0.2
	背後舗装なし	0.05
堤防	コンクリート三面巻き	0.05
	天端舗装・裏法未施工	0.02
	天端舗装なし	0.005以下

表-2 被災限界の許容越波流量

その他に、空港機能の制約条件として、制限表面や灯火平面といった空港施設の高さ制限や航空無線施設の電波が護岸の電波反射によって電波障害が生じないようにする等の各種条件を踏まえ、外周護岸の設計を実施した。

の中でも、リーフの切れ目周辺に設置予定である南側護岸については、南西からの高波浪が来襲し護岸を越波することが想定され、滑走路増設後において航空機の運航及び空港運用に多大な支障をきたす恐れがあることから、設計断面の妥当性を確認する為、水理模型実験を行うこととした。

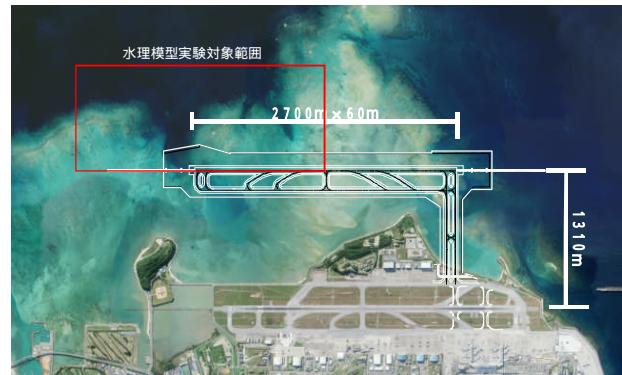


写真 - 1 水理模型実験対象範囲

## 2 . 水理模型実験

### (1)実験の概要

水理模型実験は、滑走路増設に係る空港島護岸のうち、南側護岸において、大型平面水槽による越波実験を行い、多くの護岸で許容越波流量  $0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$  を満足するよう提案された設計断面の妥当性を確認するものとして実施した。実施に際しては、まず、数値計算で得られた計画護岸法線上の各地点の有義波高を目標として、実験波の検定を行った。次に、これらの実験波を用いて標準護岸に対する平面越波実験を行い、使用性及び経済性の観点から設計断面の妥当性を確認することとした。

## (2) 平面模型の制作・設置

今回実施した水理模型実験では、複雑な海の波を再現できる 18m × 42m の大型平面水槽（デュアルフェースサーペント平面水槽）を使用した。（写真-2）この大型平面水槽は L 字型に配した 2 つの多方向不規則波造波装置により、あらゆる波の再現が可能となっている。造波を行う為の造波板は、ファーストフェース（42m）に 70 台、セカンドフェース（18m）に 30 台設置しており、造波板の動かし方をコンピュータで制御する事でいろいろな波を造る。また、水槽の最大水深は 1m となっており、最大水深時には 0.3m の最大波高を造波出来る。



写真-2 大型平面水槽

この水槽に対象護岸を含む対象海域の海底地形模型を模型縮尺1/60で制作・設置した。最大水深は、T.P-25mとし、水槽床とした。したがって、例えばT.P+0.0のコンター線は、模型床上約417mm(25m/60)のコンターラインとして表される。(図-5)

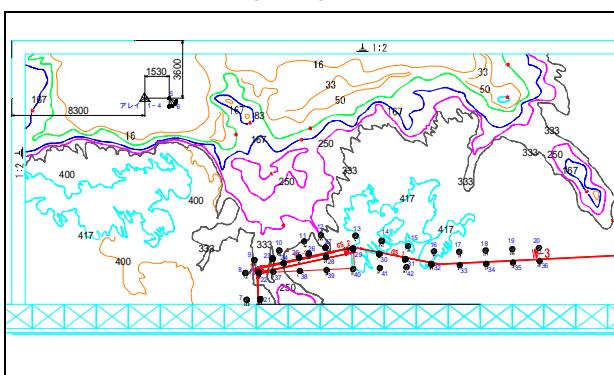


図-5 対象とした海底地形と空港護岸

### 3. 平面波浪变形実験

### (1) 入射波検定

平面波浪変形実験では、空港島護岸法線位置において水位変動等を計測し、計算結果に対する再現性を確認した。入射波検定は、数値計算で得られた計画護岸法線位置での有義波高を再現することを目標に実施した。すなわち、波浪条件（波高・周期・波向き、潮位）毎に設定された護岸法線上の各地点での目標波高に対し、各地点で計測される波高との誤差が最も小さくなるような波高信号を設定した。

50年確率沖浪		潮位	造波信号				RMS誤差 [cm]		
波向	波高 [cm]		入力波高 [cm]	入力周期 [s]	造波角度 [deg]	Smax	波群1	波群2	
W	18.4	HWL(D.L. 2.1M)	12.8	13.1	1.98	0.0	16.0	0.50	0.46
WSW	17.5		10.5	10.6	1.93	22.5	32.0	0.49	0.41
S/N	19.9		14.0	14.0	2.06	45.0	19.0	0.42	0.47
SSW	19.6		14.0	14.0	2.04	67.5	21.0	0.56	0.56

表-3 入射波検定により決定した造波信号

## (2) 波浪変形状況の再現性

設定された造波信号を用いて、現況リーフ地形を対象に波浪変形実験を行い、数値計算結果に対する再現性を確認した。波浪変形実験において各地点で計測された有義波高・周期、サーフビート波高及び平均水位上昇量を数値計算結果と比較した結果のうち、「波向W」の結果を図-6に示す。

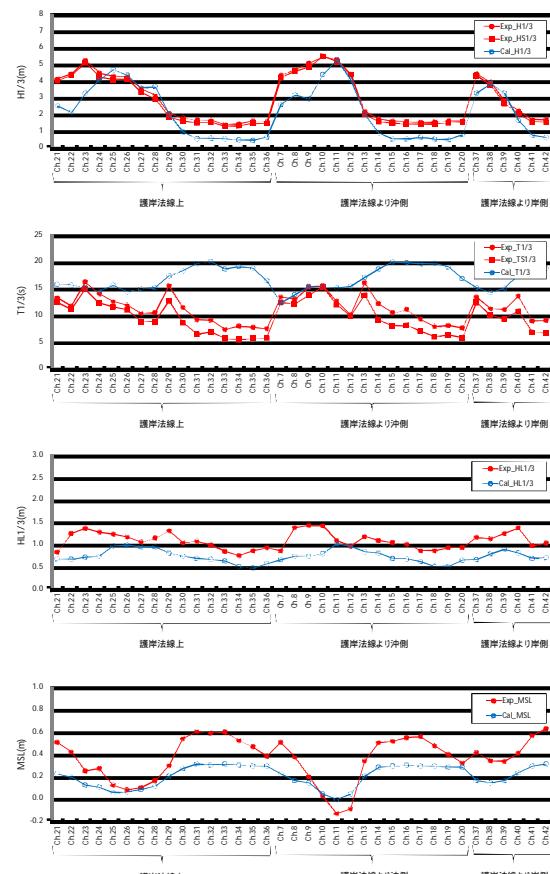


図-6 リーフ上の波浪変形形状況の再現性

図より実験波高は、目標波高とした数値計算の波高に比べ大きい。これは平面水槽に設置された現況リーフ地形の模型は、実際の現地では背後に広がるリーフ地形が再現されていないために、周辺リーフからの沖向きの流れが再現されずに波が容易に侵入できたことと、長周期波高及び平均水位上昇量が局所的に増大して波碎が生じにくくなつたことが原因と考えられる。しかしながら、空港護岸設置後の現地状況においては、リーフからの流れは遮蔽されるため、この影響がないなかでは、平面模型実験と同様な波浪場が形成されると思われる。

## 4. 護岸越波実験

## (1) 実験方法

図-5に示した現況リーフ地形模型に対し、護岸模型及び排水路模型を設置し、標準護岸に対する平面越波実験を実施した。護岸の断面については、図-7に示す。護岸パラペットからの越波計測に使用する波高計、及び空港用地境界からの越波量計測に使用する越波マスの平面配置を図-8に示す。空港用地境界からの越波量の計測には、導水板により適当な間隔で仕切られた越波マスを設置し、計測時間内に貯留された越波量 ( $m^3$ ) を護岸長さ (m) 及び計測時間 (s) で割り戻して、単位幅越波流量 ( $m^3/m/s$ ) を算定した。導水板の設置イメージを写真-3に示す。越波量の計測は、造波開始後、水槽内の波浪場が安定する3分を経てから開始し、不規則波群の違いを考慮したそれぞれ約250波分を対象として実施した。

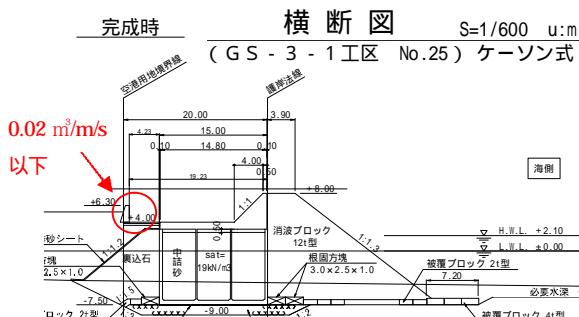


図-7 標準断面図 (GS工区)

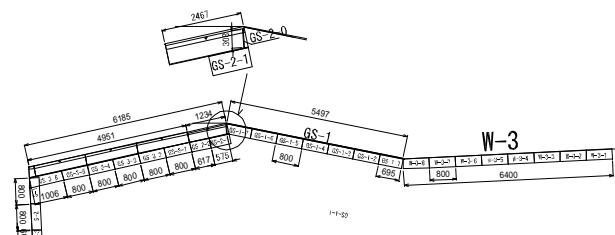


図-8 平面越波実験時の越波マスの平面配置



写真-3 導水板の設置イメージ

## (2) 実験結果

空港用地境界上の各工区で計測された越波流量に着目し、これらの結果を、表-4に示す。また、波向による違いを図-9に示す。なお、破線は、各工区の後壁部(空港用地境界)で設定された許容越波流量を示す。

表で示すようにすべての波浪条件に対しどのT区で

も許容値を超える越波量は計測されなかった。ただし、リーフ上の W-3 工区では波向き SW に対し、リーフの切れ目の北側斜面に位置する GS-3 工区の北側から GS-2 工区にかけては波向き SW 及び波向き WSW に対し、それぞれ許容値に迫る越波量が計測されている点には注意を要する。

50年確率波	波向	SSW		SW		WSW		W	
	波高[m]	11.73		11.92		10.48		11.03	
	周期[s]	15.83		15.96		14.96		15.35	
	波群	1	2	1	2	1	2	1	2
	潮位	H. W. L=D		L+2,1m					
計測時間[s]	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3	3807.3
計測波数									
越波又々	波幅[m]	単位幅越波流量 [m <sup>3</sup> /m/s]							
S 3	36	9.0E 05	1.3E 04	1.3E 03	6.4E 04	0.0E 00		1.0E 05	4.0E 05
S 2	48	1.0E 05	4.5E 04	6.1E 04	1.1E 03	0.0E 00		1.0E 05	
S 1	48	7.3E 04	4.4E 04	1.0E 03	3.6E 04	6.0E 05	9.0E 05	5.0E 05	6.0E 05
GS 3 6	60.36	1.8E 03	9.9E 03	2.0E 03	9.4E 04	2.0E 05	2.6E 04	2.3E 03	3.1E 03
GS 3 5	48	2.4E 04	4.1E 04	1.8E 03	3.0E 03	1.0E 03	1.9E 03	6.2E 03	7.0E 03
GS 3 4	48	5.5E 04	1.8E 04	3.1E 03	3.4E 03	1.8E 03	6.2E 03	3.1E 04	3.4E 03
GS 3 3	48	8.8E 04	3.2E 04	6.8E 03	3.5E 03	7.3E 03	9.2E 03	3.5E 03	2.7E 03
GS 3 2	48	4.0E 03	8.0E 04	1.8E 02	1.3E 02	1.8E 02	1.6E 02	2.3E 03	3.7E 03
GS 3 1	48	1.5E 03	3.8E 04	1.6E 02	6.6E 03	3.9E 03	1.4E 02	2.2E 04	1.0E 04
GS 2 2	37.02	2.4E 03	5.4E 03	1.2E 02	5.3E 03	2.9E 03	2.2E 03	7.0E 05	2.1E 04
GS 2 1	34.5	1.6E 03	1.8E 03	3.1E 03	1.2E 03	5.0E 04	1.0E 05	3.0E 05	
GS 2 0	18.48	6.7E 04	4.7E 04	8.4E 04	6.1E 04	1.0E 05			
GS 1 7	48	2.2E 04	6.9E 04	3.4E 03	1.6E 03	4.3E 04	1.0E 03	1.3E 03	9.2E 04
GS 1 6	48	1.9E 04	3.7E 04	3.9E 03	3.3E 03	2.5E 04	5.4E 04	1.1E 03	1.1E 03
GS 1 5	48	1.2E 04	5.4E 04	2.4E 03	2.9E 03	3.2E 04	5.7E 04	1.7E 03	2.0E 03
GS 1 4	48	2.0E 04	5.6E 04	2.5E 03	2.8E 03	5.3E 04	8.5E 04	2.3E 03	2.3E 03
GS 1 3	48	4.2E 04	5.4E 04	2.6E 03	3.8E 03	5.7E 04	6.6E 04	2.0E 03	3.9E 03
GS 1 2	48	3.0E 04	9.2E 04	1.6E 03	2.2E 03	4.6E 04	3.5E 04	1.6E 03	2.5E 03
GS 1 1	41.7	4.5E 04	7.4E 04	1.6E 03	2.4E 03	4.7E 04	3.5E 04	9.1E 04	1.6E 03
W 3 8	48	8.3E 03	6.5E 03	1.2E 02	1.3E 02	3.6E 03	3.6E 03	5.3E 03	7.0E 03
W 3 7	48	9.5E 03	7.4E 03	1.1E 02	1.3E 02	1.7E 03	2.0E 03	3.5E 03	5.5E 03
W 3 6	48	8.6E 03	1.5E 02	1.9E 02	1.7E 02	4.3E 03	2.6E 03	6.2E 03	9.1E 03
W 3 5	48	4.6E 03	8.9E 03	1.8E 02	1.3E 02	1.9E 03	2.9E 03	3.5E 03	5.9E 03
W 3 4	48	5.3E 03	7.3E 03	1.4E 02	9.6E 03	2.1E 03	2.2E 03	3.6E 03	5.0E 03
W 3 3	48	1.0E 02	8.7E 03	1.4E 02	1.5E 02	3.5E 03	3.9E 03	6.2E 03	6.3E 03
W 3 2	48	1.6E 02	1.1E 02	1.3E 02	1.4E 02	4.6E 03	4.1E 03	5.0E 03	7.9E 03
W 3 1	48	1.7E 02	1.6E 02	1.8E 02	1.9E 02	3.0E 03	4.6E 03	3.5E 03	4.6E 03

表-4 越波量計測結果



図-9 波向別越波流量の比較

## 5.まとめ

対象岸壁への影響が大きいと考えられるすべての波浪条件に対し、後壁部からの越波流量を計測した標準断面では、すべての工区で許容値を満足した。以上のことから、設計護岸断面については妥当であることが確認された。

ただし、リーフ上のW-3工区より北側に位置する護岸では、リーフの切れ目による波浪変形が護岸越波量に悪影響を及ぼすことが大いに懸念されるため、標準護岸断面に対し対策が必要となる事が考えられる。

今後については、再度、水理模型実験を行い、対策について検討を行っていく事としている。