

複合型空港島周辺の流況に関する模型実験

EXPERIMENTAL STUDY ON FLOW PATTERN AROUND COMBINATION-TYPE OFFSHORE AIRPORT

平石哲也¹・野口孝俊²・宮田正史³・長谷川巖⁴

Tetsuya HIRAISHI, Takatoshi NOGUCHI, Masashi MIYATA and Iwao HASEGAWA

¹正会員 工博 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 関東地方整備局 東京空港整備事務所 (〒144-0041 東京都大田区羽田空港3-3-1)

³正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁴正会員 (株) エコー 水理実験部 (〒104-0001 東京都上野区北上野3-1-1)

A new offshore runway (D-runway) is under construction in the Tokyo International Airport (Haneda Airport) to handle the increasing aviation demand in future. A part of expansion locating at the Tama River mouth is supported by the numerous pile structures and the other made in reclamation (combination-type). The pile structure parts called "jetty parts" is planned not to prevent the flush from the river. The monitoring of flow pattern, wave height as well as the maritime environment will be carried out even after the completion airport completion. As part of the monitoring projects, the flow pattern around the jetty parts are studied in an experiment with the 1/200 scale model representing the river, airport and local topography. The experimental results demonstrates that set-up in the river water level is not varied even after the completion of the jetty parts. The jetty parts become obstacle to prevent wave propagation in the river area and reduce the wave height in the river mouth.

Key Words : Application of current generator, flow pattern in river mouth, offshore airport, pile structure, Tokyo-international airport expansion project, wave basin experiment

1. はじめに

東京国際空港(羽田空港)再拡張事業は、現空港島の沖合に新たに4本目の滑走路(D滑走路)を整備する事業であり、2007年度から本格的に施工を開始する。施工されるD滑走路建設は、海象条件や経済性等を考慮して埋め立て・栈橋組み合わせ構造(複合型構造)によって進められる。従来の全面埋め立て式空港に比較して、大きな特徴は、多摩川河口部に位置する約1000mの区間が栈橋構造によって建設されることである。栈橋構造は、多摩川の洪水時の流れを阻害しないように設計されており、設計時の検討だけでなく、施工中や完成後も生態系等に関する環境変化も含めてモニタリングが行われる予定である。

本研究は、環境モニタリングの一環として、模型実験で空港栈橋構造部周辺の河川流や波高分布を調べたものである。1/200という小さい縮尺での模型実験という制約された条件ではあるが、栈橋構造の設置によっても河川水位が変化しないこと、栈橋構造背後の波高が低下すること等を確認している。特に、空港島建設後に河川内の水位が上昇するのかどうかについて詳細な検討を行っている。

2. 実験の内容

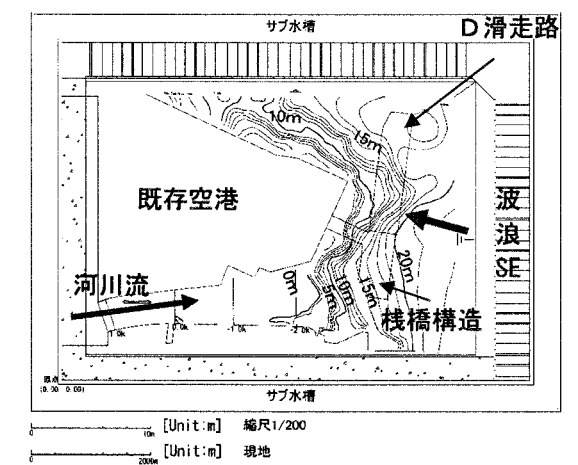
(1) 実験の条件

実験は、30m×40mの造波装置と流れ発生装置を有する平面水槽において1/200縮尺の模型を設置して行った。図-1(a)に実験水槽および模型の配置図を示す。図-1(b)は後述の実験結果の説明で用いる計測点の位置である。実験水槽は、港湾空港技術研究所の環境インテリジェント水槽を使用した。この水槽は、多面式連続型多方向不規則波造波装置と、水槽全側面に沿って流れ発生装置を有している。水槽の長さ、幅および水深は、それぞれ40m、30mおよび1mで、流れ発生装置は、幅2m毎に1台の流れポンプを有し、長い方の側面に5台ずつ、短い側面に沿って3台ずつポンプを配置して、独立して吸い出しおよび吸い込みが可能になっている。

栈橋部は、現地で設計されたジャケット構造をプラスチック模型で再現した。新しく建造されるD滑走路部分の総延長は約3000mで、そのうち河口部にかかる1000mが栈橋構造で建造される。図-2は栈橋構造の平面および立面図を示す。ただし、実験時においては、現地の構造が詳細に決定されなかったため、斜材等は単純化して模型を製作した。図-2では水深方向を実機換算値で、栈橋材の大きさは模型値で示している。栈橋の円筒主材の直径は、

2m（模型で 10mm），間隔は栈橋の長軸方向が約 30m（模型で 150mm），短軸方向が約 15m（模型で 75mm）である。そして直径 1m（模型で 5mm）の水平材が水面より 4.5m 下方および水底より 5m 上方に取り付けられ，水平材と水平材の間に斜材が付けられている。写真-1 にジャケット構造群で製作した模型を示す。河川流は，河川基準点から約 1.5km 上流側に流れ発生装置で生じた水流を集めた模型堰を設け，堰の下流側における水位と流速を横断方向 3 点で測定して，流下流量が目標値となるように再現している。写真-2 は河川部分の模型の状況である。

波は 100 年確率波を参考にして実機で $H_{1/3}=4.1\text{m}$ とし，SE 方向から作用させる。ただし周期は設計では $T_{1/3}=8.2\text{s}$ を用いるが，実験では造波機的能力から 0.8s 以下の波は造波できないので， $H=4.1\text{m}$ （模型で 2.05cm）， $T=11.3\text{s}$ （模型で 0.8s）の規則波を作用させた。潮位は高潮偏差を朔望平均満潮位に加えた A.P.+4.10m（A.P.:河川基準水位）である。河川流は，現計画高水流量：4600 m^3/s および将来計画高水流量：7000 m^3/s とし，河川流のみや河川流と波浪の両者を作用させた場合について河道内の平均水位の変化，栈橋構造周辺の波高・流速を調べた。



(a) 水槽の全体図と河川・空港島の位置

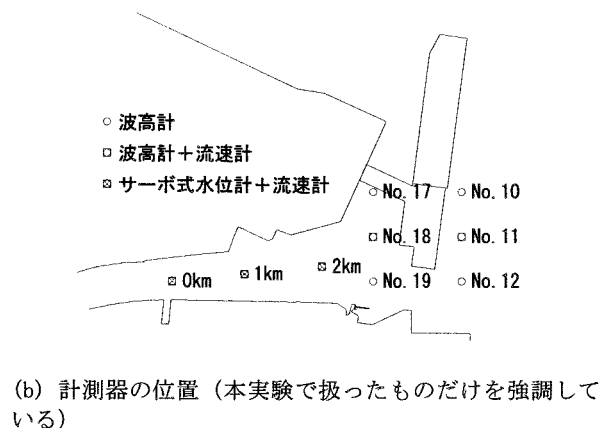


図-1 実験水槽と模型の配置

栈橋部ジャケット構造 (1)～(16)

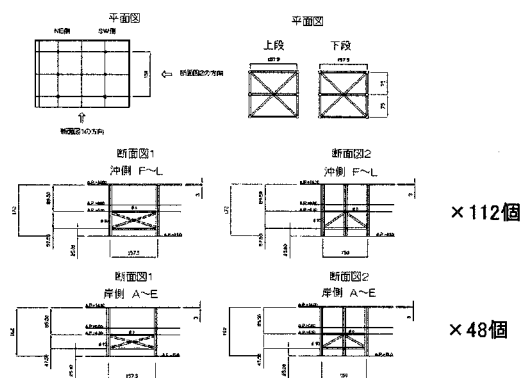


図-2 栈橋部の断面と平面図

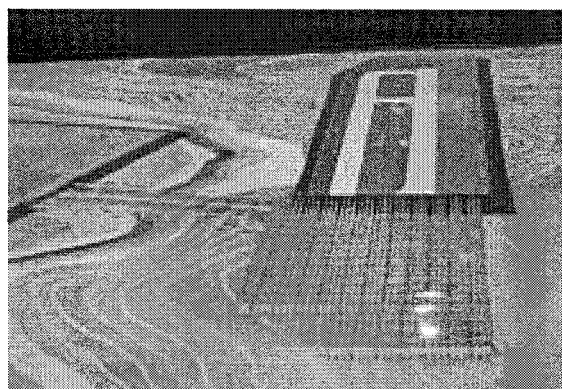


写真-1 栈橋構造模型の外観

(河口に位置する 1000m および取り付け誘導路が栈橋構造となり，プラスチック模型で再現した)



写真-2 河川部分の地形模型

(空港島模型を沖側から見た状況で，左手の河川部は，深さに応じて着色しており，空港側(左岸側)が浅瀬になっている)

(2) 実験データの整理

河口部の河川基準点を 0 として，上流側 1km および下流側 1km, 2km を実験で再現できる河道とし，河道横断方向の中心での平均水位の変化を整理して，栈橋構造による河川水位変化とした。また，0km 地点からフローターと染料を流下させて定性的な流況変化を調べた。さらに，1km 上流点，0km 点，1km 下流点に流速計を設置して局所的な流速を

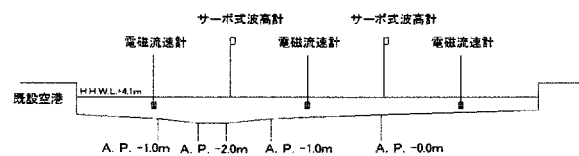
測った。波浪作用下では波による平均水位上昇の影響が現れるので、実験でも波による河道周辺の平均水位上昇を検討した。

空港島周辺および河口部の波高は複数点に設置した波高計で測定し、河道内での波高変化から栈橋構造による波の遮蔽効果を検討している。また、空港島沖側および河川側の平均波高比から栈橋構造全体の波透過率を求めた。

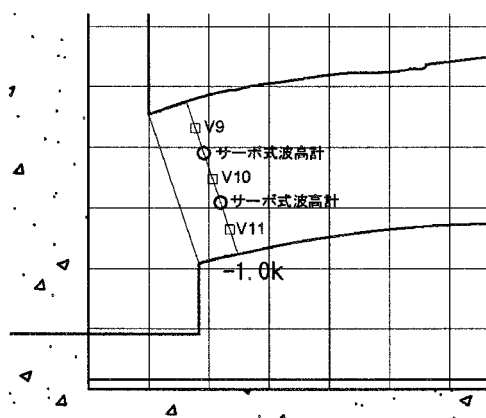
また波の振幅も考慮した河道内の水位を最高水位として解析し、空港島の有無による変化を調べた。

(3) 河川流の設定

現地で設定されている河口の基準点位置を 0km 地点とし、上流側 1.2km 地点に越流堰を設け、潮流発生装置で、一定流を流下させた。河川流量は、1km 上流側に微小な水面変動が測定できるサーボ式波高計を 2 台、電磁流速計を 3 台設置して測定した。図-3 に河川断面および平面図を示す。河川流量は、2つの波高計で区切られた3つの区間で流速に断面積を掛けて、それぞれの流量を求め、3つの区間の流量を合計して目標流量となるように上流部の流れ発生装置の出力を調整した。初期水位は、河川流が無い状態で H.H.W.L.(A.P.+4.10m) および H.W.L. (A.P. +2.10m) に調整し、その後、河川流を発生させた。したがって河道内は、水位が初期値より高くなる。ただし、外海での水位が変化しないように水槽の反対側の流れ発生装置で同一流量を吸い込んでいる。



(a) 断面図



(b) 平面図

図-3 河川流の調整に用いた測定器

3. 実験の結果

(1) 河川流の流況変化

空港島の影響を調べるために、まず空港島が無い状態で河川流の状況を調べた。図-4 は初期水位を 0 として、河道部に設置した水位計で河川内の平均水位の変化を調べたものである。横軸の距離は、河川基準点からの実距離で、正が海側に相当する。凡例の数値は目標流量(m^3/s)である。上流側の堰から流れを与えているので、目標流量を流すためには断面積が大きくなるか、流速が速くならなければならないので、堰に近い地点で水位は初期値から上昇し、下流側で 0 に近づく。図に示すように、初期潮位が同一の場合は、目標流量が大きいほど、水位変化は大きくなり、水位上昇分も含めると河道の断面積が増加することによって大きな流量を流すことができる。目標流量が同一の場合は、初期潮位が大きいほど、水位変化量は小さい。これは、目標流量を流下させるために、あらかじめ大きな断面積を確保できているので、H.H.W.L.の場合の方が水位変化は小さくすむためである。

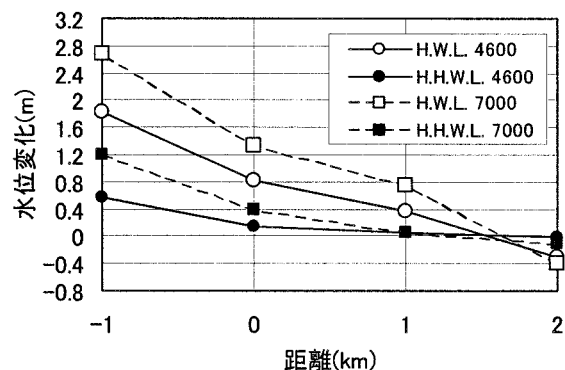


図-4 河川内の水位変化

次にフロートの軌跡を整理して、平面的な流況変化を示す。図-5 は、距離が ~ 1.0 km の河川上に直径 6cm のフロートを投入し、その軌跡を 5s 毎（実機で 1 分 10s 毎）に整理した流況図である。フロートの位置は煩雑なので、同一時刻のフロート位置を曲線で結んで図で示している。投下 490s 後まではすべてのフロートがほぼ同一速度で移動しているが、490s 以降は、図の下方、すなわち河川の右岸側のフロートのみが移動している。河口部は、干潮時に干上がる浅瀬が存在し、そのほとんどが既存空港側（左岸側）に位置している。右岸側は深くなっており、深い場所で A.P.-5.0m 程度になる。したがって河川流のほとんどの流量は右岸側を流下するためフロートも右岸側で速く移動していることが分かる。

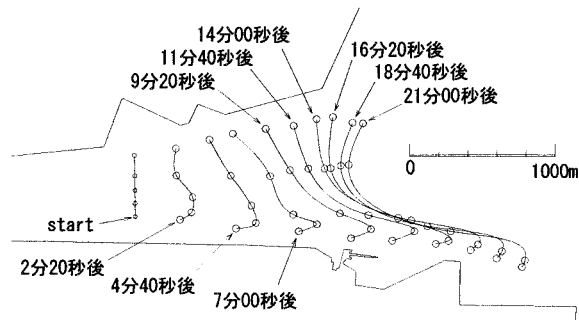


図-5 河川内のフロート軌跡

新しい空港島は、河口部が栈橋構造になっており、河口幅に対する1列目の栈橋杭の幅の総計は8%以下で小さく、河川流に対する支障は生じないように設計されている。ここでは、模型実験で河川水位の変化を調べた。図-6は、D滑走路空港島模型を設置した後の、流速計で測定した流れベクトルを示す。図中、□で示した(No.44,45), (No.42,43), (No.40,41)に電磁流速計を設置して水平2方向の流速を測り、ベクトルで表した。この流向を図の横軸の上流方向を0度とし、反時計回りを正として示したものが表-1である。表に示すように河口の2km地点では、流向の差は、最大のケースで10度程度であり、大きく変化した様子は見られない。これは河川流量が右岸を中心に流れており、左岸側に位置するD滑走路島が大きな障害となっていないこと、および栈橋構造によって流れへの影響が抑制されていることが理由である。図-7には、初期水位からの水位変化を空港島の有の場合から無の場合を引いて、‘水位差’として示したものである。H.H.W.L.で7000m³/sのケースでは、上流側の-1.0kmでは、現地換算値で20cm程度の差が生じているが、河口付近では、水位差は数cmになり小さい。模型値では1mm以下の数値で、サーボ式波高計の分解能0.1mmに近く、微量量である。したがって、模型実験で検討した限りでは、河川流の流向は空港島の

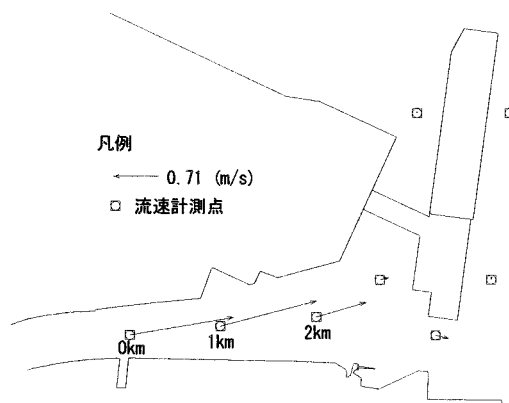


図-6 河口での流れベクトル

表-1 空港島による流向変化(2km:No.40,41)

	D空港島有り	D空港島無し	角度の差
H.W.L. 4600m ³ /s	-172.3°	-160.7°	11.6°
H.H.W.L. 4600m ³ /s	-162.0°	-164.6°	2.6°
H.W.L. 7000m ³ /s	-165.3°	-160.4°	4.9°
H.H.W.L. 7000m ³ /s	-169.1°	-165.3°	3.8°

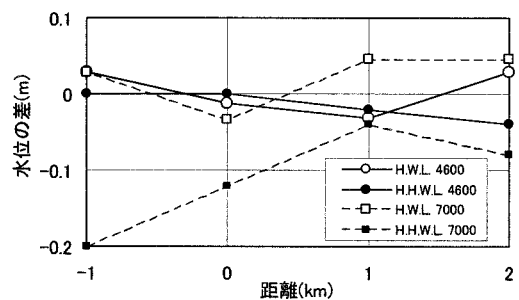


図-7 D滑走路空港島設置による河川内の水位差

建設により最大で10度変化するものの、水位の変化はほとんど生じないと考えることができる。

(2) 波が作用した場合の流況変化

河口付近では河川流の向きと波向が反対方向になるために、‘堰上げ効果’により波高が増大する。最上川を対象になされた調査(平山ら, 2005)では、入射波高が場合によって2割大きくなることが示されている。逆に、波の作用により流況が変化する可能性も考えられるので、ここでは、波浪を作用させた場合の河川内に水位変化等を調べた。

図-8に7000m³/sを流した場合の河川内の測点での波高比を示す。波高比は、空港島設置後の波高を、無い場合の波高で除した値である。H.W.L.の場合は、水深が小さいため、河口付近で碎波の影響が大きく生じ、もともと波高が小さい。そのためにD空港島を設置しても波高比は変化せず、距離が1kmより上流側では空港島の有無により波高が変化することはない。上流の-1km地点では波高比が小さくなっているが、波高の計測値がもともと0.3mmで非常に小さく、わずかの計測時の乱れによって空港設置後の波高が変化したような結果になっており、差は微小と考えることができる。H.H.W.L.の場合には、水深が大きく、碎波が河川の中で生じており、空港島による波の遮蔽効果の影響が顕著に生じている。距離が0kmより下流側では、空港島設置により波高は2割低減している。

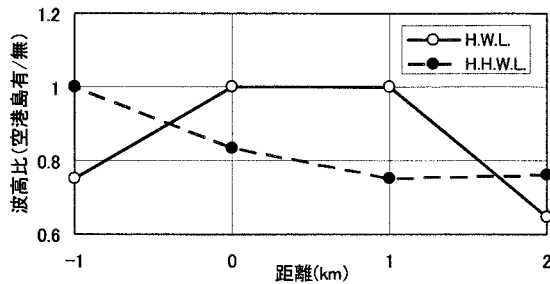


図-8 D滑走路空港島による波高の変化

砕波帯においては、波による平均水位上昇の影響が表れる。そこで、水位変化が最も大きくなる H.W.L.で $7000\text{m}^3/\text{s}$ のケースについて、①空港島が無く、波浪もない場合、②空港島が無く、波浪を作用させた場合、③空港島があり、波浪が作用した場合について、波による平均水位上昇も含んだ平均水位の初期潮位からの変化を比較した。図-9 が結果を示し、波浪が作用すると水位変化は、波浪がない場合に比べて大きくなる。次に空港島が設置されると波浪の影響が小さくなるため、波による平均水位上昇の成分が小さくなるので、全水位変化量は、②の場合より小さくなり、①のケースに近づく。すなわち、空港島の設置により暴風時に実際に生じる水位変化を、空港島がない場合より小さくすることが可能になる。

次に、平均水位に波高を加えた高さを最高水位として整理する。波高の $1/2$ を加えないのは、浅瀬では非線形効果によって波の谷が小さく、山が大きくなるので、実際の設計で用いる最高水位としては、平均水位に波高を加えた方が安全側になるからである。図-10 は、 $7000\text{m}^3/\text{s}$ の場合について、H.W.L.と H.H.W.L.の潮位条件で、最高水位の変化を調べたものである。H.W.L.の場合には、上流に行くほど水位変化が大きく、下流側で小さい。波は砕波の影響で河道内へ入りにくいため、空港島を設置した後も大きく変化せず、2km の河口部で 40cm 程度の現象が現れる。潮位が H.H.W.L.の場合には、0km 地点まで波の影響を受けて最高水位が波無しに比べて大きくなる。空港島が無いことで波高が大きいため、空港島を設置したときの波高の低減が顕著になり、最高水位の低減の様子もはっきり現れている。特に、河口付近の 2km 地点では、空港島建設によって、1.6m から 40cm 程度小さくなる。

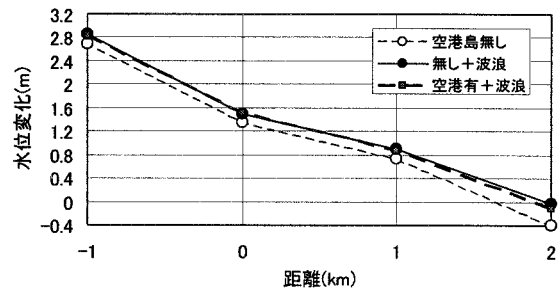


図-9 波による平均水位上昇も含めた水位変化

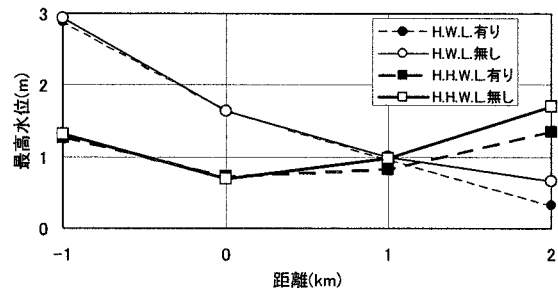


図-10 D滑走路空港島建設による最高水位の変化

(3) 波の透過率

ここでは、空港島栈橋部の波遮蔽効果を表すために、波の透過率を解析する。波の透過率は、本来は 2次元水路で構造物を設置して、入射波と透過波高を求めて解析するが、ここでは海域に与える平均的な波の遮蔽効果を表すために、栈橋構造の沖側に設置した 3本の波高計(No.10, No.11, No.12)の平均波高と岸側に設置した 3本(No.17, No.18, No.19)の平均波高を用いて海域全体を対象とした平均的な透過率を求めた。図-11 に各点の波高計測値および平均値を H.W.L.と H.H.W.L.について示した。このときは、河川流は流していない。また、規則波を作用させたが、地形の影響で波形がやや乱れたので、不規則波の解析手法を活用して有義値で整理した。平均値から透過率 K_t を求めると、

H.H.W.L.: $K_t=0.836$

H.W.L. : $K_t=0.828$

となり、栈橋構造の平均的な透過率 K_t を約 0.8 として求めることができた。

押村ら(2006)は、本実験で対象とした栈橋部のユニットに類似したジャケットを $1/63$ 縮尺で製作し、2つのジャケットを 2次元水路で設置して、入射波と透過波高の比から透過率 K_t を求めている。潮位によって変化するものの、実験結果は $K_t=0.9\sim 1.0$ であった。本実験の栈橋構造部は、波向すなわち空港島横断方向について、12 個のジャケットで構成されるので、2個あたりで $K_t=0.95$ と設定すると、 $(0.95)^6=0.74$ となり、本実験の平面的な測定結果より小さい。ただし、本実験では、栈橋構造部の外側から回折する波の影響も加えているので、2次元実験で得られた透過率より、平均的にはやや高い値が得られたことになる。

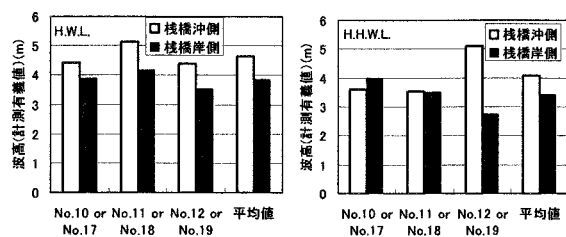


図-11 栈橋構造の沖側および岸側における波高変化

(4) 空港島背後の流況

空港島建設に伴い、周辺海域での環境モニタリングが計画されている。ここでは、全体的な流況をおおよそ把握するために染料を透過して、その広がりをビデオで調べた。図-12 に-1.0km 地点の一直線上に投入した染料の広がりを示す。染料は、河口部で右岸側と左岸側に分かれ、右岸側は沖側へ広がっていくが、左岸側に広がった染料は空港島の背後へ回り込んでいく状況が観察できた。空港島が無い場合には、空港島背後に当たる位置へ広がる状況は現れず、空港島の設置によって既存空港と新空港島の間に生じた水路を流下するような流れが生じることが推測できる。この付近は、干潟状の地形であり、流れの変化が地形変化を及ぼす可能性もあり、今後も現地でモニタリングを続ける必要がある。

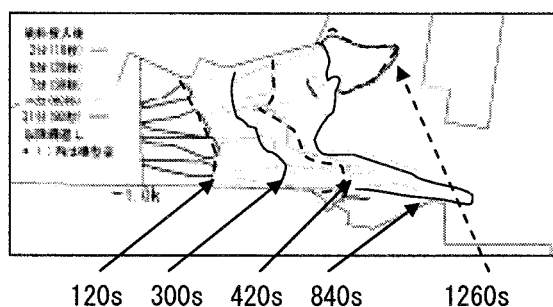


図-12 染料の広がりの様子（広がりの先端を線で結び時刻(s)を表示している）

4. まとめ

本実験では、1/200 縮尺で、羽田空港で沖合展開される複合構造のD滑走路周辺の河川流を中心とした流況について調べた。得られた結果は、以下のようである。

- 1) 現地形においては、H.W.L.は H.H.W.L.に比べて地形による影響が大きく、河口部の浅瀬の存在により H.W.L.時には右岸側の流速が左岸側より大きくなる。
- 2) 波が無い場合では、栈橋構造の存在による河道内の水位変化は、実機換算では数 cm で非常に小さかった。
- 3) 栈橋構造の設置により河道内の波高は小さくなり、空港の有無による波高差は下流 2km 地点で最大になり、0km 地点では波高差がほとんどなくなる。
- 4) 平均水位上昇量は、栈橋部の有無によっても、ほとんど変化はなかった。
- 5) 河道内の最高水位は、栈橋部の波高減衰効果により空港島が建設されると現地形の場合より小さくなる。
- 6) 栈橋構造の沖側と岸側での波高分布を平均して透過率を求めると約 0.8 になった。
- 7) 流況を比較すると、空港建設により、空港島と現空港島の水路を流下する流れが生じることが確認できた。

参考文献

- 押村嘉人・平石哲也・永瀬恭一：数値波動水槽を用いた構造物に作用する流体力検討実験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.866-870，2006 年
 平山克也・峯村浩治，河口部における波高増幅率の簡易算定手法，海洋開発論文集，第 21 巻，pp.313-318，2005 年