

# 교각건설로 인한 나로도 협수로 부근해역에서의 조류변화 수치모형실험

이 문 옥

여수수산대학교 해양토목공학과

## Numerical Model Experiments on the Tidal Current Variations Due to the Bridge Piers Construction near the Straits of Narodo Islands

Moon-Ock LEE

*Department of Ocean Civil Engineering, Yosu National Fisheries University,  
Yosu 550-749, Korea*

Field observation and numerical experiments with a two-dimensional depth-integrated model were undertaken in order to investigate some of the effects on the flow structure resulting from the construction of a bridge connecting Kohung Peninsula and the Narodo Islands on the southern coast of Korea. Tidal currents passing through the straits between the Narodo Islands showed that, although the phase lagged one hour behind that passing through the strait between Kohung Peninsula and Naenarodo Island, it still kept strong flows of more than 80cm/sec near the bottom. The seawater temperature and salinity within the study area seemed to be higher southward but uniform vertically.

The results of the drogoue experiments in the straits between the Narodo Islands showed that the drogues moved northward of Sayangdo in the early part of the flood tide, but southward in the late part of the flood tide and finally stopped a mile from the east coast of Surakdo. On the other hand, the numerical computation showed that the flow structures after construction of the bridge piers were basically in line with those before construction of the bridge piers, except for the slight variations of velocities in the vicinity of the bridge piers. A large scale clockwise circulation has been confirmed in the south area of Namsungri of Kohung Peninsula from the computational results of tide-induced residual currents. Referring to these computational results, the impact category on the flow structures due to the bridge piers construction has been estimated to be within around 2km. The results were in good agreement with the field observations.

### 서 론

나로도주변해역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 고  
흥반도의 남단에 위치하는 평균수심 7m정도의 얇  
은 해역으로 상기한 두 개의 협수로와 남쪽으로

외해와 마주하는 하나의 개방역을 통하여 해수가  
유출입하고 있다. Fig. 2는 본 해역의 등수심도(iso-  
bathymetrical mpa)를 나타내고 있는데, 협수로부  
근에서의 수심변화가 매우 불규칙하여 완만하게  
변화하는 남쪽의 개방역과 현저한 대조를 보여준

다. 이러한 지형적 특징을 가지고 있는 해역에 도서개발을 목적으로 고흥반도의 남단에 위치한 포두면 남성리와 내나로도간을 연결하는 연육교와 내나로도 와 외나로도간을 연결하는 연도교의 교각 공사가 현재 진행되고 있다. 그런데 교각이 외해수가 나로도항으로 유입되는 폭 300m 전후의 두개의 협수로에 설치되므로 이들을 통하여 항내로 유출입하는 해수의 소통능(疏通能, conveyance)에 다소의 변화가 야기될 것으로 판단되며 더우기 교각설치를 위한 우물통 기초준설 및 지반다지기의 공사시 부유사가 발생하여 일시적으로는 인근 양식어장에 악영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 예를 들면 유속의 증가는 침식(또는 퇴적)현상을 일으키므로 연안지형이나 해저지형이 변화하여 결국에는 부착생물이나 저서생물의 서식환경을 파괴하게 되며, 유속의 감소는 지역적으로 빈산소수괴를 형성하여 생물서식과 활동에 필요한 영양물질의 공급저해를 일으킬 수도 있다. 그러나 이러한 흐름의 변화가 생물에 미치는 영향의 정도는 대상어종이나 생물의 종류에 따라 다르며 동일한 생물의 경우에도 성장시기에 따라서도 차이가 있으므로 일률적으로 그 피해의 정도를 평가하기는 물론 어렵다. 김의 경우 생육에 가장 적합한 유속은 25cm/sec로 알려져 있으나 이 값으로부터의 유속의 변화가 김의 생육에 미치는 영향은 유업(즉 유아기)이나 또는 노엽(즉 노년기)이냐에 따라 그 정도가 다르다(加藤, 1984).

한편 원주모양의 교각주변에서 일어나는 세굴현상(scouring)에서는 소위 마제형와(馬蹄型渦, horse-shoe vortex)가 지배적이다. 원주교각과 같이 둔한 전두부를 가진 곳에서는 원주라고 하는 장애물에 의해 유하방향으로 강한 압력기울기가 생겨, 전단류(shear flow)에서는 그것이 연직방향으로 다르기 때문에 경계층의 3차원 박리(剝離, separation)가 일어나서 원주전면을 따라 하강류와 함께 강한 회전류가 발생하여 이것이 원주를 따라 유하하여 소위 마제형와 즉 말발굽형의 와류가 생긴다. 이러한 원주형의 교각주변에서 생기는 세굴현상에서는 中川 등(1974)이나 宇民(1976) 등의 실측결과에 의하면 원주교각 직경의 약 0.2배 크기의 와류가 교각의 전면에서 형성되는 것으로 밝혀졌다. 이것을 참고로 원주교각의 전면에서 발생하는 저면에서의 세굴의 범위를 辻本 등(1985)의 식에 의해 추정해 보면 천이세굴심을 이용하는 경우, 대략 원주교각 직경의 5배 정도로 평가된다. 따라서 나로도의 두 개의 협수로에 세워진 원주교각의 경우 그

직경을 20m로 가정하면 적어도 교각을 중심으로 100m정도가 이러한 와류에 의한 세굴현상이 발생할 수 있는 범위로 볼 수 있을 것이다.

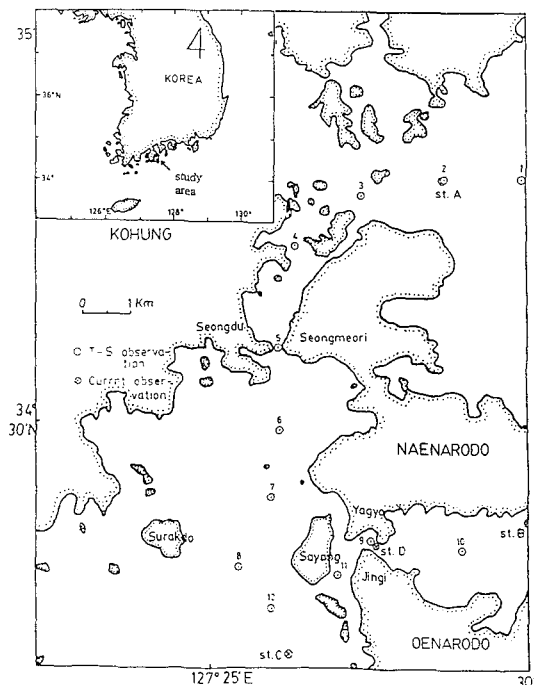


Fig. 1. The location of observation stations in the study area.

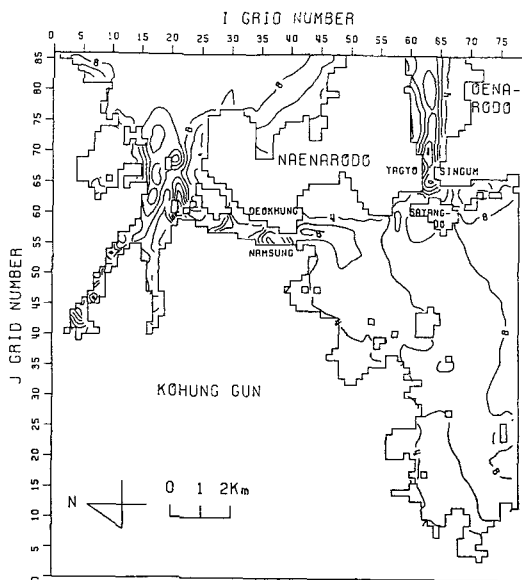


Fig. 2. The isobathymetrical map after first smoothing.

본 연구의 목적은 이러한 교각의 설치가 인근해역에 미치게 될 해수유동에의 영향을 밝히고, 나로도 주변해역에서의 흐름장의 특성을 파악하기 위해 수행되었다.

### 연구방법 및 자료

#### (1) 현장조사

대상해역의 흐름의 특성을 파악하기 위하여 전술한 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 연육교 및 연도교가 설치되는 협수로상의 정점 A 및 B에서 25시간 연속측류와 해류판의 표류에 의한 추적실험이 각각 실시되었다. 연속측류는 대조기인 1993년 5월 22일과 23일의 양일에 걸쳐서 두 척의 소형선박과 CM-2형 직독식 유속계(일본국 Toho Dentan제)를 사용하여 이루어졌다. 해류판(drogue) 표류에 의한 추적실험은 정점 A에서는 대조기인 1993년 4월 24일 만조예정시각(10시 34분) 직전부터 약 3시간반 동안, 그리고 1993년 5월 22일 만조예정시각(9시 39분)의 약 1시간후부터 간조예정시각(15시 35분) 직전까지 각각 실시되었고, 정점 B에서는 1993년 5월 23일 만조예정시각(10시 17분)의 약 2시간 전부터 3시간 반 동안 실시되었다. 정점 A에서 투하한 해류판의 경우는 약 20분 간격으로 그 위치를 자기나침의(magnetic compass)에 의한 세 물표의 교차방위법(cross bearing)에 의하여 그 위치를 각각 확인하였다. 해류판은 가로와 세로가 각각 50 cm인 두개의 스텐레스판을 서로 직각으로 교차시켜 그 상하에 부자와 추를 달아 일정수심 3m에서의 흐름을 따라 표류하도록 고안되어 있다. 한편 해수의 물리적 특성을 파악하기 위하여 1993년 4월 25일(월령 3.1일) 대상해역내의 12개 정점에서 휴대용 염분계(bridge type, EL Salinometer)로 수심별 수온 및 염분을 관측하였다.

#### (2) 수치계산의 모형

##### 가. 기초방정식

조류장의 계산을 위한 계산모형으로서는 R.A. Falconer(1986)가 개발한 DIVAST(Depth Integrated Velocities and Solute Transport)를 사용하였다. 본 연구에 사용하는 수학적 모델은 운동량, 질량보존 방정식에 관한 수심적분한 2차원모형이다. 밀도가 일정한 난류의 흐름에서 흐름방향을 x축, 그 횡방향을 y축으로 취하면 수심적분한 운동량방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial UH}{\partial t} + \beta \left\{ \frac{\partial U^2 H}{\partial x} + \frac{\partial UVH}{\partial y} \right\} - fVH + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\rho_a C^* W_x (W_x^2 + W_y^2)^{1/2}}{\rho} + \frac{gn^2 U (U^2 + V^2)^{1/2}}{H^{1/3}} - \varepsilon H \left\{ 2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} \right\} = 0 \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial VH}{\partial t} + \beta \left\{ \frac{\partial UVH}{\partial x} + \frac{\partial V^2 H}{\partial y} \right\} + fUH + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\rho_a C^* W_y (W_x^2 + W_y^2)^{1/2}}{\rho} + \frac{gn^2 V (U^2 + V^2)^{1/2}}{H^{1/3}} - \varepsilon H \left\{ 2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \right\} = 0 \quad \dots\dots (2)$$

여기서 U, V는 각각 x, y방향의 수심평균유속, β는 연직방향의 유속분포의 비균일성에 대한 보정계수(2차 order의 방울형 바람이 유기한 유속분포의 경우는 1.2의 값을 가짐, Falconer and Chen, 1991), f는 코리올리 parameter(=8.39×10<sup>-5</sup>sec<sup>-1</sup>), η는 기본수준면에 대한 수위변화량, H는 흐름의 전수심, g는 중력가속도, ρ<sub>a</sub>는 대기의 밀도(=1.25 kg/m<sup>3</sup>), C\*는 대기와 물사이의 계면저항계수(=2.6×10<sup>-3</sup>), W<sub>x</sub>, W<sub>y</sub>는 각각 x, y 방향의 풍속 성분, ρ는 유체의 밀도(=1026kg/m<sup>3</sup>), n은 Manning의 저면조도계수(=0.03m<sup>-1/3</sup>sec), ε는 수심평균한 와동점성계수(=10m<sup>2</sup>/sec)를 각각 의미한다.

식 (1)과 식 (2)에 있는 개개의 항들은 수심적분한 (i)국소가속도, (ii)이류가속도, (iii)코리올리 효과, (iv)압력기울기, (vi)저면마찰, (vii)난류를 각각 나타낸다. 마찬가지로 수심적분한 질량보존방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

전술한 미분방정식 (1)에서 (3)까지는 ADI법에 의한 차분방정식에 의해 표현되며 모든 항들은 공간 및 시간에 대하여 중앙차분화 하였다. 이후 U, V, η는 Gauss소거법을 사용하여 내삽법으로 풀고 공간은 staggered grid scheme으로 차분방정식을 풀게 된다.

##### 나. 모형해역과 경계조건

전술한 Fig. 1의 모형해역에 대한 경계조건은 육지폐경계(closed boundaries)의 법선방향 유속은 0이며, 외역에서 두개의 협수로로 해수가 유출입하는 개경계(open boundaries) 즉 정점 A 및 B부근에서의 수위변화와, 또한 남쪽의 개경계, 즉 정점

C부근에서 유출입하는 해수의 수위변화곡선은 전술한 Fig. 1에서 보여지는 이들 각 지점에서의 조류의 조석의 위상차와 유속 등을 고려하여 Fig. 3과 같이 적절한 수위곡선을 주었다. 여기서는 B지점을 기준으로 할 때 A지점은 위상이 50분 빠르게 C지점은 10분이 느리게 수위변화에 대한 정현파의 수위곡선을 주었으며, 진폭은 A, B 및 C지점에서 각각 1.8m, 1.9m 및 1.7m를 주었다. 여기서는 특히 계산조건으로서 교각의 설치로 인하여 가장 최대 영향을 미칠 수 있는 조건을 문제로 삼고 있으므로 대조기(spring tide)의 경우를 그 대상으로 한다.

모형해역은 일정 크기의 78×85mesh의 격자점을 사용하여 표현되었으며 공간차분간격은 200m, 시간차분간격은 Courant number(= $t(gh_{max})^{1/2}/\Delta x$ )가 8보다 작다는 조건하에 90초로 정하였다. 조석의 주기는 12시간, 계산시간은 121시간이었다. 계산은 실제 실행 후 3조석주기의 이후부터 거의 수위 및 유속이 안정되지만 본 연구에서는 10조석 주기까지 계산한 결과를 해석하였다.

다. 풍응력의 고려

대상해역에 있어서의 조류와 부유물질의 확산에 관한 계산을 행하는 경우 외력의 조건으로서 바람을 고려할 필요가 있다. 그것은 본 해역이 전반적으로 수심이 비교적 얕아 조류나 물질의 확산이 풍응력에 의해 강한 지배를 받을 것으로 예상되기 때문이다. 연육교공사가 시작된 것은 1990년 7월 16일부터이므로 교각의 공사당시에 발생하게 될 부유물질의 확산이나 조류의 재현을 목표로 하여 7월에 있어서의 이 해역의 풍향과 풍속을 계산조건으로서 고려하였다. 여기서는 나로도부근의 7월의 평균풍속으로 3.2m/s와 평균풍향으로 SE(진방위로서 135°)를 채용하였다.

이밖에 본 연구에서는 교통부 수로국에서 1978년 4월 1일부터 9월 30일에 걸쳐 행한 나로도일대해역의 조류관측결과(수심 5m에서 MTCM-4형 자기유향유속계에 의하여 관측됨)와 이리지방 국토관리청이 1989년 5월 29일에서 5월 31일까지 두개의 협수로에서 행한 25시간 연속측류자료(수심 5m층에서 DCM-2형 자기유향유속계에 의해 관측됨)를 각각 이용하였다.

결과 및 고찰

(1) 현장관측결과

가. 나로도 주변해역의 조석과 조류

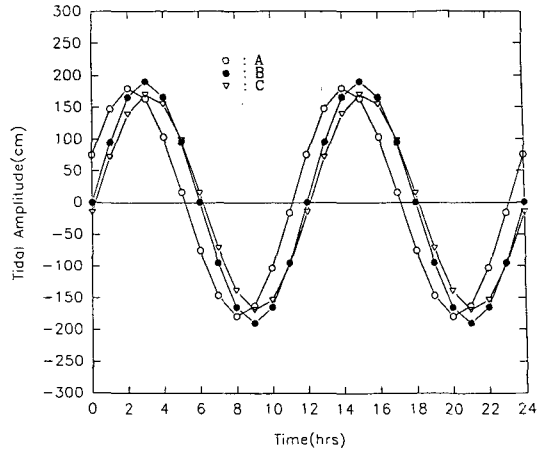


Fig. 3. Tidal curves given to the open boundary conditions.

나로도항의 최대조차는 약 4m이며 조시는 표준항인 여수항보다 약 15분가량 늦다. 상기한 두개의 협수로와 남쪽의 개방역을 통해 대상해역으로 유출입하는 조류는 서로간에 다소의 시차가 있다. 이들 두 협수로에서 관측한 조류의 25시간 연속측류 결과에 의하면 고훈교 남성리와 내나로도의 덕홍리 사이의 협수로에서의 조류는 내나로도의 야교리와 외나로도의 신금리사이의 협수로에서의 조류에 비해 창조류와 낙조류가 각각 1시간씩 늦어지고 있다. Table 1은 교통부 수로국에서 행한 나로도 일대의 조류관측결과를 나타내는데, 이 결과에 의하면 남쪽의 개방역으로부터 유출입하는 정점 C에서의 조류가 가장 탁월하며(왜냐하면 조류의 진폭의 합성치가 가장 크므로)이 두 협수로로 통하는 외해수와와 경계역인 정점 A와 B에서의 유속은 거의 대등함을 보여준다. 한편 조화상수인  $M_2$ 분조에 각 지점별 진폭과 지각은 시각에 관계없는 고유한 상수이며 특히 지각은 가상천체(여기서는  $M_2$ 천체)의 남중시로부터 만조가 될 때까지의 경과시간을 나타내므로 적어도 정점 B에서의 조류는 정점 A나 C에서의 조류에 비해 창조시나 낙조시가 1시간이상 늦어질 것으로 예상된다. 이것은 전술한 두개의 협수로에서 실시된 조류의 관측결과에서 보는 바와 같이, 연도교의 설치지점(내나로도도와 외나로도사이의 협수로)에서의 창조류(또는 낙조류)가 연육교의 설치지점(고흥과 내나로도사이의 협수로)에서의 창조류(또는 낙조류)보다 각각 1시간 늦다는 사실과 매우 잘 부합하고 있다. 이러한 특성은 앞으로 다루게 될 대상영역에서의 조류장의 계산

Table 1. The amplitude and phase of  $M_1$  and  $M_2$  constituents at each station

Station	Latitude	Dir.	Amp.	Phase	$M_1/M_2$	Moon's
	Longitude	(°)	(cm/s)	Lag(hr)		Age(day)
A	34°33'10"N	major axis	132	34.7	0.1	18.5-19.5
	127°28'40"E	minor axis	42	8.1	3.1	
B	34°28'46"N		95	31.8	1.5	28.3-29.3
	127°30'42"E		5	16.7	4.5	
C	34°27'04"N		125	39.7	0.4	18.9-19.9
	127°26'02"E		35	2.7	3.4	

모형의 경계조건을 설정하는 데 이용된다. 예로서 Fig. 4와 Fig. 5에 정점 B 및 D에서의 조류의 연속 관측에 의한 조류타원도를, 그리고 Fig. 6에 정점 D에서의 조류벡타도를 각각 나타내었다. 이들 결과는 연도교의 협수로에 가까와질수록 수로의 주류방향의 유속이 증가하는 경향을 보여 주며, 또한 외역경계에서는 30cm/s 정도로 미약하던 반일주조 및 일주조성분의 조류가 협수로에서는 전 수층에 걸쳐서 80cm/s전후의 강한 흐름을 보인다.

나. 수온·염분의 수평 및 연직분포

본 해역의 정점별 수온 및 염분의 연직분포를 Fig. 7에 나타내었다. 대상해역의 수온과 염분의 수평적 분포는 수온이 12.7~13.7 °C, 염분이 33.45~33.68의 범위로서 북쪽에서보다 남쪽에서 그 값이 다소 높은 경향을 나타내지만 이들의 연직분포는 균질하다. 이것은 수심이 비교적 얇고 따라서 조류에 의한 연직혼합이 강한 사실을 의미한다.

다. 해류판 표류추적실험

Fig. 8은 두개의 협수로상의 정점 A 및 B에서 투하한 해류판의 표류추적한 실험결과를 나타낸다. 4월 24일 협수로상의 정점 A에서 전류시를 전후하여 투하한 해류판 No. 1과 No. 2는 만조예상시각보다 약 3시간이 경과하여도 계속 남하하였다. 그러나 5월 22일 협수로상의 정점 B에서 투하한 No. 3~No.6의 해류판의 추적결과를 보면 창조류는 초기로부터 말기에 이르면서 흐름이 시계방향으로 선회하여 낙조류로 바뀌어지는 것을 알 수 있으며, 또한 이것으로부터 조류의 전류는 만조예정시각(즉 9시 39분)보다 2시간정도 늦다는 사실도 밝혀졌다. 그리고 No.6과 No.7의 회수지점 부근에서의 경로변화의 추이를 보면 전류시에 가까와지면서 흐름이 매우 미약해 지는 것을 알 수 있다.

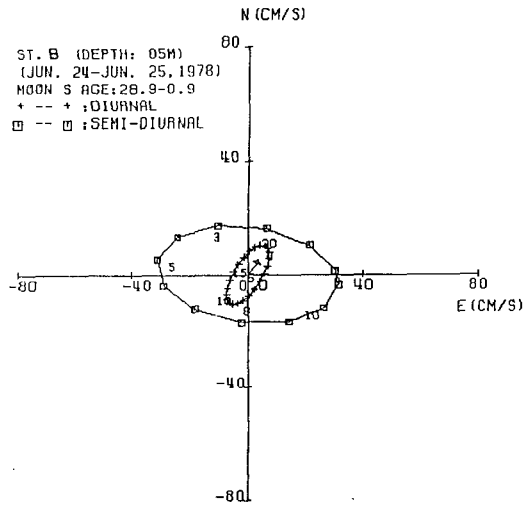


Fig. 4. Tidal current ellipse at station B.

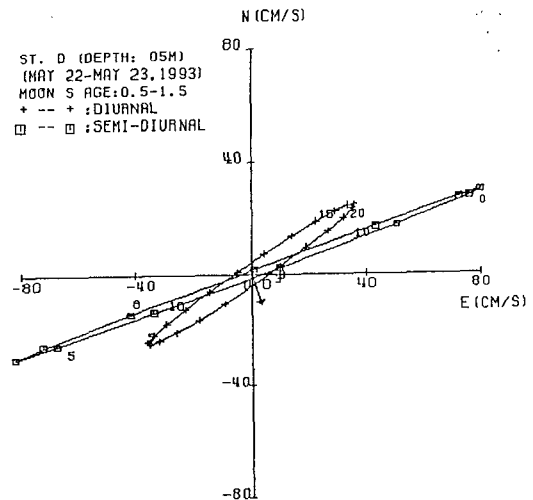


Fig. 5. Tidal current ellipse at station D.

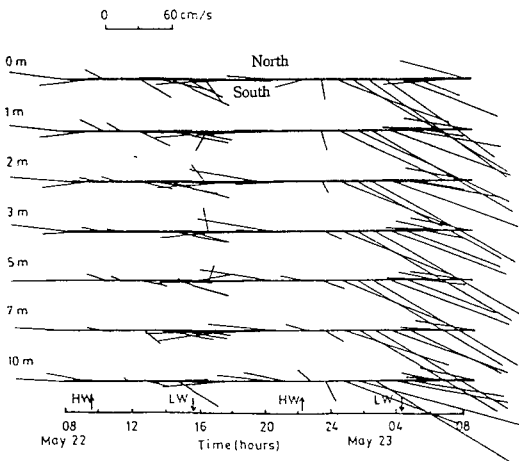


Fig. 6. Tidal current vector at each depth in station D.

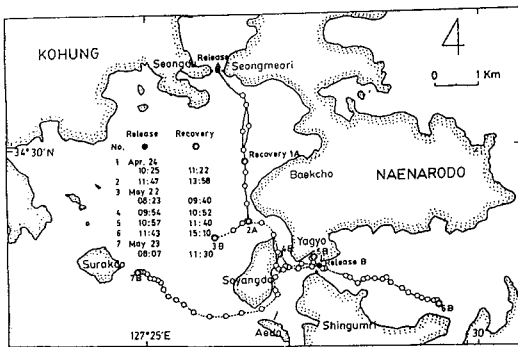


Fig. 8. The results of drogue drift experiments.

(2) 수치계산결과

가. 모형의 검증

Fig. 9에 두개의 협수로(즉 연육교와 연도교 아래)에서 유속계로 실측한 결과와 본 계산모형에 의한 계산결과를 나타내었다. 연육교가 설치되는 협수로에서의 계산결과는 실측결과에 비해 유속이 약간 크지만 전반적으로는 관측결과와 매우 잘 일치한다. 2회째의 최강 창조류의 경우 실측치와 계산치가 다소의 위상차를 보이는 것은 본 계산모형내에서 조류의 일조부등을 고려하지 않았기 때문이다. 앞으로 조류에 대한 장기간의 보다 정밀한 예측결과를 얻기 위해서는 실제 조석의 일변화가 포함된 연속관측자료가 요구되지만, 현재의 모형에 의한 계산결과는 실제 현상을 충실히 재현하고 있다고 판단된다.

나. 교각이 인근해역의 유동에 미치는 영향

i) 대조기의 창조류 및 낙조류

두개의 협수로에 교각이 설치되면 우선 통수단면의 축소로 생기는 흐름의 가속현상과 이로 인한 교각주변에서의 세굴현상이 예견된다. 계산시 두개의 협수로에 있어서의 교각의 설치로 인한 통수단면의 감소가 흐름에 미치는 효과를 평가하기 위해, 각각의 협수로에 있어서의 두 교각의 직경과 협수로 양측의 호안공사가 흐름을 저해하는 면적을 1/2로 각각 감소시켜 계산을 실시하였다. 먼저 교각의 설치전과 설치후에 있어서의 최강 창조류시 및 최강 낙조류시에 있어서의 조류의 계산결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이 결과에 따르면 교각의 설치전후의 유동형태는 그 흐름의 크기에 있어서 교각주변에서 미미하게 유속이 빨라진 점과 또한 낙조류시 사양도의 동쪽 및 신금리 남쪽의 나로도항내의 흐름방향이 다소 변화한 점을 제외하고는 거의 일치한다. 창조류시 남성리의 남쪽에 직경 2km 정도의 시계방향의 순환이 존재하고 있는 점이 이 해역의 특징적인 유동현상으로 주목된다. 이들의 계산결과에서 보여지는 유동형태는 전술했던 Fig. 8의 해류관 표류추적 실험결과와 매우 잘 부합하고 있으며 따라서 본 모형에 의한 계산결과가 타당함을 반영하고 있다.

ii) 조석잔차류

본래 평균류성분을 가지지 않는 왕복운동인 조류의 비선형성의 결과 생기는 평균류가 조석잔차류(tide-induced residual current)로서 연안해역에서의 물질수송에 중요한 역할을 한다.

교각설치전후에 있어서의 조석잔차류의 계산결과를 Fig. 11에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 교각의 설치후 두개의 협수로 부근에서의 미미한 유속의 증가를 제외하고는 전혀 흐름의 양상은 변화가 없다. 세계의 개경계에서는 대상해역내로의 유입과 유출의 흐름이 서로 교차하지만 두개의 협수로 부근에서는 해역내로 유입되는 흐름이 지배적인 것으로 보인다. 또한 대상해역내에서의 흐름은 사양도와 그 서측에 있는 수락도의 복단을 경계로 하여 서로 나누어져, 그 북쪽의 흐름 중 일부는 고흥군 남성리의 남쪽에서 대규모적인 시계방향의 순환류를 형성하고 또 일부는 나로도 덕흥리 남쪽에서 반시계방향의 순환류를 형성하는 반면, 그 남쪽의 흐름은 비교적 수심이 얇은 남쪽 개경계의 서쪽을 통하여 빠져나가는 반시계방향의 순환형태를 보여준다. 한편 연육교쪽의 협수로의 북쪽에 위치한 시호도부단에도 시계방향의 순환류가 존재하고 있다.

교각건설로 인한 나로도 협수로 부근해역에서의 조류변화 수치모형실험

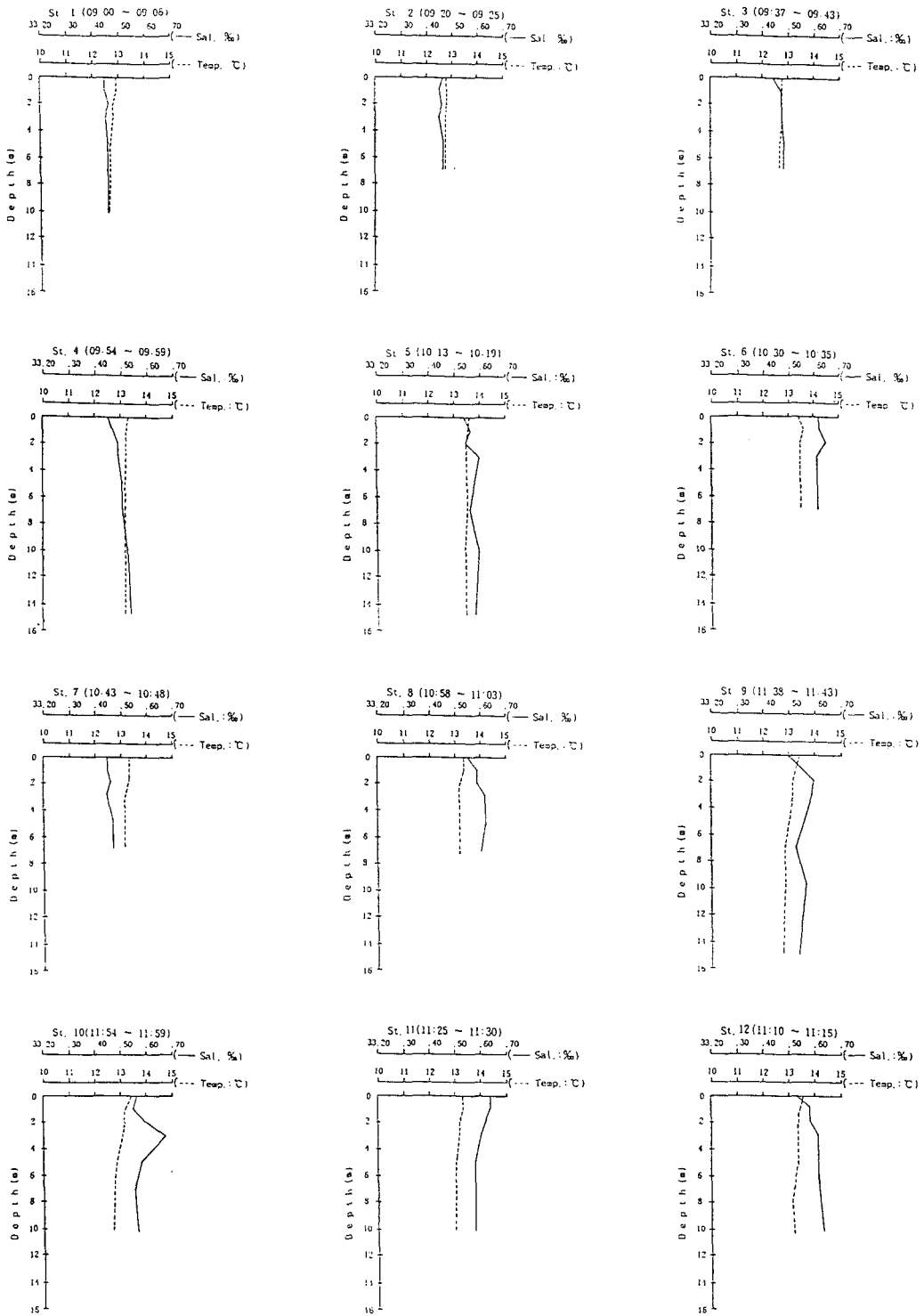


Fig. 7. Vertical profiles of temperature and salinity at each station.

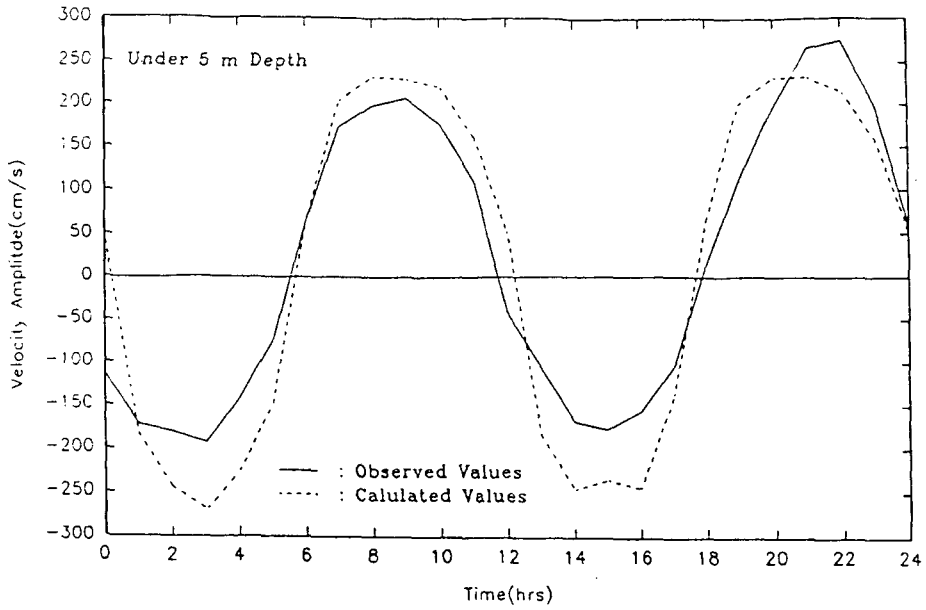


Fig. 9a. The comparison between the computed value and observed value at the strait between Kohung Peninsula and Naenarodo Island.

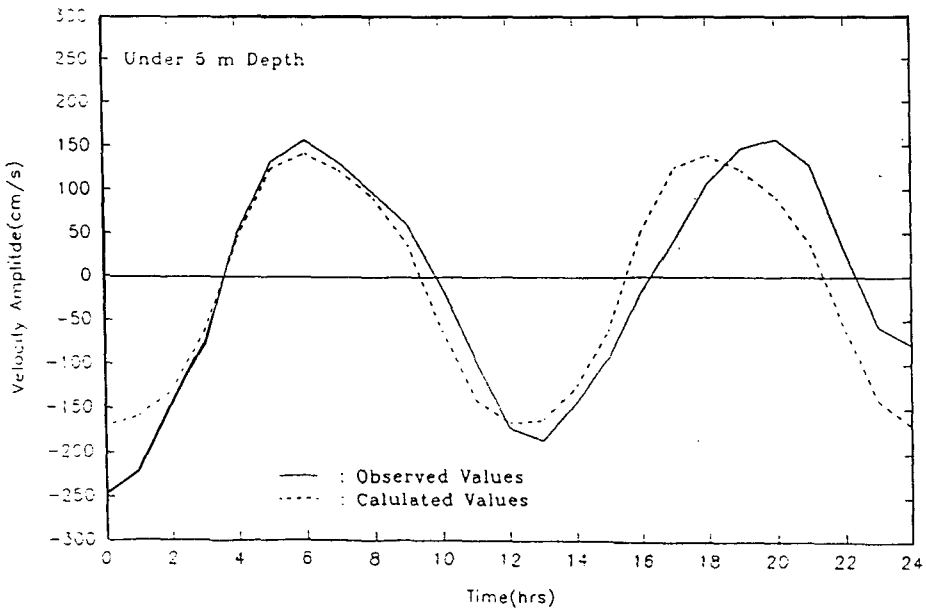


Fig. 9b. The comparison between the computed value and observed value at the strait between Naenarodo and Oenarodo Islands.



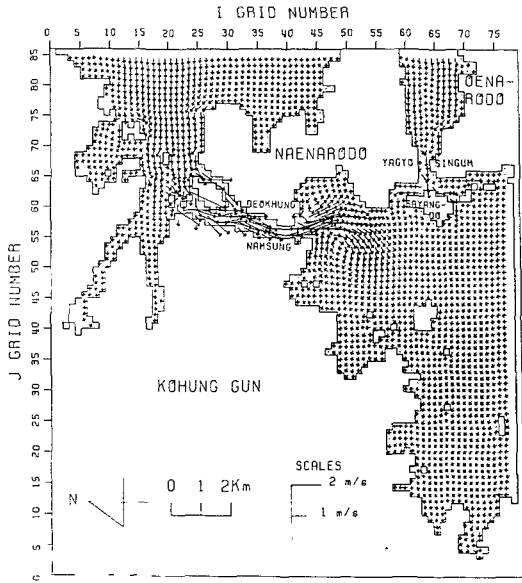


Fig. 10a. The maximum flood velocity field before construction of bridge piers.

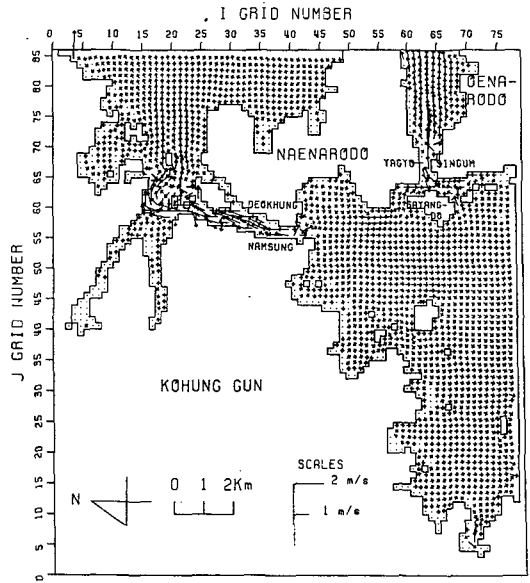


Fig. 10b. The maximum ebb velocity field before construction of bridge piers.

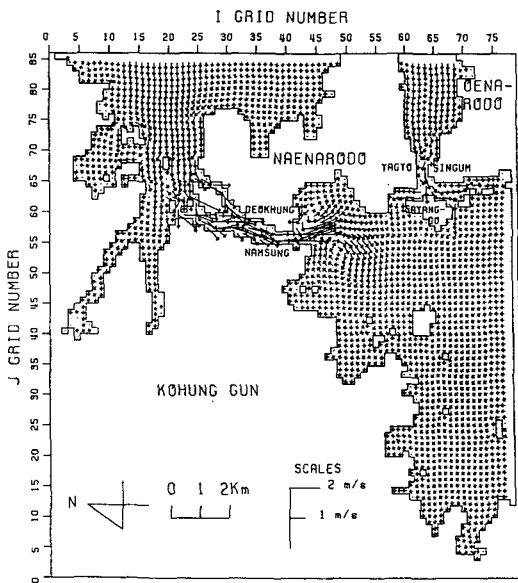


Fig. 10c. The maximum flood velocity field after construction of bridge piers.

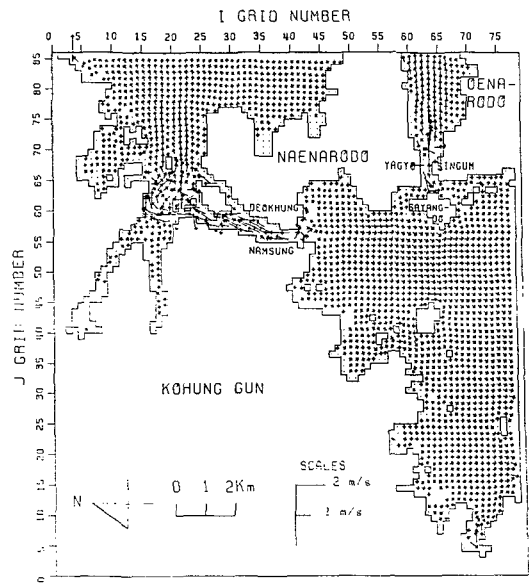


Fig. 10d. The maximum ebb velocity field after construction of bridge piers.

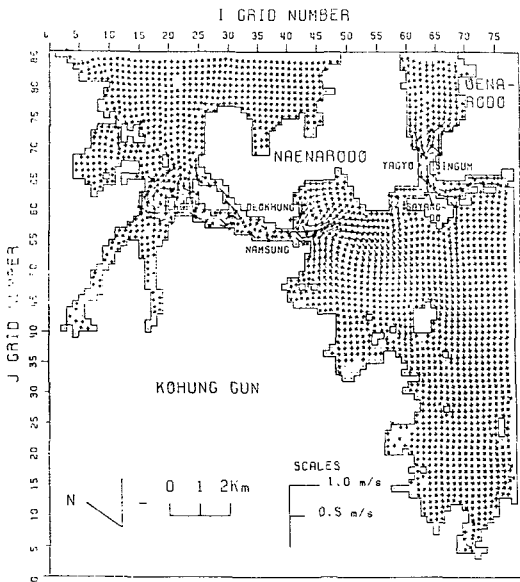


Fig. 11a. Tide-induced residual currents before construction of bridge piers.

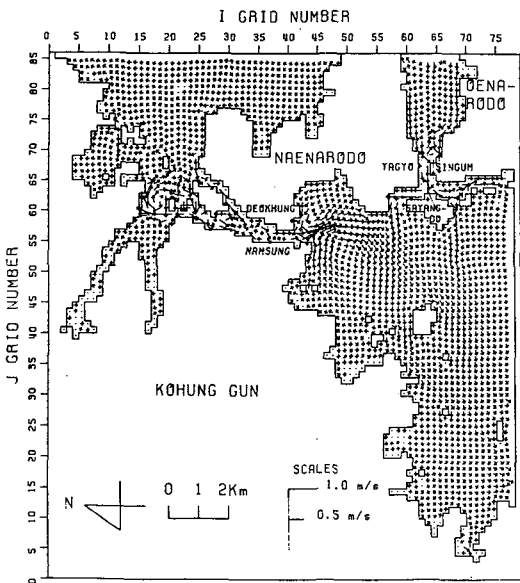


Fig. 11b. Tide-induced residual currents after construction of bridge piers.

iii) 교각이 유동에 미치는 영향범위

교각의 설치로 인한 유동에의 영향을 평가하기 위하여는 교각의 설치전후의 조류장을 재현하여 이들의 계산결과와의 차이로부터 판단할 수 밖에 없

다. 유동장은 유속과 유향을 가진 소위 벡터장으로 표현되지만 교각의 설치전후의 흐름장의 차이를 이러한 벡터장으로 나타내는 것은 계산결과와의 처리상 어려움이 있어서 여기서는 편의상 계산영역 내의 각 격자에 있어서의 교각의 설치전후에 대한 절대유속의 차이로써 표현하였다. 전술했던 조석간차류의 계산결과에서도 알 수 있듯이 사양도 부근의 극히 일부지역을 제외하고는 유향은 거의 변화가 없었던 점을 고려하면 본 해석방법이 영향범위의 평가에 문제되지는 않을 것으로 생각한다.

대조기 최강 창조류 및 최강 낙조류, 조석간차류에 대한 교각설치 전후의 절대유속의 차를 Fig. 12에 각각 나타내었다. 여기서 곡선상의 각 값들은 교각이 설치된 후의 각 격자상의 절대유속에서 교각설치전의 절대유속을 뺀 값으로 표현한 등유속차로서, 따라서 본 그림에서의 +값은 교각의 설치 후 유속이 증가한 것을, 또한 -값은 교각의 설치 후 유속이 감소한 것을 각각 의미한다.

최강 창조류의 경우 연육교 부근에서는 교각이 설치된 후 최대 30cm/sec의 유속이 증가하는 반면 그 남쪽과 북쪽의 시호도 부근에서는 10~20cm/sec의 유속의 감소가 있다. 한편 연도교 부근에서는 교각의 설치후 신금리의 연안과 나로도항 및 사양도의 남쪽에서 유속이 10cm/sec 증가하였다.

최강 낙조류의 경우 연육교의 협수로내에 위치한 시호도의 동쪽수로에서 최고 40cm/sec의 유속이 증가한 반면, 연도교의 사양도 부근과 내나로도외나로도사이의 외수로에서는 10~20cm/sec의 유속의 감소가 나타난다. 또한 교각의 설치전후의 조석간차류의 변화를 보면, 연육교 부근의 남성리와 덕흥리의 남쪽에서 5~10cm/sec, 그리고 북동쪽의 개경계에서 최고 15cm/sec의 유속의 증가와 협수로내 및 그 주변해역에서의 5~10cm/sec의 산발적인 유속의 감소가 나타난다.

한편 연도교 부근에서는 야교리의 남쪽과 서쪽 해안에서 5cm/sec, 신금리의 북동쪽에서 최고 20cm/sec의 유속의 증가가 나타난다. 이상의 조석간차류의 계산결과로부터 해수의 유동변화가 예상되는 범위는 교각의 설치지점으로부터 약 2km이내로 판단된다.

결 론

이상 1993년 4월부터 5월까지 2회에 걸쳐 실시된 나로도 주변해역에서의 현장조사와 2차원 수치모

교각건설로 인한 나로도 협수로 부근해역에서의 조류변화 수치모형실험

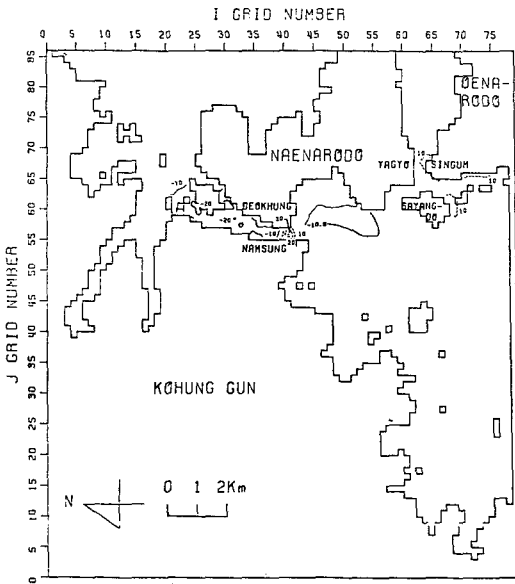


Fig. 12a. The isovelocity difference contours between before and after construction of bridge piers for maximum flood tide.

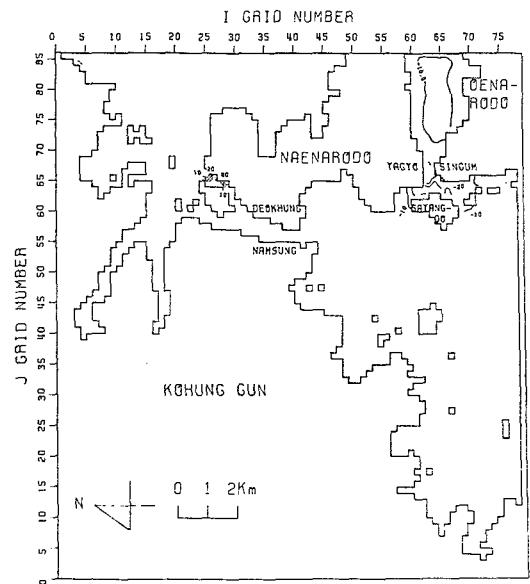


Fig. 12b. The isovelocity difference contours between before and after construction of bridge piers for maximum ebb tide.

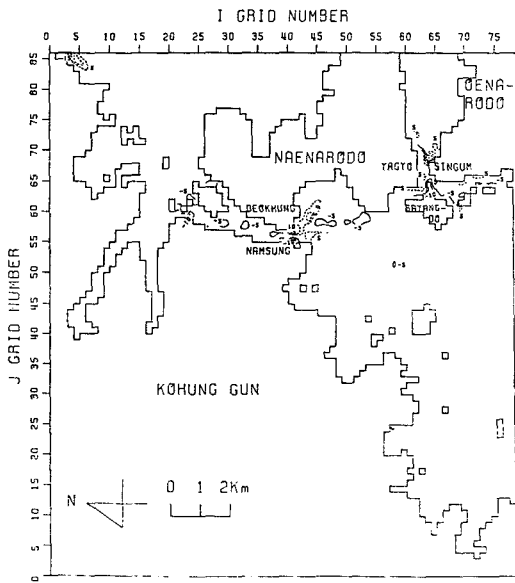


Fig. 12c. The isovelocity difference contours between before and after construction of bridge piers for tide-induced residual currents.

특징과 원주교각의 설치와 유동구조에 미치는 영향에 관한 검토결과는 다음과 같다.

(1) 내나로도도와 외나로도사이의 협수로에서의 조류는 고흥반도와 내나로도사이의 협수에서의 조류에 비해 그 위상이 약 1시간 늦었다. 또한 유속이 그 최대가 80cm/sec 이상이 되는 강한 흐름이 저층에서 관측되었다.

(2) 수은 및 염분의 값은 대상해역의 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 각각 다소 높아지는 경향을 보였다. 그러나 연직분포는 거의 균일하였으며 이것은 조류에 의한 강한 혼합이 있음을 시사하였다.

(3) 수치실험에서는 교각의 설치후의 흐름형태가 교각부근의 극히 제한된 범위에서의 유속의 상대적인 증가를 제외하고는 설치전의 흐름형태와 기본적으로 차이가 없었다.

(4) 고흥군 남성리의 남쪽에서의 직경 2km 정도 크기의 시계방향의 순환류와 나로도 덕흥리의 남쪽에서 반시계방향의 순환류가 각각 조석간차류로서 출현하였다.

(5) 원주교각의 설치전후에 대한 조석간차류의 계산결과로부터 예상되는 유동변화의 범위는 약 2 km 이내일 것으로 판단되었다.

형실험을 통하여 밝혀진 나로도해역의 흐름장의

### 감사의 글

부산수산대학교 해양공학과 이종섭 교수와 대학원생 박일홍씨로부터 본 논문의 계산모형의 실행에 따른 문제해결과 계산결과의 처리에 있어서 귀중한 조언과 협조를 받았다. 여기에 깊이 감사드리고 싶다.

### 참 고 문 헌

Falconer, R.A., 1986. A two-dimensional mathematical model study of the nitrate levels in an inland natural basin. International Conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment. Bournemouth, England, 10~13 June, 325~344.

수로국. 1979. 나로도부근일대 조류관측결과. 수로

기술연보, 151~184.

加藤重一, 1984. 水産土木概論, 恒星社厚生閣, 東京, 315~346.

中川博次·辻本哲郎, 1986. 移動床流れの水利, 新體系土木工學 23, 技報堂出版, 東京, 263~289.

柳哲雄, 1989. 沿岸海洋學, 恒星社厚生閣, 東京, 42~50.

中川博次·鈴木幸一, 1974. 橋脚による局所洗掘深の豫測に関する研究, 京都大學防災研究所 年報 17(B), 725~751.

辻本哲郎·水上敏昭, 1985. 圓柱橋脚前面での局所洗掘機構のモデル化. 第29回水理講演會論文集, 591~596.

宇民 正, 1975. 圓柱橋脚前方における局所流の研究. 日本土木學會論文報告集 247, 61~69.

1993년 9월 18일 접수

1994년 1월 5일 수리