

교각기초 건설에 의한 홍수위변동분석

- 도림천을 중심으로 -

Analysis of Water Level Variation Caused by the Construction of Bridge Footings

조 원철* 최 성열** 황 연상***

1. 서론

현재 서울특별시에 의해 여의도 남부지역인 영등포구, 구로구 및 관악구의 경계를 관통하는 지역의 교통의 원활한 소통을 위하여 도림천변에 순환도로가 건설되고 있으며, 현 공정은 순환도로의 교각기초가 건설되고 있는 단계이다. 그러나 구로교 상류에 위치한 하천좌안의 고가도로의 교각기초 중 PL3 와 PL2 (그림 1)가 하천정비계획에 의한 지반고 보다도 약 70 cm 및 1.2 m 만큼 높아서 하천의 홍수소통능력을 저하시켜 설계홍수위의 이상상승을 일으킬 우려가 있으므로, 이에 대한 수리학적 타당성 여부가 확인되어야 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 첫째, 설계홍수량의 유하시, 지반고 보다도 더 높은 교각 기초건설에 따른 배수위의 증가상태를 TABS하천수리 수치모형을 사용하여 구명하고, 둘째, 이에 대한 대책방안으로서 배수고를 줄이기 위한 홍수소통능력의 증가방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 안양천 우안으로 유입하는 도림천에 위치한 구로교 하류 약 500 m 지점을 기점으로 하여 구로교 상류 약 1.3 km 지점인 보라매공원까지의 약 2 km 를 연구대상으로 한다.

2. 모형의 구성

하천의 수리의 수치모형으로 HEC 과 같은 기존의 1차원 모형이 많이 사용되어 왔으나, 본 연구에서와 같은 국지적인 장애물 (교각, 기초등) 에 대한 수리특성을 파악하기 위해서는 2 차원 모형의 도입이 필요하다고 하겠다. 본 연구에서 사용한 하천수리 수치모형은 Resource Management Associates 에서 개발한 TABS 시스템이며, 2차원 유한요소 모형의 지배방정식은 다음과 같다.

* 연세대학교 토목공학과 부 교수

** 연세대학교 토목공학과 박사과정

*** 연세대학교 토목공학과 석사과정

$$\text{운동량방정식} \begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial a_0}{\partial x} - \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ + \tau_x = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{\partial a_0}{\partial y} - \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \\ + \tau_y = 0 \end{cases}$$

$$\text{연속방정식} : \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uh) + v \frac{\partial}{\partial y} (vh) = 0$$

여기서, u, v = 직교좌표계에서의 수평방향 속도성분

x, y, z = 직교좌표계의 축

ρ = 밀도

g = 중력가속도

a = 바닥높이

h = 수심

$\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yy}$: horizontal eddy viscosity coefficient

τ_x, τ_y = 바닥마찰, 바람, 코리올리효과에 의한 외력항

구분	bottom friction	wind	Coriolis effect
τ_x	$\frac{gu}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2}$ n	$-\frac{\xi V_a^2}{h} \cos\psi$	$-2v\omega \sin\phi$
τ_y	$\frac{gv}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2}$ n	$-\frac{\xi V_a^2}{h} \sin\psi$	$+2u\omega \sin\phi$

여기서,

n = Manning 의 조도 계수

ξ = 경험적인 바람에 의한 전단력 계수

V_a = 풍속과 풍향 (ψ)

ω = 지구의 회전각

ϕ = 위도

유한요소방정식은 uh 와 vh 가 지배적인 변수가 아니라 u 와 v 가 지배적인 변수라는 것만을 제외하면 King 과 Norton, 그리고 Orlob(1973) 가 제안했던 식과 동일한 식으로 구성된다. 요소의 계수 matrix와 우변의 벡터는 다음의 형태가 된다.

$$\left[N^T \frac{\partial f_u}{\partial u} dA, \quad \left[N^T \frac{\partial f_v}{\partial v} dA, \quad \left[N^T \frac{\partial f_h}{\partial h} dA \quad \left[N^T f_u dA \right. \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \left. \left. \left[N^T \frac{\partial f_u}{\partial u} dA, \quad \left[N^T \frac{\partial f_v}{\partial v} dA, \quad \left[N^T \frac{\partial f_h}{\partial h} dA \quad \text{and} \quad \left[N^T f_v dA \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \left. \left. \left[M^T \frac{\partial f_c}{\partial u} dA, \quad \left[M^T \frac{\partial f_c}{\partial v} dA, \quad \left[M^T \frac{\partial f_c}{\partial h} dA \quad \left[N^T f_c dA \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right.$$

결과적으로,

$$\begin{aligned} \int N^T f_u dA &= \int_A \left\{ N^T \left[h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + gh \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{gu}{C^2} (u^2 + v^2)^{1/2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \xi v_s^2 \cos \phi - 2hvw \sin \phi + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right. \\ &\quad \left. + N_x^T \left[\epsilon_{xx} \frac{h}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{gh^2}{2} \right] + N_y^T \left[\epsilon_{xy} \frac{h}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right\} dA - \int_{\Delta x} N^T h \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} dy \\ &\quad - \int_{\Delta y} N^T h \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} dx + \int_{\Delta x} N^T gh^2 dx + \int_{\Delta y} N^T gh^2 dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int N^T f_v dA &= \int_A \left\{ N^T \left[\frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \frac{\partial a}{\partial y} + \frac{gv}{C^2} (u^2 + v^2)^{1/2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \xi v_s^2 \cos \phi + 2huw \sin \phi + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial v}{\partial y} \right] \right. \\ &\quad \left. + N_x^T \left[\epsilon_{yx} \frac{h}{\rho} \frac{\partial v}{\partial x} \right] + N_y^T \left[\epsilon_{yy} \frac{h}{\rho} \frac{\partial v}{\partial y} \right] \right\} dA - \int_{\Delta x} N^T h \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial v}{\partial x} dy \\ &\quad - \int_{\Delta y} N^T h \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial v}{\partial y} dy + \int_{\Delta x} N^T gh^2 dx + \int_{\Delta y} N^T gh^2 dy \end{aligned}$$

$$\int M^T f_c dA = \int_A \left\{ M^T \left[h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right] \right\} dA$$

여기에서,

N = 속도를 나타내는 형상합수

M = 수두를 나타내는 형상합수

3. 분석 및 고찰

본 연구에서는 도림천에 50년 빈도의 설계홍수량이 유하할 때를 가정하여 교각기초의 건설전, 건설후, 단면확대후에 대해 수치모의한 결과를 토대로, 교각기초에 의한 도림천의 이상 홍수위 발생 유무에 대한 평가를 해본결과, 다음과 같이 요약할 수 있었다.

첫째로, 건설 전·후의 수치모의 발생결과를 해석구간 전구역에 걸쳐 제방고 및 지반고와 함께 그림 2 에 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 전구간에 걸쳐 배수영향에 대한 수위의 확연한 변화양상은 나타나지 않았으며, 계획홍수위가 양쪽 제방을 넘는 위험은 보이지 않고 있다. 그림 3 ~ 그림 5 는 그림 2를 보다 상세히 나타내기 위해 전구간에 대해서 하천의 좌안, 중앙, 우안으로 구분하여 도시한 것으로서, 그림에서 확인될 수 있듯이, 미약하나마 교각기초로 인하여 배수영향이 상류로 미치고 있어서 좌·중·우안 공히 교각기초 건설시가 수위가 제일 높았으나 특히 우려되는 좌안에서조차 5cm 내외의 상승 밖에는 보이지 않았다. 이는 통수단면의 손실로 인한 것으로 생각

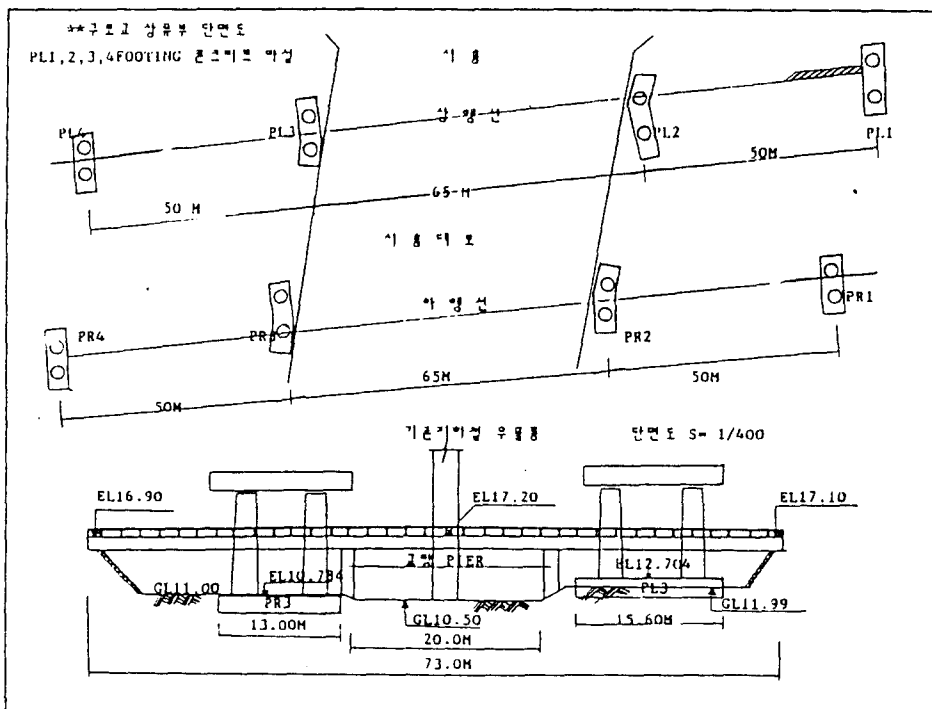


그림 1 교각기초 PL2 와 PL3 의 단면도

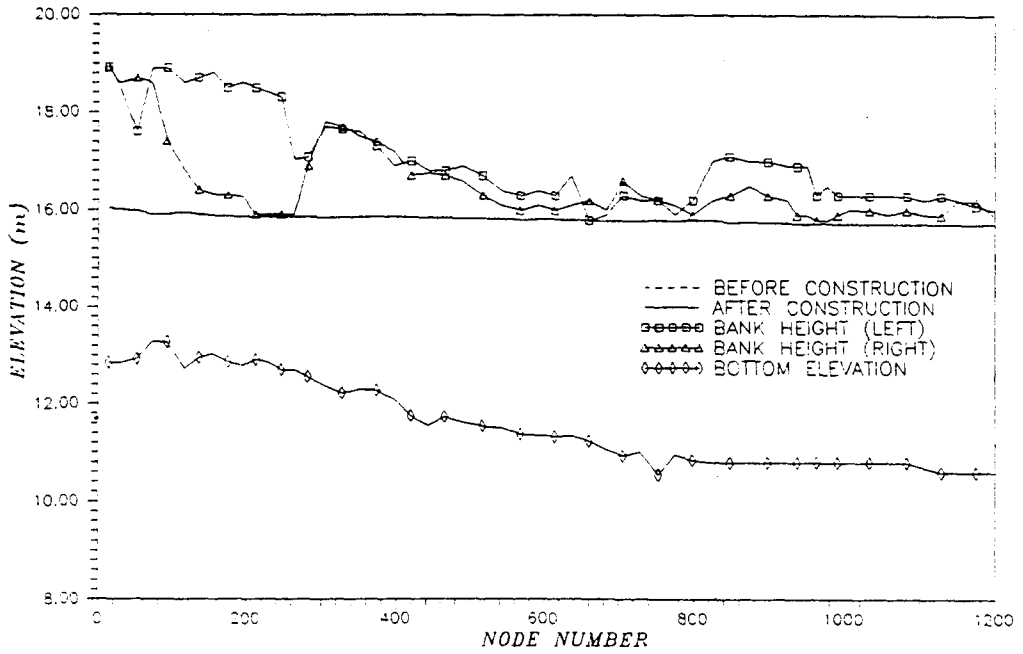


그림 2 수위와 제방고의 비교

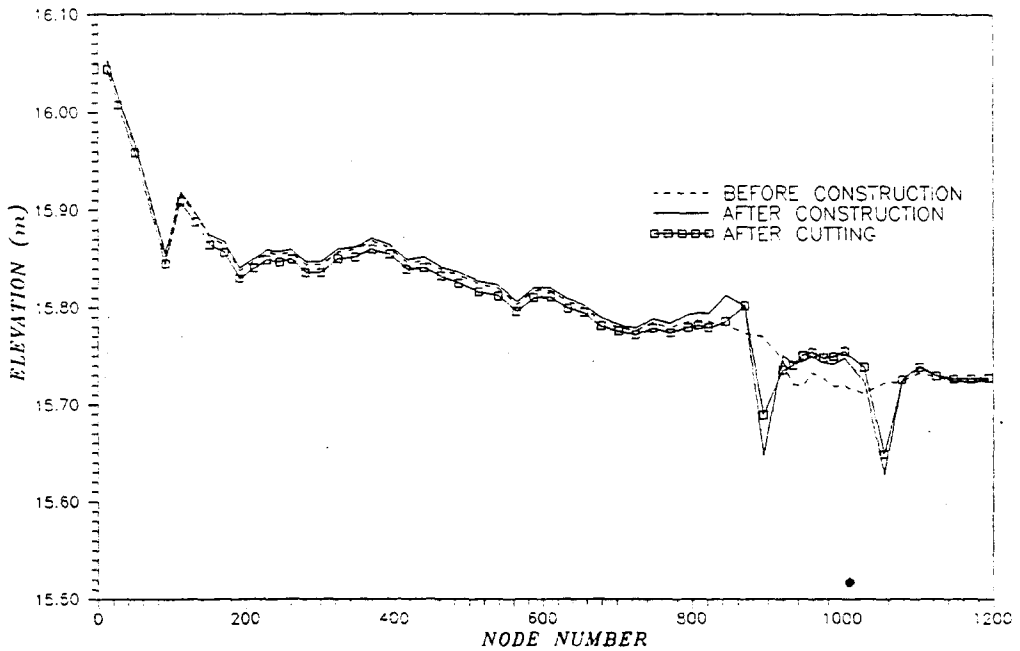


그림 3 교각기초 건설 전·후의 수위비교(좌안)

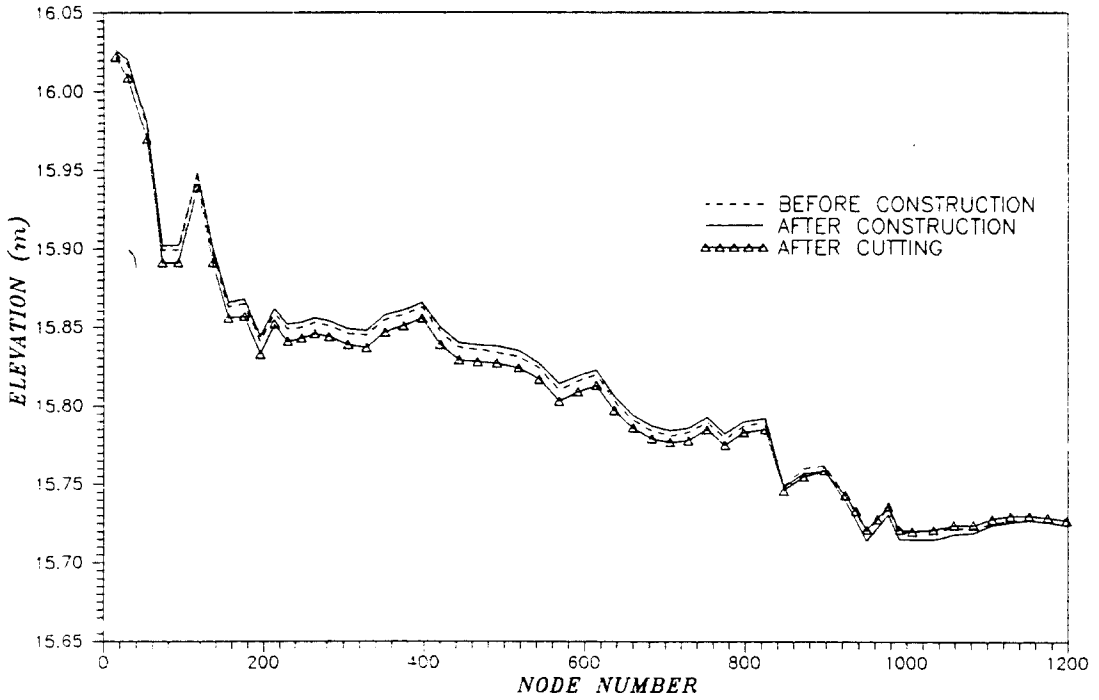


그림 4 교각기초 건설 전·후의 수위비교(중앙)

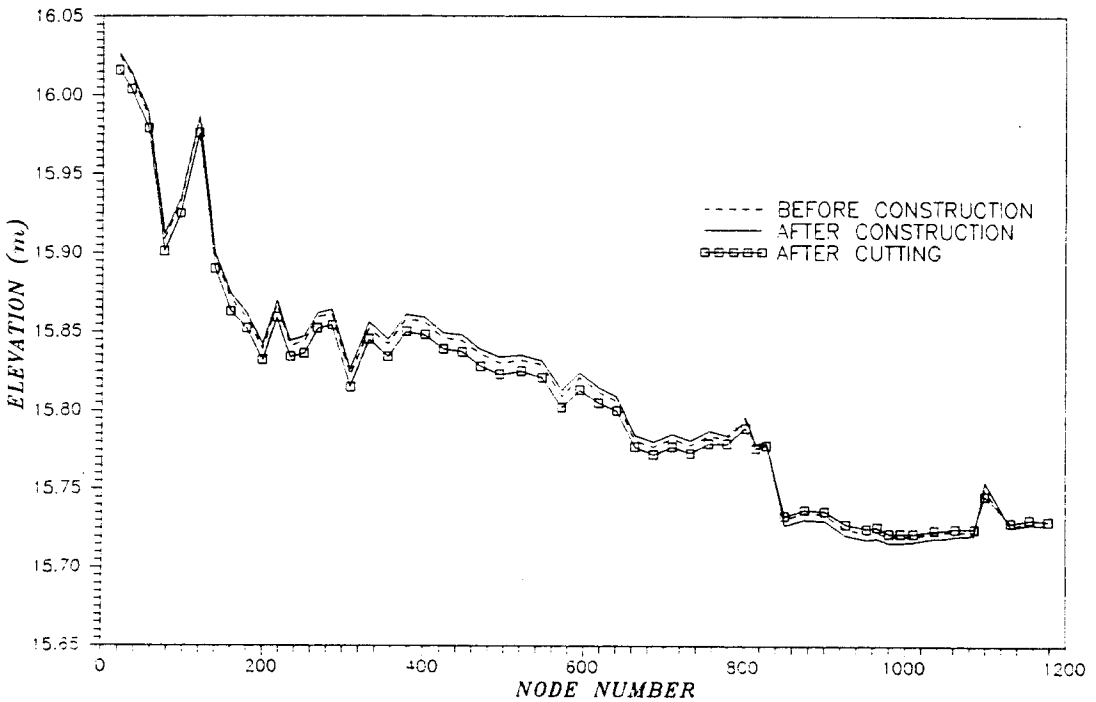


그림 5 교각기초 건설 전·후의 수위비교(우안)

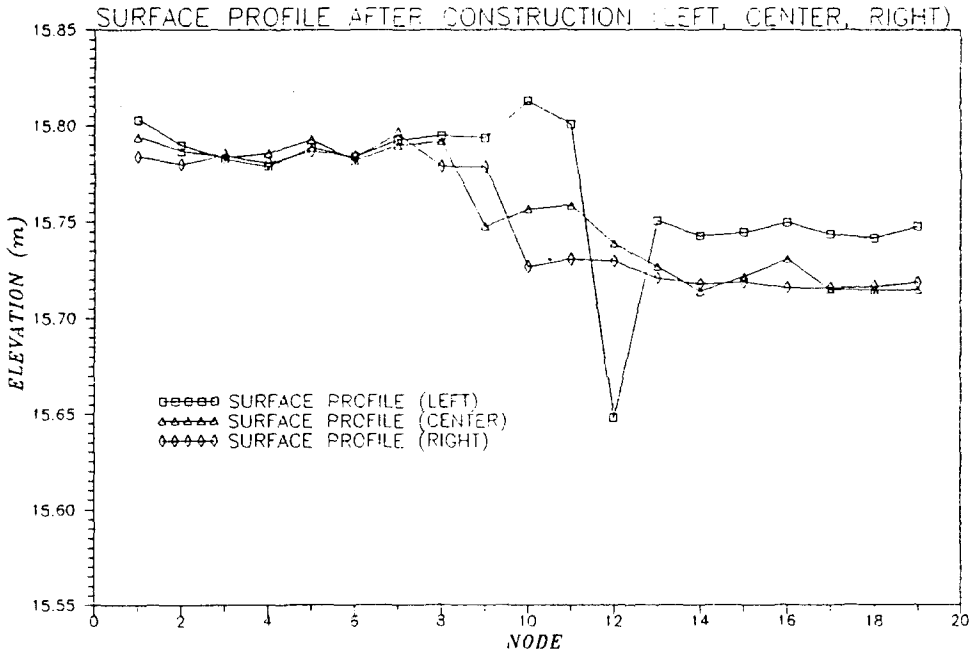


그림 6 교각기초 건설후의 좌안·중앙·우안의 수위비교

WATER SURFACE PROFILE

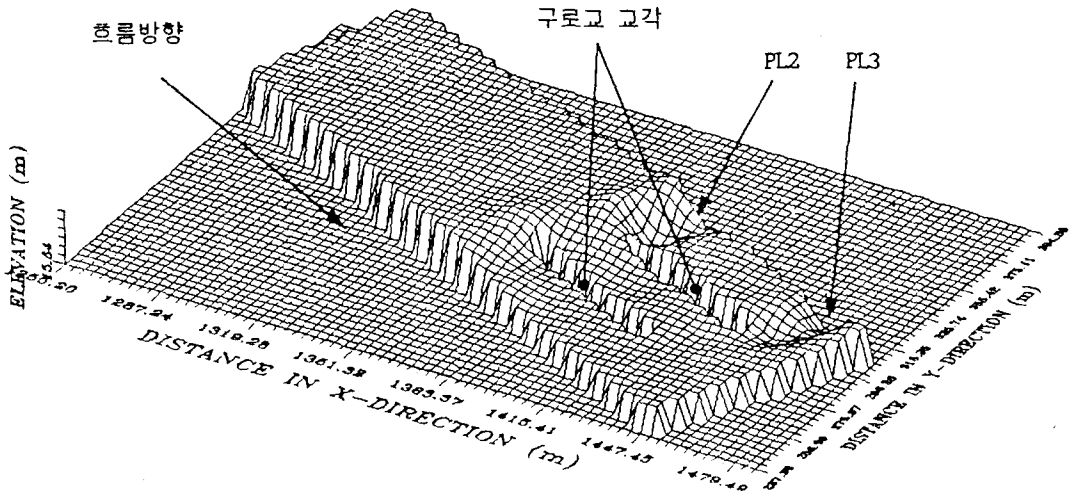


그림 7 교각기초 건설후의 수면양상

되는 바이며, 따라서 교각기초의 하류부는 반대로 유량의 감소로 인한 수면 저하가 발생되고 있다. 그림 6은 교각기초의 건설후의 경우, 하천의 좌안, 중앙, 우안에 걸친 수위변동을 구로교 주변에

국한시켜 동시에 도시한 것이다. 특히 PL3 및 PL2 기초가 위치한 좌안의 수위변동이 중앙 및 우안에서 보다도 큰 사실을 알 수 있으며, 교각기초 전면에서는 상승하고 하류부에서는 하강하는 수면양상이 잘 나타나고 있다. 또한, 교각기초 건설로 인한 수위상승을 감소시키기 위한 대안으로서 제방법면을 연직으로 절토한 하나의 방법을 제시하며, 구로교 상류 약 650m 지점까지의 절토결과, 교각기초의 건설전의 수위 보다도 미약하나마 홍수위를 줄일 수 있음을 그림 3 ~ 5 에서 확인 할 수 있었다. 그림 7은 교각기초를 건설한 후의 수면의 양상을 3차원그래픽으로 나타낸 것으로 교각기초로 인한 수위상승 뿐 아니라 구로교의 교각 저면부에서의 국지적인 수면상승 및 교각에 연한 수면의 하강 현상이 비교적 잘 재현 되었으며, TABS System을 2차원 하천수리모형에 적용할 때, 양호한 결과를 얻을 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Baker, A. J. 1983. Finite Element Computational Fluid Mechanics, McGraw-Hill, London.
2. Desai, C. W. 1979. Elementary Finite Element Method, Prentice-Hall.
3. Gee, D. M., and MacArthur, R.C. 1982. "Evaluation and Application of the Generalized Finite Element Hydrodynamic Model, RMA-2," Proceedings of the First National US Army Corps of Engineers-Sponsored Seminar on Two-Dimensional Flow Modeling, US Army Engineer Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.
4. McAnally, W.H., et al. 1984(Mar). "Columbia River Hybrid Modeling System," Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 110, No. 3.
5. Norton, W. R., King, I. P., and Orlob, G. T. 1973. "A Finite Element Model for Lower Granite Reservoir," prepared for U.S. Army Engineer District, Walla Walla, Wash., Water Resources Engineers, Walnut Creek, Ca.
6. Wang, S. Y., et al., editors. 1980. "Finite Element in Water Resources," Proceedings of the Third International Conference, School of Engineering, University of Mississippi, University, Miss.
7. Zienkiewicz, O. C. 1971. The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill, London.