

지반의 투수성에 따른 제체 침투류의 변화

Variation of Seepage Line through Embankments by Permeability of Layer

신진환*·이봉직**
Jin-Hwan Shin · Bong-Jik Lee

ABSTRACT

The movement of water through a river embankment and its influenced upon the stability of the slope of the embankment are described. The stability of the embankment is depended upon the location of seepage line. As the seepage flow occurs in the embankment, the slope of the embankment loses its stability. Of particular interest is the stability following a rapid change of water level.

The variation of seepage line in the embankment model by a fluctuation of water level is discussed. The experimental models were construction with slopes of 1 : 1.5, 1 : 2.0, 1 : 2.5 and the flow velocity was turned from 60cm/sec~90cm/sec.

Based on the experimental study, the following conclusions are drawn.

- 1) When water level is raised, the seepage line of downstream slope is raised rapidly as flow velocity increases.
- 2) For the case of permeable layer, the seepage line raised rapidly as compare with impermeable layer when water lever is raised.

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

사면의 붕괴와 누수현상에 의한 제방의 파괴에는 상당히 많으며, 그중 결정적인 파괴에 까지 진전되는 사례도 찾아 볼 수 있다. 사면의 붕괴 및

누수는 특히 제체와 기초지반에 문제가 있어서 발생하는 것을 포함하여 여러가지 형태가 존재하며, 그 단계도 몇가지가 있어 즉시 파괴를 일으키는 대규모적인 것부터 제체의 안정성에 미치는 영향이 작은 것까지 존재한다. 그러나 홍수시에 사면의 붕괴와 누수가 발생할 때는 제체의 안정성에 많은 문제를 가져온다.

* 충주산업대학교 산업안전공학과

** 충북대학교 토목공학과

홍수시 수위의 상승에 따른 사면의 붕괴는 침투수로 인한 전단강도의 저하와 제체자중의 증가에 의해 사면활동이 확대되기 때문이다. 이러한 활동의 깊이는 하천수위 상승에 의해 더욱 크게 확대되는 진행성 파괴 양상을 나타내며, 또한 홍수말기에는 수위의 저하에 의해 사면의 붕괴가 발생한다.

이와같은 침투류는 제체의 토질 및 투수성, 단면조건, 지반조건등의 변화에 따라 복잡한 거동을 나타내고 있어, 홍수시 제체의 안정성을 검토하기 위해서는 이러한 요인들에 대한 검토가 필요하다.

현재까지 제체의 비정상침투 해석은 주로 구조물과 물의 흐름 방향이 직각인 경우에 대하여 연구가 수행되었으나, 물의 흐름방향이 구조물과 평행한 경우, 흐름의 속도변화와 함께 수위의 상승 및 강하에 따른 제체의 비정상침투에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 평행흐름에 의한 제체의 비정상침투류를 해석하기 위하여 실내모형실험을 통해 홍수과정과 홍수지속시간에 따라 변화하는 유속이 제체내 수위변화에 미치는 영향과 자연 및 인위적 요인에 의한 하천수위 변동에 따른 비정상침투류의 변화특성을 규명하였다.

또한 실제 제방에서 존재하는 불규칙성에 대한 검토를 위하여 단면조건, 투수성 및 지반조건 변화에 따른 침투특성을 규명함으로써, 하천제방의 안정성 증대에 기여함을 목적으로 하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 제체의 축조재료와 유속의 변화에 따른 비정상침투류의 변화특성을 규명하기 위하여 투수계수가 10^{-1} cm/sec에서 10^{-2} cm/sec의 범위에 있는 투수성이 서로 다른 3가지 재료로 축조된 모형제체에 대하여, 실험장치에서 최대 유속인 90cm/sec를 기준으로 10cm/sec 간격으로 흐름의 속도를 4가지 경우로 변화시켜 가면서 실험을 실시하였다.

제체의 단면조건 변화에 따른 침투특성은 제체 사면경사 1:2.0을 기준으로 경사가 완만한 1:2.5와 경사가 급한 1:1.5의 3가지 단면을 택하여 동일한 방법으로 실험을 실시하였으며, 홍수시 발생하는 수위 급상승에 따른 제체 외측면에서의 수위 변화에 대하여 검토하였다.

지반조건에 의한 침투류의 변화는 일반적으로 많이 축조되어 있는 제체의 사면경사인 1:2.0인 경우에 대하여 모형제체 아래에 투수성지반과 불투수성지반을 설치하여 이에 대한 영향을 비교·고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구를 위해 제작된 실험장치는 평행흐름에 의한 제체의 비정상침투 현상에 대한 실험을 위하여 중앙에 수로를 두고, 수로 양쪽으로 모형제체를 축조할 수 있도록 하였다.

실험장치의 구성은 제반실험을 통제할 수 있는 컴퓨터와 0.1mm까지의 수위변화를 측정할 수 있는 7개의 센서, 그리고 센서로부터 읽은 값을 수치화하는 다채널 디지털 압력계 DPI 420(영국 DRUCK Ltd.)와 사면계로 구성되어 있으며, DPI 420에서 수치화한 결과들은 퍼스널컴퓨터와 연결하여 각각의 채널과 시간에 따른 변화값이 저장되도록 하였다.

또한 실험장치의 하부에는 유속의 변화와 물의 순환에 이용되는 대용량 펌프와 저수조로 구성되어 있으며, 수위조절을 위하여 수로 끝에 폭 40cm, 길이 50cm의 수문을 설치하였다.

본 실험장치의 세부제원은 길이 490cm, 폭 40cm, 높이 60cm의 수조를 중심으로 300cm의 수로를 설치하여 수조양쪽으로 모형제체를 축조하였으며, 수로내의 물의 흐름은 길이 331cm, 폭 180cm의 저수조로부터 지름 20cm 파이프를 통해 순환될 수 있도록 하였다.

제체내 수위변화의 측정은 모형내에는 40cm 간격으로 설치한 센서로부터 0.1mm의 변화까지 측정하였으며, 센서의 보호를 위하여 저면에 두께 2cm의 다공석판을 설치하였다.

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다.

실험에 이용한 모형제체는 제체의 투수성에 따라 변화하는 비정상침투류의 영향을 고찰하기 위하여 투수계수가 $k_1(4.52 \times 10^{-1}$ cm/sec), $k_2(1.04 \times 10^{-1}$ cm/sec), $k_3(4.19 \times 10^{-2}$ cm/sec)인 3가지 재료로 불투수성 지반위에 축조하였다.

또한 사면경사 1:2.0에서는 불투수성 지반위에 축조된 모형제체에 대하여 실험을 실시한 후, 투

수계수가 $k_0(5.23 \times 10^{-1} \text{cm/sec})$ 인 투수성 지반을 15cm 두께로 깔고 그 위에 다시 제체를 축조하여 지반 조건을 변화시켰다.

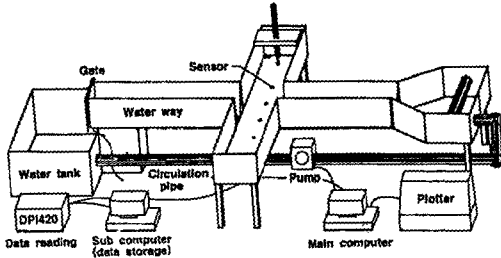


Fig. 1 Schematic sketch of experimental system

2.2 실험방법

2.2.1 불투수층 지반위에 축조된 제체

홍수시 수위상승에 따른 침투류 영향 분석하기 위하여 유속 60cm/sec, 70cm/sec, 80cm/sec, 90cm/sec에서 각각 내측면 수위를 300mm까지 급상승시킨 후, 배면부에서의 침윤선변화를 측정하였다.

또한 사면경사와 제체의 투수계수의 변화에 따른 영향을 비교·분석하기 위하여 사면경사 1:1.5, 1:2.0, 1:2.5의 3가지 형태에 대하여 위의 실험을 실시하였으며, 하나의 사면경사에 대하여 투수계수를 k_1, k_2, k_3 로 변화시켜 실험을 실시하였다.

2.2.2 투수층 지반위에 축조된 제체

홍수시 지반조건과 투수계수에 따른 제체내 침윤선의 변화를 분석하기 위하여 투수층 지반위에 제체를 축조하여 실험을 실시하였다.

본 실험에서는 지반조건과 투수계수의 변화에 따른 침투류의 영향에 대한 실험에 주 목적을 두고 투수성지반은 사면경사 1:2.0인 경우에 대하여 제체의 투수계수(k_1, k_2, k_3)보다 큰 $k_0(5.23 \times 10^{-1} \text{cm/sec})$ 를 사용하여 제체 아래에 15cm두께로 깔고 그 위에 제체를 축조하여 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

홍수시 하천수위 급상승에 따른 침투류의 영향을 측정하기 위하여 4가지 경우의 유속에 대하여

수위를 300mm까지 급상승 시킨 후 일정수위를 유지시켜, 각기 다른 투수계수와 사면경사에 대하여 수위상승에 따른 영향을 비교 분석하였다.

3.1 불투수성 지반위에 축조된 경우

홍수시에 침투류에 의한 제체의 안정성을 고려할 경우 바깥수위와 홍수지속시간의 외력이 제체의 안정성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 투수계수 k_1, k_2, k_3 에 대하여 각 유속조건에서 수위를 300mm까지 상승시켜 수위상승에 따른 침투류의 변화에 대한 실험을 실시하였다.

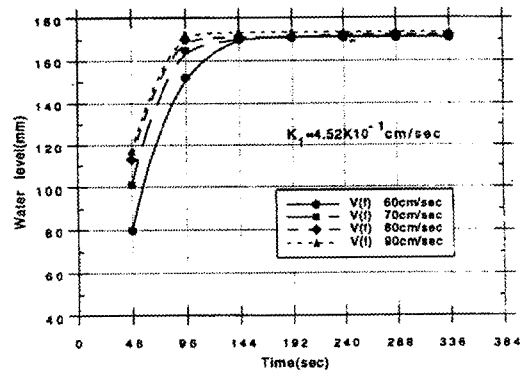


Fig. 2 Variation of water level($x=1700\text{mm}$) by flow velocity ($k_1, 1:2.5$)

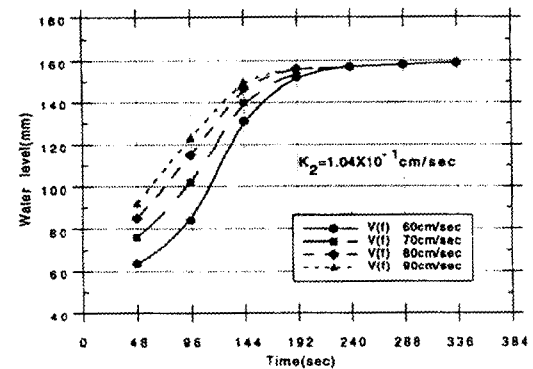


Fig. 3 Variation of water level($x=1700\text{mm}$) by flow velocity ($k_2, 1:2.5$)

실험결과 사면경사 1:2.5에서 투수계수가 가장 큰 k_1 의 경우 제체내의 배면부($x=1700\text{mm}$)에서의 수위변화는 유속 60, 70cm/sec에서는 수위상승후 144초 후에 최고 수위에 도달하였으며, 유속 80, 90cm/sec에서는 96초 후에 최고 수위에 도달했다.

투수계수 k_2 에서는 유속이 60, 70cm/sec일때 배면부 수위는 192초 까지 빠르게 상승하다가 이후 상승량이 둔화되었으며, 유속 90cm/sec에서는 144 초 이후 배면부에서의 수위상승이 둔화되었으나, k_1 의 경우와 비교하면 수위상승 후 192초 이후에도 배면부의 수위는 약간씩 증가하였다.

실험조건에서 투수계수가 가장 작은 k_3 에서는 Fig. 4와 같이 유속의 증가와 시간의 경과에 따라 배면부의 수위는 지속적으로 상승하였다.

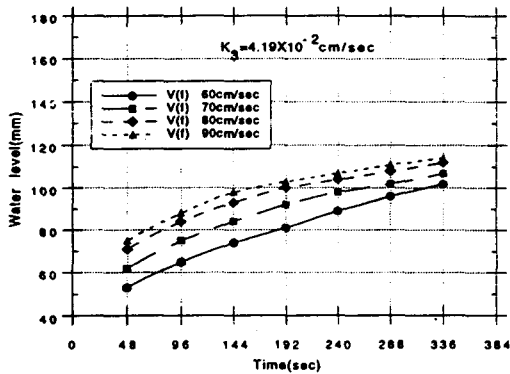


Fig. 4 Variation of water level($x=1700$ mm) by flow velocity ($k_3, 1 : 2.5$)

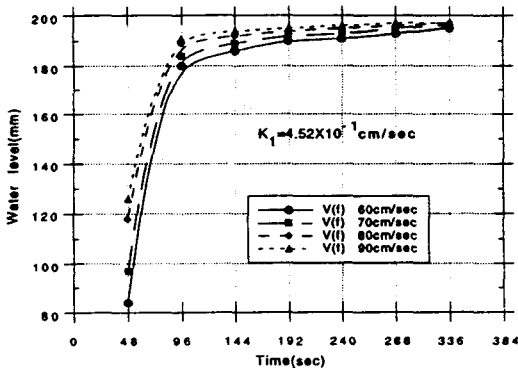


Fig. 5 Variation of water level($x=1300$ mm) by flow velocity ($k_1, 1 : 2.0$)

따라서 사면경사 1 : 2.5의 경우 수위상승시 유속의 변화가 배면부 수위의 변화에 미치는 영향을 고찰하여 보면, 유속이 빠를수록 배면부 수위의 상승속도는 빨라짐을 알 수 있으며, 투수계수가 작을수록 유속의 증가에 따른 배면부의 수위상승은 시간의 경과에 따라 지속됨을 알 수 있다.

또한, 일정유속에서 투수계수에 따른 체체내의

수위변화는 유속 60cm/sec의 경우 수위상승후 96 초에서의 배면부 수위는 투수계수 k_1 에서는 152mm, k_2 에서는 84mm, k_3 에서는 65mm까지 상승하였으나, 유속 90cm/sec에서는 각 투수계수에 따라 172mm, 123mm, 88mm까지 상승하였다.

따라서 수위상승시 유속이 일정할때 투수계수의 변화에 따른 배면부에서의 수위변화는 투수계수가 클수록 배면부 수위가 높아지며, 최고점에 도달하는 시간도 짧아짐을 알 수 있다.

사면경사 1 : 2.0에서는 투수계수 k_1 의 경우 배면부($x=1300$ mm)에서의 수위상승은 각 유속에 따라 내측면 수위상승 직후 96초까지는 급격히 증가하다가, 이후 수위상승량이 둔화되나, 사면경사 1 : 2.5의 경우와 비교하면 각 유속별로 수위상승 직후 48초에서의 수위차가 크게 나타났으며, 유속 증가에 따른 배면부 수위의 상승은 일정하게 나타났다.

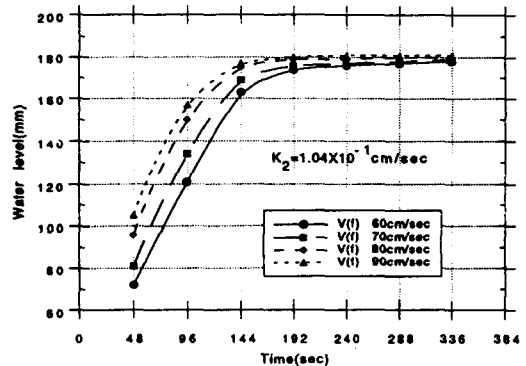


Fig. 6 Variation of water level($x=1300$ mm) by flow velocity ($k_2, 1 : 2.0$)

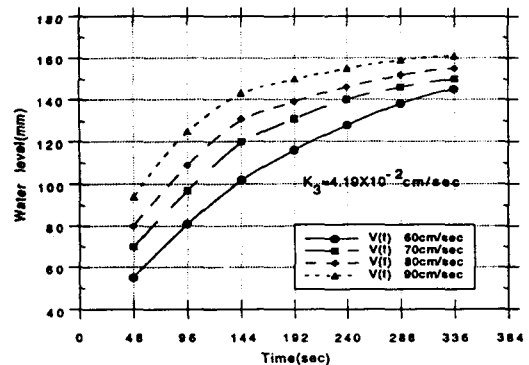


Fig. 7 Variation of water level($x=1300$ mm) by flow velocity ($k_3, 1 : 2.0$)

k_2 의 경우에는 유속의 증가에 따른 배면부 수위 상승은 144초까지는 빠르게 상승하였으며, 사면경사 1:2.5와 비교할 때, 작은 유속에서도 배면부 수위의 상승은 빠르게 나타났다.

투수계수 k_3 에서는 유속의 증가와 시간의 경과에 따라 배면부 수위는 지속적으로 상승하였으며, 1:2.5에서 유속이 60cm/sec~70cm/sec로의 증가 시 배면부 수위의 증가가 가장 크게 나타났던 경우와 비교하면, 사면경사 1:2.0에서는 유속의 증가에 따라 배면부 수위도 일정한 증가를 나타내며, 증가속도도 빠르게 나타났다.

또한 사면경사 1:2.0의 경우에도 투수계수의 변화에 따른 체체내의 수위변화는 투수계수가 클수록 배면부수위가 높게 나타났으며, 정상상태에 도달하는 시간도 짧아짐을 알 수 있다.

사면경사가 1:1.5로 급해짐에 따라 수위상승에

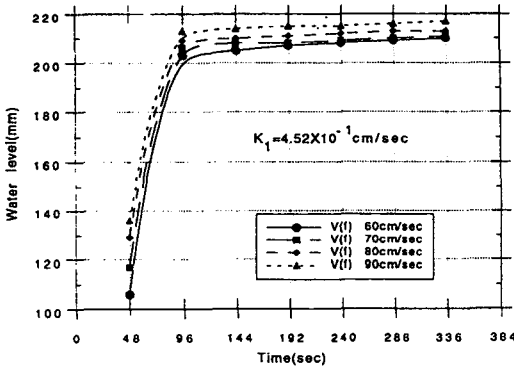


Fig. 8 Variation of water level($x=900$ mm) by flow velocity (k_1 , 1:1.5)

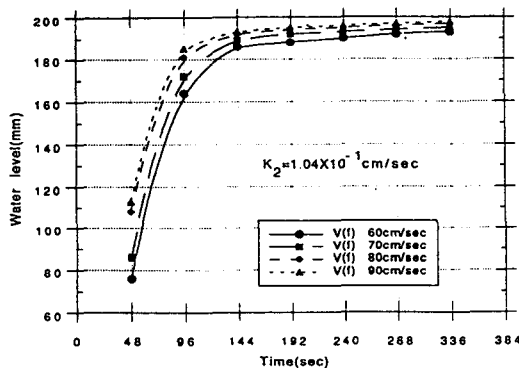


Fig. 9 Variation of water level($x=900$ mm) by flow velocity (k_2 , 1:1.5)

다른 배면부 수위의 변화는 투수계수 k_1 의 경우 사면경사 1:2.0의 경우보다 더욱 빠른 상승속도로 인해 96초 이후에는 유속의 변화에 따른 배면부 수위상승은 발생하지 않았으며, 각 유속에 따른 배면부 수위는 거의 차이를 나타내지 않고 일정한 증가를 보였다.

k_2 에서는 사면경사 1:2.0, 1:2.5의 경우와 비교할때 상승속도가 거의 직선적으로 나타났으며, k_3 에서도 시간의 경과에 따른 배면부 수위의 상승은 각 유속에 따라 일정하게 증가하였다.

따라서 사면경사가 급해질수록 각 유속별 수위상승은 급격히 발생하며, 유속의 증가에 따른 배면부 수위의 변화는 거의 일정해짐을 알 수 있다.

또한 사면경사 1:1.5의 경우에도 같은 유속에서 투수계수의 변화에 따른 배면부 수위의 변화는 사면경사 1:2.0의 경우와 같은 경향을 나타낸다.

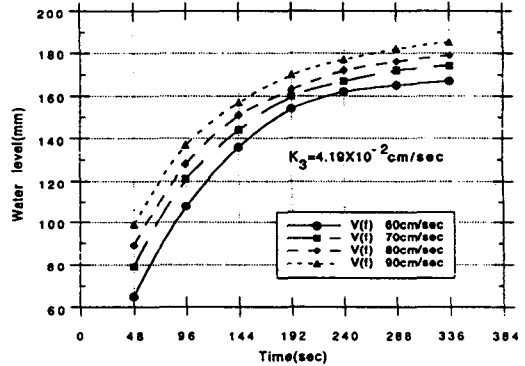


Fig. 10 Variation of water level($x=900$ mm) by flow velocity (k_3 , 1:1.5)

이상의 결과로부터 수위상승시 유속의 변화가 배면부 수위의 변화에 미치는 영향은 유속이 빠를수록 배면부 수위의 상승속도는 빨라짐을 알 수 있으며, 투수계수가 작을수록 유속의 증가에 따른 배면부 수위의 상승은 시간의 경과에 따라 지속된다.

또한 사면경사가 급해짐에 따라 배면부의 수위상승은 더욱 빠르게 발생함을 알 수 있다.

3.2 투수성 지반위에 축조된 경우

홍수시에 체체의 투수계수 및 지반조건의 차이에 따라 체체내의 침윤선이 어떻게 변화하는지 알기 위하여 체체 아래에 투수성 지반을 설치하여 실

험을 실시하였다.

Fig. 11, 12, 13은 사면경사 1 : 2.0에 대하여 투수성지반($k_0=5.23 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$) 위에 축조된 k_1 ,

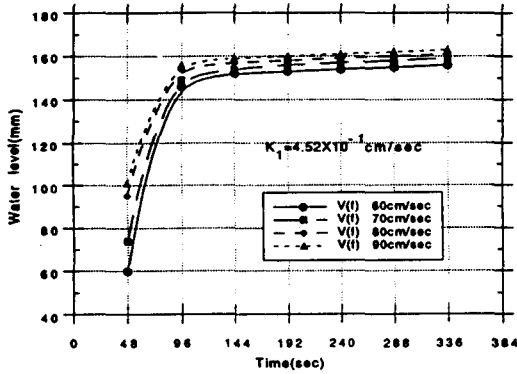


Fig. 11 Variation of water level($x=1300\text{mm}$) by flow velocity (k_1 , permeable layer)

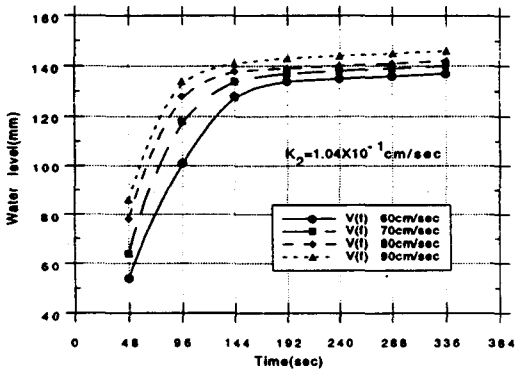


Fig. 12 Variation of water level($x=1300\text{mm}$) by flow velocity (k_2 , permeable layer)

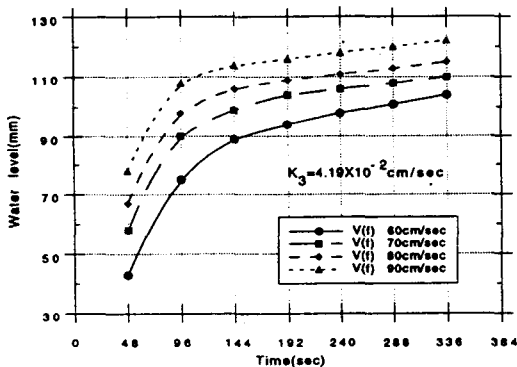


Fig. 13 Variation of water level($x=1300\text{mm}$) by flow velocity (k_3 , permeable layer)

k_2 , k_3 에서의 내측면 수위상승에 따른 제체 배면부에서의 수위변화를 나타낸 것으로, 투수계수 및 유속이 동일한 경우와 비교하면 수위가 정상상태에 도달하는 시간은 투수성지반이 있는 경우가 빠르지만, 정상상태에서의 제체내 수위는 불투수성 지반이 있는 경우가 높게 형성됨을 나타낸다.

이는 투수성 지반위에 축조된 제체에서는 수위 상승시 투수성지반으로 부터의 침투수에 의해 불투수층위에 있는 제체의 수위보다 급격히 상승하며, 또한 정상상태에 도달하는 시간은 빠르게 되나, 정상상태에 있어서의 수위는 불투수성지반이 있는 경우 보다 낮게 형성된다.

4. 결 론

평행흐름에 의한 제체의 침투특성을 규명하기 위하여 실내모형실험을 실시하여 홍수파형과 홍수 지속시간에 따라 변화하는 흐름의 속도와 제체의 투수성, 단면조건 및 지반조건에 따른 침투류의 영향에 대한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 투수성 지반위에 축조된 제체는 수위상승시 투수지반을 따라 이동한 침투수가 제체내로 유입되기 때문에 제체내의 수위상승은 빨리 발생하고, 또한 정상상태에 도달하는 시간도 빠르다. 그러나 정상상태의 수위는 난투수성 지반위의 제체와 비교하면 투수성 지반위에 있는 제체의 수위가 낮게 형성된다.
- 2) 수위 상승시 유속과 사면경사의 변화가 제체 배면부 수위에 미치는 영향은 유속이 빠를수록 수위 상승속도는 빨라지며, 사면경사가 급해짐에 따라 상승속도는 더욱 빨라짐을 알 수 있다.
- 3) 제체 투수계수의 변화에 따른 배면부 수위 변화는 투수계수가 클수록 수위가 높아지며 최고점에 도달하는 시간도 짧아지나, 투수계수가 작아질수록 유속증가에 따른 배면부 수위 상승은 시간의 경과에 따라 지속된다.

참 고 문 헌

- 1) Casagrand, A., Seepage through Dams, New England Water Works Association, Vol. 1, No. 2, pp. 131~170, 1976.

- 2) Hungr, O., An Extension of Bishop's Simplified Method of Slope Stability Analysis to Three Dimensions, Geotechnique, Vol. 37, No. 1, pp. 113~117, 1987.
 - 3) 久樂勝行, 齊臓義章, 石塚廣史, 洪水時における河川堤防内の非正常浸透解析, 土木技術資料 第22卷 第1號, pp. 14~19, 1980.
 - 4) 内田茂男, 自由境界な有する非定常浸透流について, 土木學會誌, Vol. 37, No. 2, pp. 10~13, 1952.
 - 5) 池田裕一ハ, ソコンで解く水理學, 丸善 株式會社, pp. 217~263, 9, 1991.
 - 6) 日本 土質工學會, 土質實驗の 方法と解説, pp. 271~285, 2, 1991.
 - 7) Purdue University, User Guide for PC STABLE 5M, pp. 3~89, 12, 1988.
 - 8) 신방웅, 이봉직, 수평흐름에 의한 제방모형내의 비정상침투에 관한 실험적 연구, 대한토목학회 논문집 제14권 제5호, pp. 1253~1263, 9, 1994.
-