일본의 新型防波堤의 연구와 건설현장

吳 榮敏 *

1. 緖論

본인은 1992년 12월 7일 부터 1993년 3월 31일 까지 일본 運輸省 산하 港灣技術研究所에서 新型防波堤의 실험에 참여할 기회를 가졌으며, 이 기간동안 일본의 북단 北海都(Hokkaido)에서 남단 Okinawa 까지 항만시설, 특히 신형방파제의 건설현장과 설치운영 현황에 초점을 두고 살펴보았다. 신형방파제에 관한 실험은 港灣技術研究所 水工部 耐波研究室(舊 防波堤研究室)에서 실시하였는데 이 연구실은 30년 가까이 방파제에 관한 연구와 실험을 수행한 곳으로 Goda, Tanimoto 등이 실장으로 있었던 세계적인 수준의 연구실이라 할 수 있다. 이번 발표는 연구기간 동안 내파연구실에서 수행한 신형방파제의 실험현장과 일본 남부 四國(Shikoku)의 高知(Kochi)와 九州(Kyushu)의 宮崎(Miyazaki)에 건설되고 있는 신형방파제를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 耐波研究室의 신형방파제 실험

2.1 서론

내파연구실에서 그 동안 연구한 신형방파제는 여러가지 형태가 있으나 여기서는 그 중 대표적인 것만을 소개함으로써 그들의 연구실적과 앞으로의 연구방향을 소개하고자 한다. 내파연구실에서 연구하여 현재 현장에 설치, 운영되고 있는 신형방파제는 다음과 같다.

1) 二重圓筒 케이슨
   지름이 각기 다른 원통을 이중으로 설치하여 바깥 쪽 원통에는 구멍을 뚫어서 波力을 흡수 분산하는 형태
2) Multi cellular 케이슨
   여러 개의 콘크리트 조각을 거리를 두고 설치하여 파력을 분산하는 형태
3) 波力發電 케이슨
   海面의 상승에 의한 공기압을 이용하여 發電을 하는 형태

---

* 韓國海洋研究所 海洋工學研究室(Ocean Engineering Lab., Korea Ocean Reaserch and Development Institute) 先任研究員

2.2 방파제의 動的應答에 관한 실험

방파제의 안정성을 확보하기 위해서는 작용파랑에 대해서 방파제가 깨지거나 미끄러지지 않는 것이 무엇보다도 중요하며 지금까지는 이에 중점을 두고 방파제를 설계하였다. 그러나 케이슨의 固有週期와 특히 衝擊波가 발생하였을 때의 파랑의 高周波 주기와 일치할 경우, 케이슨의 안정에 상당한 영향을 미친다. 또한, 지반이 砂質土인 경우 파랑의 작용에 따라 液床化(liquefaction)가 발생하여 방파제의 붕괴를 초래하는데, 본 실험에서는 이와 같은 현상을 파악하기 위하여 Fig. 1과 같이 모래지반에 加速度計와 間隙水壓計를 설치하고 케이슨 전면에는 波壓計, 후면에는 加速度計와 變位計를 각각 설치하였다.

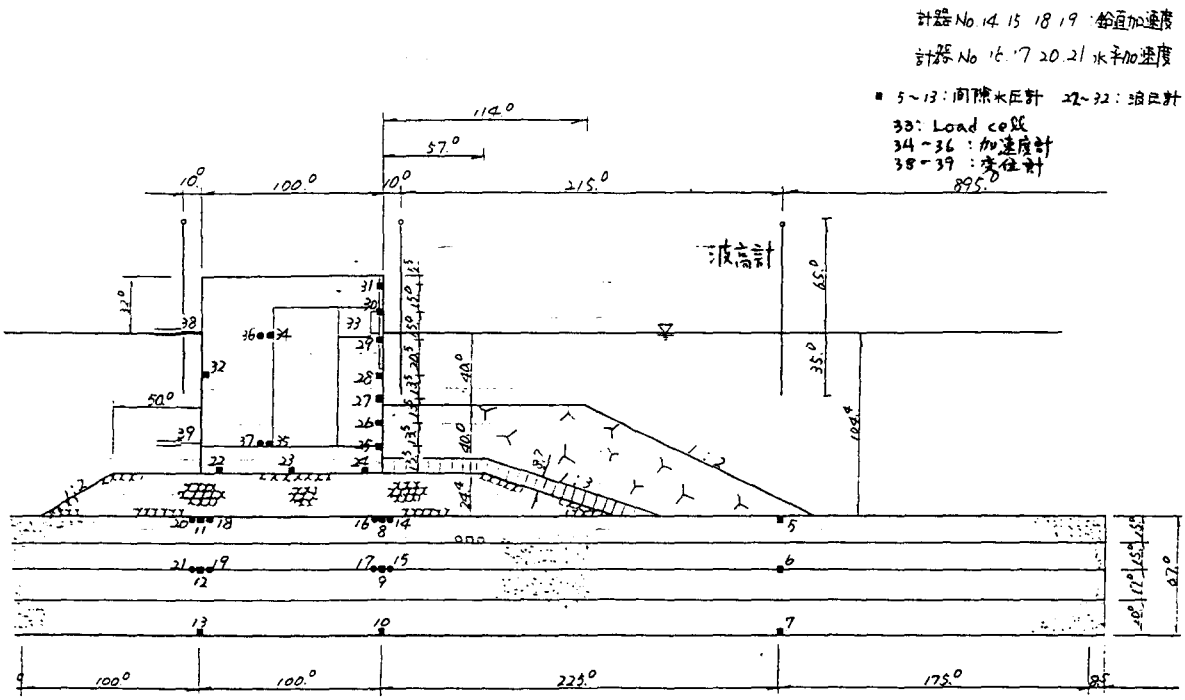

Fig. 1 방파제모형과 각종 계측기기의 설치형상

2.3 親水性 防波堤

해양을 국민의 휴식공간으로 제공하기 위하여 파랑의 침입으로 부터 항만을 보호하는 단순한 기능의 방파제 개념에서 탈피하여 방파제를 사람들이 접근하기 쉽고 휴식을 취할 수 있는 공간으로 만들고자 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 당 연구실에서는 친수성 방파제를 개발하여 안정성 검토를 위한 실험을 실시하였다. 실험은 길이 100m의 2차원 수로에서 실시되었으

며 3차원 수조에서는 사람을 대상으로 한 실험도 실시하였다.

2.4 slit형 유공 케이슨

파압을 줄이기 위하여 케이슨 前面에는 縱方向 slit을 설치하고 傾斜式 上部에는 有孔을 설치하여 이곳을 통과한 파랑이 케이슨 내부에 잠시 정지한 후 배출될 수 있도록 하는 신형방파제를 고안하여 실험하고 있다. 그러나 이 방파제는 물을 가두어 두는 내부구조가 파랑이 작용할 때에는 파압에 의하여 닫히고 경사식 상부 유공을 통과한 물이 빠질 때에는 열리는 커튼식이라 시공성이 어려운 단점을 가지고 있어서 현실성이 없는 구조라 할 수 있다.

3. 高知(Kochi)의 圓弧形 防波堤와 현장관측용 방파제

四國의 高知에는 해양공간의 이용이라는 측면에서 요트의 정박이나 해수욕을 목적으로 하는 marina를 건설하기 위하여 圓弧形 방파제를 시공중에 있다. 이 방파제는 수심 10m 내외의 해역에 설치되어 파압을 감소시키고 해양공간을 아름답게 하기 위하여 다목적으로 설계되었다.

한편, 여기서 조금 떨어진 곳에서는 이 해역의 파랑특성과 방파제에 작용하는 파력 및 방파제의 안정성 확보를 위하여 방파제에 각종 계측기기를 설치하여 관측하고 있었으며 이 계획은 향후 10년간 지속된다고 한다. 이 방파제는 길이가 100m 로서 제작과 각종 기기의 설치에 20億円 이상이 소요된 대규모 사업으로서 관측이 끝나면 이 방파제를 포함하여 추가로 방파제를 건설하여 새로운 항만을 건설할 계획으로 있다.

4. 宮崎(Miyazaki)의 半圓形 防波堤

九州의 宮崎港에는 현재 방파제에 치명적인 영향을 끼치는 衝擊波壓에 강하면서 방파제 전면의 파고를 현저히 낮출 수 있고 軟弱地盤에 설치가 용이한 것으로 실험실에서 검증된 반원 형태의 신형방파제가 현장검증을 위하여 건설되고 있다. 이 방파제는 1994년도 완공을 목표로 건설되고 있는데 이의 특징은 다음과 같다.

4.1 반원형 방파제의 구조 및 제원

반원형 방파제는 堤體前面이 不透過壁이고 후면 및 저면에는 開口部를 가지고 있는데, 후면의 개구부는 傳達波를 감소시키고 저면의 개구부는 揚壓力을 저감시키는 효과가 있다. 현지에 설치되는 방파제는 제체전면의 설계파고가 6.0m, 주기 13.6초를 대상으로 설계되었으며 제원은 높이가 15m, 폭 22m, 길이 12m로 무게는 약 1,100톤이다. 제작방법은 길이 3m의 콘크리트 조각 8개를 정상에서 결합하는 것이다.

4.2 반원형 방파제의 특성

가) 반원형면에 작용하는 파압의 수평성분은 연직벽에 작용하는 파력보다는 작고 또한 연직성분은 벽면을 아래로 누르는 역할을 하기 때문에 안정성을 높일 수 있다.
나) 마운드가 높아도 衝撃波壓이 발생하지 않는다.
다) 반원형면에 작용하는 파력은 원의 중심으로 향하기 때문에 回轉力이 생기지 않으며 地盤反力이 균등하게 분포하게 되어 연약지반에 유리하다.
라) 형상이 곡면이라서 部材强度의 확보가 유리하다.

4.3 반원형 방파제의 현장시험계획

실험실에서 검증된 방파제의 우수성을 현장에서 검증하고 합리적인 설계법과 현장조건에 적합한 시공법을 개발하기 위하여 건설되고 있는 반원형 방파제의 실증과제는 다음의 5가지이다.

가) 耐波安定性 검증
나) 波力算定法 검증
다) 부재안정성 검증
라) 합리적인 부재설계법 확립
마) PC 부재를 활용한 시공법의 확립

運輸省에서는 이러한 현장검증을 거쳐 우수성이 확보되면 반원형 방파제를 일본 전국에 보급할 계획으로 있다.

5. 結論 및 감사의 글

삼면이 바다인 우리나라도 일본처럼 해양개발에 과감한 투자와 확고한 정책의지를 가져야 하며, 우리 실정에 맞는 신형방파제의 설계 및 현장실험이 이루어져야 한다. 여기에는 막대한 투자가 필요하나 이러한 투자없이는 해양을 국민들의 생활공간으로 활용할 수 없을 것이다. 끝으로 이러한 기회를 제공해준 항만기술연구소의 해상조사연구실 Nagai 실장과 내파연구실 Takahashi 실장에게 감사드린다.