

인공 갯벌 조성 기술 사례



김 하 영
삼성물산(주)
Q-HSE경영실 부장
(hy05.kim@samsung.com)



전 병 곤
삼성물산(주)
Civil엔지니어링본부 과장
(bg74.jeon@samsung.com)

1. 개요

산업화와 해안 개발에 따른 매립 등에 의하여 급속히 자연 갯벌이 소멸해 가고 있다. 한편, 최근 일본에서는 각지에서 갯벌 재생사업 및 조성사업이 계획되고 있다. 해역의 준설에 의하여 발생하는 준설토사를 인공갯벌의 조성재료로 유효 이용하는 경우도 늘어나고 있다. 그러나 인공갯벌은 자연 갯벌과 비교하여 조성속도가 매우 빠르기 때문에 설계법, 시공법 및 유지관리방법에 대해서는 아직 불명확한 부분이 많다.

갯벌지형의 큰 특징의 하나는 갯벌의 구배가 형성되는 조간대를 들 수 있다. 조간대에는 그 위치마다 다양한 생물이 서식하고 있고, 수질정화 및 생물생산이라고 하는 갯벌의 기능을 수행하는 중요한 장소라고 말할 수 있다. 갯벌로써의 기능을 충분하게 발휘시키기 위해서는 매우 완만하고 폭넓은 조간대가 필요하지만, 인공 갯벌은 한정된 면적을 유효하게 이용할 필요성 때문에 비교적 급구배로 조성될 수밖에 없다. 또한

급속 시공으로 인한 침하 및 유동에 의한 지형 변동이 장기간에 걸쳐 계속되고, 이에 따라 조간대의 위치 및 형상도 변동될 것으로 예상된다. “항만에 있어서의 갯벌과의 공생 매뉴얼”에서는 인공 갯벌 설계시의 구배에 관한 각종 참고식이 제시되어 있다 (エコポート(海域)技術WG, 1998). 다만 주로 모래를 대상으로 하고 있고, 준설점토를 재료로 이용할 경우의 침하 및 유동성 등의 재료 특성은 고려되어 있지 않다.

본 기술기사에서는 인공갯벌조성에 관한 원심력장 실내 모형실험 및 현장 시험시공 등에 관한 일본 사례를 소개한다.

2. 원심력장 실내 모형실험 및 현장 시험시공

2.1. 지반의 안정구배 모형실험(鶴ヶ崎和博 등, 2004)

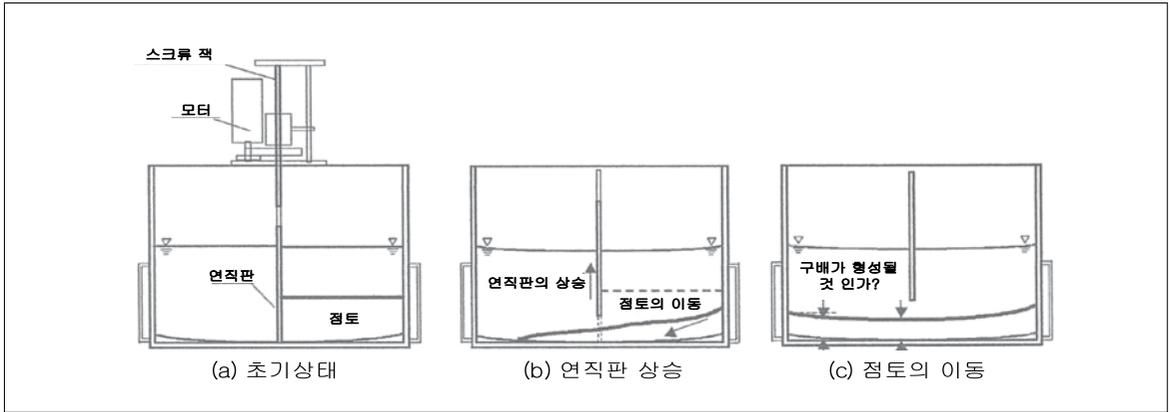


그림 1. 원심력장 Flow실험 모식도

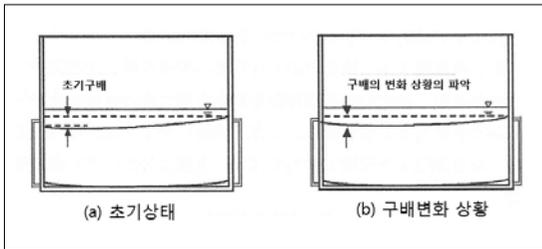


그림 2. 원심력장 구배변화실험 모식도

연약한 준설편토를 주요재료로 인공갯벌을 조성할 경우에 지표면 구배가 어느 정도로 형성되는가에 대해서 검토한 원심력장 실내 모형실험 사례이다.

원심모형실험은 인공갯벌 조성에 사용되는 준설편토를 이용하여 2종류의 방법으로 실시하였다. 실험 1 소정의 원심가속도에서 연직판을 상승시켜 점토의 유동상태 및 구배의 경시변화를 계측하는 원심력장 Flow실험을 수행하였다(그림 1). 실험 2 용기내에서 1/20정도의 구배로 미리 기반을 작성하여 원심가속도

100G에서 구배 변화를 계측하는 구배변화실험을 실시하였다(그림 2).

각 실험 Case 및 결과를 표 1과 표 2에 나타낸다. 각 결과로부터 안정구배는 초기층 두께 및 재료강도에 의하여 크게 변화한다는 것을 알 수 있다. 표 2에서는 조성 3개월후에 1/40구배를 유지하기 위해서는 기반재료의 강도가 $Cu=0.2tf/m^2$ 정도가 필요하다는 결론을 얻었다.

이상의 결과로부터 특정 함수비 상태에서의 실험이지만, 소정의 지표면 구배를 형성하기 위한 재료강도 및 구배의 관리에 있어서 매립층 두께의 영향에 대하여 알 수 있었다.

2.2. 인공갯벌조성지에서의 강제치환법에 의한 중간 제방의 구축(柳焜亨 등, 2004)

오사카만에서 준설편토를 이용한 인공 갯벌의 조

표 1. 원심력장 Flow실험 Case 및 실험 결과

Case No.	사용재료	원심가속도(g)	실험초기 층두께(cm)	실물환산 층두께(m)	3개월후의 구배	비고
1-1	준설편토(w=110%)	100	10	10	1/180	1/500(1년후)
1-2	준설편토(w=110%)	50	10	5	1/43	
1-3	준설편토(w=110%)	20	10	2	1/7.5	

표 2. 원심력장 구배변화시험 Case 및 실험 결과

Case No.	사용재료 및 강도	실물환산 실험초기 평균 층두께(m)	초기구배	3개월후의 구배	1년후의 구배
2-1	준설풀토 (w=110%, Cu=0.03tf/m ²)	13	1/20	1/200	1/500
2-2	고화처리(Cu=0.4tf/m ²)	13	1/16	1/16	1/17
2-3	고화처리(Cu=0.2tf/m ²)	12	1/17	1/40	1/55

성이 이루어졌다. 투입된 토사는 함수비가 100% ~ 200%의 폭으로 분포하고 있고, 불균질한 상태였다. 시공은 그라브 준설풀 토사를 직투방식과 공기압송방식에 의해 조성하는 것으로 당초 계획되었지만, 준설풀 토의 유동성이 크고 시공 중 투입된 점토가 잡제를 넘을 위험성이 발생하여, 점토 유출에 의한 주변 해역에의 영향 및 소정량으로 깃벌 조성이 곤란한 상황이 예상되었다. 그래서 미리 퇴적된 점토층에 대하여 중간 제방을 강제치환에 의하여 구축하고 그 내측에 토사를 투입하여 소정단면의 깃벌을 확보하는 것으로 계획하였다(그림 3).

실내모형실험으로 강제치환에 의한 중간 제방 구축에 관한 조사 및 중간 제방 재료 선정에 관한 현지 시험 시공 및 투입 후의 중간 제방의 형태 조사를 하였다.

(1) 원심력장 모형실험

강제치환공법에 의한 중간 제방 구축은 예전부터 경험적 방법에 의하여 실시되었기 때문에 확립된 설계법

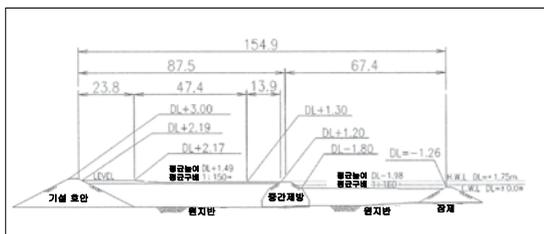


그림 3. 깃벌 완성단면도

은 없는 상황이다. 더욱이 본 현장과 같이 치환대상이 되는 준설풀토의 함수비 분포가 불균질하고, 층 두께가 비교적 큰 경우에는 관리하기 어려울 것으로 예상됐다. 또한 재료에 따라서는 단면이 크게 될 경우도 예상되었기 때문에 비경제적이 될 것으로 생각되었다. 그래서 원심력장 모형실험으로 강제치환법에 의한 중간 제방 구축 시물레이션을 시행했다.

실험에는 현지의 준설풀토를 사용하고 중간 제방의 재료로서는 입경 1~3mm의 모래를 이용하였다. 실험 개념도를 그림 4에 나타낸다. 실험은 사전의 조사로부터 얻어진 강도분포가 되도록 자중압밀을 시킨 후에 실제의 시공속도로 환산한 낙하 핏치로 모래를 단계적으로 투입하였다.

실시공 모형실험의 경우는 그림 5와 같이 단면 형성이 되었고 최하층부는 점토와 혼합되어 착저하였다. 한편, 퇴적토의 함수비가 높은 경우는 소정량의 모래를 투하하더라도 퇴적해 가는 상황은 전혀 확인되지 않았고 퇴적토의 최하층부에 점토와 혼합된 상태로 모래는 넓게 퍼져 갔다.

(2) 현장 시험시공

현지에서는 평균입경 100mm정도의 잡석과 입경 50mm이하의 모래에 의한 중간제방조성 시험시공을 실시했다. 각 토사는 낙하고가 0(Zero)가 되도록 그라브를 이용하여 퇴적토의 위에 단계적으로 포설하였다. 시공 중 투입토사의 침하계측을 시행하였고, 퇴적

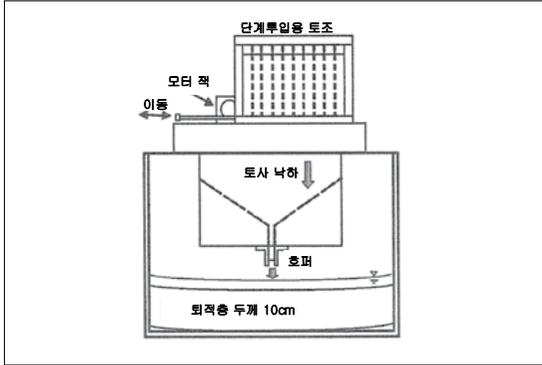


그림 4. 실험 개념도

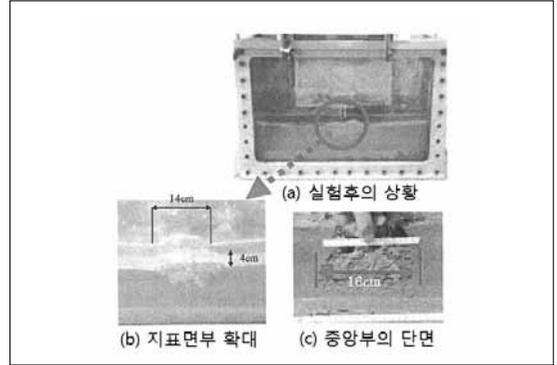


그림 5. 실험후의 상황

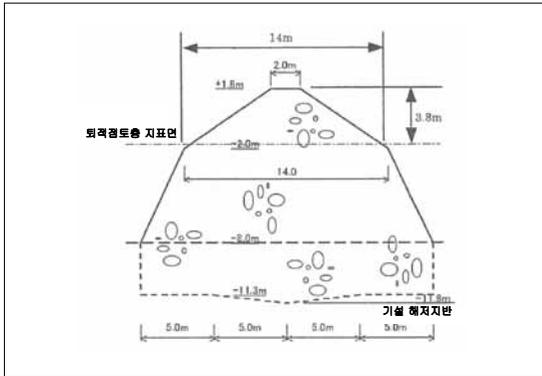


그림 6. 시험시공 결과 단면도(잡석투하)

토층에 관입상황을 확인하였다. 또한 시공후, 보오링 조사를 실시하여 기 해저면에서의 착저 상황을 확인했다.

시험시공의 결과를 그림 6에 나타낸다. 그림 6의 실선은 실제의 계측치로부터 얻은 형상이고 파선은 직접적으로 계측할 수 없지만 투입양 및 원심모형실험 결과로부터 추정한 단면 형상이다. 이 단면으로부터 잡석은 넓게 퍼지지 않고 덩어리 형태로 퇴적되어 있고 기해저면에도 착저하고 있는 것으로 판단되었다. 또한 별도로 실시한 수치해석으로부터 안정성에도 문제가 없는 것으로 확인되었다. 한편 모래의 경우, 상부면 구배는 1/3 구배로 되었고 잡석과 비교해서 비경제적이었다.

2.3. 생분해성 시트를 이용한 인공 갯벌 조성 (佐藤毅 등, 2004)

대상으로 하는 갯벌의 표층 모래 두께는 30cm ~ 1.2m, 표층 모래의 기층은 함수비 100 ~ 200%의 연약한 준설점토다. 따라서 연약 점토지반상에 표층 모래를 포설할 경우, 지지력확보를 위하여 지오그리드 등으로 준설점토 위에 포설한 후 모래포설을 해야 한다. 그러나 지오그리드는 플라스틱 및 폴리에틸렌 등의 인공적인 소재이기 때문에 환경에의 배려로 갯벌 조성에 사용된 사례는 거의 없고, 일부 오사카 남항에 사용된 정도이다.

본 공사에서는 시공시 및 시공후의 안정성과 생식 생물 및 자연환경에의 영향을 고려하여 폴리유산을 원료로 하는 생분해성 시트를 이용한 보조공법을 사용했다. 시공에 이용된 생분해성 시트는 그리드 형태의 시트로 그리드 폭 6mm, 인장강도 30kN/m를 선정하였다. 그러나 생분해성 시트를 보강재로 이용한 사례가 거의 없고, 준설점토의 강도평가에도 불확실성이 포함되어 있기 때문에 선정된 시트로 표층 모래 시공이 확실하게 실시될 수 있을지를 시험시공에 의하여 확인하는 것으로 수행하였다. 시험시공은 10m x 20m의 생분해성 시트를 이용하여 소정의 표층 모래 두께에 대하여 시공시의 시트 안정성과 시공성 및 완성단면의 확보를 확인하였다. 시험시공의 표층 모래 표면

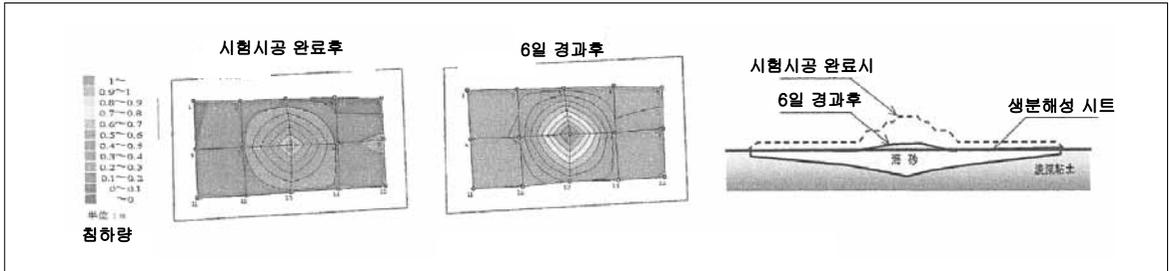


그림 7. 시험시공 표층 모래 표면의 높이 변화

의 높이 변화를 그림 7에 나타낸다. 초기 모래층 두께가 큰 중심부분일 수록 큰 침하를 나타냈다. 시험시공은 좁은 영역내에서의 급속시공으로 재하를 국부적으로 하였기 때문에 이러한 침하가 발생한 것으로 판단된다. 한편 표층 모래 두께를 계측한 결과 모식도에 나타난 것처럼 소정의 표층 모래 두께는 큰 변화는 보이지 않았다. 실시공에서는 표층 모래 전역(21,000m²)에 시트를 포설하기 때문에 시트 위에 균일하게 표층 모래를 포설하므로 이러한 국부적인 침하를 저감할 수 있을 것으로 판단하였고, 실시공을 성공적으로 완료할 수 있었다.

3. 맺은말

인공갯벌조성에 관한 일본의 연구사례 및 시공사례를 소개하였다. 인공갯벌조성은 생태지반공학적으로 매우 어려운 학문이며, 환경이 중요시 되는 현시점에서 매우 중요한 연구과제임에 틀림없다. 그러나 국내에서는 아직까지 이러한 연구사례를 찾기 어려운 상황이다. 개발 그리고 환경변화에 대응하기 위해서는 국내에서도 지반공학적으로 이러한 인공갯벌조성에 관한 연구가 활발히 진행되어야 될 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. エコポート(海域)技術WG(1998): 海域における干潟との共生マニュアル、(財)港湾空港高度化センター、pp. 82-83
2. 鶴ヶ崎和博、高橋武一、大石富彦、原口和靖(2004): 人工干潟造成における地盤の安定勾配に関する室内模型実験、土木學會 第59回年次學術講演會、pp.495-496
3. 柳畑享、鶴ヶ崎和博、高橋武一、工藤公秀、大石富彦、原口和靖(2004): 人工干潟造成地での強制置換法による中仕切り堤の構築、土木學會 第59回年次學術講演會、pp.497-498
4. 佐藤毅、鶴ヶ崎和博、庄田明宏、大石富彦、原口和靖(2004): 生分解性シートを用いた人工干潟造成、土木學會 第59回年次學術講演會、pp.499-500