

간사이공항의 건설에 관한 지반공학상의 문제

다나카 히호유키¹⁾ 번역 : 고경환²⁾

1. 서론

간사이공항은 신동경국제공항(나리타)에 이은 본격적인 국제공항으로서 오사카항에 건설된 해상공항이다. 공항의 건설은 1987년에 시작되어 제1기 공사는 1994년에 끝났고 같은 해에 운영이 개시되었다. 그러나 현재의 공항은 활주로가 1개밖에 없어서 비약적으로 증가될 것으로 생각되는 항공수요에 대처하기가 어려웠다. 이를 위하여 현재의 공항에서 더욱 먼 바다쪽에 2번째의 활주로가 건설되고 있는데 이것이 제2기 공사로서 1999년부터 시작되었다.

국토가 좁고 동시에 산이 많은 지형을 가지고 있을 뿐만 아니라 많은 인구를 포함하고 있는 일본에서는 공항건설에 필요한 광대한 토지를 확보하는 것이 어렵다. 또한 인구가 밀집된 평탄지에서는 공항에 인접한 인가의 존재를 피할 수 없고 항공기에 의한 소음이 큰 문제가 되고 있다.

한편 국가간의 교류가 증대하고 있을 뿐만 아니라 공항의 24시간 영업이 산업계로부터 강하게 요구되고 있다. 이러한 문제에 대처하기 위해서 간사이공항은 오사카항의 남동쪽 5km의 지점에 위치한 바다 한가운데 건설되도록 결정되었다. 공항건설지점의 수심은 18m에서 20m로서 해저에는 Holocene에 퇴적된 두께 20m 정도의 연약한 점토층이 있다. 더욱이 그 아래에는 Holocene보다 오래된 시대 퇴적된 Pleistocene의 점성토가 400m이상 두꺼운 두께로 퇴적되어 있다. 본 글에서는 간사이공항의 건설에 즈음하여 연약지반에 대처하는 것을 소개한다.

¹⁾ 일본항공기술연구소 지반조사연구실장

²⁾ 정희원, 삼성중공업 건설부문 부장

2. 간사이공항의 개요

간사이 지구에 새로운 국제공항을 건설하기 위한 조사는 1968년경부터 시작되었다. 1984년에는 공항의 건설 및 운영주체로서 간사이국제공항주식회사를 설립하였다. 자본금은 4480.5억엔(1998년7월1일)으로 국가가 2/3, 지방공공단체 1/6, 민간 1/6의 주식을 소유하고 있다.

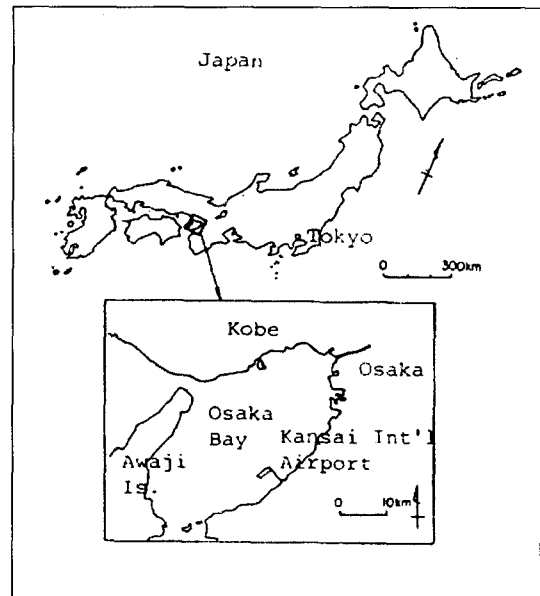


그림1. 간사이공항의 위치

간사이공항의 건설지점은 그림 1에 나타난 바와 같이 오사카시의 남쪽해안에 위치하고 있으며 공항의 전체계획을 그림 2에 나타냈다.

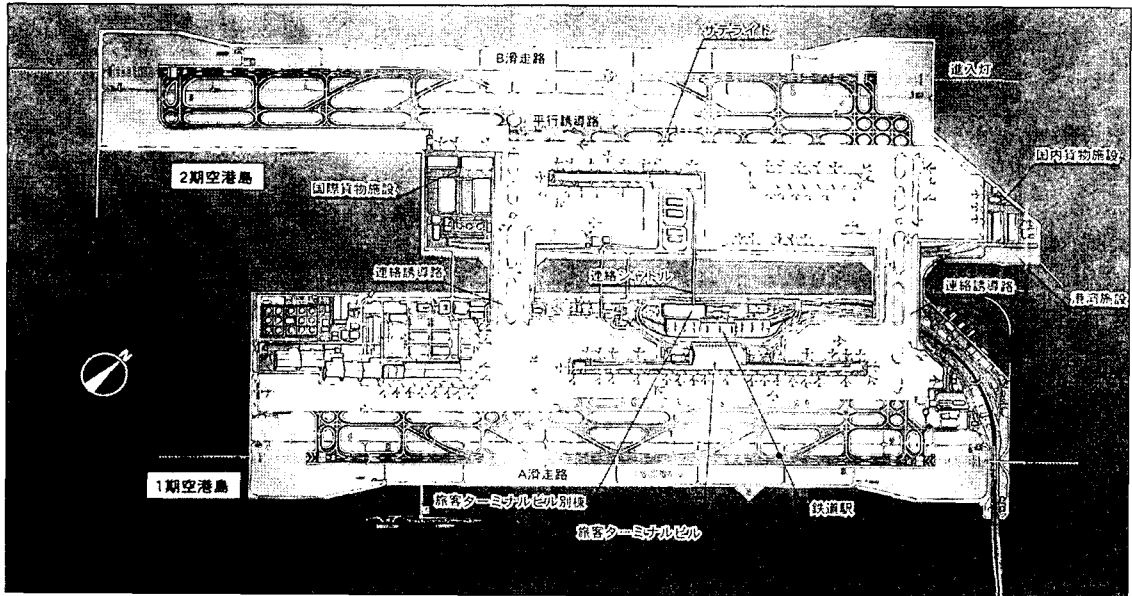


그림2. 간사이공항공의 전체 계획도

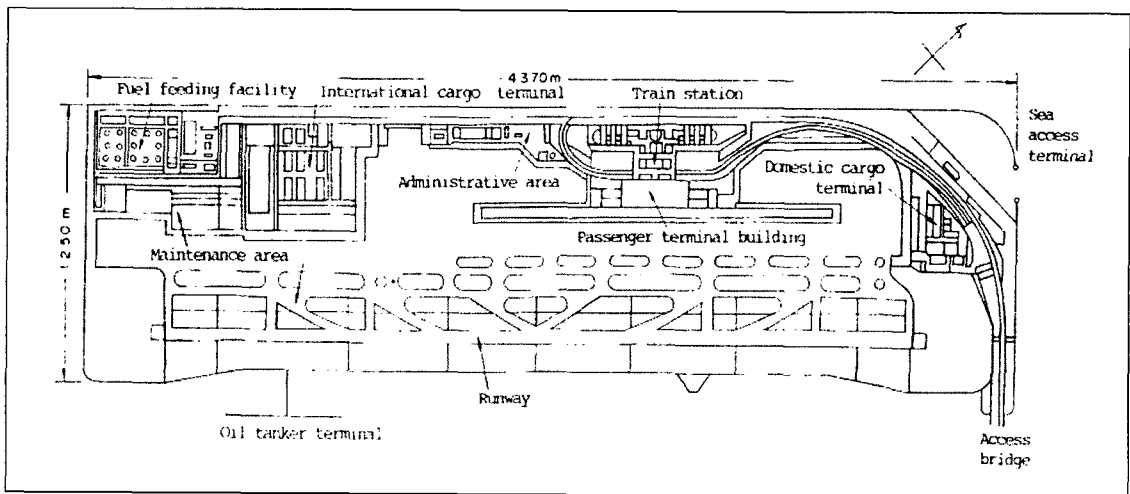


그림3. 제1기 사업에서 완성된 공항공의 개요

공항공의 정비는 3기로 나누어 추진되고 있으며 이미 서술한 바와 같이 1994년에 완성한 제1기 사업에서는 길이가 3600m인 활주로가 완성되었다. 또한 1999년부터 공사가 개시되었던 제2기 사업에서는 4000m의 활주로가 현재의 활주로와 평행하게 건설된다. 또한 착공시기는 결정되지 않았지만 길이 3500m의 횡풍용 활주로도 제3기 사업으로서 계획

되어 있다.

공항공으로의 접근은 JR서일본이나 남해전철과 같은 철도, 리무진, 버스 등의 차량 및 고속선박에 의해 오사카와 고베 등의 대도시로 연결되게 된다. 제1기 사업에서 완성된 공항공의 개요를 그림 3에 나타냈다.

공항섬의 크기는 길이가 4,370m, 폭이 1,250m, 면적은 511ha이며 이 공항의 항공기의 이착륙 용량은 연간 16만회이다. 제1기 공사비는 <표-1>에 나타낸 바와 같이 1조5천억엔으로 공항섬의 건설이 5천억엔, 활주로와 터미널 빌딩 등의 공항시설에 5천억엔, 나머지 교량 등의 건설에 사용되었다. 따라서 1㎡의 토지를 조성하는데 10만엔을 필요로 하는 것이다.

표1. 제1기 사업의 공사비 내역

Airport island reclamation	510
Runway, taxiway, navigation aids, Terminal facilities, supply facilities	510
Access Bridge	150
Miscellaneous	260
Total	1,430

현재의 공항 수요의 증가가 계속된다고 가정하면 2003년에는 제1기 사업으로 완성된 공항의 이착륙 용량에 도달하게 되어 처리능력의 한계에 도달하게 된다. 이를 위하여 앞에서 서술한 바와 같이 현재의 공항에서 멀리 떨어진 바다쪽에 2번째의 활주로를 건설하게 되었으며 건설계획에 따르면 2007년에 활주로의 공용이 시작되고 이착륙 용량도 연간 18만회가 된다.

또한 새로운 위성이 건설되어 연간 23만회의 이착륙에 대응하고자 한다. 제2기 공사의 개요를 제1기 공사와 비교하여 표 2에 나타냈다.

표2. 제1기와 제2기 사업의 공사량 비교

	규 모			자연조건	
	매립면적	호안연장	매립토량	평균수심	평균침하량
제2기 조성면적	約545ha	13km	2.5억㎡	-19.5m	18m
제1기 조성면적	510ha	11.2km	1.8억㎡	-18m	11.5m

면적은 제1기 사업과 동일하지만 수심이 깊고 연약점토의 두께가 크기 때문에 예측된 침하량이 크며 이 때문에 매립토량이 40%나 증가한다. 또한 침하에 의해 현 공항에 미치는 영향을 피하기 위하여 제2기 사업의 매립에는 현 공항의 호안으로부터 200m

정도 떨어진 지점에 실시하였다. 제2기 사업의 총 비용은 제1기 사업과 동일한 금액인 1조5천6백억엔에 예정되어 있다.

이렇게 제2기 사업도 여러 분야별로 비용이 필요하게 되며 또한 그 투자의 회수 기간이 오래 걸리지 않도록 공장시설과 용지조성에 정비 주체를 분리하는 사업 수법을 사용하였다. 이것을 상하주체 분리 방식이라 불리는데 전자는 현재의 간사이공항 주식회사가 실시하고 용지 조성에 대해서는 새롭게 간사이국제공항 용지조성주식회사를 만들어 공항건설에 활용하였다.

3. 지반의 개요

3.1 지질구성

공항을 건설하기 위한 지반의 구성은 그림 4에 나타내었으며 오오사카항은 동경만이나 이세항과 동일하게 지질학적으로는 침강분지로 제4기에 걸쳐서 침강이 계속된 지대이다. 음파 조사를 사용한 지질조사에 의하면 기반암은 깊은 곳에서 2km의 심도에 있으며 그 상부에는 제4기에 퇴적된 층이 두껍게 존재하고 있다.

제4기는 빙하기와 같이 특징적인 시기에 있으며 빙하기에는 대량의 해수가 빙하로 되어 유럽대륙이나 북미대륙에 쌓여졌기 때문에 이 시기에 해수면이 현재보다 100m이상 저하되었다고 전해진다. 또한 오사카항은 앞에서 서술한 것과 같이 판지각 구조로 되어 천천히 지반이 저하되고 있다. 이와같은 지반에서는 하천으로부터 이동된 토사가 퇴적되며 따라서 해성점토와 호수성 점성토나 사질토의 지층이 섞여서 퇴적되어 있다. 이 지층구성은 오사카항과 그 연안의 구릉부에도 적용된다. 해성 점성토에는 해성을 나타낸 M_a의 두 문자를 따서 지층마다 오래된 순으로 번호를 붙여 사용하며 먼저 상부에 위치하고 있는 Holocene의 지층번호는 M_a B로 정하였다.

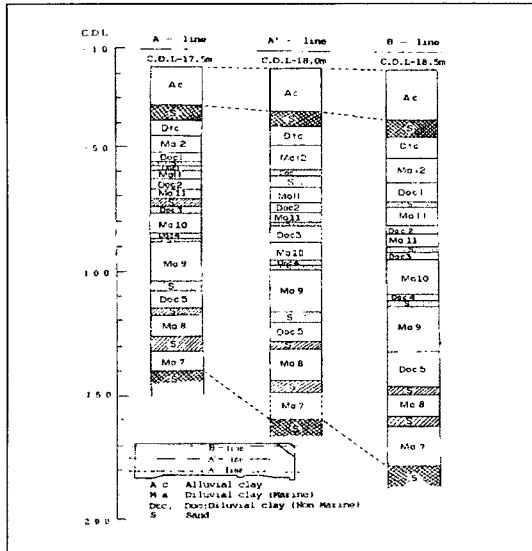


그림4. 건설지점의 지반구성

3.2. 지반조사

공항건설에 앞서서 음파탐사나 보링에 의한 지반 조사가 실시되었으며 보링의 심도는 목적인 것과는 다르지만 먼저 깊은 보링에서는 400m의 심도에 달하고 있다. 이 보링의 목적은 석유나 온천의 개발과 달리 지반의 공학적 성질을 파악하기 위한 시료채취에 있다. 그렇지만 보링에 의한 시료의 교환을 얼마나 작게 하는가가 포인트이다. 또한, 시료의 채취 심도가 깊어지면, Wire-Line 공법에 의한 보링 및 샘플링을 수행하면 된다. 이 공법에서는 굴삭용 Pit와 샘플러의 교환을 와이어에 의해 수행하게 하므로 통상적인 룯드를 사용하는 방법과 비교해서 대심도에서는 위력을 발휘하는 방법이다.

고품질의 시료를 채취하기 위해서 가능한한 고정 피스톤식의 수압 샘플러에 의해 시료를 채취한다. 일본에서는 N치가 4이하인 연약한 점성토 지반의 시료 채취에 있어서 일본지반공학회(JGS)가 규정하고 있는 표 3에 표시한 고정 피스톤식 샘플러를 사용하도록 하고 있다. 그러나, 이번에 접하는 Pleistocene 점토층은 견고하기 때문에 표 3에 표시한 내경이 표

준 샘플러보다 크고, 또한 샘플러의 두께도 크게 되어 있다. 이 때문에 단면적 비는 표에 제시한 것처럼 표준 타입(유형)보다 2, 3배 정도 크다. 샘플러가 소정의 깊이까지 압입되어 견고한 지반에 있어서는 Denison Sampler를 사용한다. Denison Sampler는 2중식으로 되어있고 외측의 외관이 회전하여 내관 외측 지반이 굴삭되어지며 시료가 들어가면 내관은 수압식 샘플러와 동일하다.

표3. Sampler 제원

	Inside diameter (mm)	Thickness (mm)	Tapered angle (°)	Length (mm)	Area Ratio (%)
Standard sampler	75	1.5	6	1000	7.5
Sampler for large Depth	81.1	4	6	1170	17.2

3.3 실내시험

Pleistocene의 점토층에 문제가 있으면, 공항섬 건설로 인하여 침하가 발생하게 되며, 이 때문에 보링에 의해 채취된 시료를 사용하여 여러가지 압밀시험을 수행하였다. 조사를 시작한 초기에, 단계적인 하중을 증가시키는 표준압밀시험을 수행하였으며 그 결과로서 압밀항복응력(가끔 선행압밀하중으로 불린다) p_y 를 구하였다. 그러나 종래의 표준압밀시험에서는 압밀하중 이전의 하중단계에 대하여 2배에 해당하는 하중을 증가시키기 때문에 이번의 대상과 같은 토피압이 큰 지반에서는 하중 단계가 크므로 p_y 가 구해진다. 또한 e -log p 관계의 구배가 p_y 부근에서 급하게 변화하였고 또한 정규압밀상태에 관해서 e -log p 관계를 직선으로 표시하지 못했다. 그림 5에 표준압밀시험으로 구한 e -log p 관계를 모식화하여 제시하였다. 따라서 표준압밀시험을 수행한 경우에는 종래의 하중 단계를 보완한 하중단계를 설정하였으며 p_y 부근의 하중단계를 조밀하게 설정하는 방법을 채용하였다. 또한 일정변형률압밀(CRS)시험을 수행

하였다.

종래의 압밀시험은 압밀하중을 일정하게 하여 압밀하중에 의해 발생하는 침하량(변형률)을 측정하는 시험이다. 한편, CRS는 일정량의 변형량을 공시체에 주어 그때의 하중과 발생한 간극수압을 측정하는 것이다. 공시체의 크기는 표준압밀시험과 동일하지만 직경 60mm, 초기높이는 20mm이다. 시료 상부면이 배수면이고 하부면은 간극수압을 측정한다. 또한 간극수압의 정도를 좋게 하기 위해서 100kPa의 배압(Back Pressure)을 준다. CRS시험의 원리를 간단하게 서술하면 변형속도가 일정하다면 압밀계수가 작게 산정되고 하부면에서 측정되는 간극수압은 크게 산정된 것을 이용하게 된다. 또한 로드셀에 의해 측정되는 하중은 공시체에 과잉간극수압을 발생 시키게 되며 압밀압력(유효응력)을 잘못 산정되는 결과를 낳게 된다. 이 때문에 공시체의 간극수압의 분포가 포물선 이라고 가정되어 (1)식에 나타낸 공시체 내의 유효응력의 평균치로서 압밀압력 p' 를 대표하게 된다.

$$p' = p \times 2u/3 \quad (1)$$

여기서 p 는 로드셀에서 측정되는 하중, u 는 공시체 하부면에서 측정되는 간극수압이다. 그 시험을 이용하게 되면 e - $\log p$ 관계가 거의 연속적으로 얻는 것이 가능하다. 그 일례를 그림 6에서 보여 주고 있다. 이미 서술한 바와 같이 압밀하중이 p_y 범위에 있고 급변하여 e 가 감소한다.

위와 같이 그 지반의 압밀상수를 구하기 때문에 단계하중에 의한 표준압밀시험과 CRS시험을 이용하였다. 그러나 여기서 해석상의 문제가 발생하는데 그것은 두 시험에서 얻어지는 p_y 가 다르기 때문이다. 공항건설지점을 통틀어서 일반적으로 CRS시험에서 얻어지는 p_y 가 표준압밀시험에서 얻어지는 p_y 보다 크게 나타난다. 그러므로 본 조사에서는 CRS에서 얻어지는 값은 어디까지나 참고로 하고 표준압밀에 의한 값을 설계치로 하였다.

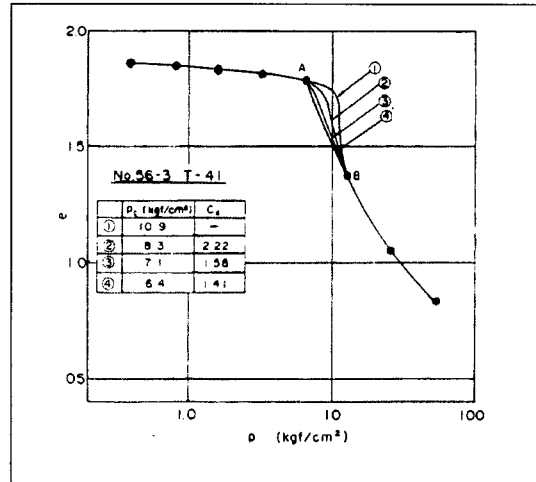


그림5. 표준압밀시험으로부터 구한 e-logp 모식도

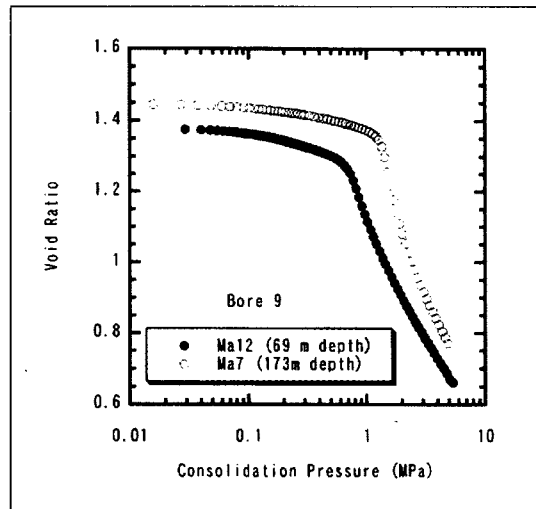
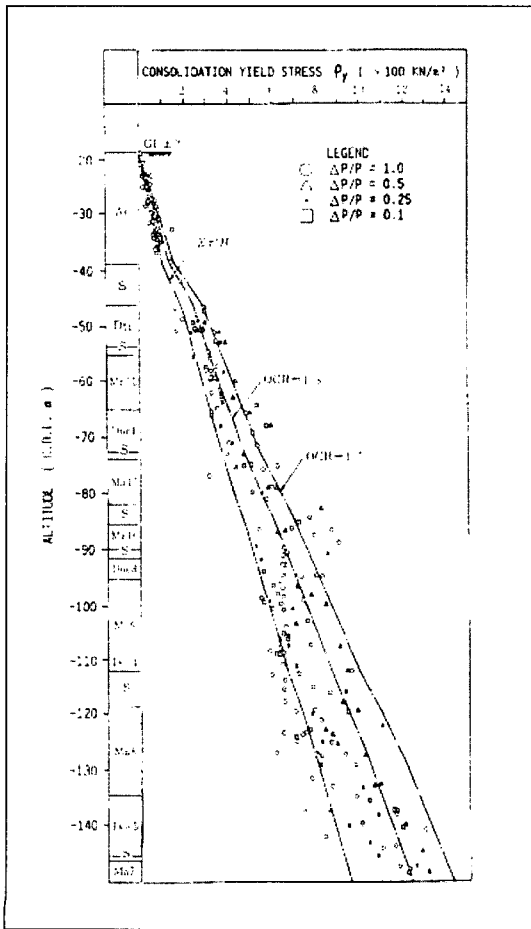


그림6. CRS시험으로부터 구한 e-logp 관계

3.4 압밀특성

침하량을 예측하기 위해서는 압밀정수 특히, p_y 와 압축지수 C_c , 압밀계수 C_v 가 반드시 요구된다. 그림 7은 압밀시험에서 얻어지는 p_y 를 나타내고 있다. 이 값은 모두 단계재하 시험에 의한 값이지만 이미 서술한 것에 의하면 표준압밀시험에서 사용되어질 수

있는 하중 증가율은 $\Delta p/p = 1$ 이고 p_y 의 설정에 큰 오차를 동반하기 때문에 작은 하중 증가율에서 구한 값을 이용하고 있다. 공항건설 지점을 포함하여 오사까항의 제4기에 해당하는 일련의 해성점토(M_a) 층이 현재의 유효토피압 보다 큰 압밀하중을 받게 되지만 반대의 경우에 대해서는 지금은 명확한 해답을 줄 수가 없다. 그러나 그림 7에 제시한 바와 같이 p_y 는 깊이 방향으로 일정하게 증가한다. 즉, 과압밀비(OCR)은 깊이에 대해서 거의 일정하지만 p_y 가 p_{v0}' 보다 큰 이유는 연대효과인 Cementation 등의 흩구조에 의한 것으로 사료된다.



〈그림7. 압밀시험에서 득한 압밀항복응력〉

일본 지반공학회가 정한 압밀시험에서는 C_c 는 e - $\log p$ 의 최대 경사로 한다. 그러나 그림 6에 나타낸 것을 보면 이 지역의 지반을 통해서 자연퇴적된 점성토의 e - $\log p$ 관계는 p 가 p_y 를 뛰어넘는 정규압밀영역으로 간주하여 C_c 는 일정하게 나타나는 것이 보통이다. e - $\log p$ 의 비선형성을 고려하여 두 종류의 C_c 를 새롭게 정의하고 지반의 압축성을 고려한다. CRS 시험으로부터 구한 e - $\log p$ 관계를 이용하여 p 가 p_y 를 초과하므로 C_c 가 최대 되는 C_{cmax} , p 가 충분히 커서 C_c 가 일정할 때를 C_{c1} 으로 한다. 그림 8은 C_{c1} 을 액성한계 w_L 에 대하여 플롯한 것이다. C_c 와 w_L 의 관계는 많은 연구자들에 의해서도 연구가 되었다. 그 중에서 (2)식에 나타낸 Terzaghi의 관계가 유명하다.

$$C_c = 0.009(W_L - 10) \quad (2)$$

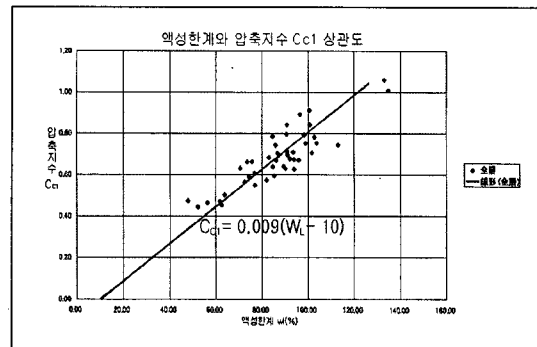


그림8. C_{c1} 과 액성한계 관계

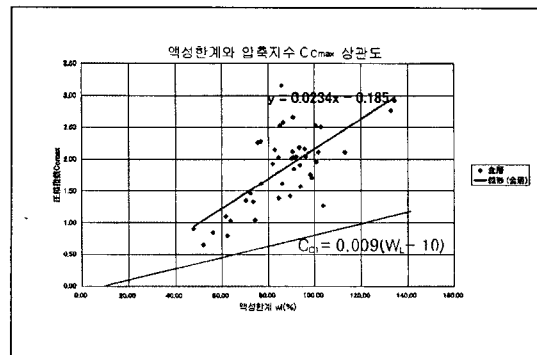


그림9. C_{cmax} (최대 C_c)와 액성한계 관계

특집(I)

이 식은, 교란된 상태의 시료에 대하여 잘 적용된다고 말할 수 있다. 그림 8에 나타낸 것에 의하면 본 공구에서 얻어질 수 있는 C_{cl} 과 W_L 의 관계도 (2)의 관계에 있는 것을 알게 되었다. 그 관계는 오오사카항의 Pleistocene의 지반뿐만 아니라 그외의 많은 Holocene 점성토에 대해서도 적용이 가능한 것이 확인되었다. 한편, C_{cmax} 는 그림 9에 나타낸 것처럼 W_L 에 대하여 명확한 관계가 인정되며 C_{cl} 과 비교해서 큰 값이다. 이와 같이 C_{cl} 은 W_L 에 대표가 되는 흙의 고유성질에 대하여 깊은 관계이다. 한편 C_{cmax} 는 흙의 퇴적중 혹은 퇴적후 환경의 변화에 의해 크게 값이 달라질 것으로 사료된다.

4. 제기 사업의 공사 개요

4.1 호안 건설

공항섬의 건설은 우선 외주호안의 조성부터 시작되었다. 차례로 서술하면 이 공항건설 지점인 오사카만은 해저면하 20m까지 최근에 퇴적된 연약한 점성토(M_a 13)가 있다. 외주호안의 건설에는 지반의 침하와 활동에 대한 안정이 중요한 포인트가 된다. 호안의 구조는 그림 10에 제시된 바와 같이 자연조건(파고), 지반조건, 호안의 사용목적(예를 들면 선박의 체류시설의 유무)에 대하여 고려하였지만 구조형식은 완경사 호안이 채택되었다. 이 구조형식을 채용한 이유는 경제적인데 있으며 또한 호안의 전면에 얇은곳이 조성되어 있고 어장이 형성되어 있어 인공섬 건설에 의한 자연에 대한 부하가 작다고 할 수 있다.

해저면에 퇴적되어 있는 점토층은 정규압밀 지반 상태이며 강도가 작고 또한 압축성도 크다. 이 때문에 외부호안의 건설에 앞서 샌드드레인에 의한 지반 개량을 시행하였다. 샌드드레인의 구경은 40cm이며 타설간격은 2.0m이다. 또한 압밀에 의한 강도증가를 기대하기 위해서 단계적으로 하중을 증가시키는

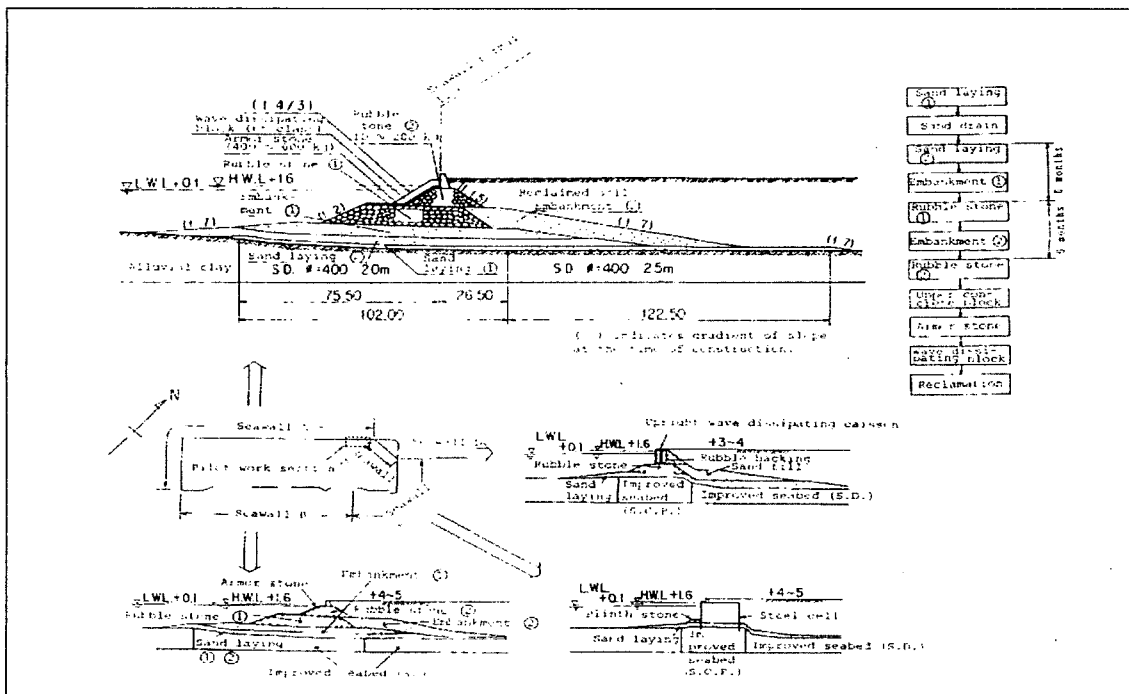


그림10. 외주호안의 구조와 시공순서

단계재하공법을 채용하였다. 호안 A와 B에 시행했던 시공순서를 그림 10에 나타내었다. 또한 해저면에 모래를 부설하고(1) 샌드드레인을 타설했다. 이후에 모래를(2) 깔고 이 위에 모래제방(1)을 시공했다. 이 단계에서 약 6개월을 방치했고, 압밀에 의한 강도증가를 계산하였다. 이후 쇄석에 의한 쌓기(1)과 모래제방(2) 및 쇄석쌓기(2)를 시공하고 6개월을 방치했다. 최종적으로 상부 제방과 방파 Block을 올려 외주호안을 완성하였다.

경사가 완만한 호안건설에서는 가능한 한 경제적인 단면을 하기 위하여 지반의 파괴에 대한 안전율을 최소로하여 건설하였다. 또한 공기단축을 위하여 방치기간을 가능한 짧게 하였다. 그러나 안전율이 작고 또한 방치기간이 짧아 압밀에 의한 강도증가를 충분히 얻을 수 없어 시공중에 지반이 파괴될 확률이 크게 된다. 물론 호안의 설계에 앞서 세밀한 지반조사를 하였으며 자연지반에서의 강도와 압밀정수에는 오차가 생겨 지반정수의 설정에 대한 불확실성을 피

할 수 없다. 특히 방치기간의 설정에 중요한 지반의 압밀계수에 대하여는 불확실 요소가 된다. 이 때문에 일부공구를 다른 호안보다 앞서 행하였으며 그림 10에 제시된 곳을 계측공구(Pilot work section)로 하여 세밀한 계측관리를 행하였다.

침하계측 사례를 그림 11에 표시하였다. 지반 조사결과로부터 구한 수평압밀계수 C_h 와 체적압축계수 m_v 로부터 침하량을 계산하여(예측치) 측정치와 비교하였다. 그 결과 차이가 크게 발생하였다. 이 때문에 실측치와 침하량을 같게 하기 위하여 지반정수를 변화시켜 이 새로운 정수를 사용하여 다른공구의 예측치를 구하였다. 연직변위와는 다른 지중변위계에 의해 수평방향 변위도 예측하였으며 이 예를 그림 12에 표시하였다. 재하단계가 진행되어 수평변위가 증가한 것으로 판명되었다. 시공중 호안의 파괴는 절대 피할수 없다. 각 시공단계가 지반파괴에 대하여 어느 정도 안정한 것을 파악하기 위하여 Matsuo의 관리도에 의한 시공관리를 하였으며 이 예

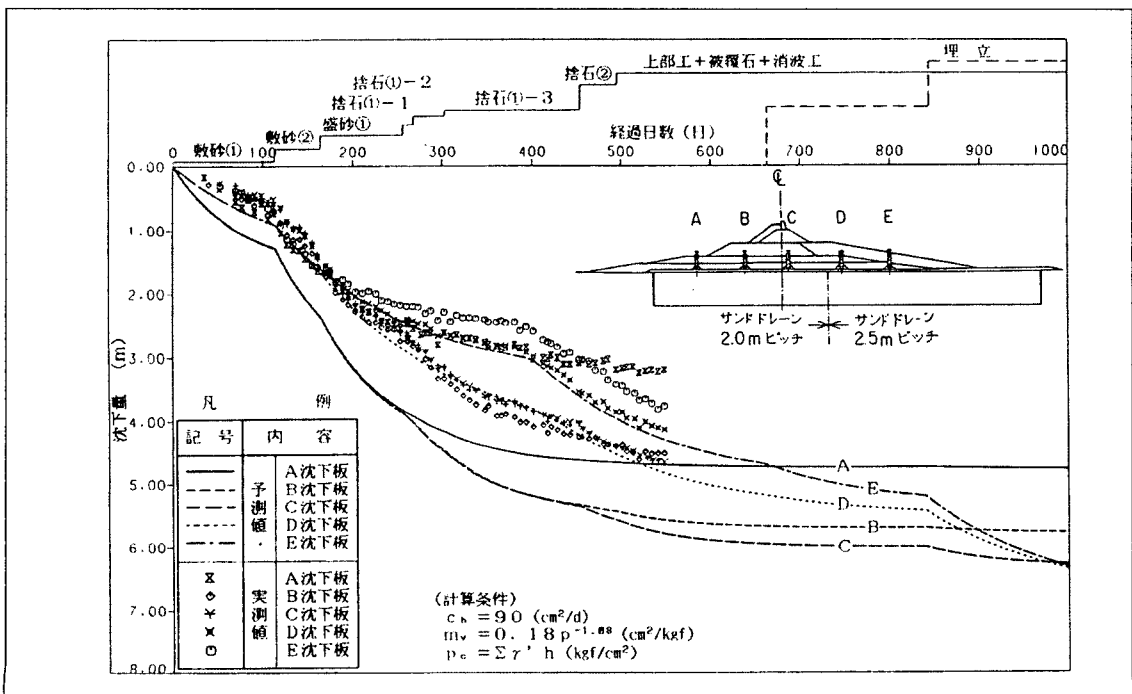


그림11. 지반조사로부터 득한 정수에 의한 침하예측과 실측치 비교

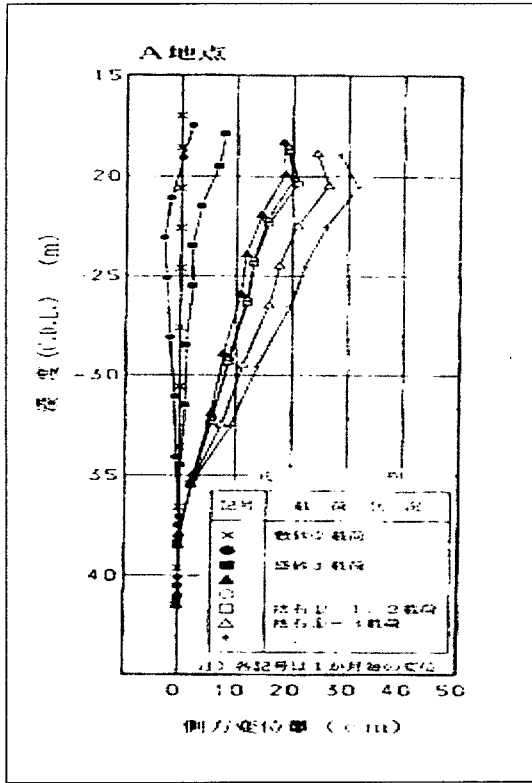


그림12. 호안의 수평방향 변위

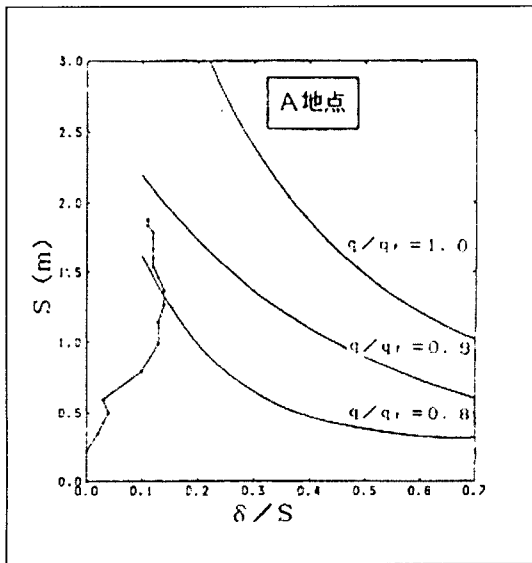


그림13. Matsuo의 관리도에 의한 시공관리

를 그림 13에 제시하였다. 여기서 S는 천단 중앙의 연직변위 또한 δ 는 성토층의 수평방향 변위이다.

이 관리도의 원리는 만약 지반이 파괴에 근접해지면, 지반에 수평방향의 변위가 연직변위보다 크게되어 δ 가 S와 비교해서 큰 것을 이용한다. Matsuo는 많은 성토의 파괴사례로부터 S와 δ/S 의 관계는 그림 13과 같은 관계가 있다고 하였다. 여기서 q는 재하하중, q_r 는 파괴하중이다. 즉 측정가능한 S와 δ/S 의 관계가 $q/q_r = 1.0$ 관계의 그래프에 도달하면 지반은 파괴되는 것이다. 예를 들면 $q/q_r = 0.8$ 선상에 관측점이 있다면 이 단계하중 수준은 파괴에 대하여 0.8 배로 안전을 $1/0.8 = 1.25$ 인 것을 나타낸다.

이와같이 계측자료를 이용하여 방치기간 중의 압밀에 의한 지반의 강도증가를 확인하였다. 공사를 진행하기 위해서는 가능한 한 각 단계시공을 빠르게 행하는 것이 좋다. 그러나 시공이 빠른 재하에 의해 압밀이 종료되지 않은 상태에서는 비배수 전단강도 C_u 가 충분히 발휘되지 않기 때문에 지반파괴가 발생할 가능성이 있다. 따라서 침하계측에 의한 압밀의 진행을 파악하는 보링을 실행하여 채취된 시료로부터 강도확인을 행하였다. 그림 14에 Check Boring에 의해 얻어지는 C_u 증가의 상태를 표시하였다. 해저면에 근접한 심도에서는 C_u 증가는 커지지만 심도가 증가하게 되면 강도증가가 감소한다. C_u 의 증가비율이 상부에 비교해서 하부가 작은 이유 중에 하나는 하중의 분산효과로 사료된다. 외주호안 구조는 그림 10에 제시한 바와 같이 호안이 높아짐에 따라 폭이 좁아진다. 하중이 지반내에서 분산되어 깊이가 깊어지므로 하중증가율이 감소한다. 그러나 그림에서 제시한 결과는 하중분산효과를 고려한 것으로(예를 들면, Osterberg에 의한 계산) 점토층 하부의 강도 증가율 감소를 전부 설명하는 것은 불가능하다.

그림 15는 압밀시험으로부터 구한 압밀항복응력 p_y 이다. C_u 와 같은 양상으로 심도가 깊어질수록 증가비율은 작아지게 된다. 그림 16은 p_y 와 C_u 의 관계를 나타내지만 C_u 는 p_y 의 증가에 따라 증가하여 그 구배인 강도증가율 C_u/p_y 는 0.3으로 표시한 것이 된다.

이 증가율은 일본의 점성토에서 보여지는 대표적인 값이다.

선행의 계측공구에서 수행한 지반조사 결과로부터 결정되어 당초설계에 적용된 설계정수를 변경하여 새로운 설계정수를 결정하였다. 그 새로운 정수를 사용하여 다른공구의 시공단계와 안정계산을 수행하여 다른 공구에 관해서는 최소한의 계측을 수행하므로써 시공을 진행하였다. 그 결과 당초의 계획대로 공사를 종료하였다.

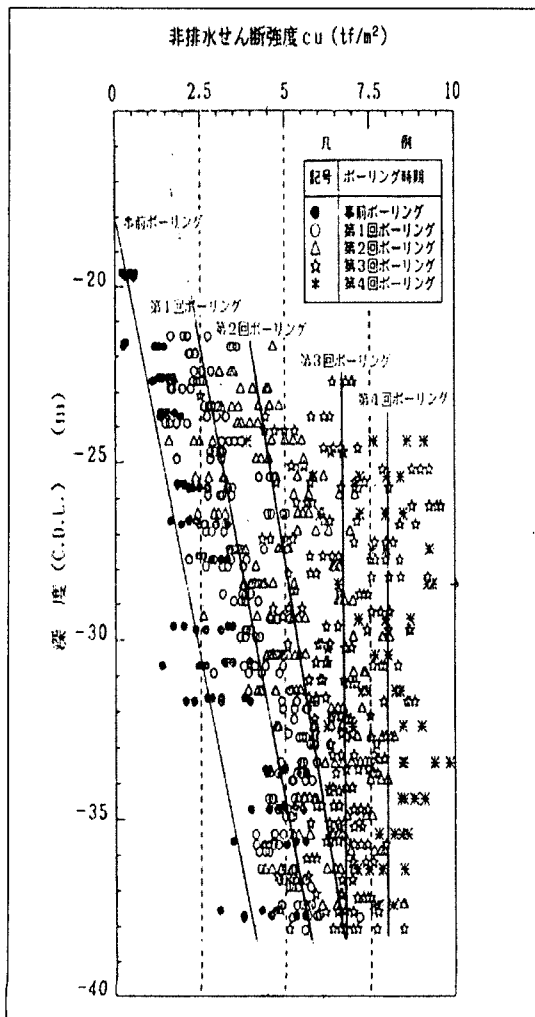


그림14. 압밀진행에 따른 Cu 증가

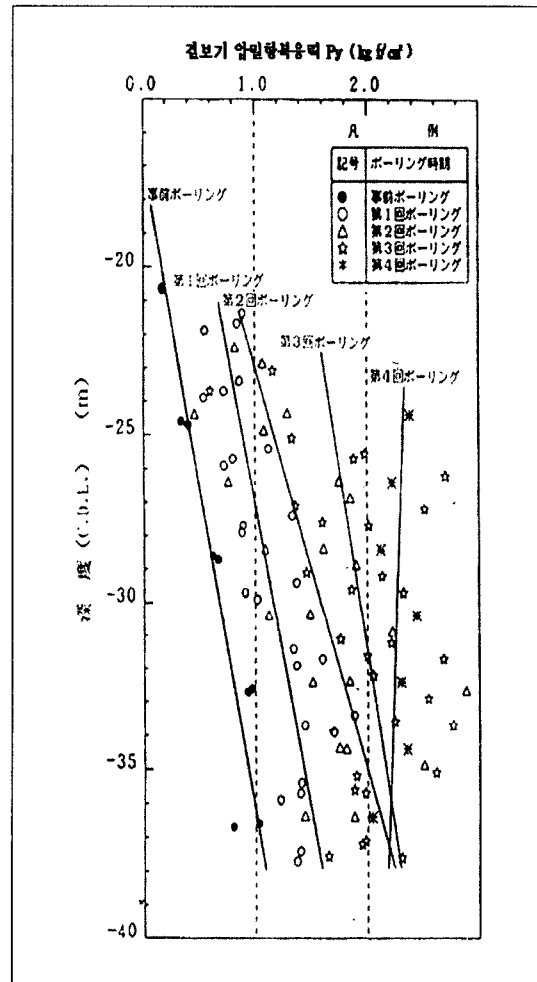


그림15. 압밀진행에 따른 압밀항복응력의 증가

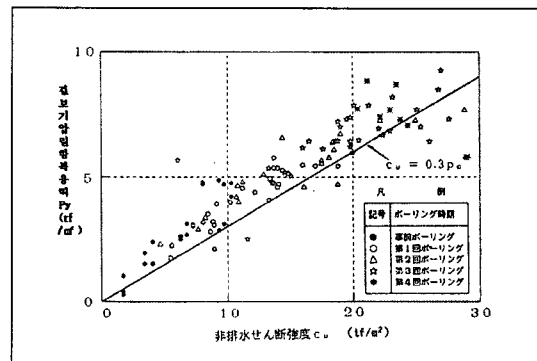


그림16. 일축압축시험으로부터 구한 C_u 와 압밀항복응력의 관계

4.2 매립에 의한 침하

외주호안의 내측에 대해서도 외주호안과 마찬가지로 모래를 포설하여 축조한 후 샌드드레인을 타설하였다. 그러나 그 지반개량의 목적은 강도증가에 있는 것이 아니고 M_a13 층의 침하감소에 있기 때문에 드레인의 타설간격은 2.5m로 하였다. 그림 17은 샌드드레인으로 개량된 M_a19 점토층의 침하와 시간의 관계를 나타내고 있다. 계측지점은 외주호안보다 내륙에 근접한 장소이므로 거의 하중상태는 일차원으로 사료된다. 최종성도가 종료되는 기간은 250일 정도가 되므로 압밀침하량은 거의 종료되었다. 시공전 지반조사로부터 얻은 압밀정수를 이용하여 침하를 계산하였으며 그림 17에서 나타난 점선이다. 그림으로부터 실제 침하량은 예측보다 1m가 작은 것으로 판명되었다.

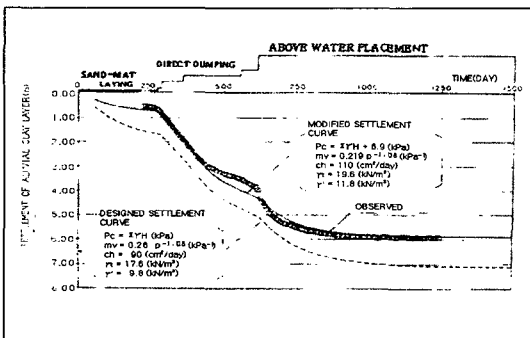


그림17. M_a 13층의 침하와 시간관계

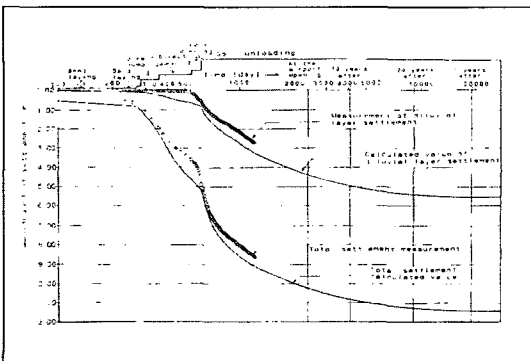


그림18. 전체의 침하 (M_a 13층 및 Pleistocene층)

이미 서술된 것 처럼 오사카항은 M_a13 의 아래에 Pleistocene으로 퇴적된 점토층이 수백미터 존재한다. 그러나 현행 기술수준에서는 경제적인 측면을 고려할 때 Pleistocene 지반은 샌드드레인에 의한 지반개량을 하기는 어렵다. 이 때문에 공항섬은 하중에 의해 천천히 침하가 진행되며 이를 그림 18에 제시하였다. 그림에 나타난 단계를 살펴보면 Pleistocene 점토층 침하는 3m까지 도달하고 있다.

4.3 터미널빌딩 건설

터미널빌딩은 공항의 상징으로 공항시설 중에서도 가장 중요하다. 터미널빌딩의 설계는 국제적인 설계 공모를 실시하여 Lenzo Piano씨의 설계가 당선되어 채택되었다. 설계상세는 다른 기회가 있으면 소개하기로 하고 여기에서는 지반에 관련된 사항으로 터미널빌딩의 기초에 채용된 Jack up system에 대해서 소개한다. 터미널빌딩 아래에는 지하실이 제작된다. 이 때문에 그림 19에 제시된 것 처럼 지하실 부분은 매립토가 없으므로 다른 장소보다 압밀하중이 작다. 이미 서술한 바와 같이 M_a13 층의 침하는 샌드드레인에 의해 터미널빌딩 건설전에 거의 종료되었다. 그러나 M_a13 보다 아래 하부지반은 시간과 더불어 서서히 침하가 이루어졌다. 이 때문에 지하실 부분의 하부에는 공항섬에 사용되어 지는 매립토 보다 단위 체적중량이 큰 철광석을 이용하였다. 그러나 그림에서 나타난 것에 의하면 압밀하중의 Unbalance가 발생하였다. 그러므로 장래적으로는 지하실 부근의 침하량이 작다.

또한 그림 19에 나타난 것에서처럼 터미널빌딩 주변이 중앙부보다 침하가 크다. 침하를 발생시키지 않는 방법으로 말뚝기초가 있으며 이미 서술된 것처럼 Pleistocene기에 점토층이 두껍게 퇴적된 장소이다. 말뚝의 길이는 100m이다. 또한, 말뚝으로 인해 침하를 멈추더라도 주위 지반이 침하되므로 지반과 터미널빌딩 사이에서 부등침하가 발생된다. 공항의 경우에는 항공기의 Boarding Bridge, 철도 등의 공공교

통을 이용하여 들어온다. 이 시설은 부등침하에 대하여 극히 약한 구조이다. 이로 인하여 터미널빌딩의 구조는 말뚝기초, 매트기초로 되어있다. 그러나 압밀하중의 Unbalance에 의한 부등침하에 대응하기 위하여 터미널빌딩 기둥은 그림 20에 나타난 Jack Up System을 채용하였다. 각 기둥의 침하는 정기적으로 관측하고 관측지는 온라인으로 컴퓨터와 연결하였다. 컴퓨터에 의해 건물의 침하가 허용범위에 있도록 각 기둥의 조정량이 산출된다. 그 값에 의해 그림에 나타난 filter plate를 변화시키는 것이 건물의 부등침하에 대하여 대처하는 것이다.

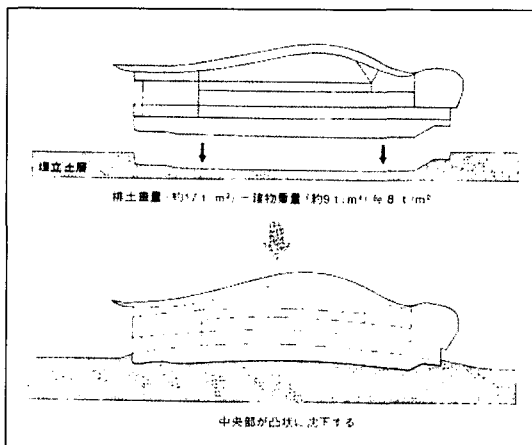


그림19. 하중차에 의한 터미널빌딩에 생기는 부등침하

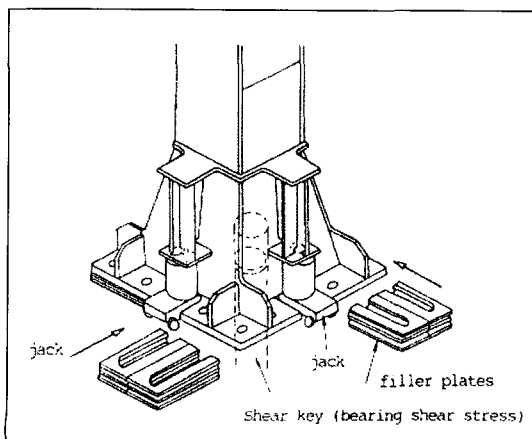


그림20. 공항시설에 사용된 Jack Up System

5. 결론

이미 서술한 바와 같이 2번째 활주로의 건설을 목적으로 하여 제2기 사업이 1999년부터 시작되었다. 평균수심이 19.5m에 대하여 개항 후 50년간에 발생할 침하량이 18m로 예측되었다. 즉 수심과 동일한 정도의 침하량이 발생하는 것으로 된다. 공사는 순조롭게 수행되었으며 2000년 5월에는 우각부에 케이슨이 거치되었고 작지만 제2기 공항섬의 일각이 수면으로부터 얼굴을 나타내는 상태이다. 2기 공사의 개요를 이해하기 위하여 간사이국제공항 2기 건학관이 설립되었으며 일반에게 개방되고 있다. 간사이공항을 이용하는 기회가 있으면 들려주시고 지반공학적으로도 좋은 아이디어가 있으면 많이 조언해 주시기 바랍니다.

참고문헌

1. Arai, Y. (1991): "Construction of an Artificial Offshore Island for the Kansai International Airport," Proceedings of the International conference on Geotechnical engineering for Coastal Development, Vol. 2, pp.927-943.
2. Kanda, K., Suzuki, S. and Yamagata, N. (1991): "Offshore Soil Investigation at the Kansai International Airport." Proceeding of the International conference on Geotechnical engineering for Coastal Development, Vol. 1, pp.3338.
3. 前田 進(1988): "大規模沖合人工島の建設におけるサンドドレーン改良地盤の沈下安定管理システムに関する研究," 九州大學學位請求論文