

## 연약지반을 대상으로 한 프로젝트 리스크와 현장계측의 과제와 대책 Project Risk Management & Observational Method for soft ground improvement

이마니시 하지메<sup>1)</sup>, Hajime IMANISHI

<sup>1)</sup> 기술고문 삼성물산(주) 건설부문 기술본부, Technical Director, Technical Advisory Team, Samsung E&C

**SYNOPSIS** : Considering the risk management, there are many examples and various studies for the corporation risk. However, I have never seen the project risk management that applied a construction site for practical approach. Therefore, I have developed a chart (I-Chart) for the project risk management, and also built a model (I-Chart scenario analysis) that I could use. I applied this model to container yard reclaimed land in harbor construction with approaching of geotechnical engineering.

**Keywords** : project risk management, ground improvement, scenario analysis, I-Chart, consolidation, monitoring method

### 1. 서 론

도시의 건설사업이 대형화되어감에 따라서, 비교적 견고한 암반지역에 구축되어 오던 구조물은 지금까지 이용되지 않았던 연약지반이 두껍게 퇴적되어 있는 지역으로 이동하고 있다. 이에 따라 필요한 지지력을 확보하기 위해서 연약지반을 지반 개량할 필요가 있다. 그러나 특히 점토를 대상으로 한 연약지반 개량의 경우, 지반개량과 함께 토질 특성이 시시각각 변화하기 때문에, 언제 어떠한 리스크가 발생할 것인지 또는 존재하는지를 사전에 파악해 놓지 않으면 안 된다. 만약 이것을 게을리 하면 리스크가 현실화되어 사고나 보상으로 이어질 가능성이 있고, 수 년 또는 수 십 년간 그것을 복구하는 데에 어려움을 겪을 것이다.

일반적으로는, “Corporation Risk Management” 에 대해서는, 여러 가지 연구가 수행되어졌으며, 구체적인 사례도 많지만 건설현장과 같은 프로젝트 리스크관리에 대해서는 거의 실용화되지 않았으며 어떻게 조치를 취하면 좋을 지를 보여 주는 것이 없는 상황이다.

본 논문에서는, 프로젝트 리스크 관리에 대한 개념을 정리하고 실제로 이용할 수 있는 모델(I-Chart 시나리오 분석)을 구축했다. 이 모델을 항만건설에서의 컨테이너 야드 매립지반에 적용하여, 지반 공학적 접근으로 고찰을 실시하였다.

## 2. 프로젝트 리스크 평가 방법

리스크 관리라고 하면 자주 접하게 되는 Flow chart가 있다. 리스크 관리의 개념을 설명한 그림-1은 그 하나의 예이다. 그러나 이 Flow chart를 건설현장과 같은 프로젝트에 적용한 예는 거의 없다. 저자는 새롭게 I-Chart를 고안하여 시나리오 분석을 도입해서 프로젝트 리스크를 평가하는 방법을 제시했다.

건설 프로젝트 리스크의 평가방법은 다음과 같은 순서로 실시한다. (그림-2)

- (1) 현지 조사를 실시하여 관계서류를 열람하고, 리스크 맵을 작성하여 리스크를 추출한다.
- (2) 추출된 모든 리스크에 대해서 리스크 스코어를 피해 규모 지수와 발생 지수에 대해서 점수를 매기고 I-Chart상에 표기한다.
- (3) I-Chart를 이용하여 중요 리스크에 대해서 특정 한다.
- (4) 중요 리스크의 각각에 대해서, 그 발생요인을 素因과 誘因으로 분류한다.
- (5) 素因·誘因 분석을 참고로 시나리오를 작성하여 중요 리스크의 원인 분석을 실시한다.
- (6) 중요리스크 대응으로서, 素因에 대해서는 기본설계를 변경한다. 또한 素因에의 대응 관련해서는 시공 시의 계측 시공 관리를 이용하여 감시한다.

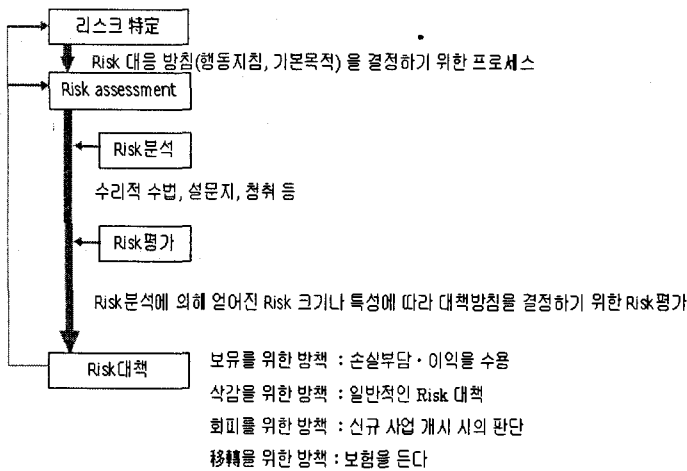


그림-1 Risk 관리의 개념

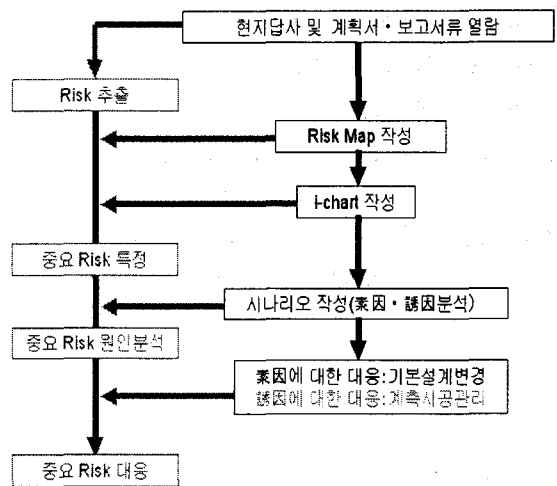


그림-2 프로젝트 Risk 관리 순서

### 2.1 리스크 맵과 I-Chart

리스크 맵은 평면도 및 지질단면도 상에서 리스크가 발생하는 위치에 번호를 적어서 리스크 항목을 표시한 것이다. 일례를 그림-3과 4에 제시한다.

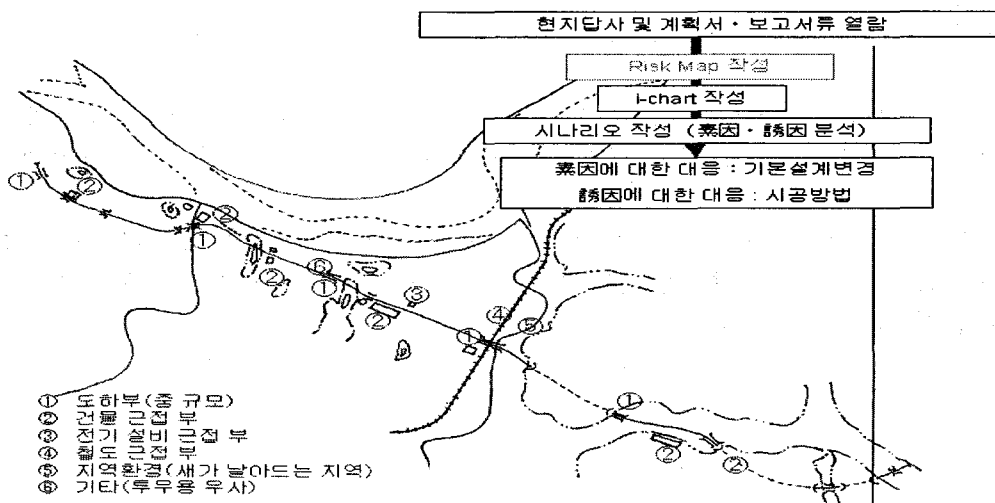


그림-3 Risk Map의 일례 (평면도)

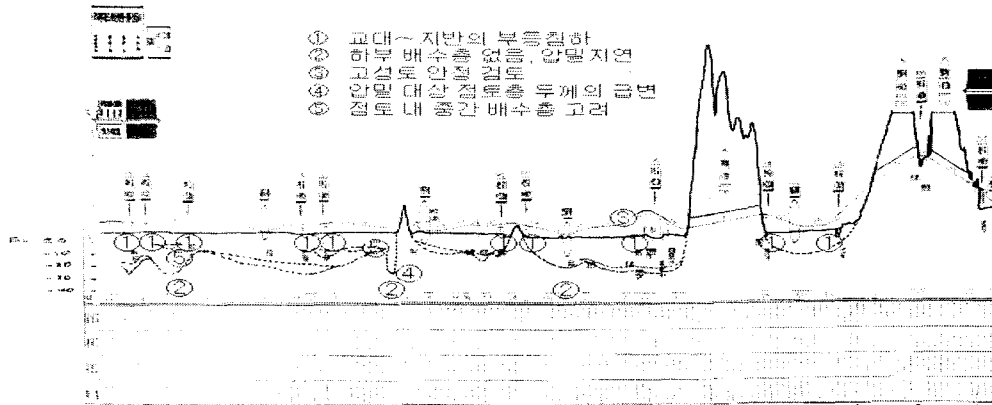


그림-4 Risk Map의 일례 (단면도)

표-1 Risk Score

번호	Risk항목	피해규모	발생확률	기타·비고
①	도하부(중 규모)	4	3	부계 촉단면
②	건물 근접 부	5	3	부계 촉단면
③	전기 설비 근접 부	3	7	부계 촉단면
④	철도 근접 부	7	6	주계 촉단면
⑤	지역환경(새가 날아드는 지역)	6	6	주계 촉단면
⑥	기타(투우용 우사)	5	5	부계 촉단면
①	교대~지반의 부등침하	5	6	주계 촉단면
②	하부 배수층 없음, 압밀지연	4	6	부계 촉단면
③	고성토 안정 검토	4	5	부계 촉단면
④	압밀 대상 점토층 두께의 급변	5	6	주계 촉단면
⑤	점토 내 중간 배수층 고려	4	4	부계 촉단면

리스크를 다 추출했다면, 각 리스크 항목에 대해서 리스크 발생 빈도와 리스크 발생에 따른 피해 규모를 지수로 표시하여 리스크 스코어 표를 작성한다 (표-1). 리스크 스코어 표가 작성되면 리스크 스코어를 근거로 그림-5에 나타난 I-Chart상에 리스크 항목 번호를 기입하여 리스크 수준을 결정한다. 통상 중요한 리스크 특징은 리스크 수준-IV 및 V이다. 리스크 스코어는, 리스크가 가지는 손실의 크기나 일어날 수 있는 빈도 등을 고려하여 경험이 있는 기술자가 주관적으로 판단하는 것이다. 따라서 기술자에 의한 차이가 발생하지만 다수의 기술자에 의해서 판단을 하게 되면 최종적으로는 기술자간의 의견교환에 의해 최종적인 스코어를 결정할 수 있다.

## 2.2 素因·誘因 분석

I-Chart에 의해서 특정된 중대한 리스크에 대해서 리스크 대응을 결정하기 위해서, 素因·誘因 분석(시

이론적·경험적으로 Risk가 발생, 대상이 되는 Risk가 이미 발생하고 있다.

동일한 사고사태가 많이 존재, 관련된 Risk발생이 진행되고 있다.

사고사태는 적지만 이론적으로 발생가능, 관련사항이 진행되고 있다.

이론적으로 안전하지만 사고사태가 있는, 관련된 사항의 전조증세 수 있다.

이론적·경험적으로 안전하다.

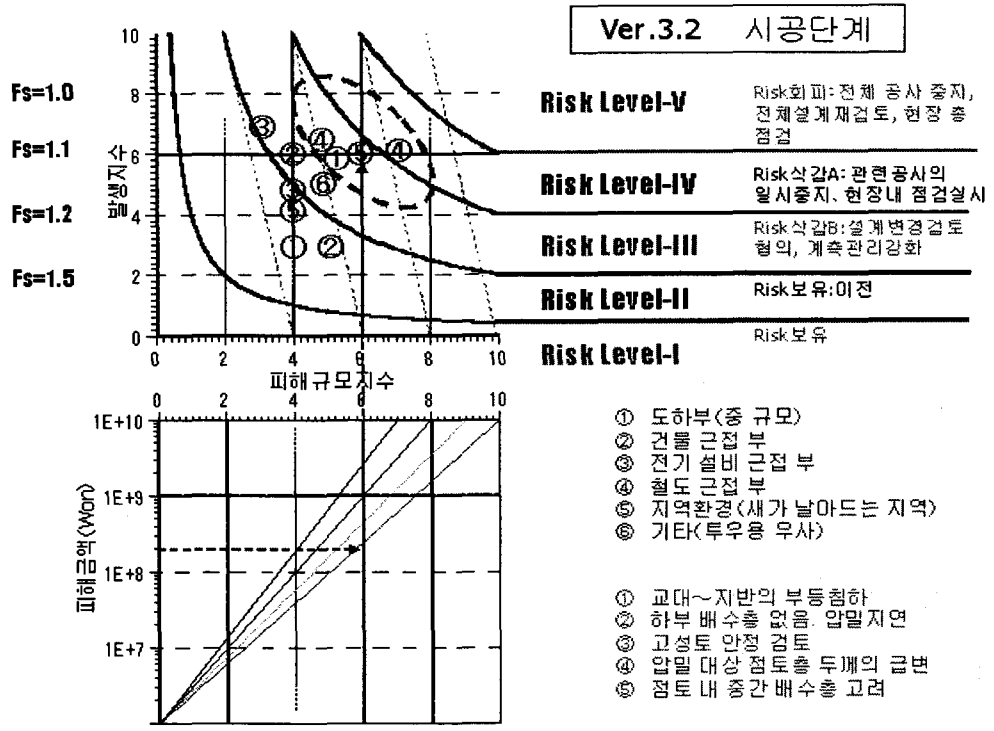


그림-5 I-Chart에 의한 Project Risk 평가도

나리오분석)이 매우 중요시 된다. 素因과 誘因은 다음과 같이 정의했다. 素因이란 리스크가 발생할 경우 원래 있었던 잠재적인 위험 원이며, 誘因이란 리스크가 발생할 경우 그 발생의 발단이 된 요인이다. 즉, 원래 있었던 리스크 요인을 내포한 채 시공을 실시한 결과, 시공에 따른 현상이 발단이 되어 리스크가 현실화된다고 생각한다.

2.3 리스크 대응 방침 결정

素因 誘因이 명확하게 된 것은 리스크가 현실화되기 위한 素因이 주로 설계 시의 문제점이며, 誘因이 주로 시공 시의 문제점이기 때문이다. 따라서 素因·誘因 분석을 통하여 시나리오를 작성한 후, 중요한 리스크 素因에 대해서는 기본 설계 변경을 수반하고, 誘因에 대해서는 계측 시공 관리에 의해 대응할 필요가 있다. 따라서 리스크 요인도 素因·誘因 시나리오 분석 결과를 이용하여 대응 방침을 바꿀 필요가 있다.

3. 리스크에 대응하기 위한 연약지반의 모델화와 지반 거동의 이미지

여기서 또 하나 중요한 것은 지반에 관련된 리스크를 최소한으로 하기 위해서는, 지반 거동을 이미지 하는 것이 매우 중요하다. 흙막이 굴착이나 터널굴착에 따른 전단파괴는 파괴에 이르기까지 5분-10분 사이에 발생한다. 또 연약지반 관련 문제로서 성토에 의한 슬라이딩 파괴(중국한계상태)는 몇 시간에서 수 일 이내에 발생하는 것이 많고, 압밀침하의 경우는 파괴는 일어나지 않지만 또 하나의 한계상태인 사용 한계 상태를 고려하지 않으면 안 된다. 일반적으로 사용 한계 상태에 이르는 시간은 수개월-수년이라고 할 수 있다. 또한 압밀침하가 발생했을 경우의 리스크는 광범위하게 지속적으로 발생하므로, 말뚝 기초로 지지된 구조물이나 매설물 등의 사이에 부동침하가 발생하여, 충분한 대책을 세우는 것도 어렵고 장기간에 걸쳐 피해가 발생할 가능성이 있다 (사진-1, 사진-2). 따라서 연약지반의 경우에는 지반 구조를 정확하게 파악하지 않으면 어느 장소에 어느 정도의 리스크가 있는지를 명확하게 할 수가 없다. 보어링 조사는 이것을 명확하게 하는 중요한 수단이지만 공사비용·공사 기간의 면에서 조사 수량에 한계가 있다.

이에 반해 현장 계측 공법은 현장의 지반침하를 중심으로 많은 계측을 함으로서, 지반 구조도 추정할

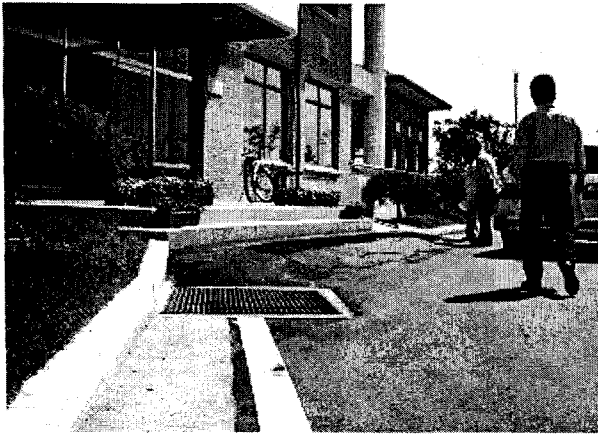


사진-1 장기간에 걸친 압밀에 의한 지반침하피해

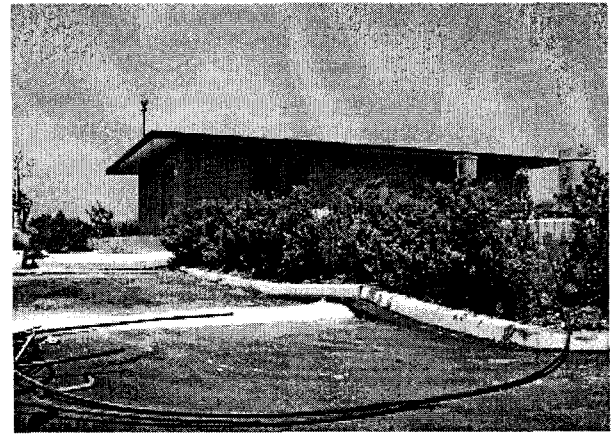


사진-2 장기간에 걸친 압밀에 의한 매설관이 빠지는 피해

수 있으므로 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 특징을 가진다. 따라서 시공 관리로서 적용하는 현장 계측 공법에서는 보어링 조사에 의해 얻어진 지반 구조 개요로부터 지반 구조를 모델화하여 지반 개량을 실시했을 경우의 지반 거동을 이미지한 후, 거기에 맞춘 계측 위치, 계측 수량과 계측기기를 선정하여 계측계획을 세우지 않으면 안 된다. 리스크 관리에서 보면 계측 시공 관리 방법은 리스크의 誘因에 대한 대응 방침이라고 할 수 있다.

#### 4. 연약 지반 개량에 있어서의 리스크 관리

매립지 연약지반에 대해서 적용된 드레인 공법과 여성토 공법에 대한 리스크 관리에 대해서 고찰한다. 앞서서도 언급 한 것처럼 매립지반 조성시의 리스크는 고성토 경사면 안정 문제와 점토 지반의 압밀침하 문제가 있다. 전자의 고성토를 하는 경우에는 그 범면근처에서 슬라이딩 파괴가 생기지만, 이것은 파괴가 눈에 보이는 형태로 진행된다. 그러므로 지표면의 크랙이나 변위를 측정하면, 그 규모나 메카니즘은 의외로 이해하기 쉽고, 리스크에 대응도 충분히 가능하다. 후자의 압밀침하 현상은 연약지반 중에서도 점토 지반 특유의 현상이다. 압밀침하의 경우는 진행 속도가 늦고 장소에 따른 편차도 크다. 또 성토 시공에 따른 지표면의 형상도 시간에 따라 변화된다. 더욱이 지하의 지반구조도 육지 쪽에서는 변화무쌍한 경우가 많고, 점토와 모래의 호층 등이 있는 경우에는 배수층까지의 거리나 점토층 두께에 의해 침하속도, 침하량도 크게 다르기 때문에, 사전에 예상하기 어려운 면을 가진다. 게다가 시공방법·순서가 한결같지 않아서 리스크를 현실화시키는 誘因이 된다 따라서 현장 계측 공법의 역할은 지표면 침하나 지중 침하를 계측함으로써 압밀침하 정도를 확인하고, 프로젝트 리스크를 최소로 하는 수단이라고 보여 진다.

#### 5. 부산 신항만에서의 계측과 관리 목표에 대한 한 가지 고찰

부산 신항만에서는 드레인재를 타설하여 여성토 공법에 의해 지반 개량을 실시하고 있다. 이 경우 관리 목표는 시방서에 의해 다음과 같이 정해져 있다.

- (1) 허용 잔류 침하량 10cm, 부등 침하량 : 1/200(상재 하중 6.0 tf/cm<sup>2</sup>시)
- (2) 재하 기간 중, 정해진 여성토에 대하여, 1차압밀의 압밀도가 90%를 얻어야 한다.
- (3) 강도 증가는 PBD가 타설 된 연약 지반의 전 심도로 이루어져야 한다.
- (4) 설계도서에 표기된 압밀침하량은 평균 압밀 침하량이므로, 실제 침하량은 계측 결과를 분석하여 재평가되어야 한다.
- (5) 성토 제거는 1차압밀도가 90%이상에 도달했을 때에 이루어져야 하며, 또, 압밀도가 90% 도달 전에 성토를 제거하는 경우에는, 발주자 또는 공사 감독자에게 보고하여 승인을 얻어야 한다.
- (6) 설계도서에 표기된 성토 제거량은 평균 성토 제거량이므로 실제 제거량은 계측 결과를 분석하여 재평가되어야 한다.

실제 현장 시공 관리에서는 상기의 지방서에서, 잔류 침하량, 부등 침하량 및 여성토에 대한 압밀도 등을 관리 목표로 하고 있다. 향후, 성능 (규정형) 설계법으로 이행할 것을 생각하면, 요구되는 성능을 분명히 할 필요가 있다. 예를 들면, 향후 사용 목적이 컨테이너 야드라고 한다면, 관리 목표는 잔류 침하량과 지표면 부등 침하량으로 나타내고, 공용 후의 지반 지지력 및 굴착시의 안정을 고려하여 점토 지반을 개량하는 경우의 최종의 강도를 설정하는 것이 관리 목표가 된다. 또한 실제로는 각 재하 시의 성토의 슬라이딩 파괴를 방지하기 위해서, 그 때의 점토 지반의 강도를 압밀도를 이용해서 관리한다. 현재 상태에서는 반드시, 이러한 관리 목표가 분명치 않은 경우가 많다. 실제 현장에서는 압밀도는 침하 관리에서만 이용하고 있으며, 안정성을 확보하기 위한 수단으로서 이용되고 있지 않는 것이 현실이다.

고려해야 할 항목을 제시하면 다음과 같다.

- (1) 야드의 구조상 필요한 조성 높이 또는 포장 면 높이 결정
- (2) 포장 구성, 지하 매설물, 식재를 고려한 조성 후의 표토 두께 결정
- (3) 여성토 제거 시 상재 하중에 대한 잔류 압밀 침하량(1차 압밀) 결정. 또, 공용 후 상재 하중(컨테이너 하중, 포장 하중, 표토 등)에 대해서 과 압밀이 되도록 한다.
- (4) 효과적인 성토를 하기 위해서, 각 단계의 여성토 시에 이전의 여성토 시의 압밀도가 기준을 넘도록 시공한다.
- (5) 공사 완료 후의 각 시설 건설 시에, 굴착이나 성토 공사가 안전하게 시공되도록, 점토 지반의 비배수 전단 강도를 기준치 이상으로 하기 위한 압밀도를 설정한다.

이상과 같은 관리 목표를 설정함으로써, 압밀도, 잔류 침하량, 부등 침하량에 의해 관리할 수 있지만, 점토 지반의 전단 강도에 대해서는 확인 보어링에 의해 실제의 강도를 확인할 필요도 있다.

## 6. 장래에 대한 전망

2006년은 한국에 있어서도 본격적인 지상 탐사 위성을 발사한 기념할 만한 해이다. 군사적인 면뿐만 아니라 국토 보전 방재라는 관점에서, 이러한 위성의 이용가치는 향후 비약적으로 높아질 것이다. 위성이 발사됨으로서, 한국에서도 하드(hard) 면에서 상업적으로도 위성 데이터를 얻을 수 있는 가능성이 넓어졌다고 말할 수 있다. 건설에서도 위성 데이터의 이용은 기술 혁신의 가능성이 있다.

부산 신항만을 예로 들면 세계 최대 규모의 해상 매립 사업이며, 광역적인 시공 관리로서 지반침하 계측 방법에 대한 새로운 수법이 필요 시 되고 있다. 현 상태의 관리 방법에서는, 계측기 설치에 의한 계측 시공 관리와 GPS를 주로 하는 지상에서의 측량을 중심으로 한 시공 관리가 주류이다. 광범위한 매립지의 경우, 계측점이 부족하고, 기술자가 부족하기 때문에, 충분한 계측이 이루어지고 있다고 말하기 어렵다. 그래서 간접 합성 개구 레이더(InSAR)를 이용함에 따라서, 이 양쪽 모두의 과제를 해소하려고 하는 시도가 서서히 현실화되기 시작하고 있다.

InSAR에 의한 데이터는 과거 10년에 걸친 데이터가 축적되어 있으므로 취득이 가능하며, 10년 전부터의 지반침하의 경과시간 변화를 파악할 수 있다. 가까운 미래에, 국내, 해외의 상업위성 데이터를 이용한 이러한 대응이 이루어질 것을 바라고 있다.