

탄성파 토모그래피 기법을 이용한 제방의 사석침하 평가

The Determination of settlement boundary for the rock filled embankment using seismic geotomography

원경식(Kyoung Sik Won)

지오텍 컨설턴트(주)

박중화(Chung Hwa Park)

대전대학교 지구시스템공학과

정 백(Baek Jeong)

성모엔지니어링(주)

박상욱(Sang Uk Park)

지오텍 컨설턴트(주)

요약/Abstract

본 조사는 “○○항 건설공사 동방파제 지반조사”에서 기시공된 동방파제 구간 중 No.38+0단면과 No.40+0단면에 대해서 사석침하의 확인과 안정성을 검토할 목적으로 공대공 탄성파 토모그래피 탐사를 실시하였으며, 그리고 토모그래피 탐사에 의한 속도분포를 가지고 지반의 성층상태를 정량적으로 표현하였다. 탄성파 토모그래피 탐사결과와 시추 결과를 종합분석하여 보면, 탄성파 속도 2100m/sec를 기준으로 투하된 사석층과 원지반 퇴적층이 명확히 구분된다. 설계시 설정한 침하예상선과 현재의 사석침하 상태는 다소 차이가 보이는 것으로 나타나며, 탄성파 토모그래피는 이러한 현재의 침하상태를 정량적으로 잘 표현해 주고 있다.

Seismic geotomography method was performed to verify rock-filled settlement and its stability in No.38+0 profile and No.40+0 profile. The velocity distributions of geotomography method expressed the quantitative value of the ground conditions. The rock-filled layer and in-situ sediments layer are clearly divided on the basis of seismic velocity 2100 m/sec which is derived from the results of seismic geotomography and boring. Current rock-filled settlement conditions are somewhat different from designed settlement estimation line. Seismic geotomography represents current settlement conditions as a quantitative analysis.

서 론

최근 부지 특성화(site characterization)를 위한 한 부분으로 토목, 환경분야 등에서 시추에만

의존하는 단편적인 조사의 틀에서 벗어나, 보다 지하를 정확하고 체계적으로 평가하기 위해 물리탐사를 적용하는 사례가 크게 늘어나고 있다. 그러나 천부를 대상으로 높은 해상도를 요구하

는 공학분야에 있어 지표 물리탐사만으로 지하의 지질 및 구조에 대한 정량적인 정보를 얻기에는 아직까지 오차의 범위가 상대적으로 크다. 이러한 한계를 극복하기 위한 탐사법이 시추공 물리탐사(Borehole Geophysics)방법의 하나인 지오토모그래피 탐사이다(김학수, 2001). 공대공 탄성과 토모그래피 탐사는 두 개의 시추공중 하나의 시추공에 탄성과 발생장치, 다른 하나에 수신장치를 설치하여 현장조사를 하게 된다. 이러한 현장자료를 이용하여 두 시추공간에 대한 탄성과 속도특성으로부터 지반상태를 해석한다. 현장 조사지역은 전라남도 완도군 약산면 득암리 일대로 현재 항구 건설이 시행중에 있으며, 항구 내 동방파제 축조를 위해 연약지반에 사석으로 성토를 하였던 지역이다. 이 방파제 구간에 대한 사석의 침하거동 상태와 안정성을 확인하기 위해 탄성과 토모그래피 탐사를 실시하였다. 기시공된 동방파제 구간은 두 개의 단면(No. 38+0, No. 40+0)으로 나누어 탐사를 하였으며, 각각의 단면에서 시추공 사이의 지층을 탄성과 속도 분포를 가지고 지반의 구성상태를 영상화

시켜 사석의 침하상태 및 지반의 성층상태를 분석하는데 그 목적이 있다.

본 론

조사개요

조사구간 내에 사석의 침하량을 확인하기 위해 No.38+0단면과 No.40+0단면에 먼저 연직과 경사 방향으로 각각 4개소에 사석 굴착장비인 KR803D 시추기를 이용하여 시추를 하였고(금광기업, 2001), 시추한 다음 공벽의 붕괴를 방지하고 공경을 유지하기 위해 65mm 아크릴 관을 설치하여 탐사준비를 하였다. Figure 1과 Figure 2는 조사구간내 탐사위치를 나타내었다. 또한 각 단면에서 수신공과 발진공을 결정하여 Table 1에 나타내었고, 각 단면에서 3회의 공대공 탄성과 토모그래피 탐사를 실시하였다.

Table 1. Description of the boreholes

Section		Borehole	Ground level(m)	Depth(m)	Distance(m)	Remark	
R	The east break-water	①	Inner harbor	-25.1	32.0	28.0	Rx
			Outer harbor	-25.2	32.0		Tx
		②	Outer harbor	-25.2	32.0	16.0~33.3	Tx
			Outer harbor (slope)	-13.5	24.0		Rx
		③	Inner harbor	-25.1	32.0	11.0~29.7	Tx
			Inner harbor (slope)	-13.9	26.0		Rx
	No.40+0	④	Inner harbor	-25.1	32.0	13.5~36.9	Tx
			Inner harbor (slope)	-7.4	26.0		Rx
		⑤	Inner harbor	-25.1	32.0	35.5	Tx
			Outer harbor	-23.8	30.5		Rx
		⑥	Outer harbor (slope)	-12.9	26.0	14.5~35.0	Tx
			Outer harbor	-23.8	30.5		Rx

x : receiver hole, Tx : source hole

탄성과 토모그래피 기법을 이용한 제방의 사석침하 평가

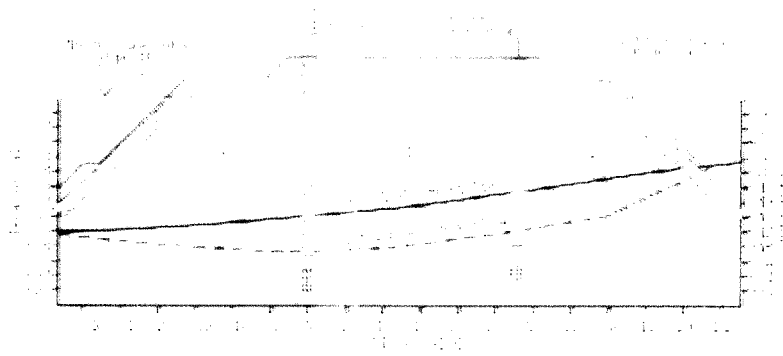


Figure 1. Survey location of No.38+0 section

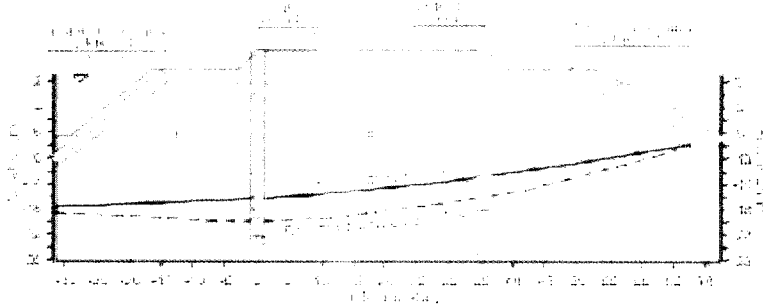


Figure 2. Survey location of No.40+0 section

현장시험

탄성과 발생원 위치에서 생성된 탄성파가 지하 사방으로 전달될 때 또 다른 시추공에 설치된 각 수신기에 도달된 탄성파는 탄성파 기록(seismic trace)으로 얻게된다.

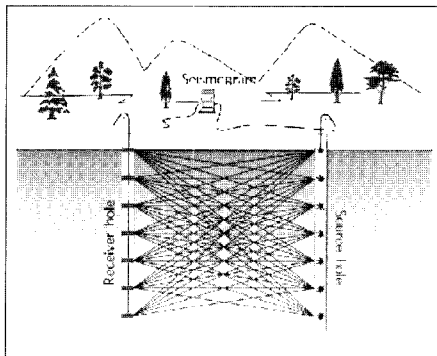


Figure 3. Schematics of seismic geotomography

Figure 3은 탄성과 토모그래피에서 시추공을 이용한 추정과정을 모식적으로 보여주고 있다.

본 탐사에 사용된 장비로서 탄성파 발생원은 “P-wave sparker” 장비로 독일의 Geotomographie Inc사에서 제작한 장비를 사용하였다. 이 장비는 230 Vac / 60HZ 또는 115 Vac / 60HZ의 전원을 공급받아 임펄스 발생기(impulse generator)에서 5000V의 고전압를 발생시켜 스파커 탐침(Probe)을 통해 1초-10초 사이에(임의조정 가능, 일반적으로 5-7초) 계속해서 탄성파를 발생시킨다. 이때 시추공내 수중에서 방사된 음향(acoustic) 에너지 이산 펄스(Discrete pulse)로부터 탄성파 P파와 S파가 발생된다. 그러나 수신공에 설치된 24채널 하이드 로폰은 압력변화에 민감(현병구 외, 1995)하게 반응하도록 설계되어 있으므로 P파가 우세하게 감지된다.

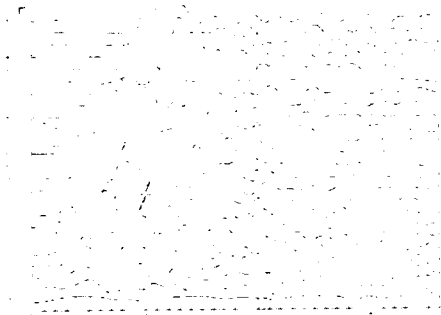


Figure 4. The field data acquired at ① of No.38+0 section

하이드로폰에 수신된 신호는 인터페이스 변환기를 거쳐 "Terroloc MARC-6" 기록기에 저장된다. 측정간격은 탐사 대상 또는 목적에 따라 달라지며 본 탐사에서는 탄성과 발생점(진원점)은 1m, 수신점 역시 1m 간격으로 수행하였다. Figure 4는 현장에서 얻은 탄성과 토모그래피 자료로써, No. 38+0단면의 첫 번째 탐사자료이다. 공간거리는 28m이고, 샘플링 주파수(sampling rate)는 0.025ms이다. 자료처리 및 해석에는 "Tomtime & GeoTomCG" 프로그램(GeoTom, USA)을 사용하였다.

탐사결과

탄성과 기록에는 탄성과 발생원으로부터 발생된 P파와 S파 등이 지하 매질을 따라 직접파, 반사파, 굴절파, 회절파, 잠음 등이 수신되며, 이

때 얻어지는 물리량은 매질을 통과한 파동의 전파주시, 진폭, 전체파형(full waveform) 등이다. 여기에서 일반적으로 탄성과 토모그래피탐사에서는 직접파인 P파의 초동 도달시간으로부터 지하구조를 해석한다. 즉 각 수신기에 도달된 P파의 초동을 취합(gather), 역산(inversion)함으로써 그 단면에 지층의 물성을 지시하는 탄성과 속도분포를 재현하여 토모그램(tomogram)을 작성하게 된다(Michael J. Jackson and Daryl R. Tweeton., 1996).

이상의 탐사와 해석방법에 의해 다음과 같은 속도분포 토모그램을 얻었다.

Figure 5의 No.38+0의 단면은 공대공 탄성과 토모그래피 세 단면(①+②+③)을 합쳐서 영상화시킨 단면이다. 즉, 4개의 시추공을 이용하여 3 단면에 대한 자료를 얻은 후, 자료를 모두 통합하여 동시에 역산을 수행하였다. 탐사자료 해석결과와 시추결과를 비교해 볼 때 사석으로 쌓은 매립층의 탄성과 속도는 1800~2100m/sec 정도의 속도대를 이루고 있으며, 사석층 하부 퇴적층 이하는 2100m/sec이상의 속도값을 보이고 있다. 시추조사 결과와 비교 분석한 결과, 매립층과 퇴적층의 구분은 2100m/sec를 기준으로 잘 일치하고 있다. 결과 단면에서 외항 수직공과 내항 수직공 사이의 가운데 부분이 불룩한 형태의 고속도대를 보이고 있는데, 이는 매립층의 하중에 의해 일부 밀도가 낮은 원지반이 솟아 오른 현상으로 파악된다.

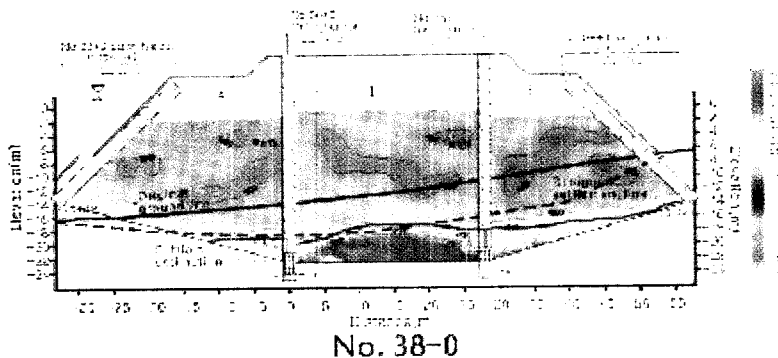


Figure 5. Result of seismic geotomography at No.38+0 section

탄성과 토모그래피 기법을 이용한 제방의 사석침하 평가

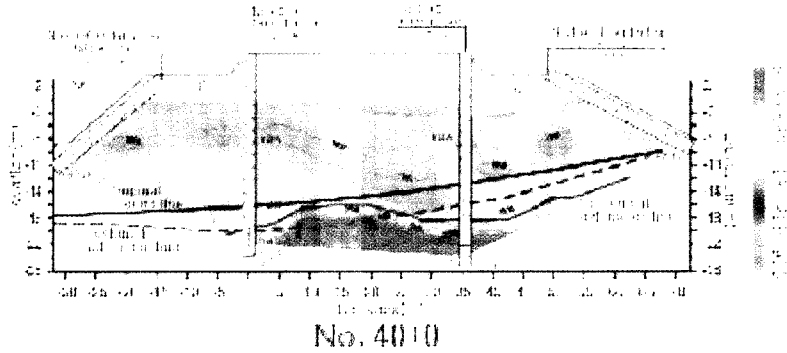


Figure 6. Result of seismic geotomography at 0.40+0 section

Figure 6의 No.40+0의 단면 또한 공대공 탄성과 토모그래피 세 단면(④+⑤+⑥)을 합쳐서 영상화시킨 단면으로, 각각에서 얻은 자료를 통합하여 동시에 역산을 수행하였다. 결과 단면에서, 사석으로 쌓은 매립층의 탄성과 속도는 1800~2100m/sec 정도의 속도대를 이루고 있으며, 사석층 하부 퇴적층 이하는 2100m/sec 이상의 속도 값을 보이고 있다. 그리고 No. 40+0 외항경사공에서 원하는 심도까지 시추가 이루어지지 않아 하부의 지반을 탐사하지 못했다. 이상의 결과에서, 현재 침하가 이뤄지고 지반으로 예상되는 구간은 탄성과 속도 2100m/sec를 기준으로 하여 매립층과 원지반을 구분하였다. 본 단면에서도 일부분이 매립층의 하중에 의해 솟아오른 형태를 보여 주고 있다.

결론

전라남도 완도군 약산면 득암리에 위치한 ○○항 건설공사 중 기시공된 동방파제 구간의 No. 38+0단면과 No. 40+0단면에 대하여 사석침하의 확인과 안정성 검토, 그리고 조사지역에 분포하는 지반의 성층상태를 파악, 분석하기 위해 공대공 탄성과 토모그래피 탐사를 수행하였다. 발진원과 수신원은 각각 1m 간격으로 하여 측정하였으며, 각 단면에서 4개의 시추공을 이용하여

3 구간의 자료를 얻은 후, 자료를 모두 통합하여 역산을 수행하였다. 결과 단면을 보면, 사석으로 쌓은 매립층의 속도는 1800~2100m/sec 정도의 분포를 나타내었고, 퇴적층 밑으로의 탄성과 속도는 2100m/sec 이상의 값을 나타내었다. 따라서 2100m/sec의 값을 기준으로 하여 침하추정선을 나타내었고, 침하예상선과 비교하였을 때, No. 38+0단면은 우측의 내항이 더 많이 침하가 되었고, 전체적으로 침하예상선과 비슷한 결과를 나타내었다. No. 40+0 단면의 경우, 전체적으로 침하예상선과 비슷한 결과를 나타내고 있지만, 단면 가운데 부분이 불룩한 형태를 보이고 있는데, 이는 매립층의 하중에 의해 밀도가 낮은 원지반이 솟아 오른 현상으로 파악된다. 전체적인 분석결과, 설계시 설정한 침하예상선과 다소 차이를 보이고 있으며, 현재 원지반으로 예상되는 구간은 두 단면 모두 탄성과 속도 2100 m/sec 이상의 값을 갖는 것으로 판단된다. 이상으로 탄성과 토모그래피 탐사에 의한 속도분포를 영상화시킨 토모그래피는 지반의 구성상태를 정량적으로 평가할 수 있으며 연약층에서의 사석투입에 의한 제방 축조시 투입 사석량을 정량화 할 수 있는 매우 유용한 기법이다.

참고 문헌

- (1) 금광기업 보고서, 2001, ○○항 건설공사 동방파제 사석침하량 확인조사 보고서, 33p.

원경식, 박충화, 정 백, 박상욱

- (3) 현병구 외, 1995, 물리탐사 용어사전, 선일문화사. E-mail : supark@geoinfo.co.kr
- (4) Jackson, M. J., and D. R. Tweeton., 1994, MIGRATOM-Geophysical tomography using wavefront migration and fuzzy constraints, U. S. BUREAU OF MINES, Report of Investigations 9497, 35p.
- (5) Michael J. Jackson and Daryl R. Tweeton., 1996, Three-Dimensional geophysical tomography, U. S. BUREAU OF MINES, Report of Investigations 9617, 84p.

원경식(Kyoung Sik Won)
지오택 컨설파트(주)
435-050 경기도 군포시금정동 723-2 금정빌딩 7층
Tel : (031) 454-2532~4
Fax : (031) 454-2535
E-mail : geoinfo@geoinfo.co.kr

박충화(Chung Hwa Park)
대전대학교 지구시스템공학과
300-716 대전광역시 동구 용운동 96-3
Tel : 042-280-2571
E-mail : chpark@dragon.taejon.ac.kr

정 백(Baek Jeong)
성모엔지니어링(주)
137-876 서울시 서초구 서초3동 1592-10 한진오피스텔 702호
Tel : 02-523-4305
Fax : 02-587-0755
E-mail : baikj@sungmoeng.com

박상욱(Sang Uk Park)
지오택 컨설파트(주)
435-050 경기도 군포시 금정동 723-2 금정빌딩 7층
Tel : 031-454-2532~4
Fax : 031-454-2535