

서스펜션 P.S. 검층을 이용한 해저 지반의 동역학적 특성에 관한 연구 A Study on the Dynamic Characteristics of off-shore Ground Using Suspension P.S. Logging

김용수¹⁾, Yong-Soo Kim, 정승용²⁾, Seung-Yong Jung, 장찬수³⁾, Chan-Soo Jang, 김수삼⁴⁾, Soo-Sam Kim

¹⁾ 중앙대학교 대학원 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil & Environmental Eng., Chung-Ang Univ.

²⁾ 지구환경전문가 그룹 선임연구원, Senior Researcher, Expert Group for Earth & Environment

³⁾ 천일 지오킨설턴트 대표, President, Chun-Il Geo-consultants Co., LTD.

⁴⁾ 중앙대학교 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Chung-Ang Univ.

SYNOPSIS : In recently site investigations, the need for the determination of dynamic soil properties such as dynamic modulus of rigidity, elasticity, dynamic poisson's ratio and damping ratio etc. is increasing for the aseismatic designs of the civil structures. To obtain some of the dynamic properties, measurement of elastic waves velocity, both P and S wave, is required. Among various methods to measure elastic wave velocity such asn Down Hole, Cross Hole and Refraction etc., Suspension P.S. Logging has an advantage to use for the off-shore investigation where generation of the shock wave and traveling of the wave is difficult. In suspension P.S. logging, specially designed prove equipped with source of shock wave, two 3-channel receivers, departing 1m distance, and other auxiliary facilities is inserted down in a bore hole bottom and raised in predetermined interval, usually 1m or 2m, and measurement is conducted. P.S. logging have been conducted in a off-shore construction project near InChon in the west coast for the first in the country, and form the result, potential of the liquefaction of the subsoil was evalyated and compared with the conventional method.

Key Words : Suspension P.S. Logging, Aseismatic Design, Source, Receiver, Liquefaction, off-shore Ground

1. 서 론

원자력 발전소, 대규모 댐 그리고 가스터미널과 같이 붕괴가 발생할 경우 엄청난 인명 및 재산 피해를 줄 수 있는 구조물들을 제외하고는 1980년대 말까지도 국내에서의 내진 설계 개념을 토목구조물 설계시 사용하지 않았다. 그러나 최근 지반 조사에 있어서 내진 설계가 필요성이 대두됨에 따라 지반의 동적 물성치 즉, 강성을, 탄성을 등의 토질 정수 결정이 필요하며 이를 위해서 지반의 P파 및 S파 속도를 측정하여 이러한 자료를 얻을 수 있는 지반조사 방법이 개발되었다.

이러한 탄성파 속도를 측정할 수 있는 방법으로는 굴절법, 반사법, Down Hole법, Cross Hole법 등이 있으나 위와 같은 방법을 실시할 경우, 해저 지반에서 탄성파의 발생 및 전파가 거의 불가능하기 때문에 현재 국내에서 지반의 액상화를 평가할 경우에는 표준관입시험 결과, 입도분포 및 지표면 최대 가속도 등을 사용한 경험식이 주로 사용되고 있는 실정이지만 보다 엄밀한 분석을 위해서는 탄성파 속도, 특히 정밀한 S파 속도의 측정이 필요하게 되었다.

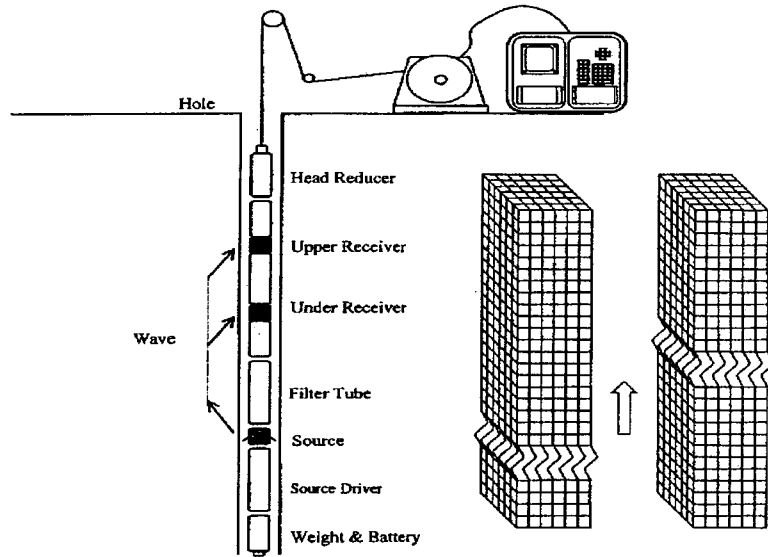
서스펜션 P.S. 검층(Suspension P.S. logging)은 보링 공내에서 주변지반의 종파(P-wave) 및 횡파(S-wave)의 속도 분포를 측정하는 것으로서 발진기와 수신기를 일련의 Probe에 연결하여 시추공 내의 각 심도별로 구간 전파시간을 측정하는 것에 의해 파의 속도를 측정하는 방법이며, 특히 종래의 지표 기진, 공내 수신 방식의 P.S. 검층으로는 해상에서의 탐사가 불가능한 것에 비해 서스펜션 P.S. 검층은 이를 개선한 방법으로 육상 및 해상에서의 탐사가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 해저 지반에서 서스펜션 P.S. 검층과 기타 현장 및 실내시험을 실시하고, 이러한 자료를 바탕으로 동적 하중에 의한 지반 거동 해석에 필요한 동적 물성치를 결정하였고, 기존의 액상화 방법(Ishihara, 1997) 및 서스펜션 P.S. 검층을 통한 액상화 판정법을 비교하고자 한다.

2. Suspension P.S. 검층의 원리

서스펜션 P.S. 검층법은 발진기(Source)와 수신기(Receiver)를 일련의 Probe에 연결하여 보링공 내의 각

심도별로 구간 전파시간을 측정하여 지반의 종파(P-wave)와 횡파(S-wave)의 속도분포를 측정하는 방법이다. 특히, 종래의 지표기진, 공내 수신방식의 P.S. 검층(Downhole Method)으로는 해상탐사가 불가능한데 비하여 서스펜션 P.S. 검층법은 이를 개선하여 육상은 물론 해상까지도 적용이 가능한 방법이다. 서스펜션 P.S. 검층법의 측정개요도는 <Fig. 1>과 같다.



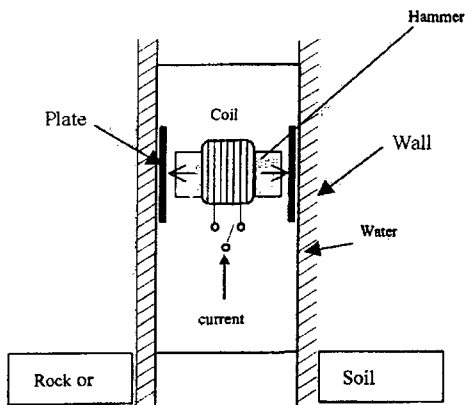
<Fig. 1> 서스펜션 P.S. 검층법의 개요도

2.1. 측정 방법

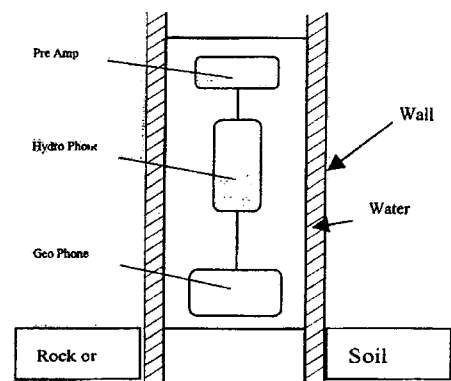
(1) 발진방법

발진방법은 <Fig. 2>에 나타낸 바와 같이 간접 발진형 진원을 이용하게 되며, 원리는 일반적인 스피커와 같은 원리로서 Sonde에 내장된 코일을 감은 원통형 철심에 전류를 흘려보내 전자 햄머가 공축과 직교 방향으로 진동하게 된다. 원통형의 철심에 전류를 흘려보내는 방향을 변화시킴으로써 발진의 방향을 변화시킬 수 있다.

공내는 물로 채워져 있어 철심이 공축에 직교하는 방향으로 움직이는 상태를 생각할 수 있는데, 이때 철심에 순간적으로 전류를 흐르게 하면 전자 햄머가 한쪽 방향으로 움직이면서 그 방향의 물에 압력을 가하고, 반대측의 물은 부(negative)의 압력을 받게 된다. 이러한 원리는 공내수의 유동을 고려하지 않은 경우이지만 공내수의 움직임이 있는 경우에도 철심의 움직임이 순간적이라면 전자 햄머 주변의 물은 가속도 운동이 되므로 정(Positive)과 부(negative)의 압력분포가 생긴다. 이러한 압력 분포가 주변의 지반에 전달되어 지반을 변형시킴으로써 P파와 S파를 발생시키게 된다.



<Fig. 2> 서스펜션 S.P. 검층기의 발진기



<Fig. 3> 서스펜션 S.P. 검층기의 수신기

(2) 수신방법

발진방법에서 설명한 바와 같이 진원에서 발생된 파가 지반을 통과하여 전파하게 되면 전파된 파는 진원의 상부에 있는 2개의 수신부에 도달하게 된다. 본 서스펜션 P.S. 검층법은 두개의 수신부에 도달하는 파의 시간 차이를 측정함으로써 파가 전파하는 구간의 P파 및 S파의 속도를 결정하게 된다.

서스펜션 P.S. 검층법은 기존의 Downhole 법과는 달리 수진기를 공벽에 밀착시키지 않는 비압착식으로 P파 및 S파를 수진할 수 있는 방법이다. 수진 장치 부분의 밀도가 물의 밀도와 거의 같은 경우, 수진기의 움직임은 지반의 움직임과 거의 같게 된다. 즉, 수진기 부분의 물의 움직임을 감지함으로써 서스펜션 P.S. 검층은 비압착식 방법으로 P파 및 S파를 수진할 수 있다. <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 수직으로 움직이는 파(P파)와 수평으로 움직이는 파(S파)를 수진하는 센서는 물의 비중과 거의 같은 비중통에 설치되어 있다. 이상에서 설명한 서스펜션 P.S. 검층 장비를 간략히 다음 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1> 서스펜션 P.S. Logging System

System	Equipment	Model	Specification	Maker
Measuring Unit	McSeis-170 Suspension Log	Model-3331	Input Impedence Gain L.C.Filter H.C.Filter A/D Sampling Range Stack Display F.D. Printer	600Ω 10,20,50,100,200,1k,2k 5, 100Hz 1k, 20kHz 12Bit (±5V, FS) 2.5,10,50,100,200 μ sec 1~9 times 5.5 inch CRT 3.5 inch Thermal 7 dot/mm
Probe Unit	Head Reducer	Model-3302R	Signal Output Battery Weight	OYO
	Receiver	Model-3385	Gain Frequency Response Element (H) Element (V) Weight	
	Filter Tube	Model-3387A	Size Weight	
	Source	Model-3382A	Source Type Weight	
	Source Driver	Model-3386	Type Max Charge Capacity Weight	
	Weight and Battery		Battery Weight	

2.2. 토질 정수의 결정

서스펜션 P.S. 검층법을 통하여 지반의 동적 물성치 즉, 포와송비(ν), 강성률(G_d), 탄성률(E_d)을 결정하기 위해서는 지반의 S파 속도를 구하는 것이 반드시 필요하다. 측정된 기록파형은 Disk에 Digital 수치로 저장하고, 이 Disk를 실내에서 컴퓨터를 이용하여 S파와 P파로 분리한다.

수진기는 발진기의 상부에 필터 케이블로 연결되어 있고, 두 개의 수진기 사이는 1m 간격으로 떨어져 있어 두 수진기 사이의 파의 도달 시간차를 구함으로써 두 수진기 사이의 구간의 지반의 속도를 계산한다. 즉, 두 수진기 사이의 거리가 1m이므로 두 수진기 사이의 도달시간 차이를 구하게 된다면 그 구간의 속도(V)는 아래와 같이 도달시간 차이(T)의 역수가 된다.

$$V = \frac{1}{T} \quad (1)$$

측정심도는 1m 간격인 상하 수진기의 중간심도로 하며, 산출된 속도치 V_p 및 V_s 는 측정심도의 상하 0.5m 구간의 평균치를 의미한다. P파의 속도(V_p) 및 S파 속도(V_s)를 측정하여 각 지층의 지반설계 및 내진설계의 필수적인 Poison 비, 강성률 및 탄성계수 등을 구할 수 있으며 산출식은 다음과 같다.

가. Poison 비

$$\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2[(V_p/V_s)^2 - 1]} \quad (2)$$

나. 강성률 (횡탄성계수)

$$G_d = \rho \times \frac{V_s^2}{g} \times 10^{-1} \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (3)$$

다. Young 계수 (종탄성계수)

$$E_d = 2 G_d(1 + \nu) \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (4)$$

여기서, V_p : P파 속도(m/s), V_s : S파 속도(m/s), ρ : 밀도 (g/cm^3) 이고 g : 중력가속도

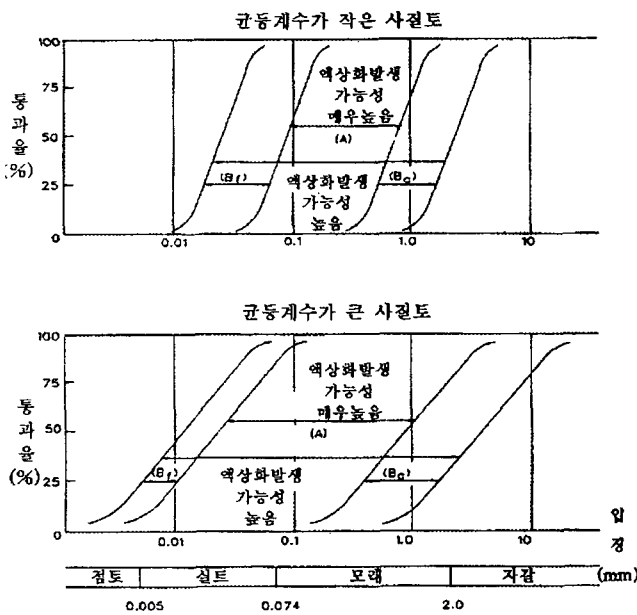
2.3. 액상화 판정방법

액상화 현상은 지반에 가해진 진동하중으로 간극수압은 상승하고 지반의 유효응력은 감소하여 그 결과, 포화사질토가 외력에 대해 전단저항을 잃게 되는 현상이다. 대상현장에서 액상화 전단저항응력비와 지진에 의해 발생하는 진동 전단응력비로서 정의되는 안전율을 사용하여 평가할 수 있다. 일반적으로 액상화 발생가능성이 있는 층에 가해지는 유효 상재하중으로 정규화하여 사용한다.

현재 이용되고 있는 지반의 액상화 판정방법에는 다음과 같은 4가지 방법이 있다.

- 지형지질과 액상화 이력을 근거로 한 개략적인 판정
- 일반적인 토질조사 및 실험결과를 근거로 한 간단한 판정
- 실내 액상화 시험과 지진응답 해석을 통한 상세한 판정
- 모형 진동 시험 및 원위치 액상화 시험을 통한 판정

이 중에서 가장 일반적인 판정방법은 두번째와 세번째로서 특히 두번째 방법은 간단한 액상화 판정로서는 정밀도가 상당히 높고 더욱이 필요한 조사도 표준관입시험 정도에 불과하여 일반적으로 많이 이용되고 있다.



<Fig. 4> 액상화 가능성이 있는 흙의 입도 분포

액상화 지역의 지반 거동은 해석적이거나 물리적으로 모형화하기 어려우므로 Ishihara가 제안한 간편법을 이용하면 비교적 용이하게 지반의 액상화 판정을 할 수 있다. Ishihara법은 입도 분포와 표준관입저항치를 이용하고 있으며, 우선 체분석 등을 통해 입도 분포 곡선을 작성하고 이를 <Fig. 4>에 적용하여 액상화 가능성을 판단한다. <Fig. 4>에서의 (A)영역과 (B)영역은 과거 액상화 발생자료를 근거로 작성된 것이며 액상화 발생 가능지역의 분류기준은 흙의 균등계수 (U_c) 3.5를 기준으로 한다. <Fig. 4>에서 (A), (B₁) 그리고 (B₂)를 제외한 나머지 영역의 입도 분포는 액상화 가능성이 없는 것으로 간주하며, (A)영역은 (B)영역에 비하여 액상화 가능성이 높을 나타낸다. 일반적으로 입도 분포와 N 치를 이용한 액상화 평가를 실시한 후, 결과가 분명하지 않을 경우 또는 중요한 구조물에 대해서는 물리탐사법, 반복삼축시험 및 진동대 시험 등의 추가조사를 통하여 검증하는 것이 바람직하다.

3. 시험 및 결과

3.1. 대상지역의 공학적 특성

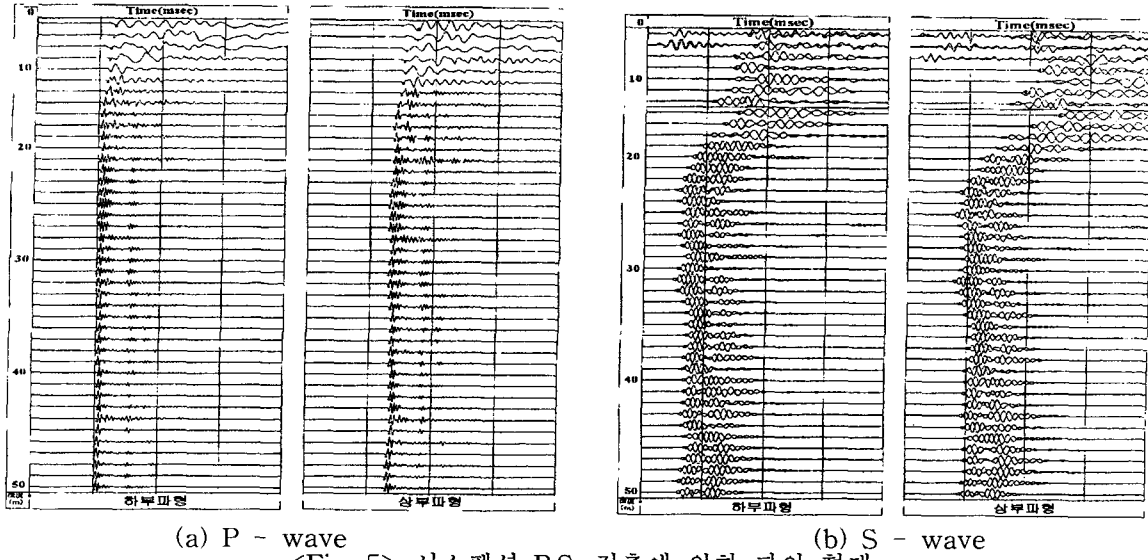
본 연구에 필요한 자료를 획득하기 위하여 서스펜션 P.S. 검층을 비롯하여 표준관입시험 및 기타 현장시험을 서해안 ○○도 일대에서 실시하였고, 기본 물성치를 조사하기 위한 시험도 각각 실시하였다. 조사대상지반은 공유수면 지역으로 주변지역의 지질은 지질도상 대부분 중생대 유라기의 대보화강암류로 판정되고 지반 상부로부터 실트질, 점토, 풍화토, 풍화암 그리고 연암이 심도별로 존재하고 있으며, 대상지반의 기본 물성치는 다음의 <Table 2>와 같다.

<Table 2> 대상지역의 공학적 특성

Boring No.	Depth (m)	w_n (%)	G_s	Atterburg Limit(%)		Sieve Analysis			USCS
				LL	PI	No. 4	No. 200	0.005mm	
BN-11	10.00	32.0	2.68	33.4	7.6	100	93	13	ML
	14.00	23.1	2.70	40.0	19.3	100	88	24	CL
BN-22	1	31.9	2.67	32.0	10.7	100	88	14	CL
	5.8 ~ 6.6	34.5	2.68	34.0	12.8	100	91	15	CL
	7.8 ~ 8.6	26.8	2.68	30.1	12.0	100	91	23	CL
	9.0	27.4	2.68	46.1	22.0	100	89	25	CL

3.2. 서스펜션 P.S. 검층결과

<Fig. 5>는 상부수진기와 하부수진기에서 기록되는 P파 및 S파의 형태를 나타낸 것이다. 검층이 진행되는 동안에는 발진기에서 발생된 파를 제외하고도 외부적 요인에 의한 기타 진동파가 수신기에서 검층되기 때문에 이러한 기타 진동파로부터 발진기에서 전파된 측정파의 도달시간을 정확히 판단하기 위해서 검층자의 명확한 판단이 요구된다.



(a) P - wave (b) S - wave
 <Fig. 5> 서스펜션 P.S. 검층에 의한 파의 형태

4. 결과분석 및 고찰

4.1. 해석 결과

BN-11과 BN-22에서 실시한 서스펜션 P.S. 검층에서 구간별 전파시간을 측정 후 식(1)을 이용하여 파의 속도를 결정하였고, 식(2), (3) 및 (4)를 사용하여 결과를 정리한 결과 Poisson's Ratio는 1.65~2.5, 횡탄성계수는 550~60,000 그리고 종탄성계수는 1,600~170,000로 각 지층별로 다양한 분포를 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 해석 결과를 <Table 3>과 <Table 4>에 나타내었다.

<Table 3> 서스펜션 P.S. 검층 결과 (BN-11)

Depth (m)	P wave					S wave					d (gf/cm ³)	Poisson's ratio	G _d (kgf/cm ²)	E _d (kgf/cm ²)
	lower (ms)	upper (ms)	difference (ms)	stack (ms)	V _p (m/s)	lower (ms)	upper (ms)	difference (ms)	stack (ms)	V _s (m/s)				
2.0	1.768	2.476	0.708	0.708	1412	10.23	15.682	5.452	5.452	183	1.7	0.491	581	1730
3.0	1.784	2.469	0.685	1.393	1460	9.92	15.235	5.315	10.767	188	1.7	0.492	613	1830
4.0	1.792	2.507	0.715	2.108	1399	9.877	14.847	4.97	15.737	201	1.7	0.489	701	2090
5.0	1.806	2.500	0.694	2.802	1441	9.809	14.640	4.831	20.568	207	1.7	0.489	743	2210
6.0	1.796	2.486	0.690	3.492	1449	9.766	14.560	4.794	25.362	209	1.7	0.489	758	2260
7.0	1.806	2.496	0.690	4.182	1449	9.766	14.565	4.799	30.161	208	1.7	0.489	750	2240
8.0	1.801	2.470	0.669	4.851	1495	9.737	14.290	4.553	34.714	220	1.7	0.489	840	2500
9.0	1.807	2.479	0.672	5.523	1488	9.824	14.318	4.494	39.208	223	1.7	0.489	863	2570
10.0	1.781	2.418	0.637	6.160	1570	8.905	13.453	4.548	43.756	220	1.7	0.490	840	2500
11.0	1.786	2.411	0.625	6.785	1600	8.555	12.977	4.422	48.178	226	1.7	0.490	886	2640
12.0	1.791	2.418	0.627	7.412	1595	8.455	13.092	4.637	52.815	216	1.7	0.491	809	2410
13.0	1.942	2.566	0.624	8.036	1603	8.226	12.313	4.087	56.902	245	1.7	0.488	1040	3100
14.0	1.995	2.575	0.580	8.616	1724	8.362	11.494	3.132	60.034	319	1.8	0.482	1870	5540
15.0	1.912	2.522	0.610	9.226	1639	7.54	10.905	3.365	63.399	297	1.8	0.483	1620	4810
16.0	1.719	2.367	0.648	9.874	1543	7.396	10.916	3.52	66.919	284	1.8	0.482	1480	4390
17.0	1.768	2.281	0.513	10.387	1949	6.77	9.913	3.143	70.062	318	1.8	0.486	1860	5520
18.0	1.494	2.106	0.612	10.999	1634	5.908	9.324	3.416	73.478	293	2.0	0.483	1750	5200
19.0	1.518	1.929	0.411	11.410	2433	5.177	7.865	2.688	76.166	372	2.0	0.488	2820	8410
20.0	1.366	1.759	0.393	11.803	2545	5.044	7.104	2.06	78.226	485	2.0	0.481	4800	14200
21.0	1.324	1.707	0.383	12.186	2611	4.185	6.087	1.902	80.128	526	2.0	0.479	5650	16700
22.0	1.422	1.770	0.348	12.534	2874	3.929	5.522	1.593	81.721	628	2.0	0.475	8050	23700
23.0	1.340	1.718	0.378	12.912	2646	2.427	4.339	1.912	83.633	523	2.3	0.480	6420	19000
24.0	1.404	1.721	0.317	13.229	3155	3.191	4.165	0.974	84.607	1027	2.3	0.441	24800	71300
25.0	1.397	1.725	0.328	13.557	3049	2.758	3.717	0.959	85.566	1043	2.3	0.434	25500	73200

<Table 4> 서스펜션 P.S. 검층 결과 (BN-22)

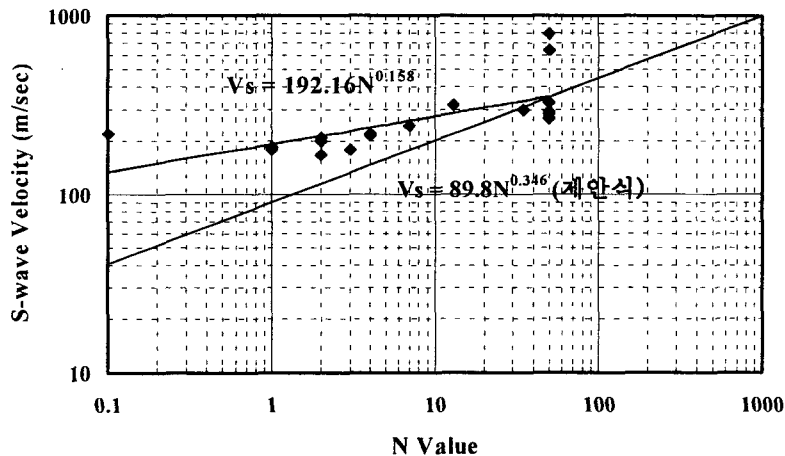
Depth (m)	Time of read point at Suspension PS_LOG -NB-22-													
	P wave					S wave					d (gf/cm ³)	Poisson's ratio	G _d (kgf/cm ²)	E _d (kgf/cm ²)
	lower (ms)	upper (ms)	difference (ms)	stack (ms)	V _P (m/s)	lower (ms)	upper (ms)	difference (ms)	stack (ms)	V _S (m/s)				
2.0	2.100	2.794	0.694	0.694	1441	9.700	15.327	5.627	5.627	178	1.65	0.492	533	1590
3.0	1.845	2.518	0.673	1.367	1486	9.508	15.550	6.042	11.669	166	1.65	0.494	464	1390
4.0	1.763	2.451	0.688	2.055	1453	9.514	14.935	5.421	17.090	184	1.65	0.492	570	1700
5.0	1.632	2.309	0.677	2.732	1477	8.782	14.410	5.628	22.718	178	1.65	0.493	533	1590
6.0	1.656	2.368	0.712	3.444	1404	8.899	13.493	4.594	27.312	218	1.70	0.488	824	2450
7.0	1.618	2.309	0.691	4.135	1447	8.882	13.527	4.645	31.957	215	1.70	0.489	802	2390
8.0	1.600	2.285	0.685	4.820	1460	8.318	12.443	4.125	36.082	242	1.70	0.486	1020	3020
9.0	1.557	2.133	0.576	5.396	1736	7.788	11.878	4.090	40.172	244	1.80	0.490	1090	3260
10.0	1.555	2.100	0.545	5.941	1835	7.927	11.631	3.704	43.876	270	1.80	0.489	1340	3990
11.0	1.580	2.121	0.541	6.482	1848	7.874	11.212	3.338	47.214	300	1.80	0.486	1650	4910
12.0	1.576	2.113	0.537	7.019	1862	8.082	11.682	3.600	50.814	278	1.80	0.489	1420	4230
13.0	1.576	2.131	0.555	7.574	1802	7.880	11.593	3.713	54.527	269	1.80	0.489	1330	3960
14.0	1.601	2.042	0.441	8.015	2268	8.039	11.112	3.073	57.600	325	2.00	0.490	2160	6420
15.0	1.605	2.046	0.441	8.456	2268	6.652	9.678	3.026	60.626	330	2.00	0.489	2220	6620
16.0	1.566	2.049	0.483	8.939	2070	4.876	7.599	2.723	63.349	367	2.00	0.484	2750	8160
17.0	1.495	1.907	0.412	9.351	2427	4.184	5.744	1.560	64.909	641	2.30	0.463	9640	28200
18.0	1.379	1.795	0.416	9.767	2404	3.263	4.755	1.492	66.401	670	2.30	0.458	10500	30700
19.0	1.255	1.645	0.390	10.157	2564	2.637	3.904	1.267	67.668	789	2.30	0.448	14600	42300
20.0	1.158	1.490	0.332	10.489	3012	2.343	3.160	0.817	68.485	1224	2.40	0.401	36700	103000
21.0	1.141	1.405	0.264	10.753	3788	2.198	2.917	0.719	69.204	1391	2.50	0.422	49400	140000
22.0	1.198	1.439	0.241	10.994	4149	2.555	3.135	0.580	69.784	1724	2.50	0.396	75800	212000

4.2. 표준관입저항치와 S파와의 관계

시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험의 자료를 살펴보면 지층의 상부로부터 지표아래 심도 16.0~20.0m 부근 까지는 N치 0~16회/30cm 정도의 매우 연약 또는 단단한 상태의 점성토가 분포하고 있었으며, 그 하부로는 퇴적층 및 풍화토로 이루어진 사질토층의 분포상태를 확인할 수 있었다. 본 연구에서 실시한 표준관입시험 결과와 S파 속도와의 관계를 <Fig. 6>에 도시하였다.

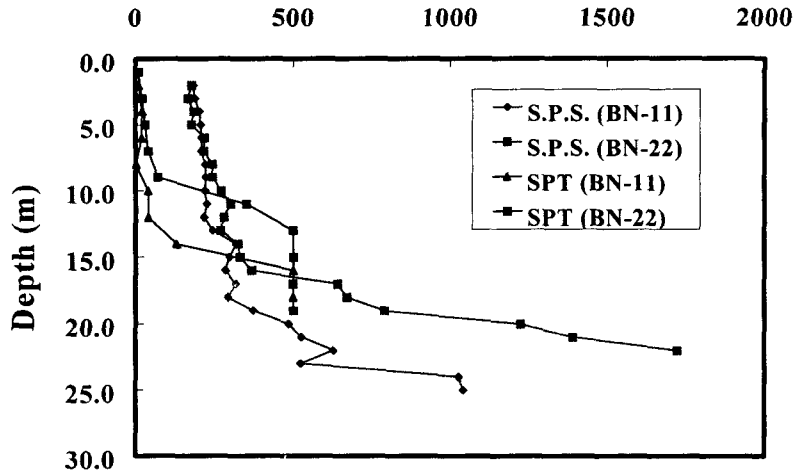
今井常雄(1972)은 점성토 지반에서 실시한 자료를 토대로 N와 V_s와는 V_s = 89.8 N^{0.346}의 관계가 있다고 제안하였고, 土岐憲三(1981)은 N치가 구속압에 비례하기 때문에 간극비와 심도를 고려하여 V_s와의 상관관계를 결정하여야 한다고 제안하였다. 그리고 Fujio Matsueda et al.(1994)의 연구에서는 사질토의 경우 今井의 제안식에 근접한 결과를 보이지만 점성토의 경우 지질시대가 오래되었기 때문에 今井의 제안식과 차이를 나타낸다고 발표하였다. 따라서 점성토 지반에 대한 N치와 V_s와의 상관관계를 결정할 경우에는 생성연대에 따른 지질 분류를 고려할 것을 제안하고 있다.

<Fig. 6>에서 보는 바와 같이 본 연구에서는 V_s = 192.16 N^{0.158}로서 今井이 제안한 식에 비하여 S파의 속도가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이것은 Fujio Matsueda et al.의 연구결과에서 알 수 있듯이 시험을 실시한 대상지역의 생성연대가 중생대인 것에 기인한 것으로 사료된다.



<Fig. 6> 표준관입저항치와 S파 속도와의 상관관계

N Value(times 10) & S-wave Velocity



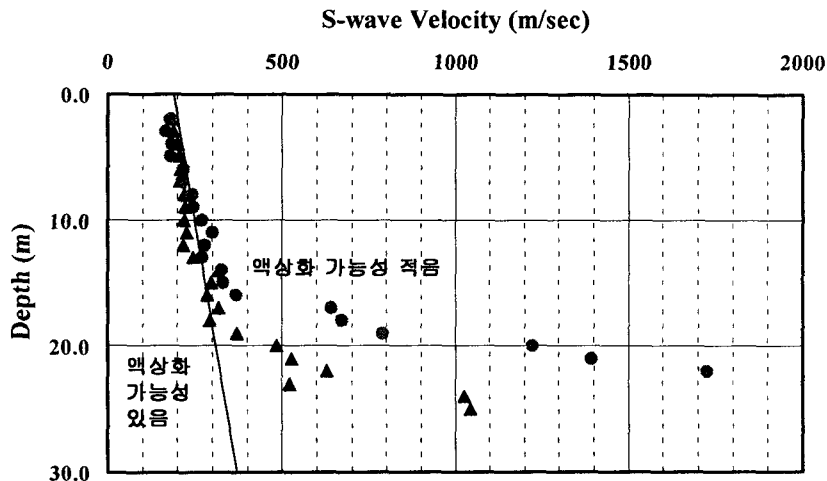
<Fig. 7> 표준관입저항치와 S파 속도와의 비교예

<Fig. 7>은 N 와 V_s 를 심도에 따라서 동일 그래프 상에 나타낸 것이다. 일반적으로 서스펜션 P.S. 검층에 의한 V_s 의 변화 양상은 다운홀법에 비하여 소구간의 S파의 속도가 세밀하게 측정되기 때문에 N 치의 변화와 비교하여 볼 때 비슷한 경향을 보이고, 따라서 서스펜션 P.S. 검층을 실시한 후 지반의 N 치 변화를 어느 정도 예측하는 것이 가능하리라 판단된다.

4.3. 지반의 액상화 판정

(1) S파 속도에 의한 액상화 판정

지반의 액상화 판정에 대한 일반적인 방법은 표준관입시험 결과로부터 얻어지는 N 값으로부터 심도에 따른 S파 속도와의 상관관계를 <Fig. 8>과 같이 검토하여 액상화를 판단하였다. 본 연구지역의 경우 <Fig. 8>과 같이 S파 속도에 의한 액상화의 판단을 실시한 결과 심도 약 10m 정도까지에서는 액상화 가능성이 있는 지반으로 판단된다.

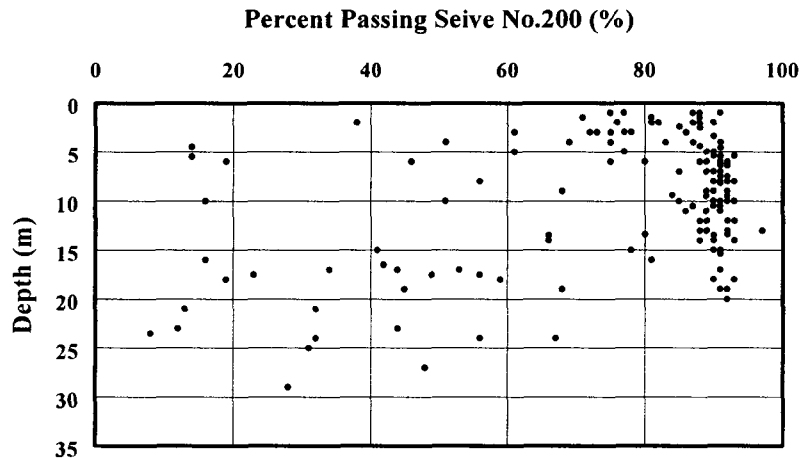


<Fig. 8> S파 속도에 의한 액상화 판단

(2) 입도 분포에 의한 액상화 판정

지반의 액상화를 실내시험을 통하여 판정하기 위하여 200번체 통과량 시험을 심도별로 실시하였고 시험결과를 <Fig. 9>에 나타내었다. <Fig. 9>에서 나타난 바와 같이 심도 약 10m 부근에서의 200번체 통과량이 약 90%정도로 <Fig. 4>에 설명한 것과 같이 액상화 가능성을 입도분포를 기준으로 판정해 본 결과

본 연구대상지역은 액상화 가능성이 있을 것으로 사료된다. 이러한 분류는 균등계수를 기준으로 하며 대상지역의 심도에 따른 균등계수를 계산하면 BN-11에서는 심도 2, 5, 8, 10, 14m일 때 7.24, 14.35, 20.0, 18.96, 48.20으로 계산되었고 BN-22에서는 심도 1.5, 6m일 때 27.59, 18.50을 나타내었다.



<Fig. 9> 심도에 따른 200번체 통과량

5. 결 론

본 연구에서는 해저 지반에서 동적 하중에 의한 지반 거동 해석에 필요한 토질정수를 결정하고, 지반의 액상화 가능성을 평가하기 위하여 서해안 ○○도 일대에서 서스펜션 P.S. 검층을 실시하였고 자료의 비교를 위하여 기타 현장시험 및 실내시험을 실시하였다. 일련의 시험을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 서스펜션 P.S. 검층으로 결정된 V_p 와 V_s 를 바탕으로 Poisson's Ratio는 1.65~2.5, 횡탄성계수는 550~60,000 그리고 종탄성계수는 1,600~170,000로 각 지층별로 다양한 분포를 보이는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) V_s 와 N 의 관계는 $V_s = 192.16 N^{0.158}$ 로서 수심이 제안한 $V_s = 89.8 N^{0.346}$ 에 비하여 S파의 속도가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이것은 Fujio Matsueda et al.의 연구결과에서 알 수 있듯이 시험을 실시한 대상지역의 생성연대에 기인한 것으로 사료된다.
- (3) S파 속도에 의한 액상화의 판단을 실시한 결과 심도 약 10m 정도까지에서는 액상화 가능성이 있는 지반으로 판단되고, 200번체 통과량 시험을 통한 입도분포를 기준으로 판정해 본 결과 역시 액상화 가능성이 있는 것으로 판정되었다. 이러한 방법은 개략적인 판정기준이므로 추후 구조물 설계시 액상화 문제에 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 종래의 지표 기진, 공내 수진 방식의 P.S. 검층으로는 해상에서의 탐사가 불가능하였지만 서스펜션 P.S. 검층을 통하여 동적 물성치를 결정하기 위한 육상 및 해상에서의 위한 탐사가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Fujio Matsueda and Hiroshi Kawaharada, "A Comparison of S-wave Velocity Measured by Suspension P.S. Log with Characteristics of Soil", BUTSURI-TANSA, Vol.47, No.5, pp.335~350, 1994
- (2) Port and Harbour Research Institute, Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land, A.A. Balkema, 1997
- (3) Hardin, B. O. and Richart, F. E., "Elastic wave Velocity on granular Soils", Proc. ASCE, 89, No.SM1, pp.33~65, 1963
- (4) 今非常雄 and 吉村正義, "地盤の彈性波速度と力學的性質", 物理探査, No.25, pp.283~292, 1972
- (5) 太田 等, "S波 速度を他の土質的指標から推定する試み", 物理探査, No.29, pp.252~261, 1976
- (6) 土岐憲三, 新體系土木工學, 11構造物の耐震解析, 技報堂, pp.74~75, 1981
- (7) 地盤工學會, 物理探査技術の地盤工學への利用に関する研究報告書
- (8) 한국지반공학회, 진동 및 내진설계, 구미서관, 1997
- (9) (주) 아키에스, 지반조사보고서, 1999
- (10) 한국암반공학회, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, pp.161~173, 1998