

Downhole Method에 依한 剪斷波의 測定

閔 懿 基

土木工學科

(1983. 9. 30 접수)

〈要 約〉

Downhole Method를 利用하여 輻性波의 速度를 測定하였다. 本 論文에서는 剪斷波의 測定에 重點을 두었으며, Cross Correlation을 利用하여 測定한 結果와도 比較 分析하였고, Poission 比도 計算하였다.

In-Situ ShearWave Velocity by the Downhole Method

T. K. Min

Dept. of Civil Engineering

(Received September 30, 1983)

〈Abstract〉

In this paper, in-situ elastic wave velocity was measured by the downhole seismic method. In the analysis of the test, special emphases are given to the identification of the shear wave. The results of the analysis show that the cross correlation signal analysis reaches the same result as the instantaneous time analysis.

And the Poisson's ratio is also estimated by the wave velocity.

I. 서 론

最近 들어 動荷重을 받는 基礎의 設計나 거동에 대한 關心이 날로 높아가고 있다. 動荷重을 받는 基礎의 거동을 다루는 諸問題에서 理論上 가장 重要的 係數는 흙의 動剪斷彈性係數(dynamic shear modulus) G 값으로 이는 seismic wave의 速度로부터 求할 수 있다.¹⁾ 一般的으로 地壓波(compression wave)와 剪斷波(shear wave)의 速度를 測定하는 데는 reflection, refraction, crosshole, uphole, downhole method 等의 seismic method 가 널리 使用되고 있다.²⁾ 本 論文에서는 downhole method에 대해서 다룬다.

Downhole method는 現場에서 波의 速度를 測定하기 때문에 시료 채취 과정에서 發生하는 諸問題,

即 試料의 교란과 應力의 變化에 따른 흙의 特性의 變化 等의 問題는 제거할 수 있는 반면 아주 적은 變形率($10^{-4} \sim 10^{-5}$)에서의 剪斷波의 速度를 測定하게 된다.^{3), 4), 5)} 이전 程度의 變形率은 機械 基礎, 車輪荷重, 아주 빈 곳에서 發生한 폭파나 지진 等의 問題를 취급하는데 使用할 수가 있다.¹⁾

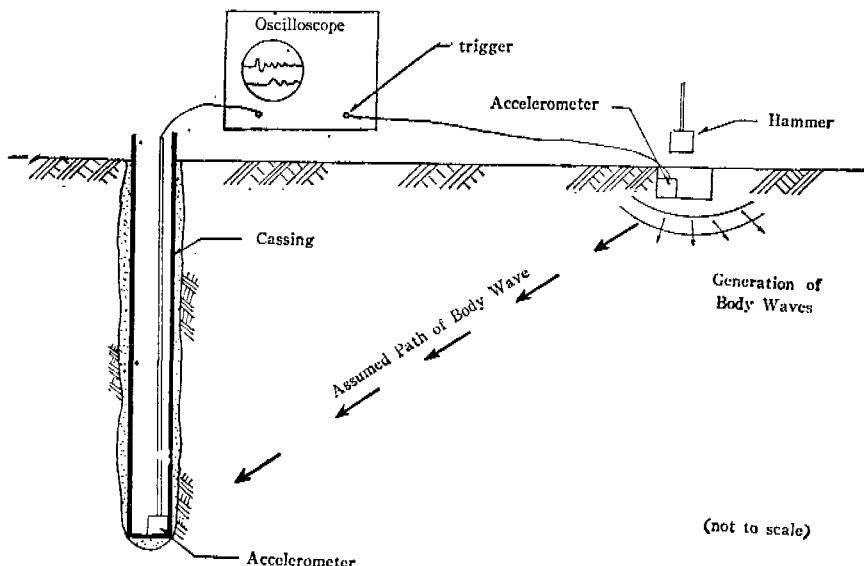
本 論文에서는 剪斷波의 速度로 부터 直接 動剪斷彈性係數 G 값을 計算할 수 있을 뿐 아니라

$$G = \rho V_s^2 \quad (1)$$

地下水位에 상관없이 測定이 可能하기 때문에 剪斷波의 測定에 重點을 두었다.

II. Downhole Seismic Method

Downhole seismic method는 地表 위의 source에서 mechanical impulse에 의해 體積波(body



〈그림 1〉 Downhole Seismic Method.

wave)를 發生시키고 흙 속 기지의 距離에 있는 點 까지의 전파시간을 測定하는 것이다. 그러면 기지의 距離를 測定한 전파시간으로 나누어 주므로서 전파속도를 求할 수 있다.

體積波에는 壓縮波(compression wave, P-wave)와 剪斷波(shear wave, S-wave)가 있으며, 같은條件의 흙에서는 P-wave의 速度가 S-wave의 速度보다 빠르다.⁴⁾ 따라서 P-wave가 먼저 기지 距離 흙 속의 receiver에 到達되므로 이어 到達되는 S-wave의 감지가 어렵게 된다. 이러한 理由에서 大部分의 研究家들은 P-wave의 速度 測定을 하여 왔다. 그러나 P-wave는 地下水位 밑의 地域에서는 흙에서의 速度가 아니라, 물에서의 P-wave의 速度가 測定된다. 따라서 地下水位 밑에서는 흙에서의 P-wave의 速度測定을 할 수가 없다. 反面 물은 S-wave를 傳達하지 못하므로, 地下水位 밑에서도 흙에서의 S-wave의 速度를 測定할 수가 있다.¹⁾ 따라서 S-wave의 測定은 非常 important한 意味를 갖는다.

本 實驗을 行하기 為해서는 ① 體積波를 發生시키기 위한 장치, ② 體積波를 感知하기 위한 sensor, ③ 波를 기록하기 위한 oscilloscope, ④ trigger를 위한 장치 等이 必要하다.

普通 體積波를 發生시키기 위해선 concrete block, 혹은 나무판을 hammer로 타격하고 있다.^{1), 6)} 本 實驗에서는 10cm정도 굽착한 흙을 直接 hammer

로 타격하여 體積波를 發生시켰다. 體積波를 感知하기 위한 sensor로는 主로 velocity transducer가 使用되어 왔으며^{1), 2), 3)} 本 實驗에서는 B.B.N.社製品 accelerometer 2개가 使用되었으며 감도는 0.1 volt/g였다. Stokoe 등³⁾에 따르면 이와 같은 용도로는 velocity transducer 보다 accelerometer가 효과적이다. 波 기록에 사용된 oscilloscope는 Nicolet Electronic company 製品 F.F.T. Analyzer로 dual channel oscilloscope로 trigger가 내장되어 있다. 또한 測定되는 흙 속의 sensor의 voltage output이 매우 낮기 때문에 amplifier를 利用하여 증폭한 후 F.F.T.에 入力시켰다.

〈그림 1〉에는 downhole method를 圖式的으로 보여 주고 있다. borehole은 實驗하기 前에 所要의 깊이까지 파서 casing을 박았다. 이 때 borehole은 垂直으로 파져야 測定 距離를 正確히 求할 수가 있다. 이는 추를 利用, 垂直이 되도록 할 수가 있었다. casing으로는 보통 aluminum이나 plastic casing이 使用되며^{2), 3)}, 本 實驗에서는 直徑 60mm의 plastic casing이 使用되었다. 또한 흙과 casing과의 접촉을 良好하게 하기 위해 borehole과 casing 사이에 모래를 주입하였다. 모래 주입시 casing에 가벼운 충격을 주어 모래가 粗密하게 casing과 borehole 사이에 들어가도록 하였다. 이는 흙과 casing 속의 sensor와의 접촉을 良好하게

하기 위한 것으로, 이 접촉이 좋지 못하게 되면 감지되는波의 진폭이 적어測定이 곤란하게 된다.

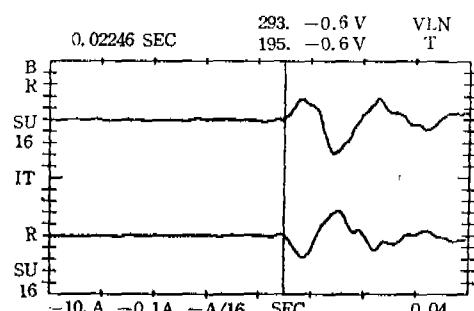
III. 實驗 및 結果分析

實驗을 위해 1.2m 깊이의 borehole 을 뽑고 borehole 에 60mm 直徑의 plastic casing 을 박았으며, casing 을 놓기 前에 casing 的 한쪽 벽면에 垂直되게 accelerometer 를 부착하였다. 이 accelerometer에서 pick up 된 波는 amplifier 를 通하여 10倍 증폭시킨 後 F.F.T.에 連結시켰다. 이 때 接地(ground)에 特別히 注意를 하였다. borehole 에서 2m 떨어진 끝에 폭 10cm, 高이 20cm, 長이 10cm 되게 굴착하여, 各 方向의 타격이 용이하도록 하였다. 굴착 方向은 accelerometer 的 方向과 直角되게 設置하였다. 타격시 타격 방향이 accelerometer 方向과 平行하면 S-wave 가 크게 감지될 것이다, 直角 方向이면 P-wave 가 크게 감지될 것이다. 타격 순간 trigger 가 作動되도록 하여야 到達時間 to 正確히 測定할 수가 있을 것이다. 本 實驗에서 使用한 trigger system 은 source에서 加한 충격에 依해 發生되는 voltage의 變化에 依해 기록장치의 作動이始作된다. 本 實驗에서는 hammer 衝擊에 依해 發生되는 最大 voltage 變化量의 1/16에서 trigger가 되도록 setup하였다. 또한 oscilloscope 上에 기록된 signal로 부터 最初 波가 發生되는 點을 正確히 잡기위해 波의 기록을 25% time delay 시켜 display 시키므로서 쉬기 體積波가 generate되는 순간을 잡을 수 있었다. 그 波의 기록은 X-Y plotter 를 通하여 기록하였다. <그림 2>에는 實驗

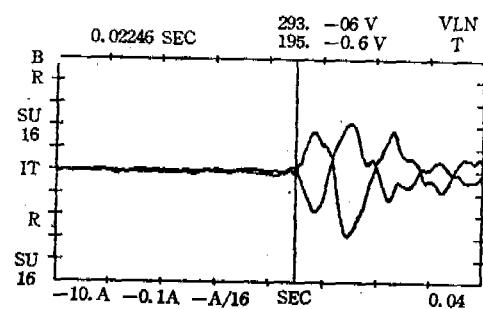
結果의 한例를 보여주고 있다. <그림 2>에서 위의 signal은 source에 부착되어 있는 accelerometer에서 얻은 것이고, 아래 signal은 casing 속의 accelerometer로 부터 얻은 것이다. 實驗의 result로부터 S-wave의 到達時間 to 正確히 잡기 위하여 反對 方向으로 충격을 주어 두 signal을 比較하였다. 이 때 P-wave는 충격을 accelerometer 方向에 直角方 direction으로 주 때 衝擊 方向에 關係 없이 一定할 것이고, S-wave는 反對 方向이 될 것이다. 따라서 두 signal을 overlap 하므로써 diverge 하는 點을 S-wave의 arrival time 으로 잡을 수 있다. <그림 3a>에 위 signal은 positive source 일 때, 아래 signal은 negative source 일 때의 것이다. <그림 3b>에 overlap signal을 보여주고 있다. 그림으로부터 S-wave의 到達時間 to 正確히 求할 수 있다.

P-wave의 到達時間 to 求하기 위해 accelerometer 方向에 平行한 方向으로 충격을 주었다.

<그림 4>에 實驗結果를 보이며 P-wave의 到達時間 to 쉽게 求할 수 있다.



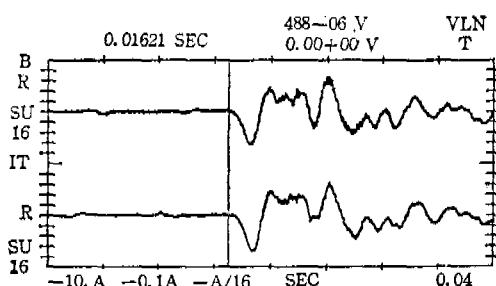
(a)



(b)

<그림 2> Downhole Travel Time Record

<그림 3> Downhole Travel Time Records



〈그림 4〉 Downhole Travel Time Records

P-wave 와 S-wave 의 전파시간이 구해지게 되면 이를 이용하여 다음 式으로 부터 Poisson 比를 구할 수 있다.

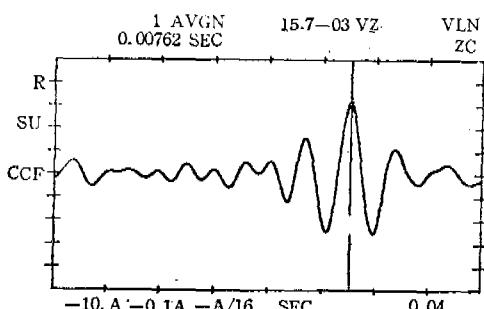
$$\left(\frac{t_s - \text{wave}}{t_p - \text{wave}} \right)^2 = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \quad (2)$$

이 경우 흙의 Poisson 比 $\nu=0.33$ 이었다.

本 實驗의 結果를 cross-correlation function 을 利用하여 分析하고, 앞의 結果와 比較하여 보았다. cross-correlation function 이란 2 set 的 random data 의 相互 關係를 나타내 주는 합수로 시간 t 에서의 random data $x(t)$ 와 시간 $t+\tau$ 에서의 random data $y(t)$ 의 cross-correlation function 은 관측시간 T 에 거쳐 두 값을 곱해 주므로서 구할 수 있다. 즉

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau) dt \quad (3)$$

system 을 linear 하다고 가정하면 input 와 output 사이의 cross-correlation 으로부터 直接 time delay 를 구할 수 있다. system 의 output 이 input 과 관계되는 時間에서 變位를 일으킨다면 cross-correlation 은 signal 이 system 을 通過하는데 必要한 時間과 같은 time displacement에서 最大值를 나타낼 것이다.⁷⁾ 앞의 경우에 對한 cross-correl-



〈그림 5〉 Cross-Correlogram

ogram 은〈그림 5〉와 같다. cross-correlation 으로부터 구한 S-wave 의 time delay 는 7.62msec 이었으며, 이는 直接 instantaneous signal 으로부터 구한 time delay 9.15msec 에 比해 20% 程度의 誤差를 보이고 있다.

또한 cross-spectrum 을 利用하여 시도 time delay 를 구할 수 있음이 理論的으로 알려져 있다. 그러나 使用 F.F.T. 에서는 測定된 time window 를 frequency window 로 替換하였을 때 測定 可能한 最小 frequency 가 125Hz 로 한정에 의한 frequency(100 Hz 程度)보다 커서 測定을 할 수가 없었다. 다른 적당한 기기를 使用하여 測定할 수 있다면, $\tau = \theta / 2\pi f$ 로 부터 구할 수 있을 것이다.

IV. 結 論

흙의 動剪斷彈性係數 G 를 구하기 위하여 down-hole method 를 行한 結果 다음의 結果를 얻었다.

1. 흙의 動剪斷彈性係數 G 를 downhole method 에 의해 구할 수 있다.

2. 壓縮波(P-wave) 및 剪斷波(S-wave)의 도달 時間을 測定하므로써 Poisson's ratio ν 값을 쉽게 구할 수 있다.

3. Cross-correlation 으로 구한 값과 直接 S-wave 의 도달 時間을 比較하여 본 結果 一致함을 알 수 있었다. 따라서 cross-correlation 으로부터 S-wave 의 도달시간을 구할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Stokoe, K. H., II, and Woods, R. D., "In-situ shear wave velocity by cross-hole methods", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 98, No. SM5, May 1972, pp. 443~460.
2. Hoar, R. J. and Stokoe, K. H., II, "Crosshole Measurement and Analysis of Shear Waves," Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 3, Stockholm, 1981, pp. 223~226.
3. Stokoe, K. H., II, and Hoar, R. J., "Variables Affecting In-Situ Seismic Measurements,"

- Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, vol.2, June. 1978, pp.919~939.
4. Richart, F.E., Jo., Woods, R.D., and Hall, J.R., Jr., "Vibrations of Soils and Foundations" Prentice-Hall, 1969.
5. Prakash, Shamsher, "Soil Dynamics" McGraw-Hill book company, 1981.
6. Auld, Bruce, "Cross-Hole and Down-Hole Vs by Mechanical Impulse", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, No. GT12, Dec. 1977, pp.1381~1398.
7. Bendat, J.S., and Piersol, A.G., "Random Data: Analysis and Measurement Procedures" Wiley-Interscience, 1971.