

水平伝播する地震波の伝播速度の推定

金沢大学大学院 ○津田喜裕
金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
川崎製鉄(株) 正会員 小池 武
金沢大学工学部 正会員 宮島昌克

1. はじめに

現在の耐震設計では、埋設管ひずみは地盤ひずみから求められており、その地盤ひずみは水平方向に伝播する地震波の見かけの波長に依存している。水平方向に伝播する地震波の波長算定式の妥当性を検証するため、本研究では地震動の伝播速度を加速度観測記録を用いて検討する。

2. 上水道耐震設計指針におけるせん断弾性波速度

上水道管の耐震設計指針¹⁾においては波長 L を式(1)に示すように調和平均を用いて求めている。またこの時に用いる表層地盤の平均せん断弾性波速度は地盤の N 値より算出する。図 1 は沖積世における平均せん断弾性波速度である。この弾性波速度を用いて式(1)によって波長を求めると低速度の表層地盤の影響が顕著に現れるため、比較的小さい値となる。地盤ひずみはその波長を用いて算出するため、相対的に大きな地盤ひずみを算出することになる。この結果の精度を確認するために以下では実際の地震加速度記録を用いて、地震動の伝播速度の推定を行う。

$$L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \dots (1)$$

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_G \quad L_2 = V_{BS} \cdot T_G$$

V_{DS} : 表層地盤の平均せん断弾性波速度(cm/s)

V_{BS} : 基盤のせん断弾性波速度(cm/s)

T_G : 表層地盤の固有周期(s)

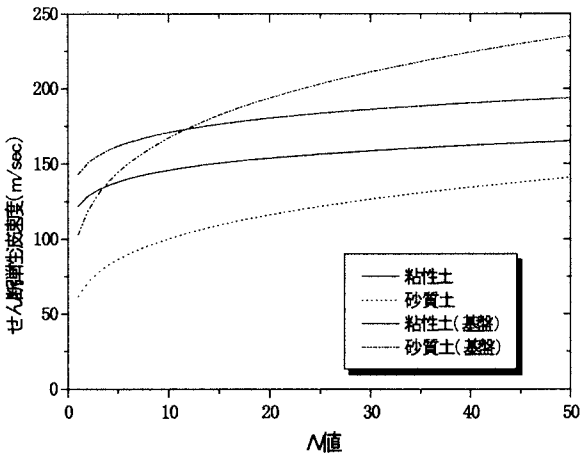


図 1 平均せん断弾性波速度

3. 見かけの平均伝播速度

ここでは実際の地震動の加速度記録から平均の伝播速度を求める。加速度記録として、1994 年の北海道東方沖地震の釧路市における 5 観測点の強震加速度記録を用いる。平均伝播速度を ($v = \text{距離} / \text{時間}$) で求めるため、時間の取り方として以下の 3 つを挙げる。また図 2~3 の直線は最小二乗法を用いて結果を近似したものである。

- 1) 加速度が最大値をむかえる時刻
- 2) 加速度の時間記録に対する包絡曲線を求め、それが最大値をむかえる時刻
- 3) 加速度 (上下動も含む) から速度、変位を出す。変位波形における S 波の到達時刻

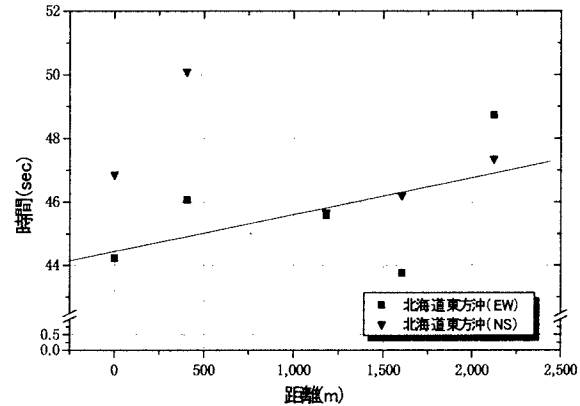


図 2 最大値をもとにした伝播速度

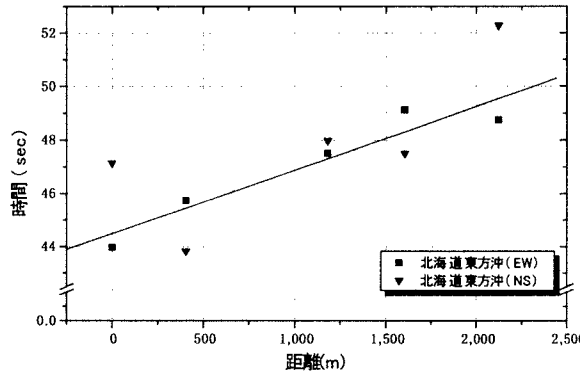


図 3 包絡曲線をもとにした伝播速度

図 2 は任意の 2 観測点間の距離とそれぞれの観測点

においての加速度が最大値（絶対値）をむかえた時刻同士の差の図である。平均の伝播速度を求めると、約 870(m/sec)となった。また図 3 は任意の 2 観測点の加速度観測記録の包絡曲線が最大値をむかえる時刻同士の差とその間における距離の関係である。この場合の平均の伝播速度は約 420(m/sec)である。図 4 は加速度地震波形（上下動に注目）を積分して得られる、変位波形から S 波の開始点の時刻を推定し、任意の 2 観測点間の時刻差と距離を調べたものである。これによると平均の伝播速度は約 370(m/sec)となった。なお 3) では 5 観測点での地震波形の加速度、速度、変位の全てを比較した。それを見ると波形は長周期性を示し、かつ非常に似ていた。これはこの地震観測記録が主に表面波を観測していたことと推測できる。以上より実際の加速度波形による伝播速度の推定の結果は、上水道管の耐震設計指針の値（図 1）よりも大きくなった。なお実際の地震動では、特定の周期成分が卓越することがあるから周期ごとの伝播速度を 4. で考える。

4. 周期ごとの伝播速度³⁾

周期ごとの伝播速度を求めるために、加速度観測記録をフーリエ変換し、周期ごとの位相差を求め、その周期での正弦波を 5 地点分並べる。それらにおいて最大値が最初にくる時刻をチェックし、時間差と伝播距離の関係から伝播速度を算出する。その際、波の伝播方向が想定している方向と逆になること、すなわち伝播速度が負になることがあったので、速度の正負それぞれについてグラフを作った。それらを図 5、6 に示す。

図 5、6 では結果にばらつきが見られるが、全体的に見ると長周期側で伝播速度が大きくなる。このことは表面波の分散特性を考えると妥当なものといえる。伝播速度の値を見ると上水道¹⁾、ガス²⁾の耐震設計指針の値と比べるとやや大きいめになっている。また方向性を考えると EW 方向に比べて NS 方向の伝播速度にばらつきが多くなっている。これについては今後さらに検討したい。

5. まとめ

今後は多くの加速度地震記録を対象に地震動の伝播速度、ひいては地盤ひずみの大きさを検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，p.73，1997.
- 2) 日本ガス協会：ガスの導管の耐震設計指針，p.47-p.48，1982.
- 3) 土岐憲三：新体系土木工学，構造物の耐震解析，p.63，1981.

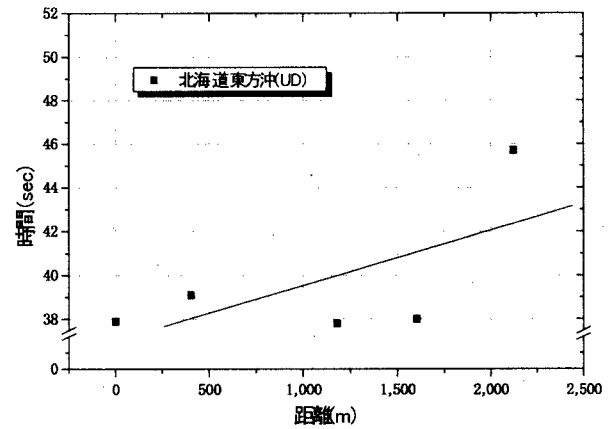


図 4 S波をもとにした伝播速度

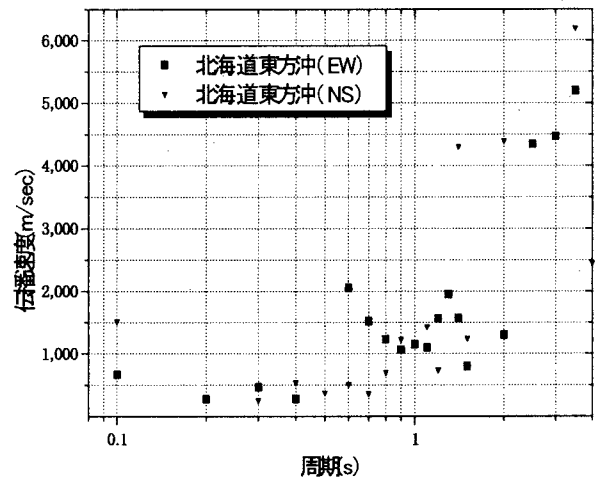


図 5 周期ごとの伝播速度（正側）

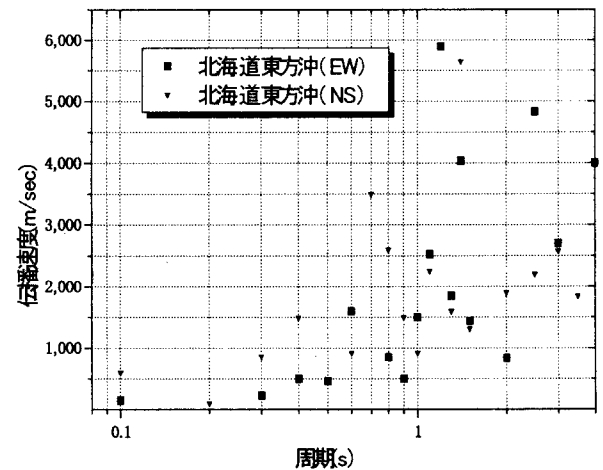


図 6 周期ごとの伝播速度（負側）