

II - 82

宇都宮市大谷地区での降雨量と地下水位との
スペクトル解析

栃木県立今市工業高等学校	正会員 熊倉 浩司
宇都宮大学	正会員 長谷部正彦
同	正会員 横山 幸満

1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷地区では近年いくつかの陥没事故が発生している。その原因は、特産である大谷石の切り出しによる落盤と思われるが、その発生時期にはある程度の共通性が感じられる。その事故のきっかけとなる事象と、関連する外因を調査すべくいくつかの事柄に注目してみた。この研究ではFFT（高速フーリエ変換）を用いて、地盤の支持力に影響を及ぼすであろうと思われる地下水位の上下動と白色雑音と考えられる日単位の降雨量との関係についてスペクトル解析を行い、関連性を明らかにしてみる。

2. 解析方法

自然現象である降雨についてのメカニズムを解説するには複雑な要因を含んでおり、その取り扱いについては慎重な配慮が必要であろう。しかし、今回は降雨と地下水位という2変数の関係をスペクトル解析により調べるのが目的である。

入力データとして降雨量、出力データとして地下水の変位を用い、FFT（高速フーリエ変換）により時間領域から周波数領域への変換を行い、パワースペクトル・コヒーレンス・フェイズを求めて考察することとする。

(1) パワースペクトル

N個（ $=2^P$ ：Pは正の整数）のデータX(j)（ $j=0, 1, 2, \dots, N-1$ ）が与えられたとき、この有限離散化フーリエ変換をX(k)とすると、パワースペクトルは次式で与えられる。

$$P(f) = P\left(\frac{k}{T}\right) = \frac{1}{T} E\{|X(k)|^2\} \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここに、Eはアンサンブル平均、Tは期間である。

(2) クロススペクトル

入力x(t)、出力y(t)のクロススペクトルは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} P_{xy}(f) &= \frac{1}{T} E\{x(f) \cdot y(f)\} = K_{xy}(f) - i Q_{xy}(f) \\ &= E\{(A_x(k) + i B_x(k)) \cdot (A_y(k) - i B_y(k))\} \quad \text{----} \quad (2) \end{aligned}$$

ここに、 $K_{xy}(f)$ ：コスペクトル、 $Q_{xy}(f)$ ：クオドスペクトル、 $A_x(k)$ 、 $B_x(k)$ 、 $A_y(k)$ 、 $B_y(k)$ ：x(t)、y(t)の実数部と虚数部をアンサンブル平均またはスペクトルウィンドーにより平滑したもの。

(3) コヒーレンス及びフェイズ

二つの変動量の間の統計的性質を表すのに、時間領域でのクロススペクトルでは一般に複素関数であり、現象の把握・記述に不便であるので、次式の周波数領域でのコヒーレンスとフェイズを与える。

$$\text{Coh}^2(f) = \frac{|P_{xy}(f)|^2}{P_x(f) \cdot P_y(f)} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\text{Phase}(f) = \tan^{-1} \frac{Q_{xy}(f)}{K_{xy}(f)} \quad \text{-----} \quad (4)$$

コヒーレンスは、2信号のフーリエ周波数成分の相互相関係数であり、入力x、出力yのあいだの各周波数成分ごとの線形性の程度、つまり相関を表すものである。

3. 結果および考察

解析に用いたデータは平成3年度及び4年度に観測された大谷地区立岩の水位と鹿沼市の降水量である。観測は1日毎に実施され、大谷地区のデータベースとして記録保存されているものを利用した。

図1に平成3年度の降雨と地下水位のパワースペクトルを示す。入力の日単位の降雨は白色雑音的な性質を示している。一方、出力としての水位は低周波部分で急激にしている。

次に降水量と水位とのコヒーレンスとフェイズを図2に示す。フェイズは周波数 $f=0.35$ くらいの所で変化し、コヒーレンスもほぼ同じ所で下がっている。故に、降雨があつてから約3日くらいまでの成分とそれ以降の遅い成分とに分離されると推定できる。

また、平成4年度について図3にパワースペクトル、図4にコヒーレンス及びフェイズを示す。パワースペクトルは図1とほぼ同様であり、降雨は白色雑音的な性質を示している。コヒーレンスに関しては、周波数 $f=0.45$ くらいで下がっており、図2と同様に考えると遅れ成分が2日くらいで流出成分が分離されると推定できる。

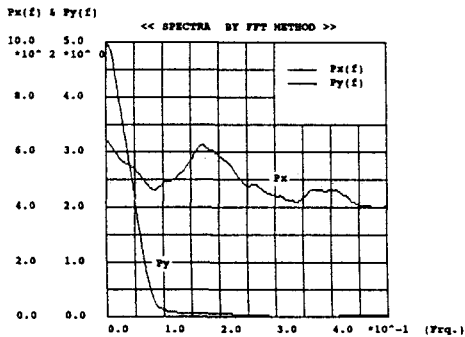


図1 降水と地下水位とのパワースペクトル (H3)

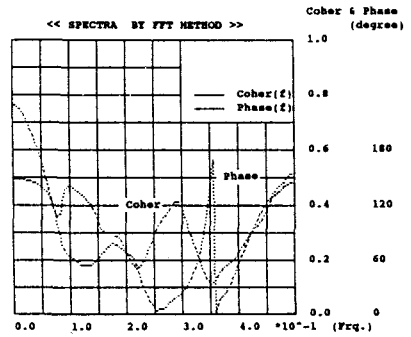


図2 コヒーレンスとフェイズ

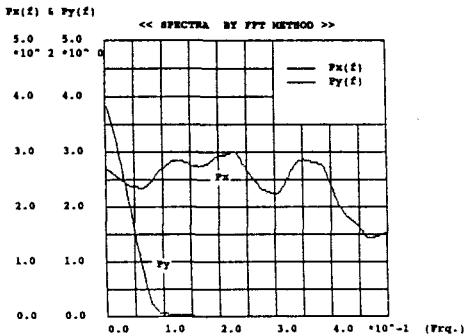


図3 降水と地下水位とのパワースペクトル (H4)

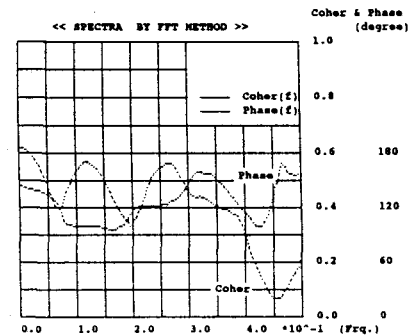


図4 コヒーレンスとフェイズ

以上、2年間に及ぶ資料より大谷地区の降雨と地下水位の関係について検討してみたところ、データが限定されるものの2～3日の周期をおいて関係していることが明らかになった。この事象が陥没事故のきっかけとしてどのように作用しているかは土質工学・岩盤力学的な実験が必要かと思われ、そのメカニズムについての明言は難しい。

最後に、本研究に関してご助言をいただきました宇都宮大学工学部建設学科・桑川高德氏、また貴重な資料を提供していただいた川崎地質(株)の皆様様に心より感謝致します。

(参考文献) 日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店