

I - 44

1993年北海道南西沖地震前の河川水位特性

開発土木研究所 正員 城野忠幸
正員 島田武
正員 佐藤昌志

1. まえがき

平成5年7月12日22時17分、北海道南西部を中心に大規模な地震が発生し、桧山管内の奥尻島をはじめ道南各地に甚大な被害をもたらした。震源地は北海道の南西沖約100km（北緯42度47分、東経139度12分）で、震源の深さは34km、マグニチュードは7.8と報告されている。各地の震度は、震源地に近い奥尻島で震度6の烈震と推測され、江差、寿都、小樽、深浦で震度5の強震、函館、室蘭、倶知安、青森、むつで震度4の中震を観測した。

この地震の大きな特徴は、巨大津波の来襲であり、大津波警報は地震発生後の5分後に北海道沿岸、その3分後には東北地方に出された。奥尻島では発震後間もなく、また渡島半島西部（桧山支庁）の沿岸でも10分以内に津波が来襲した。気象庁の検潮観測点で最も早く津波の第一波が観測されたのは青森県深浦の22時40分であり、津波の高さの最大は稚内（13日04時45分）の37cmであった¹⁾。

本研究では、従来から主に雨量観測用に使用されている河川水位観測データをもとに、北海道南西沖地震発生前後の水位波形について、フラクタル性や自己相関性の観点から多角的な解析を行っている。またこの河川水位と近傍の港湾における潮位を比較することによって、地震時の潮位特性が河川水位特性に及ぼす影響を調査している。

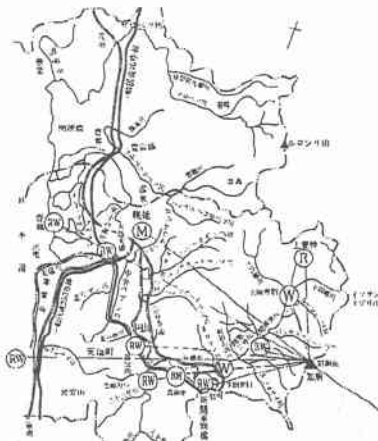
2. 水文観測概要

2.1 観測所の位置

本研究では、河川水位観測データとして表1のとおり2観測所のものを用いた。両観測所の位置については、開運橋観測所が天塩川下流水系サロベツ川河口から22.60kmの地点、声間橋観測所が声間川水系声間川河口から0.50kmの地点にある²⁾。図-1に両観測所の位置図を示す。

表1 水位観測所諸元

観測所			観測所諸元				位置		
水系名	河川名	観測所名	零点高 T.P.m	河口からの 距離 km	河川勾配	流域面積 km ²	市・郡	町村	字
天塩川下流	サロベツ川	開運橋	0.00	22.60	1/8000	369.60	天塩郡	豊島町	字豊徳
声間川	声間川	声間橋	0.00	0.50	1/3000	244.20	稚内市	—	字声間



開運橋観測所

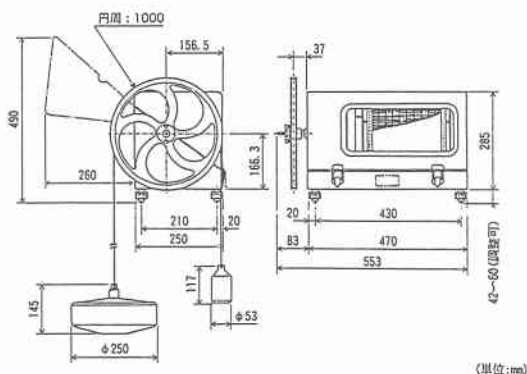


声間橋観測所

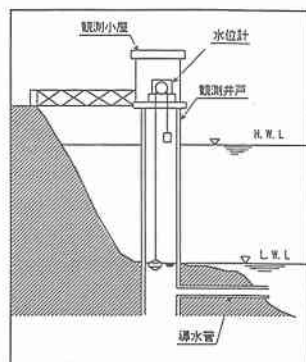
図-1 水位観測所の位置図

2.2 観測装置の概要

両観測所に設置されている水位計は、河川・ダム・港湾の干満時の水位変化を長期間記録するためのものであり、W-021形水研62型長期自記水位計を使用している。この水位計は、水位変化によって生じるフロートの上下動をプーリとギア機構により記録ペンに伝えるようになっている。またその仕様としては、測定範囲が0～10m、精度が±1cm以内、紙送り速度は6mm/hまたは18mm/h、紙送り動力源にはN-010形水晶時計を使用し、連続記録期間は3ヶ月または1ヶ月である³⁾。図一2に水位計の外形寸法図を、図一3に水位計設置位置図を示す。



図一2 水位計の外形寸法図



図一3 水位計設置位置図

3. 解析概要

3.1 解析の目的

本解析の目的としては、水位観測所において得られた水位波形が、地震時にどのような特性を示すのかを調査することにある。一般的に、地震波や津波の特性を把握するためにスペクトル解析が広く用いられているが、河川水位波形について行われた例はほとんど見あたらない。本解析では、北海道南西沖地震発生前後の河川水位波形について、アナログデータからはその幾何学的特性を、またデジタルデータからはスペクトルによる振動数成分の卓越性を調査している。またさらに近傍の3港湾における検潮記録の解析結果を示し、潮位が河川水位に及ぼす影響について考察を行っている。

3.2 解析の手順

まず両観測所の地震時を含む1ヶ月分の水位観測波形をA/D変換し、2分毎のデジタルデータとしてASCIIテキストファイル形式でディスクに保存した。次にその波形データを図化し、地震発生時間を基準とする1日毎の波形データとしてイメージスキャナで読み込んだ。この時の読み込み解像度は200dpiとしたが、データ自体が126dpiであることから、グリッドサイズの下限值としては十分であると思われる。さらにこのデータを既成の図形処理ソフトにイメージデータとして保存し、この波形の幾何学的特性を把握するために、ボックスカウンティング法⁴⁾⁵⁾により複雑さの指標であるフラクタル次元を算出した。

一方波形のテキストファイルの方は、水位波形の経時的な特性の変化を調べるために、イメージデータと同様に地震発生時間を基準とする1日毎のデータファイルを作成し、各種のスペクトル解析を行っている。その種類としては、まず1系列のデータ自体の中での相隔ったデータの相関を調べるために自己相関係数を求めている。さらに地震波および潮位の解析に一般的に行われているスペクトル解析を行い、フーリエ振幅、フーリエスペクトル、パワースペクトルを求めた。

4. 解析結果

4.1 フラクタル次元

まず図一4に地震発生前後4日間の波形データを示すが、これによると地震発生後6時間後に津波の影響が波形に変化を及ぼしていることがわかる。図一5に細線化による画像処理を行わないときのフラクタル次元の経日変化を示しているが、これによると地震発生日は明らかな卓越性を示している。声間橋観測所では地震発生前日に他の日と較べてかなり高い値を示しているが、開運橋観測所の方はそれとは逆の傾向を示している。なお地震発生日前

後の天候は表－２のとおりであるが、これによると両観測所とも地震発生日前日および当日は晴れか曇りであり、雨量の影響は考慮なくていいように思われる。

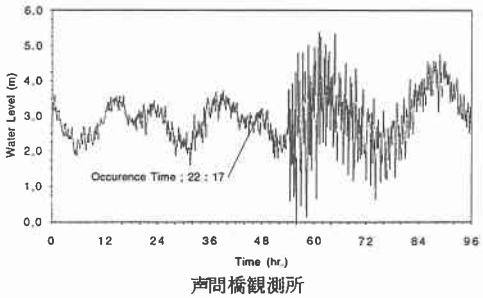
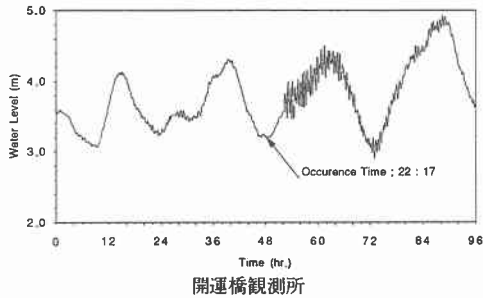
4.2 自己相関係数

自己相関係数の計算は、ある関数値に含まれた周期性を検出するために用いられ、自己相関係数を時間ずれに対して描いたコログラムは一種のスペクトルであると言える。したがって、コログラムのピークは、その点の時間ずれに相当する周期の波が、もとの波形の成分として含まれていることを意味する⁶⁾。

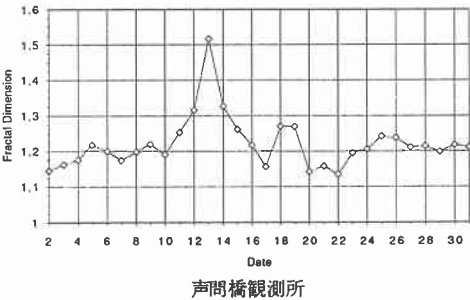
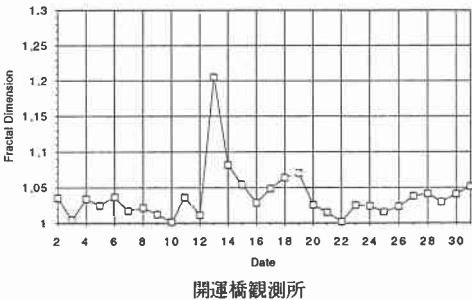
しかし今回の解析では、両観測所における地震発生日のものに数個のピークが見られるものの、その他の日には明確なピークは発見できなかった。図－６(a)に両観測所での地震発生前日、図－６(b)に当日のコログラムをそれぞれ示すが、縦軸は自己相関係数、横軸は標本番号を表している。

表－２ 地震発生日前後の天候

月 日	時 間	開運橋	声間橋
7/11	6:00	雨	雨
	18:00	雨	曇り
7/12	6:00	曇り	晴れ
	18:00	晴れ	晴れ
7/13	6:00	曇り	晴れ
	18:00	曇り	雨
7/14	6:00	曇り	晴れ
	18:00	曇り	曇り
7/15	6:00	曇り	雨
	18:00	曇り	曇り



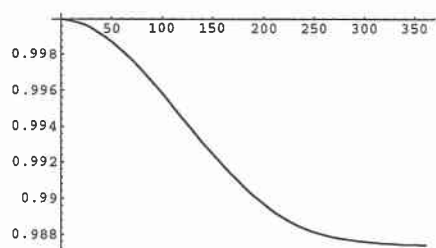
図－４ 地震発生前後の水位波形



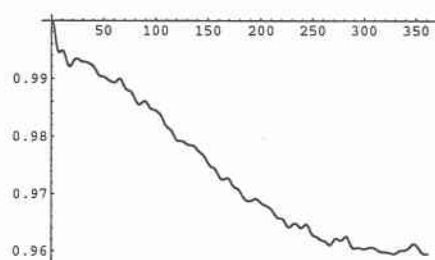
図－５ フラクタル次元の経日変化

4.3 ランニングスペクトル

ランニングスペクトルについては、経日毎にスペクトル解析を行い、フーリエ振幅、フーリエスペクトル、パワースペクトルを求めた。通常は有限フーリエ係数から求まる振幅に継続時間の1/2を乗じたフーリエスペクトル、あるいはフーリエスペクトルの縦軸を強調したパワースペクトルで表すのが一般的だが⁷⁾、ここでは読取りやすさを考えて、継続時間を考慮しないフーリエ振幅で表している。図－７によると、地震発当日の開運橋観測所では0.6～1.4cph、声間橋観測所では0.3～2.5cphの振動数域で振幅が卓越していることがわかる。また両観測所において、振動数1.0cph前後で共通した振幅の卓越性が見られる。この値は1時間前後に1回の比較的大きな振動であるが、この振動が河川水位のどのような挙動を表しているのかを推測することは難しい。なお振動数1.0cphにおける振幅の経日変化を図－８に示す。この図によると地震発当日の振幅が卓越しており、当日以外の振幅とは明らかに異なることから、両河川の固有振動と考えるよりは地震による影響と捉えるべきであろう。さらに地震発生前日においても比較的大きな振幅を示しているのがわかるが、このことから直ちに、地震発生前日に地震の兆候が見られると判断することは難しい。

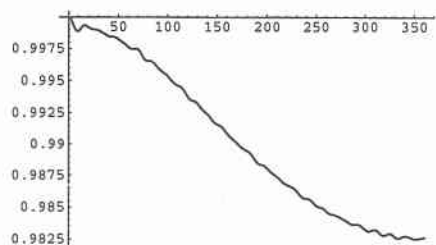


開運橋観測所

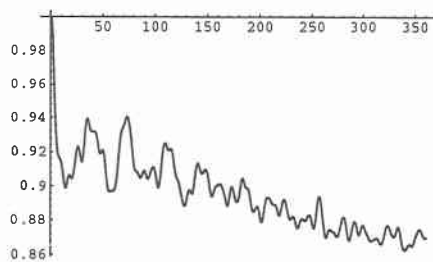


声問橋観測所

図一6 (a) 地震発生前日のコレログラム

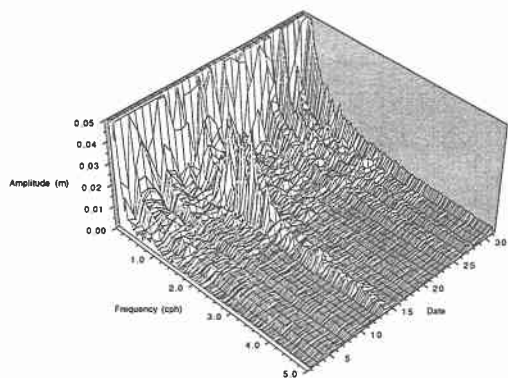


開運橋観測所

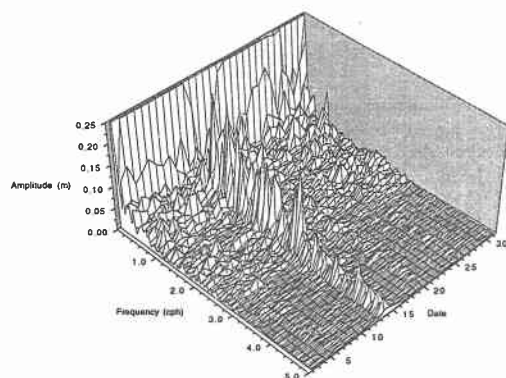


声問橋観測所

図一6 (b) 地震発生日のコレログラム

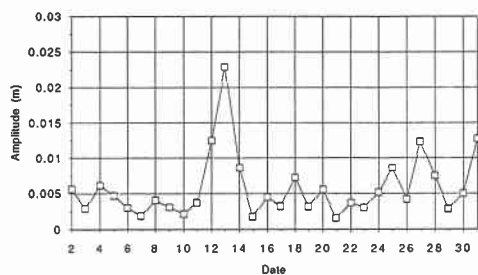


開運橋観測所

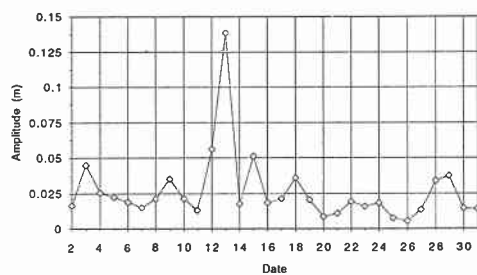


声問橋観測所

図一7 両観測所のランニングスペクトル



開運橋観測所



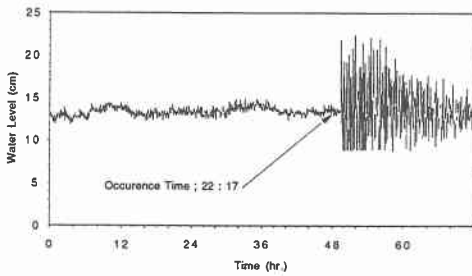
声問橋観測所

図一8 1 cphでの振幅の経日変化

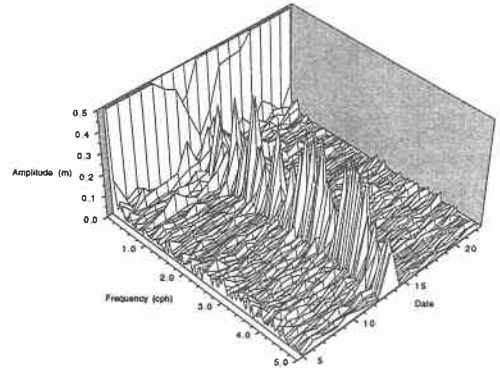
4.4 潮位特性との比較

近傍港湾での潮位が河川水位に及ぼす影響について考察するため、羽幌港、岩内港、留萌港の検潮記録を使用しスペクトル解析を行った。羽幌港の検潮記録については、所々でデータが分断されていたため河川水位データより若干少ない18日分の検潮記録を、留萌港および岩内港については地震発生前後のものを参考として用いている。図一9に羽幌港の地震発生前後の潮位波形を図一10に同港のランニングスペクトルを示す。これによると地震発生当日の振動特性が数カ所で卓越しているが、幅広い振動ピークが見られるため、どの振動数域で卓越しているのか把握しがたい。したがって、図一11にバンド幅0.40で平滑化したときのパワースペクトルを河川水位観測所の結果と併せて示した。これによると3観測所に共通して1.0cph付近での振動数が卓越しており、さらに羽幌港と声間橋観測所においては、2.0cphおよび4.0cphでの振動特性がほぼ一致している。

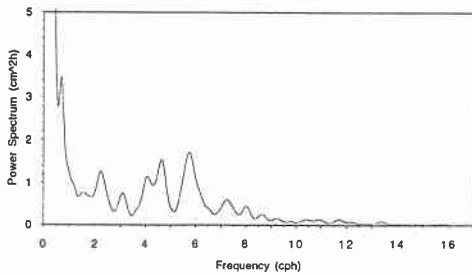
また図一12に留萌港および羽幌港での地震発生前後の潮位波形を、図一13に地震発生当日のフーリエ振幅を示す。データ自体の個数が少ないため参考として示したが、地震発生後のデータ数が比較的多い岩内港では、羽幌港および両河川観測所と同様1.0cph付近にピークが認められた。



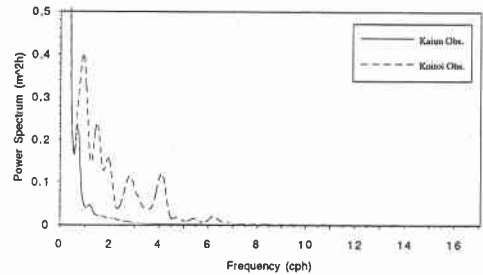
図一9 羽幌港の地震発生前後の潮位波形



図一10 羽幌港のランニングスペクトル

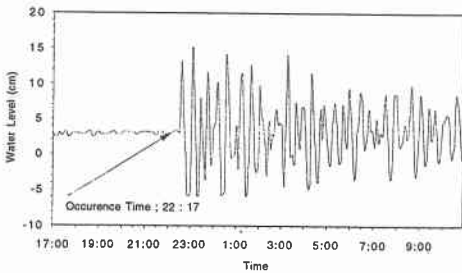


羽幌港

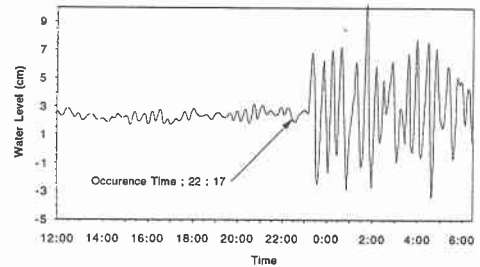


両水位観測所

図一11 平滑化したパワースペクトル

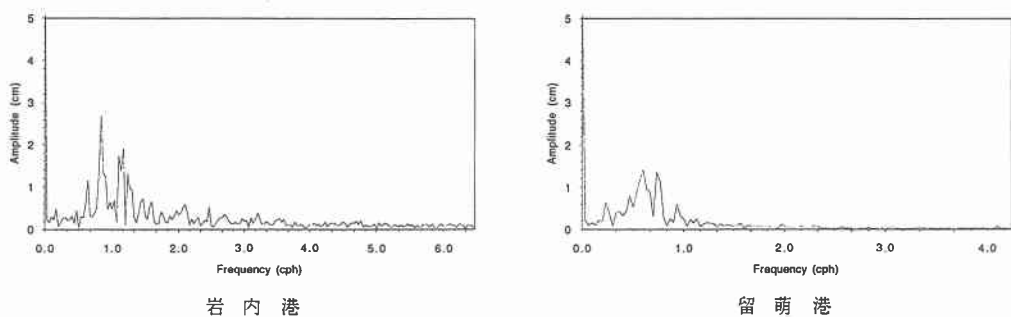


岩内港



留萌港

図一12 地震発生前後の潮位波形



図一13 地震発生当日のフーリエ振幅

5. あとがき

津波が潮位に及ぼす影響として、波源域における発生機構、伝播中における変形・分散・屈折、大陸棚以浅の海域での反射・屈折、その海域の固有振動が考えられる⁸⁾。また湾内の潮位は、津波や潮汐のほかに湾内セイシュが影響している。さらにこのセイシュは、風・うねり・気圧および異なる周期を持つ波動間の相互作用が影響因子として関係している。しかし平常時において副振動を維持する主要な駆動源である潮汐波は、石狩湾を例にとると、年間最大でも35cm程度の潮差を持つに過ぎず、湾内の海況に影響を及ぼすほどの因子でないことがわかっている⁹⁾。

本解析の結果から、地震の発生により河川水位および潮位において特定の振動数が卓越し、地震時における湾内の潮位特性が、比較的離れた河川の水位特性にまで影響を及ぼすことが明らかになった。また声問橋観測所においては、地震発生前日でフラクタル次元およびスペクトルが平常時とは異なる値を示しており、今後さらに検討を加える必要がある結果となった。この傾向が声問橋より震源に近い開運橋観測所で顕著でなかった理由としては、開運橋が河口からの距離が離れている上に、日本海に至る天塩川の支流であり、地震・津波の特性よりも河川自体の特性が支配的になっているものと考えられる。

本解析に用いた水位データは2分毎のものであり、地震波のデータと比較するとスペクトル解析を行うにはかなり粗いものである。また収録期間も地震発生日前後約半月ずつと、1年単位で大きく変化する河川水位の特性を把握するには短いと言わざるを得ない。さらに2観測所のみ解析では、南西沖地震によると思われる波形特性が普遍的なものであるかどうか判断することは難しい。実際にも、震源から潮位観測所、潮位観測所から河川水位観測所へ地震および津波特性が伝播されて来る過程で、地理的条件、水理特性、天候を含めた自然界の影響等、非常に多くの因子が水位データに関わってくると考えられる。

したがって、今後は現在あるデータをもとに、釧路沖地震および北海道東方沖地震における河川水位特性や潮位特性についても数多くの解析を行っていくつもりである。

【参考文献】

- 1) 株式会社構研エンジニアリング；TECHNICAL REPORT, 1993年北海道南西沖地震「道路災害」一年をむかえて, 1994年7月.
- 2) 北海道開発局；水文観測所の現況, 平成6年4月.
- 3) 横河ウエザック株式会社；水研62型長期自記水位計取扱説明書, 1994年1月.
- 4) 城野忠幸, 金子 学, 小野裕二, 中野 修；端野トンネルにおける岩盤クラックの定量化について, 土木学会第48回年次学術講演概要集, pp.284-285, 平成5年9月.
- 5) Tadayuki Shirono；Characterization of Jointed Rock with Fractal Dimension, FORMA Special Issue: Fractal Analyses in Geology and Civil Engineering, Volume 9 Number 2, pp.113-123, 1994.
- 6) 大崎順彦；地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 昭和63年5月.
- 7) 日野幹雄；スペクトル解析, 朝倉書店, 昭和55年10月.
- 8) 高橋 将；津軽海峡と内浦湾における津波特性, 第23回海岸工学講演会論文集, pp.459-463, 1976.
- 9) 高橋 将；石狩湾の津波と幅振動, 北海道大学工学部研究報告第130号, pp.17-32, 昭和61年.