

'93年釧路沖地震の地盤変状と予想凍結深の関係

°戸松 征夫・福田 正己・矢作 裕・佐藤 靖彦
(西松建設㈱, 北大低温研, 北教大釧路, 西松建設㈱)

1. はじめに

'93年釧路沖地震(1月15日午後8時6分発生)により釧路市を中心とした地域で地盤変状がみられた。地震の発生当時、釧路市周辺で表層地盤は凍結していたとみられている¹⁾。

本報告では、まず'93年釧路沖地震により発生した地盤変状の特徴を調べる。次に、地盤変状が土壤凍結深に関係があるかどうかを把握するため、地震時の予想凍結深を計算する。さらに、人工衛星によるリモートセンシングデータを利用して、その画像と地盤変状や土壤凍結との関係を分析する。

2. 釧路における地震時の地盤変状の特徴

'93年釧路沖地震による地盤変状としては、埋立地(港湾・低湿地)での液状化(噴砂)と盛土(造成地・鉄道・道路)の崩壊や変形が顕著である²⁾。釧路港では多数の埠頭に亀裂や段差が発生し、港湾地区以外でも釧路市美原地区や釧路町木場(マンホールの浮き上がり地点)周辺をはじめとして噴砂がみられた。また、道内の広い地域で道路盛土の陥没が発生したり、旧釧路川東岸の台地周辺で家屋被害が多くみられるなど、斜面災害の性格を持っていた。

今回の地震により発生した液状化や地滑りの特徴として、次の点が挙げられる。

- ①地震動の強さの割に液状化や地滑りの被害が少ない、あるいは大規模でない。
- ②構造物の被害は港湾施設、および下水道管やガス管などに顕著である。
- ③液状化や地滑り被害の発生形態が、これまでの地震と比べ特異である。

(例えば、マンホールは真っ直ぐに浮き上がり、地滑りは南斜面で被害が相対的に目立つ)なお、釧路市周辺の凍土は、例年11月中旬から継続的となり、4月中旬まで残る。凍土が数十cmあると気密性は高く、その強度はコンクリートに相当するなどの特徴がある。

3. 釧路における予想凍結深の分布

地震時の土壤凍結の影響を評価するために、釧路市周辺の地質、地盤条件や地形に対応して地震時の予想凍結深の分布を求める。その解析フローは図1に示すように、気候などの計算条件の下で地表面の熱収支を計算して平衡地表面温度を求める³⁾。これを境界条件として潜熱発生を伴う熱伝導方程式を解き、地中温度分布を求め凍結深を予測する。

(1) 計算条件 計算条件として①土質条件、②気象条件、および③初期条件を与える。①土質条件には、土の密度、含水比、熱伝導率、および比熱がある。密度は柱状図^{1), 4)}のN値から推定し、熱伝導率はKersten式⁵⁾を用いて決定する。含水比と比熱は北海道での実測値⁵⁾を参考にして標準的な値を採用する。

②気象条件には釧路地方気象台のデータを使用し、92年10月1日から93年1月31日までの日毎の平均気温、日射量、風速、気圧などの気象データを与える。釧路市では12

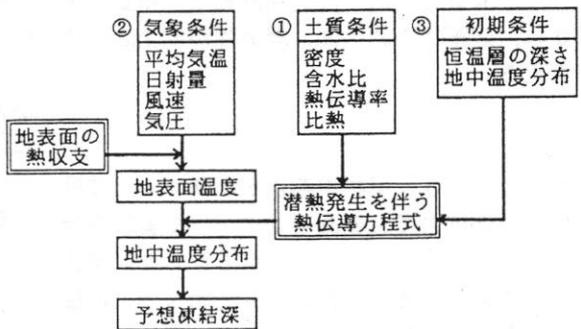


図1 予想凍結深の解析フロー

月23日から地震発生の1月16日まで降雪がなく、平均気温も氷点下の日が続いた。

③初期条件として、地下恒温層深さおよび地中温度分布を仮定する。地下恒温層は地表から-6mの深さとする。地中温度分布の仮定には91年10月の気温が地表面に、年平均気温が地下恒温層に等しいとし、その後1年間の月平均気温を与えて地中温度の変化を調べる。その結果より92年10月1日時点の地中温度分布を追跡し、これを初期条件として与える。

(2) 計算結果 計算地点には、釧路市周辺で釧路川と旧釧路川にはさまれた平坦な低湿地から8点、および旧釧路川東側の台地から3点を選ぶ(図2)。これらの地点で地震が発生した1月15日の予想凍結深を計算し、その結果を表1に示す。平坦地では主に砂層が堆積しており、そこでの凍結深は40~50cmである。一方、緑ヶ岡や気象庁など火山灰、シルトが堆積する台地部では、凍結深は25~30cmと浅い。粒径が粗く熱伝導率の大きいと凍結が進行しやすいことが反映されている。



図2 予想凍結深の計算地点

表1 釧路沖地震時('93.1.15)の予想凍結深

No	場所	表層土質(1m)	凍結深(cm)	
1	城山1丁目37番	北海道教育大 釧路分校	火山灰	26.3
2	寿1丁目2番	釧路ガス付近	砂	48.7
	寿1丁目2番	釧路ガス付近 (舗装85cmの場合)	アスファルト 切込砂利、砂	74.0
3	南浜町32番	中央埠頭東	砂	46.5
4	北大通13丁目1番	釧路駅前	砂	46.7
5	北大通1丁目2番	旧釧路川沿い	火山灰、砂	30.9
6	柳町13番	市民の森公園南側	砂	47.6
7	中島町15番	釧路駅北側	砂礫、シルト	41.4
8	釧路町国営2丁目3番	木場東側	砂	42.0
9	木場1丁目	木場-1被害付近	砂	41.0
10	緑ヶ岡6丁目	斜面傾地現場付近	火山灰	26.3
11	新築町26番	気象庁	シルト	25.9

(3) 凍結深の観測結果 釧路市内の北海道教育大学釧路校および釧路ガス工場敷地で凍結深が連続観測されていた。城山1丁目の北海道教育大学釧路校の観測記録は図3であり、地震発生日の1月15日に凍結深は27cm(最大は4月15日に47.5cm)に達した。また、寿町の釧路ガス工場では1月15日には44cmであった。それらの地点における凍結深の経時変化をシミュレートして図4に示す。この計算結果は図3の実測結果をかなり良く近似している。

(4) 舗装面の影響 地震直後に道路などの地盤変状が少なかったことが報道されている。そこで、舗装構造として、85cmのアスファルト

舗装を想定して凍結深を計算した。その結果を舗装のない場合と比較して図5および表1に示す。舗装のある場合の凍結深は74cmとなり、凍結深が20~30cm深くなっていたと予想される。

(5) 斜面の影響 緑ヶ岡をはじめとした地盤変状は南斜面に多く見られ、凍結深が浅かったことが災害の発生に影響したと予想される。斜面の影響を推定するため、斜面角度によって

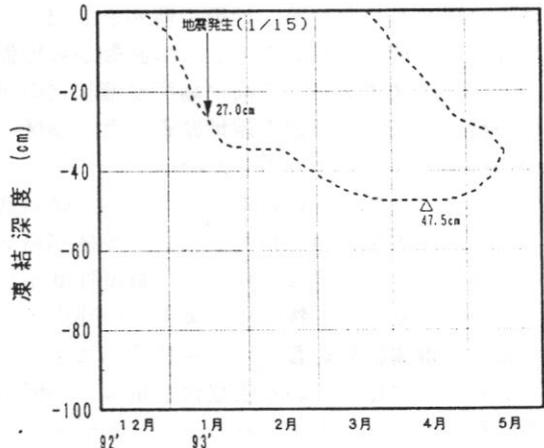


図3 凍結深の観測結果(北海道教育大学釧路校内)

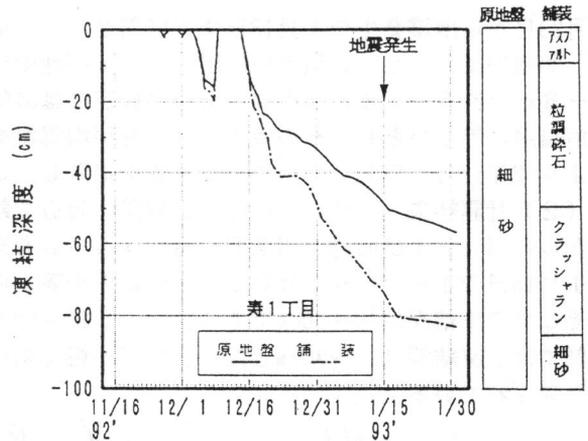
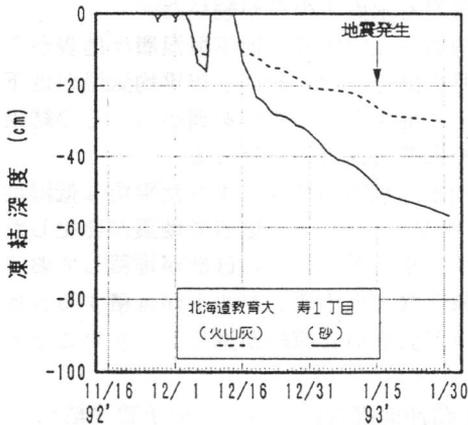


図4 予想凍結深(北海道教育大学、寿1丁目) 図5 舗装による予想凍結深の影響(寿1丁目)

日射量を割り増し、南斜面の場合の凍結深を計算した。斜面角度を15度と想定すると、1月15日の凍結深は22cmとなる。斜面向きにより条件が異なるとしても、平坦地形と比べ凍結深が約2割程度浅くなることが導かれる。

4. リモートセンシング画像による液状化危険度の分析

リモートセンシングの赤外線波長のデータから、土壌の含水状態や地表面温度を把握し得るといわれている。ランドサット衛星のTMセンサによる赤外波長の画像(バンド5~7の内、主にバンド7)から液状化地域をかなり抽出できるとされている^{6), 7), 8)}。ここでは、釧路市周辺で地震発生に近い冬季(土壌凍結状態)の画像データを分析して、画像の特徴を分析する。また、土壌凍結のない季節の画像を分析して、液状化危険地域を比較する。

(1) 冬季の画像 ランドサット5号は16日周期で同一エリアの画像を撮影し、地震前後では1993年1月6日と1月22日の画像が受信されている。1月22日の画像は釧路市周辺で全面的に雪に覆われてたため、地盤の情報を抽出する目的には適切でない。1月6日の画像は市街地にほとんど積雪がないので、この画像から地盤情報を読み取ることが可能となる。1月6日のバンド7画像でレベルの高い場所が液状化の可能性の高いところに対応すると予想し、その画像を持って釧路市周辺を現地踏査した。画像と地盤災害との関係を類推したところ、バンド7の画像には次の特徴がみられた。

- ①冬季の画像は他の時期に比べレベル値が低く、地表面の凍結を反映している。
- ②冬季の画像の中で相対的にレベル値が高い地域があり、日射量の強い斜面と対応がよい。
- ③構造物や舗装等により表土の被覆程度が高い場所では、地表面の情報分析が難しい。
- ④経済活動や人工物による画像の特異点があり、製紙工場操業や廃棄物処分場が対応する。

(2) 土壌凍結の影響 前項に述べたように、冬季のバンド7画像には土壌温度の影響が強く現れ、液状化に係わる土壌含水量などの情報に影響していると予想される。そこで、温度の影響を取り除くことを試みる。ランドサットTMセンサには熱バンド(バンド6)があり、主に地表面の温度情報を把握することができるとされている。そこで、熱バンドが低くてバンド7が高い地域を抽出したのが図6である。図6に示す地域は、熱以外の原因によりバンド7のレベルが高い地域として、液状化危険度の高いところを示すと推定した。抽出される地域には、地盤災害のあった釧路西港、東港、木場町などの地域が対応し、現地踏査の結果と矛盾しない。

(3) 秋季の画像 釧路市周辺で積雪と土壌凍結のない時期のリモートセンシング画像を同じように分析する。1990年10月29日に撮影された画像を用い、バンド7のレベル値の高い地域

を抽出して、バンド6(熱バンド)の高い地域を差し引いたものが図7である。ただし、港湾地域で、図6の画像と抽出地域が類似するようにしきい値を設定してある。秋期の画像では斜面でのレベル値の高まりはほとんど現れない。図7で抽出されたところの多くは郊外の湿原地域にあたる。市街地の抽出地域は冬季の画像とほぼ同様に分布する。市街地周辺では昭和、北園や、旧釧路川流域の貝塚四などの地域が抽出され、土壤凍結のない時期に地震に襲われたなら、液状化の可能性が高い地域であろうと推定される。別に1989年5月19日の画像も参照したがその抽出地域の分布は図7と似ている。

5. まとめ

'93年釧路沖地震発生時の釧路市周辺での予想凍結深を、熱伝導モデルにより求めた。予想凍結深は、土質条件の他にも日射量や被覆などの影響を受け、地盤災害の発生に深く関係することがわかった。

衛星リモートセンシングの赤外線波長帯画像を用い、冬季および秋季の液状化危険度の分布を導いた。もし表層地盤が凍結していなければ、今回程度の地震動により、釧路市周辺の湿原地域や河川流域などでかなり広範囲に液状化が発生したと推測される。ただし、リモートセンシングデータの利用は、構造物や舗装等により地盤が被覆されている場所、および斜面などで液状化の分析が困難なため、これらの研究課題を残している。

謝辞 調査に当たり御協力頂きました釧路ガス(株)常務取締役・小村三樹夫氏、北海道ガス(株)技術開発研究所・荒木寿夫氏に感謝致します。

参考文献 1)柳沢栄司・菅野高弘・村山良之：1993年1月15日釧路沖地震被害調査報告—2地盤被害、土木学会耐震工学委員会、1993.3. 2)奥村晃史・池田国昭・遠藤秀典：1993年(平成5年)釧路沖地震による地盤災害(速報)、地質ニュース、No.462,41-42,1993. 3)福田正己・石崎武志：平衡地表面温度による土壤凍結深推定モデル、雪氷、42-2,71-80,1980. 4)(社)北海道建築士会釧路支部：釧路市の地盤、1982. 5)久保宏：道路における凍上とその対策、土の凍結—その制御と応用—、土質基礎工学ライブラリー23、土質工学会、91-124、1983. 6)後藤恵之輔・坂元誠・沢園佳穂・陶野郁雄：液状化地盤のランドサットデータ特性、土質工学研究発表会講演集、Vol.21, No.2-1, 831-832, 1986. 7)栗田哲・岸田英明・北山浩平：液状化した地域におけるランドサットTMデータのバンド特性、土質工学研究発表会講演集、Vol.25, No.1, 119-120, 1990. 8)戸松征夫・奥石肇・佐藤靖彦・細川勝巳：リモートセンシングデータを利用した液状化危険度予測の基礎的研究、土木学会年次学術講演会、Vol.47, No.1, 80-81, 1992.

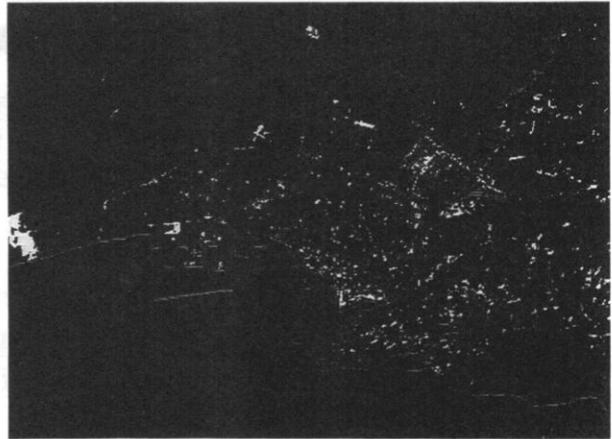


図6 冬季の画像を用いた釧路市周辺の液状化分析図
[二値化レベル値：バンド7>19 and バンド6<57]

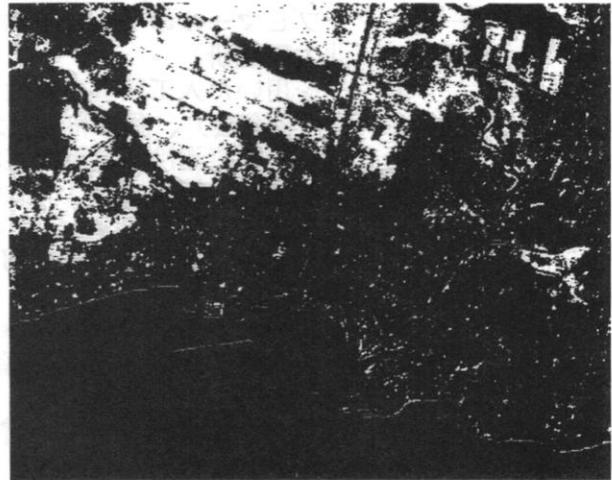


図7 秋季の画像を用いた釧路市周辺の液状化分析図
[二値化レベル値：バンド7>30 and バンド6<115]