

(95) 1993年釧路沖地震の被害箇所と常時微動の関係

(財) 鉄道総合技術研究所	中 村 豊
〃	富 田 健 司
(株) システム・アート・データリサーチ	渡 邊 保 宣
〃	西 永 雅 行

1. はじめに

1993年1月15日に発生した釧路沖地震は、釧路市を中心とした北海道東部地域に大きな被害をもたらした。この地震は100kmを越す深い地震であったが、震央位置が比較的陸地に近く、地震規模がM7.8と大きかったため、深い地震としてはめずらしく、大きな被害が各地に発生した。また、地表部分が0.5~1m程度の深さまで凍結している寒冷地で発生した地震被害ということで、通常とは異なった被害発生パターンも見受けられた。ここでは、釧路湿原を通過する釧網本線ならびに釧路市内を中心として、被害地域および無被害地域での常時微動を測定して、被害の有無と常時微動の関係について調査したので報告する。

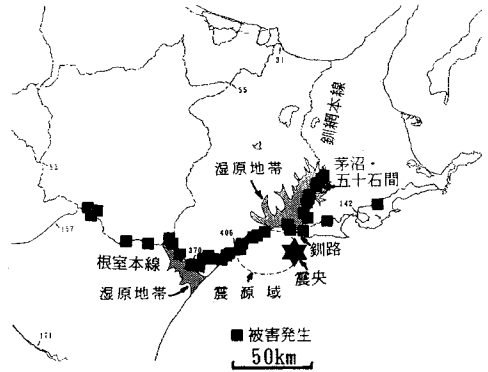


図-1 鉄道構造物の被害分布

2. 常時微動の測定点と周辺の地震被害

鉄道構造物の被害は、釧網本線と根室本線の主として盛土と橋梁に発生し(図-1)、鉄道構造物以外の被害は、震源に近い釧路市内とその周辺に集中している。ここでは、測定調査した箇所のうち、湿原地帯という極軟弱地盤と堅固な地盤が近接して明確に分かれている釧網本線茅沼・五十石間と釧路市内について、常時微動の測定点の位置とその周辺の地震被害の概要を述べる。

(1) 釧網本線茅沼・五十石間の鉄道盛土

この付近は釧路湿原の東端の湿原と台地の境界にあたる(図-1)。震央距離でおよそ40kmの地点である。鉄道構造物の種類としては、湿原地帯は高さ4m未満の盛土、台地部分は切取となっている。被害は主として盛土区間で発生している。被害の発生と常時微動の関係を明らかにするために、図-2に示したように、被害の発生した盛土区間から無被害の切取区間にかけて測定点を5か所設けた。G1~G3およびG5が盛土区間、G4が切取区間である。これらのうち、G1とG2が被害発生箇所にあたり、それ以外の測定点は無被害箇所である。この付近の盛土の被害は盛土陥没で、盛土天端が最大2m以上陥没している。

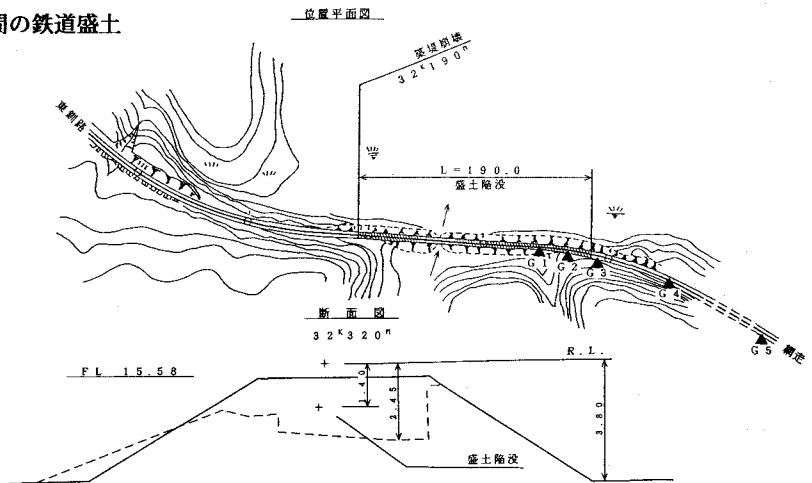


図-2 釧網本線茅沼・五十石間盛土被害区間

(2) 釧路市内

釧路市街地は震央距離で15km程度の距離に位置している。もともと海岸砂丘でふさがれた湿原だったところを埋め立てたり、海岸を埋め立てたりした地域に市街地が発達しており、地盤の液状化に伴うと思われる被害が市内各所で見受けられた。また、台地の宅地造成地では斜面崩壊が発生している。測定点

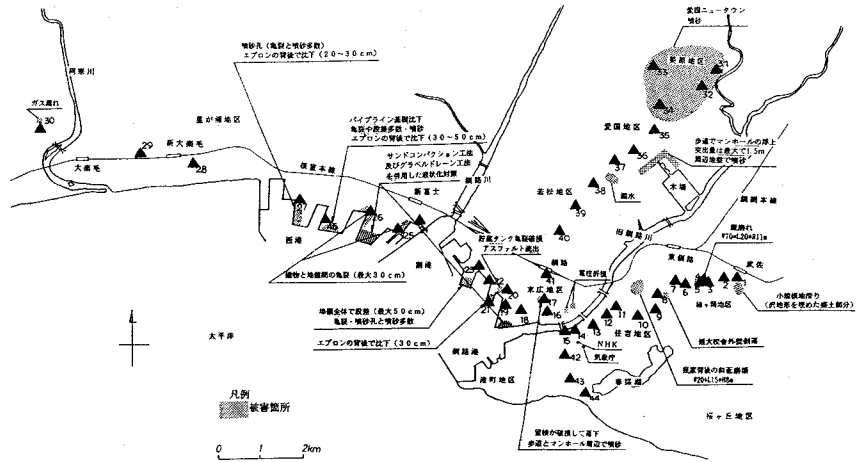


図-3 釧路市内常時微動測定箇所と被害分布

は図-3に示したように、市内に45か所設けた。測点1~10および42~44は台地、それ以外の測点は埋め立て地を含む低地になっている。被害発生を測点ごとに詳細にみると、測点3~5は崖崩れによる家屋の倒壊があった場所（緑ヶ岡地区）、測点17は市消防本部の望楼が破損して落下した場所、測点19~27および45は液状化現象が多くみられた埠頭を含む海岸埋め立て地、測点30は建物と地盤の境界でガス管が折れてガス中毒死亡者が発生した場所、そして測点31~34は液状化現象が多くみられた湿原を埋め立てた新興住宅街である。

3. 測定方法と解析結果

(1) 測定方法

常時微動の測定に使用した機器は、(財)鉄道総合技術研究所が開発した“PIC” --- 携行型振動測定器: Portable Intelligent Collector¹⁾である。3方向成分の振動を2組同時に測定することができる。測定振動範囲は1~20Hzである。ローパスフィルターは20Hzに設定した。3方向成分1組について、各測点で約41秒間(1/100秒間隔、4096サンプル)の測定を3回実施し、それぞれの記録から約10秒間(1024サンプル)のデータを取り出してFFTにかけた。得られた個々のスペクトルに対してハニング・ウィンドウを5回かけ、各成分ごとに3つあるスペクトルを平均して解析に使用した。

(2) 疑似伝達関数“QTスペクトル”²⁾

表層地盤の下にある堅固な基盤では、水平動と上下動の振動特性はよく似ている。表層地盤の振動特性によって水平動は増幅されるが、上下動はほとんど増幅されないことが分かっている。このため、地表面の上下動は基盤の上下動、すなわち水平動と類似した振動特性をもっていると考えられる。したがって、地表面で測定した常時微動の水平成分スペクトルを上下成分スペクトルで除したスペクトル比は、当該地点の表層地盤の伝達関数を近似していることになる。われわれはこのスペクトル比のことを“疑似伝達関数”，あるいは“QTスペクトル”(Quasi-Transfer Spectra)と呼んでいる。この手法を用いることにより、地表面の測定結果だけから表層地盤の卓越振動数や増幅倍率が推定できる。各測点のスペクトルから疑似伝達関数を求めた。

(3) 表層地盤変状評価指標“K値”³⁾

地盤の変形を表す物理量のひとつであるせん断ひずみに着目して、表層地盤の地震による変状の発生の際

易を判定する試みを行った。表層地盤と基盤の振動に関する模式図を図-4に示す。表層地盤の平均的なせん断ひずみ γ は $\gamma = A_p \times d / H$ 、常時微動から推定される表層地盤の増幅倍率 A_p は $A_p = V_B / V_s$ 、表層地盤の卓越振動数 F_p は $F_p = V_s / (4H)$ である。

$$\therefore H = V_s / (4 F_p) = V_B / (4 A_p \times F_p)$$

さらに、基盤加速度を a とすると、基盤変位量 d は $d = a / (2 \pi F_p)^2$ で表される。

$$\therefore \gamma = A_p \times a / (2 \pi F_p)^2 \times (4 A_p \times F_p) / V_B = (A_p^2 / F_p) / (\pi^2 V_B) \times a = K \times C \times a$$

ここに、 $K = A_p^2 / F_p$ 、 $C = 1 / (\pi^2 V_B)$ 。

この K が表層地盤変状評価指標“ K 値”としてわれわれが提案しているものである。各測点で推定された卓越振動数と増幅倍率から K 値を求めた。

(4) 解析結果

釧網本線茅沼・五十石間の崩壊盛土付近の各測点における卓越振動数と増幅倍率を図-5に示す。盛土区間は切取区間と比較して卓越振動数は低く、増幅倍率は大きくなっていることが分かる。各測点の K 値を図-6に示す。盛土区間は切取区間と比較して K 値は大きく、被害は $K \geq 6$ で発生していることが分かる。

釧路市内の測定結果について、同様に各測点における卓越振動数と増幅倍率を図-7, 8に、 K 値を図-9, 10に示す。卓越振動数は台地では高く、埋め立て地では極端に低くなっている。 K 値をみると、崖崩壊のあったG4は台地にありながら極端に大きくなっている。また、海岸埋め立て地や湿原埋め立て地は全般に K 値は大きく、無被害地域と明確に区分できることが分かる。やはり、 $K \geq 6$ が被害発生のみやすとなっている。

4. 考察

測点24の近傍には港湾技術研究所の強震計があり、今回の地震で315Gal (SMAC-B2 相当に変換された値)の最大水平加速度(NS成分)を記録している。測点24の増幅倍率が4.5倍なので、基盤加速度は70Gal程度であったことが推定される。また、基盤のS波伝播速度 V_B を600m/sと仮定すると⁴⁾、 $K = 6$ はほぼ 1×10^{-3} のせん断ひずみに相当する。これは地盤が弾性的挙動から塑性的挙動に移行しはじめるひずみ量に相当し、地盤変状がはじまる。したがって、今回の地震に対して釧路市とその周辺地域は、 K 値が6以上から6未満まで地盤被害の発生の可能性が評価できる。

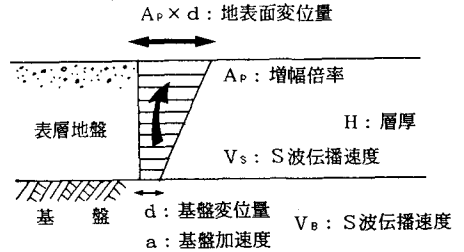


図-4 表層地盤と基盤の振動に関する模式図

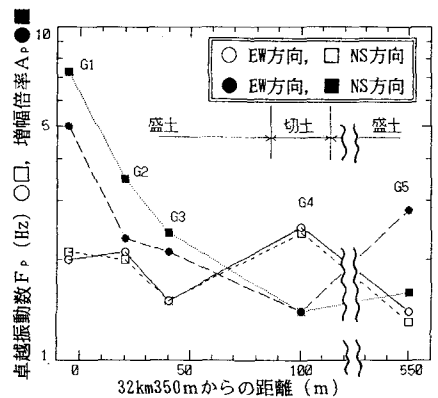


図-5 卓越振動数 F_p と増幅倍率 A_p
(釧網本線茅沼・五十石間盛土被害区間)

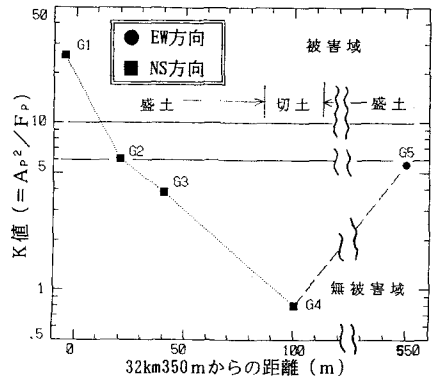


図-6 表層地盤変状評価指標“ K 値”
(釧網本線茅沼・五十石間盛土被害区間)

5. まとめ

今回の地震は厳寒期の北海道東部をおそった。この時期、地表部分が0.5~1 m程度の深さまで凍結している。そのため、通常とは異なった被害発生パターンも見受けられた。盛土の地震被害としては、法面が流れたり、全体が沈下したりする崩壊パターンが多いが、今回の被害では軌道部分だけが大きく陥没した例が見受けられた。これは盛土表面が凍結していたため、表面付近の土のみかけの強度があがっていたことによると思われる。この現象は盛土だけでなく一般の地盤でもみられ、被害が軽減化した

可能性がある一方被害の潜在化、被害の融凍期の顕在化が現実のものとなっている。この経験を活かすためにも、地表部分の凍結の影響を多方面から検討する再度の調査が必要であると考える。

参考文献

- 1) 中村・小島・新谷：携行型振動測定器PICの開発，土木学会第42回年次学術講演概要集I，1987年9月
- 2) 中村：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道総研報告，Vol. 2，No. 4，1988年4月
- 3) 中村・滝沢：常時微動を用いた地盤の液状化予測，土木学会第45回年次学術講演概要集I，1990年9月
- 4) 中村・滝沢：常時微動による表層層厚と基盤および表層地盤のS波速度の推定，鉄道総研報告，Vol. 4，No. 9，1990年9月

