



北海道浦河町の泥炭地盤震動特性と管路被害

渡部, 龍正
鋤田, 泰子
後藤, 浩之

(Citation)

土木学会論文集A1 (構造・地震工学), 68(4):I_244-I_252

(Issue Date)

2012

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2012 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003278>



北海道浦河町の泥炭地盤震動特性と管路被害

渡部 龍正¹・楢田 泰子²・後藤 浩之³

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1)

E-mail: 108t143t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院工学研究科准教授 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1)

E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

³正会員 京都大学防災研究所助教 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: goto@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

北海道では、軟弱な泥炭地盤が広がり、地震時には宅地や地中管路に被害が出やすい。北海道浦河町にも泥炭が堆積しており、1982年浦河沖地震や2003年十勝沖地震では建物被害だけでなく地中の水道管路にも被害が発生した。本研究では浦河町を対象にして、表面波探査から表層の泥炭地盤のS波速度や深さを推定し、泥炭地盤を有する断面の地震応答解析によって、表層の地盤ひずみを算出した。狭隘な谷筋に堆積した地盤の基盤面が不整形であることだけでなく、泥炭地盤のS波速度や深さが地盤ひずみに大きく影響することが明らかになった。さらに、基盤面の勾配が大きいところで過去の地震における管路被害が多く発生していることが分かった。

Key Words: peaty ground, seismic ground response, pipeline damage, shear strain

1. はじめに

日本の北部、特に北海道では、有機物質が分解より早い速度で生産されて植物遺体が分離不完全なまま堆積・形成された泥炭地が広がっている。泥炭は、石炭の成長過程の最初の段階にあるものと考えられ、炭素の含有率が低く、含水量も多い。北海道では、石狩平野や道北の留萌支庁、道東の釧路、根室支庁に泥炭が広く堆積している¹⁾。泥炭地では水はけが悪いだけでなく、軟弱な地盤であるため、地震時には、宅地の不等沈下などが引き起こされ住宅や地中管路に被害が出やすい。林ら²⁾による泥炭の動的変形特性に関する研究では、等価せん断剛性比とせん断ひずみの関係は、有効拘束圧ならびに過圧密比の違いに関係なく、ほぼ同じ非線形性があることが示されている。さらに、せん断ひずみが0.1%以下では、ほぼ一定の等価せん断剛性比や減衰率を示すが、1%を超えると急激に等価せん断剛性比が低下し、減衰率が大きくなることも示されている。北海道で、頻繁に地震が発生していることを勘案すると、泥炭地盤によって増幅された地盤震動が住宅や地中管路に与える影響を検討していくことは重要である。しかし、泥炭地でも宅地造成が進み、軟弱な泥炭地盤の堆積分布やその地盤震動特性は十分に明ら

かにされていないのが現状である。

本研究では北海道浦河郡浦河町を対象にして、この地域の泥炭地盤の震動特性を分析し、地震時に管路に与える影響について検討する。浦河町では、1982年浦河沖地震や2003年十勝沖地震で建物被害だけでなく水道管路にも被害が発生している。著者らは、これらの管路被害分布を把握するとともに、表面波探査によって地盤構造とせん断波速度を推定することにより、簡易手法によって地盤ひずみを算定し、泥炭地盤の震動特性を分析してきた³⁾。本研究では、より詳細に泥炭地盤での地盤ひずみを評価するために、有限要素法で表層の地盤応答を解析し、管路被害と比較することで、泥炭地盤の地盤震動特性を明らかにする。

2. 浦河沖地震、十勝沖地震における浦河町の管路被害

(1) 1982年浦河沖地震における水道管路被害

浦河沖地震は、昭和57年(1982年)3月21日午前11時32分に北海道日高支庁浦河町の南西20km沖合(北緯42度1分、東経142度6分)、深さ10kmで発生した地殻内地震で、マグニチュードは7.3で

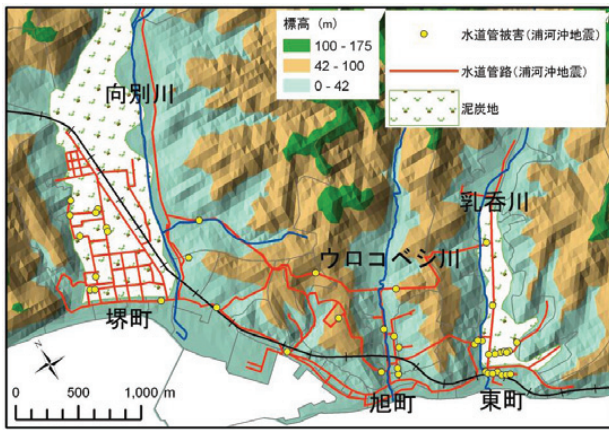

図-1 浦河沖地震時の送水管・配水管被害⁴⁾

表-1 浦河沖地震時の管路被害率

	管延長(km)	被害件数	被害率(件/km)
泥炭地	11.1	18	1.62
それ以外の地盤	34.2	25	0.73
小計	45.3	43	0.95

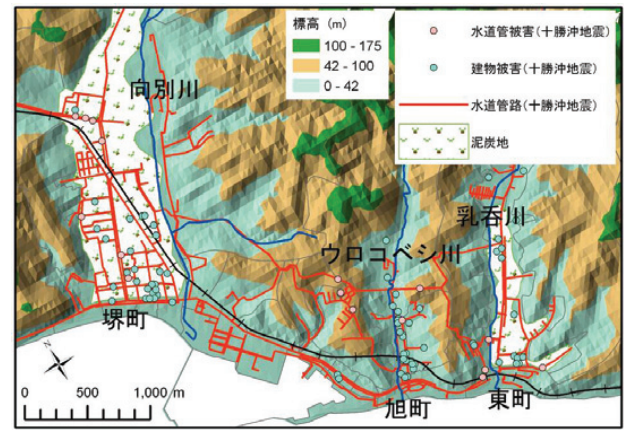


図-2 十勝沖地震時の水道管・構造物被害

表-2 十勝沖地震時の管路被害率

	管延長(km)	被害件数	被害率(件/km)
泥炭地	19.5	8	0.41
それ以外の地盤	38.3	9	0.24
小計	57.8	17	0.29

あった。

浦河沖地震時の浦河町の水道施設は、町の大部分の地域を受け持つ1つの上水道と3つの簡易水道があった。上水道の管路の70%弱が塩化ビニル管であり、20%強が石綿管であった。それ以外に、鋳鉄管と鋼管が敷設されていた。

地震による管路被害は上水道に集中しており、被害箇所数は上水道で152カ所、簡易水道全部で9カ所であった。上水道管路被害の内訳は、給水管107カ所、配水管43カ所、送水管2カ所であった⁴⁾。上水道の管種管径別の被害に着目すると、75mm以下のものが圧倒的に多く138カ所ある。被害の特徴として、給水管も含めて塩化ビニル管に104カ所と多数の被害が生じた。配水管では石綿管の被害が甚大で、計23カ所発生した。昭和37年頃に埋設された石綿配水管は地盤変状に追従できずに直管部やカラージョイント部で破損した。

図-1は高田・上野⁴⁾の送水管・配水管路網・被害箇所の図をGISでデジタル化し、標高分布⁵⁾と北方建築総合研究所⁶⁾が示す泥炭地盤分布を重ねて示したものである。図-1の範囲は浦河町の市街地であり、上水道の管路網分布の大部分である。図の左側から向別川、ウロコベシ川、乳呑川が流れており、向別川と乳呑川の河口には泥炭地盤が広がる。全被害152カ所中86カ所（配水管では全43カ所中19カ所）の被害が発生した浦河町東部の東町（乳呑川の河口周辺）は、両側泥岩に囲まれた泥炭地および河川氾濫原で、道路の亀裂沈下が至る所で見られ、水道管被害の大部分の原因は地盤変状によるものと考えら

れる。また、泥炭がない浦河町中部の旭町（ウロコベシ川の河口周辺）でも多くの被害が見られる。西部の堺町での被害は全て石綿管によるものであり、泥炭による軟弱地盤と脆弱管路が大きな被害要因と考えられる。

浦河沖地震における管路被害率を表-1に示す。管路被害率の算出は図-1に示した市街地の範囲のみで算出した。表中の泥炭地は図-1の泥炭地の範囲を示す。泥炭以外の地盤に対する泥炭地盤の管路被害率の比は2.2倍であり、管種によっても塩化ビニル管でその比は1.9倍と高く、石綿管で2.4倍になっている。泥炭地盤とその他の地盤では管種ごとに被害率の多寡に差があるが、総じて泥炭地盤での被害率が高く、泥炭地盤が被害を増大させる要因になっていると考えられる。

(2) 2003年十勝沖地震における水道管路被害

2003年十勝沖地震は、平成15年(2003年)9月26日午前4時50分に北海道襟裳岬東南東沖80km、深さ45km(北緯41度46.7分、東経144度4.7分)で発生したプレート境界地震で、マグニチュードは8.0であった。

十勝沖地震時の浦河町の水道施設は、以前よりも拡張された上水道の他に、町東部の日高幌別川周辺の東部簡易水道および2つの専用水道から構成されていた。簡易水道、専用水道に被害はなかった。上水道の送水管、配水管の被害は22カ所であった。そのうち、塩化ビニル管の被害は9カ所で、継手の抜け出しに関連する被害が多かった。一方、給水管の被

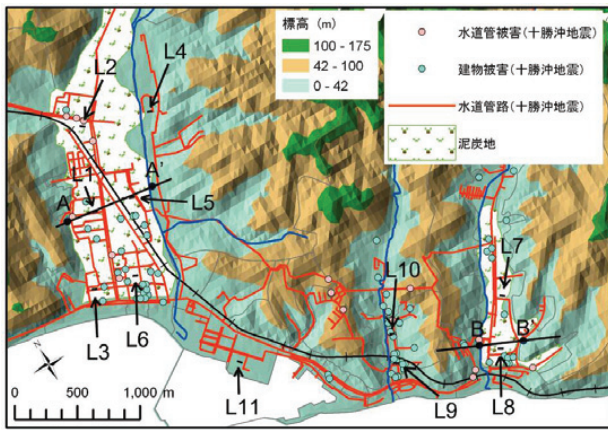


図-3 表面波探査実施場所

害は89カ所であった。給水管には塩化ビニル管およびポリエチレン管が使用され、昭和30年から40年に敷設されたものが多い。

図-2に十勝沖地震時の配水管路網と配水管被害箇所⁷⁾、建物被害分布⁶⁾を併せて示す。また、浦河沖地震の場合の分析と同様に、十勝沖地震時の図-2の範囲の管路被害率を表-2に示す。1982年浦河沖地震時に比べ、2003年十勝沖地震では管路被害が少なかった。その理由として、地震動はともに震度6と震度6弱ではほぼ変わらないと考えられるが、浦河沖地震時に泥炭層に存在する脆弱な老朽管が更新され、管路の耐震性が向上していたことが挙げられる。上水道・簡易水道の配水管総延長は浦河沖地震時に123kmであったのに対し、十勝沖地震時には147kmに拡張され、浦河沖地震時に20%あった脆弱な石綿管がダクタイル鋳鉄管に更新された。

泥炭地盤とそれ以外の地盤で被害率を比較すると、泥炭地盤での被害率が高く、その比は1.7倍である。管種ごとにみてもいずれの管種でも泥炭地盤の被害率の方が高い。したがって、管種によって全体の被害率は減少しているが、地盤種別によって相対的な被害率の比はほとんど変わらない。また、図-1、図-2の被害分布からも分かるように泥炭地盤の中央ではなく、泥炭地盤と他の地盤の境界周辺に被害が分布している。

3. 表面波探査での地盤構造の推定

(1) 表面波探査の概要

浦河町は表層に泥炭が堆積している場所があり、泥炭地盤の震動特性を明らかにするためには、泥炭地盤のS波速度とその堆積分布を把握する必要がある。ボーリング資料による地点ごとの分布だけではなく、空間的に捉えるため浦河町で表面波探査を

行った。

表面波探査は地盤を伝わる表面波(レイリー波)を測定、解析することで深度20m程度までの浅い地盤のS波速度構造を求める地盤探査技術である。近年では、表面波探査による地盤調査の応用、普及を目的として、複雑な地盤への適用性についても研究されている^{8),9)}。本研究で使用する機器は、応用地質株式会社のMcSEIS-SXW(MODEL-1127)である。高精度表面波解析プログラム(SeisImager/SW)と高精度屈折法地震探査解析プログラム(SeisImager/2D lite)を内蔵した地盤探査装置である。特長としてCMP解析により、短い測線でも水平方向の解析精度が優れ、二次元のS波速度構造が求められる。

観測では、受信機(ジオフォン)は4.5Hz速度地震計を用い、100Hzでサンプリングした。人工震源は10kgのカケヤで自由落下により発生させた。測線長は2m間隔で設置した受信器24チャンネルを固定展開させ、46mと一律に設定した。

解析では、得られた測定波形からレイリー波の伝播速度とS波速度の関係を直接的に求めることはできないので、測定波形間の相関解析を行う。S波速度分布の解析は、モデル速度構造について分散曲線を計算し、測定した分散曲線と計算した分散曲線が一致するように非線形最小2乗法を用いてモデルを繰り返し修正することで速度構造を求める1次元の逆解析である。2次元におけるS波速度構造を得るために速度測線に沿って連続的な探査を実施し、1次元の速度分布を連ねてS波速度断面図を作成している。

(2) 屈折法による補完

本研究で表面波探査を行う地域は泥炭が多く地盤が軟弱で、S波速度が遅いと考えられる。そのため、測線長が設定されると低周波数域の分解能が低く、深い地盤のS波速度構造を適切に捉えることが難しくなる。そこで、表面波探査において副次的に観測されるP波の屈折波の走時を利用して、屈折法により地表から第二層までの深度を算出し、表面波探査の解析結果の信頼性を確かめる。屈折法では水平の二層からなる地盤構造を仮定し、スネルの法則に基づき基振点からの直達波と屈折波が同時に到達するまでの走時の条件から第二層までの深さを得ることができる。

(3) 表面波探査の実施場所とその結果

表面波探査の実施場所の選定は、浦河沖地震および十勝沖地震において管路被害が多い地域を中心にを行った。管路被害が多い浦河町の西部で測線

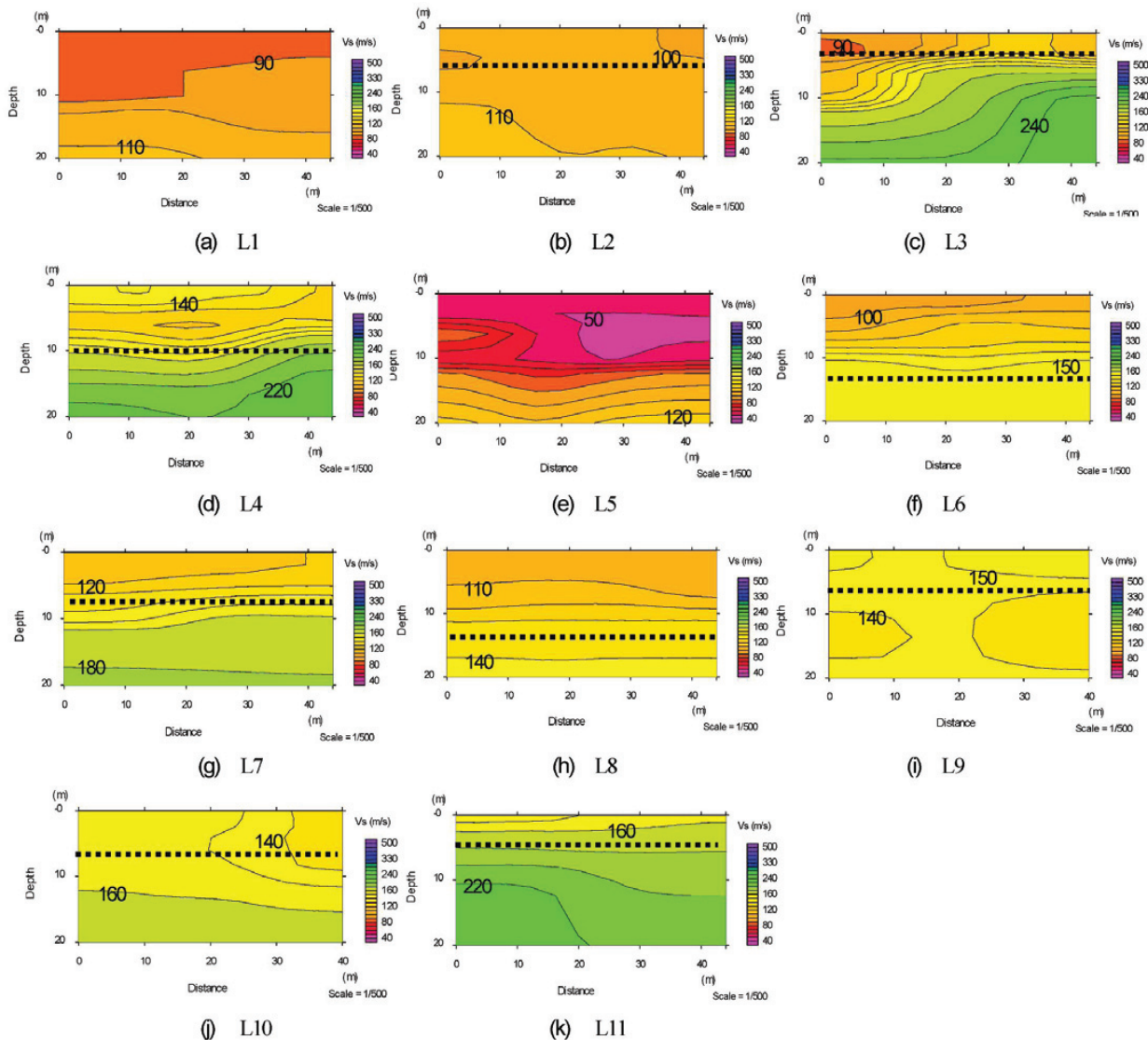


図-4 各測線の S 波速度構造 (破線は屈折法による第二層の推定位置, 図中の S 波速度 (m/s))

L1～L6 の 6カ所, 東部で測線 L7, L8 の 2カ所, 泥炭層は見られないが多くの住宅被害があった中部で測線 L9, L10 の 2カ所を設定した。また, (独) 防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET の地震計設置箇所にも測線 L11 を設定した。図-3 は 11 測線の位置を示す。測線の方向は, 谷筋に直交するように設けた。

図-4 に表面波探査で得られた各測線の S 波速度構造を示す。測線 L1, L2, L5, L8 は泥炭地中央にある測線であり, 表層の 5～10m は 50～100m/s と非常に遅い S 波速度の地盤が堆積している。図中の破線は屈折法により推定された第二層の深さを示しているが, これらの泥炭地盤では第二層が非常に深くある, または泥炭層の下層の S 波速度とコントラストが明瞭でないために得られない測線もあった。表面波探査結果の確認として用いた屈折法は, 実験環境から測線長が限られている他, 泥炭層の下層にも S 波速度が遅い地盤があるため, 泥炭層と下層の S 波速度

のコントラストが明瞭でない場合には, 第二層を推定できない。しかし, それ以外の地盤にある測線では S 波速度が変化するところに屈折法で評価された第二層が示されていることが確認できた。また, 測線の周辺のボーリング資料¹⁰⁾と比較すると, 泥炭層と下層の層境界と屈折法の第二層とはほぼ整合しており, ある条件のもとでは妥当な結果が得られたといえる。

以上の表面波探査の結果から, 表層の泥炭層の S 波速度は, 西部では 50～100m/s, 東部では 110m/s であり, 中部の表層地盤は 150m/s である。また泥炭層より下層の地盤も 110～150m/s 程度の非常に遅い S 波速度の層が堆積していることが調査により明らかになった。

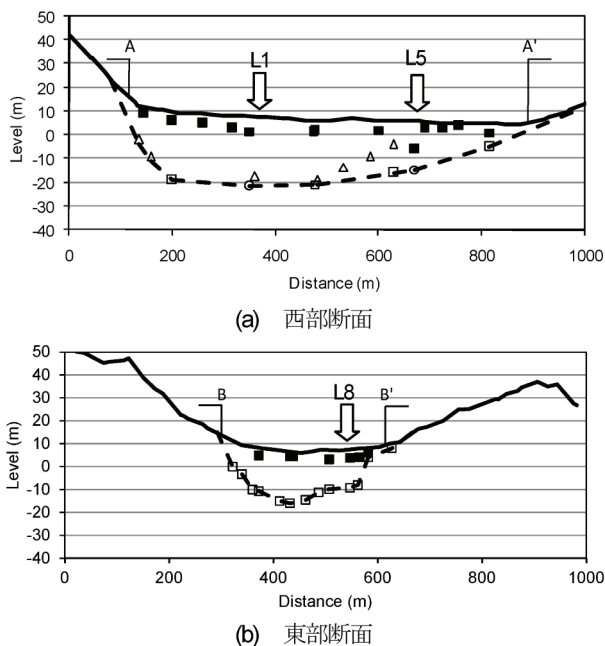


図-5 断面図 (注: 実線: 地表面推定線, 破線: 基盤面推定線, ■: 泥炭層底部 (ボーリング資料), ○: 基盤面 (表面波探査), △: 基盤面 (地盤図), □: 基盤面 (ボーリング資料))

4. 地震応答解析による地盤ひずみ

(1) 解析断面の設定

管路被害と比較するために、泥炭層を含む断面において地震応答解析によって地盤ひずみを算出する。管路被害や泥炭の分布状況から、西部と東部の谷筋直角方向に2つ断面を設定する。表面波探査の測線を通る断面を考え、表面波探査結果、断面上のボーリング資料¹⁰⁾と泥炭層・軟弱層の地盤図を用いて、表層厚および基盤形状などの地盤構造を推定する。断面の位置は図-3中に示す西部のA-A'断面と東部のB-B'断面とした。図-5に西部・東部断面の地層構造を示す。地表面、表層のS波速度が遅い泥炭地盤の底部の位置、基盤 ($V_s=300\text{m/s}$ 相当) の位置を示す。基盤層に関しては、表面波探査の結果と断面上のボーリング資料、泥炭層・軟弱層の地盤図をもとに設定した。地盤図の西部中央では軟弱層厚が浅いが、周辺のボーリング図を優先させて基盤を決定した。浦河町西部では泥炭層の深さにはばらつきがあるものの深いところで6m近くになる。一方、東部では表層の泥炭層は4m程度である。また西部では6カ所での表面波探査の結果において、50~100m/sとばらつきがあるものの非常に遅いS波速度の地盤が表層にあり、東部は西部に比べて表層地盤のS波速度は速く、110m/s程度である。さらに図-5から明らかなように1km以内の狭い範囲で工学的基盤面が20~30mと非常に深い、いわゆる基盤面が不整形な地盤をしている。また、表層の泥炭

層の下層地盤のS波速度も150m/s程度でそれほど速いとはいえない。つまり浦河の地盤は、不整形地盤の影響と軟弱地盤の増幅の影響をともに受ける環境を有している。

(2) 解析モデル

本研究では2次元SH波動場を対象として地盤応答解析を行う。P波速度を推定しP-SV波動場での検討も今後必要となるが、本研究では、まず前述のS波速度の利用と一般的な地盤の震動特性を明らかにすることに着目した。本研究での解析手法は層境界の形状を表現するために有限要素法 (FEM)¹¹⁾を用いる。ただし、本解析では地盤の非線形性は考慮しておらず、線形計算である。

図-5の断面を考慮して、西部のA-A'断面 (図-6)と東部のB-B'断面 (図-7)に示すように3層でモデル化する。層構成は表層から第1層を泥炭層、第2層を粘土層、第3層目を岩盤とする。解析では、不整形地盤の影響と泥炭の軟弱層の影響を区別できるように、表層の第1層が第2層と同じものを検討する。表-3に本研究の解析ケースを示し、解析ケースで用いる地盤諸元を表-4に示す。S波速度、密度はボーリングデータ、表面波探査の結果に基づき設定した。

地盤の要素は4節点のアイソパラメトリック要素を用いて、層境界地点では層境界深さに応じて鉛直方向の要素幅を変化させて設定した。断面両端では鉛直方向の要素幅が小さくなるため、要素幅を0.5mとした。本要素配置では、実体波に関して6Hzまでの周波数成分の精度が保証される。分析対象の断面長さは西部のA-A'断面で720m、東部B-B'断面で350mとし、解析対象範囲は断面両端の反射波の影響を考慮して、分析対象のそれぞれ1,800mずつ水平方向に延長させた範囲とした。また、入力波は西部は深さ42m、東部は32mに設定した弾性基盤から鉛直に平面波として入射させる。なお、本解析では地盤の減衰を考慮し、1次固有周期 (1Hz)、2次固有周期 (3.5Hz) についての減衰定数が3%²⁾となるようなRayleigh減衰を与える。

入力波には各断面に直交する成分の地震波形を入力するため、2003年十勝沖地震のK-NET浦河の地震波形から表層面で断面線と直交する成分の波をそれぞれ抽出し、地盤が線形であると仮定してK-NET浦河の地盤特性から、 $V_s=300\text{m/s}$ の基盤面に引き戻した波を入力波 (図-8)とした。また、図-9に各断面の入力波の加速度フーリエスペクトルを示す。図-9から入力波は1~2sで卓越している。

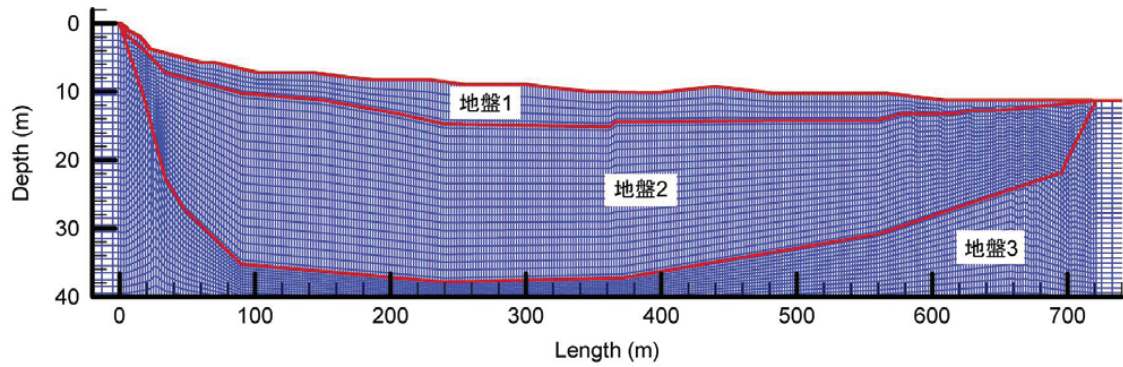


図-6 西部断面 (A-A'断面) のFEM モデル

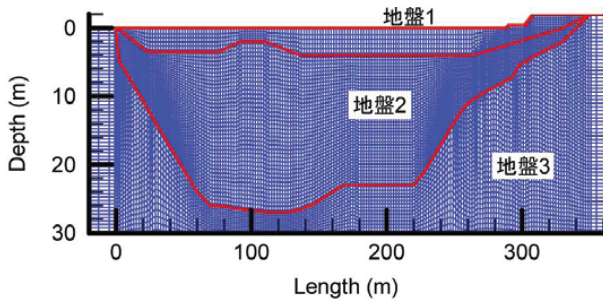


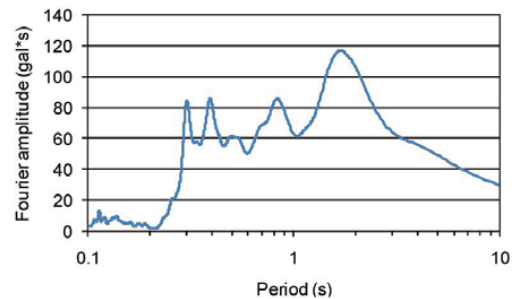
図-7 東部断面 (B-B'断面) のFEM モデル

表-3 解析ケース

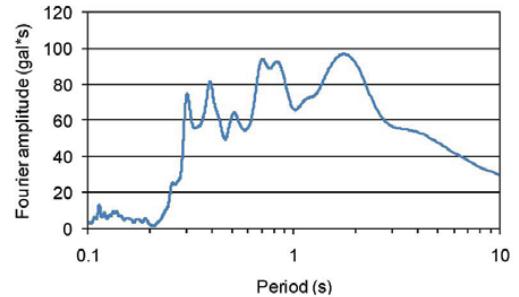
ケース	断面	地盤モデル		
		地盤1	地盤2	地盤3
CASE1	A-A'	a	b	c
CASE2	A-A'	b	b	c
CASE3	B-B'	d	e	f
CASE4	B-B'	e	e	f

表-4 地盤モデルの諸元

地盤モデル	a	b	c	d	e	f
$V_s(\text{m/s})$	80	150	300	110	150	300
$\rho(\text{kg/m}^3)$	1,500	1,800	2,000	1,600	1,800	2,000

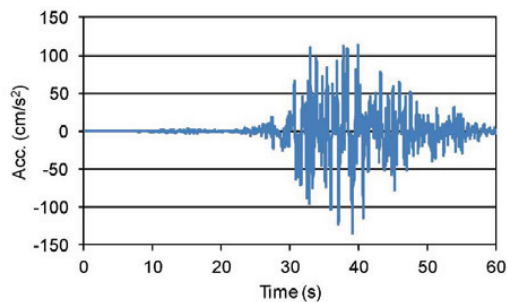


(a) 西部断面 (A-A'断面)

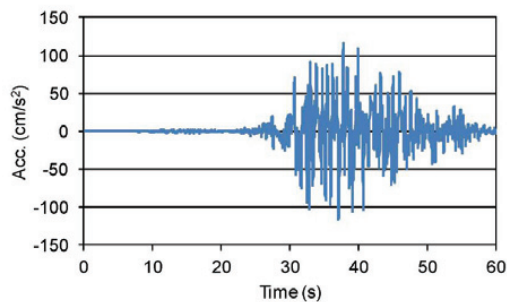


(b) 東部断面 (B-B'断面)

図-9 各断面の入力波の加速度フーリエスペクトル



(a) 西部断面 (A-A'断面)



(b) 東部断面 (B-B'断面)

図-8 入力波形

(3) 地盤ひずみ計算結果

図-10, 図-11に西部断面の地盤ひずみ分布を, 図-12, 図-13に東部断面の地盤ひずみ分布を示す. 西部・東部断面ともに, 基盤の勾配が急な部分で地盤ひずみも大きくなる. また, 東部断面の方が, ひずみが大きくなっていることがわかる. ひずみは, 西部・東部ともに最大0.03%程度であり, 泥炭はせん断ひずみが0.1%以下では, ほぼ一定の等価せん断剛性比や減衰率を示すことから, 地盤は線形領域にあると判断できる. 入力地震動が本研究で用いたものより大きくなれば, 線形解析以外の検討も必要になる.

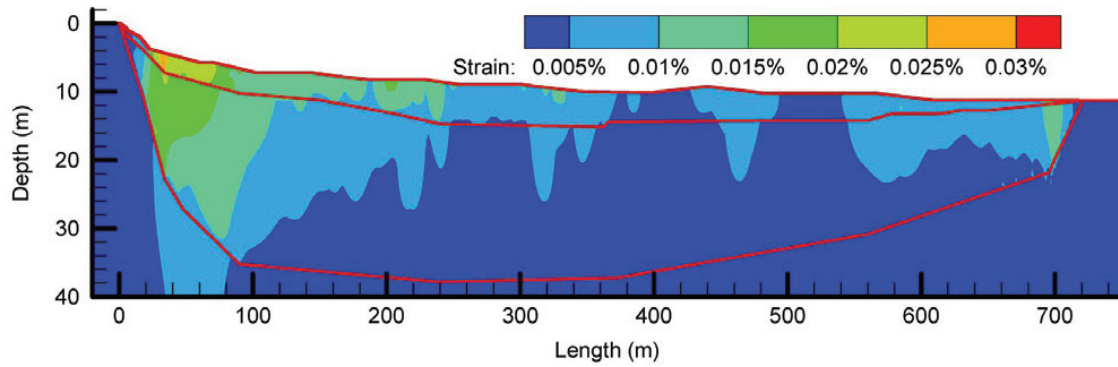


図-10 西部断面 (A-A' 断面) の CASE1 (泥炭考慮, 表層 $V_s=80\text{m/s}$) のひずみ分布図

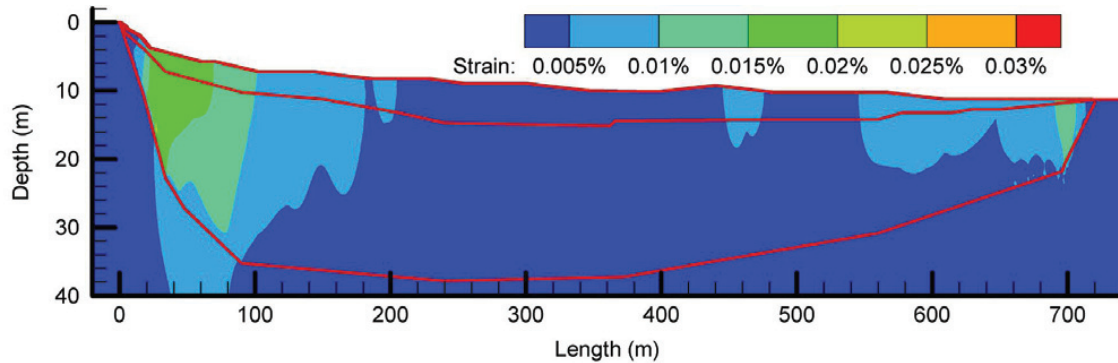


図-11 西部断面 (A-A' 断面) の CASE2 (泥炭なし, 表層 $V_s=150\text{m/s}$) のひずみ分布図

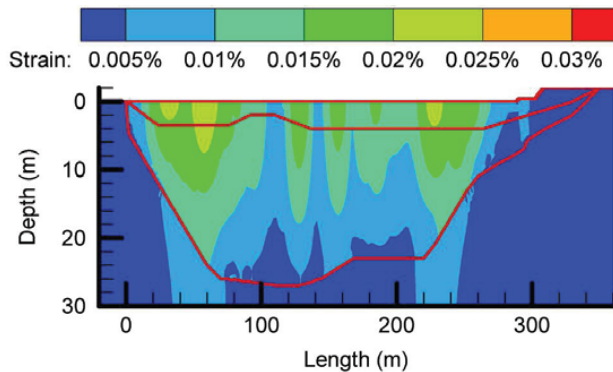


図-12 東部断面 (B-B' 断面) の CASE3 (泥炭考慮, 表層 $V_s=110\text{m/s}$) のひずみ分布図

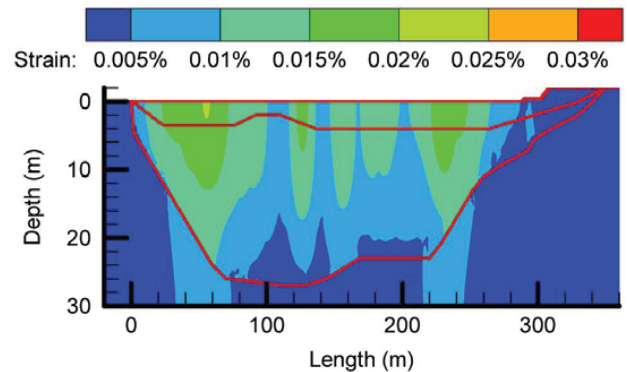


図-13 東部断面 (B-B' 断面) の CASE4 (泥炭なし, 表層 $V_s=150\text{m/s}$) のひずみ分布図

解析において発生した地表面でのせん断ひずみの最大値を図-14に示す。A-A'断面ではA点側でひずみが大きくなりA'点側に行くにつれて小さくなる。B-B'断面ではM字のようにひずみのピークが二つ現れる結果となった。CASE2とCASE4は表層の泥炭層の影響を除いた不整形地盤による地盤震動特性を示したものになる。ひずみのピークは工学的基盤の傾斜勾配が大きい所で強く出ている。この二者の比較では、CASE4の方が0.02%程度の大きいひずみが算出され、狭隘な谷筋に深く堆積した不整形地盤による影響が大きいといえる。西部では不整形地盤によるひずみは東部と比べて大きくない。しかし、CASE1とCASE2の比較より軟弱な泥炭地盤によってひずみが2倍程度増大している。これは、東

部と比べて泥炭地盤のS波速度が遅いことと泥炭層が厚いことが原因と考えられる。一方、東部は不整形の影響が強く、泥炭層の影響はあまり見られない。以上の結果から、表層の地盤ひずみに影響を与えているのは、主に西部は泥炭層と不整形地盤、東部は基盤の不整形地盤によるものと考えられる。

(4) 地盤ひずみと管路被害との関係

解析で得られた地盤ひずみと2.で分析した管路被害率の関係を図-14に併せて示す。管路被害率は、1982年浦河沖地震と2003年十勝沖地震の水道管路の被害総数を管路の延長総数で除した被害率(件/km)を用いる。また、被害率の算出範囲は各断面線から断面の奥行き方向と手前方向の両側250mずつ

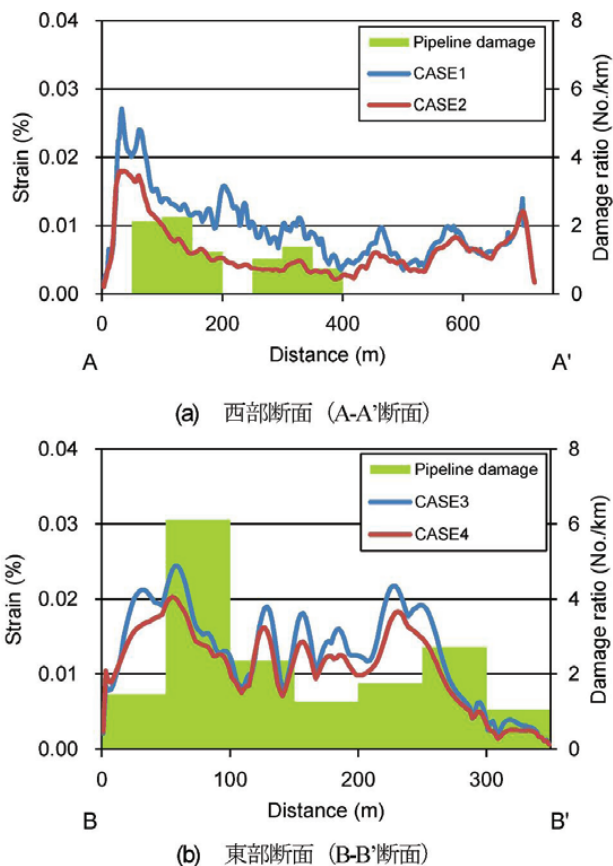


図-14 地表面のせん断ひずみと管路被害率

周囲 500m の領域を断面線方向に 50m ずつ移動させ、100m 幅で評価をした。断面の奥行き 500m の範囲には、地形の大きな変化がないため、奥行き方向の地盤ひずみの変化はないと仮定している。ただし、各領域で断面線が泥炭にあるが領域内にそれ以外の地盤を含む場合はその範囲を除外し、泥炭地盤のみの被害率が反映されるようにした。断面の範囲では、ダクトイル鋳鉄管と塩化ビニル管が同程度埋設され、管種の違いは大きくない。

管路被害でピークが現れている場所では解析結果の地盤ひずみも高く、これらの傾向は対応していることが分かる。また、東部の管路被害率は西部のものよりも高い。各対象範囲の管路延長は 1.5~4km で、管路被害率の絶対量で比較するには統計的に十分な量ではないが、被害率の大きな場所では、東部断面の 300~350m 付近を除いて地盤ひずみが大きくなっている。実際に管路被害では、管軸方向の抜けだけではなく、曲げによる継手からの漏水被害が発生しており、本研究で検討している震動モードとも符合する。管路被害分析において、泥炭層が被害を増大すると考えられたが、さらに基盤構造の変化によって引き起こされたひずみによって被害が増大し管路被害が集中した。

本研究の結果から、地震時の浦河町の地盤応答に

は不整形地盤だけでなく、泥炭地盤による影響を無視できないことが分かった。北海道の泥炭地域では表層泥炭層の S 波速度や深さが明らかになっていない地域が多く、今後の調査分析によって整理されるとともに、地震時にひずみが大きくなる地域については地中構造物への対策を講じていく必要がある。

5. まとめ

本研究では、北海道の浦河町を対象に表面波探査結果とボーリング資料に基づき地盤の地震応答解析によって地震時の地盤ひずみを計算し、泥炭地盤の影響や不整形地盤による影響を解析的に検討した。さらに管路に与える影響を過去の地震における管路被害分布から分析した。以下に本研究で得られた知見を述べる。

- ・浦河町における 1982 年浦河沖地震、2003 年十勝沖地震の水道管被害から、泥炭地盤の方が他の地盤よりも 2 倍近く被害が大きくなることがわかった。
- ・泥炭を含む地盤で表面波探査を行った結果、軟弱な泥炭地盤の S 波速度が $V_s=50\sim110\text{m/s}$ 程度にあることが示され、泥炭地盤の下層の地盤も 150m/s と比較的遅いことがわかった。
- ・表面波探査の屈折法を補完的に用いることで第二層までの深さの信頼性を確認することができた。また、この結果はボーリング資料の地質境界と整合的であった。
- ・浦河町の地盤断面の地震応答解析の結果、西部・東部ともに最大 0.03% 程度のひずみが算出された。ひずみに影響を与えているのは、主に西部は泥炭層と基盤面の不整形構造、東部は基盤面の不整形構造によるものと考えられる。軟弱な泥炭層の S 波速度や深さは地盤応答に大きく影響し、無視できないことがわかった。
- ・解析で得られた地盤ひずみと過去の地震による管路被害の分布はほぼ整合的であり、基盤の不整形が管路被害の分布に影響していることがわかった。

謝辞:本研究の遂行にあたり、京都大学防災研究所の澤田純男教授には多くの助言をいただいた。現地での表面波探査・解析では元神戸大学学部生の西勇哉氏の協力がある。さらに、研究の一部は、鹿島学術振興財団 2009/2010 年度研究助成「軟弱泥炭地盤宅地における総合的地震被害評価手法の開発(代表者 高井伸雄)」に支援されたものである。また、地震応

答解析には(独)防災科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET の地震記録を利用した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 北海道大学理学部地質学鉱物学教室：1968 年十勝沖地震の地変災害と地盤地質の関係, 第 5 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp. 135-136, 1968.
- 2) 林宏親, 西本聡, 梶取真一：泥炭の動的変形特性に関する検討, 地盤工学会北海道支部技術報告書第 50 号, pp. 79-84, 2010.
- 3) 楢田泰子, 渡部龍正, 西勇哉, 高井伸雄：北海道浦河町の泥炭地盤における震動特性と過去の管路被害との関係, 建設工学研究所報告集, 第 53 号, pp. 113-127, 2011.
- 4) 高田至郎, 上野淳一：1982 年浦河沖地震における水道管の被害と復旧, 建設工学研究所報告集, 第 24 号, pp. 83-102, 1983.
- 5) 国土地理院：数値地図 25000 (空間データ基盤), 2003.
- 6) 北海道立北方建築総合研究所：平成 15 年(2003 年)十勝沖地震災害調査報告, 2004.
- 7) Ueno, J., Takada, S. and Kuwata, Y. : Performance of water supply system during 2003 Tokachi-oki earthquake, Proceedings of the Third Taiwan-Japan Workshop on Lifeline Performance and Disaster Mitigation, Report Number: NCREE-04-006, Taipei, pp. 79-86, 2004.
- 8) 鈴木晴彦, 林宏一, 中山文也, 石田章司, 中山修：人口震源を用いた表面波探査の土木調査への適用, 物理探査学会第 105 回学術講演会論文集, pp. 9-12, 2001.
- 9) 楢田泰子, 斎藤栄, 武市淳, 宮田隆夫, 洪景鵬, 付小方：地表断層近傍の表面波探査による地盤構造 -中国汶川地震の事例-, 建設工学研究所報告集第 51 号, pp. 117-130, 2009.
- 10) 北海道立寒地建築研究所：浦河町, 静内町および三石町の地盤資料, 1983.
- 11) 後藤浩之, 澤田純男, 小林望, 山田浩二：K-NET 穴水観測点周辺地盤の地震応答解析, 土木学会地震工学論文集 第 30 巻, pp. 1-5, 2009.

(2011. 12. 12 受付, 2012. 3. 9 修正, 2012. 3. 9 受理)

SEISMIC RESPONSE OF PEATY GROUND AND PIPELINE DAMAGE IN URAKAWA, HOKKAIDO

Tatsumasa WATANABE, Yasuko KUWATA and Hiroyuki GOTO

Peaty ground deposited in the northern part of Japan, especially Hokkaido is so soft that it causes the ground deformation and uneven settlement to the housing lot and the damage to pipeline at an earthquake. This study focuses on Urakawa, Hokkaido, which experienced water supply outage due to the pipeline damage both in the 1982 Urakawa-off earthquake and in the 2003 Tokachi-off earthquake. Seismic response of peaty ground was analyzed based on the result of surface wave test investigated. Not only irregular subsurface ground including peaty ground and underlying soft ground but also softness of the peaty ground is considered to affect damage to the water pipeline.