

液状化により甚大な被害を受けた埋設管路網・敷設下の工学的基盤に作用した地震動の特徴

筑波大学 正会員 庄司学 NTT 東日本 (元 筑波大学大学院) 築地 拓哉

1. 目的: 東北地方太平洋沖地震で甚大な被害を受けた埋設管路網が敷設された埋設地盤は地下水位、透水特性、液状化層並びに非液状化層の力学的特性等において相違が見られたため¹⁾、このような地盤の地震動を励起させた入射波の特性の分析が重要である。本研究では、液状化被害が顕著であった茨城県神栖市を対象とし、不連続格子を用いた空間4次、時間2次精度の有限差分法²⁾を適用して埋設管路網・敷設下の工学的基盤 ($V_s=500\text{m/s}$ 相当) に作用した地震動を推計しその特徴を分析した。

2. 有限差分計算におけるモデル: Yagi and Fukahata³⁾による走向200度、傾斜角12度、すべり角が図1のように変化する計250個のサブフォールトで構成された震源断層モデルを採用した。各サブフォールトのモーメント速度がゼロ以下となる時間はその値がゼロと仮定し、6秒幅のSmoothed ramp functionを3秒おきに35個並べて震源時間関数をモデル化した。地下構造の物性値は全国1次地下構造モデル⁴⁾により設定し、 V_s が3km/sを越える地震基盤面を計算領域で走査し確認することで不連続面の深度を8kmとした(図2)。最上層における V_s は500m/sで上限周波数を0.5Hzと定めた結果、計算の安定性の観点から、不連続面以浅(Region I)は水平方向200m四方、鉛直方向100mの格子サイズ、不連続面以深はその3倍の格子サイズとし、吸収境界は反射波の吸収率と格子数の関係を踏まえ、その格子数を文献²⁾で推奨された値の2倍、減衰定数をその値の1/2とした(表1, 図2)。

3. 強震観測波形との比較: 計算波と観測波⁵⁾を比較した結果が図3である。観測波に対しては、加速度波形及び速度波形ともに、通過帯域0.01Hz-0.4Hz、阻止帯域0.005Hz以下及び0.6Hz以上、通過帯域リップル3dB、阻止帯域減衰量10dBのバターースフィルタを施した。計算波のうなりが顕著な場合にのみ上記の通過帯域の下限0.01Hzを0.02Hzあるいは0.03Hzに高めた。計算波は震源断層の破壊開始時刻を0秒として算出されているため、観測波もそれに合わせて両者を比較している。

4. 計算波形の特徴: 水平2方向の速度波形より最大値を抽出しその2軸合成値を最大速度 V_s^* と定義して、その空間分布を推定した(図4)。非液状化領域と液状化領域に区分して V_s^* を求め、沖積平野に敷設されたダクタイル鋳鉄管DIPの被害率 R_N との関係を分析した(図5)。以降、図5に示された知見と、文献1)で推定されている対象領域の地表面最大速度PGVとの関係を論じる。液状化領域に位置し地表面において $30 \leq PGV < 35\text{cm/s}$ と推定されている深芝南4丁目及び5丁目では $6 \leq V_s^* < 8\text{cm/s}$ であった。地表面において同程度の地震動強さ($25 \leq PGV < 35\text{cm/s}$)と推定されている知手中央10丁目では $8 \leq V_s^* < 10\text{cm/s}$ であった。地表面の地震動強さが相対的に強い($45 \leq PGV < 50\text{cm/s}$)とされる息栖地区では $4 \leq V_s^* < 6\text{cm/s}$ であり、上記の深芝南地区より V_s^* が小さくなった。地表面の地震動強さが最も高く($50 \leq PGV < 55\text{cm/s}$)、かつ、最大の被害率 R_N を示した堀割地区においては息栖地区と同様に最も低い $4 \leq V_s^* < 6\text{cm/s}$ となった。非液状化領域に位置し地表面において $25 \leq PGV < 30\text{cm/s}$ の地震動に曝されたと推定される知手中央9丁目では上記の知手中央10丁目の V_s^* よりやや大きくなり $8 \leq V_s^* < 10\text{cm/s}$ となった。深芝南3丁目はPGV、 V_s^* ともに、液状化領域に位置する深芝南4丁目及び5丁目と同一のレベルとなった。対象領域の工学的基盤相当位置における速度波形のフーリエスペクトルを図6に示す。堀割地区及び息栖地区においてはEW成分のフーリエ振幅が0.3Hz近傍とともに0.02Hz近傍で卓越しているため、管軸がNS方向に主として敷設された管路網とその埋設地盤が一体的に、50秒程度の極めて長周期な成分の入射波によってEW方向に励振された可能性がある。一方、知手中央地区の地盤地震動には、EW、NSの両方向において50秒程度の長周期成分よりも3秒程度の長周期成分の方が寄与したと示唆される。

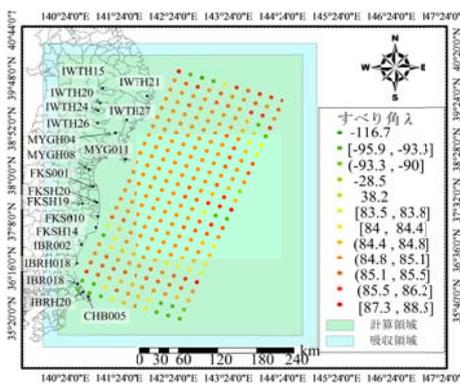


図1 震源断層モデルと強震観測点の位置

表1 計算条件

設定項目	設定値	
	Region I	Region II
上限周波数	0.5Hz	
サンプリング数	40000	
サンプリング周期	0.005[s]	
計算時間	200[s]	
メッシュサイズ	200*200 *100	600*600 *300
Region I と II の境界	8km	
吸収境界	24km	
格子数	120	40
吸収境界領域の減衰定数	0.0025	0.0075

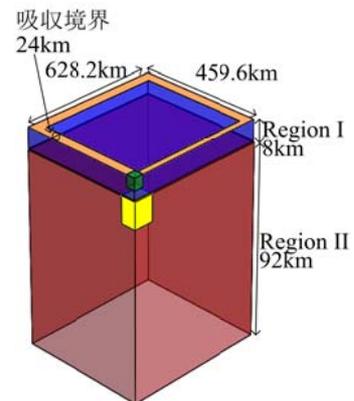


図2 計算領域

キーワード 2011年東北地方太平洋沖地震, 埋設管路網, 工学的基盤, 入射波, 液状化
 連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学システム情報系 TEL029-853-6190

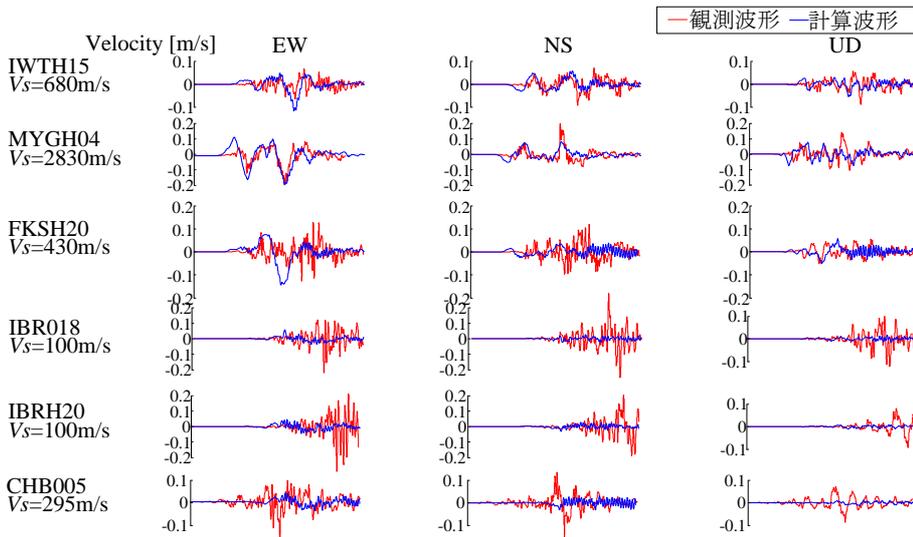


図3 強震観測点における計算波形と観測波形との比較

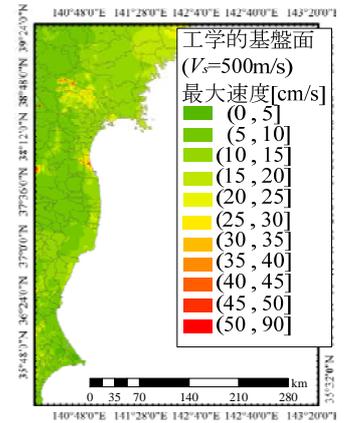
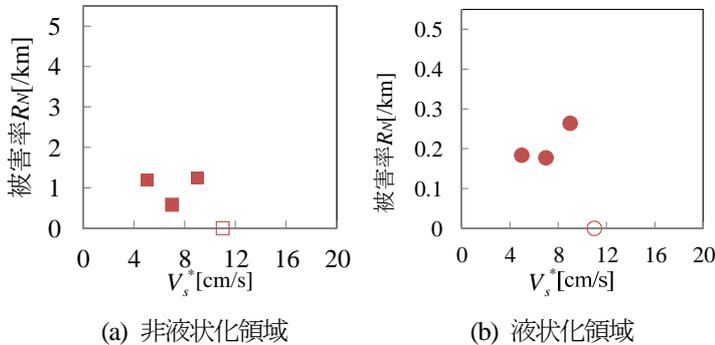
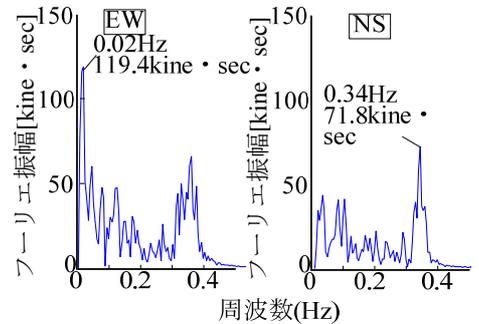


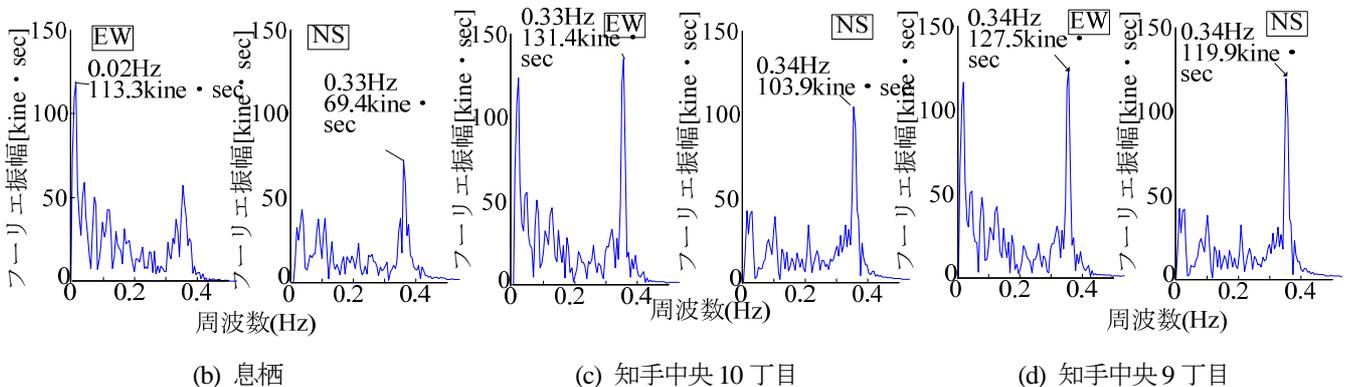
図4 工学的基盤面の最大速度 V_s^*



(a) 非液化領域 (b) 液化領域
図5 ダクティル鋳鉄管 DIP の被害率 R_N と工学的基盤面の最大速度 V_s^* との関係



(a) 堀割地区



(b) 息栖 (c) 知手中央10丁目 (d) 知手中央9丁目
図6 管路被害が甚大であった対象地区の工学的基盤における推定地震波のフーリエスペクトル

5. まとめ: 甚大な液化化被害を受けた埋設管路網・敷設下の工学的基盤 ($V_s=500\text{m/s}$ 相当) に作用した地震動は、対象領域とした茨城県神栖市において NS, EW のいずれの水平方向にも 50 秒及び 3 秒程度の長周期成分が卓越しており、これらの長周期成分が工学的基盤以浅の地盤震動に寄与するメカニズムが対象地区ごとに異なる可能性が示唆された。埋設管路の管軸方向とその被害モード等の観点を絡めて詳細な分析を今後行う予定である。

謝辞: 本研究を実施するに当たり、茨城県神栖市の液化化対策検討委員会の皆様には液化化被害のメカニズム等に関して多々御教授いただきました。本研究は、筑波大学プロジェクト「巨大地震による複合災害の統合的リスクマネジメント」(研究代表者: 八木勇治准教授, 研究分担者: 庄司学) の助成を一部得て実施され、八木勇治准教授には震源断層モデルについて貴重な御助言を頂きました。防災科学技術研究所の青井真氏には、有限差分計算における不連続面や吸収境界条件の設定等について多くの御指導を頂きました。

参考文献: 1) 例えば, 築地拓哉, 寺嶋黎, 庄司学, 永田茂: 2011 年東北地方太平洋沖地震において被災した上水道配水管網の被害の傾向—茨城県潮来市および神栖市の事例分析—, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集第 32-b 巻), pp.I_260-I_279, 2013. 2) 青井真, 藤原広行: 不連続格子を用いた 4 次精度差分法による波形合成, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol.1, pp.875-880, 1998. 3) Yagi, Y. and Fukahata, Y.: Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophysical Research Letters*, Vol.38, L19307, 2011. 4) 地震調査研究推進本部: 全国 1 次地下構造モデル, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/ 5) 防災科学技術研究所: 強震観測網 (K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>