

電線共同溝の液状化発生時の挙動について

前田 利隆¹

¹近畿地方整備局 京都国道事務所 計画課 (〒600-8234 京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

電線類地中化の目的の一つに「ライフラインの信頼性向上」が掲げられているが、大地震が発生した際に液状化等により電線共同溝の設備が被害を受けると、断線箇所等の特定にも時間を要し復旧が遅れることも懸念される。そこで、大地震発生により液状化が生じた際の電線共同溝の挙動メカニズムの検討と液状化対策の立案とを行った。検討の結果、地下水位が高いと電線共同溝は被害が生じやすいが、液状化対策を行えば被害を低減できる結果を得た。

キーワード 電線共同溝, 液状化検討, 液状化対策, 防災

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、軟弱な地盤において液状化現象が発生し、道路、ライフライン等に多大な被害をもたらした。これまで兵庫国道管内の電線共同溝は、兵庫県南部地震時においても被災箇所は少なく安全であると考えられてきた。しかし、東北地方太平洋沖地震のように地震動の継続時間が長いと広範囲に渡って液状化が発生することが考えられ、兵庫国道管内の電線共同溝においても被災する可能性がある。

本検討では、電線共同溝特殊部と管路部とを対象として、入力地震動の違いによる液状化に伴う地盤変状を解析した。なお、入力地震動は直下型地震と海溝型地震とを採用した。さらには地下水位の違いによる地盤変形量の差異についても検討した。

ことが考えられている。電線共同溝の被害事例が少ないことから明確な結論は得られないが、千葉県浦安市の被災事例から推測すると、電線共同溝構造物は浮き上がりよりも沈下により被災する可能性が高いのではないかと考えられる。その理由として、電線共同溝特殊部(人孔部)の掘削深さは1.7m程度と浅く、液状化に伴う浮力の増加や特殊部底部への土水の廻り込みが少ないことが考えられる。

表-1 通信ケーブル被災状況¹⁾(兵庫県南部地震時の神戸地区)
(100km)

	被災率	被災延長(総延長)
架空線	2.4%	1.0(41.5)
地中線	0.03%	0.007(24.0)

注)被災率はケーブル総延長に対する被災延長の割合 NIT資料

表-2 電力ケーブル被災状況²⁾(東北地方太平洋沖地震時の浦安市)

	地上設備 被害	マホル 被害	ハドホル 被害	地中ケーブル 被害
被害無	97.3%	83.2%	52.1%	97.3%
新町	1.6%	8.4%	12.5%	1.2%
中町	1.1%	8.4%	35.4%	1.5%
元町	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

東京電力提供

2. 既往の電線共同溝の被害事例

(1) 兵庫県南部地震

表-1に通信ケーブル被災状況を示す。1995年1月に発生した兵庫県南部地震における神戸地区の地中線(通信ケーブル)の被災率は0.03%程度となっており、被害は少ない状況にあった。

(2) 東北地方太平洋沖地震

表-2に電力ケーブル被災状況を、図-1に地上機器の被災状況を示す。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震における千葉県浦安市の地中線(電力ケーブル)の被災率は2.7%となっており、兵庫県南部地震よりも被災率が高い。これは、地盤の液状化による被害が大きかった



図-1 地上機器の被災状況²⁾

3. 検討条件

(1) 検討方法

対象構造物は、特殊部と管路部とした。地震応答解析手法には、液状化検討への適用事例が多いFLIP(Finite Element Analysis Program for Liquefaction Process)³⁾を用いた。

(2) 電線共同溝のモデル化

解析モデルは、管路部と特殊部とをモデル化するものとした。管路部については、電線共同溝は径の小さい管が多数埋設されているが、計算の煩雑性や管同士を固定していないことを考慮し、埋設されている管の代表的な一つをモデル化することとした。特殊部については、地上機器がある場合と無い場合とを想定した。

a) 管路部

図-2に管路部のモデル図を示す。管路部のモデルは、φ100のSVP管を採用した。なお、現状の配管形状については、兵庫国道管内で一般的に用いられている条数を採用している。

b) 特殊部

図-3に特殊部のモデル図を示す。現状の特殊部形状については、兵庫国道管内で一般的に用いられているプレキャストコンクリート造を採用している。

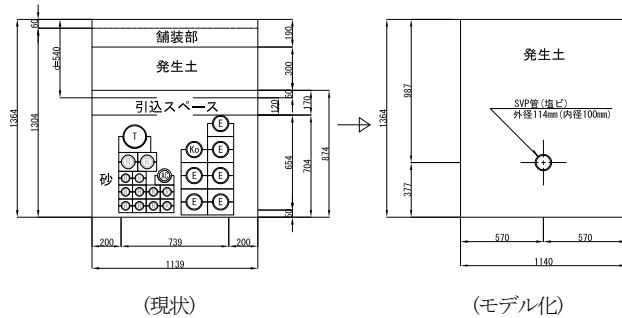


図-2 管路部のモデル化

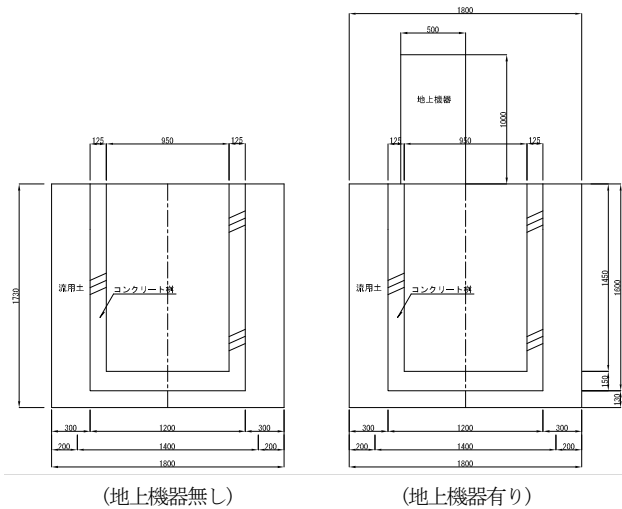


図-3 特殊部のモデル化

(3) 地盤条件

図-4に採用ボーリング柱状図を、表-3に地盤物性値を、表-4に液状化パラメータを示す。検討箇所は、電線共同溝が埋設されている兵庫国道事務所管理の直轄国道とし、兵庫県南部地震時に液状化が発生した東灘地域のボーリングデータを採用した。採用したボーリングデータには土質調査資料が無いことから、解析に用いる物性値・液状化パラメータについてはN値から想定するものとした。

なお、道路橋示方書(2002,日本道路協会)に基づき各深度でのFL値を算出し、その値を深さ方向に重みをつけて足し合わせたPL値を求めた結果、PL値は6.65となった。このことから液状化危険度が高い地盤であることがわかる。

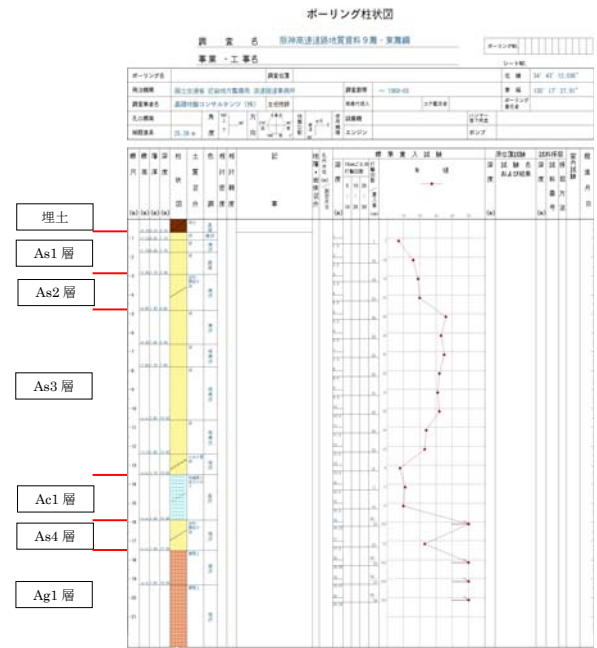


図-4 採用ボーリング柱状図⁴⁾

表-3 地盤物性値

	湿潤密度 (t/m ³)	基準有効拘束圧 (kN/m ²)	基準初期せん断弾性係数 (kN/m ²)	基準初期体積弾性係数 (kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	間隙率
埋立土	1.9	98.0	41850	109100	—	37.9	0.45
砂質土(As1層)	1.9	98.0	109800	286300	—	41.6	0.45
砂質土(As2層)	1.9	98.0	143100	373200	—	43.0	0.45
砂質土(As3層)	2.0	98.0	153500	400300	—	42.9	0.45
粘性土(Ac1層)	1.8	98.0	18440	48080	—	30.0	0.55
砂質土(As4層)	2.0	98.0	150100	391300	—	42.3	0.45

表-4 液状化パラメータ

	液状化パラメータ					
	φ _p	S1	W1	P1	P2	C1
埋立土	28	0.005	0.848	0.5	1.127	1.541
砂質土(As1)	28	0.005	12.3	0.5	0.735	6.227
砂質土(As2)	28	0.005	14.1	0.5	0.643	7.493

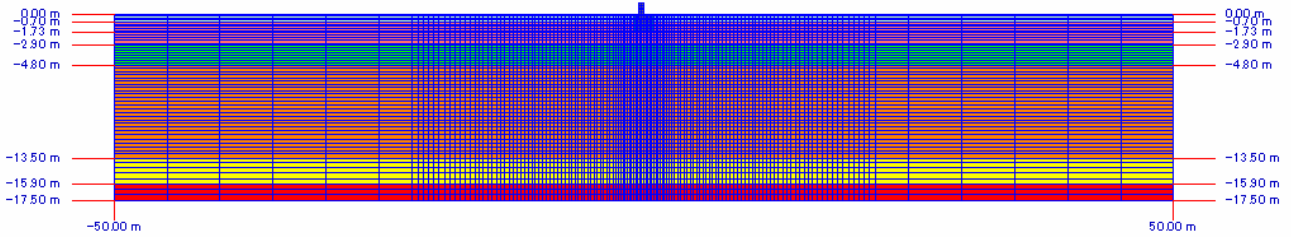


図-5 解析モデル図(特殊部全体図)

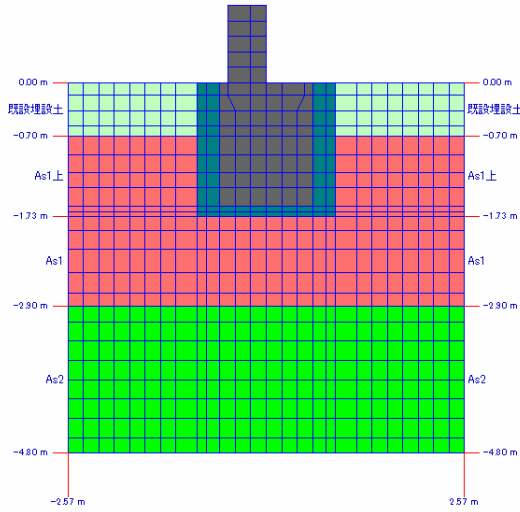


図-6 解析モデル図(特殊部拡大図)

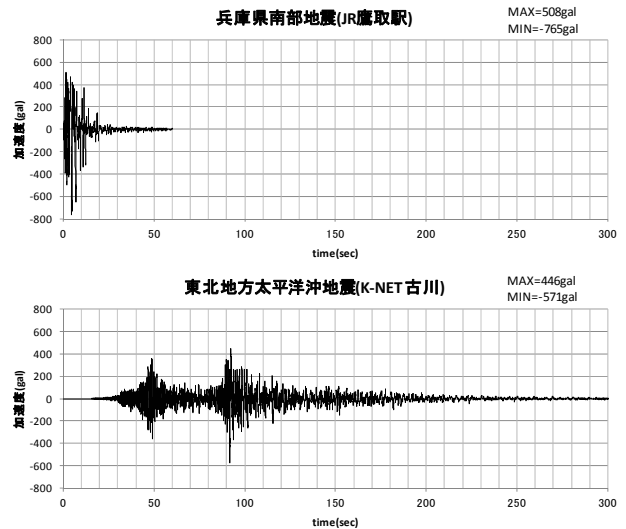


図-8 地震波形(上段: J R鷹取駅, 下段: K-NET古川⁵⁾)

(4) 解析モデル

図-5に解析モデルの全体図を、図-6に解析モデルの拡大図を示す。解析モデルはAs1層を工学的基盤として、幅100.0m×深度17.5mを解析範囲とした。

(5) 入力地震動

図-7に加速度応答スペクトルを、図-8に地震波形を示す。地震動は、直下型地震と海溝型地震とを検討するものとした。直下型地震は兵庫県南部地震のJR鷹取駅で観測された地震波形を、海溝型地震は地震動の継続時間が長い東北地方太平洋沖地震のK-NET古川⁵⁾の地震波形を用いた。この2つの波形は、0.3sec~0.8secの短周期と3sec~10secの長周期は近似している。

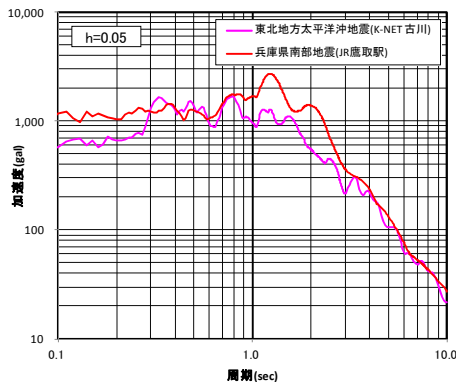


図-7 加速度応答スペクトル

(6) 排水沈下量

地震後の地盤高さは、以下により求められる。
 地震後地盤高=現状地盤高-地震沈下量-排水沈下量
 FLIP解析は液状化に伴う排水沈下量は算出できないことから、別途以下のようにして求めた。各土層の残留過剰間隙水圧比より、過剰間隙水圧消散後の体積ひずみと残留過剰間隙水圧比の関係⁶⁾を用いて過剰間隙水圧消散後の体積ひずみを求め排水沈下量を算出する。なお、今回の解析では、1)地震動の違い、2)地下水水位の違い、3)構造物形状の違い、4)土質状況ならびに埋設状況の違いについて解析を行い、地下水水位が低い場合においては、排水沈下量がほとんど生じない結果を得ている。

4. 検討結果

(1) 解析結果

表-5に解析結果一覧を、図-9および図-10に地震にともなう過剰間隙水圧比の代表的な解析結果を示す。

直下型地震と海溝型地震との違いについて、海溝型の地震動は直下型の地震動と比較して液状化が広範囲となった。これは、海溝型の地震動は長時間にわたって地盤を揺らすため、液状化しにくい層も液状化したことが考えられる。

降雨直後の地盤状況を想定した地下水位が高い (GL-0.0m) 場合と平常時の地盤状況を想定した地下水位が低い (GL-1.73m : 特殊部床付け位置) 場合とその中間の地下水位 (GL-0.70m) との違いについて、解析の結果、地下水位が高い場合は液状化の発生にともなって電線共同溝の変形量は大きくなったが、地下水位が低い場合は液状化が発生していないことから電線共同溝の変形量は小さくなった。このことから、本解析においては、地下水位の変動が電線共同溝の変形量に大きな影響を与える結果となった。

管路部と特殊部との形状の違いについて、解析の結果、管路部よりも特殊部(地上機器有り)の変位が大きい結果となった。これは、特殊部(地上機器有り)は現状地盤と比較して重量や強度が異なることから周辺地盤が歪みやすく、液状化が進行して地盤変位量が大きくなったものと考えられる。

参考解析として地盤が傾斜している場合(緩い砂質土の層厚が大きくなる場合)の解析を実施した。図-10および表-6に解析結果を示す。解析の結果、特殊部は傾斜し、沈下量も大きくなった。これは、過去の液状化被害例と類似した傾向となっている。

以上より、下記に示す結果が得られた。

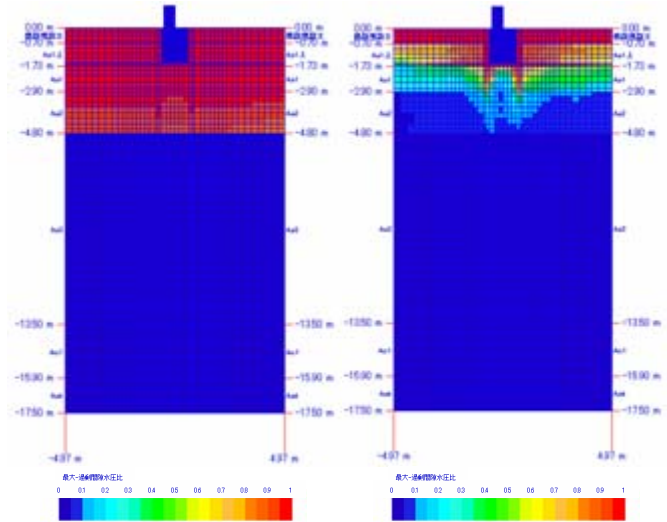
- ①地下水位が高いと液状化が発生しやすい
- ②液状化が発生した場合、電線共同溝特殊部と路面との段差が大きくなりやすい。
- ③液状化層が傾斜している場合、電線共同溝の変位は大きくなる。

表-5 解析結果一覧表

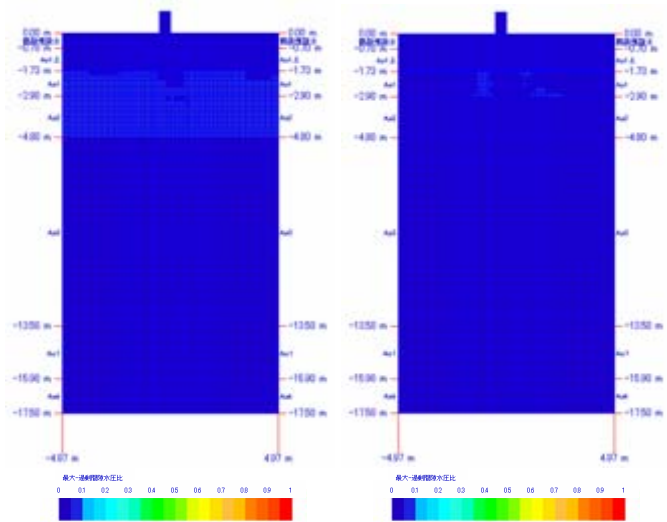
地震波形状	計算モデル		特殊部変位		
	地下水位	変位	管路部変位	地上機器有り	地上機器無し
東北地方太平洋沖地震	高い (GL-0.0m)	最大変位	水平 -0.46m 鉛直 -0.04m	水平 -0.52m 鉛直 -0.04m	水平 -0.52m 鉛直 -0.03m
		残留変位	水平 -0.00m 鉛直 -0.142m	水平 -0.00m 鉛直 -0.175m	水平 -0.00m 鉛直 -0.153m
	中間 (GL-0.7m)	最大変位	水平 -0.48m 鉛直 -0.04m	水平 -0.45m 鉛直 -0.04m	水平 -0.48m 鉛直 -0.03m
		残留変位	水平 -0.01m 鉛直 -0.048m	水平 0.01m 鉛直 -0.070m	水平 0.01m 鉛直 -0.062m
	低い (GL-1.73m)	最大変位	水平 -0.49m 鉛直 -0.04m	水平 -0.49m 鉛直 -0.03m	水平 -0.49m 鉛直 -0.03m
		残留変位	水平 0.00m 鉛直 -0.041m	水平 0.00m 鉛直 -0.031m	水平 0.00m 鉛直 -0.031m
兵庫県南部地震	高い (GL-0.0m)	最大変位	水平 -0.69m 鉛直 -0.01m	水平 -0.70m 鉛直 -0.01m	水平 -0.70m 鉛直 -0.01m
		残留変位	水平 -0.02m 鉛直 -0.056m	水平 -0.02m 鉛直 -0.112m	水平 -0.02m 鉛直 -0.114m
	中間 (GL-0.7m)	最大変位	水平 -0.67m 鉛直 -0.01m	水平 -0.70m 鉛直 -0.01m	水平 -0.67m 鉛直 -0.01m
		残留変位	水平 -0.02m 鉛直 -0.015m	水平 -0.02m 鉛直 -0.024m	水平 -0.02m 鉛直 -0.027m
	低い (GL-1.73m)	最大変位	水平 0.70m 鉛直 -0.01m	水平 -0.71m 鉛直 -0.01m	水平 -0.71m 鉛直 -0.01m
		残留変位	水平 -0.02m 鉛直 -0.01m	水平 -0.02m 鉛直 -0.01m	水平 -0.02m 鉛直 -0.011m

※残留変位は排水沈下量を考慮している。
鉛直方向は-が沈下を表す。

GL-0.0m : 降雨時を考慮
GL-0.7m : 埋土層とAs1層との境界
GL-1.73m : 特殊部掘削底面



(東北地方太平洋沖地震) (兵庫県南部地震)
図-9 過剰間隙水圧比(地上機器有り:地下水位GL-0.0m)



(東北地方太平洋沖地震) (兵庫県南部地震)
図-10 過剰間隙水圧比(地上機器有り:地下水位GL-1.7m)

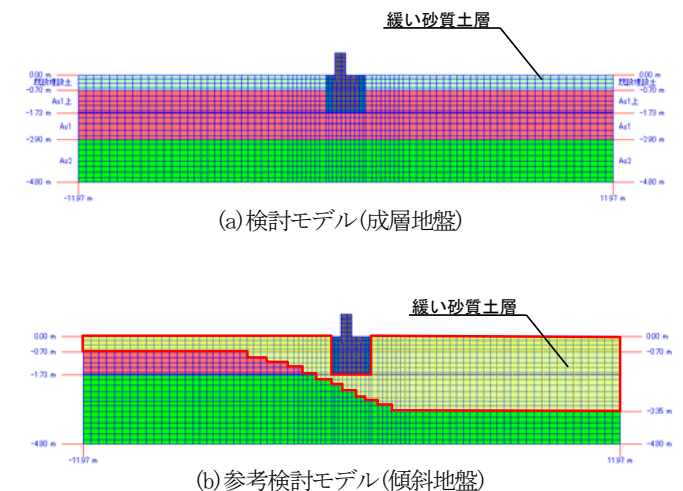


図-11 参考解析モデル図

表-6 参考検討の解析結果

地下水位	特殊部(地上機器有り)	
地震動	東北地方太平洋沖地震	
地下水位	GL-0.0m	
電線共同溝特殊部の最大変位量	水平-0.55m(斜中心) 鉛直-0.04m(斜中心)	
残留沈下量 (排水沈下量含む)	0.186m(左側埋土部) 0.109m(斜左壁下部) 0.131m(斜右壁下部) 0.224m(右側埋土部)	

(2) 対策工法の立案

表-7に液状化対策工法例を示す。電線共同溝においては、施工延長も長く、施工箇所も多いことから、安価な工法で対策することが望ましい。そのことを踏まえ、対策工法として埋戻し方法を変更することにより対応することが適切であると考えられる。

埋め戻し材を非液状化部材とした場合のFLIPによる解析を行った。表-8に液状化対策の解析結果を示す。解析の結果、管路部と特殊部とは同様の沈下形状となり、液状化対策として一定の効果があると考えられる。

表-7 液状化対策工法例

埋戻し方法	埋戻し材料	施工管理
埋戻し部の締固め (購入土：掘削・埋戻し)	良質な砂	締固め度で90%程度以上 なお、90%程度以上でも液状化した事例もあることから、現地の特性に留意することが必要
砕石による埋戻し (砕石：埋戻し)	平均粒径(D50)が10mm以上かつ10%粒径(D10)が1mm以上の砕石	締固め度90%程度以上 管路材が砕石対応をしていないことがある
埋め戻し部の固化 (浅層改良：現地土混合)	セメントの増加量は一軸圧縮強度が100kPa~200kPa	現場強度として50kPa~100kPa

表-8 液状化対策の解析結果

液状化対策前	液状化対策後

5. おわりに

これらを踏まえ、液状化による影響を受けやすい箇所を表-9に示す。これらの箇所は液状化対策が必要となる可能性が高く、設計に当たっては注意が必要である。

今後の課題として、液状化対策の必要性を確認するには、

- ①土質試験結果に基づく詳細な土質条件の把握
- ②継続的な地下水位の変動調査
- ③橋脚基礎などの固有振動が異なる構造物や地層の傾斜等、周辺状況や地盤条件を考慮した地震時解析などの検討が必要であると考えられる。

表-9 液状化対策の検討が必要な箇所一覧表

液状化が発生する可能性が高い箇所	選定理由
地下水位が高く、緩い砂質土層である。	FLIPによる解析の結果、地下水位が高いと液状化が発生する層が増加し、周辺地盤の沈下ならびに特殊部の不同沈下が発生しやすい。
軟弱粘性土地盤中に埋設	軟弱粘性土地盤中に埋設されている場合、埋戻し土は雨水などが滞りやすく、地下水が高い状況と同じになる。
過去に液状化被害を受けている地域	大きな地震が発生した場合、再液状化する可能性がある

謝辞：防災科学技術研究所により提供されているK-NETの強震観測データを使わせていただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省HP：<http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chichuka/>
- 2) 千葉県浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査委員会第2回資料2-4-2 公共土木施設の被害・液状化対策3, 2011.09.
- 3) Susumu Iai, Yasuo Matsunaga, Tomohiro Kameoka: Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of Harbour Research Institute, Vol.27, No.4, pp.27-56, 1990.
- 4) 国土情報検索サイト：<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>
- 5) 防災科学技術研究所 HP：<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 6) 永瀬英生・石原研而・田部元太：多方向の不規則荷重を受ける砂の沈下特性，第21回土質工学発表会，pp, 767~770, 1986.