

参考資料1 東日本大震災による高濃度汚染対策への影響

1.1. 2011年3月11日の地震による現場の被害状況について


2011年3月11日に神栖市で震度6弱を観測した東日本大震災では、神栖市内各地で地震・津波・液状化現象などにより、大きな被害が出ており、高濃度汚染対策施設及びその周辺においても、液状化現象や地割れ等の被害があった。

参考表1.1.1①～⑥は、東日本大震災後の高濃度汚染対策施設の被災状況である。東日本大震災後に高濃度汚染対策施設の被害状況確認のための現地調査を実施した結果、揚水井戸のある土留め矢板周辺では、複数の地割れが確認された（位置は参考図1.1.1、参考図1.1.2、参考図1.1.3を参照）。また、高濃度汚染対策施設の西側のグラウンドや南側の水田でも液状化現象が確認された。

処理棟及び管理棟の被害状況は以下のとおりであり、大きな被害はなかった。

- ・分析機器類の落下、破損等はなし。
- ・貯留槽（200m³/日×2槽）の破損、漏水はなし。
- ・処理棟建屋内、水処理設備の破損なし。
- ・処理棟、管理棟の破損なし。

参考表1.1.1① 東日本大震災後の高濃度汚染対策施設の被災状況（2011年3月14日撮影）

状況写真	備考
	地上配管（送水管）変形状況①
	地上配管（送水管）変形状況②
	切断措置後状況
	受水槽-掘削箇所間地割れ①

	<p>受水槽-掘削箇所間地割れ②</p>		<p>配管変形</p>
	<p>土留め矢板内地割れ状況①</p>		<p>配管破断措置①</p>
	<p>土留め矢板内地割れ状況②</p>		<p>配管破断措置②</p>
	<p>外周フェンス変状</p>		<p>B-1 万能板囲い前地割れ</p>

	<p>B-1 周囲地割れ (万能板囲い中)</p>
	<p>C-1 配管変形 (万能板囲い中) ※地盤沈下</p>
	<p>グラウンド状況①</p>
	<p>グラウンド状況②</p>

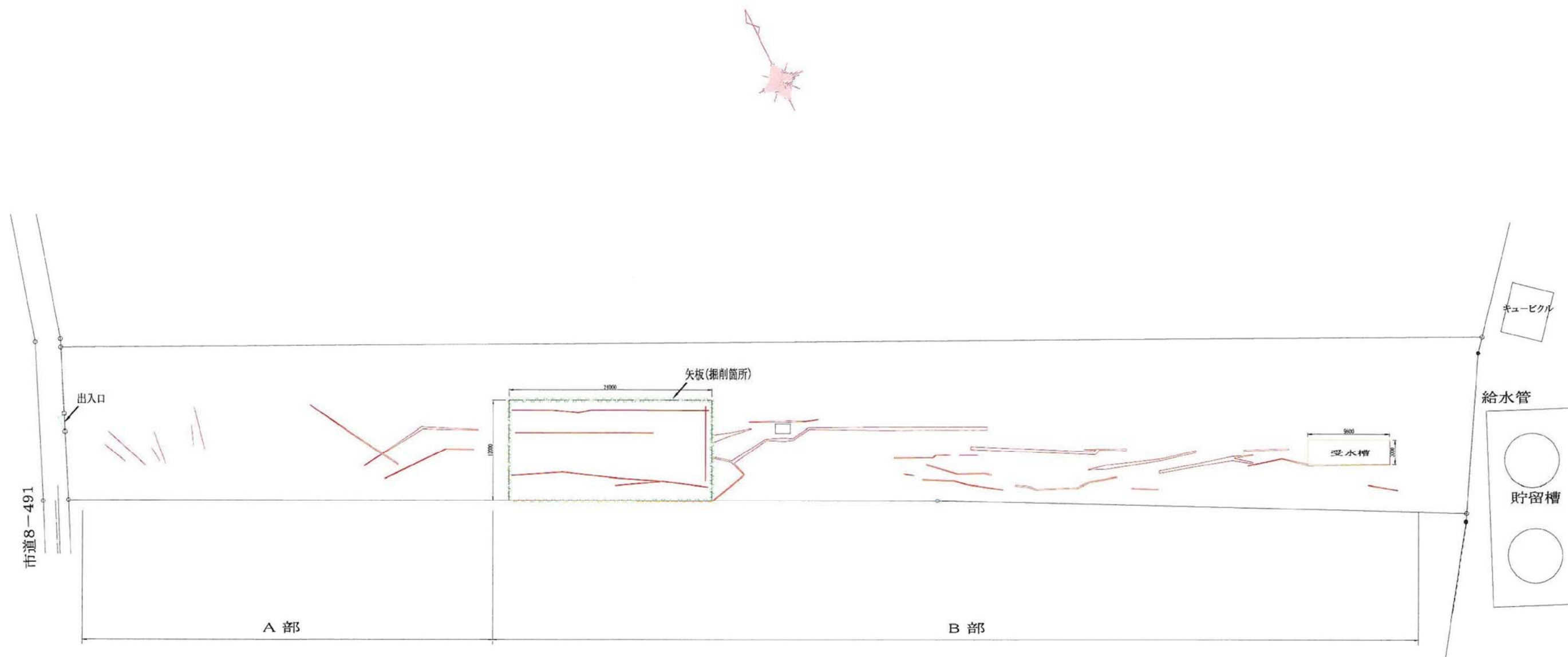
	<p>グラウンド状況③</p>
	<p>現場北側水田状況</p>
	<p>F-10 送水タンク廻り地割れ</p>
	<p>処理棟建屋東側あぜ道状況</p>



電信柱傾斜



電信柱根元
隙間 3 cm



参考図 1.1.1 地割れ調査図 (全体図)



e 写真



d 写真



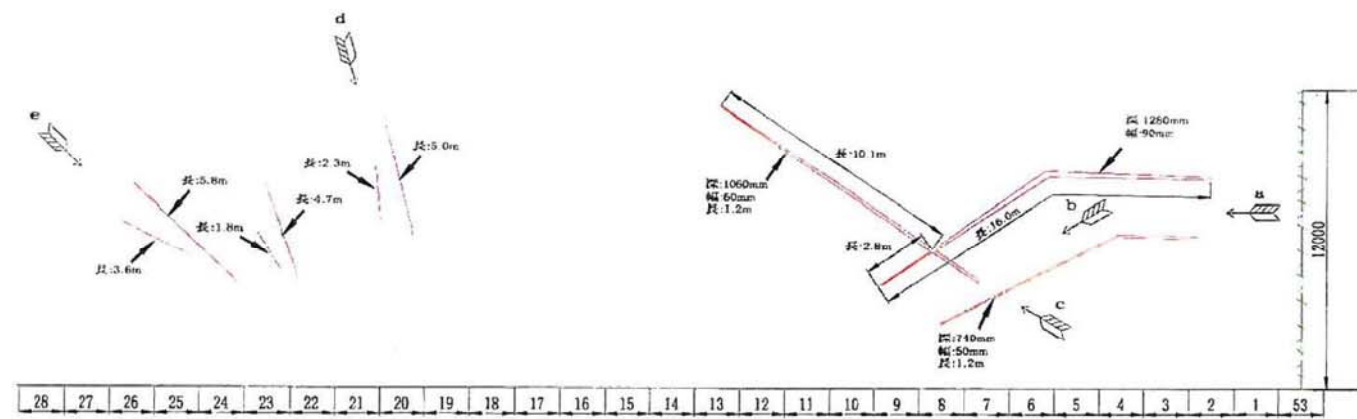
b 写真



a 写真



c 写真



参考図 1.1.2 地割れ調査図 (A 部詳細図)



p 写真



m 写真



s 写真

r 写真

o 写真

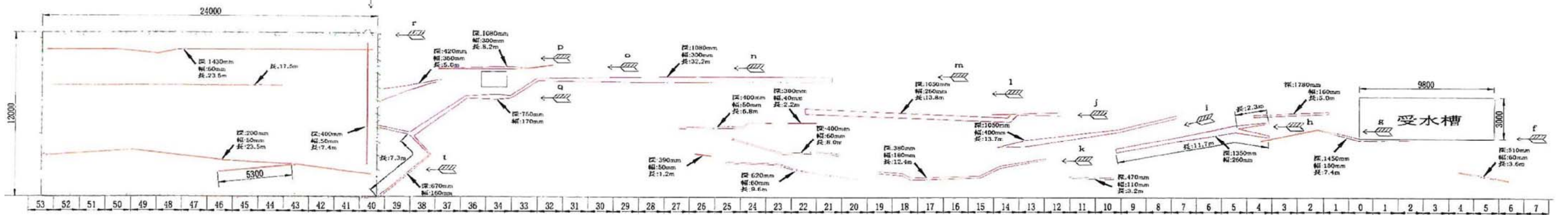
n 写真

l 写真

j 写真

i 写真

h 写真



t 写真



p 写真



k 写真



g 写真



f 写真

参考図 1.1.3 地割れ調査図 (B部詳細図)

1.2. 神栖市周辺での地震動

参考表 1.2.1 は神栖市周辺の強震記録である。参考図 1.2.1 は、2011年3月11日14:46頃に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)について、各機関で観測された神栖市周辺の強震観測点での最大加速度である。

付近で最大のものは、銚田(防災科学技術研究所 K-NET)であり、1,762.3cm/s²であった。神栖市付近では、鹿島造函-U(港湾地域強震観測)、波崎出張所(国交省)、KiK-NET 波崎2(防災科研)があり200~300cm/s²程度となっており、高濃度汚染対策現場においても同程度であったと推察される。

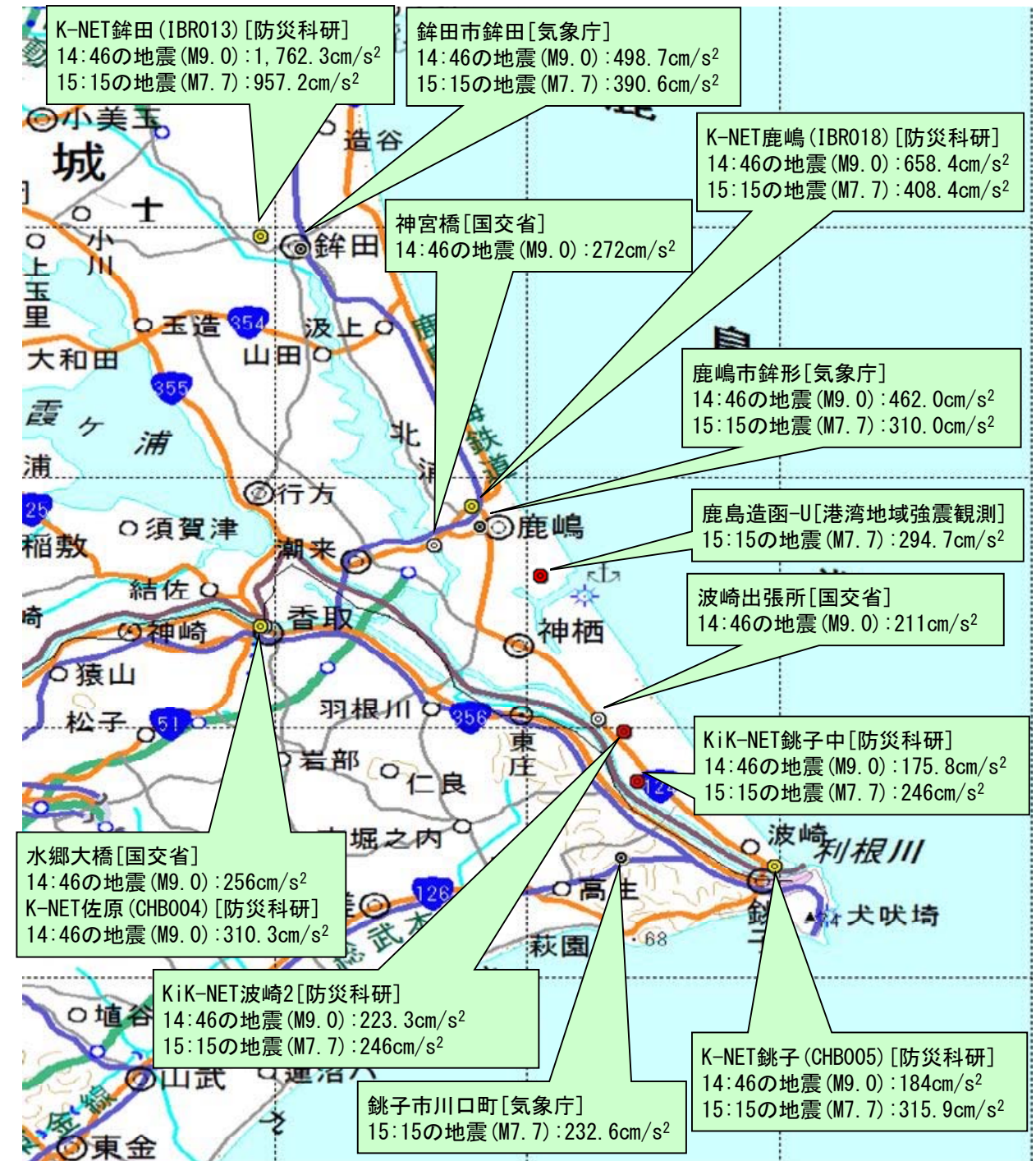
また、茨城県沖で同日15:15頃発生した地震(M7.7)では、鹿嶋(防災科学技術研究所 K-NET)で408.4cm/s²、鹿島造函-U(港湾地域強震観測)では294.7cm/s²が確認されるなど、付近では14:46に発生したM9.0の地震よりも、15:15に発生したM7.7の地震の方が、最大加速度が大きかったと推察される。

参考図 1.2.2~1.2.3 は、K-NET 銚田(IBR013)と KiK-net 銚子中(CHBH14)の強震記録の加速度時刻歴波形とスペクトルである。

今回の地震では、振幅の最大が約2分後に確認されている。これは銚田地点での振幅であるため、震源からの距離等を考えると、神栖地区における本震の最大振幅が起こった時間は14:48程度であったと想定される。また今回の地震の特徴として、プレート境界型の地震にも関わらず、低周期に加速度応答スペクトルのピークが見られる点にある。

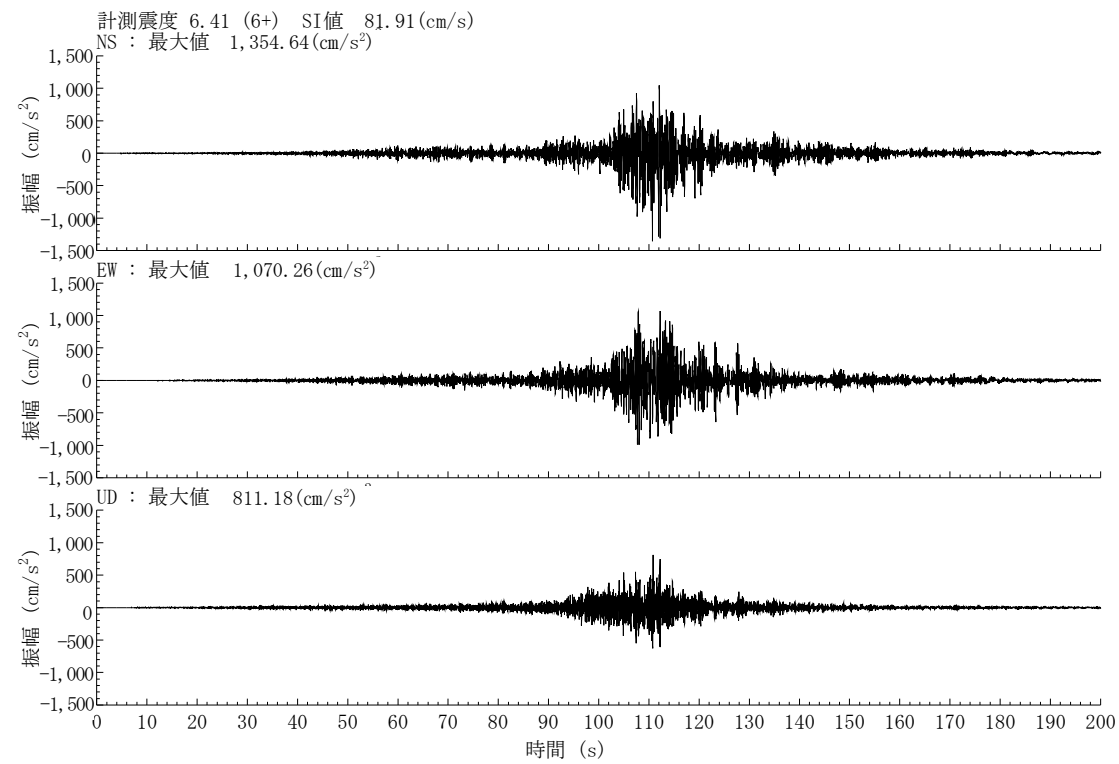
参考表 1.2.1 神栖市周辺の強震記録

2011/03/11 14:46 東北地方太平洋沖地震 M9.0				
観測機関	観測地	観測地点	計測震度	最大加速度(gal=cm/s ²)
気象庁	茨城県	銚田市銚田	5.6	498.7
気象庁	茨城県	鹿嶋市銚形	5.6	462
国交省	茨城県	神宮橋	5.4	272
国交省	茨城県	波崎(出)	5.2	211
国交省	茨城県	水郷大橋	5.4	256
K-NET	茨城県	鹿嶋	5.5	658.4
K-NET	茨城県	銚田	6.4	1762.3
K-NET	千葉県	佐原	5.1	310.3
K-NET	千葉県	銚子	5	184
Kik-NET	茨城県	波崎2	5	223.3
港湾地域強震観測網	茨城県	鹿島造函-U		294.7
2011/03/11 15:15 茨城県沖 M7.7				
観測機関	観測地	観測地点	計測震度	最大加速度(gal=cm/s ²)
気象庁	茨城県	銚田市銚田	5.5	390.6
気象庁	茨城県	鹿嶋市銚形	5.3	310
気象庁	千葉県	銚子市川口町	4.9	232.6
K-NET	千葉県	銚子	5.3	315.9
KiK-NET	千葉県	銚子中	5.1	204.1
KiK-NET	茨城県	波崎2	5.3	246
K-NET	茨城県	銚田	6	957.2
K-NET	茨城県	鹿嶋	5.2	408.4

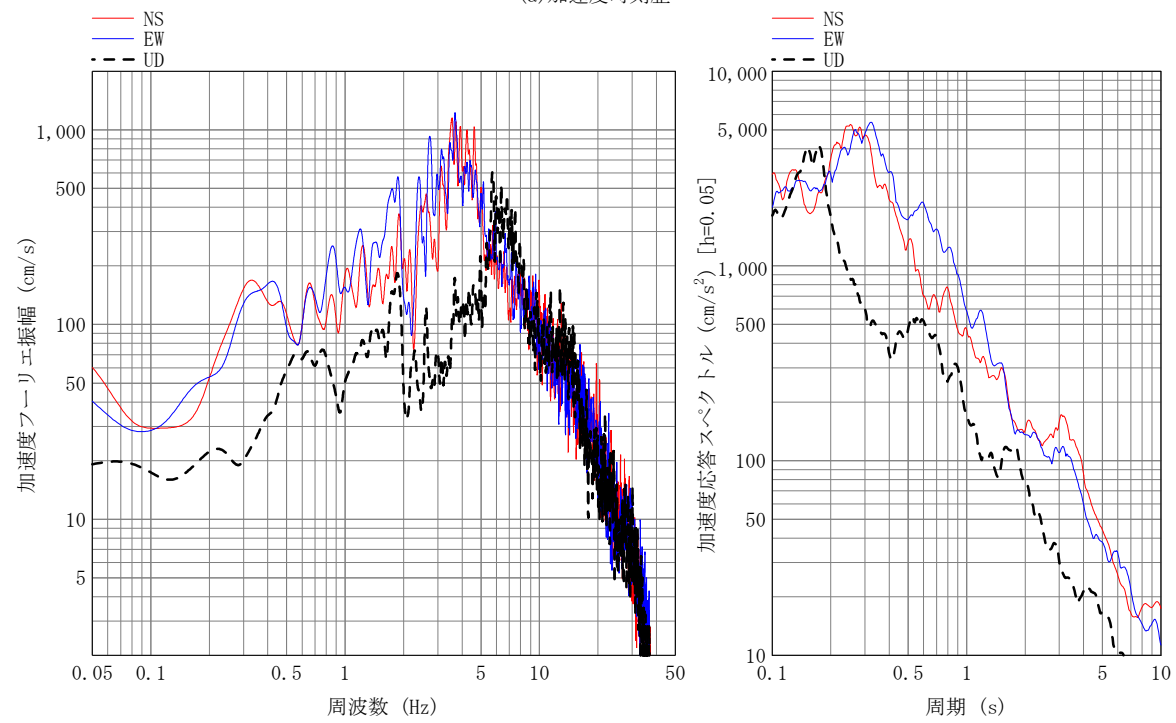


防災科研、港湾地域強震観測の観測点の最大加速度は3成分合成
国交省の観測点の最大加速度は公表値

参考図1.2.1 神栖市周辺の強震観測点での最大加速度 (2013年5月14日時点)



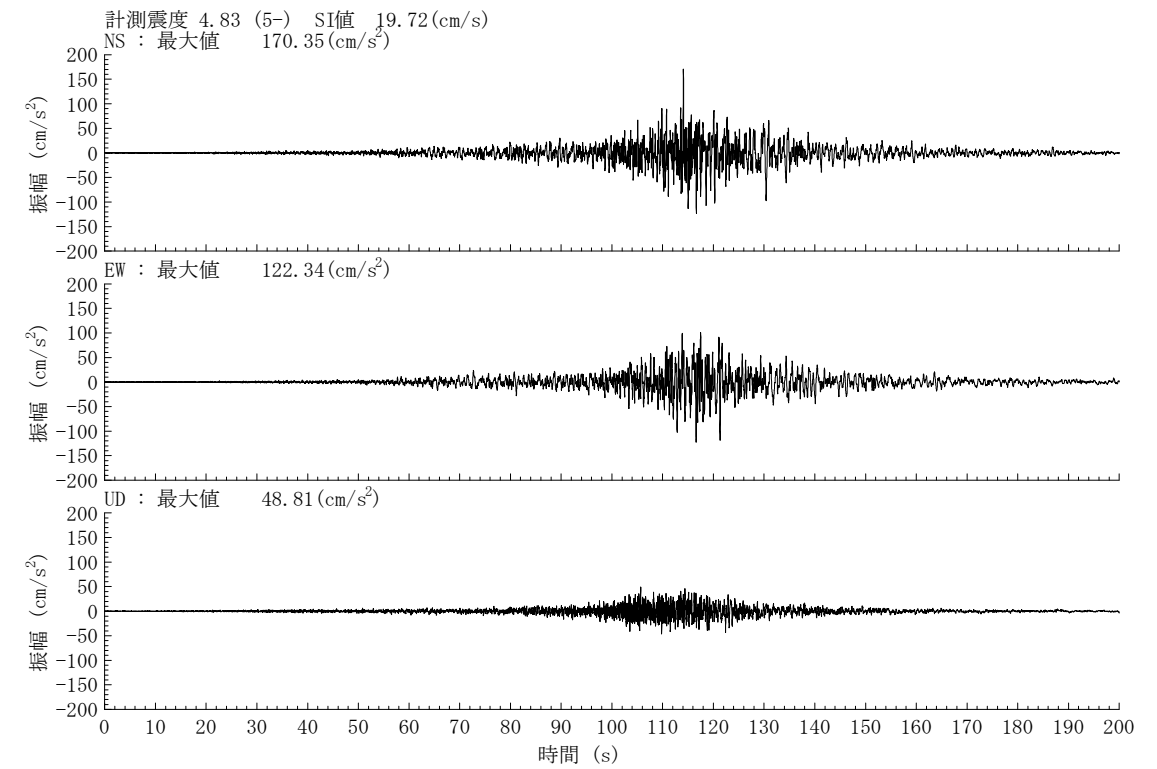
(a) 加速度時刻歴



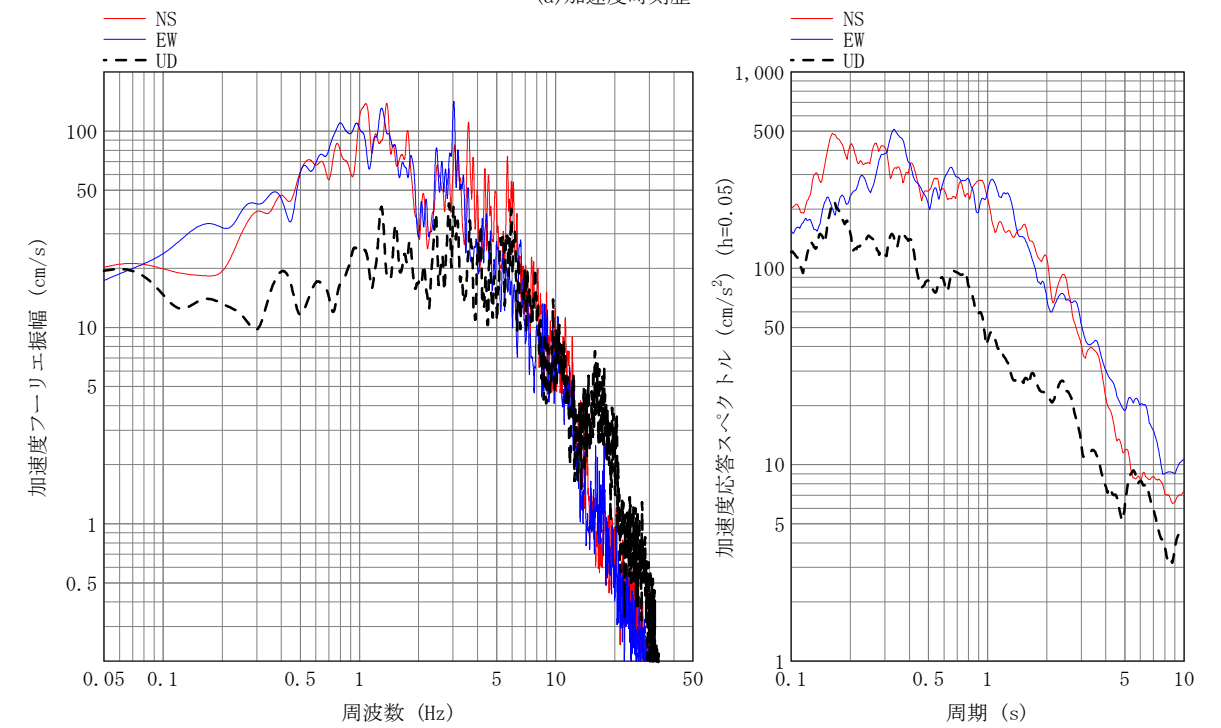
(b) 加速度フーリエ振幅スペクトル

(c) 加速度応答スペクトル

参考図1.2.2 K-NET銚田 (IBR013) での強震記録の加速度時刻歴波形とスペクトル



(a) 加速度時刻歴



(b) 加速度フーリエ振幅スペクトル

(c) 加速度応答スペクトル

参考図1.2.3 KiK-net銚子中 (CHBH14) での強震記録の加速度時刻歴波形とスペクトル

1.3. 液状化に伴う周辺への影響について

1.3.1. 目的

神栖地区では、東日本大震災により、広範囲にわたって水田等で液状化が確認された。液状化により、B地区等の汚染地下水が表層に湧出した可能性があったため、地盤と液状化の関係を明らかにするとともに、空中写真により液状化範囲を特定し、汚染範囲との関係整理を行った。

1.3.2. 液状化範囲特定の方法

どの地層が液状化するかについては、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（(社)日本道路協会：2012年3月）に基づき行った。

液状化範囲の特定は、ヘリコプターからの写真撮影（2011年3月31日）、及びモニタリング井戸の現地確認（2011年3月14日、3月25日）、現地踏査（2011年4月2日）、Google マップで公開されている地震後の衛星画像をもとに行なった。

以下は、道路橋示方書・同解説編の液状化の簡易判定式である。

1. 液状化の判定

液状化の判定は、次式により算出する。

$$F_L = R/L \quad \dots \dots \dots (1)$$

F_L （液状化に対する抵抗率）が 1.0 以下の土層については液状化するとみなすものとする。

(1) 液状化の判定

$$R = c_w R_L \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$L = \gamma_d k_{hgL} \sigma_v / \sigma_v' \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$k_{hgL} = c_z k_{hgL0} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここに、

F_L ：液状化に対する抵抗率

R ：動的せん断強度比

L ：地震時せん断応力比

c_w ：地震動特性による補正係数

R_L ：繰返し三軸強度比で、(3)の規定により算出する。

γ_d ：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_{hgL} ：液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の

c_z ：地域別補正係数で、レベル 1 地震動に対しては道路橋示方書第 V 編 4.4 に規定するレベル 1 地震動の地域別補正係数 c_z とする。レベル 2 地震動(タイプ I)に対しては同 4.4 に規定する c_{Iz} 、またレベル 2 地震動(タイプ II)に対しては同 4.4 に規定する c_{IIz} とする。

k_{hgL0} ：液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値で、参考表①. 3.1 の値とする。

σ_v ：地表面からの深さ x (m)における全上載圧(kN/ m²)

σ_v' ：地表面からの深さ x (m)における有効上載圧(kN/ m²)

x ：地表面からの深さ(m)

参考表 1.3.1 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値 k_{hgL0}

	レベル 1 地震動	レベル 2 地震動 (タイプ I)	レベル 2 地震動 (タイプ II)
I 種地盤	0.12	0.50	0.80
II 種地盤	0.15	0.45	0.70
III 種地盤	0.18	0.40	0.60

(2) 繰返し三軸強度比

繰返し三軸強度比 R_L は式(6)により算出するものとする。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7 + 1.6 \times 10^{-6} + (N_a - 14)^{4.5}} & (14 \leq N_a) \end{cases} \quad \dots \dots (6)$$

ここに、

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 N_1 + c_2 \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$N_1 = 170N / (\sigma_{vb}' + 70) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ c_1 &= (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ c_1 &= FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} c_2 &= 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ c_2 &= (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

<れき質土の場合>

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 \quad \dots \dots \dots (11)$$

ここに、

R_L ：繰返し三軸強度比

N ：標準貫入試験から得られる N 値

N_1 ：有効上載圧 100kN/ m² 相当に換算した N 値

N_a ：粒度の影響を考慮した補正 N 値

σ_{vb}' ：標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧(kN/ m²)

c_1, c_2 ：細粒分含有率による N 値の補正係数

FC ：細粒分含有率(%) (粒径 75 μ 以下の土粒子の通貨質量百分率)

D_{50} ：50%粒径(mm)

(3) 液状化判定に利用した諸数値

参考表 1.3.2 は液状化判定に利用した諸数値である。

参考表 1.3.2 液状化判定に利用した諸数値

項目		入力値	備考
単位体積重量 (γ_t)	埋土	17~19kN/m ³	埋土の一般値
	自然地盤	19~21 kN/m ³	砂地盤の一般値
N 値	埋土	5~15	No124 孔実測値
	自然地盤	34~50	No124 孔実測値
地震動特性による補正係数 (c_p)		1.0	レベル 2 地震動(タイプ I) : (プレート境界型の大規模地震)
地域別補正係数 (c_z)		1.0	レベル 2 地震動(タイプ I)
細粒分含有率 (FC)	埋土	4.0%	No124 孔粒度試験値
	自然地盤	3.1%	No124 孔粒度試験値
平均粒径 (D_{50})	埋土	0.170mm	No124 孔粒度試験値
	自然地盤	0.229mm	No124 孔粒度試験値
地下水位		0m (地表面)	現地で自噴確認より
設計水平震度 (k_{hgl})		0.45	レベル 2 地震動(タイプ I) II 種地盤

図 1.3.3 は AB トラックの液状化範囲と埋土範囲の関係である。埋土範囲は、中間報告書において空中写真等より判定された範囲である。同図に示すように、埋土が行われてない箇所については、液状化はほとんど生じてないことが判明した。また噴砂が確認されたモニタリング孔もほとんどが、埋土が存在する箇所であった。以上のことから、現地状況においても、液状化が生じたのはほとんどが埋土範囲であると考えられる。

1.3.3. 結果

1) 液状化の判定

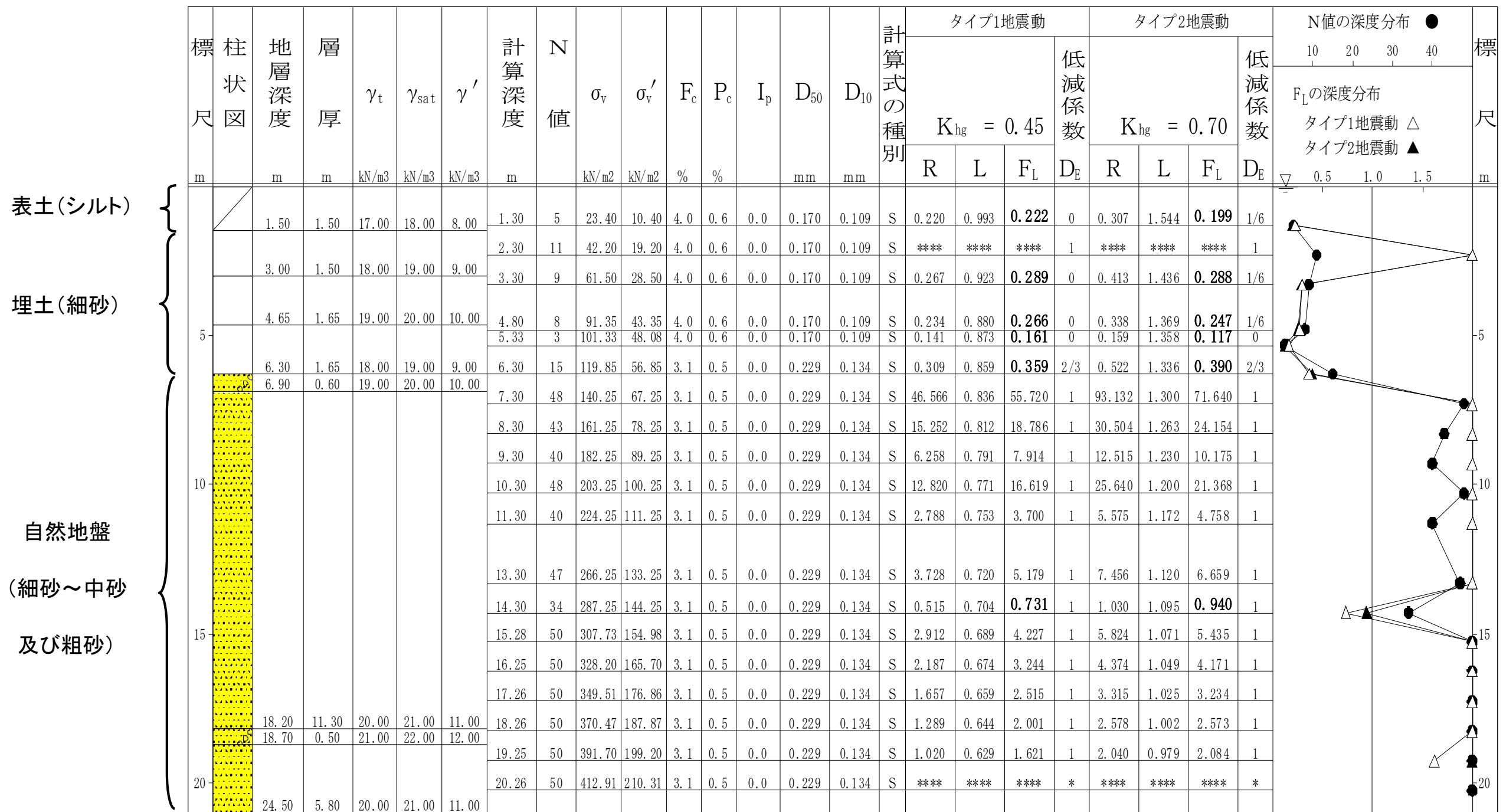
液状化の判定は、 N 値の測定結果がある掘削調査地点内の No124 孔を対象に行った。判定は、液状化に対する抵抗率 F_L が、1.0 以下になる場合に液状化するとみなす。参考図 1.3.1 は道路橋示方書 V 耐震設計編に基づく液状化判定結果である。この結果より液状化は、埋土層のみで生じる結果となる。自然地盤は $N > 30$ であり、非常にしまった地盤であるため液状化は生じていない結果となる。また、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編では、液状化の判定を行う必要がある砂質土層として、兵庫県南部地震やその他の地震等や構造物に与える影響の度合い等を勘案して、現地盤から深度 20m 以内としている。

以上を踏まえると、液状化しうる深度は 20m までで、かつ埋土層が対象となる。B 地区等の汚染地下水は深度 30m 前後に分布する砂礫層中にあり、また埋土層の深度も 10m 程度以内であることから、水田等に噴出した地下水に汚染地下水が含まれている可能性は小さいと考えられる。

2) 液状化範囲

参考図 1.3.2 は神栖地区の空中写真及び現地踏査で液状化が確認できる範囲と地震前の汚染分布、参考写真 1.3.1 は液状化状況の現地調査結果、参考写真 1.3.2 は A 地区、B 地区周辺の上空から見た噴砂の状況である。液状化は神栖地区全域、汚染範囲の上流から下流にかけて発生している。

参考図 1.3.1 道路橋示方書 V耐震設計編に基づく液状化判定結果 (平成 24 年度基準 LEVEL2)



対象土層条件 $F_c \leq 35\%$ または $F_c > 35\%$ の場合 $I_p \leq 15$
 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$

式の種別
 S : 砂質土
 G : 礫質土

地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 $\gamma_d = 1.0 - 0.015X$

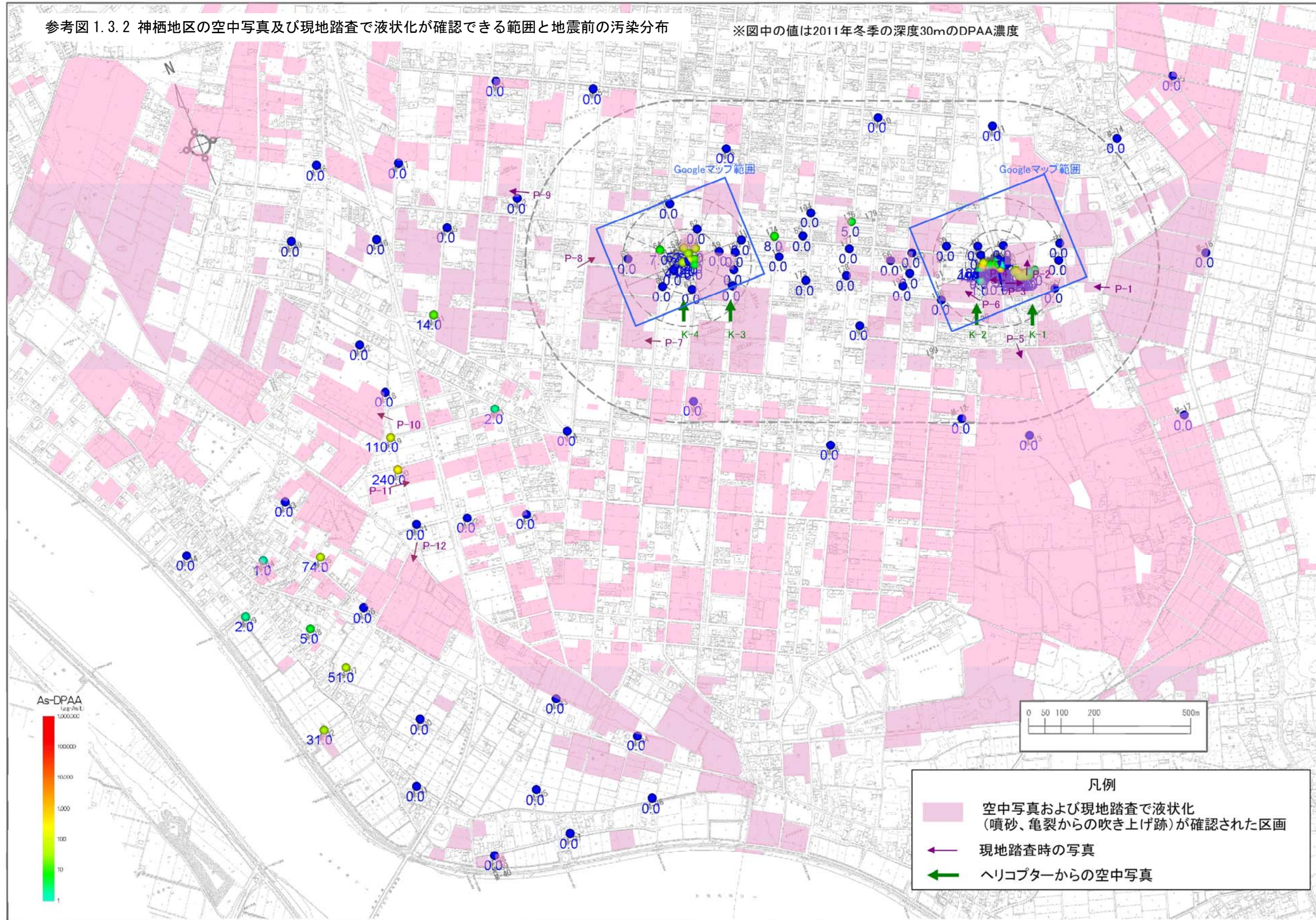
P_L	34.02
C_{NL}	1.00
沈下量	0.19 m

P_L	34.10
C_{NL}	1.00
沈下量	0.19 m

P_L による補正係数 C_{NL}
 $P_L \leq 5$: $C_{NL} = 0$
 $5 < P_L \leq 20$: $C_{NL} = (0.2 P_L - 1) / 3$
 $20 < P_L$: $C_{NL} = 1$

参考図 1.3.2 神栖地区の空中写真及び現地踏査で液状化が確認できる範囲と地震前の汚染分布

※図中の値は2011年冬季の深度30mのDPAA濃度



参考写真 1.3.1 液状化状況の現地踏査結果

現地踏査による写真撮影



P-1



P-2



P-3



P-4



P-5



P-6



P-7



P-8



P-9



P-10



P-11



P-12

参考写真 1.3.2 A地区、B地区周辺の上空から見た噴砂の状況

A地区

B地区

ヘリコプターからの撮影



K-2

K-1



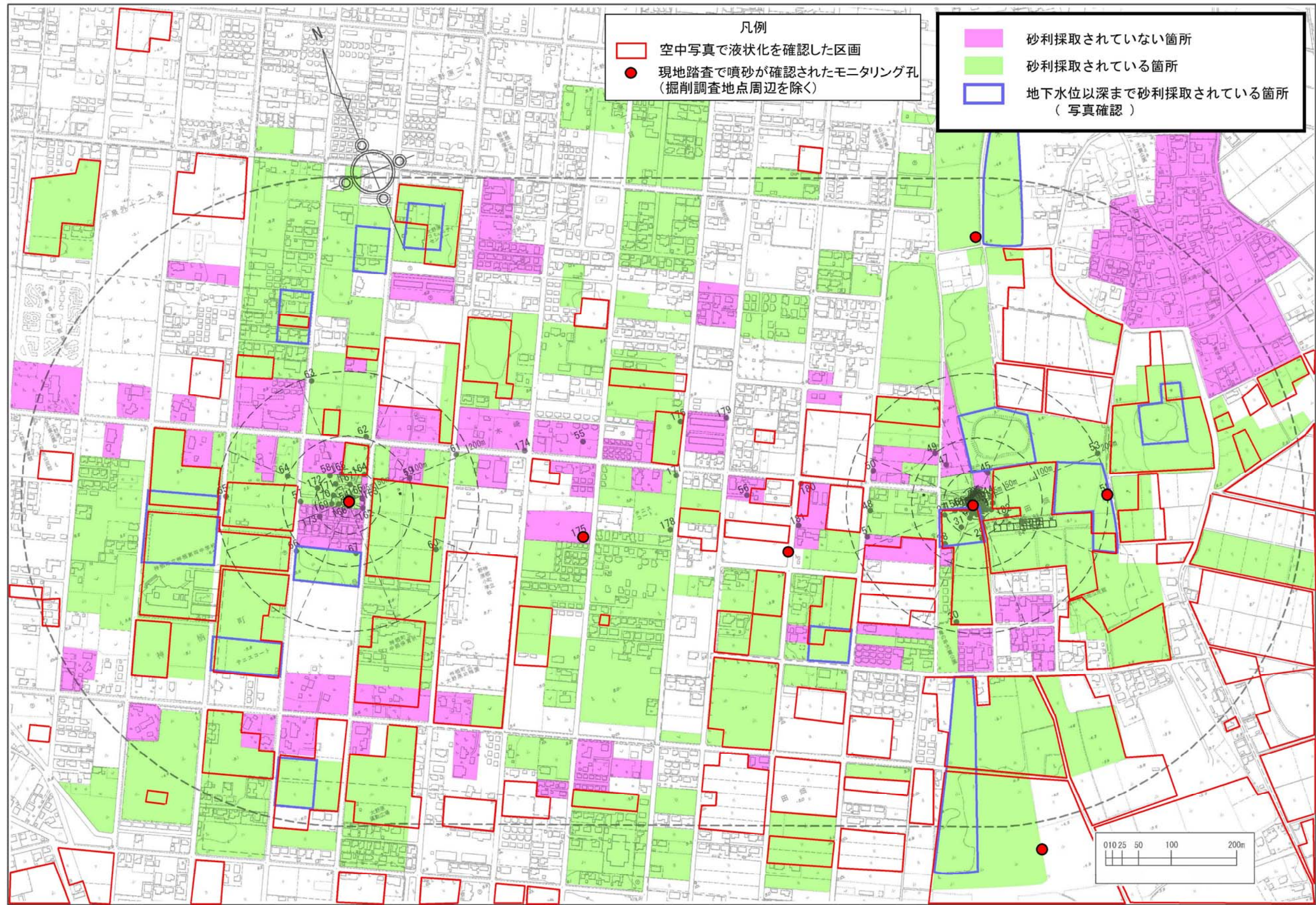
K-4

K-3

Googleマップで公開されている地震後の衛星写真



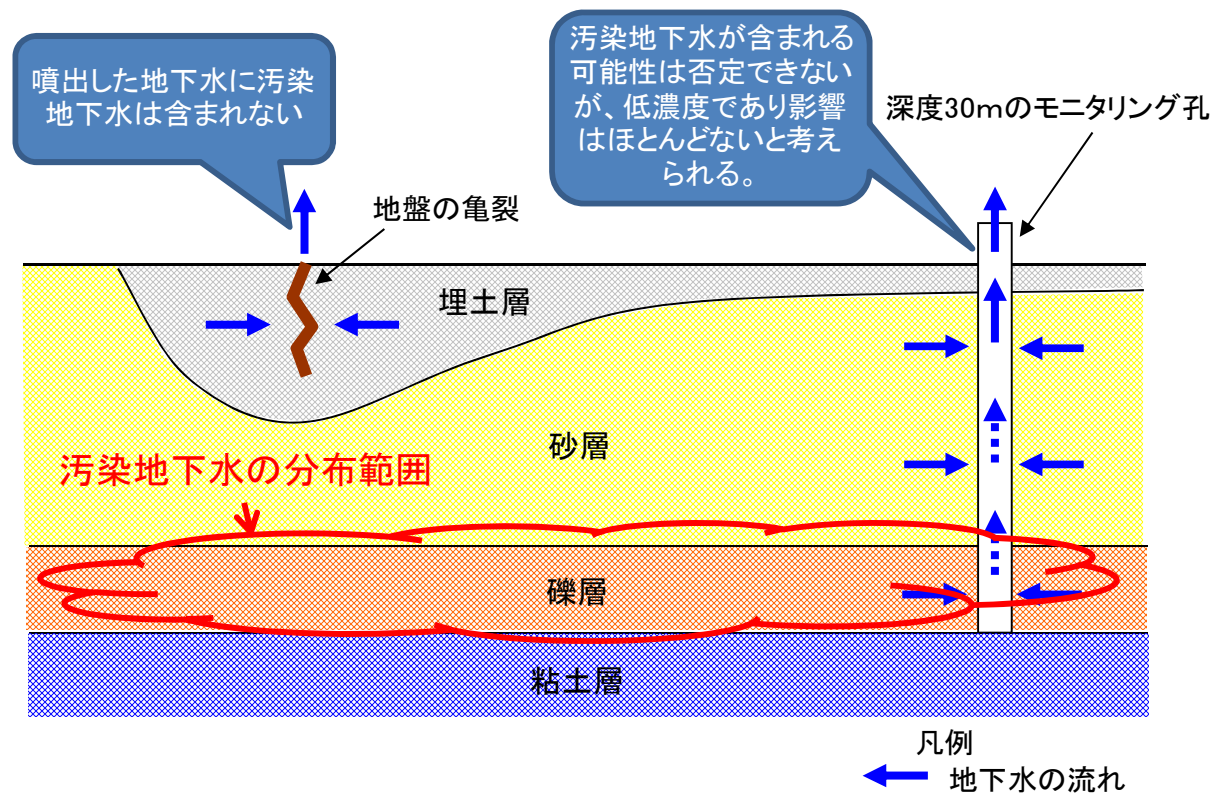
参考図 1.3.3 ABトラックの液状化の範囲と埋土範囲の関係（砂利採取の土地履歴は「汚染メカニズム中間報告書」より引用）



3) B地区等における液状化に伴う汚染地下水噴出による影響について

参考図 1.3.4 は、想定される B 地区等における液状化に伴う汚染地下水噴出による影響のメカニズムである。水田等においては、液状化が深度 20m まででかつ埋土層のみと考えられることから、噴出した地下水が汚染地下水である可能性は極めて小さく、地下水噴出による影響はないと考えられる。

また、モニタリング孔を通して汚染地下水が噴出した可能性は否定できないが、参考表 1.3.2 に示すように、噴砂が確認されたモニタリング孔の DPAA 濃度は N.D. もしくは極めて低濃度であるため、地下水噴出による影響はほとんどないと考えられる。



参考図 1.3.4 想定される B 地区等における液状化に伴う汚染地下水噴出による影響のメカニズム

参考表 1.3.2 B 地区等における噴砂が確認されたモニタリング孔と埋土層の有無、地下水汚染濃度の関係

地区	モニタリング孔番号	埋土層厚	2011年冬季のDPAA濃度($\mu\text{g-As/L}$)				
			10m	20m	30m	40m	50m
AB間	175	0.80	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	197	3.85	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
B地区	54	10.60	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
ABトラック外縁	M-11	8.50	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	M-13	8.90	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	M-15	1.55	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	M-17	0.35	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
ABトラック南西地域	M-21	6.20	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	M-26	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	9	-
	M-43	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
	M-47	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※表中のモニタリング孔は噴砂が確認された井戸である。

1.4 東日本大震災による汚染地下水への影響

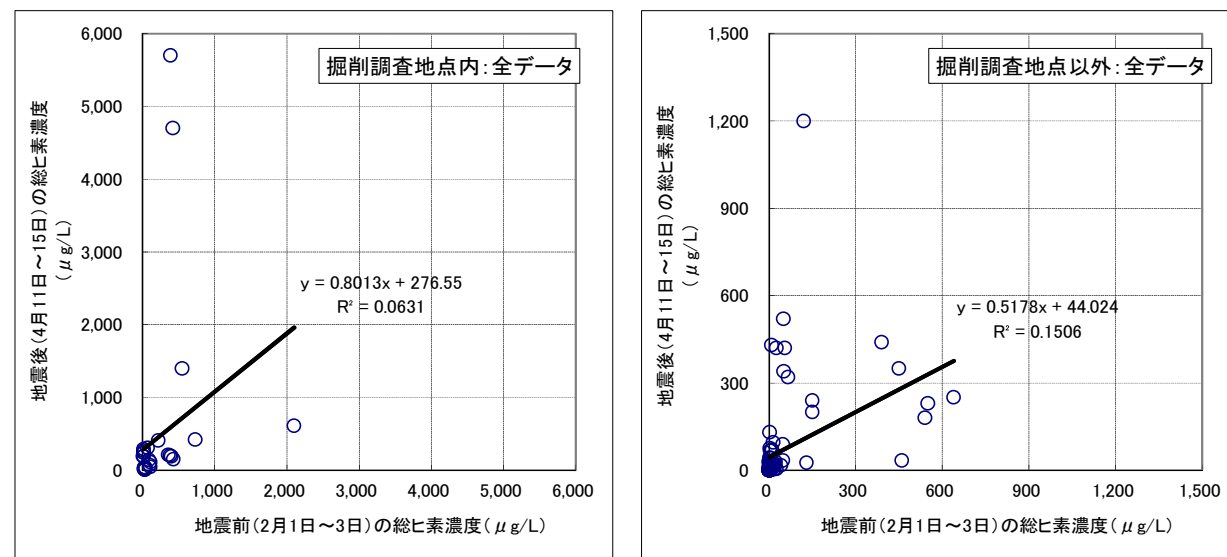
2011年3月11日の東日本大震災による汚染地下水分布状況の変化を確認するため、A地区を対象に、総ヒ素濃度の分析を行った（採水日2011年4月11～15日）。

参考図1.4.1はA地区周辺における地震前後の総ヒ素濃度の比較結果である。

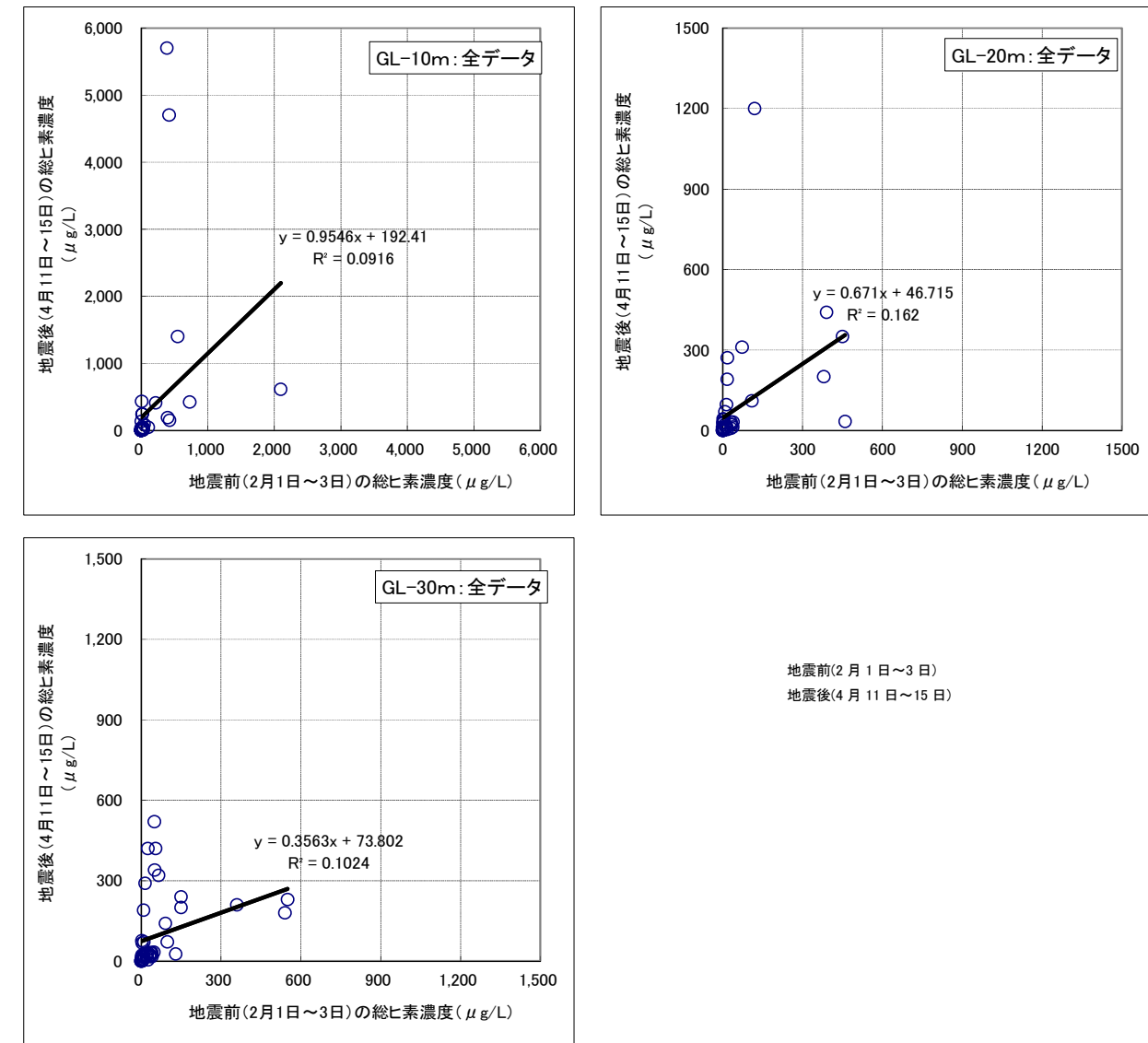
2011年4月11～15日に採取した地下水の分析では、掘削調査地点内の一部とA井戸近傍のNo.39において、濃度上昇がみられたが、その他は全体として汚染分布に大きな変化はなかった。

掘削調査地点内ではF-32で最大の5.7mg/L、掘削調査地点外ではNo.39（20m）は1.2mg/Lと、やや高濃度化したものがあったが、濃度低下したものも散見され、全体としてみれば、特に地震後の濃度が高濃度化したという状況ではない。

また、深度別にみても、浅い深度10mの濃度が上昇したという状況でもなかった（参考図1.4.2）。



参考図 1.4.1 地震前後の地下水の総ヒ素濃度の関係（左：掘削調査地点内、右：掘削調査地点外）



参考図 1.4.2 地震前後の地下水の総ヒ素濃度の関係（深度別）