

3. 京阪地域の地震時浅層地下水位の挙動

Examination of relationship between liquefaction and ground water behavior in case of earthquake in Osaka and Kyoto region

小野寺功, 沢田好幸, 堂元史博, 別府 亮
Isao Onodera, Yosiyuki Sawada,
Fumihiro Domoto, Ryou Beppu

Abstract

The liquefaction by Hyogo-ken Nanbu earthquake at January 1995 occurred big damages to Yodo river levee at lower reaches in Osaka City.

In this earthquake, the many observation wells which have been established by YODO RIVER WORK OFFICE, MINISTRY OF CONSTRUCTION had been recorded to the water-level movements and the time when earthquake occurred.

This paper examined a correlation between the patterns of the water-level movements which group into 6 types (a) - f) type), the case of a) and e) type have relevance to the occurrence of liquefaction also strong seismic acceleration.

a) type : In case that the ground water level fall down gently, after the water level ascends urgently, b) type : In case that the ground water level fall down urgently, after the water level ascends urgently, c) type : In case that the ground water level ascend again, after the water level falls once, d) type : In case that the ground water level fall down gently and ascends gently, e) type : In case that ground water level change is small, though resemble a type, f) type : In case that the ground water level is stable almost.

1 まえがき

戦後最大の地震災害を発生させた都市直下型の兵庫県南部地震 (M7.2) は、平成7年1月17日5時46分に淡路島北東部を震源として発生した。この地震により、震央から35km以上離れた淀川堤防 (主に下流部) で、最大3mに及ぶ堤防の沈下や堤防天端縦断亀裂及び液状化した砂の噴砂跡などが見られた。これらの淀川下流部の被災は、地表より深さ10m程度まで分布する緩い砂層の液状化が直接の原因であった。

一方、淀川周辺の京阪地区に設置されている数十ヶ所の地下水位観測井では、この地震時の地下水位の変化が記録された。その典型的な記録が、被害の大きな淀川下流部1.8K付近堤内地における水位変動である。この水位変動では、図-1に示すように平水位に比べ1.5m以上の水位上昇が観測された。双曲線近似法により推定した地震直後の水位上昇は約2mにもなった。また、この

水位が平水位に復するのに10時間以上を要した。

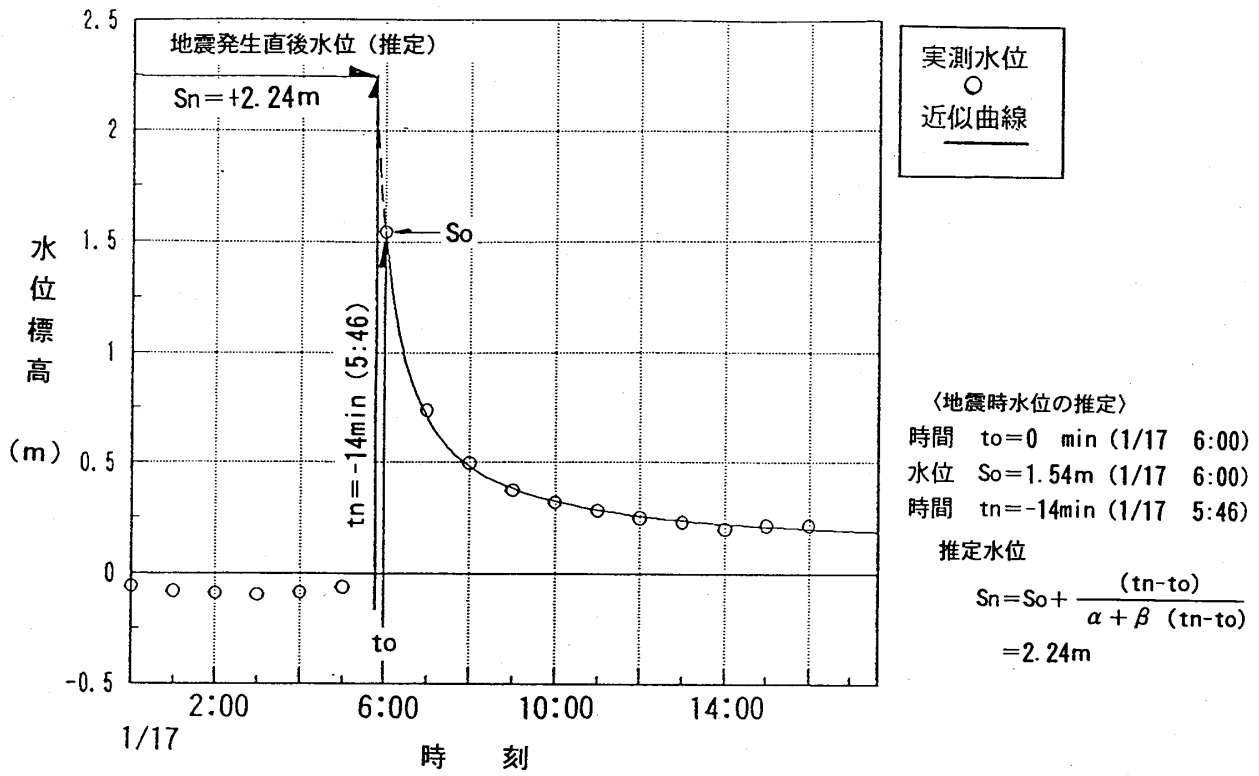
本報文は、兵庫県南部地震時に京阪地区で計測された数十ヶ所の地下水観測井の計測結果をまとめ、その結果を考察したものである。

2 地震動による地下水位変化

緩い砂地盤で発生する液状化現象は、1964年の新潟地震 (M7.5) の被災以来本格的研究が開始され、大きな地震の度に、沖積低地に位置する構造物の被災の主な原因のひとつとして報告されてきた。液状化現象を正確に把握するためには、地震時に実際に起こっている現象を正確に捉えることが第一である。特に、地震動と地盤の間隙水圧を正確に記録することは極めて重要である。

近年、地震動を正確に記録するために、強震計の設置が積極的に進められてきたが、兵庫県南部地震以後、より急速に整備が進められている。

しかし、もう一方の間隙水圧の把握のための間隙水圧



(西島堤防1.8k付近堤内地試験盛土観測井)

図-1 砂層の過剰間隙水圧変化図

Fig.1 A dramatic change of excess pore pressure in sand deposit occurred by Hyogo-ken Nanbu earthquake.

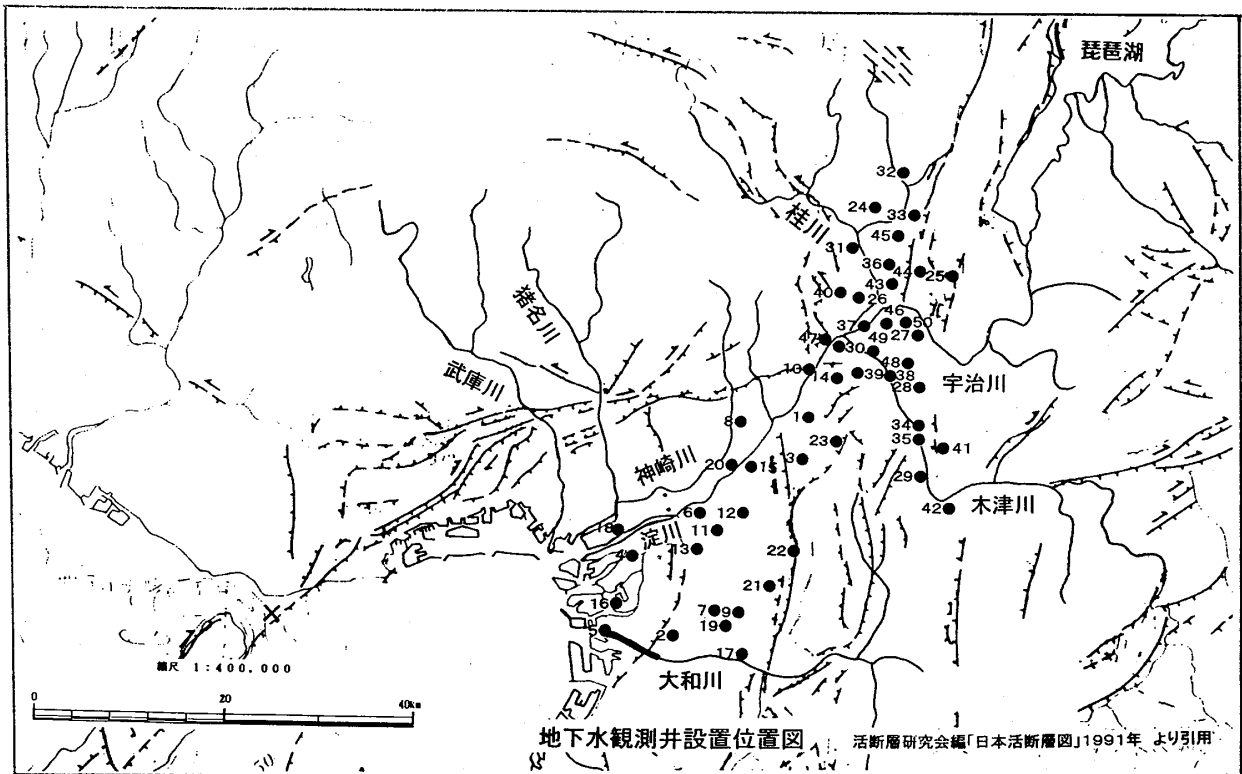


図-2 地下水観測井設置位置図

Fig.2 Map of location of automatic water level observation wells used in this study.

計や水位計による観測は、僅かしか実施されておらず、これまでの測定例も少ない。今回まえがきで述べたように、数十ヶ所の水位観測井において観測記録が得られたので、以下に観測の概要と地震時の水位挙動の特徴をまとめた。

2・1 地震外力と地下水挙動

2・1・1 観測井諸元

今回の兵庫県南部地震の際に、地下水位観測を実施したのは、図-2に示す大阪府及び京都府内の淀川水系を中心とする50ヶ所の地点である。

- ① 観測井は、径100mm（硬質塩ビパイプ製）または200mm（鋼製パイプ）で、フロートの上下によって水位変化を感知し、記録紙に自動記録するアナログ方式である。水位変化を連続的に得ることができる。
- ② 観測井のストレーナー設置区間は、沖積層中にあるものが10ヶ所、沖積層～洪積層まで連続するものが10ヶ所、洪積層中にあるものが30ヶ所である。
ストレーナー設置区間の透水係数（K）は、 $10^{-1} \sim 10^{-5}$ cm/secであり、大きくばらついている。

2・1・2 地震外力の算定

地震外力としては、推定水平加速度を用いたが、便宜的に震央距離での議論も行った。推定加速度平面分布は、強震速報No.46（科学技術庁防災科学研究所：1995.2）を基に作成した図-3に依った。

推定加速度は、兵庫県で300～800gal以上と非常に大きな値を示すことに加え、淀川沿いに300gal以上の強震域が細長く分布することが特徴である。このことは淀川の下流域で甚大な被害を発生したことに対応する。

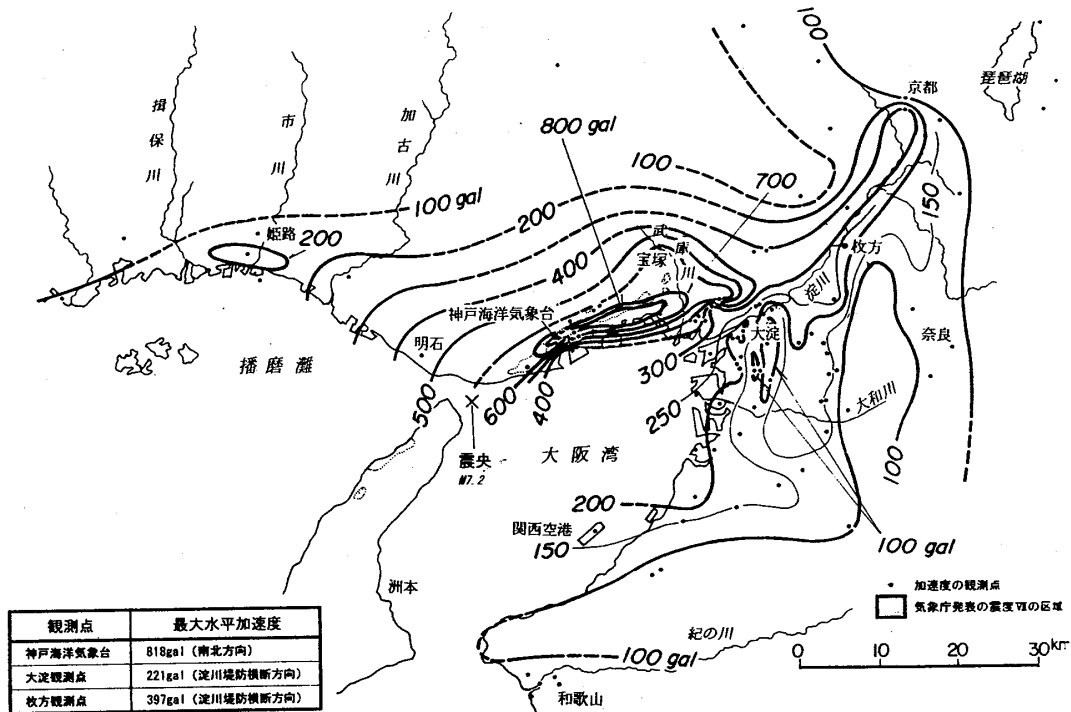
2・1・3 地下水挙動

地下水位挙動としては、地震前後の地下水位とその変化量及び水位の最大上昇量（または最大降下量）と最大水位に到達するまでの時間を示した（表-1）。

表-1には、水位記録が得られていない4ヶ所（No.10, 24, 34, 48地点）も含まれる。特にNo.10地点（高槻市内）は、地震時に記録用のペンが外れたもので、その地震力（推定加速度300gal以上）の衝撃の大きさが想像される。他の地点は、観測計器の不具合による。

2・2 地震時の浅層地下水位の挙動の特徴

図-4、図-5には、地震発生当日の各観測井におけ



兵庫県南部地震における最大地表水平加速度の分布
 (科学技術庁 防災科学技術研究所(1995.2):強震速報 No.46 をもとに作成)
 【参考文献(17) p.24 より抜粋】

図-3 兵庫県南部地震における最大地表水平加速度の分布

Fig.3 Distribution of maximum acceleration of surface ground at Hyogo-ken Nanbu earthquake.

表-1 水位観測井諸元

Table.1 Some properties, a distance from the epicenter, the behavior of ground water level and a inferred acceleration for each observation well.

水位観測井諸元、地震外力及び地下水挙動

水位観測井 地点番号	観測井諸元							地震外力		地下水挙動				
	地盤高 OP(m)	井戸径 (mm)	ポット径 (mm)	ストレーナー区間諸元				震央から の距離 (km)	推定 加速度 (gal)	地震前の 水位 OP(m)	最大水位 上昇量 ΔH(m)	最大水位に 至る時間 t(sec)	地震後の 残留水位 OP(m)	地震前後の 水位差 ΔH(m)
				区間標高 OP(m)	土質名	N値	透水係数 k(cm/sec)							
1	27.22	100	70	21 ~ 13.1	沖積・砂～洪積・砂礫	33	2.66E-03	60.0	200	20.53	0.32	360	20.39	-0.14
2	7.37	100	70	5.2 ~ -12.8	沖積・砂～洪積・砂礫	38	5.04E-05	42.4	100	3.95	0.14	15840	3.91	-0.04
3	41.86	100	70	33.7 ~ 21.7	洪積・砂	44	7.67E-05	58.2	250	27.02	0.02	12240	27.02	0.00
4	0.54	100	70	-1.7 ~ -9.7	沖積・砂質土	10	5.85E-05	38.6	200	-1.64	2.31	180	-1.53	0.11
5	3.69	100	70	-1.7 ~ -9.7	沖積・砂	11	1.40E-02	35.6	200	0.84	0.40	180	0.70	-0.14
6	3.79	100	70	1.1 ~ -4.9	沖積・砂	21	2.10E-02	46.4	150	1.00	0.02	540	1.00	0.00
7	5.49	100	70	3.3 ~ -12.7	沖積・砂～洪積・砂	30	4.44E-03	46.6	175	1.64	0.22	180	1.68	0.04
8	9.48	100	70	3.3 ~ -12.7	沖積・砂礫	20	3.50E-02	53.2	300	5.90	1.45	180	6.43	0.53
9	7.40	100	70	5 ~ -0.5	沖積・砂質土	9	3.00E-03	49.2	175	5.28	0.13	28440	5.37	0.09
10	9.36	100	70	2.2 ~ -4.8	沖積・砂～洪積・砂礫	35	8.00E-04	61.8	300	水位観測データなし(衝撃で記録ペン外れる)				
11	2.66	100	70	-48.5 ~ -64.5	洪積・砂質土	36	5.68E-02	47.6	220	-9.61	0.22	360	-9.68	-0.07
12	3.75	100	70	-1.4 ~ -9.4	洪積・砂	16	2.00E-03	50.6	220	1.70	0.36	900	1.79	0.10
13	2.49	100	70	-20.7 ~ -24.7	洪積・砂礫	50	2.50E-04	45.4	100	-13.39	0.10	360	-13.43	-0.04
14	20.61	100	70	11.4 ~ 5.9	洪積・砂礫	50	5.50E-03	64.2	250	10.44	0.01	180	10.42	-0.02
15	5.67	100	70	-16.5 ~ -27.2	洪積・砂礫	50	2.00E-04	52.6	275	-8.40	0.23	360	-8.41	0.00
16	2.13	100	70	-0.8 ~ -4.8	沖積・砂	7	7.00E-04	36.4	225	-1.09	0.34	2520	-1.03	0.06
17	13.53	100	70	0.1 ~ -6.3	洪積・砂・砂礫	47	4.00E-03	49.8	150	9.69	0.24	180	9.68	-0.01
18	-0.24	100	70	-40.3 ~ -48.8	洪積・砂礫	50	3.00E-03	37.6	300	-4.41	-3.12	180	-4.08	0.33
19	8.26	100	70	-24.3 ~ -37.1	洪積・砂質土	29	2.00E-03	47.8	175	-10.24	0.50	360	-10.33	-0.09
20	6.13	100	70	-36.7 ~ -48.1	洪積・砂質土	44	7.00E-04	50.6	300	-8.66	0.17	180	-8.64	0.02
21	19.72	100	70	6.8 ~ 0.4	沖積・砂礫～洪積・砂	29	2.00E-03	52.6	150	16.46	0.39	180	16.76	0.30
22	10.09	100	70	2.6 ~ -10	沖積・砂質土	34	2.00E-05	55.4	100	6.42	0.10	180	6.41	-0.01
23	40.16	100	70	2.6 ~ -10	洪積・砂質土	49	2.00E-03	61.6	120	31.40	0.07	180	31.36	-0.04
24	44.30	100	70	42.8 ~ 23.1	沖積・砂～洪積・砂礫	36	5.50E-05	75.8	100	水位観測データなし				
25	28.40	100	70	20.2 ~ 16.2	洪積・砂礫	29	1.49E-03	79.4	120	20.08	0.72	180	20.13	0.05
26	17.17	100	70	10.3 ~ 5.3	洪積・砂礫	42	2.00E-01	69.4	300	10.89	0.19	180	10.85	-0.04
27	11.93	100	70	6 ~ 0.7	洪積・砂礫	50	2.16E-01	73.6	150	6.59	1.01	180	6.59	0.00
28	25.69	100	70	20.2 ~ 15.5	沖積・砂質土	18	4.00E-03	72.0	150	19.56	0.25	180	19.53	-0.03
29	31.60	100	70	25.2 ~ 20.2	沖積・砂～洪積・砂礫	40	8.00E-02	69.6	150	27.79	1.17	180	27.69	-0.09
30	16.38	100	70	-35.6 ~ -48.6	洪積・砂	50	4.00E-04	65.6	300	6.05	1.35	360	6.05	0.00
31	24.55	100	70	20.5 ~ 9.5	沖積・砂礫～洪積・砂礫	43	1.50E-02	71.6	300	18.45	4.25	360	18.45	0.00
32	70.52	100	70	66.9 ~ 55.4	沖積・砂礫～洪積・砂礫	40	1.50E-03	80.2	100	64.36	0.25	180	64.24	-0.12
33	46.94	100	70	43.3 ~ 31.8	洪積・砂礫	50	2.00E-03	78.8	100	38.58	0.75	360	38.58	0.00
34	27.30	200	70	11.2 ~ -30.8	洪積・砂礫	50	3.00E-03	70.6	150	25.73	-0.30	5400	25.65	-0.08
35	25.74	100	70	20.7 ~ 15.7	沖積・砂礫	32		70.4	150	水位観測データなし				
36	18.17	200	70	-27.5 ~ -39.5	洪積・砂礫	50	8.00E-01	73.6	300	10.49	0.15	4500	10.10	-0.39
37	14.42	100	70	8.2 ~ -0.8	洪積・砂質土	41	3.00E-03	69.0	300	7.04	0.46	540	7.06	0.02
38	16.63	200	70	-16.1 ~ -31.1	洪積・粘土・砂礫	40	1.50E-03	69.2	175	10.43	0.46	3600	10.73	0.30
39	15.90	100	70	5.2 ~ -13.8	洪積・砂質土	38	6.00E-03	66.4	300	8.13	0.43	180	8.15	0.02
40	26.99	100	70	-13.2 ~ -23.2	洪積・砂	50	4.00E-04	68.4	300	17.73	0.01	30	17.66	0.07
41	36.08	100	70	4.1 ~ -9.2	洪積・砂質土	50	7.00E-04	72.2	130	25.84	0.06	360	25.84	0.00
42	34.06	100	70	29.9 ~ 23.9	洪積・砂	13	2.00E-03	72.0	100	28.41	0.08	180	28.40	-0.01
43	14.72	100	70	-22.5 ~ -34.5	洪積・砂・砂礫	42	9.00E-04	74.0	300	3.55	0.37	6840	3.50	-0.05
44	34.02	100	70	25.3 ~ 14.8	沖積・砂礫～洪積・砂礫	42	5.00E-03	76.4	200	30.06	0.12	180	30.23	0.16
45	28.51	100	70	-24.8 ~ -36.8	洪積・砂・砂礫	49	1.00E-03	76.4	300	19.83	0.12	11880	19.59	-0.23
46	13.51	100	70	-23.7 ~ -36.7	洪積・砂・砂礫	45	3.00E-03	71.2	200	7.02	0.48	360	7.03	0.00
47	15.56	100	70	0.1 ~ -5.4	洪積・砂礫	50	5.00E-02	64.6	300	5.71	1.03	360	5.69	-0.02
48	15.28	200	50	4.3 ~ -9.7	洪積・砂・砂礫	30	2.00E-02	71.6	100	水位観測データなし				
49	14.26	200	50	3.6 ~ -13.9	洪積・砂質土・砂礫	46	5.00E-02	68.8	200	7.99	0.30	2340	7.98	-0.01
50	11.33	200	70	1.3 ~ -24.7	洪積・砂・砂礫	45	3.00E-01	73.2	175	7.09	0.08	360	7.11	0.03

る地下水位の変化と時間の関係、ストレーナー区間が沖積層中にある場合と洪積層中にある場合の代表的観測井の水位の一年間の変化を、それぞれ示した。なお、図-5中の水位変化は、地震発生月は最大水位で表し、その他の期間は月別の平均値で表示している。

また、図-6～7には、地震時の水位挙動を把握するために、水位上昇量と震央距離・推定加速度・透水係数等との関係、及び、最大水位に達する時間と震央距離・推定加速度・透水係数等との関係をそれぞれ示した。

これらの図及び表-1から、地震時の地下水挙動には、

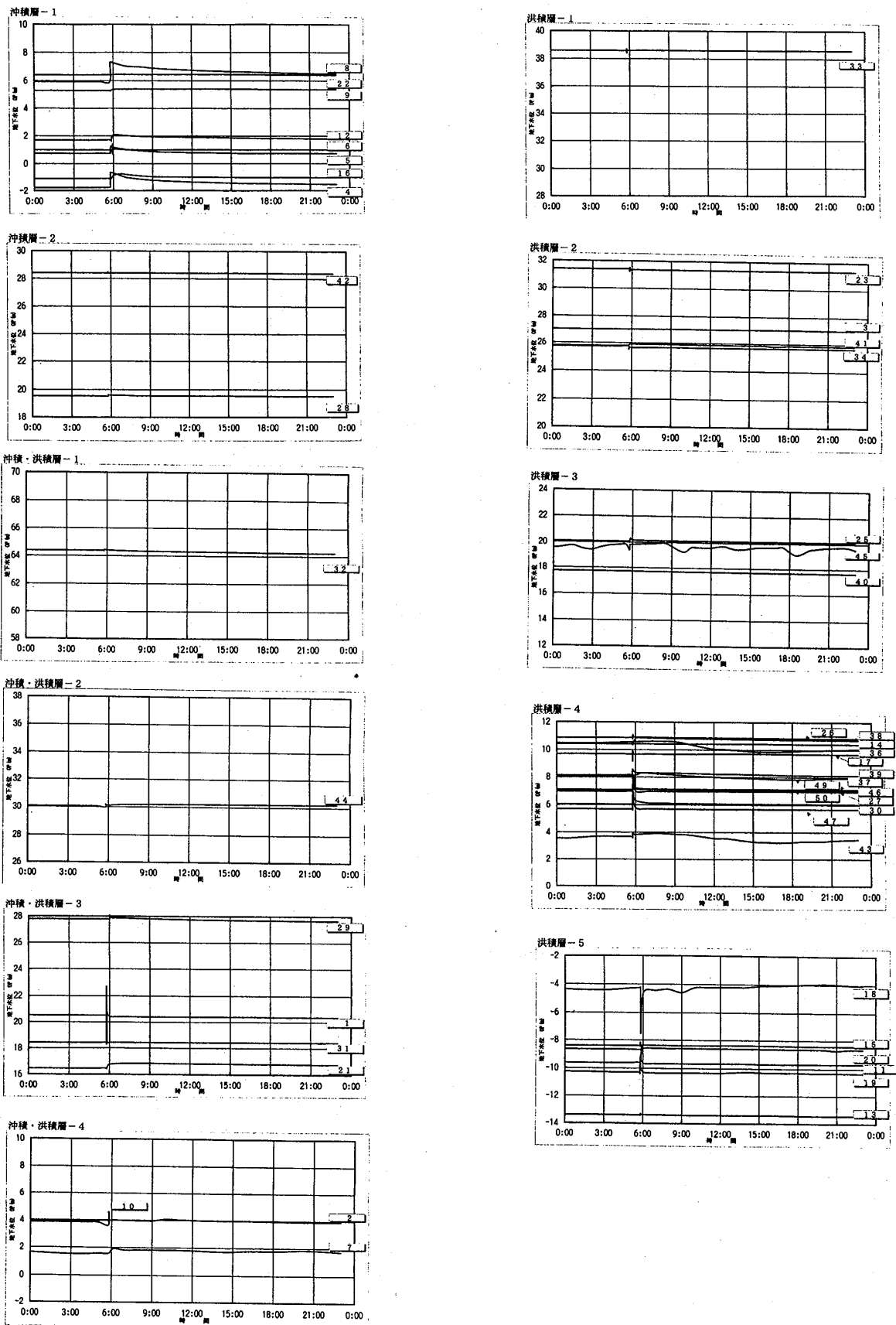


図-4 地震当日の地下水位変化一覧図 (H.7.1.17)

Fig.4 The behavior of ground water level in the day that Hyogo-ken Nanbu earthquake occurred.

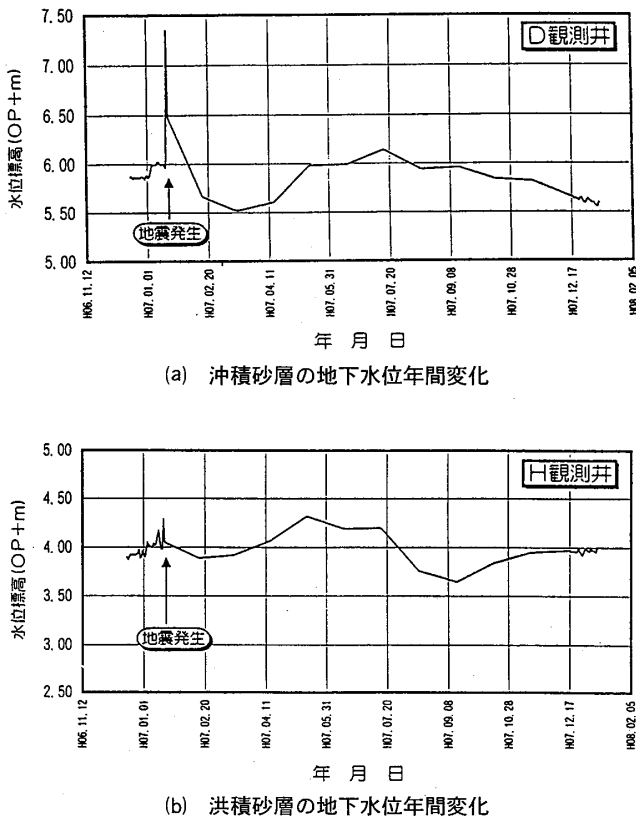


図-5 沖積砂層及び洪積砂層の代表的年間変化
 Fig.5 The curve showing typical behavior of ground water level during one year : (a) obtained from a well in alluvial sand. (b) obtained from a well in diluvial sand.

以下の特徴が認められる。

2・2・1 地下水位挙動の分類とその特徴

ストレーナー区間が、沖積層中及び洪積層中にあるいずれの観測井においても、地震発生に伴い地下水位に変化を生じ、その変化形態はおおよそ以下に示す6つのパターンに分類できる(図-8)。

- 地震発生に伴い急激に上昇過程を辿り、ピークに達した後緩やかに低下する。
- a)と同様に急激に上昇するが、低下速度も早い。
- 地震発生直後に一端降下し、その後、上昇へ転じる。
- 緩やかな上昇過程と低下を辿る。
- 水位変動量の絶対値は小さいがa)に類似する挙動を示す。
- ほとんど変化しない。

地下水位挙動で、a)型を示すのは、ストレーナー区間が沖積層中にあるNo.4.5.8.12地点と洪積層中にあるNo.30.38.39.46.47地点の9ヶ所であり、推定加速度が175~300gal以上と大きい地区に位置する。特に、

No.4.8地点では水位変化が大きく被害の大きかった西島下流堤防堤内地の観測井の水位挙動(図-1)に酷似する。

また、このa)型では地震発生前の水位に復帰するのに約12時間から24時間以上の長時間を要している。この原因のひとつとしては、以下のことが考えられる。

地震の発生しない状況下で行う現場透水試験での平水位に対する水位の上昇は、範囲の狭い観測井内のみで発生し、この水圧差解消のための水位降下はストレーナー区間の砂層の主に透水性のみに左右される。

一方、地震発生時は急激な過剰間隙水圧の上昇が、層の広範な部分で発生し、かつ観測井内との水圧差もほとんど無いため、観測井内の水圧の減少はこの広範な層の減圧に左右されることとなり、水位の低下が現場透水試験時に比べて相対的にゆっくりになると考えられる。

水位挙動がb)型を示すのは、ストレーナー区間が、沖積層中にあるNo.6.22.28.42地点と洪積層中にあるNo.13.14.15.17.20.22.23.27.28.33.34.36.42.43地点及び両層にまたがるNo.1.2.29.31地点の計22ヶ所で最も多い。この型は、推定加速度が小さいかまたは砂のしまり具合を表すN値が小さい場合、または推定加速度が大きくても良く締まっている場合に多い。このb)型は過剰間隙水圧の消散がa)型に比べて極めて早い。従って、消散時の透水係数がa)型より大きいと思われるが確認は出来ていない。また、極めて短時間に過剰間隙水圧の消散が行われている点から、その変動量の極めて小さなものでは、地震の衝撃を水位変化として記録した場合もあると考えられる。

水位挙動c)型を示すのは、ストレーナー区間が洪積層中にあるNo.18.45地点の2ヶ所で、良く締まり、いずれも推定加速度が300gal以上の非常に強い揺れが発生した地区である。これについてはデータが少なく現状では何ともいえないが、このように実際に地震時に顕著に水位が低下する例が観測されたことは、注目すべき結果と思われる。

水位挙動d)型を示すのは、ストレーナー区間が、沖積層中にあるNo.12.16地点と洪積層中にあるNo.49地点及び両層にまたがるNo.7地点の4ヶ所であり、推定加速度が175~225gal以上の比較的大きな揺れの地区に位置する。

水位挙動e)型を示すのは、ストレーナー区間が、沖積層中にあるNo.9地点と洪積層中にあるNo.11.19.25.26.37.50地点及び両層にまたがるNo.32地点の計8ヶ所で砂のしまり具合を示すN値及び推定加速度ともばらつく。

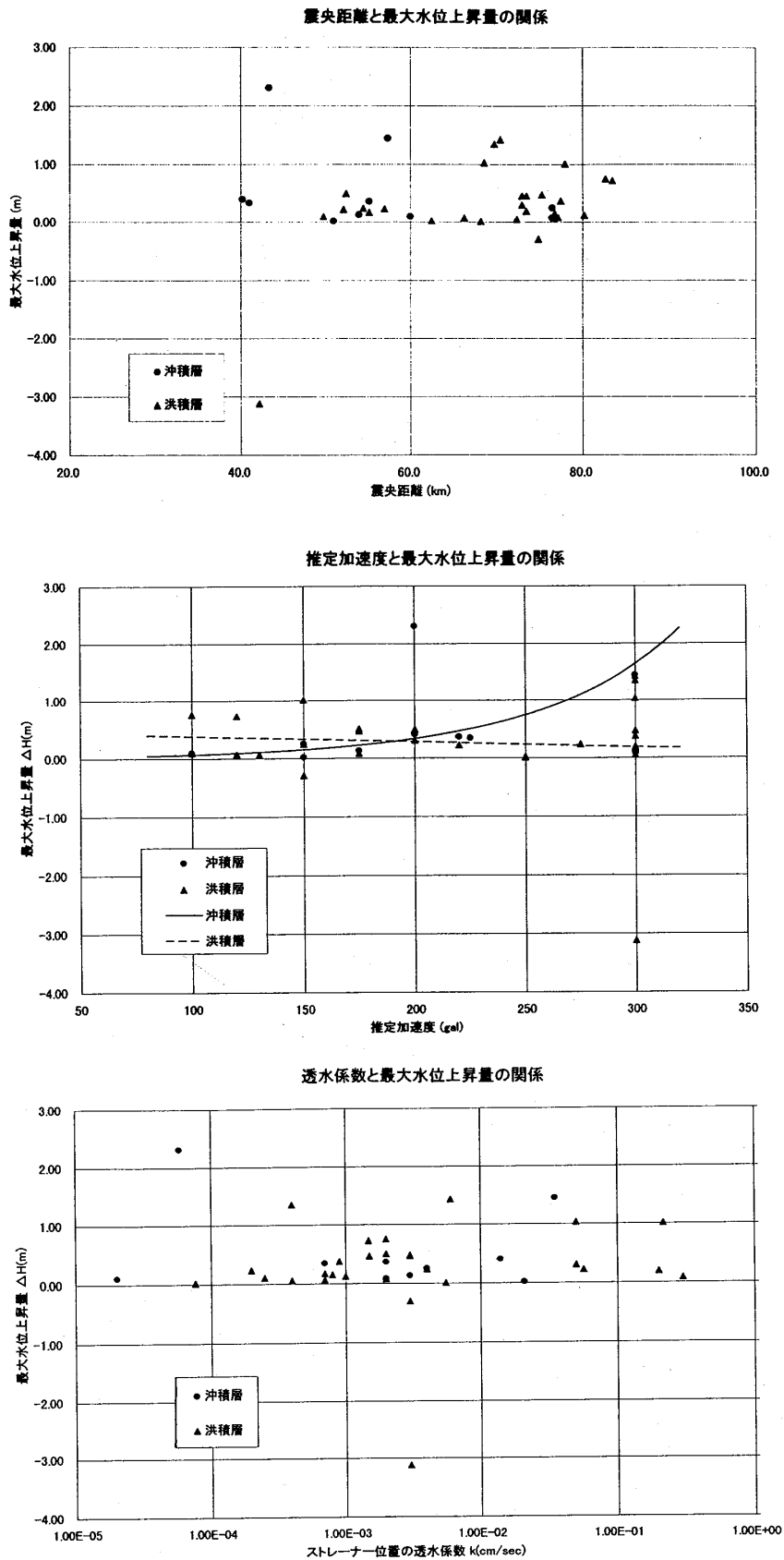


図-6 震央距離・推定加速度・透水係数と最大水位上昇の関係図

Fig. 6 upper : The relationship between the distance from the epicenter and the maximum change of ground water level. middle : The relationship between the inferred acceleration and the maximum change of ground water level. lower : The relationship between the coefficient of permeability and the maximum change of ground water level.

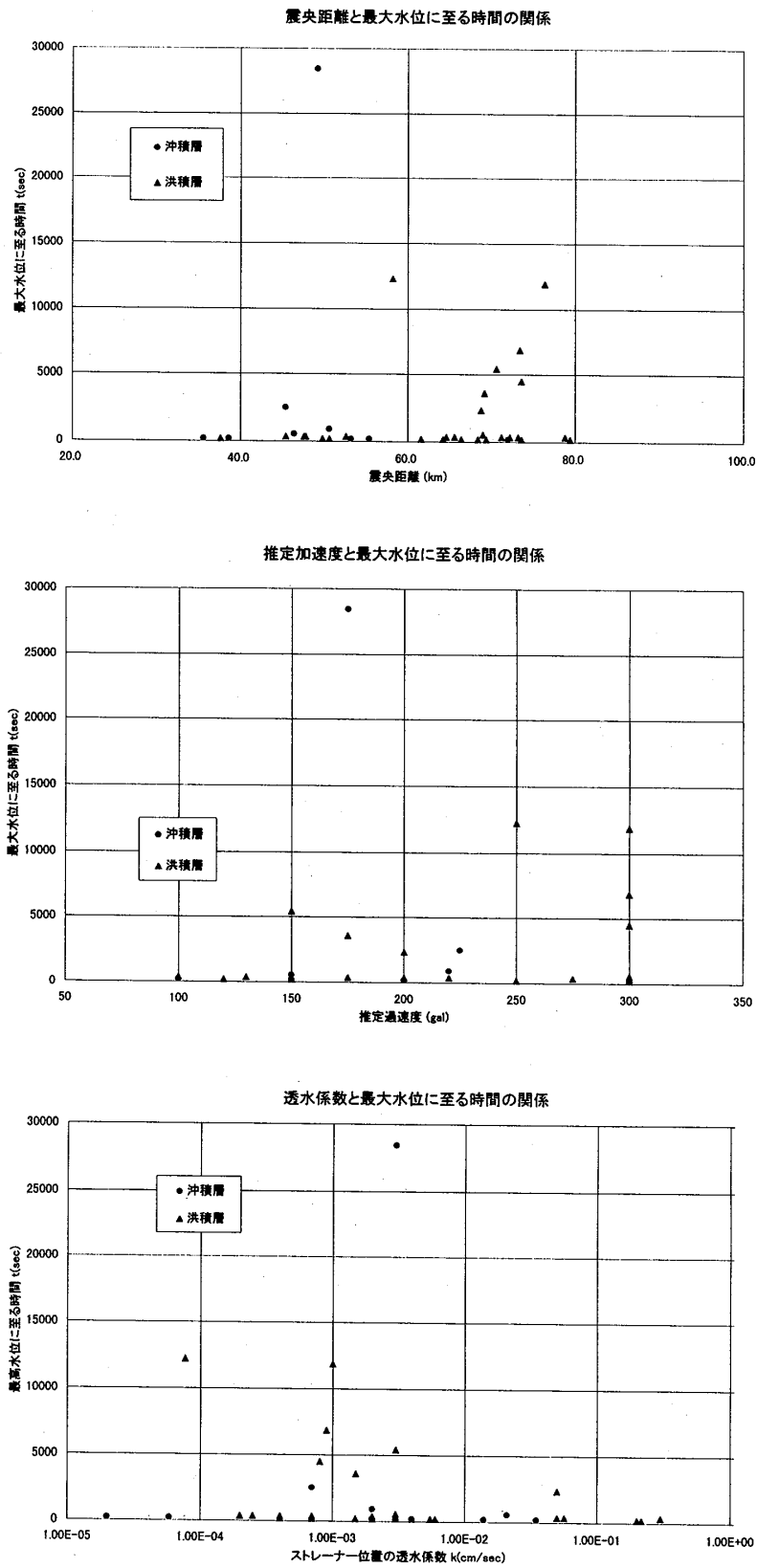


図-7 震央距離・推定加速度・透水係数と最大水位に至る時間の関係図

Fig.7 upper : The relationship between the distance from the epicenter and the time occupied for ground water level to arrive at the maximum. middle : The relationship between the inferred acceleration and time occupied for ground water level to arrive at the maximum. lower : The relationship between the coefficient of permeability and time occupied for ground water level to arrive at the maximum.

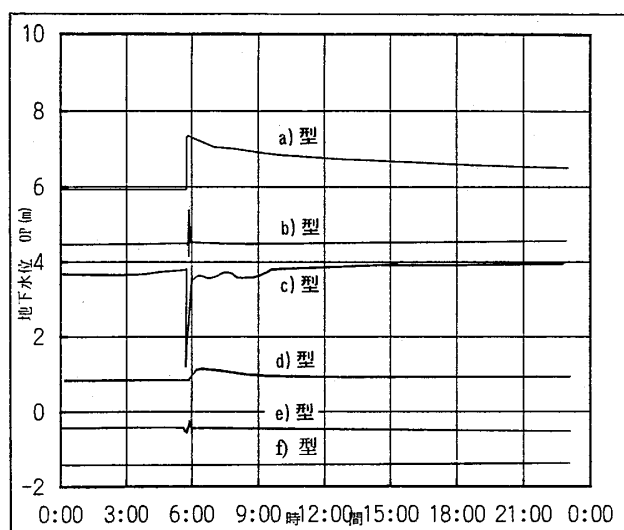


図-8 水位変動形態分類模式図

Fig. 8 Six typical patterns of behavior of ground water level at Hyogo-ken Nanbu earthquake.

水位挙動 f) 型を示すのは、ストレナー区間が、洪積層中にある No. 3, 40 地点の 2ヶ所で、推定加速度が 250~300gal 以上と大きい、良く締まっている地区である。この型についてもデータが少なく、現状では何ともいえない。

2・2・2 水位変化の大きさや透水係数との関係

① 今回の地震における水位変化の大きさは、図-5を見ると、ストレナー区間が沖積層中の場合で大きく、洪積層中の場合には小さい。また、この水位変化の大きさは、図-6に示すように、ストレナー区間が沖積層にある場合、推定加速度が大きくなるにつれ大きくなる傾向を示すが、洪積層中にある場合には、この傾向を示さない。

また、ストレナー区間が沖積層から洪積層に設けられた観測井では、地震時の水位上昇が大きなグループ(観測井 No. 31, 10)と小さなグループ(観測井 No. 1, 2, 7, 21, 29, 31, 44)に分かれる。これは、上記した沖積層部分の影響を強く受ける場合と洪積層部分の影響をより強く受ける場合とがあることに対応しているのではないかと考えられる。

② ストレナー区間の透水係数と地震後に最大水位に到達する時間の関係は、透水係数が $k = 1 \times 10^{-3}$ (cm/sec) 程度以上の範囲では、透水係数が高いほど短時間で最大水位に至り、 $k = 1 \times 10^{-3}$ (cm/sec) に近づくと長時間になる傾向がある。ただし、この透水係数よりも小さい透水係数では液状化がより発生しにくい粒径の範囲になるため、この傾向が当てはまらなくなるようである。

3 地下水位変化に対する考察

3・1 観測地点の液状化ポテンシャル

本項では、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編の式(平成 8 年 12 月発行: 社団法人日本道路協会)の液状化判定法により実施した、観測井設置地点における液状化判定結果について述べる。判定には、観測井設置時のボーリング柱状図と、地表面の推定加速度を使用した。なお、砂の粒度試験は実施されていないため、平均粒径 D_{50} (mm) は土質名をもとに標準的な値を使用した。各地点の液状化判定結果を図-9に一覧して示すと共に図-10の平面分布図中にも示した。これらの図より、以下の特徴が伺える。

① ストレナー区間を沖積層に設置している 10 地点の中で、明らかに液状化する可能性が大きいのは、観測井 No. 4, 5, 8, 9, 12, 16, 28 地点の 7ヶ所で、大阪湾岸と神崎川や河内平野の低平地が主である。これらの地点は、No. 9 地点の e) 型及び No. 16 地点の d) 型と No. 28 地点の b) 型を除き、水位変化が明瞭で大きな水位変化の a) 型に分類された地点である。

一方、液状化の発生の可能性が低いのは、表層から砂礫が分布する No. 6 地点や、地下水位が約 GL-4 ~ -5 m 付近にあって、やや深い地点の場合である。

② ストレナー区間が洪積層中にある 30 地点の内、液状化発生の可能性を示したのは、16 地点 (No. 18, 20, 26, 23, 25, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 43, 46, 48, 49, 50) である。これらの地点は、No. 20, 23, 36, 43, 49 地点と水位測定値の無い No. 35, 48 地点を除き、いずれも地震時の水位変化が明瞭に認められた No. 30, 38, 39, 46, 47 の水位挙動 a) と、その水位変化量がやや小さいその他の e) 型に分類され、淀川の支川である桂川・宇治川・木津川の三川合流部付近に集中する。

③ ストレナー区間が沖積層から洪積層までの両方の地点の場合、液状化発生の可能性があるのは、10 地点の内 3 地点の観測井 No. 10, 34, 44 地点である。なお、これらの 3 地点のうち、No. 10 では記録が取れておらず、この 3 地点における地下水位の変動については、断定的なことはいえない。

しかし、この地区も基本的には 300gal 以上の加速度分布の地区であり、水位の変化は明瞭であったと可能性が高い。

また、この地区は立地位置的には、洪積層の場合

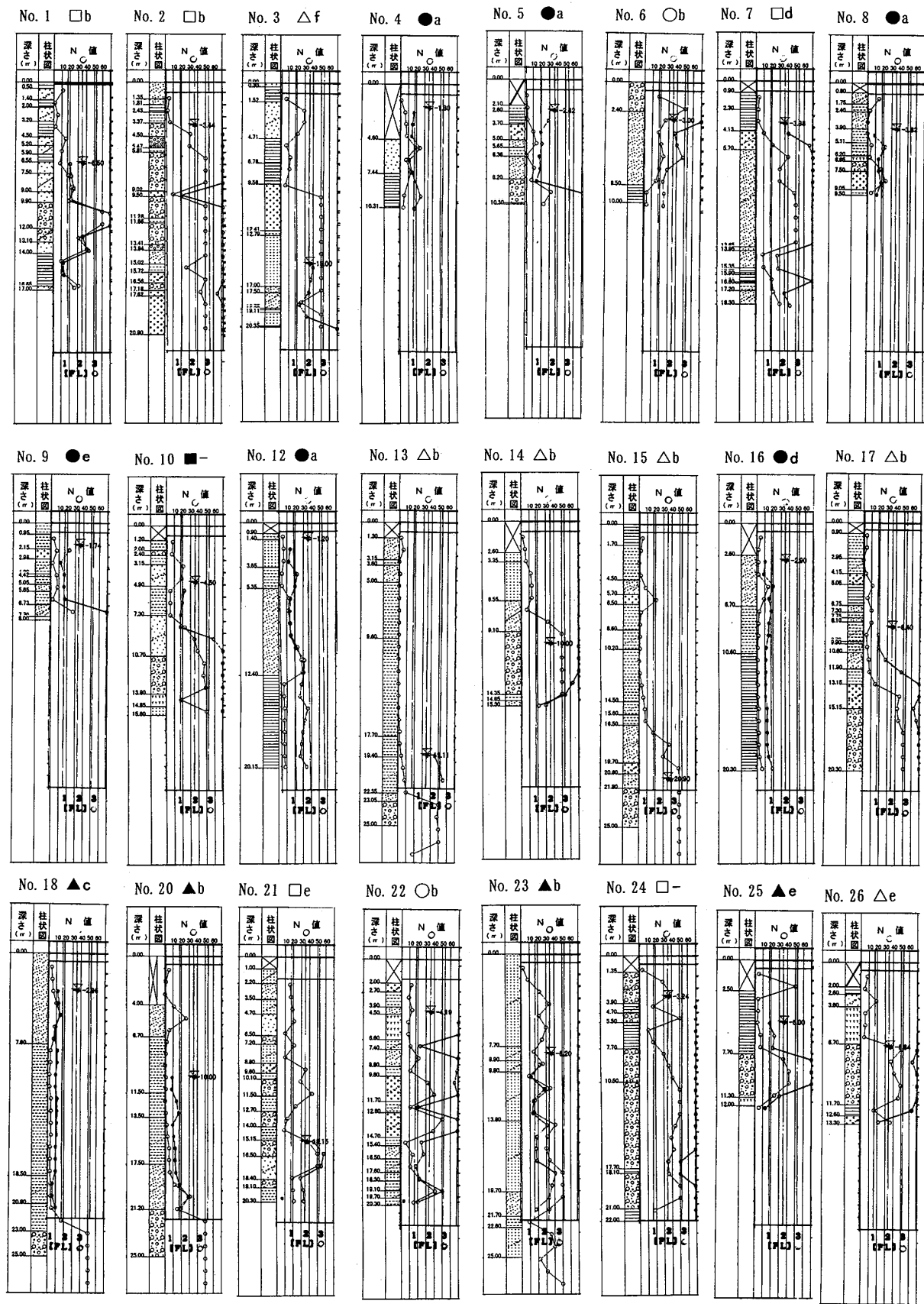


図-9 兵庫県南部地震に伴う液状化判定結果 (新基準)

Fig. 9 Geological columns with distribution of N value before Hyogo-ken Nanbu earthquake and results of evaluation for liquefaction potential on surface movement correspondent to the earthquake (based on new criteria).

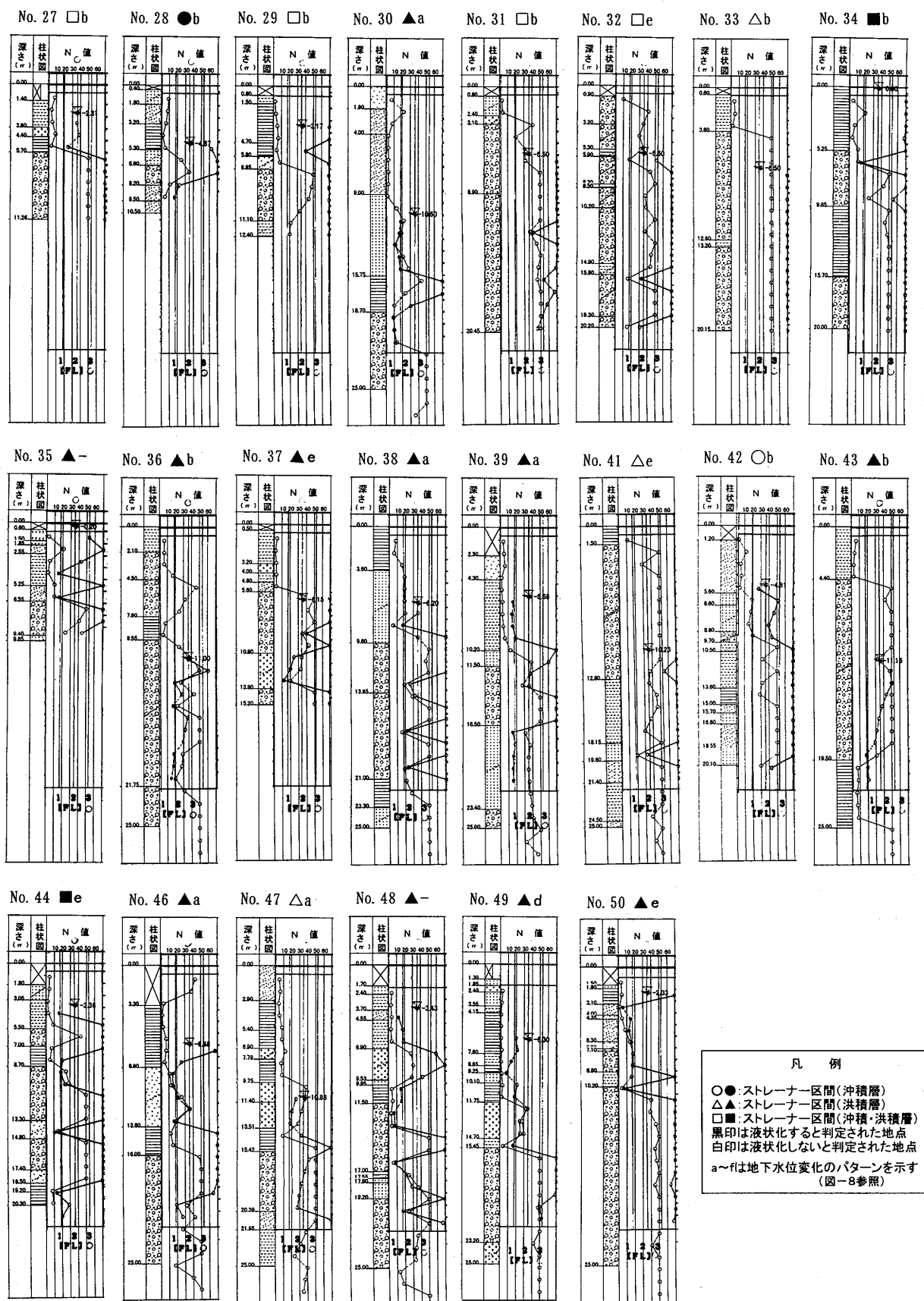


図-9 兵庫県南部地震に伴う液状化判定結果(新基準)

Fig.9 Geological columns with distribution of N value before Hyogo-ken Nanbu earthquake and results of evaluation for liquefaction potential on surface movement correspondent to the earthquake (based on new criteria).

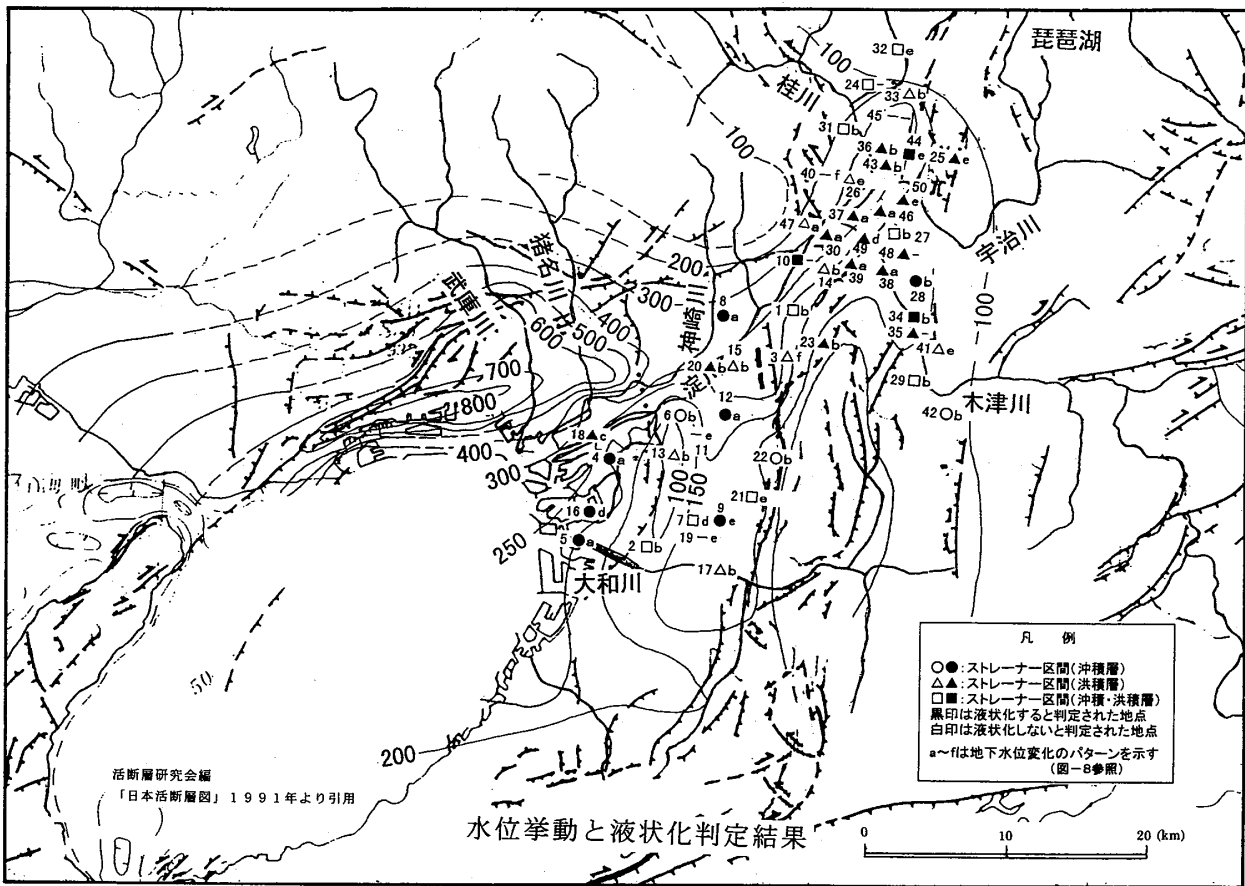


図-10 水位挙動と液状化判定結果

Fig.10 Distribution map plotted results of evaluation for liquefaction potential and behavior patterns of ground water level.

同様、淀川三川合流部に比較的近い。

3・2 液状化ポテンシャルと地下水挙動

液状化判定結果と地下水位の挙動の関係は、液状化発生の可能性が大きい地点では、地震時の地下水位挙動が急激に上昇し緩やかに降下するという傾向を明瞭に示した。この結果は、地震に伴う地下水位の変化が、液状化ポテンシャルの評価と密接に関係していることを示唆するものと思われる。

ちなみに、旧基準である平成2年2月の道路橋示方書による液状化の判定を試みた結果を、表-2及び図-11に示した。旧基準で判定結果が異なったのは、観測井No.23.34地点が液状化から非液状化へ変わり、No.2.26.47地点が非液状化から液状化へ変化した5ヶ所にとどまり、全体50ヶ所の傾向を変更するものではなかった。

今回の結果は、淀川下流部における被災の他に、淀川三川合流部付近にあって広い範囲で液状化が発生した、あるいは、少なくとも発生しつつあった、ということの意味するものであろう。

三川合流部地点は、地表から6m以上の厚さで非液状化層である粘性土が分布するか、または地下水位が6m以深と深く、液状化が発生した場合でも地表までその影響が到達しにくい土質分布条件にあることが特徴である。

この地区の液状化履歴は、日本の地盤液状化履歴図(1991年：若松加寿江著)によれば、1891年(明治24年)の濃尾地震(M7.8)のものが知られている。この地震で、淀川大山崎地区河床と木津川河床及びその沿川の数ヶ所で液状化したことが記録されている。図-12には、現在の地形図と、濃尾地震が発生した時期に近い1909年(明治42年)の迅速図を並記した。これらを比べてみると、液状化の発生したところは水田であったが、宅地化が進行し地形が改変されてきたことが把握される。したがって、非常に大きな地震動にあっては再液状化の可能性もあるが、濃尾地震以後の度重なる洪水による埋積と、埋め立てによる土地改変で、より液状化が発生し難い地盤条件に変化してきたといえよう。

表-2 液状化判定結果の各地点の比較

Table.2 Behavior pattern of ground water level and both the results of evaluation for liquefaction based on new criteria and old criteria for each well.

No	水位タイプ	新基準	旧基準	No	水位タイプ	新基準	旧基準
1	b	□	□	26	e	△	▲
2	b	□	■	27	b	□	□
3	f	△	△	28	b	●	●
4	a	●	●	29	b	□	□
5	a	●	●	30	a	▲	▲
6	b	○	○	31	b	□	□
7	d	□	□	32	e	□	□
8	a	●	●	33	b	△	△
9	e	●	●	34	b	■	□
10	-	■	■	35	-	▲	▲
11	e	-	-	36	b	▲	▲
12	a	●	●	37	e	▲	▲
13	b	△	△	38	a	▲	▲
14	b	△	△	39	a	▲	▲
15	b	△	-	40	f	-	-
16	d	●	●	41	e	△	△
17	b	△	△	42	b	○	○
18	c	▲	△	43	b	▲	▲
19	e	-	-	44	e	■	■
20	b	▲	△	45	-	-	-
21	e	□	□	46	a	▲	▲
22	b	○	○	47	a	△	▲
23	b	▲	△	48	-	▲	▲
24	-	□	□	49	d	▲	▲
25	e	▲	▲	50	e	▲	▲

○●: ストレーナー区間(沖積層)
 △▲: ストレーナー区間(洪積層)
 □■: ストレーナー区間(沖積・洪積層)
 黒印は液状化する
 白印は液状化しない

4 まとめ

平成7年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震は、神戸市を中心に京阪神地区に未曾有の被害を発生させた。淀川下流部の堤防においても、液状化に起因した多くの噴砂や最大3mにおよぶ堤防沈下等の大きな被害が発生した。またこの地震の時、淀川沿川の広い範囲に50ヶ所の地下水観測井が測定継続中であり、地震時の水位変動を記録した。今回、この水位観測記録を検討した結果、以下の点が明らかとなった。

- ① 地震に伴う地下水挙動は、ほぼ全観測地点で確認された。水位変化のパターンは、大きく以下の6つのタイプに分けることができた。
- ・急上昇の後緩やかに低下し回復が遅延する場合 a) 型
 - ・急上昇の後急低下し元の水位に復帰する場合 b) 型
 - ・一端降下した後上昇する場合 c) 型
 - ・緩やかな上昇と低下をする場合 d) 型

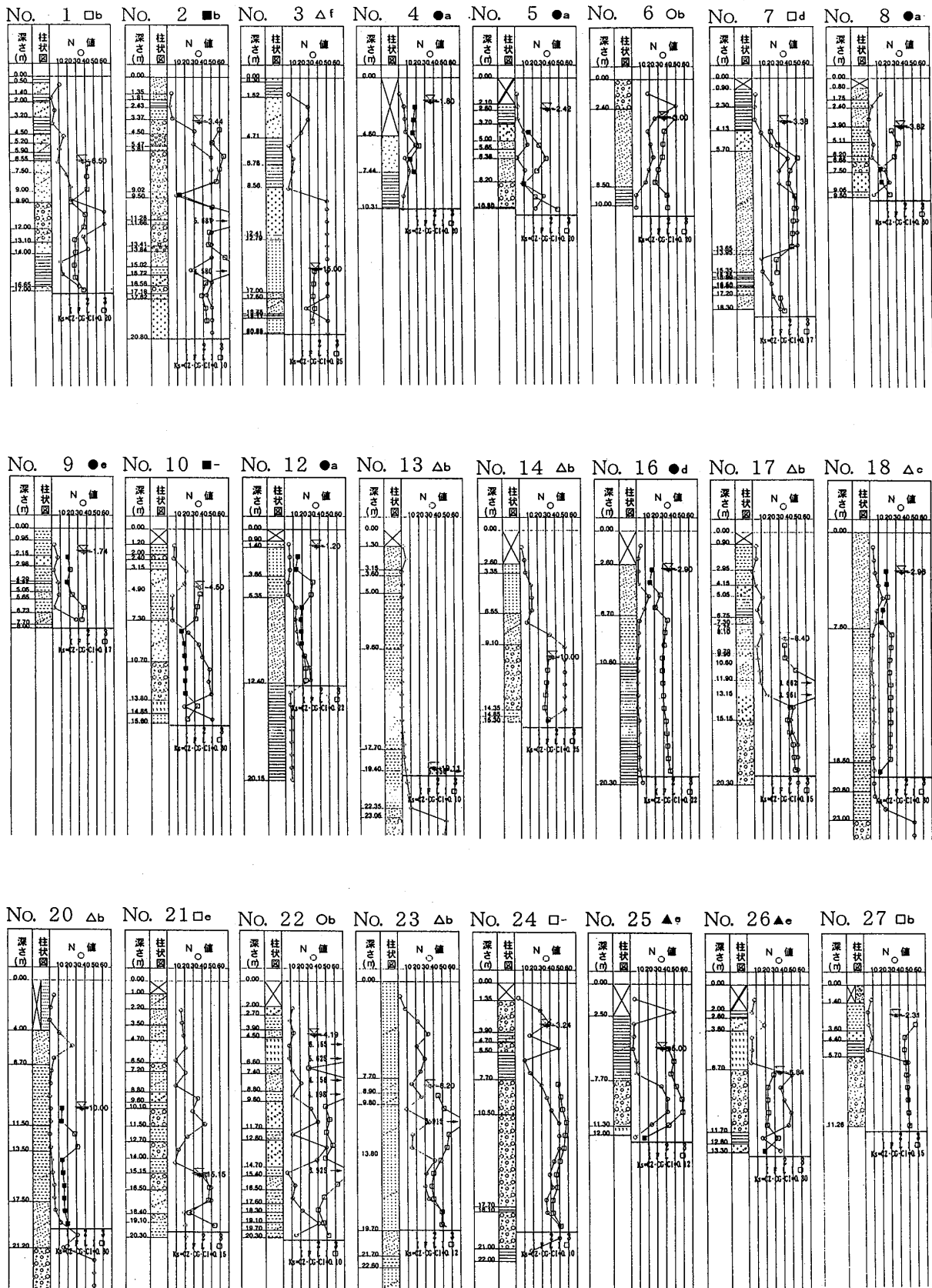


図-11 兵庫県南部地震に伴う液状化判定結果 (旧基準)

Fig. 11 Geological columns with distribution of N value before Hyogo-ken Nanbu earthquake and results of evaluation for liquefaction potential on surface movement corresponding to the earthquake (based on old criteria).

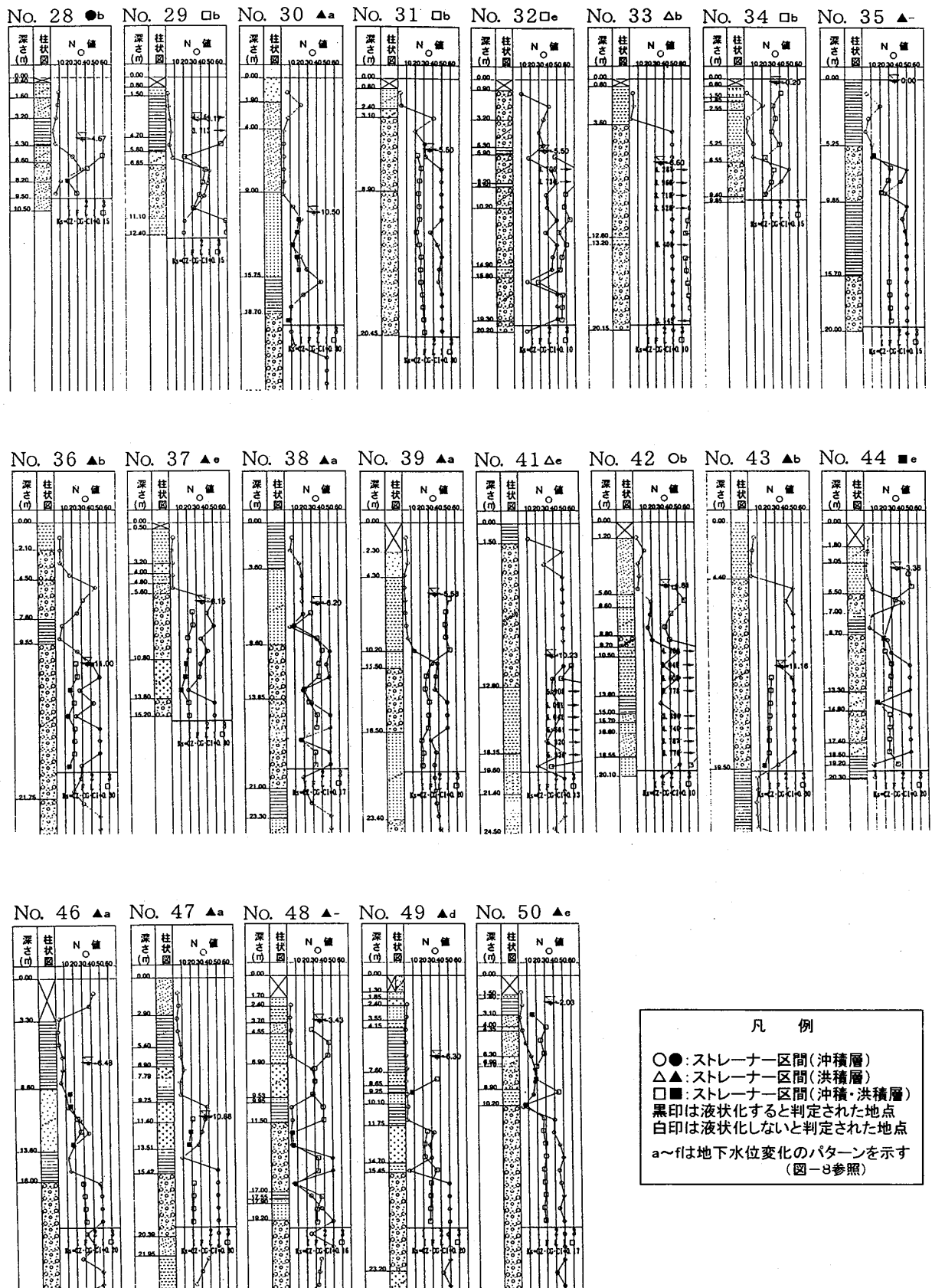
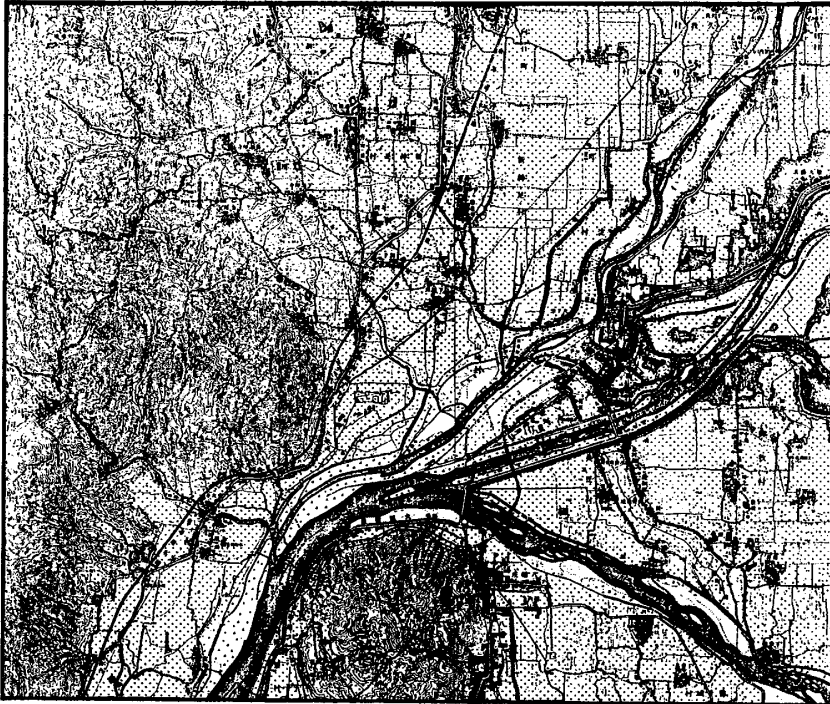


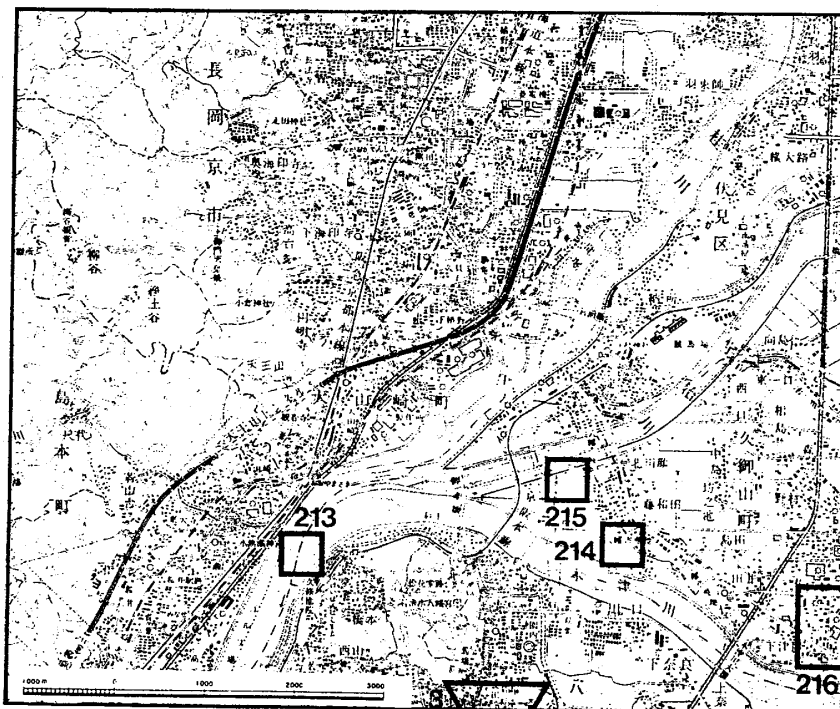
図-11 兵庫県南部地震に伴う液状化判定結果 (旧基準)

Fig. 11 Geological columns with distribution of N value before Hyogo-ken Nanbu earthquake and results of evaluation for liquefaction potential on surface movement correspondent to the earthquake (based on old criteria).

(1)



(2)



凡 例

- ▽ 10 山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後
若狭・近江・美濃・伊勢(1662.6.16)
- 58 濃尾地震(1891.10.28)

図-12 液状化履歴と土地利用変化との相関図 (1) 明治42年迅速図 (2) 液状化履歴図 (1991年: 若松加寿江著)
Fig.12 The relationship map versus liquefaction marks to change of land improvement.

・ a) 型に類似するが水位変動自体が小さい場合

e) 型

・ ほとんど変化が認められない場合

f) 型

これらの内、最も変動が大きく特徴的な a) 型は、ストレナー区間が沖積層中及び洪積層中とも推定加速度が175~300gal以上と大きく認められる場合が主で、沖積層中においては大阪湾岸・神崎川や河内平野の低平地に位置し、洪積層中においては淀川三川合流部付近に位置する。一方、この a) 型に類似しその水位変動量が小さな e) 型であっても、淀川三川合流部付近に位置する。この型は、水位変動の大きさは小さいが、水位変化がシャープで地震に伴う水位変化が明瞭である。

② 液状化判定の検討結果と水位挙動の関係では、a) 型と e) 型に分類される水位挙動の地点で、液状化の発生する可能性の高い $F_L \leq 1$ 以下の地点を多く含むことが分かった。

すなわち、水位変化の挙動が明瞭な地点では、液状化の発生する可能性も高いといえる。

ただし、淀川三川合流部付近では、地表部へ粘性土の堆積が卓越するか地下水位が低く、浅い層のような液状化はしにくい、あるいは、液状化しても被害が地表面に現れるほどにはならないといえよう。

5 あとがき

今回は、淀川周辺の水位観測井に記録された水位挙動を記録として残すことを主として考え、液状化の発生の可能性と水位挙動との関係についても若干の考察を試みた。まだ、現状では、観測されたデータを十分に解釈しきっていない。今後は、大阪平野のより多くのデータについても検討したい。

なお、淀川堤防においては、地震防災強化の一端とし、地震計・間隙水圧計の整備を行い、液状化機構の解明のためのデータを収集する計画があり、今後のデータの集積を待てば、更に地震時の挙動解明を定量的に行なうことが出来るようになるものと考えられる。

謝辞：最後に、本論文で使用した水位観測データは、建設省淀川工事事務所のご厚意により、震災時に得られた貴重なデータを広く公表することを目的に、ご提供いただいたものである。ここに紙面を借り謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 八郎瀧堤防災害復旧助成事業工事誌 1983 秋田県.
- 2) 千葉県東方沖地震被害調査報告書 1987 千葉県土木部.
- 3) 北海道地震災害実態調査研究会報告書 1993 北海道開発局.
- 4) 地震時の地下間隙水圧の変化について 1996 工藤健一・小宮一仁・渡邊 勉・清水英治(第30回土質工学研究発表会) B-4 75 P.185.
- 5) 地盤と地下水の実態からみた阪神大震災の被害の相違について 1995 田中 茂(建設工学研究所報告:阪神・淡路大震災特集号;財団法人建設工学研究所) P29~71.
- 6) 兵庫県南部地震による地盤の液状化事例報告 1996 沢田好幸・小野寺功(土と基礎 2月) 44-2 P51~53.
- 7) ポートアイランド及び六甲アイランドの地盤変状について 1996 平岡呂晃・山田耕一郎・長谷川憲考・田中泰雄(第31回地盤工学研究発表会講演集:平成8年7月) C-7 183 P365~366.
- 8) 北海道周辺で発生した大地震によって生じた地下水水位変動 1996 秋田藤夫・松本則夫(日本地震学会1996年度秋季大会)ポスターセッション P104.
- 9) 湧水量から推定される沈降水量-1995年兵庫県南部地震による淡路島の湧水- 1996 佐藤 勉・高橋 誠(日本地震学会1996年度秋季大会)ポスターセッション P106.
- 10) 神戸の地盤 1980 神戸市企画局(神戸市企画局編).
- 11) 大阪地盤図 1966 日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部編(コロナ社).
- 12) 新編大阪地盤図 1987 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会(コロナ社).
- 13) 海底地盤-大阪湾を例として- 1995 土質工学会関西支部.
- 14) 1987年千葉県東方沖地震における液状化現象について 1988 堂元史博・岩崎恒明・古田一郎・田中 宏・吉田行堯史(土木学会第43回年次学術講演会) 三-207.
- 15) 阪神・淡路大震災調査報告書(解説編)1996 社団法人地盤工学会・阪神大震災調査委員会.
- 16) 河川構造物地震対策検討委員会 報告書(案)1996(財)国土開発技術研究センター P24.
- 17) 新編日本の活断層-分布図と資料- 1991 活断層研究会編(東京大学出版会).
- 18) 日本の地盤液状化履歴図 1991 若松加寿江(東海大学出版会).

