

2016年熊本地震による近見地区から川尻地区にかけての液状化被害分析

橋本 隆雄¹

¹正会員 国士舘大学理工学部まちづくり学系教授 (〒154-8515 東京都世田谷区世田谷4-28-1)

E-mail: thashimo@kokushikan.ac.jp

2016年熊本地震では、2016年4月14日の前震と16日の本震によって、熊本市内で地盤の液状化による建物・宅地・道路・ライフラインの被害が発生した。熊本市では、約2,900宅地において液状化による建物の沈下・傾斜等の甚大な被害を生じた。特に近見地区では、前震及び本震で液状化の帯と言われる線状の建物に著しく沈下・傾斜していた。

本論文では、熊本市の近見地区全域の液状化被害調査および被害が顕著だった地区に対してのアンケート調査を用いて、建物構造・階数、基礎構造と建物の沈下・傾斜の関係について分析し、液状化被害原因を探ることを目的としている。

Key Words: times, italic, 10pt, one blank line below abstract, indent if key words exceed one line

1. はじめに

2016年熊本地震では、2016年4月14日21時26分の前震M6.5の地震と4月16日1時25分の本震M7.3の強震動の作用によって、熊本市内で地盤の液状化による建物・宅地・道路・ライフラインの被害が発生した。特に熊本市では、地震の規模が大きかつ震源深さが10kmと浅かったことから、長周期地震動が強く発生し、写真-1のように約2,900宅地¹⁾において液状化による建物の沈下・傾斜等の甚大な被害を生じた。

図-1は村上ら地盤工学会が航空写真より判別された液状化による噴砂発生箇所がプロットした熊本地震による液状化発生箇所²⁾である。この赤点は、「液状化の帯」として新聞でも報道された熊本市南区の旧鹿兒島街道沿いの近見地区から川尻地区(以下、近見地区という。)の液状化地点の分布で、幅50~100m、長さ5km近くにわたって噴砂が見られた¹⁾²⁾。

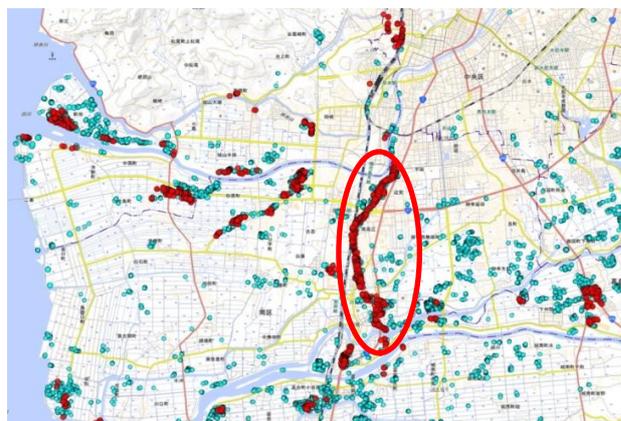
この近見地区では、前震で近見から南高江にかけて液状化が発生し、本震で分布範囲がさらに南方の川尻にまで広がり、両側の住宅・店舗、外構が著しく沈下・傾斜していた。

そこで、本論文では、熊本市の近見地区で液状化発生した箇所において建物構造・階数、基礎構造と建物の沈下・傾斜の関係について分析し、液状化被害原因を探ることを目的としている。



(a)建物の傾斜 (b)建物のめりこみ沈下

写真-1 近見地区の液状化による被害状況



凡例

- 地盤工学会調査団液状化班で確認した地点
- 地盤工学会空中写真判読結果の地点

図-1 熊本地震による液状化発生箇所²⁾

2. 熊本市内の既存の液状化被害分析

(1) 気象庁震度階級の震度と液状化発生との関係

図-2 及び図-3 は、若松らが作成した前震 (M6.5) 及び本震 (M7.3) の推定震度分布と液状化発生地点の関係³⁾である。近見地区は、前震の推定震度が北部で 6 強、その他は 6 弱、本震の推定震度が全て震度 6 強以上である。図-4 は、若松らが低地における震度ごとの液状化発生率³⁾ (液状化発生メッシュ数/総メッシュ数) を、250m メッシュ単位で整理したものである。近見地区の液状化発生率は、この図から本震が震度 6 強となるので、前震と本震を合わせて 25%程度となる。

(2) 微地形区分と液状化発生の関係

図-5 は、若松らが作成した液状化地点と微地形区分の関係³⁾⁴⁾で、前震・本震・余震のいずれかで震度 6 弱以上を観測した地域の後背湿地 (緑色)・自然堤防 (薄黄色)・三角州 (空色)・干拓地 (薄紫色) で液状化が発生しているとなっている。近見地区は、本地震による震度 6 強以上の地域で後背湿地 (緑色) に全て含まれている。

(3) 公共施設被害箇所と液状化発生箇所の関係

図-6 は熊本地震による近見地区付近の道路、下水道、電柱等の公共施設被害箇所と液状化発生箇所とを重ね合わせたもの⁴⁾である。図-7 の近見地区における公共施設被害箇所と液状化発生箇所との重ね図⁴⁾では、液状化被害箇所と公共施設被害箇所がほぼ一致している。この液状化発生箇所を基に熊本市内の液状化被害の被害状況の把握を行う目的として、熊本市内の噴砂発生箇所に対して家屋の被害状況の現地調査を行ったものである。また、道路、下水道、電柱等の被害状況とも照らし合わせることで液状化の被害のあった地区を把握し、液状化被害との相関を確認した。

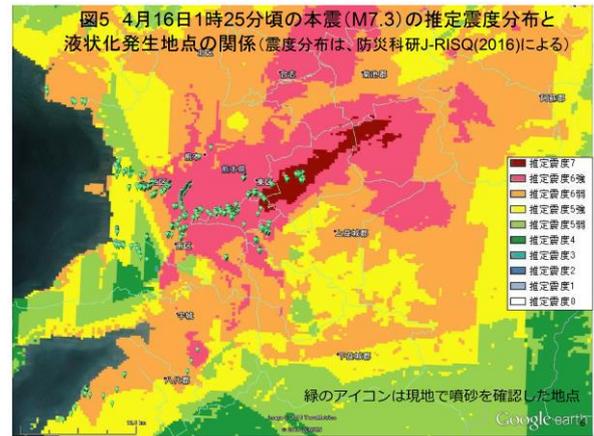


図-3 本震の推定震度分布と液状化発生地点の関係³⁾

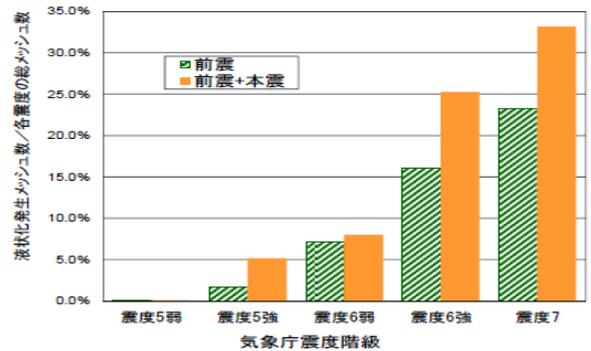


図-4 低地における震度ごと液状化発生率³⁾⁴⁾

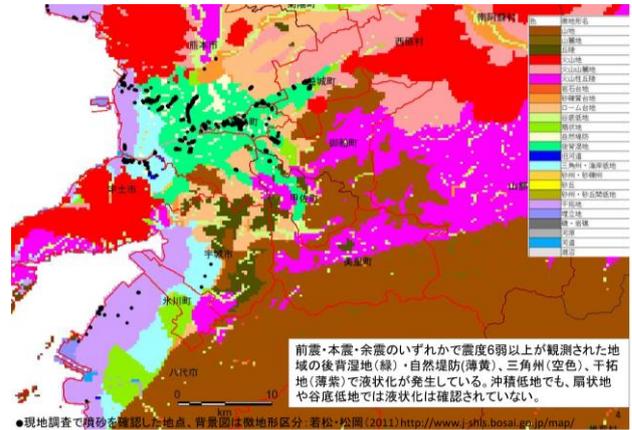


図-5 液状化地点と微地形区分の関係³⁾⁴⁾

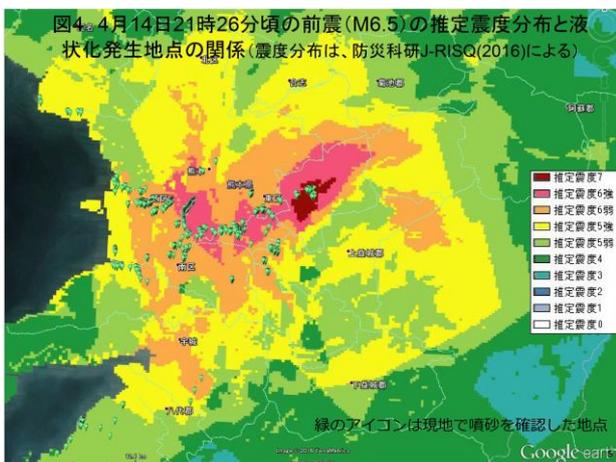


図-2 前震の推定震度分布と液状化発生地点の関係³⁾⁴⁾

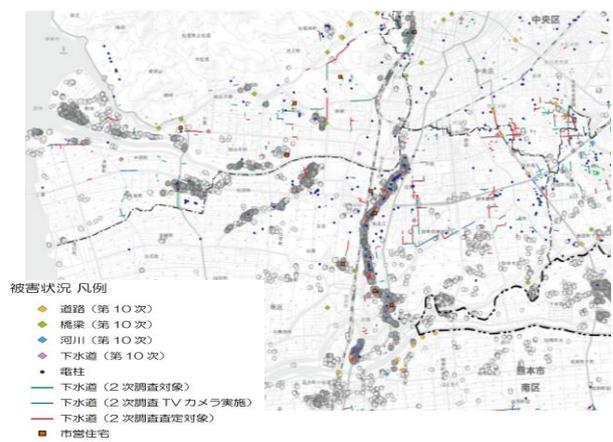


図-6 公共施設被害箇所と液状化発生箇所との重ね図⁵⁾

3. 近見地区の液状化被害調査

(1) 液状化被害調査

液状化被害状況の調査は、熊本市が熊本市内を対象として熊本地震が発生した直後の平成 28 年 6 月 20 日～平成 28 年 9 月 30 日の期間に実施された。調査方法は、噴砂箇所と建物や地盤の傾斜・沈下量を測量計測した。現地調査による家屋沈下図と、地震前と地震後のレーザー航空測量の差分から作成した液状化による地盤沈下図との重ねを行った。被害箇所測量の対象となる地区は、以下の4地区の1,723宅地、92.86ヘクタールである。

- ① 近見地区 1,340宅地 71.13ha
- ② 土河原地区 284宅地 16.01ha
- ③ 秋津(間島団地) 59宅地 1.19ha
- ④ 中原地区 40宅地 3.98ha

(2) 近見地区の液状化被害の調査

熊本市では、図-8のように近見地区全体の近見①160戸、近見②230戸、近見③135戸、近見④332戸、近見⑤205戸、近見⑥242戸、近見⑦36戸の合計1,340戸の調査を行った。そこで、国土地理院の地図に各被害状況及び建物構造・基礎構造を地区ごとにGISを用いてプロットし、この調査の分析を行った。

4. 近見地区全体の被害分析

(1) 建物被害の分析

表-1は、近見地区の各地区毎の罹災証明による建物被害の判定結果を表したものである。全体の建物被害は、図-9(a)～図-15(a)に示すように全壊●80件(6.0%)、大規模半壊●147件(11.0%)、半壊●216件(16.1%)、一部損壊●197件(14.7%)、無被害700件(52.2%)である。建物被害は、国道に沿って被害が帯上に生じている。建物被害の程度は、国道の中央部分の被害が顕著で、幅が広がるにつれて被害が小さくなっている。特に、1～3地区の被害は、4～7地区に比較して被害が大きくなっている。

(2) 建物構造別の分析

表-2は、近見地区の各地区毎の建物構造別に分類したものである。全体の建物構造(半壊～全壊率)は、図-9(b)～図-15(b)に示すように木造■1072件(80.0%)、鉄骨◆183件(13.7%)、RC★84件(6.3%)、その他▲1件(0.1%)である。液状化被害を受けた近見地区の建物構造は特に、地区による違いはない。

建物被害の程度は、建物構造が木造>鉄骨>RCの順になっている。特に、木造の被害が非常に多い。

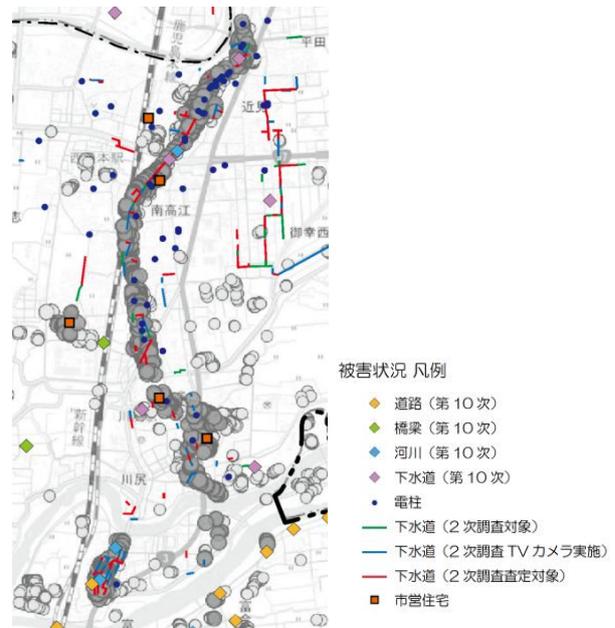


図-7 公共施設被害箇所と液状化発生箇所との重ね図⁹⁾

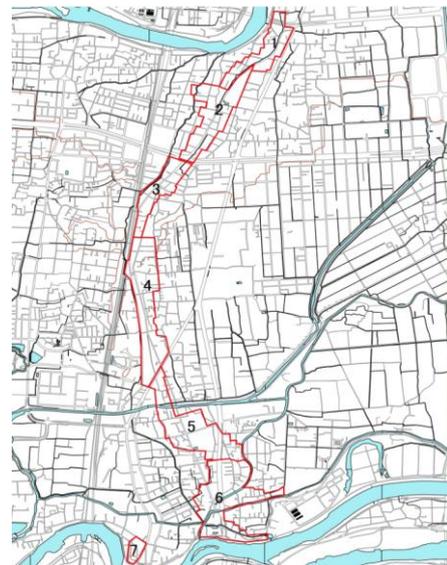


図-8 対象地区の区分け

表-1 各地区毎の建物被害判定結果(件)

地区	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	無被害
1	17	38	25	26	54
	10.6%	23.8%	15.6%	16.3%	33.8%
2	20	29	35	32	114
	8.7%	12.6%	15.2%	13.9%	49.6%
3	17	20	25	18	55
	12.6%	14.8%	18.5%	13.3%	40.7%
4	13	45	54	43	177
	3.9%	13.6%	16.3%	13.0%	53.3%
5	7	6	31	32	129
	3.4%	2.9%	15.1%	15.6%	62.9%
6	4	8	42	42	146
	1.7%	3.3%	17.4%	17.4%	60.3%
7	2	1	4	4	25
	5.6%	2.8%	11.1%	11.1%	69.4%
合計	80	147	216	197	700
	6.0%	11.0%	16.1%	14.7%	52.2%

(3) 建物基礎構造別の分析

表-3は、近見地区の各地区毎の建物基礎構造別に分類したものである。全体の建物基礎構造は、図-9(c)～図-15(c)に示すように布基礎■836件(62.4%)、ベタ基礎★429件(32.0%)、独立基礎◆28件(2.1%)、杭基礎▲47件(3.5%)である。液状化被害を受けた近見地区の建物構造は特に、地区による違いはない。建物被害の程度は、近見①地区の表-4から建物基礎構造が独立基礎>布基礎>ベタ基礎>杭基礎の順に大きくなっている。特に、布基礎の被害が非常に多く、ベタ基礎、杭基礎は逆に被害が小さい。

(4) 建物傾斜の分析

表-5は、近見地区の各地区毎の建物傾斜別に分類したものである。全体の建物傾斜は、図-9(d)～図-15(d)に示すように0～5/1,000未満↑107件(8.06%)、5～10/1,000未満↑444件(33.1%)、10～16/1,000未満↑364件(27.2%)、16～50/1,000未満↑404件(30.1%)、50/1,000～↑21件(1.6%)ある。建物被害の程度は、1～3地区の被害が4～7地区に比較して被害が大きくなっている。建物被害の程度は、近見①地区の表-6から建物傾斜が大きくなるに従い、大きくなっている。また、傾斜をしている向きが地区の中に流れている水路に向かって傾いている建物が多い。

表-2 各地区毎の建物構造 (件)

地区	木造		鉄骨		RC		その他	
	半壊～	全体	半壊～	全体	半壊～	全体	半壊～	全体
1	73	121	5	28	2	11	0	0
	45.6%	75.6%	3.1%	17.5%	1.3%	6.9%	0%	0%
2	75	188	6	27	3	15	0	0
	32.6%	81.7%	2.6%	11.7%	1.3%	6.5%	0.0%	0.0%
3	48	91	13	35	1	9	0	0
	35.6%	67.4%	9.6%	25.9%	0.7%	6.7%	0.0%	0.0%
4	99	274	10	41	2	16	1	1
	29.8%	82.5%	3.0%	12.3%	0.6%	4.8%	0.3%	0.3%
5	43	166	1	20	0	19	0	0
	21.0%	81.0%	0.5%	9.8%	0.0%	9.3%	0.0%	0.0%
6	51	202	1	27	2	13	0	0
	21.1%	83.5%	0.4%	11.2%	0.8%	5.4%	0.0%	0.0%
7	6	30	1	5	0	1	0	0
	16.7%	83.3%	2.8%	13.9%	0.0%	2.8%	0.0%	0.0%
合計	395	1072	37	183	10	84	1	1
合計	29.5%	80.0%	2.8%	13.7%	0.7%	6.3%	0.1%	0.1%

表-3 各地区毎の建物基礎構造 (件)

地区	布基礎		ベタ基礎		独立基礎		杭基礎	
	半壊～	全体	半壊～	全体	半壊～	全体	半壊～	全体
1	57	94	20	50	2	11	1	5
	35.6%	58.8%	12.5%	31.3%	1.3%	6.9%	0.6%	3.1%
2	55	132	28	89	0	0	1	9
	23.9%	57.4%	12.2%	38.7%	0.0%	0.0%	0.4%	3.9%
3	46	75	12	45	4	8	0	7
	34.1%	55.6%	8.9%	33.3%	3.0%	5.9%	0.0%	5.2%

4	87	205	25	122	0	4	0	1
	26.2%	61.7%	7.5%	36.7%	0.0%	1.2%	0.0%	0.3%
5	42	134	2	56	0	3	0	12
	20.5%	65.4%	1.0%	27.3%	0.0%	1.5%	0.0%	5.9%
6	48	171	6	57	0	1	0	13
	19.8%	70.7%	2.5%	23.6%	0.0%	0.4%	0.0%	5.4%
7	6	25	0	10	1	1	0	0
	16.7%	69.4%	0.0%	27.8%	2.8%	2.8%	0.0%	0.0%
合計	341	836	93	429	7	28	2	47
	25.4%	62.4%	6.9%	32.0%	0.5%	2.1%	0.1%	3.5%

表-4 近見①地区の建物被害と建物基礎構造の関係 (件)

建物構造	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	合計
布基礎	12	27	18	13	70
	7.5%	16.9%	11.3%	8.1%	43.8%
	17.1%	38.6%	25.7%	18.6%	100.0%
ベタ基礎	4	10	6	9	29
	2.5%	6.3%	3.8%	5.6%	18.1%
	13.8%	34.5%	20.7%	31.0%	100.0%
独立基礎	1	1	0	3	5
	0.6%	0.6%	0.0%	1.9%	3.1%
	20.0%	20.0%	0.0%	60.0%	100.0%
杭基礎	0	0	1	1	2
	0.0%	0.0%	0.6%	0.6%	1.3%
	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%	100%

注) 赤は建物構造別の百分率である。

表-5 各地区毎の建物傾斜 (件)

地区	0～5/ 1,000未満	5～10/ 1,000未満	10～16/ 1,000未満	16～50/ 1,000未満	50/1,000 ～
1	6	34	43	72	5
	3.8%	21.3%	26.9%	45.0%	3.1%
2	15	72	67	72	4
	6.5%	31.3%	29.1%	31.3%	1.7%
3	4	23	37	65	6
	3.0%	17.0%	27.4%	48.1%	4.4%
4	34	90	102	103	3
	10.2%	27.1%	30.7%	31.0%	0.9%
5	13	98	45	48	1
	6.3%	47.8%	22.0%	23.4%	0.5%
6	30	114	57	40	1
	12.4%	47.1%	23.6%	16.5%	0.4%
7	5	13	13	4	1
	13.9%	36.1%	36.1%	11.1%	2.8%
合計	107	444	364	404	21
	8.0%	33.1%	27.2%	30.1%	1.6%

表-6 近見①地区の建物被害と建物傾斜の関係 (件)

X/1000	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	合計
0～5 未満	1	0	1	0	2
	0.6%	0.0%	0.6%	0.0%	1.3%
	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%	100.0%
5～ 10未満	0	0	6	12	18
	0.0%	0.0%	3.8%	7.5%	11.3%
	0.0%	0.0%	33.3%	66.7%	100.0%
10～ 16未満	3	6	11	10	30
	1.9%	3.8%	6.9%	6.3%	18.8%
	10.0%	20.0%	36.7%	33.3%	100.0%
16～ 50未満	11	31	7	4	53
	6.9%	19.4%	4.4%	2.5%	33.1%
	20.8%	58.5%	13.2%	7.5%	100.0%
50～	2	1	0	0	3

	1.3%	0.6%	0.0%	0.0%	1.9%
	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	100.0%

注) 赤は建物構造別の百分率である。

(5) 建物被害の最大沈下量の分析

表-7 は、近見地区の各地区毎の建物被害の最大沈下量を分類したものである。全体の最大沈下量は図-9(e)~図-15(e)に示すように 0~10cm 未満 148 件 (45.6%)、10~20cm 未満 99 件 (30.6%)、20~30cm 未満 42 件 (13.0%)、30~40cm 未満 23 件 (7.1%)、40~50cm 未満 10 件 (3.1%)、50cm 以上 2 件 (0.6%) ある。建物被害の程度は、1~3 地区の被害が 4~7 地区に比較して被害が大きくなっている。建物被害の程度は、近見①地区の表-8 から建物沈下量が大きくなるに従い、大きくなっている。また、比較的地区の外側より内側寄りの建物のほうが、最大沈下量が大きい。

表-7 各地区毎の建物最大沈下量 (件)

地区	0~10 cm 未満	10~20 cm 未満	20~30 cm 未満	30~40 cm 未満	40~50 cm 未満	50cm~
1	17	9	14	8	9	2
	28.8%	15.3%	23.7%	13.6%	15.3%	3.4%
2	22	23	12	4	3	0
	34.4%	35.9%	18.8%	6.3%	4.7%	0.0%
3	12	12	8	4	0	0
	33.3%	33.3%	22.2%	11.1%	0.0%	0.0%
4	34	28	20	6	2	0
	37.8%	31.1%	22.2%	6.7%	2.2%	0.0%
5	6	14	10	6	0	1
	16.2%	37.8%	27.0%	16.2%	0.0%	2.7%
6	15	15	3	2	0	0
	42.9%	42.9%	8.6%	5.7%	0.0%	0.0%
7	5	1	0	0	0	0
	83.3%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	111	102	67	30	14	3
	33.9%	31.2%	20.5%	9.2%	4.3%	0.9%

表-8 建物被害と最大沈下量の関係 (件)

mm	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	合計
0~ 100 未満	1	7	0	5	13
	1.7%	18.6%	0.0%	8.5%	30.5%
	5.6%	61.1%	0.0%	27.8%	100.0%
100~ 200 未満	0	4	2	0	6
	0.0%	6.8%	3.4%	0.0%	10.2%
	0.0%	66.7%	33.3%	0.0%	100.0%
200~ 300 未満	2	3	4	2	11
	3.4%	5.1%	6.8%	3.4%	18.6%
	18.2%	27.3%	36.4%	18.2%	100.0%
300~ 400 未満	3	1	0	1	5
	5.1%	1.7%	0.0%	1.7%	8.5%
	60.0%	20.0%	0.0%	20.0%	100.0%
400~ 500 未満	3	3	0	1	7
	5.1%	5.1%	0.0%	1.7%	11.9%
	42.9%	42.9%	0.0%	14.3%	100.0%
500~	1	0	0	1	2
	1.7%	0.0%	0.0%	1.7%	3.4%
	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	100.0%

注) 赤は建物構造別の百分率である。

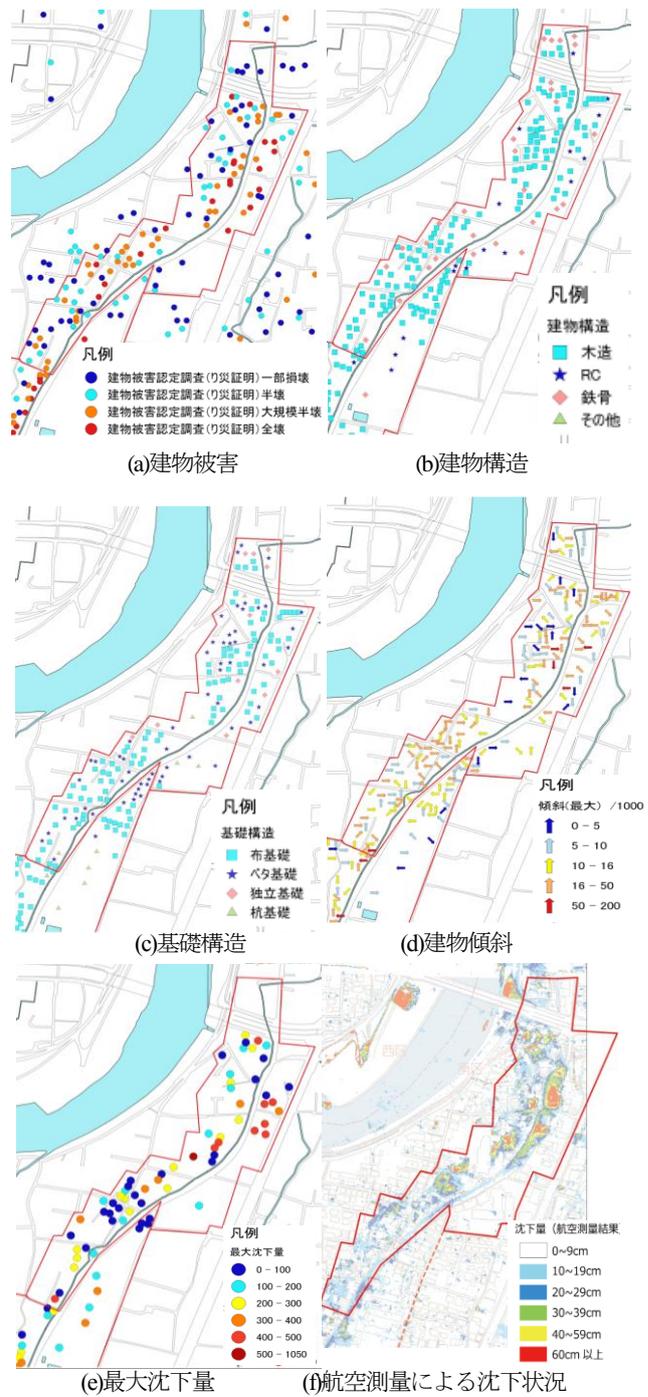
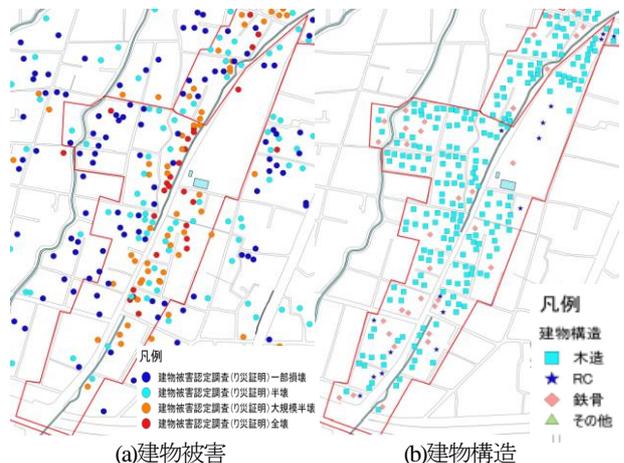


図-9 近見1地区の被害状況



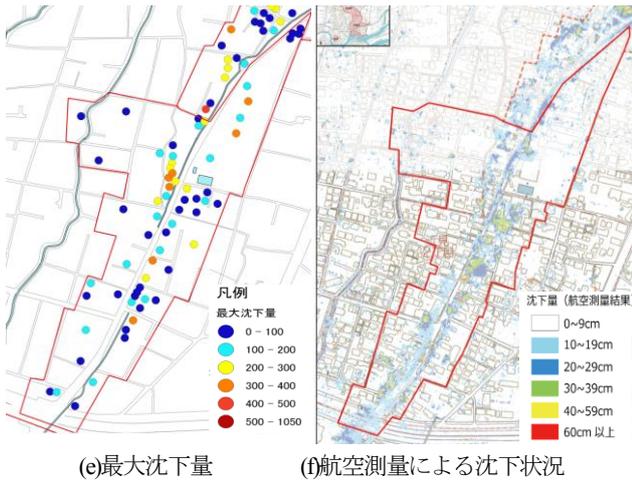
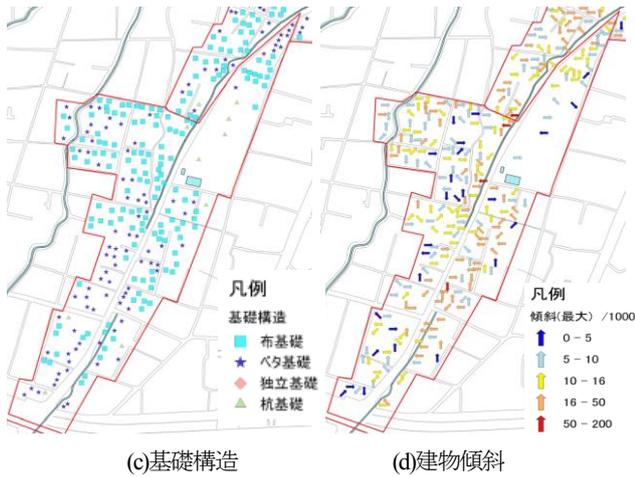


図-10 近見2地区の被害状況

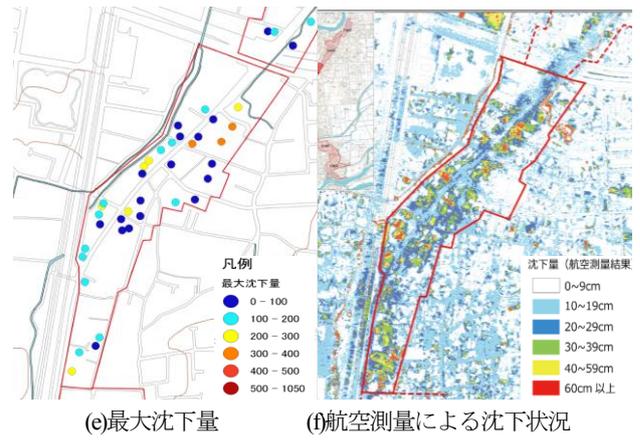
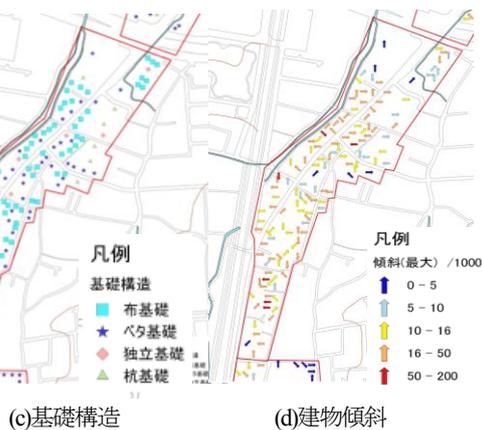
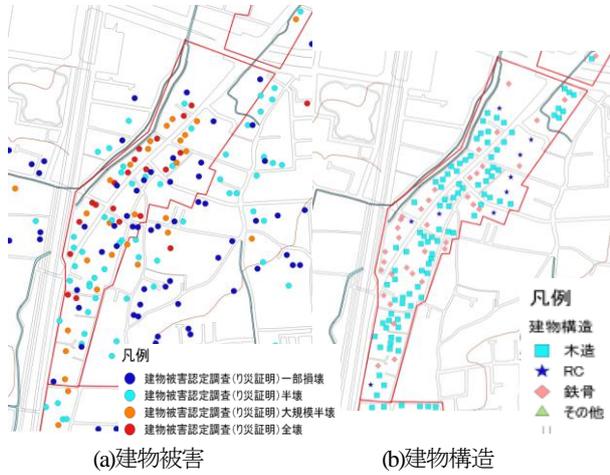


図-11 近見③地区の被害状況

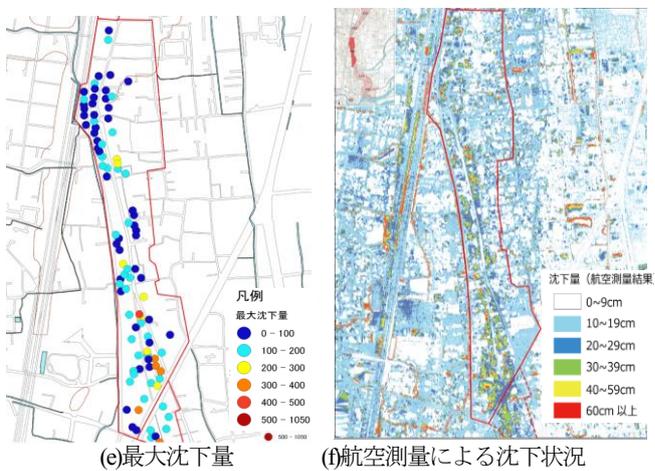
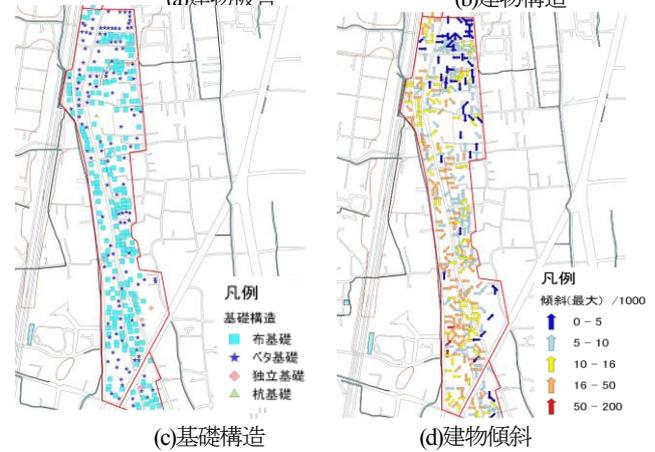
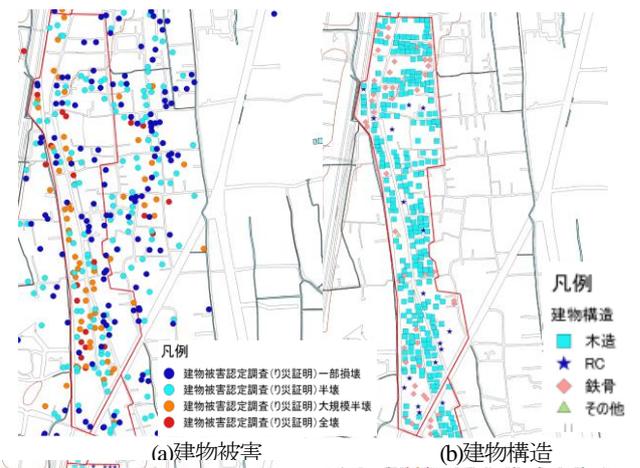


図-12 近見④地区の被害状況

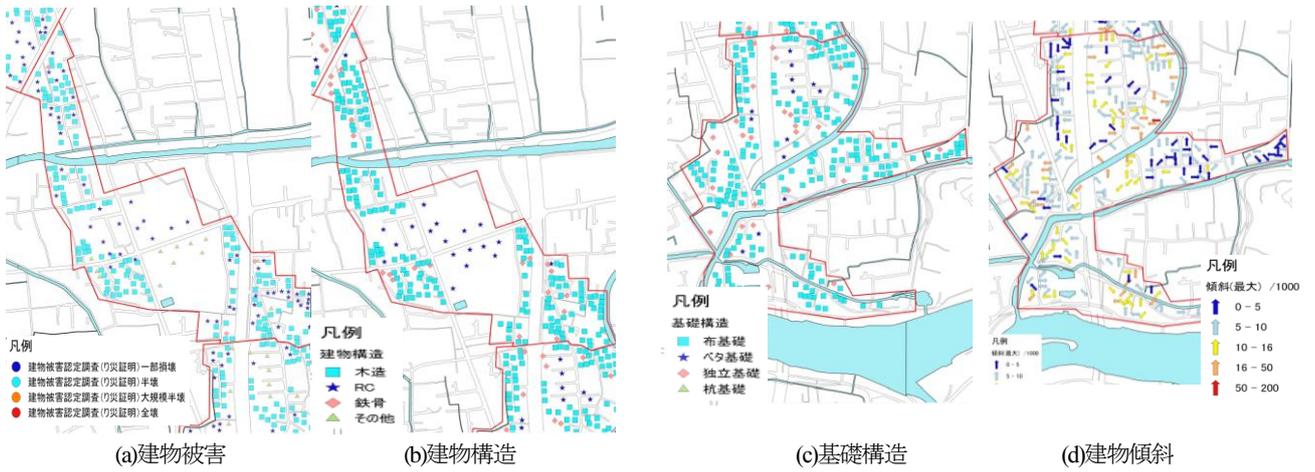


図-14 近見⑥地区の被害状況

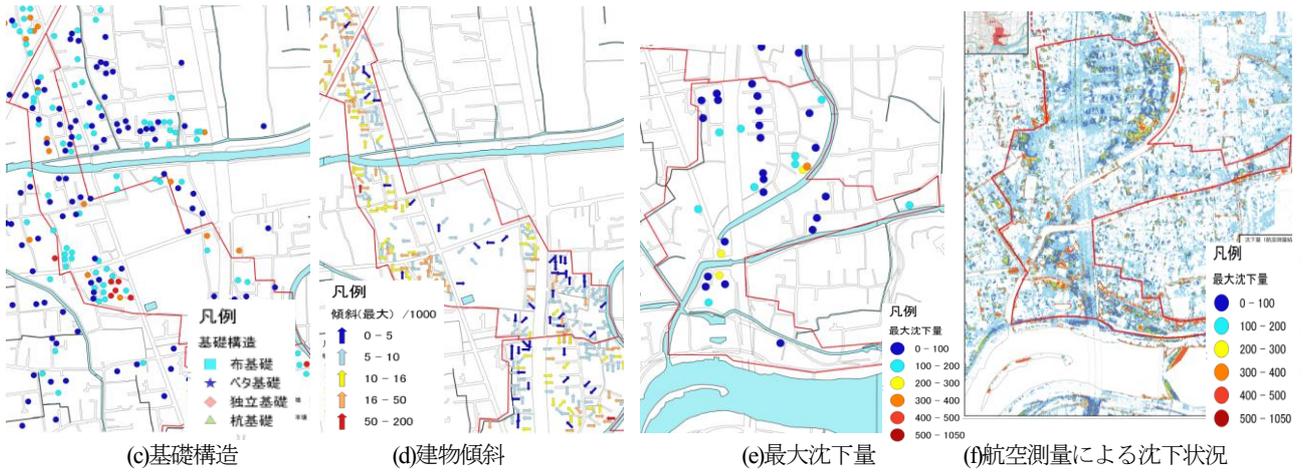


図-13 近見⑤地区の被害状況

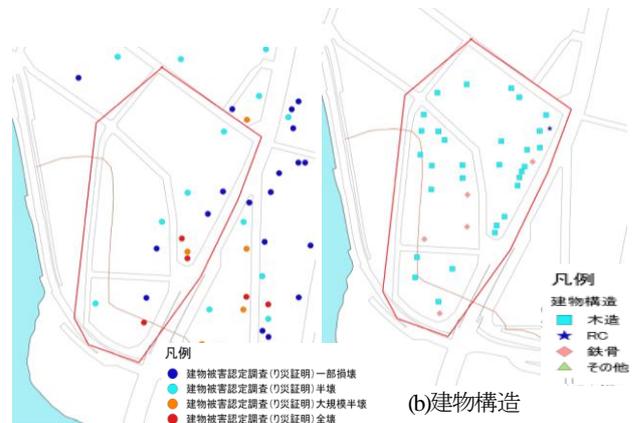
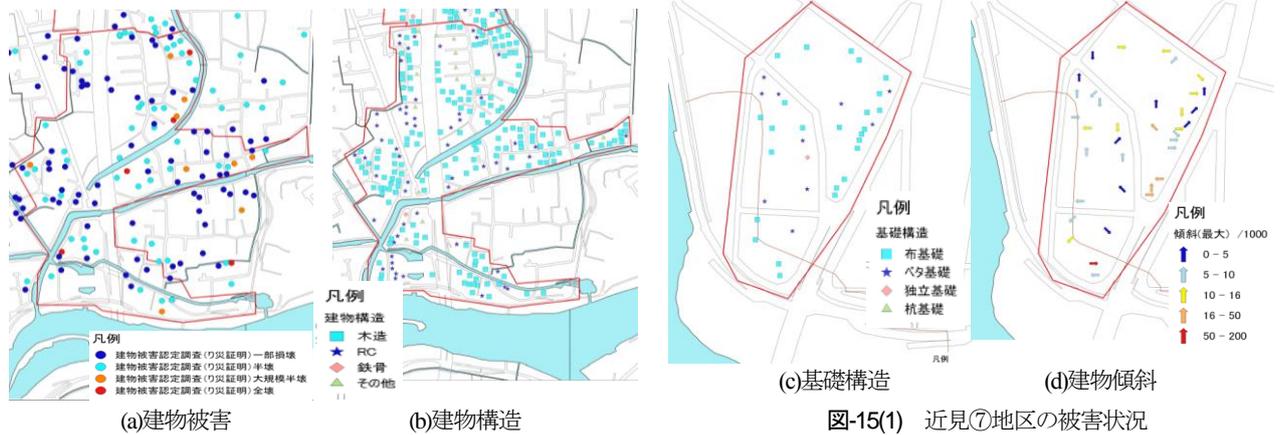


図-15(1) 近見⑦地区の被害状況



5. 近見地区全体の傾斜量・沈下量の比較分析

(1) 全体の建物傾斜

図-16 は、近見地区全体の傾斜量の割合である。図-17 は、近見地区毎の傾斜量の比較である。しかし、学校やマンション等は、戸建て住宅に比較して杭構造であるので傾斜が少なくなっている。そこで、この2つを分けて分析を行った。

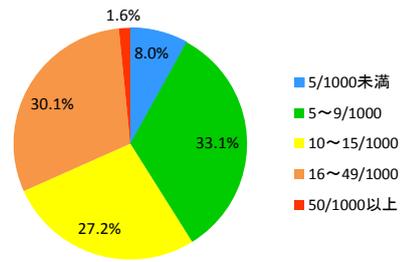


図-16 近見地区毎の傾斜量の比較

a) 全体の戸建て住宅傾斜量

図-18 は、近見地区における戸建て住宅の傾斜量の比較である。近見①地区と近見③地区では、大規模半壊（16~49/1000）が約 50%程度と多くなっている。近見②と④は、大規模半壊（16~49/1000）と半壊（10~15/1000）が約 30%程度と多くなっている。近見⑦では、半壊（10~15/1000）が 35%程度と多くなっている。近見⑤地区と近見⑥地区では、一部損壊（5~9/1000）が 40%程度、一部損壊（0~5/1000）が 10~20%程度と合わせた全体の一部損壊が 50~60%程度と近見の他の地区から比べると被害が少なくなっている。

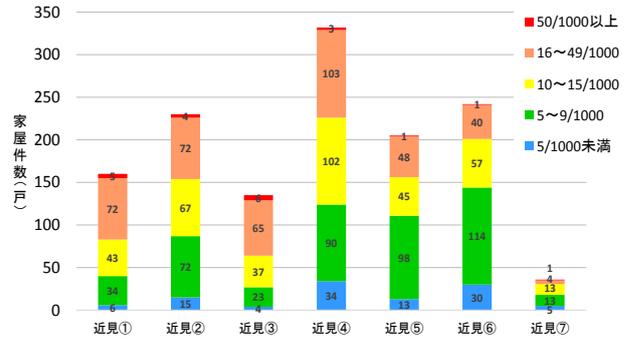


図-17 地区毎の傾斜量の比較

b) 全体の杭構造（学校・マンション等）の傾斜量

図-19 は近見地区における学校やマンション等の傾斜量の比較である。近見②は、全壊（50~1000）と大規模半壊（16~49/1000）が約 10%，一部損壊（5~9/1000）が 55%と多くなっている。近見①地区では、大規模半壊（16~49/1000）と半壊（10~15/1000）が 20%，一部損壊（0~5/1000）が 60%となっている。近見④地区は、2件とも半壊（10~15/1000）になっている。近見③は、半壊（10~15/1000）と一部損壊（5~9/1000）が約 30%となっている。近見⑥地区では、半壊（10~15/1000）が約 10%，一部損壊（5~9/1000）が約 50%となっている。

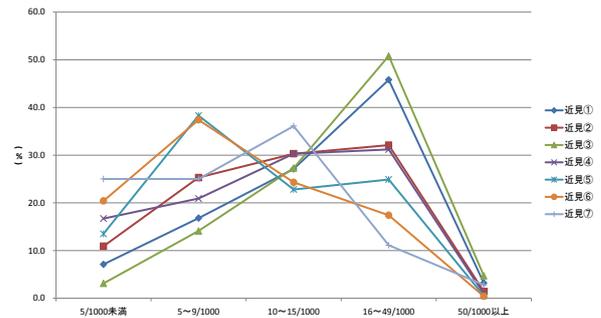


図-18 戸建て住宅の傾斜量の比較

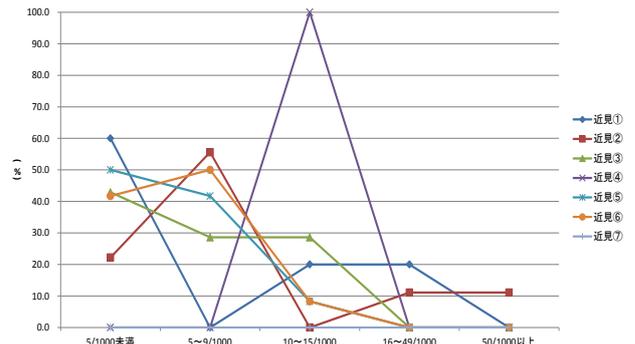
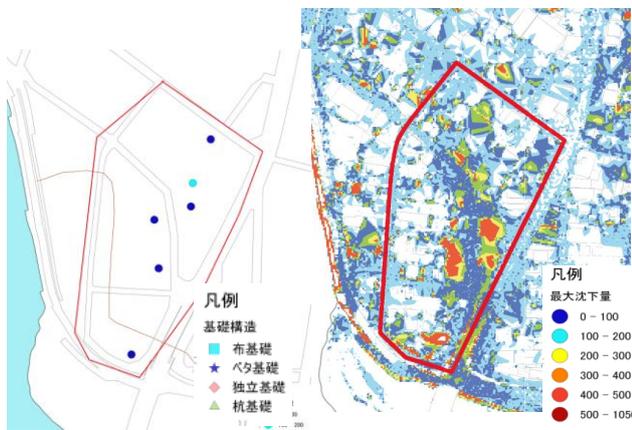


図-19 学校やマンション等の傾斜量の比較



(e)最大沈下量 (f)航空測量による沈下状況

図-15(2) 近見⑦地区の被害状況

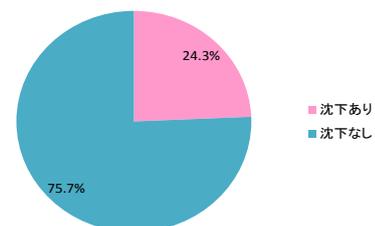


図-20 近見地区全体の沈下戸数の割合

(2) 近見地区全体の沈下量

近見地区では、**図-20**に示すように1,340件の内、約24.3%の326件が沈下を生じたので、その沈下量毎の比較を行った。**図-21**は近見地区毎の沈下戸数の割合で、北側の白川寄りの沈下戸数が多く、南の緑川にかけて沈下戸数が少なくなっている。**図-22**は近見地区全体の沈下量の割合で、60cm以上が0.6%、40~49cmが4.3%、30~39cmが9.2%、20~29cmが20.6%、と20cm以上が1/3、10~19cmが1/3、1~9cmが1/3を占めている。

図-23は、近見地区毎の沈下量の比較である。**図-24**は近見地区における沈下量の比較である。近見⑦は、10~19cmが15%、1~9cmが85%と最も小さい。近見⑥は、30~39cmが約5%、20~29cmが約10%、10~19cmが45%、1~9cmが約45%を占め、小さな値となっている。近見①は40~49cmと30~39cmが約5%、20~29cmが約25%、10~19cmが約15%、1~9cmが約20~25%を占めている。その他は、40~49cmが約0~5%、30~39cmが約5~15%、20~29cmが20~30%、10~19cmが約30~40%、1~9cmが約30~40%を占めている。

(3) 木造及び鉄骨建物構造別の傾斜と沈下量の関係

図-25は、近見地区を対象とした木造及び鉄骨建物構造別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、木造>鉄骨の傾向になっている。なお、RC構造に関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

(4) 基礎構造別の傾斜と沈下量の関係

図-26は、近見地区を対象とした布基礎及びベタ基礎、独立基礎構造別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、布基礎>ベタ基礎>独立基礎の順に大きい傾向になっている。なお、杭基礎に関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

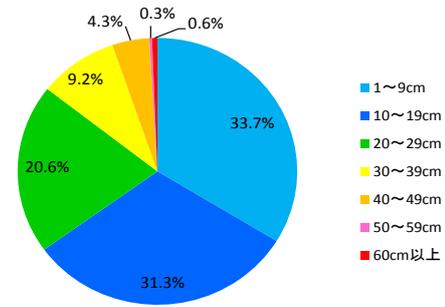


図-22 近見地区全体の沈下量の割合

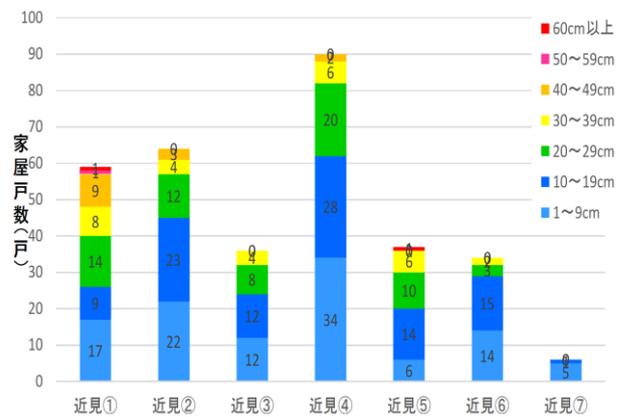


図-23 近見地区毎の沈下量の比較

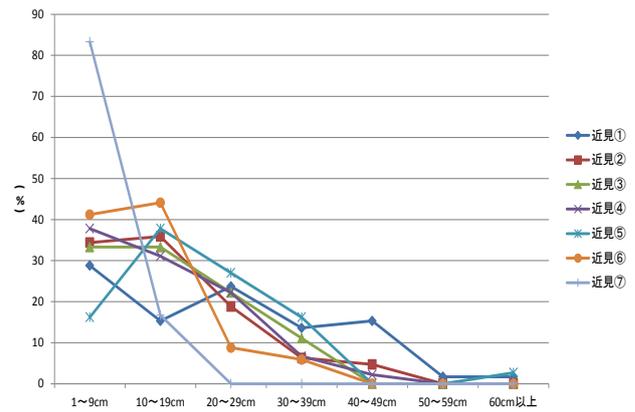


図-24 近見地区における沈下量の比較

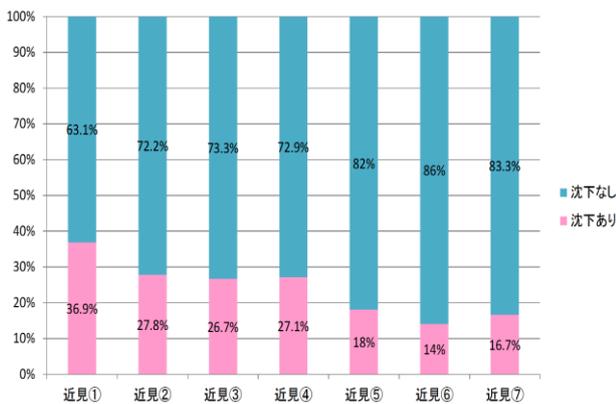


図-21 近見地区毎の沈下戸数の割合

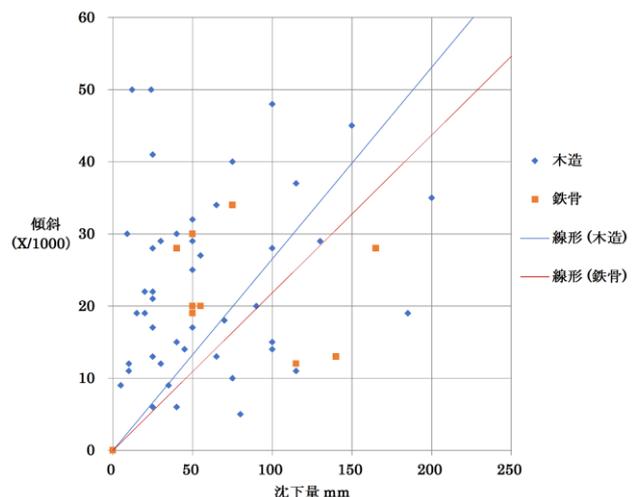


図-25 建物構造別の傾斜と沈下量の関係

(5) 建物階数別の傾斜と沈下量の関係

図-27 は、近見地区を対象とした 1F 及び 2F, 3F 建物階数別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量は 3F > 2F > 1F の順に大きい傾向になっている。1F の方が 2F に比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。

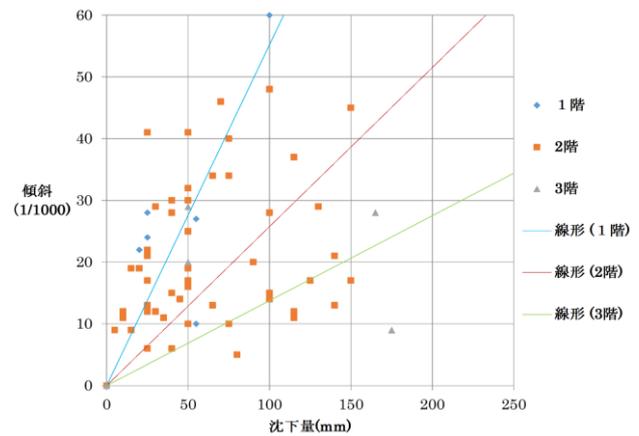


図-27 建物階数別の傾斜と沈下量の関係

(6) 木造の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

図-28 は、近見地区を対象とした木造の建物階数別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、木造 1F の方が木造 2F に比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。なお、木造 3F については、データが極端に少ないことから分析から除いた。

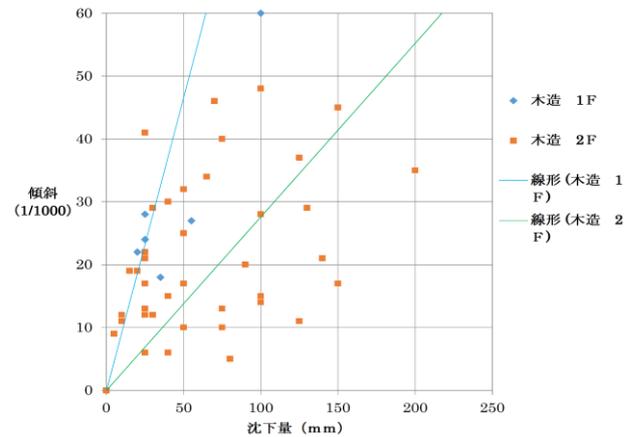


図-28 木造の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

(7) 鉄骨の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

図-29 は、近見地区を対象とした鉄骨の建物階数別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、鉄骨 2F と鉄骨 3F がほぼ同じ傾向になっている。なお、鉄骨 1F に関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

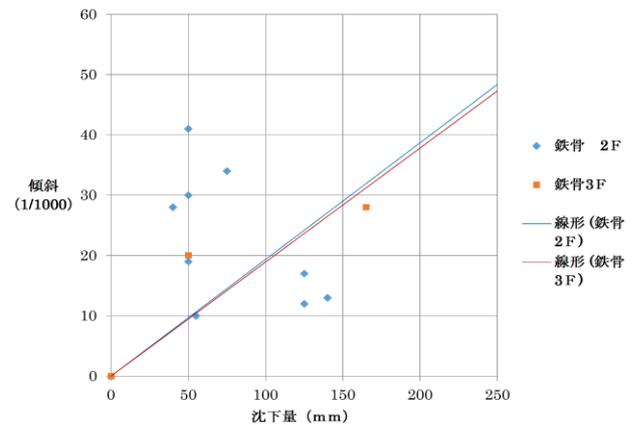


図-29 鉄骨の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

(8) 布基礎の建物階数ごとの傾斜と沈下量の関係

図-30 は、近見地区を対象とした布基礎の建物階数別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、布基礎 1F > 布基礎 2F の順に大きい傾向になっている。なお、布基礎 3F に関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

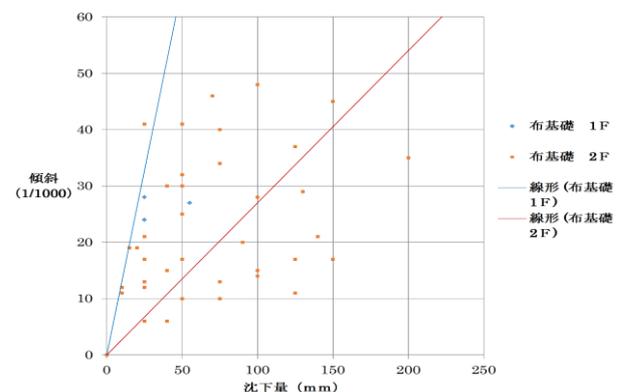


図-30 布基礎の建物階数ごとの傾斜と沈下量の関係

(9) ベタ基礎の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

図-31 は、近見地区を対象としたベタ基礎の建物階数別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、ベタ基礎 1F はベタ基礎 2F とベタ基礎 3F に比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。

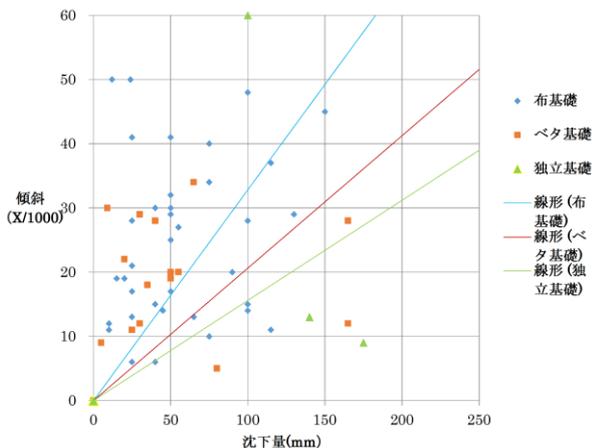


図-26 基礎構造別の傾斜と沈下量の関係

(10) 1Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係

図-32は、近見地区を対象とした1Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜と沈下量は、布基礎1Fの方がベタ基礎1Fよりも大きい傾向になっている。なお、独立基礎1Fに関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

(11) 2Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係

図-33は、近見地区を対象とした2Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、布基礎2F > ベタ基礎2Fの順に大きい傾向になっている。なお、独立基礎2Fに関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

(12) 2Fの建物構造別の傾斜と沈下量の関係

図-34は、近見地区を対象とした2Fの建物構造別の傾斜と沈下量の関係を示したものである。この結果から、沈下量に対して建物の傾斜は、木造2F > 鉄骨2Fの順に大きい傾向になっている。なお、RC2Fに関してはデータが極端に少ないことから分析を除いた。

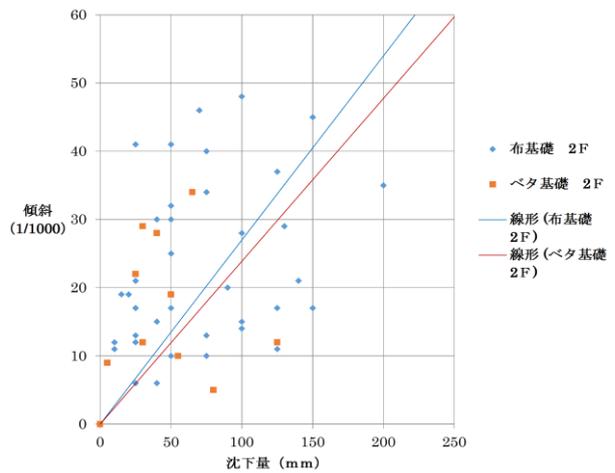


図-33 2Fの基礎構造ごとの傾斜と沈下量の関係

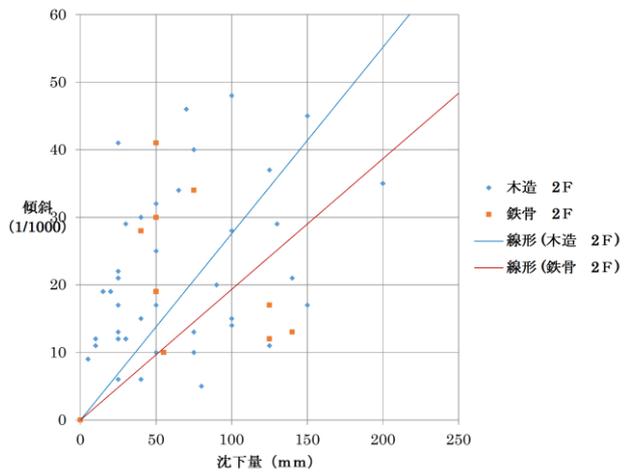


図-34 2Fの建物構造別の傾斜と沈下量の関係

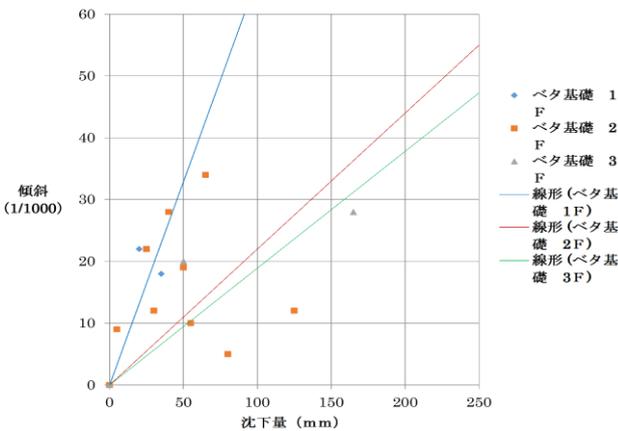


図-31 ベタ基礎の建物階数別の傾斜と沈下量の関係

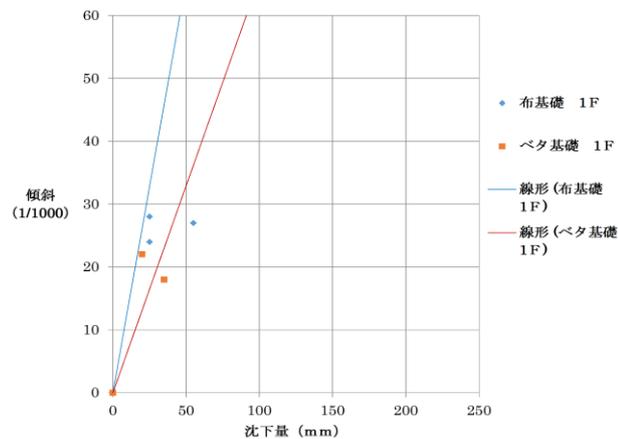


図-32 1Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係

6. アンケート調査結果の分析

(1) アンケートについて

熊本地震による液状化被害調査のアンケートを熊本市を通じて近見①～④地区で行った。アンケートの項目は以下の4項目である。

- a) 被害時の状況について
 - ① 前震本震時における被害の有無はどうだったのか？
 - ② 被害があった場合は液状化又地盤沈下が原因だったのか？
- b) 自宅の取水状況について
 - ① 井戸水は使用しているのか？
 - ② 使用している場合は飲用水又雑用水として使用しているのか？
 - ③ 井戸の深さはどれぐらいあるのか？
- c) 被害にあわれた住宅について
 - ① 基礎形式はどうなっているのか？
 - ② 地震前の宅地についてはどうなっているのか？

③ 震災時の被災状況はどうなっているのか？

d) 地震発生時に写真・ビデオなどをお持ちの方で情報提供可能か？

この d)を除いた 3つの項目について分析した。

(2) 近見地区の液状化被害発生地震時の状況

図-35 は近見地区の液状化被害が前震時か本震時かを示した平面図である。●は前震時に液状化が発生し、●は本震時に液状化が発生し、両方の重ねたものは前震時及び本震時の両方で液状化が発生したものである。近見①～③地区は全体的に被害が広がっており、前震時と本震時の両方で被害が顕著である。一方、近見④地区は前震時の被害がなく、本震時でも北側部分にわずかにあるだけで少ない。

図-36 は、近見地区の 4 地区における被害状況である。被害状況は、近見①>近見②>近見③>近見④の順に大きくなった。近見①～③地区は被害が多く前震時と本震時の両方で被害が顕著である。近見④は他の地区に比べて被害がほぼ全く無く、他の地区とは正反対の結果になった。

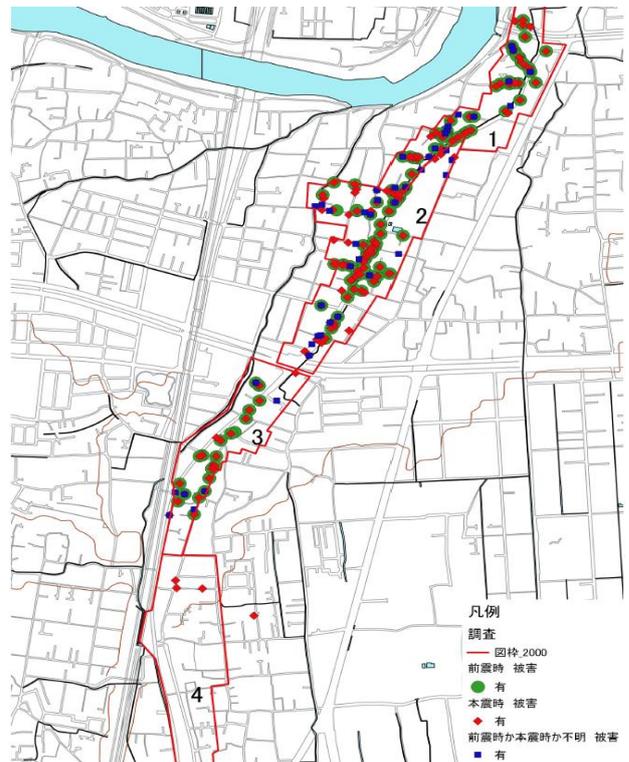


図-35 近見地区の液状化被害発生時の状況平面図

(3) 井戸水位の利用状況

図-37 は近見地区全体の住宅の取水状況である。井戸を使用している住宅は 269 件中 34 件であった。近見①では 83 件中 14 件有、近見②では 122 件中 15 件有、近見③では 40 件中 12 件あった。近見④では井戸は確認できなかった。利水状況は、雑用水が多くを占めている。

図-38 は近見地区井戸の深さで、近見①が 15 件、近見②が 5 件、近見③が 5 件、近見④が 0 件の合計 25 件であった。井戸の深さは、10m以下の浅井戸が 11 件、深さ 10m以上の深井戸が 6 件であった。

以上から、井戸の利水は 10m以下の浅井戸から雑用水として利用しているものが多い。

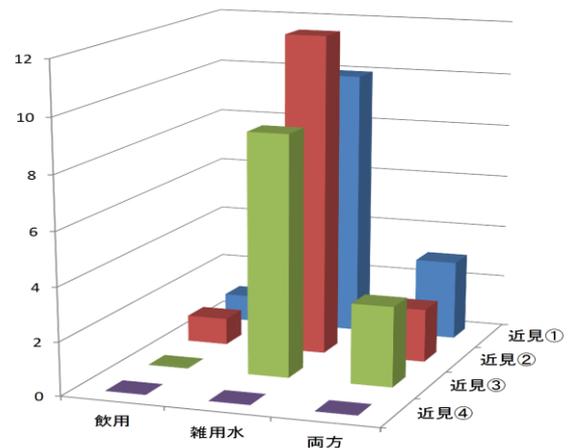


図-37 住宅の取水状況

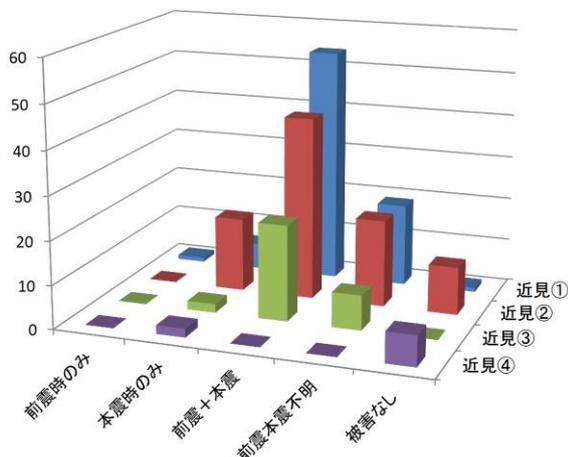


図-36 液状化被害発生時毎の分類

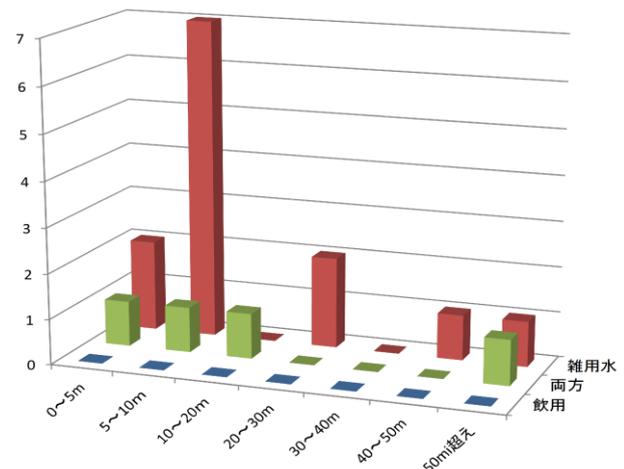


図-38 井戸の深さ

(4) 近見地区全体の被害住宅の基礎構造

図-39 は近見地区全体の基礎構造と被害状況を合わせた図である。図-40 は被害住宅の基礎による影響比をグラフにしたものである。被害率は、杭基礎>ベタ基礎>布基礎>地盤改良の順となった。杭基礎が被害が大きい結果となったのは、東日本大震災と同様に杭が支持地盤まで到達していないため、液状化層の中にあつたためと考えられる。一方、地盤改良の被害率は、東日本大震災と同様に小さく、効果的であるとされる。

(5) 近見地区全体被害住宅の地震前の宅地高さ

図-41 は地震前の宅地高さと被害状況の平面図である。地震前の宅地高さは、各地区とも「ほぼ同じ」が一番件数が多い結果となった。ただし、各地区と比較すると近見①地区が宅地が高く、近見③地区が低い傾向にあること分かった。宅地の高さは低いほど被害が大きく、高いほど被害が小さい傾向になる。

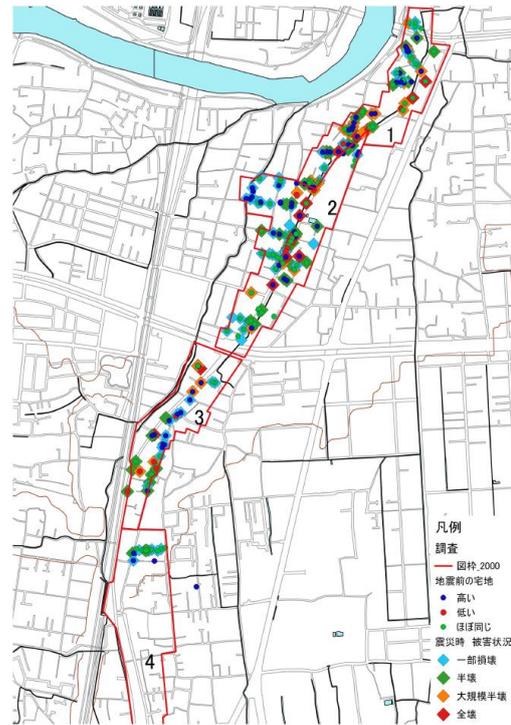


図-41 地震前の宅地高さと被害状況平面図



図-39 住宅基礎構造と被害状況の重ね図

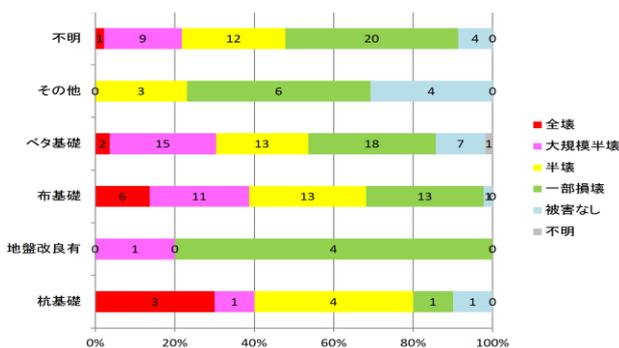


図-40 被害住宅の基礎による影響

4. まとめ

(1) 近見地区全体の被害分析

- ① 建物被害の分析：建物被害は、国道に沿って被害が帯上に生じている。建物被害の程度は、国道の中央部分の被害が顕著で、幅が広がるにつれて被害が小さくなっている。特に、1~3地区の被害は、4~7地区に比較して被害が大きくなっている。
- ② 建物構造別の分析：建物被害の程度は、建物構造が木造>鉄骨>RCの順になっている。特に、木造の被害が非常に多い。
- ③ 建物基礎構造別の分析：建物被害の程度は、建物基礎構造が独立基礎>布基礎>ベタ基礎>杭基礎の順に大きくなっている。
- ④ 建物傾斜・沈下量の分析：建物傾斜や沈下量が大きくなるに従い、大きくなっている。

(2) 近見地区全体の傾斜量・沈下量の比較分析

- ⑤ 近見地区全体の傾斜・沈下量：北側の白川寄りの沈下戸数が多く、南の緑川にかけて沈下戸数が少なくなっている。
- ⑥ 木造及び鉄骨建物構造別の傾斜と沈下量の関係：沈下量に対して建物の傾斜は、木造>鉄骨の傾向になっている。
- ⑦ 基礎構造別の傾斜と沈下量の関係：沈下量に対して建物の傾斜は、布基礎>ベタ基礎>独立基礎の順に大きい傾向になっている。
- ⑧ 建物階数別の傾斜と沈下量の関係：沈下量は3F>

2F > 1Fの順に大きい傾向になっている。1Fの方が2Fに比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。

- ⑨ 木造の建物階数別の傾斜と沈下量の関係：木造1Fの方が木造2Fに比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。
- ⑩ ベタ基礎の建物階数別の傾斜と沈下量の関係：沈下量に対して建物の傾斜は、ベタ基礎1Fはベタ基礎2Fとベタ基礎3Fに比べて、建物の傾斜及び沈下量が小さい傾向になっている。
- ⑪ 1Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係：建物の傾斜と沈下量は、布基礎1Fの方がベタ基礎1Fよりも大きい傾向になっている。
- ⑫ 2Fの基礎構造別の傾斜と沈下量の関係：沈下量に対して建物の傾斜は、布基礎2F > ベタ基礎2Fの順に大きい傾向になっている。
- ⑬ 2Fの建物構造別の傾斜と沈下量の関係：沈下量に対して建物の傾斜は、木造2F > 鉄骨2Fの順に大きい傾向になっている。

(3) アンケート調査結果の分析

- ⑭ 液状化被害発生地震時の状況：近見①～③地区は全体的に被害が広がっており、前震時と本震時の両方で被害が顕著である。
- ⑮ 井戸水位の利用状況：井戸の利水は10m以下の浅井戸から雑用水として利用しているものが多い。
- ⑯ 近見地区全体の被害住宅の基礎構造：被害率は、杭基礎 > ベタ基礎 > 布基礎 > 地盤改良の順となった。杭基礎が被害が大きい結果となったのは、東日本大震災と同様に杭が支持地盤まで到達していないため、液状化層の中にあったためと考えられる。一方、地盤改良の被害率は、東日本大震災と同様に小さく、効果的であると考えられる。

- ⑰ 近見地区全体被害住宅の地震前の宅地高さ：宅地の高さは低いほど被害が大きく、高いほど被害が小さい傾向になる。

謝辞：最後に、液状化の調査の資料は、熊本市から提供していただきました。GISの使用に当たって、(株)日測の西川 穰 氏に御指導をいただきました。図面作成に当たって、国士舘大学まちづくり学系佐藤 将大氏に御協力をいただきました。多くの方々にご尽力を頂き、誠にありがとうございました。これらの機関・関係者にこの誌面を借りまして深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 熊本市 震災宅地対策課：資料-1 第2回熊本市液状化対策技術検討委員会 説明資料，熊本市液状化対策技術検討委員会
https://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=16165&sub_id=26&flid=122682
- 2) 村上哲，永瀬英生：平成28年熊本地震液状化被害，地盤工学会平成28年熊本地震地盤災害調査団液状化班報告（平成28年5月11日）
https://www.jiban.or.jp/images/saigai/H28Kumamoto_jisinsaigai_0511ekijoka.pdf，2016/6/16 閲覧。
- 3) 若松加寿江，先名重樹，小澤京子：平成28年（2016年）熊本地震液状化調査報告（第1報，第2報），
<http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~wakamatu/wakamatsu/jishin.html>，2016/5/14，2016/5/30 公開。
- 4) 若松加寿江，先名重樹，小澤京子，藤原広行：平成28年熊本地震による液状化被害，第13回地盤工学会関東支部発表会 2016.10
- 5) 熊本市 震災宅地対策課：議事資料熊本市液状化対策技術検討委員会（第1回），熊本市液状化対策技術検討委員会，
https://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=16165&sub_id=18&flid=132416

ANALYSIS OF LIQUEFACTION DAMAGE FROM CHIKAMI DISTRICT TO DISTRICT BY THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Takao HASHIMOTO

On the Kumamoto earthquake in 2016, a pre-quake on April 14 and a main shock on 16th occurred. In Kumamoto city, damage to buildings, residential land, roads and lifeline occurred due to liquefaction of the ground. In Kumamoto city, about 2,900 residential lots caused severe damage to building sinking and slope due to liquefaction. Particularly in the Chikami district, remarkable subsidence and inclination of the building occurred on the line due to the liquefaction of the foreshock and the mainshock. In this paper, we analyzed liquefaction damage survey and questionnaire survey in Chikami district. As a result, the liquefaction revealed the relationship between the building structure / floor number, basic structure and building sinking / slope.