

# 1968年十勝沖地震における鉄筋コンクリート 造建物の被害と地盤の関係

望月 利男\* 宮野 道雄\*\* 田村 俊和\*\*\*

## 要 約

RC（鉄筋コンクリート）造建物の被害と地盤の関係は、従来、よくわからないというのが実状であったように思われる。また、近代式なRC造建物が少なからぬ振動被害をうけたのは、1968年地十勝沖地震が最初である。この地震において建物それぞれ被害の原因等は、かなり詳細に調べられているが、地盤と被害の関係を広い地域にわたって体系的に研究した事例は見出せない。この研究は、著者らによるものも含めた過去の震害調査事例から、地盤構成と被害の間に少なからぬ相関性があるであろうことを予見して始めた。

志賀・高橋（1975）は、建物の重量（建物の1階の柱、壁の総断面積に作用する軸圧力） $W$ （kg）を1階の柱の総断面積 $A_c$ （ $\text{cm}^2$ ）プラス同1階の壁の総断面積 $A_w$ （ $\text{cm}^2$ ）で割った値、 $W/(A_c+A_w)$ を定義し（被らはこの値を壁・柱均らしのせん断応力度と呼んでいる）、この値が $12\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の場合にその建物が被害をうけたことを見出した。このような着想と表現による被害と建物構造の関係は明快であり、今回の研究も、その大きな影響をうけている。著者らの研究でも確かに上記の値 $12\text{kg}/\text{cm}^2$ 未満の建物は、いかなる地盤においても大きな被害をうけていない。ただ、被災地（青森県東部）においては、 $12\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の建物が志賀ほか（1975）の調査以外にも少なからずあり、しかもそれらの建物は目立った被害をうけていないことが判明した。

この報告では、志賀ほかの調査した建物の地盤資料、ならびにそれ以外のRC造建物（主として学校）の $W$ 、 $A_c$ 、 $A_w$ 、地盤資料をそれぞれ収集し、この地震におけるRC造建物の被害と地盤の関係を求めて、両者の間には高い相関性があることを見出した。

## 1 調査目的と概要

1968年十勝沖地震で被害を受けた鉄筋コンクリート造（RC）建物並びにその周辺のRC建物に関する調査・解析は各方面で行われ、論文集としてもまとめられている（日本建築学会、1971）。それらのなかには被災した物のみならず被災地に存在したすべてのRC造学校建物を対象とした詳細な解析から、被害の差異、原因を構造面より説明付けた研究もある（青山ほか、1971）。また、志賀ほか（1975）は49棟のRC建物の壁・柱率などを調べ、それらの量と被害の相関性を明らかにした。これら

の調査・解析は、その後の耐震設計指針、耐震診断法に貴重な成果としてとり入れられ、活用されている。しかし、これらの建物の被害と地盤の関係は、組織的に調査されておらず、上論の文献などにおいても今後の課題としてとりあげられている。

この調査は、RC造建物の震害と地盤の関係を解明するための第1歩として、1968年十勝沖地震の被災地である青森県東部（むつ市、十和田市、三沢市、八戸市並びに下北郡、上北郡、三戸郡）の主としてRC造学校建物の地盤と被害の関係をややマクロにとらえようとしたものである。

建物それ自身の耐震性の評価、被害区分については、

\*東京都立大学都市研究センター・工学部

\*\*東京都立大学大学院工学研究科博士課程

\*\*\*東京都立大学都市研究センター・理学部

志賀ほか(1975)の方法によっており、かつそこから多数の資料を引用した。また、日本建築学会の調査報告書(1968)の資料(ボーリング柱状図)も一部引用した。これらの資料が無ければ、今日の段階では、このような調査は恐らく不可能に近いものであったと考えている。ここに、志賀敏男先生並びに日本建築学会(1968)の資料作成にたずさわった諸先生方に厚く御礼申し上げる次第である。また、資料収集で大変お世話になった防衛施設庁、仙台防衛施設局、青森県各地の教育委員会、学校長、青森県総務部消防防災課、同土木部、ほか多数の地元の方々に深甚の謝意を表わす。

## 2 調査方法

志賀ほか(1975)が用いた建物それ自身に対する耐震性の評価の尺度は、RC造建物の耐震性にとって最も基本的かつ主要な要素と考えられるもので極めて明快であり、また多数の建物を対象とした被害分析においては非常に適切な尺度と考えられる。それゆえ、この調査でも建物については全面的にそれに従うことにし、志賀ほか(1975)などの資料数をさらに増すためと著しく不足している地盤関係の資料(主として地質柱状図)を入手するために、前記諸機関に便宜をはかっていただき現地調査を行った。

現地では、地震当時すでに存在していたRC造建物(主として学校)の設計図面(地震当時外部に持ち出されたなどの理由で逸散しているケースが少なからずあり、それらの閲覧は容易ではなかった)から各階床面積、それぞれの寸法の柱断面と本数、それぞれの厚さの壁断面と長さなどを読み取る作業を行い、かつその建物の地質柱状図を入手した。なお、建物の壁については、その量が少ない方向(ほとんど桁行方向)を計測した。

## 3 壁率・柱率・柱壁の軸圧応力度並びに被害区分

建物の壁率、柱率など並びに建物の被害区分は、志賀ほか(1975)と全く同様であるが、以下にまとめて説明する。

### a) 壁率 $A_w / \Sigma A_f$ ( $\text{cm}^2 / \text{m}^2$ )

建物の1階における壁量の少ない方向のRC壁の総断面積  $A_w$  (壁量  $\text{cm}^2$ ) を2階以上(屋根、ペントハウス屋根を含む)の延べ面積  $\Sigma A_f$  ( $\text{m}^2$ ) で除した値を表わす。なお、柱の所で壁は長さの多少にかかわらず  $A_w$  に算入した。また独立壁については長さが60cm以上であれば、同様に  $A_w$  に入れた。

### b) 柱率 $A_c / \Sigma A_w$ ( $\text{cm}^2 / \text{m}^2$ )

建物の1階における柱の総断面積  $A_c$  ( $\text{cm}^2$ ) を上記  $\Sigma A_f$  で除した値である。

c) 柱+壁の平均的軸圧応力度  $W / (A_c + A_w)$  ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ )  
 単位床面積当りの建物重量を  $1,000 \text{ kg} / \text{m}^2$  と仮定し、これを  $\Sigma A_f$  ( $\text{m}^2$ ) に乗じた値  $W$  をとする。すなわち、 $W$  を建物重量とみなしている。したがって、 $W / (A_c + A_w)$  は柱+壁に作用する均らされた軸圧応力度であり、志賀ほか(1975)はこの量を柱・壁均らしのせん断応力度と呼んでいる(1階における層せん断力係数を1.0とすれば柱・壁均らしのせん断応力度となることから)。なお、 $W$  の計算には、バルコニー、庇も全て含ませている。

### d) 建物の被害区分

(a) 崩壊した建物を■印で表わす。ここでは三沢商業高校(増築部)のみが相当する。

(b) 1階の柱全般にせん断きれつがみられ、RC壁がある場合、その多くにせん断きれつが発生している建物、並びに1階において半数程度の柱に曲げきれつが、一部の柱にせん断きれつがみられ、わずかにある壁にもせん断きれつがみられる建物を●印で表わす。なお、後者の被害型は、ここでは八戸市庁舎のみである。この被害区分に属する建物は、重度の被害をうけたといえる。

(c) 1階においてRC壁全般にせん断きれつがみられ、柱は一般的に軽微な損傷か、一部の破壊にとどまった建物を○印で表わす。被害度は中程度といえよう。

(d) 壁、柱とも破損が軽微か、あるいは構造被害のほとんどなかった建物を○で表わす。

## 4 調査結果

調査結果を表1に示す。前記  $A_c$ 、 $A_w$ 、 $\Sigma A_f$  の資料が得られ、かつ地質柱状図が入手しえた建物数は71棟である。その地域的分布および地形・地質との関係を図1に示す。表1で\*印を付けた建物(35棟)は、志賀ほか(1975)から、 $A_c$ 、 $A_w$ 、 $\Sigma A_f$  などをそのまま引用した。図2は、71棟の建物の敷地地盤(一部はその近傍)のボーリング柱状図である。図2の柱状図番号に\*印を付けた建物は、日本建築学会(1968)に報告されている地質柱状図を引用したことを表わす(2本)。

図3、4、5は志賀ほか(1975)の分析手法に地盤性状を加味したものである。図3は、いわゆる地盤種と被害の関係である。地盤種については建設省建築研究所(1977)を参照し、主としてN値により下記の判定規準で区分した。

1種地盤：GLからの深さ5m未満でN値30内外ないしそれ以上のよく締った地層(この地盤種の場合は一般的に  $N \geq 50$ ) が現われる地盤。

表1 調査建物一覽表

No.	建物名	所在地	階数			延面積 $\Sigma A_f$ ( $m^2$ )	1階面 積 $A_{f1}$ ( $m^2$ )	柱量 $A_w(10^8)$ ( $cm^2$ )	$A_c/\Sigma$ $A_f$ ( $cm^2/m^2$ )	壁量 $A_w(10^8)$ ( $cm^2$ )	$A_w/\Sigma$ $A_f$ ( $cm^2/m^2$ )	$W/A_c$ + $A_w$ ( $kg/cm^2$ )	被害	$N \geq 10$ の深さ (m)	$N \geq 30$ の深さ (m)	基礎 な (地盤種)
			地上	地下	P.H											
1	湊中学校	八戸市白銀町右新井田道13-2	3		1	3359	1058	263	78	97	29	9.3	○	8.5	10.9	RC杭30φ L10m (2)
2	下長川小学校高館分校	" 長苗代字太古殿1の1	2			634	342	39	62	14	22	12.0	○	18.4	39.0	RC杭30φ L9m (3)
3	旭ヶ丘小学校	" 旭ヶ丘1-1-6	3			270	90	28	104	8	30	7.5	○	10.4	11.5	直接 (2)
4	明治小学校	" 八幡字館の下12の2	3		1	1498	490	119	79	15	10	11.2	○	6.5	6.5	RC杭30φ L8m (2)
5	多賀小学校	" 市川町字古館31の1	3			1698	566	61	36	0	0	27.8	○	6.0	17.8	RC杭30φ L6m (3)
6	* 八戸市庁舎	" 堀端町	3	1	5	6732	2514	392	58	27	4	16.1	●	9.6	14.7	RC杭30φ L9m (2)
7	白菊学園北棟	" 田面木字上野平53の2	3	1		2548	870	117	46	117	46	10.9	○	9.5	9.5	RC杭30φ L12~14m(2)
8	" 東棟	" "	3	1	2	1167	486	63	54	69	59	8.8	○	9.5	9.5	同上 (2)
9	" 西棟	" "	3	1	2	1760	845	75	43	130	74	8.6	○	9.5	9.5	同上 (2)
10	* 桔梗野小学校	" 市川町字尻引前山31の2	3			2097	696	101	48	11	5	18.7	●	6.7	11.5	(2)
11	小中野小学校	" 小中野字上佐比代7の1	3			4273	1391	290	68	48	11	12.6	○	2.8	7.5	(2)
12	* 八戸北高等学校 A棟	" 大久保町道	3			2883	971	117	41	142	49	11.1	○	18.0	18.0	(3)
13	* " B棟	" "	3			3240	1058	140	43	161	50	10.8	○	18.0	18.0	(3)
14	* " C棟	" "	2			432	216	24	56	5	12	14.9	○	18.0	18.0	(3)
15	第一中学校	三沢市松園町2-1-34	3		1	4252	1396	170	40	99	23	15.8	○	9.2	9.2	RC杭 (2)
16	第二中学校	" 向平48-1	3		1	2009	634	72	36	23	11	21.2	○	4.8	8.8	(2)
17	天ヶ森小中学校	" 天ヶ森13	2		1	555	261	38	68	10	18	11.6	○	0	4.4	(1)
18	三川目小学校	" 三沢字浜通り145-459	2		1	1191	602	64	54	29	24	12.8	○	5.8	5.8	RC杭25φ L6m (2)
19	古間木小学校B棟	" 古間木152-139	2			1065	464	58	54	24	23	13.0	○	2.0	11.6	RC杭30φ (2)
20	三沢小学校 A棟	" 三沢字向平9	2		1	1574	822	110	70	20	13	12.1	○	3.6	8.6	RC杭 (2)

翌月他：十勝沖地震のRC造建築物被害と地盤

No.	建 物 名	所 在 地	階 数			延面積 $\Sigma Af$ ( $m^2$ )	1階面積 $Af_1$ ( $m^2$ )	柱量 $Aw(10^3)$ ( $cm^3$ )	$Ac/\Sigma Af$ ( $cm^2/m^2$ )	壁量 $Aw(10^3)$ ( $cm^2/m^2$ )	$A\omega/\Sigma Af$ ( $cm^2/m^2$ )	$W/Ac + Aw$ ( $cm^2/m^2$ )	被害	$N \geq 10$ の深さ (m)	$N \geq 30$ の深さ (m)	基 礎 等 (地盤種)
			地上	地下	P. H											
21	三 沢 小 学 校 B棟	三沢市三沢字向平9	3	1	1	1447	450	45	31	29	20	19.6	○	3.6	8.6	R C 杭 (2)
22	* 三沢商業高等学校(増築部)	" 犬落瀬字古間	3			630	210	26	41	0	0	24.2	■	12.2	14.6	R C 杭30φ L12, 14m(2)
23	* 岡三沢小学校 A棟	" 岡三沢3-12-1	3			1420	450	61	43	22	15	17.1	●	4.6	12.0	R C 杭30φ (2)
24	* " B棟	" "	3			750	300	59	79	0	0	12.7	●	4.6	12.0	同 上 (2)
25	* " C棟	" "	3			7420	450	61	43	5	4	21.5	●	4.6	12.0	同 上 (2)
26	* 上久保小学校 A棟	" 大町1-3-1	3			3740	1166	112	30	16	4	29.2	●	6.8	13.4	R C 杭30φ L 9 m (2)
27	* " B棟	" "	2			470	260	29	62	15	32	10.7	○	6.8	13.4	同 上 (2)
28	* " C棟	" "	3			920	317	34	37	9	10	21.4	●	6.8	13.4	同 上 (2)
29	* むつ工業高等学校 A棟	むつ市文京町22	2			1915	885	160	84	91	48	7.6	○	1.8	3.0	直 接 (1)
30	* " B棟	" "	2			1118	873	101	90	61	55	6.9	○	1.8	3.0	直 接 (1)
31	" C棟	" "	1			1660	1660	74	45	55	33	12.9	○	1.8	3.0	直 接 (1)
32	" D棟	" "	1			1450	1450	48	33	35	24	17.5	●	1.8	3.0	直 接 (1)
33	三本木中学校 A棟	十和田市西十三番町5-24	3		1	1866	615	86	46	23	12	17.1	○	2.4	8.4	R C 杭30φ L 9 m (2)
34	" B棟	" "	3		1	1859	613	86	46	17	9	18.1	○	2.4	8.4	同 上 (2)
35	横浜小学校 A棟	青森県上北郡横浜町浜懸40	3		1	1387	494	62	45	44	32	13.1	○	1.5	1.5	GL-1r2m より良く 締った礫 層径 N>30 (1)
36	" B棟	" "	1			677	677	94	139	0	0	7.2	○	1.5	1.5	
37	" C棟	" "	1			349	349	40	115	33	95	4.8	○	1.5	1.5	
38	笹原小学校(増築部)	上北郡六ヶ所村倉内字茅ヶ崎24	1			175	175	14	80	36	206	3.5	○	5.7	22.7	(3)
39	中志小中学校	" " 字家の上132	2		1	1036	525	60	58	28	27	11.8	○	1.4	8.8	R C 杭30φ L 7 m (2)
40	千歳小中学校	" " 字笹崎1021	2		2	1076	544	81	75	29	27	9.8	○	3.0	13.0	R C 杭30φ L 7 m (2)
41	野辺北中学校 A棟	上北郡野辺地町野辺地 351	3		1	3706	1235	227	61	77	21	12.2	○	4.0	14.8	R C 杭30φ L14m (2)
42	" B棟	" "	3		1	2736	904	139	51	20	7	17.2	○	4.0	14.8	R C 杭30φ (2)

No.	建 物 名	所 在 地	階 数			延面積 $\Sigma Af$ ( $m^2$ )	1階面 積 $Af_1$ ( $m^2$ )	柱量 $Aw(10^3)$ ( $cm^3$ )	$Ac/\Sigma Af$ ( $cm^2/m^2$ )	壁量 $Aw(10^3)$ ( $cm^2/m^2$ )	$Aw/\Sigma Af$ ( $cm^2/m^2$ )	$W/Ac + Aw$ ( $kg/cm^2$ )	被害	$N \geq 10$ の深さ ( $m$ )	$N \geq 30$ の深さ ( $m$ )	基 礎 な (地盤種)
			地上	地下	P. H											
43	野辺地中学校 C棟	上北郡野辺地町野辺地 351	3		108	36	15	139	0	0	7.2	○	0.0	14.8	R C杭30φ L14f (2)	
44	上北中学校	" 上北町上野字南谷地 32	3	1	1919	661	71	37	51	27	15.6	○	11.2	19.0	R C杭30φ L10m (3)	
45	小川原小中学校	" " 大浦	2	1	1011	526	85	84	54	53	7.3	○	7.5	10.8	直 接 (2)	
46	七百中学校	上北郡六戸町大落瀬字椿現 沢54	2	1	652	339	94	144	22	34	5.6	○	12.7	16.0	三角杭 L5.4m (3)	
47	昭陽小学校	" " 字四木77	2	2	955	484	60	63	13	14	13.1	●	20.3	20.3	R C杭25φ L5m (3)	
48	* 五戸小学校 A棟	三戸郡五戸町天満後21	3		2950	948	132	45	43	15	16.9	●	22.5	22.5	R C杭30φ L18m (3)	
49	* " B棟	" "	3		3015	966	132	44	38	13	17.7	●	22.5	22.5	R C杭30, 35, 40φ L18m (3)	
50	* " C棟	" "	3		600	223	24	40	9	15	18.2	●	22.5	22.5	同 上 (3)	
51	小鹿病院	三沢市中央町3-11-12	3	1	1043	325	40	38	51	49	11.9	○	11.9	11.9	R C杭30φ L16m (2)	
52	大三沢高等学校(一般 教室)	" 松園町1	3	2	2438	800	104	43	45	18	16.5	○	7.5	18.7	R C杭30φ L7m (3)	
53	" (特別教室)	" "	3	1	2574	751	81	31	36	14	22.0	○	7.5	18.7	R C杭30φ L8,10,12m(3)	
54	鷹架小学校	上北郡六ヶ所村鷹架字道の 下29	2	1	1199	570	74	62	2	2	15.9	○	1.8	1.8	直 接 (1)	
55	倉内小中学校	" 倉内字道の上21	2	1	1783	763	109	61	47	26	11.4	○	5.1	22.7	R C杭25φ L4.6m (3)	
56	戸鎖小学校	" 鷹架字後川目2	2	1	1154	568	46	40	40	35	13.4	○	4.0	8.0	(2)	
57	平沼小中学校	" 平沼字二階坂50	2	1	1602	735	104	65	5	3	14.7	○	0	3.4	松杭18φ L2.7m (1)	
58	上北小学校	上北郡上北町上野字堤向22	3	1	2458	735	648	130	53	95	39	○	10.9	25.6	(3)	
59	舟ヶ沢小中学校	" 東北町字舟ヶ沢 57の2	3	1	841	396	52	62	55	66	7.8	○	1.5	12.0	直 接 (2)	
60	* 北里大学畜産学部	十和田市三本木前谷地 129 -2	4		3998	1065	130	33	70	18	20.0	●	23.6	23.6	R C杭35φ L25m (2)	
61	* 東北電力 八戸営業所	八戸市堀端町	3	1	2162	607	79	37	76	35	13.9	○	7.9	7.9	(2)	
62	* 八戸工業高等専門学校 A棟(工業化学)	八戸市大字田面木字上野平	3		1880	626	117	62	4	2	15.5	●	12.6	19.6	R C杭30φ L11m (3)	
63	* B棟(機 械)	" "	3		1544	535	86	56	0	0	18.0	●	12.6	19.6	(3)	
64	* C棟(電 気)	" "	3		1554	535	86	56	0	0	18.9	●	12.3	20.0	(3)	

望月他：十勝沖地震のR C造建築物被害と地盤

No	建 物 名	所 在 地	階 数		延面積 $\sum A_f$ ( $m^2$ )	1階面 積 $A_{f1}$ ( $m^2$ )	柱量 $A_w$ ( $10^3$ cm)	$\frac{A_c}{\sum A_f}$ (%)	壁量 $A_w$ ( $10^3$ cm)	$\frac{A_w}{\sum A_f}$ (%)	$\frac{W}{Ac+Aw}$ ( $cm^2/m^2$ )	被害	$N \geq 10$ の深さ (m)	$N \geq 30$ の深さ (m)	基 礎 と 基 盤 (地盤種)
			地上	地下											
65	* 八戸工業高等専門学校 D棟(管理棟)	八戸市大字田面木字上野平	3		1524	432	98	64	13	9	13.7	●	12.3	20.0	(3)
66	* E棟(教室)	"	2	3	1623	583	113	70	10	6	13.2	●	12.8	20.0	(3)
67	* F棟(昇降口)	"	3		1105	346	63	57	0	0	17.5	●	12.8	20.0	(3)
68	* G棟(教室)	"	3		671	212	48	72	2	3	13.4	●	12.8	20.0	(3)
69	* 北寮	"	3		1262	410	86	68	23	18	11.6	○	12.8	20.0	(3)
70	* 南寮	"	3		1179	360	83	70	17	14	11.8	○	12.8	20.0	(3)
71	* 西寮	"	4		1565	392	72	46	18	12	17.4	●	12.8	20.0	(3)

\* 建物名：志賀ほか(1975)の建物資料による。  
 建物下(近接地を含む)に柱状図が複数ある場合の、 $N \geq 10$ 、 $N \geq 30$ ( $N$ 値30内外ないしそれ以上)の深さは平均値とした。

2種地盤：GL-5m~15m(未満)でN値が30内外ないしそれ以上となる地盤。

3種地盤：N値30内外ないしそれ以上の地層までの深さが15mを越える地盤。

このような地盤区分によれば、図3が示すように調査棟数71棟は、1種地盤に10棟、2種、3種地盤にはそれぞれ34棟および27棟と区分される。ただし、調査地域(主としてRC学校建物の立地する地盤)の多くは台地であり、図1、2が示すように、沖積地盤にある調査建物は71棟中10棟に過ぎない。そして沖積地盤が洪積地盤(台地)より悪い(供えば卓越周期が長い)とはいえないように思われる。そのようなこともあって、地盤種の区分は沖積、洪積層の如何にかかわらず締り方の尺度としてN値を用いた。

ところで、志賀ほか(1975)は、 $W/(Ac+Aw)$ が $12 \text{ kg/cm}^2$ 以下あるいは $A_w/\sum A_f$ が $30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以上の建物は軽微な被害か無被害であったことを示している。図2には、その結果をうけて、上記1~3種地盤上の棟数のうち、 $W/(Ac+Aw) \geq 12 \text{ kg/cm}^2$ の建物の棟数を示した(なお筆者らが新たに調査した建物はいずれも軽微ないし無被害建物である)。これらは、被害をうけなかった建物も含めて構造上危険側の建物といえるが、その棟数は1種地盤上に5棟、2種地盤上に21棟、3種地盤上に19棟となる。ところで、実際に●印以上の被害をうけた建物は1種地盤で1棟、2種地盤で8棟、3種地盤では13棟である。したがって、構造上危険側にあった建物に対する被害棟数比を単純に計算してみれば、1種地盤では5棟中1棟だから20.0%、2種地盤では38.1%(21棟中8棟)、3種地盤では68.4%(19棟中13棟)ということになる。全体の調査棟数が72棟と十分ではないが(ただ、当時対象地域に存在したRC学校建物の大部分は調査した)、地盤が被害に大きく寄与したであろうことは容易に推察できよう。それも、ここで定義した3種地盤程度までに限定すれば、地盤が悪くなるほど被害率が高くなることを示している。なお、被害程度をより高い●印の被害に限れば、第1種地盤では0%、2種、3種はそれぞれ33.3%、42.1%となる。

図4、5は、その状況をより詳細に示すために作成した。すでに志賀ほか(1975)が明らかにしたように $W/(Ac+Aw)$ が $12 \text{ kg/cm}^2$ 以下の建物は、いかなる地盤においてもここでいう被害はうけていない。しかし、 $W/(Ac+Aw) > 12 \text{ kg/cm}^2$ の建物でもN値が30内外ないしそれ以上の地層(以下硬質層と呼ぶ)が10m以浅に表わられるような地盤においては、●印の被害(中程度の被害)が1棟(むつ工業高校D棟)認められるのみで、それ以外の大多数の建物は被害をうけていない。それに対し硬質層までの深さが10mを越えると被害建物の比率が著しく高くなる。

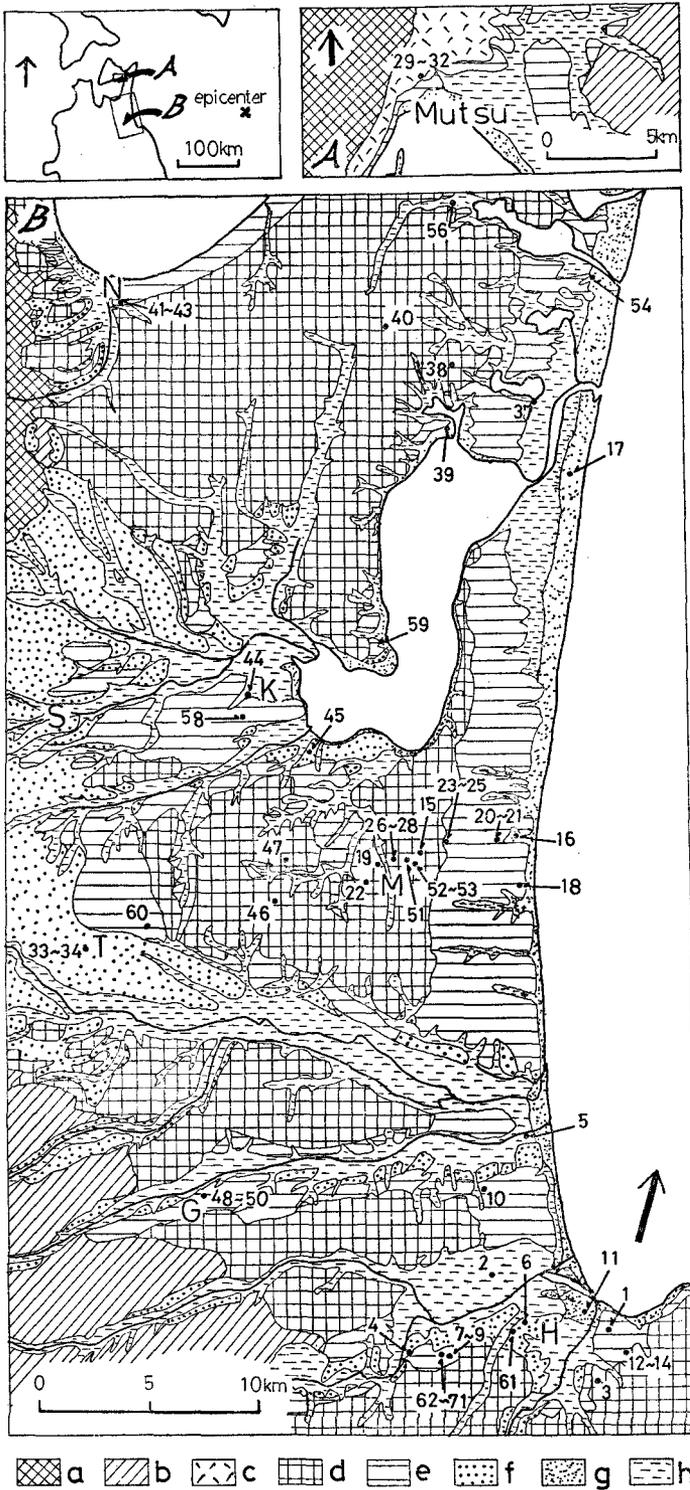


図1 調査地域の地形・地質と調査建物分布。

a ~ b : 地形 (地質)。

a : 山地・火山地 (固結岩) ,  
b : 丘陵地 (火山灰 (ローム) 層/半固結~固結岩)。

c : 火山山麓緩斜面 (火山灰 (ローム) 層/未固結砂礫層 (ときに欠如) /固結岩)。

d : 洪積台地高位面 (火山灰 (ローム) 層/未固結砂~砂礫層 /半固結~固結岩)。

e : 洪積台地中位面 (火山灰 (ローム) 層/未固結砂~泥層 /半固結岩)。

f : 洪積台地低位面 (火山灰 (ローム) 層/礫層/半固結~固結岩)。

g : 沖積低地—浜堤・砂丘 (主として未固結砂層)。

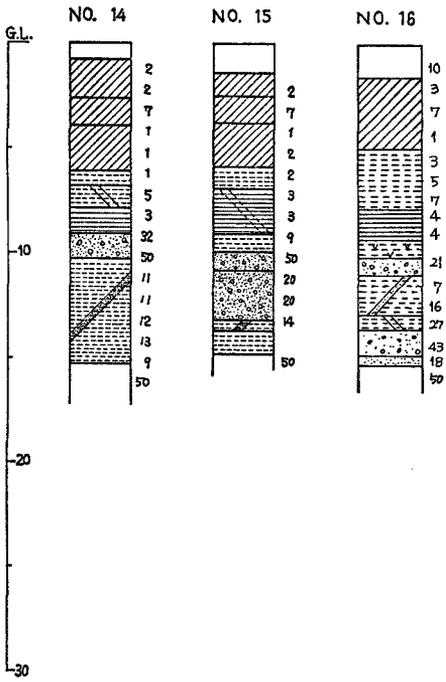
h : 沖積低地—デルタ・氾濫原等 (主として未固結砂~泥層)。

1 ~ 71 : 調査建物の位置 (番号は表1, 図2と共通)。

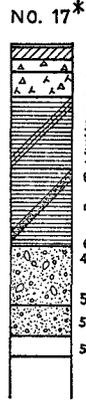
地名 G : 五戸, H : 八戸, K : 上北町, M : 三沢, N : 野辺地, S : 七戸, T : 十和田市。



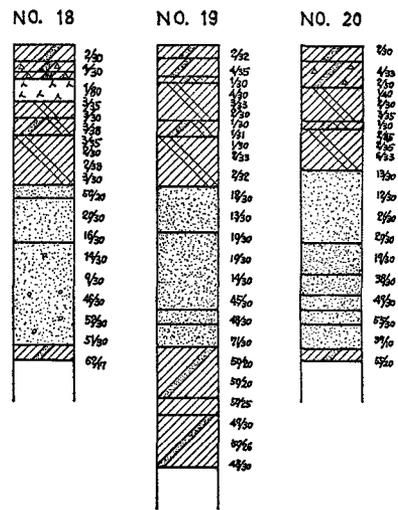
6. 八戸市庁舎 (八戸市, 台地)



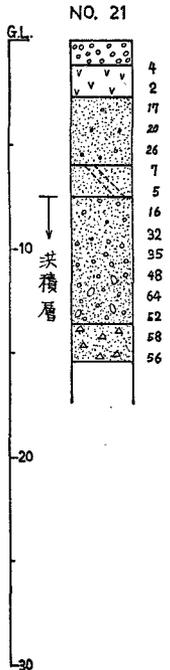
7-9. 白菊学園 (八戸市, 台地)



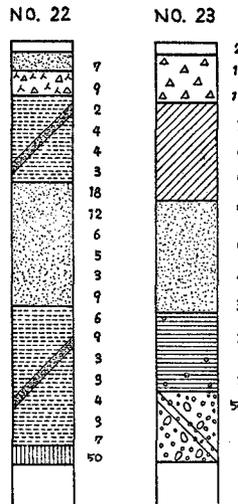
10. 桔梗野小学校 (八戸市, 台地)



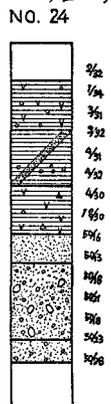
11. 小中野小学校 (八戸市, 自然堤防)



12~14. 八戸北高校 (八戸市, 台地)



15. 第1中学校 (三沢市, 台地)



16. 第2中学校 (三沢市, 堤<砂丘>)

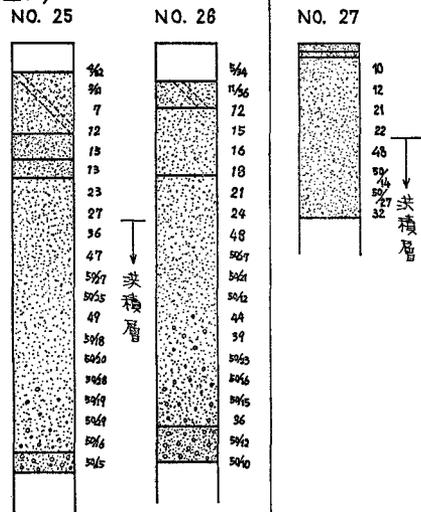


図2 (続く)

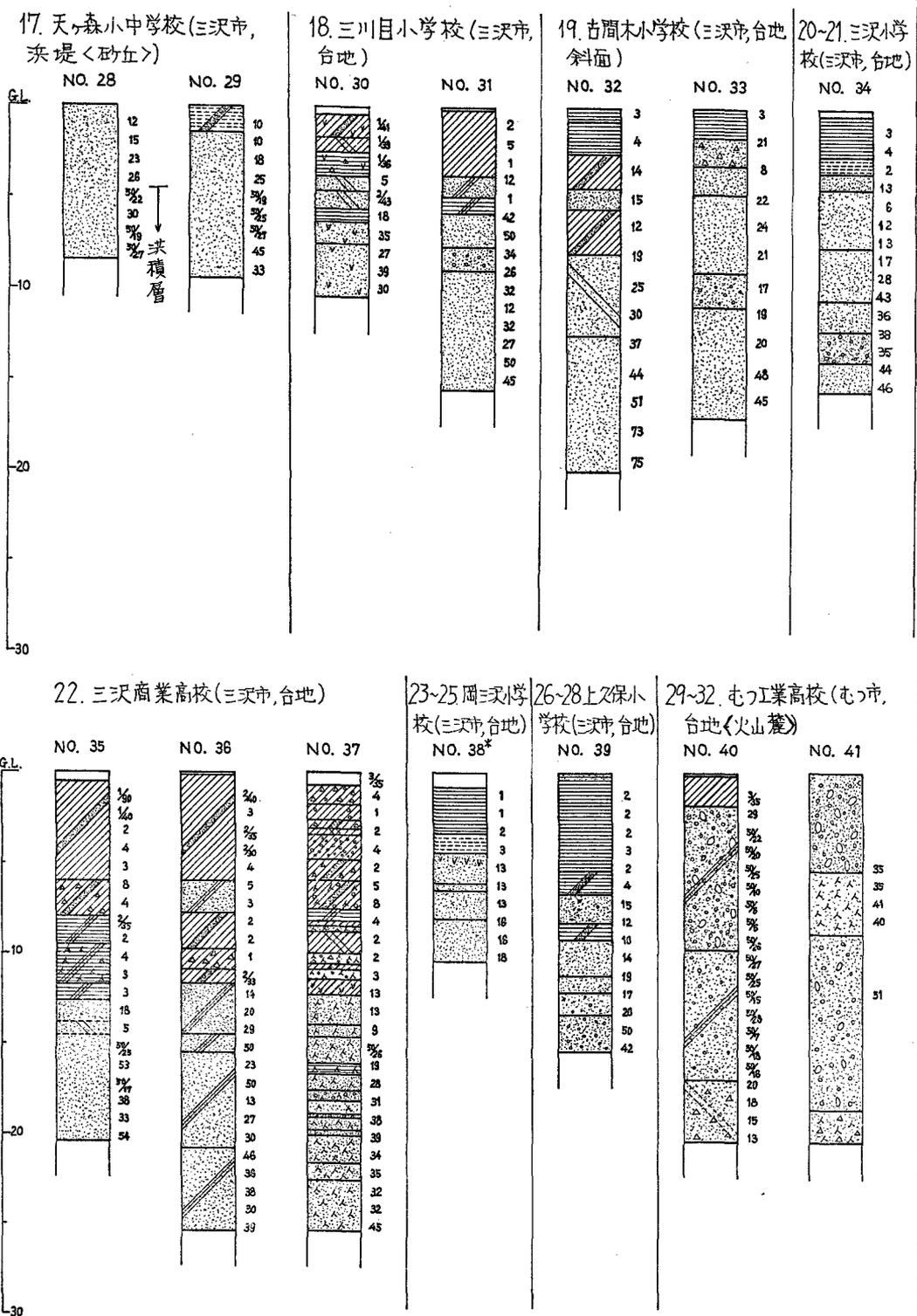
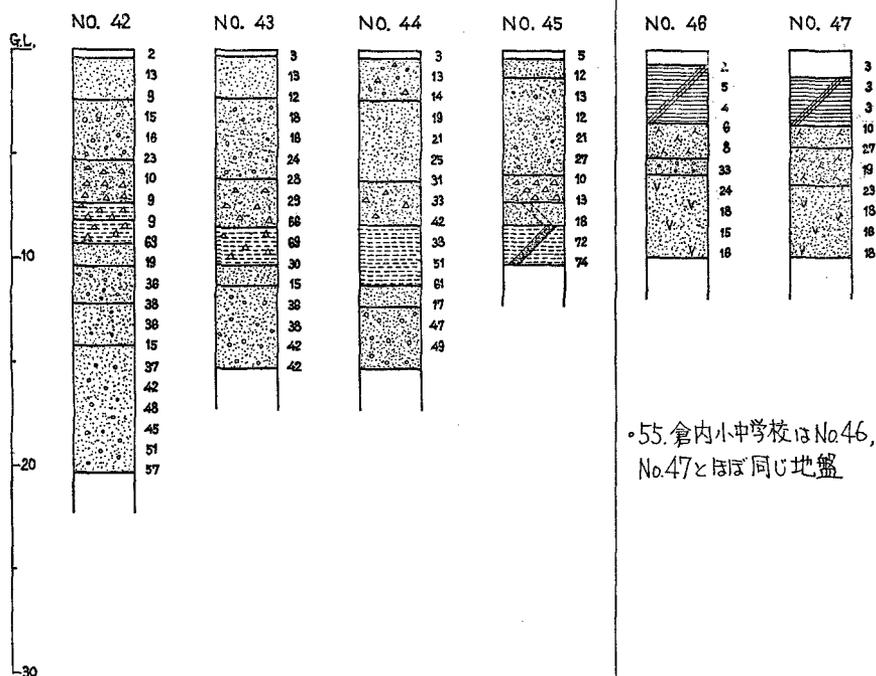


図2 (続)

33~34. 三本木中学校(十和田市,台地<軽五稜台地>)

38. 菅原小学校(六ヶ所村,台地)



・55. 倉内小中学校はNo.46, No.47とほぼ同じ地盤

39. 中志小中学校(六ヶ所村,台地斜面切土(No.50), 低地<波蝕台>(No.51~53))

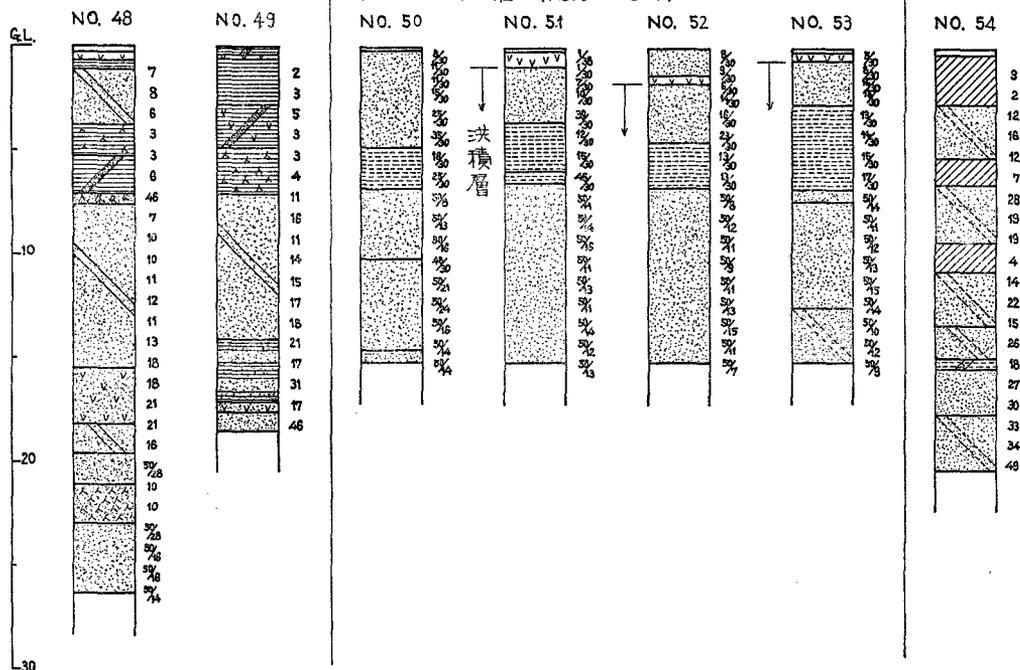
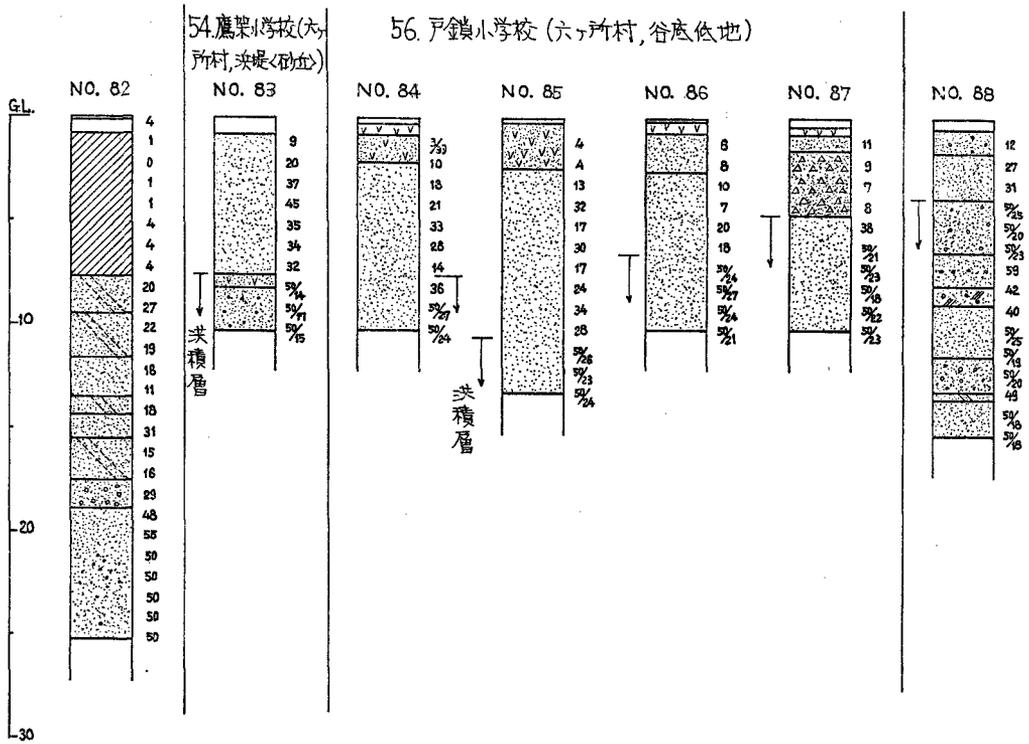


図2 (続く)







57. 平沼小中学校(六ヶ所村, 決堤<埋没被蝕台>)

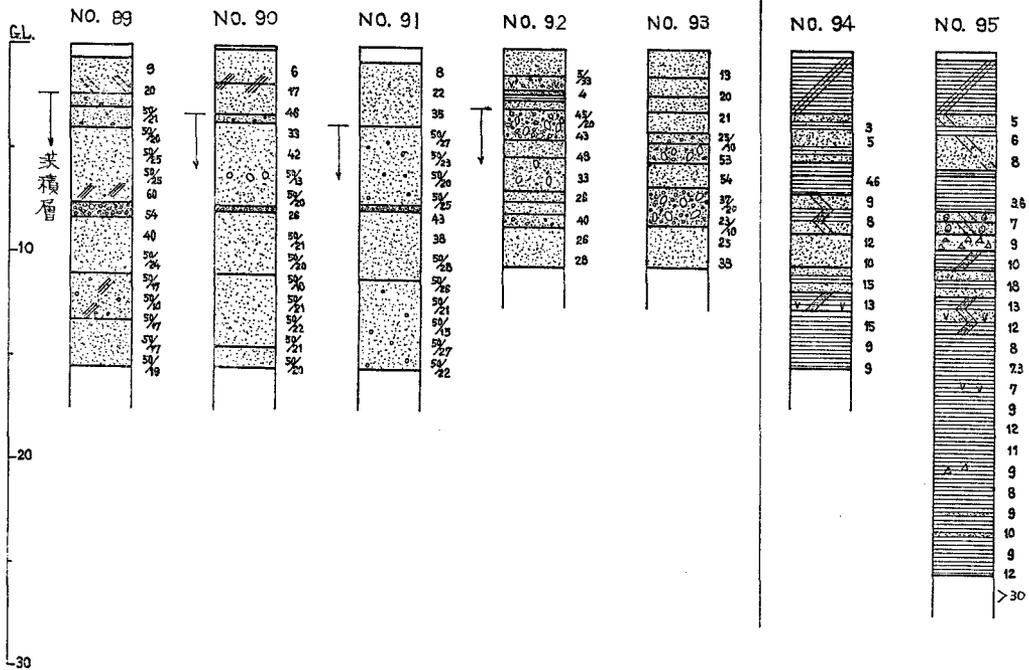


図2 (続)



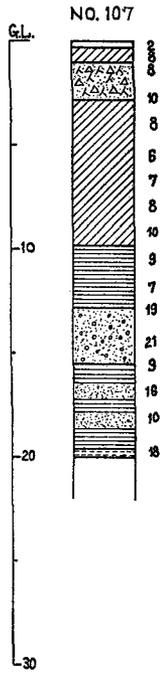
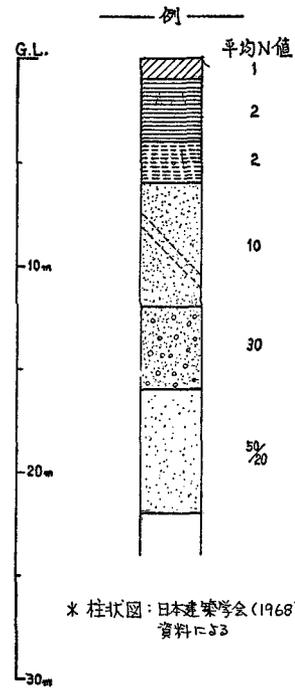
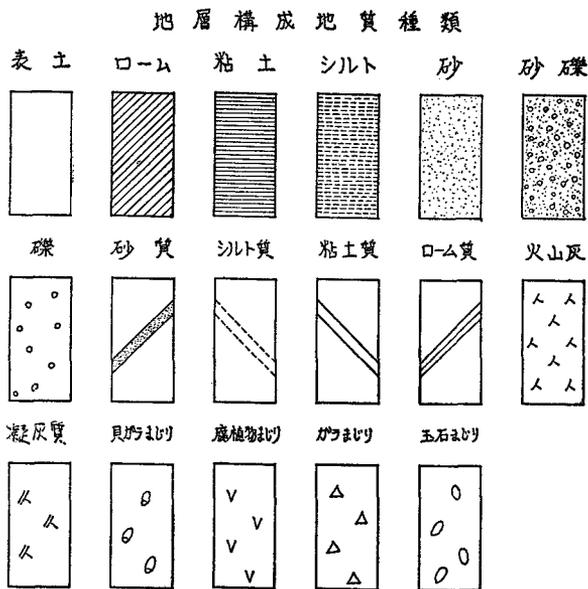


図2 建物敷地の地質柱状断面図  
 建物名の前に記してある数字は建物番号で図1、  
 表1と共通。



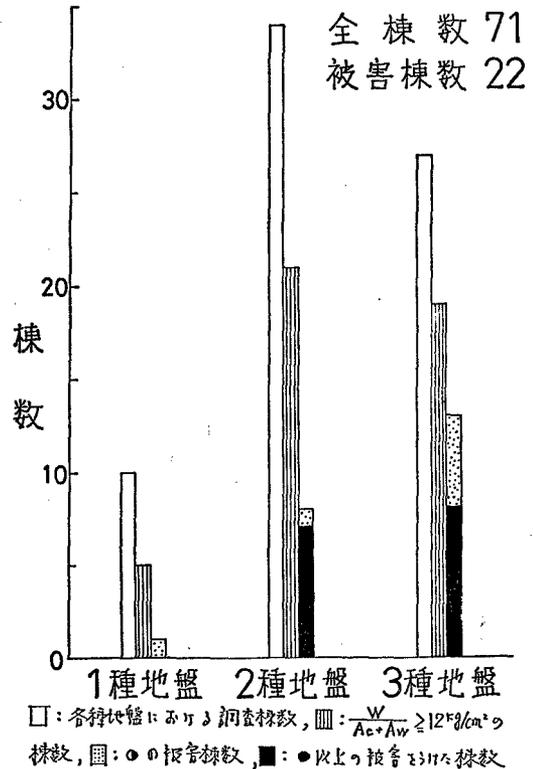
ところで、現行の耐震規定にみられる地盤種の区分（1種～4種）を実際に行う場合（特にここで対象としている地域のように洪積台地が主体をなすとき）、種々の議論があるところと思われるが、図3の表現は大体、現行規定を考慮して区分したものである。しかし、図4によれば、顕著な被害の発生は硬質層までの深さでいってほぼ10mを越えた場合となっている。それゆえ、この値を考慮した地盤区分で被害棟数比と地盤の関係を図5のように表現した。この地盤区分によれば、硬質層までの深さが10m未満の地盤における被害棟数比は  $W / (A_c + A_w) \geq 12 \text{kg/cm}^2$  の棟数15棟中1棟（6.7%）と、それ以上深い場合に比べて著しく低い値となる。一方この区分における2番目の地盤（硬質層までの深さ10m以上15m未満の地盤）の被害棟数比は11棟中3棟、72.7%となり、硬質層までの深さ15m以上の地盤における被害棟数比13棟中8棟、61.5%を上まわるようになる。さらに、被害の著しい●印以上の被害棟数比に限定すれば、硬質層までの深さが10m未満では0%、同じく10m以上15m未満では63.6%（11棟中7棟）、15m以上では42.1%（19棟中8棟）となり、硬質層までの深さ10m以上15m未満の地盤種における被害率がさらに顕著なものとして表われてくる。なお、各地盤とも被害棟数比は  $W / (A_c + A_w) \leq 12 \text{kg/cm}^2$  の建物に限定して表現している。

図6は、硬質層までの深さに加えて、より地表に近い軟弱な地層の被害におよぼした寄与をみようとしたものであり、縦軸は硬質層に至るまでの表層の平均N値を表わす。若干の例外はあるが、大きな被害はこのような地盤の表現における特定の範囲に集中している。それは、ここでいう硬質層までの深さが10mを越え、かつそれ以後の地層の平均N値が10内外あるいはそれ以下の地盤である。ただし、図1～図6を総合的にみれば、台地としては最も地盤の悪いタイプに属する48, 49, 50,（五戸小学校, 図1, 2, No.77）, 60,（北里大学畜産学部, 同No.102）の被害が●のグレードにとどまっていること、あるいは軟弱沖積層が比較的厚い2下長小学校,（図1, 2, No.4～No.6）, 5（多賀小学校, 同No.12～No.13）, 44（上北中学, 同No.69～No.71）がさしたる被害を受けていないなど、地盤がより長周期化すると被害におよぼす地盤の寄与は低減化する傾向もみられる。

5 まとめ

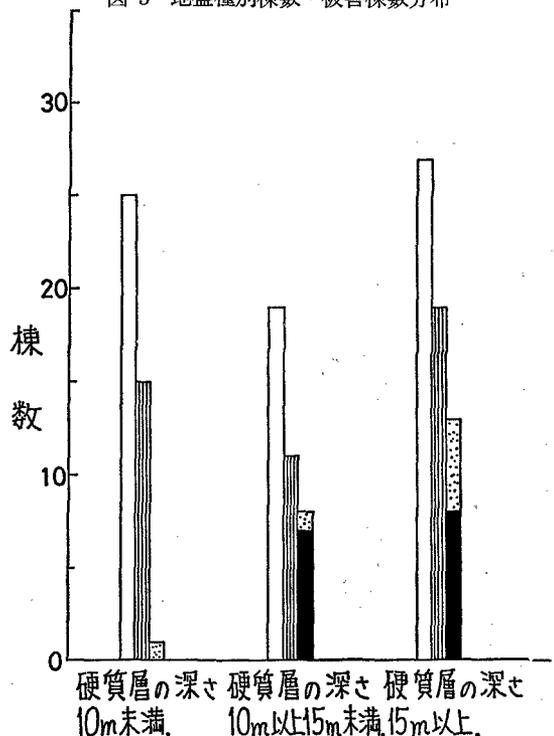
以上、調査建物棟数は必ずしも十分とはいえないが（ただし、地震当時RC造で今日資料が保管されている

図-4 N値30内外ないしそれ以上の地層までの深さと被害との関係。  
記号は図-2と同じ。



□：各特地盤にあり調査棟数, ■： $\frac{W}{A_c + A_w} \geq 12 \text{kg/cm}^2$  の棟数, ●：●以上の被害をきたした棟数

図-3 地盤種別棟数・被害棟数分布



硬質層の深さ 10m未満, 硬質層の深さ 10m以上15m未満, 硬質層の深さ 15m以上

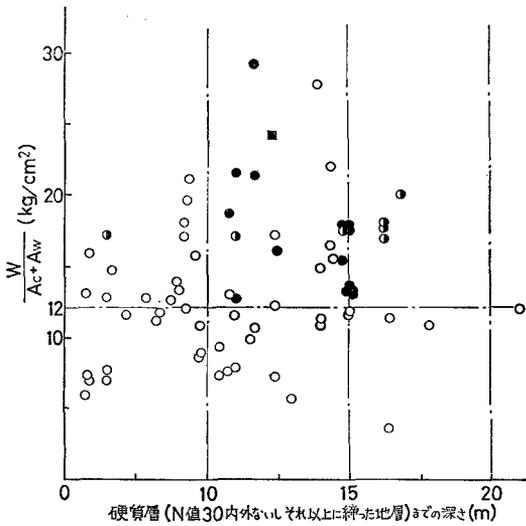


図-5  $W/(Ac+Aw)$  および硬質層までの深さと被害との関係。

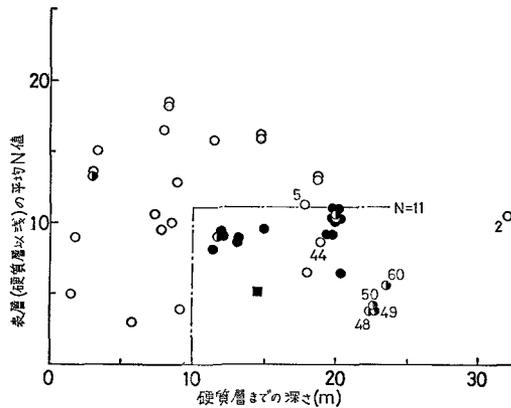


図-6 硬質層までの深さおよびそれ以浅の平均N値と被害との関係。

いずれも  $W/(Ac+Aw) \geq 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物。

青森県の被災地の学校建物の大部分は収録した、被害におよぼした地盤の寄与は明らかに認められる。志賀ほか(1975)が示した建物の軽微または無被害の条件、すなわち“柱+壁の平均的軸圧応力度 ( $W/(Ac+Aw)$ ) が  $12\text{kg}/\text{cm}^2$  以下は被災地のほぼ全ての地盤に共通する明かな指標である。この報告では、当時被害が軽微であったためもあって十分調査されなかった建物(主として学校)を可能な限り調べ、上記応力  $W/(Ac+Aw) > 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物でも、ほとんど構造被害をうけなかった建物がなお存在することを確かめ、地盤構成の面から被害分析を行った。以下に調査結果を要約し若干の考察を試みる。

(i) いわゆる1種から2種の地盤種別の判定を主としてN値を目安として行えば、青森県の主な被災地における71棟の調査RC建物の敷地地盤は、1種、2種、3種に分類される。ここで、 $W/(Ac+Aw) \geq 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物のみに着目すれば、1種地盤では5棟中1棟(被害率20%)が中程度の被害(●)をうけたことになる。一方、2種、3種地盤ではそれぞれ21棟中8棟(38.1%)、19棟中13棟(68.4%)が中程度以上の被害を受けている。これを重度の被害(●印以上)に限れば、1種、2種、3種地盤上における被害率はそれぞれ0、33.3%、42.1%となる。

(ii) 上記は大体現行耐震規定による地盤区分であるが、実際に生じた被害と地層構成の関係をみると、被害率の大小はN値30程度ないしそれ以上の地層までの深さが10mを越えるかどうかで明瞭に区分される。すなわち、その深さが10m未満の地盤には  $W/(Ac+Aw) \geq 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物は15棟あるが、中程度の被害が1棟生じたのみである(震害率6.7%)。一方その深さが、10m以上の地盤では、24棟中16棟の建物が被害をうけており(震害率66.7)、その差異は著しい。

(iii) (ii)の内容をやや詳細に分析し、被害が特に集中した地盤構成を概略すれば、N値30程度ないしそれ以上の地層までの深さが10mを越え、かつそれ以浅の地層の平均N値が10内外あるいはそれ以下の地層ということになる。このような地盤上には  $W/(Ac+Aw) \geq 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物が24棟あるが、そのうち21棟が中程度以上の被害をうけている(震害率87.5%)なおこの中には  $W/(Ac+Aw) = 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の無被害建物が1棟含まれているから、厳密に志賀ほか(1975)に従いこれを除けば、23棟中21棟、震害率は実に91.3%となる。

(iv) 以上は、 $W/(Ac+Aw) \geq 12\text{kg}/\text{cm}^2$  の建物に着目して整理したものであるが、対象被災地域の全域にわたり当時存在した学校建物の資料の大部分は収集しているから、全調査棟数71に対する震害棟数比を示す。調査棟のうち学校校舎以外の建物は6棟(表1, No.6, 51, 61, 69, 70, 71)である。そのうち、中程度の被害1棟、大被害1棟で、残りは軽微または無被害である。したがって、学校建物は調査棟数65棟中20棟、おおよそ30%程度が中程度以上の被害をうけたことになる。

以上が調査結果のまとめである。地盤の弾性波探査資料などがいないため、全くの推測に過ぎないが、被害をうけた多くの建物は3階建以下の低層であり、もし第1次固有周期が  $T = 0.07N$  (Nは層数)とすれば、ここに示した3種地盤のみならず、2種地盤の1次卓越周期も、Tより長周期側にあると思われる。したがって、単なる

共振現象では地盤と震害率の関係は説明しにくい。また、振動エネルギーの地下逸散という点では、1種地盤など硬質地盤の方が不利な側にある。したがって、被害発生地では平均N値10内外ないしそれ以下の層厚10m程度を越える軟質土層が地震波を増幅したこと、いいかえれば建物の被害に直接影響する周波数範囲の入力加速度が1種地盤などに比べてかなり大きかったこと、が推測される。

### 文 献 一 覧

青山博之・松下和徳

- 1971 「十勝沖地震における鉄筋コンクリート造校舎の耐震性について—被害建物と無被害建物

の比較検討—」『1968年十勝沖地震調査研究論文集』日本建築学会。

建設省建築研究所

- 1977 「総プロ（耐震設計法）研究報告“新耐震設計法（案）”」『建築研究報告』 No. 79。

志賀敏男・高橋暉雄

- 1975 「鉄筋コンクリート構造建物の壁率と震害（続報）」『日本建築学会東北支部研究報告集』 pp. 45~48。

日本建築学会

- 1968 『1968年十勝沖地震災害調査報告』

日本建築学会

- 1971 『1968年十勝沖地震調査研究論文集』

## RELATION BETWEEN DAMAGE TO REINFORCED CONCRETE BUILDINGS AND GROUND CONDITIONS IN THE 1968 TOKACHI OKI EARTHQUAKE

Toshio Mochizuki\*, Michio Miyano\*\*  
and Toshikazu Tamura\*

*Comprehensive Urban Studies*, No. 8, 1979, pp. 145~163

Because the intervals between strong earthquakes have been long, and we know little of the effects ground conditions have upon the kind and extent of damage to reinforced concrete buildings. The 1968 Tokachi Oki Earthquake has been the first one in which modern reinforced concrete buildings have received considerable damage. In this paper, we explain the effects of the damage to these buildings by the collection and investigation of data on damaged and non-damaged buildings and the ground conditions surrounding each.

\* Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

\*\* Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University