

仙台市域の最新地盤情報を考慮した1978年宮城県沖地震における 地震動の再現とRC造建物被害の検討

正会員 ○奥津多加志*1
同 山本優*2
同 源栄正人*3

2. 構造 — 2. 振動

1978年宮城県沖地震 RC造建物 表層地盤
志賀マップ 所要耐力スペクトル

1. 序論

(1) 背景・目的

1978年6月12日に発生した宮城県沖地震では、仙台市域を中心に大きな被害がもたらされた。さらに、次の宮城県沖地震の発生確率が20年以内に90%以上と切迫しており、再び大被害の発生が予想されている。

現在までに1978年宮城県沖地震については種々の研究・調査がなされてきた。建物被害の研究として、当時、壁率マップによる建物被害の検証¹⁾が行われており、概ね相関が良いと考えられた。しかし、一部の建物では壁率と被災度の説明がつかないものも存在した。

また、1978年宮城県沖地震の地震動の再現・評価に関して、現在、仙台市においては250m~1kmメッシュ単位で面的な地震動評価²⁾³⁾が行われている。さらに最近の研究・調査^{例えは 4)}より、表層地盤・深部地盤ともに地盤情報が更新・蓄積されてきており、中でも仙台市内の一部地域において表層地盤のボーリングデータが豊富に得られている。これにより更に細かい単位での地震動評価も可能となっている。

本研究では以下の2点を主目的として研究を行う。

- ①現在までに得られている地盤構造データに基づく、1978年宮城県沖地震の地震動の再現・再評価。
- ②再現地震動と1978年当時の被害調査に基づく建物データを用いたRC造建物被災度の再評価。

(2) 研究の流れ

研究の流れを図1に示す。本研究は地震動再評価と建物性能評価を主に行っている。

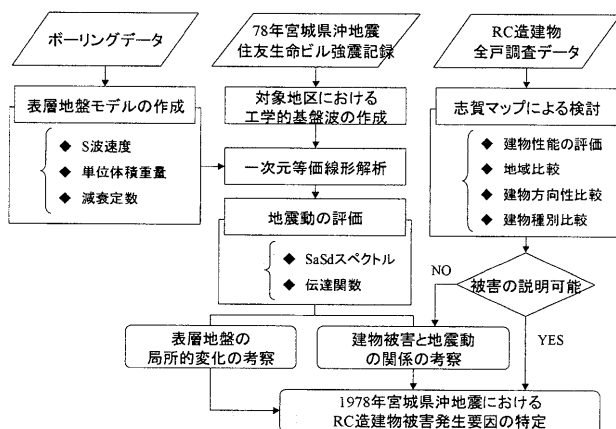


図1 検討フロー

2. 評価対象

本研究では卸町・長町・上杉地区を対象とし評価を行う(図2)。この3地区では、志賀らにより、1978年宮城県沖地震におけるRC造建物を対象とした全戸調査が行われ、建物データ及び被害データが得られている¹⁾。卸町に大きな被害建物が集中したのに対し、上杉での被害程度の大きな建物は少なかった。

現在、文献3)において、250m単位のメッシュデータの表層地盤モデルを用いて地震動評価が行われている。一方、対象3地区の幾つかの地点では、ボーリング調査による表層地盤のデータも得られている。

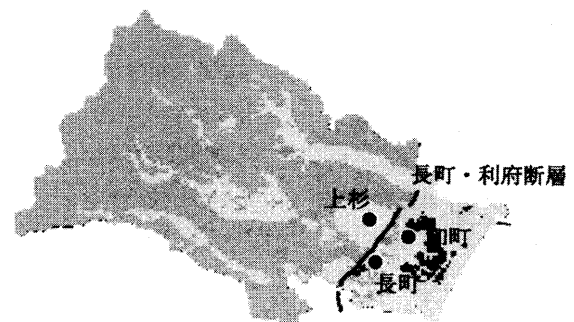


図2 評価対象地区

3. 地震動評価手法

(1) 表層地盤モデル

各ボーリング地点における表層地盤モデルについては、既存の地盤情報⁵⁾などを元に、N値と深さからS波速度を算定し、単位体積重量、減衰定数は文献5)を参照した。また、本研究では、文献3)で使用されていた表層地盤250mメッシュデータも、比較検討の対象として使用しているが、ボーリング・メッシュデータ共に $V_s=500\text{m/s}$ 以上の層を工学的基盤とした。

(2) 地震動の再現

観測波形を用いた地震動推定が仙台市地震被害想定で行われている³⁾が、文献6)では、新たな深部地盤構造⁴⁾を用いて仙台市の地震動分布の推定を行っている。本検討においては、文献6)による工学的基盤波を用い、(1)で作成した表層地盤モデルを用いて、一次元等価線形解析により地表面における地表面における加速度波形を作成した。

4. 地震動評価結果

表1に各対象地区代表点(以下の図で使用した地点の結果)の等価線形解析の結果を示す。表1より、上杉地区に比べ他の2地区において、PGA、PGVが大きくなり、入力地震動が大きかったことは明らかである。これらは建物被害の発生状況ともあっており、建物の被害の格差の要因として、入力地震動の地域差が考えられる。

表1 地震動解析結果

No	種別	卓越振動数 [Hz](1次)	卓越周期 [s](1次)	応答倍率 (1次)	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]
卸町①	b	2.9	0.35	2.8	499	48
卸町②	b	2.1	0.47	3.0	477	44
卸町③	b	2.8	0.36	2.3	455	40
卸町 i	m	2.5	0.40	2.8	497	44
卸町 ii	m	1.7	0.58	3.2	489	42
卸町 iii	m	1.9	0.53	2.8	635	46
長町①	b	2.6	0.38	2.5	436	40
長町②	b	2.1	0.48	2.4	435	42
長町 i	m	2.6	0.39	1.9	330	37
長町 ii	m	2.8	0.36	2.2	341	37
上杉①	b	18.2	0.05	3.0	253	34
上杉②	b	14.4	0.07	1.6	247	33
上杉 i	m	15.7	0.06	3.1	240	33
上杉 ii	m	9.2	0.11	3.5	242	34

(b : ボーリングデータ m : 250m メッシュ)

(1) 表層地盤の増幅特性

図3には各地区の代表ボーリング地点で作成した表層地盤の工学的基盤に対する伝達関数(2E/2E)を示す。3地区における表層地盤の増幅傾向を比較すると、上杉地区での増幅がほとんど見られなかった。一方、卸町地区・長町地区では 2Hz~3Hz(0.3s~0.5s)に増幅のピークが見られた。ボーリングデータの方がメッシュデータに比べ長町地区と卸町地区の差が小さくなっている。また、表1より卸町地区ではメッシュデータよりも、ボーリングデータの方が、卓越周期が短くなる傾向が見られた。

(2) 地震動の考察

図4には各対象地区の代表点の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)を示す。擬似速度応答スペクトルでは、ボーリングデータの表層地盤モデルを用いたものと250mメッシュデータを用いたものを示してある。深部地盤構造モデルは同じものを使用しており、表層地盤モデルのみが異なる。

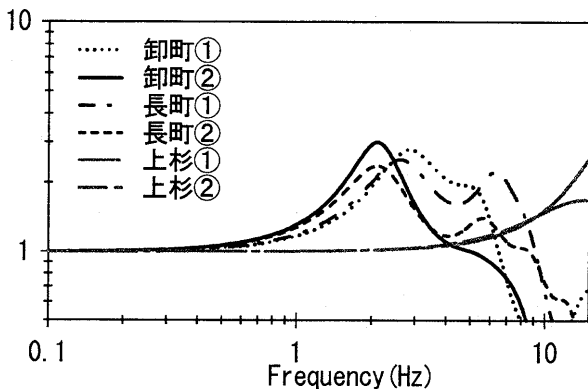


図3 表層地盤伝達関数

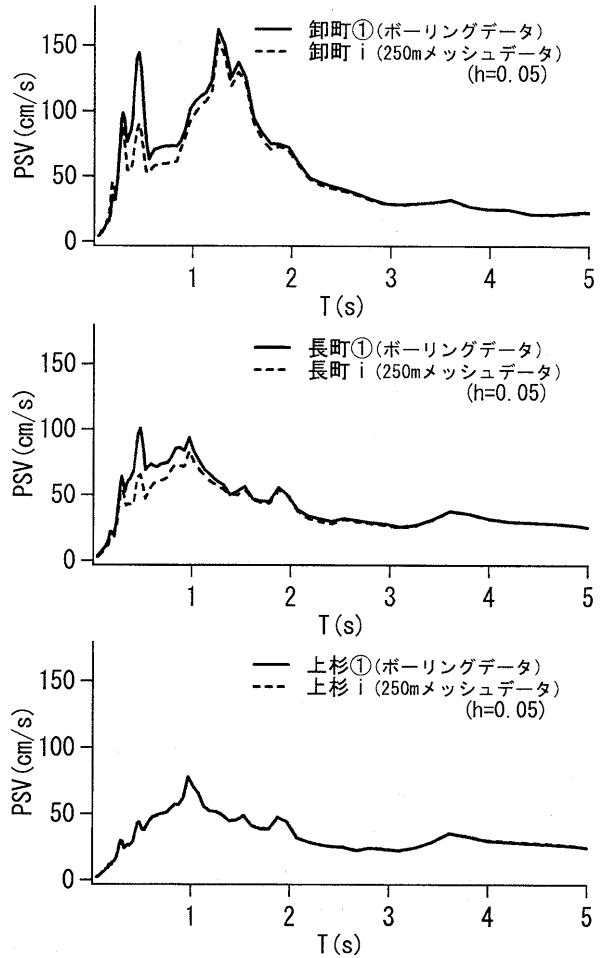


図4 対象地区擬似速度応答スペクトル (上から卸町・長町・上杉)

図中の実線がボーリングデータ、点線がそのボーリング地点における250mメッシュデータを用いたpSvを示している。細線は文献2)と同じ地盤モデルを使用して作成した再現地震動である。図4から各地区代表ボーリング点におけるスペクトル形状の違いが明らかで、前述の伝達関数と比べると、1s以下の領域において表層地盤の増幅特性がスペクトル形状に大きな影響を及ぼしていると考えられる。卸町や長町地区は短周期(0.3~0.5s程度)にピークがみられるのに対し、上杉地区では見られなかった。

ボーリングデータと250mメッシュデータとの比較では、表1のPGA、PGVに注目してみると、上杉地区・卸町地区では大きな違いが見られないのに対し、長町地区ではボーリングデータを用いて評価した方が大きくなる傾向が見られた。ただし、その要因はボーリングの表層地盤モデルの違いによるものと考えられる。また、図3でボーリングデータとメッシュデータを比較すると上杉ではほぼ差が見られないのに対し、卸町、長町地区では0.5s程度までに違いが見られる。これは上杉地区では、ボーリング・250mメッシュデータ共に表層地盤による増幅がほとんど見られなかったため、工学的基盤波とほぼ同じになっていることが原因と考えられる。

5. 建物被害の検討

表2には以下のRC造建物被害評価に使用する建物データを、図5には志賀らの考案した壁率マップ³⁾(以下志賀マップ)を示し、図6には建物毎のスケルトンカーブと所要耐力スペクトルを示す。表2中の再評価結果は5.2の手法により算定した被災度、塑性率を示す。表内のIs値は文献7)を参考に、柱率と壁率から定めた1次診断レベルのものである。

(1) 建物性能による検討(志賀マップ)

志賀マップは横軸に壁率、縦軸に柱・壁均しのせん断応力度を取ったものである。図中壁率 33cm²/m²以下、せん断応力度 12kg/cm²以上のエリアは既往の研究により被害ゾーン(図中の網掛部)とされているものである。図中点線は壁率と柱率から算定した耐震診断指標 E₀ のコンタープロットであり、概ね1次診断レベルの Is 値と考えられる。

表2 建物データ・再評価結果

Id	建設年	階数	延面積 (m ²)	方向	方位	壁率 (cm ² /m ²)	せん断応力度 (kg)	Is	rank	PGA	再評価結果	
											被災度	塑性率
卸町a	47	3	619	L	E-W	61	7.4	1.3	3	477	小・中破	1.45
卸町b	44	2	439	T	E-W	11	12.6	0.5	4	455	小・中破	1.44
卸町c	43	3	2731	L	N-S	15	18.9	0.4	5	479	小・中破	1.39
卸町d	48	2	251	L	E-W	22	11.5	0.7	1	513	小・中破	1.16
				T	N-S	86	6.6	1.7	1			
長町a	不明	2	708	T	N-S	72	5.4	2.1	2	435	小・中破	1以下
長町b	39	3	3679	L	N-S	19	20.0	0.5	4	420	大破以上	1.81
長町c	37	4	1320	L	E-W	24	14.5	0.6	4	396	小・中破	1.23
長町d	37	3	1803	L	N-S	16	16.9	0.5	3	320	小・中破	1.09
				T	E-W	74	8.5	1.4	2			
長町e	48	5	2824	L	N-S	17	17.0	0.5	3	420	小・中破	1.24
				T	E-W	39	12.4	0.8	3			
上杉a	f	4	1580	L	E-W	7	13.9	0.5	2	253	小・中破	1.16
上杉b	45	4	699	T	N-S	13	12.9	0.5	1	247	軽微以下	1以下
上杉c	45	5	1070	L	E-W	14	14.7	0.5	2	240	小・中破	1.04
上杉d	48	6	1412	L	N-S	41	12.7	0.8	1	242	軽微以下	1以下
				T	E-W	23	16.4	0.6	1			

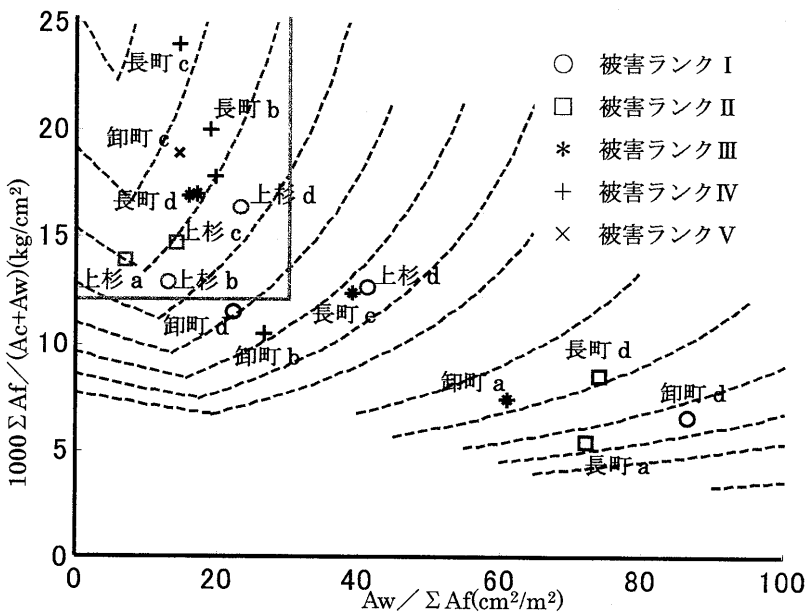


図5 志賀マップ

被害ゾーン内の卸町cや長町cの建物はゾーニング通りの被害となっており、建物の耐力不足により大被害に至ったと考えられる。本研究においても多くの建物は志賀マップのゾーニングに見合った被災度となっているものが多い。一方で、卸町a,bや上杉a,b,cのように明らかにプロットされた位置と被災度の関係が一致しない建物も存在する。

また、卸町dについてはPGAが513cm/s²と大きいですが、EW方向に比べNS方向のIs値が大きいため、被害が軽微であったと考えられる。同様の考察が上杉dでも考えられる。上杉dでは入力地震動が小さかった上に、NS方向のIs値が大きかったため、被害が少なかったと考えられる。一方、長町dはEW方向Is値が1.4と大きくなっていても関わらず、NS方向Is値が0.5と小さくなっており、被害ランクはIIIであった。NS方向の地震動が強かったことから、建物の方向性も被害に関連があったと考えられる。

(2) 建物性能・地震動による建物被害評価

1) 建物のモデル化・評価手法

本研究では文献8)を参考に建物のモデル化・被災度の評価を行った。建物は全てせん断型モデルとし、靱性指標F値は1.0とした。図面のある建物については詳細に各値を定めるが、図面のない建物については高さを一律4000mm、各階の単位体積重量を10kN/m²として、床面積より重量を算定した。Is値(Is₁)については志賀マップから定めたIs値をE₀として、1次診断レベルで判り得る範囲の形状指標S₀、経年指標Tをかけることで算定した。モデル化に使用するIs値(Is₂)については、文献9)の当時の建物における1次診断Is値と2次診断Is値の関係を参照し以下の式から求めた。

$$Is_2 = 0.77 \times Is_1 + 0.06$$

モデル化したスケルトンカーブと再現地震動による所要耐力スペクトルを用い、塑性化に伴う減衰を考慮した応答点を算出し、被災度を評価した。せん断型モデルでは塑性率0.5相当から1.5を小・中破とし、1.5より塑性率が大きくなると大破・崩壊とした。

2) 評価結果

卸町a,bを見ると、志賀マップでは安全エリアにプロットされていたが、図6における応答点は小・中破ゾーンに現われている。表1と合わせ、卸町bの被害調査による被災度はIVとなっているが、再評価による被災度は小・中破となっている。しかし、塑性率は1.44となっており、大破との境界線で

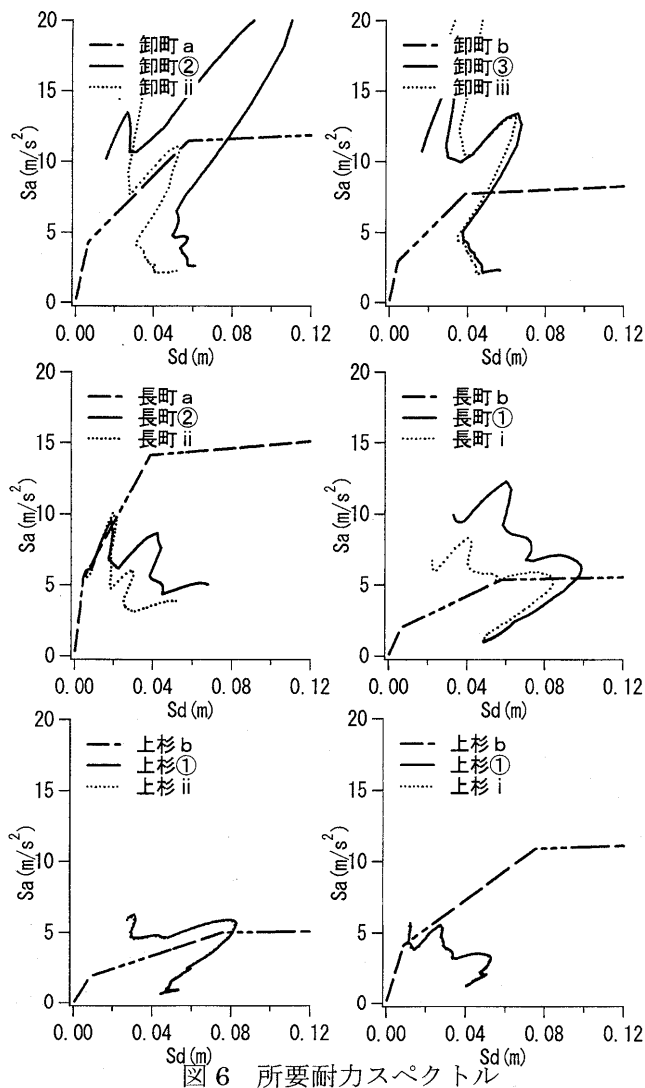


図6 所要耐力スペクトル

ある 1.5 に近く、この建物に関しては概ね妥当な評価であると考えられる。また、長町 a は志賀マップ上では、十分に安全と考えられるゾーンにプロットされているにもかかわらず、被災度Ⅱとなっている。十分に軽微な被害ではあるが、図 6 の所要耐力スペクトルを見るとスペクトル形状の違いにより、建物の被災度が説明可能であると考えられる。

一方、志賀マップでは被害ゾーン内にプロットされているにも関わらず被害が軽微であった上杉 a,b に関しても図 6 より所要耐力スペクトルが小さかったために建物耐力が低くても被害が軽微であったと考えられる。また、長町bの建物と長町①よりPGAが大きかった卸町①、②で応答点を算出しても、被災度は小・中破となる。このことから、単純に建物耐力のみでは、被災度の判定をすることができないことがわかり、地震動の大きさのみならず、スペクトル形状にも地域性があったため、卸町の方が上杉よりも被災度の大きな建物が多くなったと考えられる。

ただし、5.2 の手法で全ての建物について再評価を行うと同一地区内では大きな差が見られなくなる結果とな

った。また、被災度Ⅱ・Ⅲの建物に関しては高い割合で同程度の被災度の結果を得られたが、被災度Ⅰの建物については過大に、被災度Ⅳ、Ⅴの建物については過小に評価されやすい傾向が見られた。これは F 値を1と仮定したためと考えられ、被害ランクⅣ・Ⅴをわける要因として靱性の有無が考えられる。

6 まとめ・今後の課題

本研究では、地盤情報を更新した上での地震動評価と、当時の建物データ及び再現した地震動を用いて建物被害の再評価を行った。

地震動は地域により最大応答が大きく異なる上に、応答の大きな周期帯も一致しなかった。このため、卸町地区の方が上杉地区に比べ入力地震動が大きくなるなどの地域差が見られた。

建物性能の評価においては、建物の方向性や地域による入力地震動の大きさの違いが建物被害の一因として考えられた。

一方で、志賀マップによるゾーニングに一致しない建物をスペクトル形状との関連から評価を試みた。建物のスケルトンカーブと所要耐力スペクトルの形状により、被災度は大きく変わっており、建物の被害状況の説明が可能となった建物も多く見られた。このことからスペクトル形状の地域性が建物被害の地域性を説明する一因となることがわかった一方、靱性の評価など建物のモデル化に改善の余地が見られた。

今後は建物の靱性を評価し、地震動とIs値、被害ランクの関係を見出すことが、更なる被害要因の考察に繋がっていくと思われる。靱性の評価は図面がないものが多いため、精度向上は现阶段では難しい。地震動とIs値、被害ランクの関係については、壁率マップに表現する際に入力地震動による基準化が必要であると考えられるが、表層地盤増幅係数などを導入することがその解決法に当たると考えられる。

参考文献・資料

- 1) 例えば、志賀敏男他：1978年宮城県沖地震における仙台市卸商団地のRC造建物全数被害調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和54年
- 2) 地震調査研究推進本部 <http://sparc1038.jishin.go.jp>
- 3) 仙台市：平成14年度仙台市地震被害想定調査報告書
- 4) 宮城県：仙台平野南部地域地下構造調査報告、平成17
- 5) 宮城県：昭和60年宮城県地震地盤図作成調査報告書
- 6) 山本優他：1978年6月12日・2005年8月16日宮城県沖地震における地震動特性の比較検討、日本建築学会東北支部研究報告会、投稿中、平成18年
- 7) 梅村魁：鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法・続(中層編)、昭和57年
- 8) 清水・源栄：地震動のスペクトル特性を考慮した既存建築物の最適な耐震補強に関する研究、東北地域災害科学研究第41巻、pp135-140、平成17年
- 9) 志賀・柴田：RC建物群の震害と耐震性能指標、日本建築学会東北支部研究発表会、昭和57年

*1 東北大学大学院災害制御研究センター 大学院 Graduate School, Tohoku Univ

*2 東北大学大学院災害制御研究センター 大学院 Graduate School, Tohoku Univ

*3 東北大学大学院災害制御研究センター 教授・工博 Prof., Disaster Control Research Center, Tohoku Univ., Dr.Eng.