

# 地震に強い地域をつくる

## 23 北関東の歴史的建造物の耐震上の特質

### ～東北地方太平洋沖地震を例にした地震応答性状～

北関東の栃木市嘉右衛門町および桜川市真壁、桐生市桐生新町の3つの伝建地区に現存する歴史的建造物の形態は比較的類似しており、それらの固有周期や減衰性状については、先に示したようにデータが蓄積されつつある。一方で3つの伝建地区の近傍では、いずれも伝建地区から1km未満の地点で強震観測が行われており、その加速度記録が公開されている。そこで、各地区近辺で観測された東北地方太平洋沖地震の記録を分析し、歴史的建造物に多大な被害をもたらした地震動の特性について考察する。なお、いずれの地区も伝建地区周辺の地盤構造(土質柱状図)が、強震観測点のそれとよく似ていることを確認している(次項参照)。

東北地方太平洋沖地震(本震)について、伝建地区近傍で観測された地震動の気象庁発表震度や最大値を表1に、NS方向とEW方向の加速度時刻歴を図1に示す。東日本大震災では、この3地区の中でも特に桜川市真壁における歴史的建造物の被害が甚大であった。それは、表1の各地区の地震動の大きさを見ても、桜川市真壁に入力された地震動が大きかったことが理解できる。しかし、桐生市桐生新町においても、桜川市真壁と同レベルの地震動が入力していたことが確認できる。図2には、東北地方太平洋沖地震(本震)について、3地区のSa-Sdスペクトル(h=5%)を比較して示している。図中には、限界耐力計算<sup>3)</sup>での工学的基盤における標準スペクトルSa0(極めて稀に発生する地震および稀に発生する地震)を限界耐力計算法の略算法による第2種地盤の地盤増幅率で増幅させたスペクトル(以下、告示極稀スペクトルもしくは告示稀スペクトル)を併せて示している。

栃木市で観測された地震動は、表1および図1を見ても他2地区と比較して小さかったことがわかる。観測された加速度の最大値は、NS方向で197Gal(ガル=cm/sec<sup>2</sup>)、EW方向で129Gal、UD方向で77Galとなり、震度4を記録した。栃木市ではEW方向に比べNS方向の加速度が大きかった。図2に示すように、地震動の特性とし

表1 気象庁発表震度および最大値

項目	観測地点	NS	EW	UD
加速度 [Gal]	桐生市桐生新町伝建地区	280.5	353.5	156.6
	栃木市嘉右衛門町伝建地区	196.8	129.0	77.3
	桜川市真壁伝建地区	377.0	359.1	309.1
速度 [Kine]	桐生市桐生新町伝建地区	20.7	27.9	8.3
	栃木市嘉右衛門町伝建地区	10.1	8.4	6.4
	桜川市真壁伝建地区	25.9	32.1	11.4
変位 [mm]	桐生市桐生新町伝建地区	66.9	60.4	57.5
	栃木市嘉右衛門町伝建地区	53.0	67.8	69.3
	桜川市真壁伝建地区	94.1	103.3	91.7

桐生市桐生新町伝建地区: K-NET桐生(震度6弱)  
 栃木市嘉右衛門町伝建地区: 旧栃木市庁舎(震度4)  
 桜川市真壁伝建地区: 桜川市真壁庁舎(震度6弱)

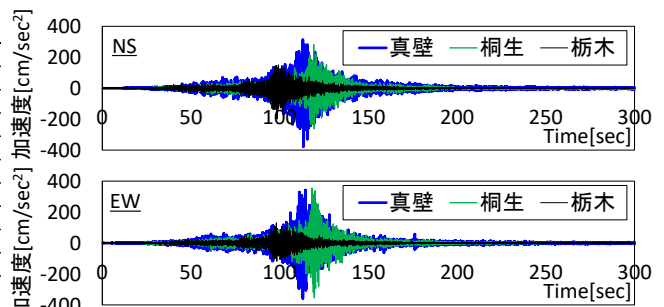


図1 東北地方太平洋沖地震(本震)の加速度時刻歴

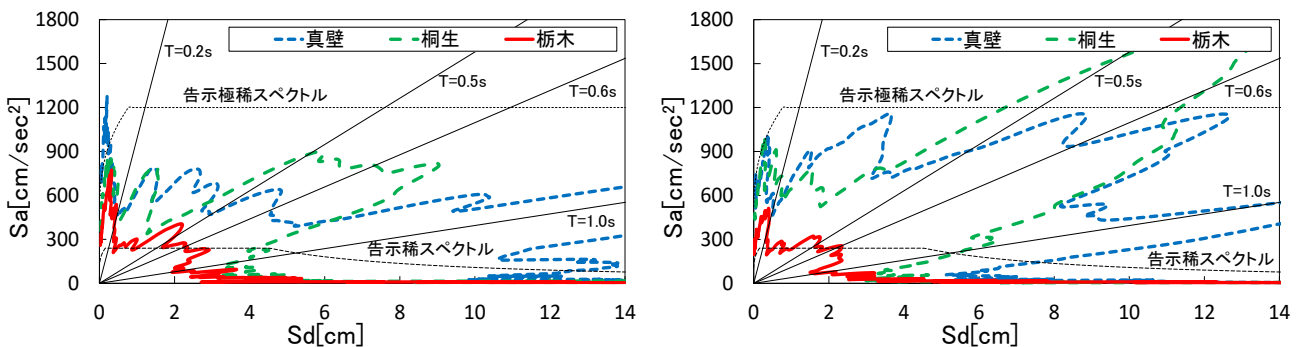


図2 東北地方太平洋沖地震(本震)のSa-Sdスペクトル(左:NS方向 右:EW方向)

て建物周期がおよそ  $T=0.6s$  を境に応答特性に著しい差異が見られる。つまり建物周期が  $0.60$  秒以下の建物の応答が大きくなる傾向が見られ、その大きさは告示稀スペクトルと同等以上であった。特に NS,EW 方向共に建物周期が  $0.10\sim 0.20$  秒および  $0.45\sim 0.50$  秒の応答が大きくなる特性が確認できた。

桐生市で観測された地震動は、NS 方向で  $281Gal$ 、EW 方向で  $354Gal$ 、UD 方向で  $157Gal$  となり、震度6弱を記録した。表1の通り EW 方向の加速度が特に大きく、桜川市真壁地区と同レベルであった。図2に示すように、桐生新町に入力された地震動特性は、特に EW 方向では建物周期  $0.47\sim 0.61$  秒で告示極稀スペクトルよりも大きい応答となる。また、桜川市真壁地区と比較した場合、被害の大きかった当該地区よりも建物周期によっては応答が大きくなる特性であったことが見てとれる。しかし、前項に示したように、歴史的建造物の固有周期は  $0.20\sim 0.40$  秒程度である。そのため、それら建造物の応答がさほど大きくならなかったものと推察される。さらに、町並み形態(図3)として、南北に通る街道に沿って狭い間口が並び、東西に細長い短冊状の地割がなされていることにより、東西方向は建造物が連担していたり、壁が多く配置された建物が多いことが耐震的に有利に機能したため、桜川市真壁ほどの建造物被害に及ばなかったと推測する。

桜川市役所真壁庁舎で観測した最大加速度は、NS 方向で  $377Gal$ 、EW 方向で  $359Gal$  であった。また、UD 方向も  $309Gal$  となり、水平2方向と同レベルの大きさであったことが特徴的である。真壁地区の住民や市職員らの話によると、当時は東西方向に大きな揺れを感じ、さらに 14 時 46 分の本震よりも 15 時 15 分の余震での被害が大きかったという。図2のスペクトルから周期  $T=0.8$  秒以下の建物で EW 方向の応答が NS 方向に比べて大きくなる様子が確認でき、伝建地区に建つ低層建物の弾性周期は一般的に  $T=0.8$  秒以下であることを考慮すると、EW 方向が大きく揺れたという証言と一致する。しかし、図4に示すように本震と 15 時 15 分の余震の  $S_a-S_d$  スペクトル( $h=5\%$ )を比べると、15 時 15 分の余震の大きさは建築基準法で想定している稀に発生する中小地震程度の大きさであり、本震に比べると極めて小さい。ただし、 $T=0.4\sim 0.5$  秒および  $T=1.0$  秒付近の建物の応答が大きくなる地震動特性であることがわかる。つまり、地震動特性と建物周期との関係から推測すると、一般的に固有周期が  $0.2\sim 0.4$  秒程度の土蔵造の土壁が、本震によって崩落には至らないものの、構造に影響を及ぼすほどの損傷をもたらしていた。そして、損傷によって  $0.4\sim 0.5$  秒程度あるいは  $1.0$  秒程度まで長周期化した建物が、15 時 15 分の余震によって大きく震動し、壁の崩落や瓦の落下等、一般住民でも明らかに認識できるほどの被害に至ったものと推察でき、やはり本震による影響が最も大きかったものとする。また、真壁の町並み形態(図5)は、桐生と異なり方角に関係なく町割りとなされていることなども影響していることも考えられるが、それらの立証は今後の課題である。



図3 桐生新町地区の町割り

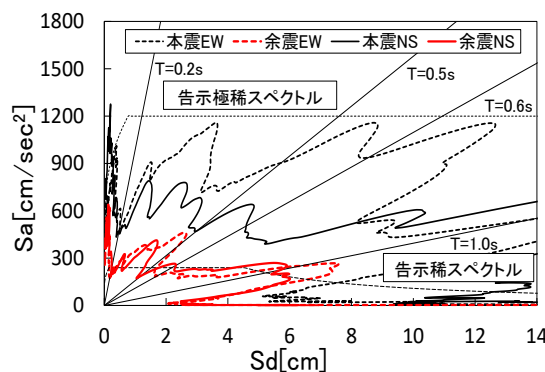


図4 本震と余震の  $S_a-S_d$  スペクトル

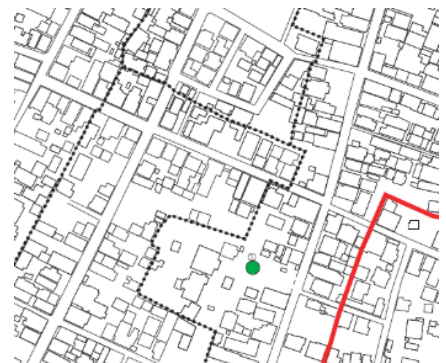


図5 桜川市真壁地区の町割り

参考文献 (下線の文献は本項に関する発表論文等を示す)

- 1) 柴直人,横内基,大橋好光: 栃木市に現存する伝統的建造物の地震被害および耐震性に関する研究(その1 伝統的建造物群保存予定地区の特徴と入力地震動特性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.139-140、2012年9月
- 2) 田村菜月,野村佳亮,横内基,大橋好光,川上勝弥: 歴史的町並みの地震防災対策に関する研究(その12 北関東の伝建地区における歴史的建造物の固有周期と地震応答性状の分析)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅳ、pp.861-862、2014年9月
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課ほか監修: 2015年版建築物の構造関係技術基準解説書、日本建築センター、2015年6月