

鳥取市街地における建物被害と地震動特性の関係

（株）白兎設計事務所 正会員 ○安岡修平 鳥取大学工学部 正会員 西田良平

鳥取大学大学院 学生会員 野口竜也 （有）門脇構造研究所 門脇昇 （株）白兎設計事務所 窪田彰夫

1. はじめに

1943 年(昭和 18 年)9 月 10 日に発生した鳥取地震 (M7.2) は東経 134.2 度、北緯 35.5 度、深さ 10km を震源とした直下型地震であった。特に被害が大きく震度 6 の烈震を記録した鳥取市では、3,000 人の以上の死傷者を出し、全壊家屋は 5,754 戸と全壊家屋全体の約 8 割に及んだ。しかし市街地の建物被害の程度についてみてみると、建物種類や場所の違いによってその被害は様ではなかった。

尾崎 (1999)¹⁾ は地震動特性として表層地盤の卓越周期及び最大加速度、速度に着目し、鳥取地震の被害分布との関係について研究を行った。その結果、建物の固有周期と地盤の卓越周期の関係が被害に影響していることがわかった。そこで本研究では特に鳥取地震による被害の激しかった鳥取市街地において被害程度に明らかな差がみられた学校に着目し、被害と地震動特性の関係について検証することを目的とする。今回、当時の学校の振動特性を調べるにあたり市街地には当時の学校、もしくはこれに近いものがほとんど現存していないことから、鳥取市周辺の古い木造校舎 4 校を対象とし、常時微動観測によってこれを評価した。また地盤の振動特性については当時学校が建っていた場所に最も近いボーリングデータ等からその地盤モデルを仮定し、地震応答解析プログラム"K-SHAKE"によって評価した。



図 1 研究対象地域

2. 振動実験

今回の研究において取り壊し予定の木造家屋を用いた振動実験を行った。この実験の目的は常時微動観測と自由振動実験によって得られる固有周期についての比較であり、その結果にさほど違いはみられなかった。このことよりいつでもどこでも容易に行え、建物に直接振動等を与えない常時微動観測は木造校舎を測る今回の研究においても大変都合がよいといえる。

3. 建物の振動特性

建物の振動特性を知るため鳥取市周辺の木造 2 階建の学校 4 校を今回の常時微動観測対象とした。換振器 2 台 1 組を 1 階と 2 階、地面と 2 階、地面と 1 階の組み合わせにより各学校数箇所にて観測を実施した。これにより地盤等の影響を含まない建物だけの固有周期を得ることができる。換振器 1 台につき 3 成分 (水平動 2 成分、上下動 1 成分) を測ることができ、水平成分については建物の短辺方向、長辺方向について測る。得られたデータは FFT によりフーリエ変換し、さらに 2 台の換振器のスペクトル比を取り卓越した周期を建物の固有周期とした。各学校の結果を表 1 に示す。

表 1 各学校の方向成分別固有周期

旧鳥取小学校			
	短辺方向	長辺方向	
1 階中 - 2 階中	0.32 0.37	0.44	
1 階中 - 3 階中	0.32 0.38	0.44	
1 階中 - 4 階中	-	-	

大塚小学校			
	上下動	短辺方向	長辺方向
地面 - 北2階中	0.3 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 北2階中	0.29 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 南2階中	0.3	0.29	0.3 0.37
地面 - 南2階中	0.32	0.33	0.3 0.38
南1階中 - 南2階中	-	0.35	0.29 0.35
地面 - 南1階中	-	-	-

大塚小学校			
	上下動	短辺方向	長辺方向
地面 - 北2階中	0.3 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 北2階中	0.29 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 南2階中	0.3	0.29	0.3 0.37
地面 - 南2階中	0.32	0.33	0.3 0.38
南1階中 - 南2階中	-	0.35	0.29 0.35
地面 - 南1階中	-	-	-

大塚小学校			
	上下動	短辺方向	長辺方向
地面 - 北2階中	0.3 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 北2階中	0.29 0.35	0.3 0.35	0.3 0.38
地面 - 南2階中	0.3	0.29	0.3 0.37
地面 - 南2階中	0.32	0.33	0.3 0.38
南1階中 - 南2階中	-	0.35	0.29 0.35
地面 - 南1階中	-	-	-

4. 地盤特性の解析

非線形を考慮した SHAKE プログラムを用い、鳥取地震当時の学校が建っていた場所での地表面の地震動特性を求める。入力地震動は、大崎の模擬地震動（1994 年版）²⁾を使用し、震央距離 $R=14\text{km}$ 、マグニチュード $M=7.2$ とした。地盤モデルは、S 波速度 (V_s) $=1\text{km}$ を地震基盤とし、ボーリング、PS 検層を参考に設定した。地質層層に対応した 3～8 層のモデルとなる（表 3）。ここで有効歪と最大歪の比を 0.65、繰り返し計算における許容誤差 5%とした。結果として、線形、非線形それぞれについて地盤の伝達関数における卓越周期を読み取った。その結果を表 4 に示す。

表 3 地盤モデル

層番号	単位体積重量 (t/m^3)	層厚 (m)	せん断波速度 (m/s)	層収縮率 (%)
1	1.8	0.4～1.1	120	5.0
2	1.8	0～11.6	160	5.0
3	1.7	0～25.5	140	5.0
4	1.6	0～12.5	200	5.0
5	1.6	0～12	200	5.0
6	1.8	0～50.5	480	5.0
7	1.8	200	700	1.0
基盤	2	∞	1000	1.0

表 4 被害別地盤卓越周期

		基盤 $V_s=1000\text{m/s}$			
		線形		非線形	
		一次	二次	一次	二次
全壊	修立国民学校	1.28	0.52	1.32	0.38
	県立鳥取工業高校	1.35	0.52	1.35	0.56
	平均	1.32	0.52	1.34	0.47
	鳥取市高等女学校	1.52	0.76	1.56	0.89
半壊	日進国民学校	1.39	0.68	1.39	0.78
	平均	1.46	0.72	1.48	0.84
大破	久松国民学校	1.35	0.68	1.39	0.81
中破	鳥取師範学校男子部	1.32	0.64	1.35	0.77
被害なし	遷喬小学校	1.43	0.74	1.47	0.86

5. 考察およびまとめ

微動観測の結果、今回対象とした学校の固有周期は概ね $0.2\sim 0.4\text{sec}$ という値が得られた。また各方向成分の固有周期についてみた場合、全体的に長辺方向の方が短辺方向に比べ長周期となっていた。ただし本庄小学校については元の校舎と増築された校舎との境界にコンクリートが用いられており、これが長辺方向の固有周期に影響し短周期となったと考えられる。したがってこれらの結果から建物の形状や剛性等によって固有周期が変化すると考えられる。

地盤の振動特性の解析結果については、全壊した学校が建っていた場所における卓越周期がはるかいたもののそれに比べ 0.1sec 以上も短周期であり、鳥取地震時の学校の固有周期が今回常時微動観測によって得られた 4 校の結果に近いと考えたとき、その値に最も近いものであった。また地盤が線形であった場合に比べ非線形を起こした場合の方が卓越周期は伸びている。さらに液状化が起こったと考えた場合その卓越周期はさらに長周期側へ移り、被害はさらに軽減すると考えられる。このことが鳥取地震において遷喬小学校が無被害であった理由として考えられる。

常時微動観測及び SHAKE プログラムそれぞれを用いて学校と地盤についての振動特性について調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 今回測った木造 2 階建ての学校の固有周期は約 $0.2\sim 0.4\text{sec}$ となった。
- 2) 建物の短辺方向と長辺方向における固有周期に違いがみられた。
- 3) 地盤の伝達関数において全壊だった場所は半壊だった場所に比べ 0.1sec 以上短周期であった。
- 4) 地盤において非線形を起こした場合の方が線形の場合より若干卓越周期は伸びた。

今回の研究で建物の振動特性については 3 成分のデータが得られたが、地盤の震動特性の解析では 1 次元でのみの解析だったため、お互いの方向に関する考察はできなかった。今後地盤についても 2 次元解析や 3 次元解析をすることにより、建物との関係から鳥取地震の被害についてさらに詳しく述べられるであろう。

参考文献 1) 尾崎順一：鳥取市街地の地震動特性と鳥取地震の被害分布 2) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門