

<山崎賞>

1 0 2007年6月の地震による校舎の詳細震度

## 1 動機

2007年6月1日午前11時42分ころ、静岡県西部を突然、地震が襲った。丁度その時、私達地学部員は文化祭で使用する簡易プラネタリウムを北館2階で作っていたが、突然の揺れの大きさに部員達は驚いた。また、部屋を暗くするために窓際のガムテープで嚴重に貼り付けておいた遮光用カーテンが地震動で全て外れてしまうほどの被害を被った。しかし、この地震の揺れが大きかったと思って友人に尋ねたところ、南館1階の購買前にいた友人は、地震が起きたことさえ知らなかったと述べた。また、グラウンドにいた野球部員も揺れはほとんど感じなかったと言った。おそらく揺れの様子や被害の様子などが、たとえ目と鼻の先程度の距離の違いであっても、教室の位置や校舎の構造によって違うのではないかと考えられる。このことから、この地震により校舎はどのように揺れたのか、またなぜ教室の位置によって感じる揺れや被害の大きさが違うのか、ということに興味を持ち、この研究を行うことにした。

## 2 目的

この研究の目的を以下の2つに設定した。

- (1) 校舎の等学校内で各場所による揺れの違いをアンケート調査により調べる。
- (2) 校舎の揺れの違いと、校舎の建築構造の関係を常時微動観測や模型実験により明らかにする。

## 3 地震の概要

翌日の新聞記事によると、大きな家屋被害はなかったものの、新幹線は一時運転停止になった。気象庁のホームページから震度を調べたところ、掛川市では震度4、本校のある磐田市では震度2だった。左はその震度分布図である。また、この地震は東海地震の予想震源域内で徐々に起きた大きな地震であったため注目を集めた。防災科学研究所の強震ネットワーク（K-ネット）を使って浜松測候所の地震計の波形を調べてみると、最大加速度は8ガル、マグニチュードは4.3だった。

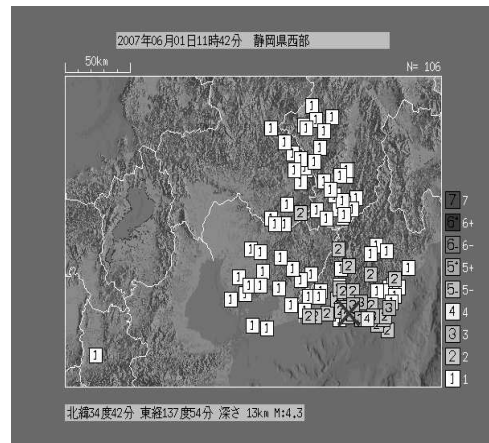


図1 震度分布図

## 4 仮説の設定

研究を行うにあたって、校舎の地震動による揺れの大きさについて、仮説を立てた。文献によると兵庫県南部地震や中越地震の時には建物の上の階ほどよく揺れたり、被害が大きいことから、「校舎の上の階ほど地震動による揺れは大きい」という仮説を立てた。

## 5 アンケート調査

校舎の場所による微妙な揺れの違いを調べる場合、地震計が各教室のどこにでも置いてある訳ではないので、地震計による計測は不可能である。しかし、地震を体験した人は教室にたくさんいた

ので、この人たちにアンケートを実施して体感震度を統計的に処理すれば、各教室の震度は求めることができるはずである。このような体感震度をアンケートにより統計的に処理して、揺れの微妙な違いを求める方法としては、太田ほか(1998)が開発した方法がよく知られている。この方法の優れている点は、震度が統計的な検定を受けて決められているため少数点以下第3位で示されることである。そこで今回はこの方法によりアンケート調査を行うことにした。

アンケート票は太田ほか(1998)によって開発されたものを基に、私たち高校生でも答え易く、集計しやすいように工夫したものを開発した。このアンケート票は、質問総数14個からなり、回答者の位置付け(場所、環境)を知るためのもの3個(質問0~2)、震度に直接関係するもの10個(質問3~8、10~13)、その他1個(質問9)からなる。このアンケート票は校舎の細かい震度差を明らかにするよう工夫し、物理的応答(回答者の回りの物品・調度等の揺れ具合、被害状況)だけでなく、回答者の感覚的・心理的応答(行動)にも留意して作成した。また、精度を向上させるため、同程度の震度を意味する質問が重複するよう工夫した。大きさはA4版で裏表に校内で印刷をした。また、整理のためのコードを記入する欄を下にもうけておいた。図2がそのアンケート票である。

この調査は校舎の震度差を明らかにすることが目的であるため、できるだけ高密度で均質になるようアンケート票を生徒約1,000名と、職員約60名に依頼して配布した。配布枚数は約1,060枚、回収枚数は920枚、回収率は86.8%であった。アンケート票の回収地点は北館と南館、体育館、グラウンドなど校内の広い範囲に及んだ。また、この種の調査は、回答者の記憶によるところが大きいので、地震が起きてから4日後の文化祭代休明けの日(6月5日)に配布し、翌日に回収した。回答票はパソコンで処理するためにマークシート方式にした。震度は1枚のアンケート票から1つの震度を次式より求めた。

$$I_Q = (1/N_e) \cdot \sum m_i \beta_i \quad (m)$$

$I_Q$  = アンケート震度

$m_i$  = 質問項目  $i$  で回答者が反応した回答番号

$\beta_i (m)$  =  $m_i$  に対応する震度係数

$N_e$  = 質問の有効回答数

表 1 校舎のアンケート震度

	補強骨材無し	補強骨材有り	北館	南館	平均
1階	1.89	1.70	1.82	1.56	1.77
2階	2.30	2.20	2.20	2.04	2.09
3階	2.43	2.30	2.18	2.05	2.17
4階	2.46	2.15	2.30	—	2.30
平均	2.31	1.97	2.15	1.99	2.07



図2 アンケート用紙

校舎毎の集計結果が表1である。全体の平均震度は2.07になった。また、3階建ての南館校舎の平均震度が1.99、4階建て北館校舎の震度が2.15より、3階建て校舎より4階建て校舎の方がよく揺れることが分かった。また、1階平均1.77、2階平均2.09、3階平均2.17、4階平均2.30で、上の階の方がよく揺れることが分かった。さらに耐震補強骨材が無い教室は平均震度が2.31、有る方が1.97であることより耐震補強骨材が無い方が有る教室よりよく揺れることが分かった。ここで震度の大きさをおおまかに比較すると耐震補強骨材無し、上の階層>耐震補強骨材無し、下の階層>耐震補強骨材有り、上の階層>耐震補強骨材有り、下の階層の順となっている。これらのデータから、①3階建てよりも、4階建てのほうがよく揺れる。②階が上ほどよく揺れる。③耐震補強骨材がないほうがよく揺れる。ことがわかった。②は仮説どおりの結果になった。また、耐震補強骨材が4階建ての本校)の震度を約0.3抑えてくれることもわかった。

## 6 校舎の常時微動観測

常時微動とは、自然現象、人間活動によって発生した人間には感知できない微振動のことである(図3参照)。地震では常時微動と似た振動特性を示す揺れが再現されることから、常時微動を調べれば、地震の時の揺れ方が推定できる。方法は7月24日の夜、学校の北館1階と4階の廊下で常時振動の観測を行った。夜間に測定を行ったのは、人間活動による振動を避けるためである。図4は、常時微動の観測装置で、左から順に常時微動を感知する換振器、振動を拡大するアンプ、常時微動の波形を記録する記録計である。図5上は北館4階、下は北館1階の波形である。

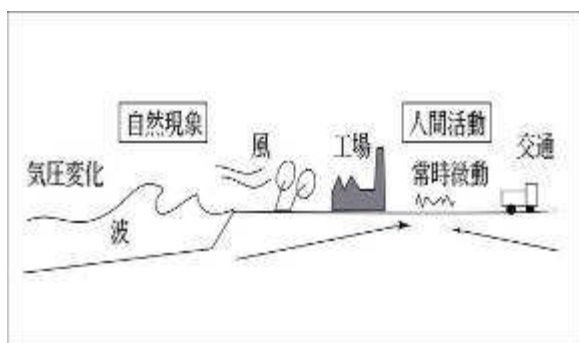


図3 常時微動の原因



図4 常時微動の観測装置

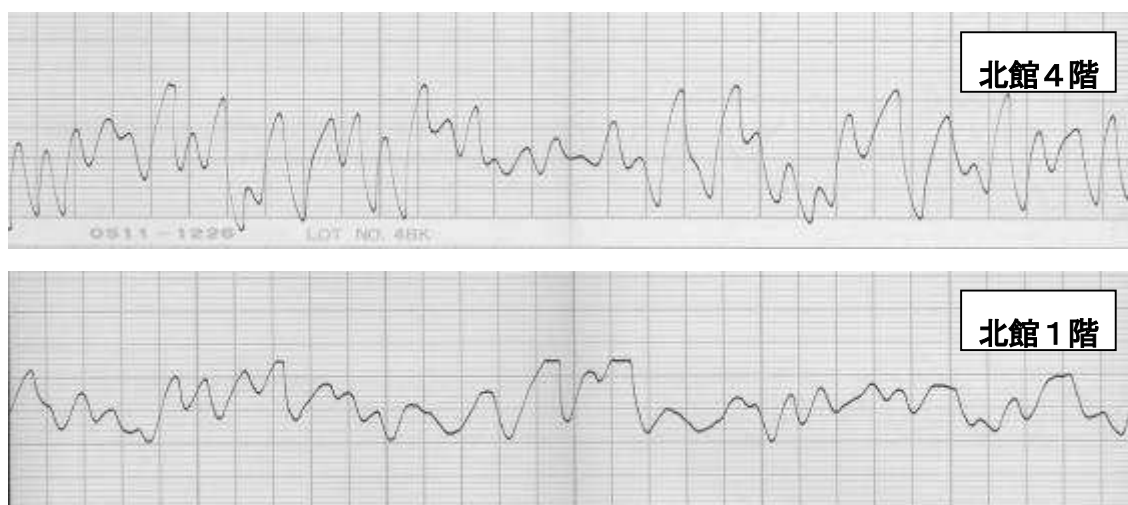


図5 常時微動の上下動の波形 (上) 北館4階 (下) 北館1階

(横軸の1目盛は0.05秒、縦軸の1目盛は1mm、20mV/cm)

図6の横軸は、2分の1周期、縦軸はその頻度を示している。1階と4階を比べると、1階の平均周期は0.065秒であるのに対して、4階の平均周期は、0.123秒であることから4階の方の周期が長いことがわかる。図7は北館1Fと4Fの常時微動の振幅をグラフ化したものである。北館1階の振幅は5mm前後を中心にはほぼ正規分布をしているのに対して、4階では3mm、8mm、13mm、18mm付近に複数のピークをもっていることがわかる。また、振幅の平均値は北館1階が5.54mmであるのに対して、北館4階が10.69mmであることから、北館4階の方が、振幅が長いことが分かる。

これらの結果から分かることは「下の階の周期、振幅よりも上の階の方が大きい」ことである。このことから、4階の方が1階より周期が長く振幅の大きいゆれが卓越し、地震が起こったときは4階が「ユサユサ」とした周期が長く振幅の大きいゆれを発生したためと思われる。一方、1階は「コトコト」とした周期の短く、振幅の小さいゆれが発生したと思われる。これがアンケート調査の、体感震度の揺れの違いとなって表れ、相対的に4階の方が1階より大きな揺れとなったものと推定される。

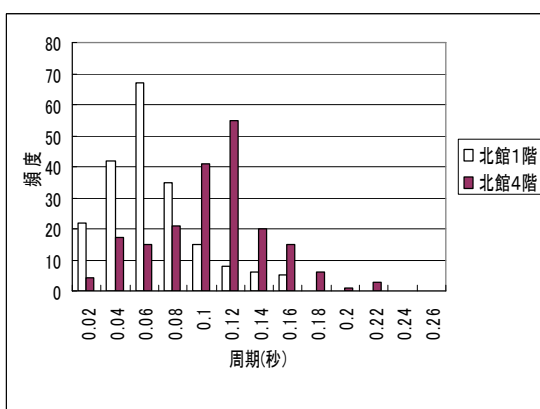


図6 常時微動の周期

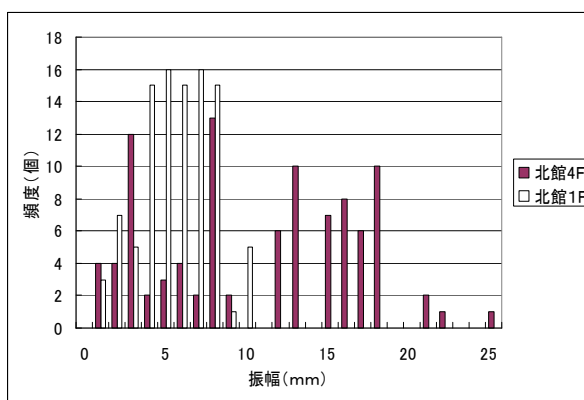


図7 常時微動の振幅

## 7 模型による振動実験

アンケート調査と常時微動観測により、校舎の振動特性がわかったので、これを実際に再現させるため、画用紙で模型を製作して振動実験を行い、その結果をアンケート調査や常時微動観測と比較した。模型の大きさは4階が高さ40cm、3階が高さ30cm、床の幅は13cm、奥行きは4cmである。また、筋交いのない模型(図8)とある模型(図9)も作成した。振動方法は模型を固定した画用紙の台を左右に揺らすことで、実際の地震らしく再現し、この様子を録画し、振幅を画面上で測定した。



図8 模型実験筋交なし



図9 模型実験筋交あり

図10が階数の違いによる振幅の結果である。図より1階より3階の方の振幅が大きいことが分かった。また、3階建ての平均は50.15mm、4階建ての平均は55.9mmであることから、3階建てより4階建ての方の振幅が大きいことが分かった。図11は筋交いの有無による振幅の違いである。図より筋交い無しの時の平均が53.03mmであるのに対して筋交い有りの時の平均が14.45mmであることから、耐震補強骨材の有る方が振幅は小さい、すなわち筋交いの有るほうが、揺れが抑えられることが分かった。この2つの結果は、アンケート調査や校舎の常時微動観測の結果とよく対応している。

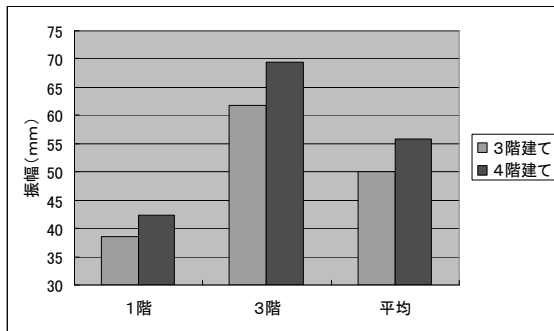


図 10 模型実験による階数と振幅の関係

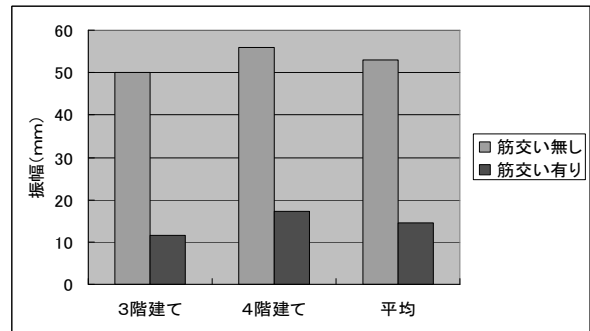


図 11 模型実験による建物の高さとの関係

## 8 結論

- (1) 上の階ほど揺れは大きく、振幅、周期も長い。
- (2) 3階建て校舎より4階建て校舎の方が揺れは大きく、振幅、周期も長い。
- (3) 耐震補強は揺れ、振幅を抑えるにあたって大きな効果がある。
- (4) 校舎の揺れは固有の周期、振幅によって決まる。

## 9 今後の課題

- (1) 常時微動の観測場所を増やす。
- (2) 地盤と校舎の揺れの関係調べる。
- (3) マグニチュードや地震波形の異なる他の地震でも同じような揺れをするのか調べる。
- (4) 耐震補強骨材の形状と揺れの関係調べる。

## 10 参考文献

- 大田裕・小山真紀・中川康一 (1998), アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—, 自然災害科学, 16 巻, No2, pp.307-32
- 中日聞社 (2007), 2007 年 6 月 2 日朝刊
- 岩井 哲 (2006), 木造在来構法住宅の耐震壁量と常時微動特性ならびに地震災害の関係, 広島工業大学紀要, 41 巻, pp61-65
- 中村 豊(1988), 常時微動に基づく地震動特性の推定, 鉄道総研報告, Vol.2, pp18-27
- 大熊裕輝, 松岡昌志, 山崎文雄, 原田隆典 (2002), 宮崎県における常時微動 H/V スペクトル比を用いた地震動の推定, 土木学会論文集, No696/I-58, pp261-272