

鳥取市街地における地下構造推定に基づく 1943 年鳥取地震による学校被害の検討

鳥取大学工学研究科	学生会員	○貝崎	達憲
鳥取大学工学研究科	学生会員	朝日	秀伍
鳥取大学工学研究科	学生会員	吉田	昌平
鳥取大学工学研究科	正会員	香川	敬生
鳥取大学工学研究科	正会員	野口	竜也

1. はじめに

1943年(昭和18年)9月10日に東経134.08°、北緯35.52°深さ10kmを震源とした都市直下型地震である鳥取地震(Mw=7.2)が発生した。この地震による被害は死者1210人、全壊全焼家屋7736戸にも及ぶ甚大な災害となった。その後鳥取市に被害を及ぼした地震は起きていないが、この70年間で鳥取市は経済の拠点として発展し、住宅地も拡大していることもあり、鳥取市における地震防災、減災は重要な課題である。この課題を考える上で、地下構造の情報は必要不可欠である。本研究では、微動観測の実施によるこれまでの地下構造の推定を見直した上で、地震応答解析を行い、微動特性および地震動に与える影響について1943年鳥取地震における学校被害状況を参照として検討を行った。

2. 微動観測概要

微動観測は3成分単点観測を336点、中心に1点、同一円周上に3点の正三角形アレイ観測を18点で行った。観測機器としては、加速度計JU210, JU215(白山工業)を用いた。また、アレイ観測の中心点の記録を3成分単点観測点に含めた。また風によるノイズが入るのを防ぐため風除けを全観測機器に使用した。観測点は鳥取市街地全域対象とし、1943年鳥取地震で学校被害が顕著であった地域および、空白域を埋めるように設けた。後述する方法でこれまでの3成分単点観測から得られた卓越周期のコンターマップと、アレイ観測点配置図を記したものを図1に示す。また同図に1943年鳥取地震の学校被害の概要状況および、後述の考察を行うのに際して設けた2つのラインの位置も示す。

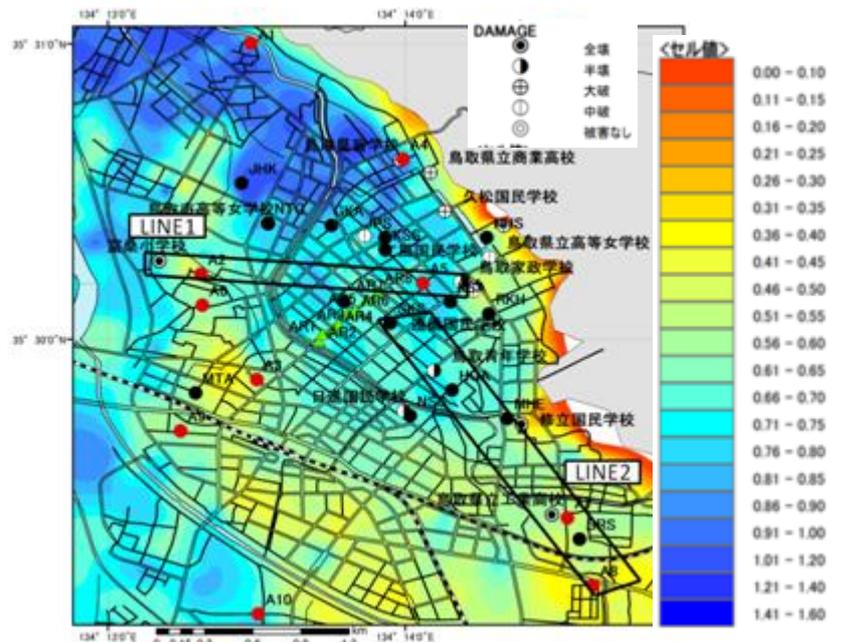


図1 観測点配置図と1943年鳥取地震被害状況およびコンターライン配置図

3. 解析

3成分単点観測の解析は、微動データをフーリエ解析し、3成分のフーリエスペクトルを求め、水平動成分のスペクトルは相乗平均し、上下動成分のスペクトルで除してH/Vスペクトルを求めた。得られたH/Vスペクトルから卓越周期を読み取った。アレイ観測の観測データはCCA法もしくはnc-CCA法¹⁾により位相速度分散曲線を求め、地盤構造モデルをレイリー波基本モードの理論値によるフォワードモデリングにより推定した。地盤構造のモデリングではまず、既存の地盤モデル²⁾に近い位置にあるA5点から推定した。1層目のS波速度を最小位相速度より求め、2層目以降は位相速度分散曲線とH/Vスペクトルの形状の両方を満足するように解析

した。その結果 $V_s=200,500,700,1500(m/s)$ の 5 層からなる地盤構造モデルが推定できた。本研究では $V_s=200(m/s)$ の存在が明らかになった。これは市街地を流れる千代川の河道の変動や、鳥取城堀跡に起因したものと考えられる。また、山陰臨海平野地盤図のボーリングデータ³⁾によれば、地下 8m 付近から数 m の厚さで N 値が 2 桁になる箇所が数メートル存在し、この層が $V_s=200(m/s)$ に対応すると考えられる。この層の存在を考慮して、その他の観測点についても地盤構造モデルの推定を行った。

4. 結果と考察

1) 3 成分単点観測およびアレイ観測

今回の観測で得られた H/V スペクトルによる卓越周期の値は 0.4~0.9 秒であった。

1943 年鳥取地震での被害が甚大であった箇所と、これまでのアレイ観測点が含まれるように図 1 に示す位置にラインを設け以後の考察をする。設置ライン上で、本研究を含むこれまでの全観測データの卓越周期の変動を、LINE1 では西から東方向へ、LINE2 では北西から南東方向へグラフ化したもの図 2 に示す。LINE1 では学校被害が甚大であった個所で 0.5 秒程度と短周期となっている。

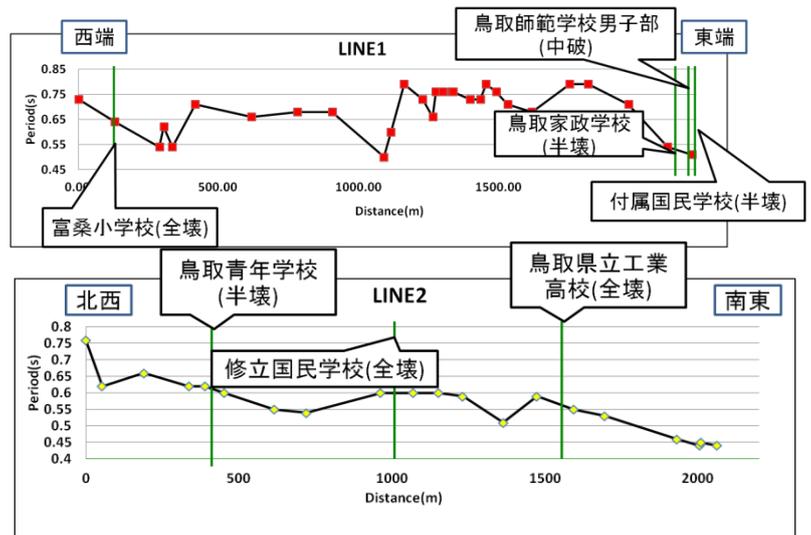


図 2 各ラインの卓越周期分布

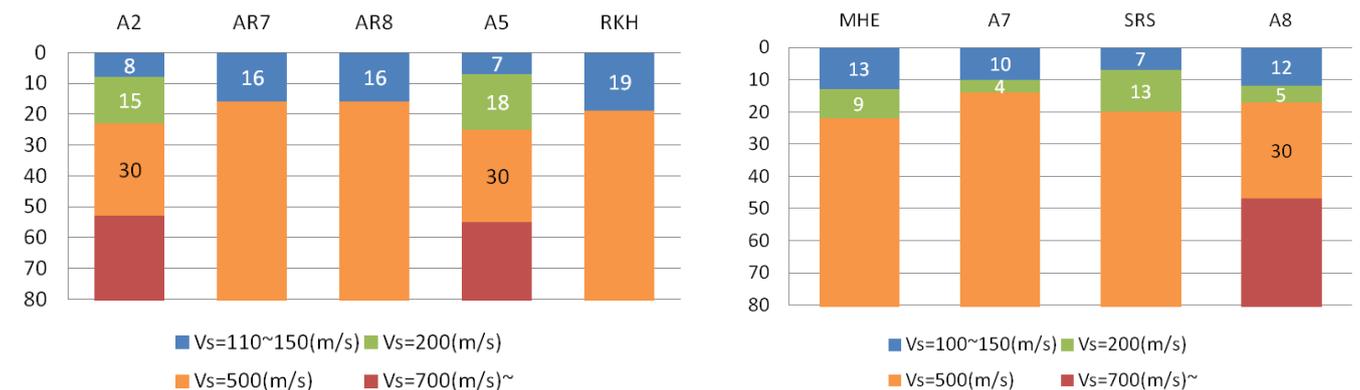


図 3 各ラインにおける S 波速度構造の柱状図(左が LINE1、右が LINE2)

LINE2 では南東方向に行くにつれ周期が短くなっており、これは山に近づくことで基盤が浅くなるためと考えられる。また LINE1 と同様に、被害が甚大であった箇所の卓越周期が 0.5 秒程度で短くなっている。これは当時の木造建物の固有周期と想定される 0.2~0.4 秒⁴⁾に近い。

アレイ観測より推定した S 波速度構造をライン毎に柱状図にしたものを図 3 に示す。 $V_s=500(m/s)$ までの層の深さに大きな変動は見られないことから、 $V_s=100\sim200(m/s)$ の層厚の厚さの増減は大きな被害要因ではないと考えられる。次に被害のあった学校周辺の第 1 層の S 波速度、卓越周期の値、H/V スペクトル比の値、基盤までの平均 S 波速度を被害別に数値化し、レーダーチャートとして示したものを図 4 に示す。なお、レーダーチャートについては、卓越周期はそのままの数値を用い、その他の値は全観測点の最大値により正規化している。

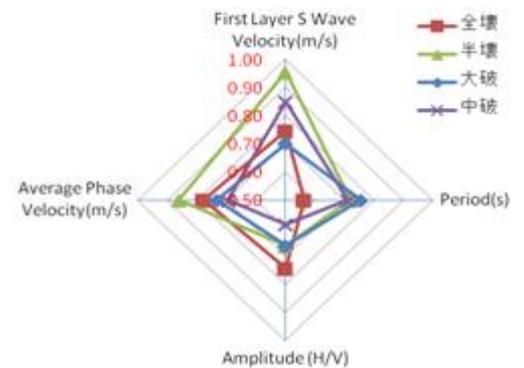


図 4 学校被害による地盤モデルの比較

図 4 を見ると被害程度の相違には卓越周期と、H/V スペクトル値とに相関関係が見られる。特に全壊に関し

では、卓越周期が短くなり、H/V スペクトル値は大きくなっている。これが被害程度に影響したものと考えられる。このことに着目し、卓越周期のコンターマップより連続性が認められる Range1(0.65 秒以下),Range2(0.7 秒以上)の領域に分けて検討する(図 5)。このコンターマップを見ると Range1 に被害が大きい学校が位置していることが分かる。表層の S 波速度、卓越周期、基盤までの平均 S 波速度の分類によってレーダーチャートを作成したものを図 6 に示す。このレーダーチャートを考察すると、Range1 の方が H/V スペクトル値が大きく、この領域の学校の被害程度が大きいことを考えると、地盤増幅の大きさが被害程度の違いに影響していると思われる。

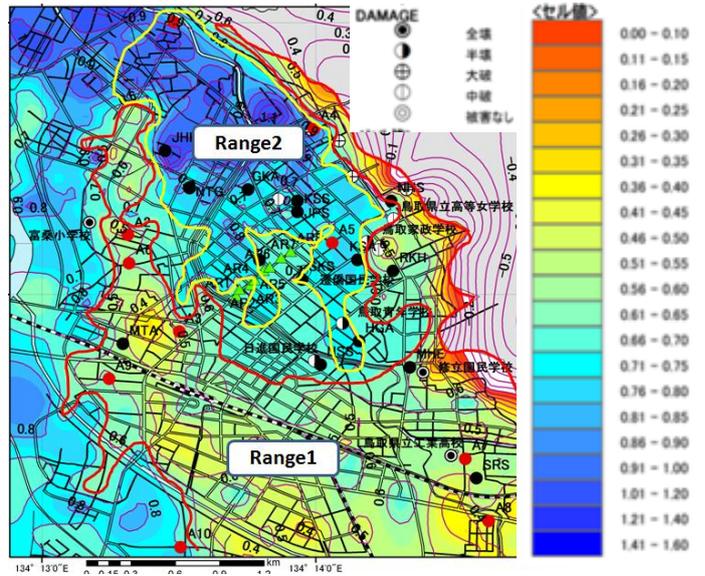


図 5 Range 配置図

また、第 1 層の S 波速度が遅いことにより、基盤との速度コントラストが大きくなる為、表層の地盤増幅が大きくなり被害程度が拡大した可能性がある。

2)被害との対応

鳥取地震を発生させたと思われる吉岡・鹿野断層を震源とする地震を想定し、鳥取県内各地を 500m メッシュ毎に工学基盤上($V_s=700\text{m/s}$)の地震波形が作成されている⁵⁾。これを基に 1943 年当時の木造建物の被害の差異を考察する

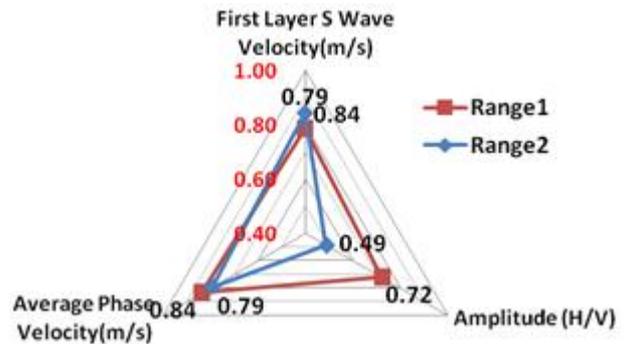


図 6 Range による地盤モデルの比較

ため、アレイ観測で推定した地盤構造モデルを利用し等価線形応答解析(SHAKE)によって地表面での地震動を解析した。解析の結果、最大速度、最大加速度とも断層からの距離が近くなるに連れ大きくなっていることが分かる(図 7)。また、被害状況に着目すると、被害程度の大きい地点で最大速度および最大加速度とも大きい値を示している。但し、被害がなかった遷喬小学校(SKS)のメッシュでは全壊被害を受けた他の学校メッシュと、最大速度、最大加速度とも大きな違いは見られなかった。

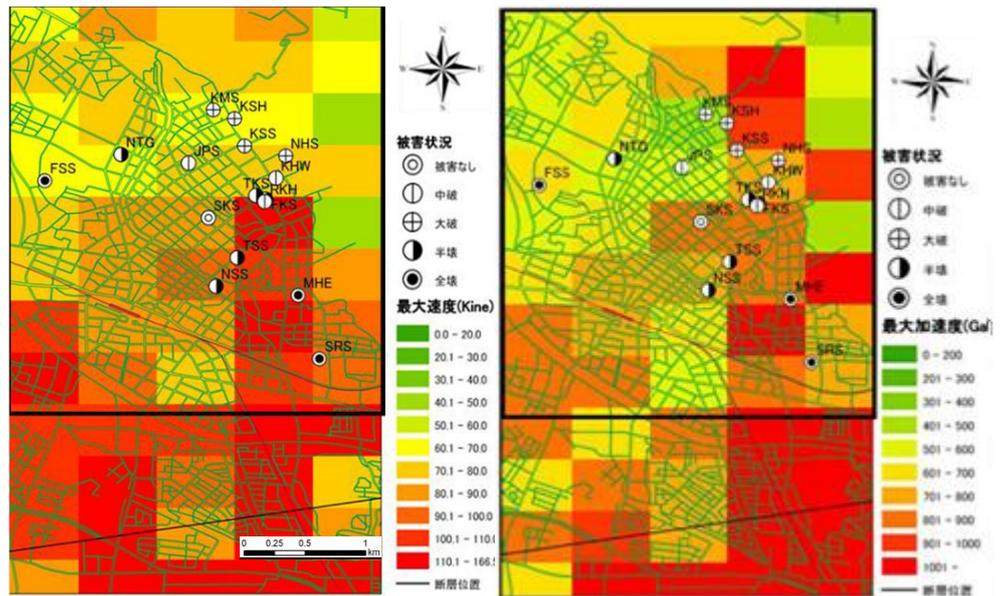


図 7 最大速度・最大加速度分布(鳥取県,2005)

一般的に最大加速度 800gal 以上かつ最大速度 100cm/s の領域は、大被害地震の目安とされており、⁶⁾鳥取地震の学校の被害状況も同様のことが言える。

木造建物の崩壊プロセスとしては、0.1~0.3 秒付近の一次固有周期帯の地震動で損傷して固有周期が長くな

加速度応答スペクトル

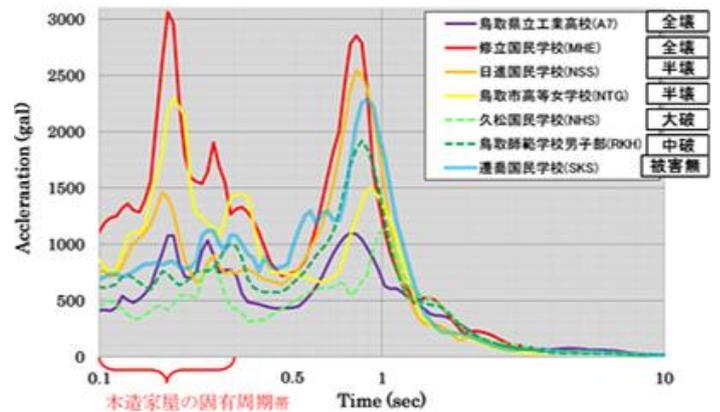


図 8 加速度応答スペクトル(短軸方向)

り、1.0 秒付近の二次固有周期帯の成分で倒壊したことで、より被害を拡大させたものと考えられる。学校建物の短軸方向の加速度応答スペクトルを比較したものを図 8 に示す。このスペクトル図を見ると、全壊被害の生じた修立国民学校は木造家屋の一次固有周期帯において高い応答値を示し、二次固有周期帯においても同様に高くなっている。しかし、同被害の工業高校は一次固有周期帯、二次固有周期帯とも高い応答値を示していないものの、二度の共振により全壊に至った可能性が考えられる。一方、半壊被害の生じた鳥取市高等女学校は一次卓越周期帯、日進国民学校では二次卓越周期帯で高い応答値を示している。半壊だった地点については二度の共振に見舞われなかった為に全壊に至らなかったものと考えられる。大破・中破に関しても同様な要因が見られるが、一次卓越周期帯の応答値が、比較的低い応答値であった為に被害が増大しなかったものと推測できる。以上の結果を表 1 に示す。被害の無かった遷喬小学校においては、鳥取市街地全域で発生した液状化が、建物直下で発生したため被害が生じなかったものと推測する。

5.まとめ

本研究で波微動探査により鳥取市街地の表層の地盤構造を再推定し、地震応答解析を行い、学校被害を検討した結果以下のことが分かった。

- ・微動探査によりいくつかの地点で表層 8m~15m にやや硬質の $V_s=200\text{m/s}$ 層の存在が明らかになった。但しこの層の有無が地震動に与えた影響については、明確な関連性は見られなかった。

- ・被害が甚大であった箇所は微動の卓越周期が 0.65 秒以下の短周期領域であることが分かった。
- ・工学基盤までの表層の層厚が被害の程度に起因したものととは考えにくく、表層と基盤との間の S 波速度のコントラストの大小による地盤増幅の差が得影響したものと推測できた。
- ・一次元地震応答解析より、全壊建物に関しては、地盤特性および地震動特性が大きく関連しており、全壊以外の建物では木造建物の崩壊プロセスの仮定において 2 度の共振が生じなかったことが、全壊に至らなかった要因と考えられる。また、液状化により地震動が減衰したことにより被害が小さくなったことも、一要因として考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 多田卓・澤入雅弘・篠崎祐三(2007):日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) pp.265-266
- 2) 平澤考規(2003):鳥取大学卒業論文、 3) 中国地方基礎地盤研究会編(1995):山陰臨海平野地盤図'95
- 4) 野口竜也,西田良平,岡本拓夫,平澤考規(2003):人工地震・微動・重力観測による鳥取平野の地盤構造の推定
- 5) 鳥取県(2005):鳥取県地震防災調査研究報告書、 6) 川瀬博(1998):第 10 回日本地震工学シンポジウム

表 1 被害建物と地盤特性、地震動特性の関係 (括弧内は平均値)

被害程度	学校名	近傍アレイ観測点	表層S波速度 (m/s)	表層厚 (m)	周期 (sec)	Acceleration (Gal)	Velocity (cm/s)	共振の可能性
全壊	鳥取県立工業高校	A7,SRS	80~110 (100)	7~13 (9)	0.40~0.70 (0.57)	625~863 (777)	71~107 (93)	高
	修立国民学校	MHE						
	富桑小学校	A2						
半壊	日進国民学校	NSS	130~150 (140)	7~27 (18)	0.47~0.78 (0.62)	562~743 (674)	61~102 (80)	低
	鳥取市高等女学校	NTG						
	鳥取家政学校	A5						
	付属国民学校	RKH						
大破	鳥取青年学校	SKS	100~110 (105)	8~10 (9)	0.25~0.91 (0.61)	338~509 (423)	53~72 (63)	低
	久松国民学校	NHS						
	鳥取県盲学校	A4						
中破	鳥取県立商業高校	A4	100~130 (115)	10~23 (18)	0.5~0.75 (0.66)	504~562 (534)	60~76 (68)	低
	鳥取県立第一中学校	NHS						
	鳥取師範学校男子部	RKH						
被害なし	鳥取県立高等女学校	NHS	100~130 (115)	10~23 (18)	0.5~0.75 (0.66)	504~562 (534)	60~76 (68)	低
	仁風国民学校	JPS,KSS						
被害なし	遷喬国民学校	SKS	130	17	0.70	727	87	低