

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 学生会員 朝日秀伍
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 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 9 月 10 日、吉岡・鹿野断層を震源に鳥取地震が発生した。震源深さは 10km、地震規模を示すマグニチュードは 7.2 であった。鳥取地震から 70 年が経過したところや当時戦時中であったことから被害状況を記す資料が少ない。しかし、学校被害に関する資料は多く残っており、鳥取市街地内外で場所によって被害に大きな違いが見て取れた。そこで当時の鳥取市の遷喬国民学校、修立国民学校、久松国民学校、鳥取工業高等学校、美保国民学校、気高郡の大正国民学校、湖山国民学校、岩美郡の米里国民学校、津ノ井国民学校の計 9 校に着目し、微動探査を用いて地盤構造を推定し、推定した地盤構造から地震動評価を行い、被害の原因について検討を行う。各学校の位置を図 1 に示す。

2. 学校被害

各学校の簡単な概要と被害状況を表 1 に示す。鳥取地震で被害が大きかったのは、鳥取工業、修立、美保、大正、米里の 5 校である。大正、鳥取工業、遷喬は新しい校舎だったが甚大な被害を受けた。津ノ井、湖山、久松、遷喬は校舎の傾斜、瓦の落下、窓ガラスの破損など被害が小さかった。津ノ井、湖山、遷喬は地震後も校舎を補修し使用されていた。

3. 微動観測

各学校敷地内あるいは周辺で微動の 3 成分単点観測とアレイ観測を行った。今回はこれまで観測が行われていない大正、美保、湖山を中心に観測を行った。3 成分単点観測は大正小学校周辺で 54 点、美保周辺で 35 点、湖山で 4 点の合計 93 点を観測時間 10 分で行った。アレイ観測は地震計を円の中心に 1 台、円周上に 3 台が正三角形になるように配置し、大正、美保、美保公園、湖山の計 4 点で観測を行った。美

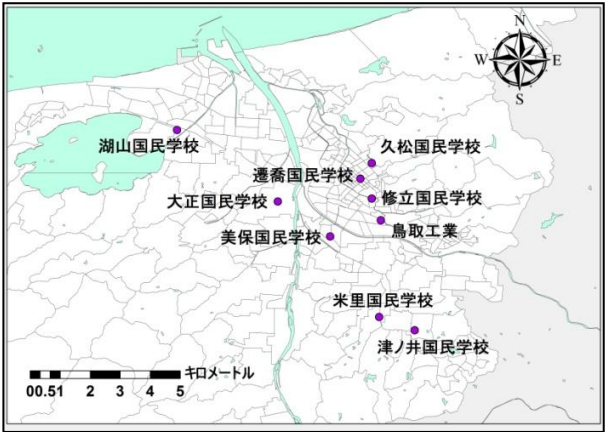


図 1 各学校の位置関係

表 1 各学校の竣工時期と建物被害状況

学校	竣工時期	建物被害
遷喬	昭和 8 年	被害なし
鳥取工業	昭和 15 年頃	校舎全壊 体操場半壊
久松	校舎 3 棟：明治 22 年 体操場：大正 15 年 校舎 1 棟：昭和 9 年	一部校舎傾斜
修立	校舎 3 棟：大正 3~13 年 校舎 1 棟：昭和 10 年	校舎全壊、体操場無傷
美保	校舎 1 棟：明治 44 年 体操場：大正 14 年 校舎 2 棟：昭和 8 年	体操場半壊 校舎全壊
大正	昭和 12 年	体操場、校舎全壊
湖山	体操場：明治 40 年頃 校舎：昭和 5 年 講堂：昭和 6 年	校舎の傾斜 瓦の落下
米里	明治 45 年	体操場半壊 校舎全壊
津ノ井	大正 5 年	校舎の傾斜

保ではアレイ半径 6m, 60cm, その他は 30m, 10m, 5m, 60cm で行い, 観測時間は 10~15 分で行った.

4. 微動探査による地盤構造推定

1) 3 成分単点観測

観測から得られた微動波形をフーリエ変換し, 3 成分のフーリエスペクトルを求め, 水平動成分のフーリエスペクトルを相乗平均し, 上下動成分のフーリエスペクトルで比を取ることで H/V スペクトルを得た. 図 2 に各学校の H/V スペクトルを示す. 米里と津ノ井は杉原¹⁾と岡田²⁾を引用した. 被害の甚大だった修立, 鳥取工業では卓越周期が 0.6 秒程度, 大正, 美保では 0.76 秒, 米里では 0.33 秒となっている. 鳥取県内の現存する当時の学校建物の微動調査により, 当時の木造校舎の固有周期は 0.2~0.4 秒³⁾と考えられており, 米里は共振して倒壊した可能性があるが, その他の学校では想定される建物の固有周期より地盤震動の卓越周期が長くなっており共振して倒壊した可能性は低い. 被害の小さかった津ノ井, 湖山は明確な卓越周期のピークが見られず, 被害が軽微だった一因だと考える. 遷喬, 久松の卓越周期は被害地域と同程度であることが見て取れ, 被害の有無について H/V スペクトルのみでは判断できなかった.

2) 微動アレイ探査

観測記録よりノイズ補正 CCA 法⁴⁾により位相速度分散曲線を求めた. 地盤構造モデルから得られる理論分散曲線と理論 H/V スペクトルが, 観測位相速度分散曲

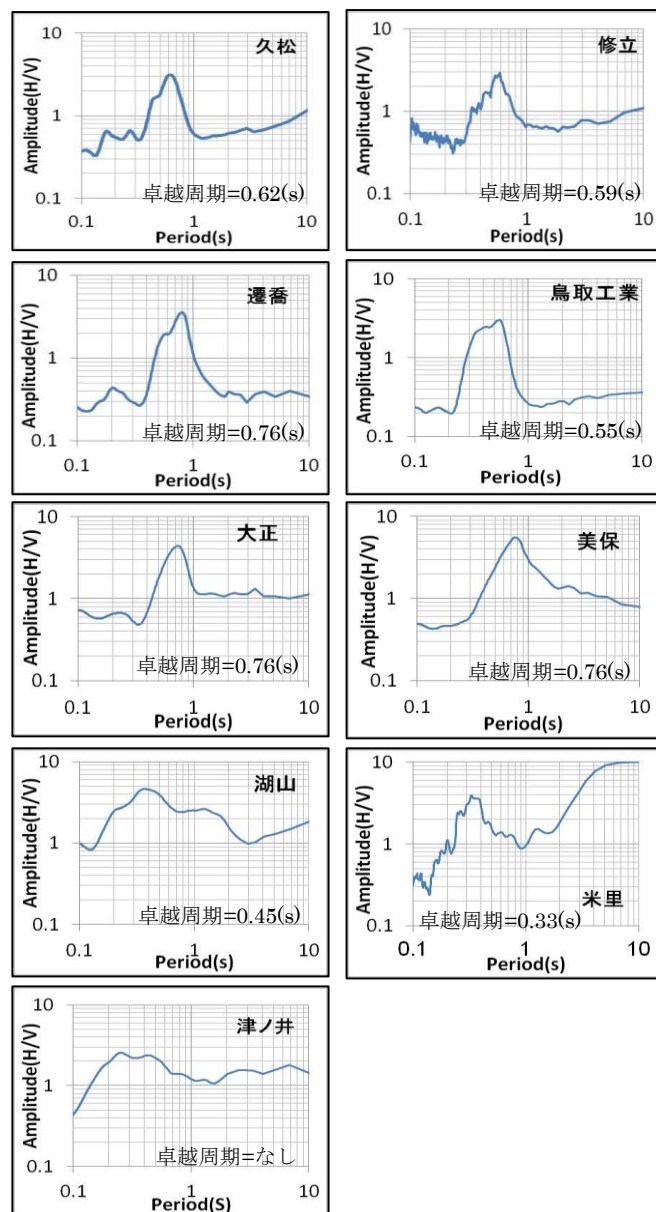


図 2 各学校の H/V スペクトル

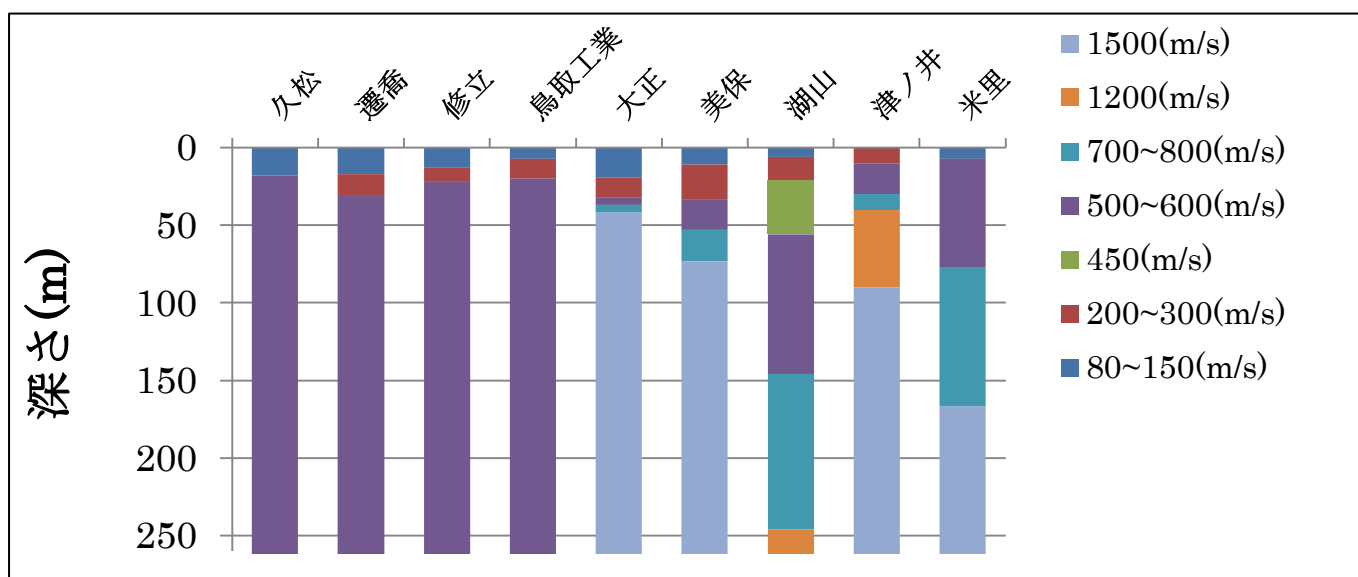


図 3 各学校の地下構造モデルの柱状図

線と観測 H/V スペクトルに各々一致するように地盤構造モデルを試行錯誤で決定した。図 3 に推定した構造モデルの柱状図を示す。久松、遷喬、修立、鳥取工業はアレイ観測により工学基盤($V_s=500\text{m/s}$)までの構造モデルしか得られていない。米里、津ノ井は山に隣接していることから $V_s=100\sim 300\text{m/s}$ の層が 10m 程度と薄く堆積していると考えられる。湖山は、新砂丘、古砂丘、火山灰ローム層等が堆積してできた地域⁵⁾であることから表層と基盤層の速度コントラストが小さくなっていると考えられる。久松、遷喬、修立、鳥取工業、大正、美保は千代川や袋川等の河川の氾濫により $V_s=100\sim 300\text{m/s}$ の遅い層が 20~35m と厚く堆積していると考えられる。構造モデルの層序、層厚を各学校のボーリングデータ⁶⁾や地盤図⁵⁾と比較すると概ね対応していた。

5. 地震動評価

1) 地震動の特徴

鳥取県⁷⁾は、鳥取地震を発生させたとされる吉岡・鹿野断層を震源とする地震を想定し、統計的グリーン関数法を用いて鳥取県内各地を 500m メッシュごとに工学基盤面上($V_s=700\text{m/s}$)の地震波形が作成されている。アレイ観測で推定した地盤構造モデルを利用して等価線形応答解析の手法の 1 つ SHAKE⁸⁾によって地表面での地震動を推定した。久松、遷喬、修立、鳥取工業は $V_s=500\text{m/s}$ の層までしか推定されておらず、既存モデル⁹⁾を参考に $V_s=500\text{m/s}$ の層を 30m と設定した。大正と米里の地震動波形を図 4 に示す。断層に近い大正、美保、米里ではこれらの波形のように NS 方向に地震動が卓越していたが、断層から遠い湖山では EW 方向に地震動が卓越していた。美保、米里では建屋の長辺方向が NS 方向の建物が倒壊を免れており、建物の向きも被害の有無に影響した可能性がある。

2) 加速度応答スペクトル

推定した地震波形を周期毎の特性を見るため、加速度応答スペクトルを求めた。このとき、地震波形の標準的な特性をみるために減衰は 5%を用いた。各学校の加速度応答スペクトルを図 5 に示す。また、

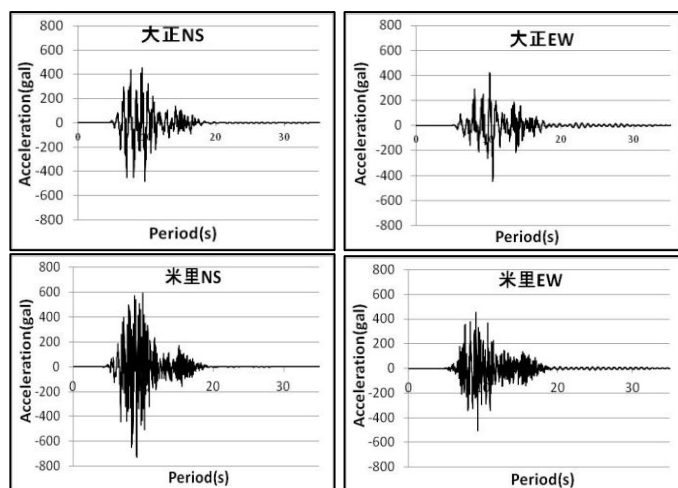


図 4 大正と米里での推定地震動

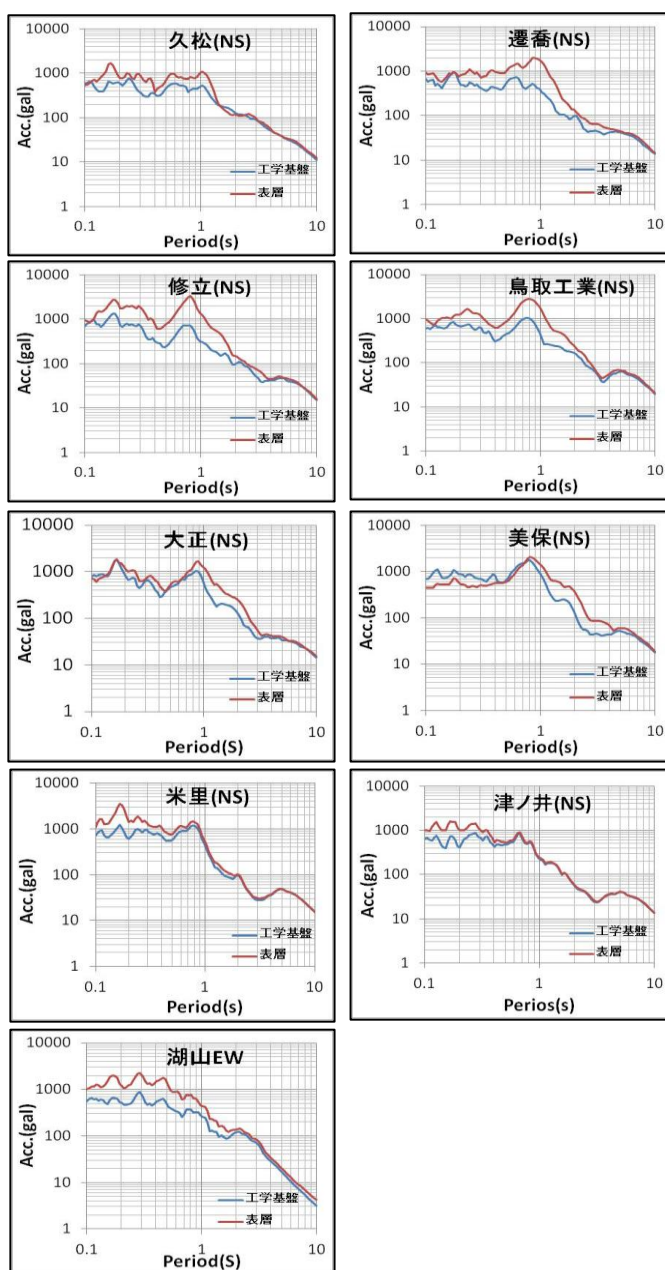


図 5 各学校の加速度応答スペクトル

被害の大きい場所と小さい場所の加速度応答スペクトルを図 6 に示す。S 波速度の遅い層が厚く堆積している久松、遷喬、修立、鳥取工業、大正、美保では周期 1.0 秒程の応答値が大きくなっている。S 波速度の遅い層が薄く堆積している米里、湖山、津ノ井では周期 0.1~0.5 秒程度の応答値が増幅していることがわかった。こ

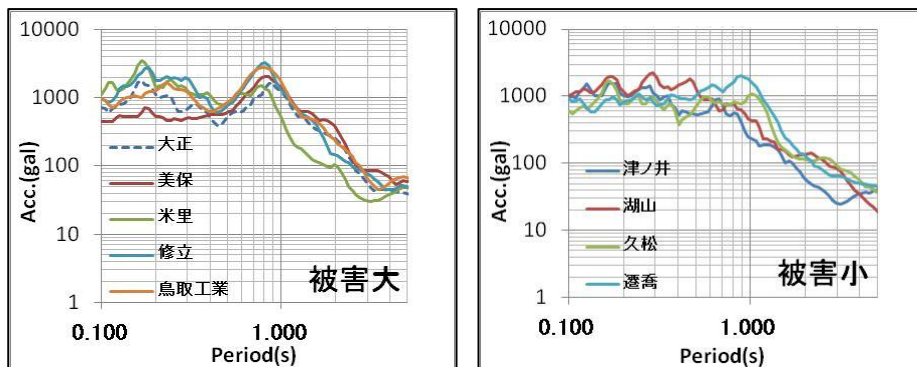


図 6 加速度応答スペクトルの比較

れらの結果より、米里は 0.3 秒程度での応答値が大きいことから、共振により倒壊した可能性があると考えられる。修立、鳥取工業、大正、美保は周期 0.2~0.3 秒程度での応答値と周期 1.0 秒での応答値がそれぞれ大きいことから、周期 0.2~0.3 秒程度の揺れで共振して倒壊した、もしくは周期 0.2~0.3 秒の地震動の影響で建物に損傷が入り、建物の固有周期が長くなり周期 1.0 秒程度の地震動で再び共振を起こして倒壊した可能性がある。湖山、津ノ井は周期 0.2~0.3 秒の地震動で建物が損傷し固有周期が長くなったとしても、周期 1.0 秒程度の長周期成分の地震動が大きくなかったため倒壊を免れたと考えられる。久松は、周期 0.2~0.3 秒の短周期成分から周期 1.0 秒程度の長周期成分まで増幅しているが、全体の応答値が他の学校と比較し小さくなっていることから被害が無かったと考える。遷喬は被害が甚大な地点と同様の特徴が見て取れ、この地震動評価では被害無の原因がわからなかった。定性的な可能性としては、建物直下で激しい液状化が発生し、減衰の効果が大きく働いた可能性や、耐震性に優れた建物であった可能性が考えられる。このように今回の解析により地震動特性の影響で学校被害の大小に差が出たことは十分考えられる。

6. まとめ

1) 微動探査

- ・ H/V スペクトルより、被害の甚大な場所で建物の固有周期より地盤の卓越周期の方が長く、共振を起こしている可能性は低く、H/V スペクトルのみで被害の有無について判断できなかった。
- ・ 得られた地盤構造モデルが、ボーリングデータや地盤図の N 値の変化によく対応していた。鳥取市街地など軟弱な層が厚く堆積している地点に被害が大きい傾向が見て取れる。

2) 地震動評価

- ・ 断層に近い学校では、ディレクティビティの影響により NS 方向の地震動が卓越しており、建物の向きも被害の有無に関係している可能性がある。
- ・ 学校被害について、周期 1.0 秒程度の長周期成分の有無が被害の大小に影響している可能性がある。

参考文献

- 1) 杉原優太(2008)；鳥取大学卒業論文，2) 岡田祐典(2014)；鳥取大学卒業論文
- 3) 安岡修平(2001)；鳥取大学卒業論文，4) 長郁夫，多田他(2006)；日本地震学会秋季大会公演予稿集，P142
- 5) (社)地盤工学会中国支部；‘96 鳥取地盤図
- 6) 中国地方基礎地盤調査研究会・社団法人鳥取県建築士会(1995)；山陰臨海平野地盤図’95
- 7) 鳥取県(2005)；鳥取県地震防災調査報告所
- 8) P.B.Schnael, J. Lyesmer and H.B.Seed(1972)；EERC, 72-12, 9) 平澤孝規(2003)；鳥取大学卒業論文