淡路島地震における洲本市内の家屋被害

中野 晋1・金井純子2・蒋 景彩3・安藝浩資4・三神 厚5

¹正会員 徳島大学教授 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1) E-mail:nakano.susumu@tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学技術補佐員 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1) E-mail:junko.kanai@tokushima-u.ac.jp

³正会員 徳島大学准教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1) E-mail:jiang@ce.tokushima-u.ac.jp

⁴正会員 ニタコンサルタント(株) 環境防災部 (〒771-0122 徳島県徳島市川内町鈴江西38-2) E-mail:akih@nita.co.jp

⁵正会員 徳島大学准教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1) E-mail:amikami@ce.tokushima-u.ac.jp⁵

2013年4月13日に淡路島付近を震源とするM6.3の地震が発生した.洲本市内の震度は5弱であったが,屋根 瓦の落下など,多数の家屋被害が発生した.住家被害が集中した洲本市炬口地区の全戸を対象に屋根瓦や 外壁の被害調査を実施した.さらにこの地区で被害が大きくなった要因を調べるため,旧地形図による地 形調査,空中写真判読による家屋の建替状況分析,常時微動観測と常時微動H/Vスペクトル比による地震 動推定などを実施した.その結果,本地区では非構造部材の被害が大きくなる0.3~0.5秒の加速度応答ス ペクトルが大きかったことなどがわかった.

Key Words : Awaji Island earthquake, house damage, microtremor, H/V spectrum ratio, topographic map

1. はじめに

2013年4月13日に淡路島付近を震源としたM6.3の地震 が発生し、洲本市、淡路市、南あわじ市などで全壊6棟、 半壊66棟、一部損壊8000棟の合計8072棟の住家被害が発 生した.気象庁の観測によると淡路市(志筑)で震度6 弱、南あわじ市(広田)で5強、洲本市(小路谷)で震 度5弱であったが、3市の中でも計測震度が小さかった洲 本市で全壊5棟、半壊39棟、一部損壊3768棟、合計3812 棟と被害全体の約半数が発生している(内閣府¹⁾).

老朽化した家屋で屋根瓦が落下したり、内外壁にひび 割れが生じたもので非構造部材の損傷が中心である.写 真-1は洲本市炬口2丁目の被災住家の状況である.家主 によるとこの家屋は築130年程度とのことで、桟木・竹 簾張りで厚く泥土を載せた上に本瓦葺というこの地域で はよく見られる瓦屋根の住宅である.このように被害の 顕著であった洲本市の旧市街地では本瓦葺の古い住宅が 軒を連ねる街並みが残され、町の大きな特徴となってお



写真-1 家屋被害事例(洲本市炬口1丁目)

いる.

本研究では洲本市内でも特に住家被害が集中した洲本 市炬口地区の全戸を対象に屋根瓦や外壁の被害状況を調 査した. さらにこの地区で被害が大きくなった要因を調 べるため,旧地形図による地形変遷状況,空中写真判読 による家屋の建替状況の調査,常時微動観測による地盤の固有周期や増幅特性の検討,最寄りの強震動観測点(K-NET洲本)の地震動波形を用いた強震動推定等を行った.

2. 家屋被害調査

(1) 家屋被災状況

図-1は炬口地区(炬口1丁目4~8番地,同2丁目1~13 番地,塩屋2丁目2~3番地,塩屋3丁目1~2番地,宇山2 丁目1番地,以上の地区を本論文では炬口地区と呼ぶこ ととする。)の全戸を対象に屋根と外壁の被害の有無を 調べたものである.なお,調査は共同研究者が戸外から 被害の有無を確認した.被害の有無を判定した548棟の 内,戸外から被害が確認されたのは143棟(26%)であ り,家屋被害率を町丁目別に整理すると炬口1丁目,同2 丁目で家屋被害率が高く,38%と28%となった.

この地域で最も家屋被害率が高い炬口1丁目では地盤 が海側に向かって最大で10cm程度,移動した痕跡が確 認されており,家屋被害の要因の1つに地震の揺れに加 えて液状化の影響が認められた.**写真-2**は地盤の流動に 伴って山側に傾斜した家屋の例である.

(2) 建築年代と非住家の影響

炬口地区は炬口城の城下町として発展した地区で、明 治19年発行の地図にも市街地の形成が確認される. 老朽 家屋を中心に被害が集中していたため、空中写真(カラ 一版)を利用して建築年代の簡易分析を実施した. この 地区では1974年と2003年にカラー写真が撮影されている. 両方の写真で確認され、現地で老朽住宅として確認でき るものは建替なし、それ以外のものを建替ありと分類し、 図-1中に区別して示した. 1974年以降の建築物で被害が 確認されたものは3棟(2%)だけであり、老朽家屋にの み被害があったことがわかる.

また、元自治会役員の住民からの聞き取りで、空き家 の位置を確認した.現在、空き家となっている家屋64棟 中、31棟(48%)に家屋被害が生じていた.少子高齢化 や過疎化の進行に伴い、空き家となり、メンテナンスが 行われないために、急速に老朽化が進む家屋が増えてお り、耐震化に問題のある住家が増加するだけでなく、被 災後も復旧や危険物除去が進まないために2次災害の危 険性がいつまでも除去されないなど**写真-3**のような問題 が生じており、増え続ける空き家対策も防災上重要な課 題であることが浮き彫りになった.

3. 常時微動観測によるH/Vスペクトル比の評価

炬口地区の周辺では約1.5km離れたK-NET洲本で強震



図-1 洲本市炬口地区の家屋被害分布



写真-2 液状化の影響を受けた家屋被害事例 (洲本市炬口1丁目)



図-2 明治 19年の洲本市中心部 明治 19年当時にも炬口地区(破線で囲む)に 集落が形成されていることが確認される.

動観測が行われ、この地震では最大加速度470gal(水平2 成分、卓越周期0.23~0.27s)が観測されている. K-NET 洲本は山際の標高10mの地点に設置されているため、海 岸低地に成立した炬口地区の地震動とは異なることが予 想される. そこで、炬口地区の地盤と強震動の特徴を調

洲本市炬口2丁目



4月13日

4月14日



べるため, K-NET洲本と炬口地区14ヶ所で常時微動観測 を実施した.

(1) 観測方法

常時微動測定にはサーボ式速度計((株)東京測震, VSF-11F×2台, VSF-12F×1台)を用いた. 測定は5月6日~ 8月5日に順次実施した.サンプリングは100Hzで10分間、 計60,000データを取得し、その中から信号が安定的であ ると判断された3~5区間(各4096データ)についてスペ クトル分析を行い、相加平均した.測定場所は図-3に示 すK-NET洲本の地震計の脇(赤丸)と調査対象地区周辺 の14ヶ所(図-4)である.HVスペクトル比の計算方法 は従来の方法とほぼ同じである.線形トレンドの除去を 行った後,水平2成分,鉛直成分ごとに,Parzen windows(バンド幅0.4Hz)で平滑化したフーリエスペクト ルを計算し、EW成分、NS成分の成分別のH/Vスペクト ル比,水平2成分の平均を用いたHVスペクトル比の3種 類のスペクトル比を算出した. なお, EWとNS成分別の HVスペクトル比は各地点の水平方向地震動波形を推定 する際に利用した.

(2)H/Vスペクトル比

図-5はK-NET洲本で2013年4月13日と同7月17日観測された強震動波形から計算したH/Vスペクトル比と5月6日及び8月5日にK-NET洲本の地震計の脇での常時微動波形から算出されたH/Vスペクトル比を比較したものである. 強震動データのH/Vスペクトル比が常時微動データのそれに比べて全般的に大きな値を示しており、両者の一致度は良好ではないが、0.2~0.5秒付近でH/Vスペクトル比がピーク値をとり、それ以上の周期では一定値となるよ



図-3 強震観測点(K-NET 洲本)と対象地区



図-4 常時微動測定地点(赤字で測定番号を示す) うな特徴を有している.

(1) 卓越周期



図-5 強震動と常時微動のHVスペクトル比の比較



図-6 対象地区のHVスペクトル比の計算例

HVスペクトル比が極大となる周期はK-NET洲本では 強震動と微動データともに0.2~0.5s程度である.一方, 調査対象地区の卓越周期はK-NET洲本で測定された常時 微動と同様なH/Vスペクトル比を示す地盤(黒線)と0.5 ~0.9sに顕著な固有周期を有する地盤(赤線)の2種類の 地盤が存在することがわかる.前者は主に北西側の山際 に近いエリアのもので,後者は海岸に近いエリアに対応 する.図-7は高橋ら²によってまとめられた調査対象地 区周辺の地質図であるが,炬口地区北西部の山際は主と して花崗斑岩の比較的固い地盤が存在し,沿岸部は沖積 平地または埋立地となっていることがわかる.

(2) 対象地区での強震動の推定

強震観測点の記録から、常時微動HVスペクトル比を 利用して近傍の未観測点の強震動を推定する方法につい て、丸山ら³、原田ら⁴、中村ら⁵などにより、精力的に 研究が進められている.丸山らは「地震動と常時微動の HVスペクトル比は等しく、かつ近傍の2地点間の表面 鉛直地震動のスペクトル特性は等しい」と仮定して、常



図-7 対象地区の地質図(高橋ら,1992) (炬口の北西側は花崗斑岩 Gp, K-NET 洲本付近は泥岩砂 岩礫岩互層 Kaと区分されている.)



図-8 強震動波形 (NS 成分)の推定例 (地点 4)

時微動HVスペクトル比が得られた地点のフーリエスペクトルを式(1)で推定することができると提案している.

$$E_s^r = E_s^{K-NET} r_{H/V}^{r/K} \tag{1}$$

ここで、*E*^{*r*}は未観測点のフーリエスペクトル、*E*^{*K*-*NET*} は強震観測点のフーリエスペクトル、*r*^{*r/K*} と強震観測点での常時微動H/Vスペクトル比の比であり、 周波数の関数である.一方、原田らや中村らは「地震動 と常時微動のH/Vスペクトル比は完全に等しいものでな く、ほぼ等しい.そして2地点間距離が近い場合でも地 表面鉛直地震動のスペクトル特性は異なる」として、両 地点のH/Vスペクトル比の最大値で基準化した両者の常 時微動スペクトル比を用いて地震動を評価することを提 案している. K-NET洲本で得られた強震動と常時微動の H/Vスペクトル比は最大値で見ても前者が後者の約2倍 程度と異なっており、原田らや中村らの研究成果を支持 している.しかし、この手法で必要となる両地点間での 表面鉛直地震動特性の評価が現時点ではできないため、 推定精度に問題はあるが、丸山らの手法を用いて、微動 観測を実施した14地点の地震動推定を行った.

図-9は推定された地震動波形から加速度応答スペクト ル(減衰定数5%)を求めたものである.また,水平2成 分のベクトル合成結果についても併示した.例に示した ものは山際に位置する炬口八幡神社(地点1)と海岸に 近い炬口公民館(地点14)のものであるが,他の地点も ほぼ同様の特徴を示し,いずれも周期0.1s付近で最大値 を示すが,0.3sと0.5s付近でも極大値が得られている.境 らが2009年駿河湾地震の際に調査した結果では瓦屋根被 害率と加速度応答スペクトルの相関が周期0.2~0.5sで最 も大きかったと報告しており,0.3~0.5秒付近の加速度応 答が大きくなっていることが炬口地区の家屋被害を大き くした原因の1つと考えられる.

また,境ら⁷は計測震度とほぼ対応する0.1-1s平均加 速度応答(水平2成分ベクトル和,減衰係数5%)と計測 震度の関係式を次のように提案している.

$$I_i = 2.03\log(A_{0.1-1}) + 0.05 \tag{2}$$

ここで, *I_j*は計測震度, *A*_{0.1-1}は0.1-1秒平均加速度応答(水平2成分ベクトル和, 減衰定数5%)である.この 式を適用して, 14地点の計測震度の評価を行うと, 炬口 1丁目で5.5 (n=1), 炬口2丁目で5.4~5.7 (n=9), 塩屋3丁目 で5.4 (n=1), 塩屋2丁目で5.5 (n=1)と算出された.

K-NET洲本における計測震度は4.8(気象庁)であり、 これに比べると計測震度で0.6~0.9大きいことがわかる. (図-10)

4. 家屋被害の要因分析

加速度応答スペクトルの分析によると、炬口地区では 0.1秒という短周期地震動に加えて、周期0.3~0.5秒の地 震動により、屋根瓦や内外壁などの非構造部材が損傷し たものと推定される.また、計測震度の点でも震度5強 から場所によっては震度6弱の揺れであった可能性があ り、被害を大きくしたものと考えられる.一方、図-11 は境らが2009年駿河湾地震の際に、瓦被害率と計測震度 の関係を調べた結果に、本調査結果をプロットしたもの である.これによると、炬口地区の家屋被害は震度の割 に大きいことがわかる.なお、境らの調査は瓦被害率で あり、厳密には著者らの調査と異なっているが、外見調 査であったために、主に瓦被害を中心に調べており、瓦 被害率と大きく違っていないことを付記する.

この原因の1つは築100年を超えるような老朽家屋や空 き家被害が多かったのに対して、1974年以降に建築され た家屋の被害は2%程度と少なく、既存不適格住宅の密 度が高かったことが被害率を高めたものと考えられる. さらに、過去の地形図を調べた結果、図-12に示される



図-9 (a) 加速度応答スペクトル(地点1, 炬口八幡神社 境内, NS 成分, EW 成分, 2 成分ベクトル合成の3種 類)



図-9 (b) 加速度応答スペクトル(地点 14, 炬口公民 館, NS成分, EW成分, 2成分ベクトル合成の3種類)



図-10 地区別家屋被害率と推定計測震度の関係



図-11 瓦被害率と推定計測震度

ように炬口1丁目付近は旧港地区を埋立てた上に集落が 形成されたと考えられ,写真-2に示したように液状化の 影響を受けて被害が拡大したものと考えられる.

5. おわりに

本調査から得られた結果をまとめると以下の通りである.

洲本市の強震観測点での計測震度は5弱であったが, 炬口周辺では最大6弱近い地震動であった可能性があり, 強震観測点から1.5kmと比較的近距離にあたる本対象地 区でも地形の履歴や地盤特性に大きく左右されることが わかる.炬口周辺で瓦被害が大きくなった原因として, 室内被害や非構造部材の損傷に相関が高い0.3~0.5前後 の地震動が大きかったこと,耐震性の低い古い木造住宅 で土葺き瓦の住宅が多く残存していたこと,旧港を埋立 てた地区で液状化が発生したこと,長期間手入れのされ ていない空家が被災したことなどが考えられる.

今後の地震対策のためには過去の地図を参考にして, 災害に弱い地域を把握すること,既存不適格住宅の建替 え,または耐震化(屋根の葺き替えも含む),空き家対 策などが重要である.また,本地区では高齢者世帯,ひ とり暮らし世帯の増加が進んでおり,こうした問題と空 き家問題は切り離せない.防災と町の再生を同時に進め ることが本地区にとっては大きな課題である.

また、本調査で用いたH/Vスペクトル比を用いた地震 動推定は現段階では精度が低いため、原因の詳細分析の ためにもボーリング地盤データに基づいた分析について



図-12 明治28年地形図と炬口付近の旧港

も検討する予定である.

謝辞:現地調査に協力いただきました炬口地区の町内会の皆様に心より感謝申し上げますとともに、速やかな復旧を祈念いたします.

参考文献

- 内閣府:淡路島付近を震源とする地震について(第10報), 平成25年5月14日, http://www.bousai.go.jp/ updates/h2504awaji/, (参照 2013-9-18)
- 2)高橋浩,寒川旭,水野清秀,服部 仁:洲本地域の地質,地 域地質研究報告(5万分の1地質図幅),産業技術総合研究所 地質調査総合センター,1992.
- 3) 丸山喜久,山崎文雄,本村均,浜田達也:常時微動のHVス ペクトル比を用いた地震動推定法の提案,土木学会論文集, No.675/I-55, pp.261-272, 2001.
- 4)原田隆典,中村真貴,王宏沢,斎藤将司:強震観測点の記録 と常時微動HVスペクトル比を利用した近傍の未観測点の強 震動推定法,応用力学論文集,Vol.11, pp.595-602.,2008.
- 5)中村真貴,原田隆典,市村彰,王宏沢,斎藤将司:常時微動 HVスペクトル比を利用した強震観測点近傍の地震動推定法, 第30回地震工学研究発表論文集, pp.1-9, 2010.
- 6)境有紀,新井健介,赤松勝之:2009年駿河湾の地震における 御前崎市付近を対象とした瓦屋根被害による地震動強さ分布 の推定,日本地震工学論文集,Vol.11,No.1, pp.48-71.,2011.
- 7)境有紀,神野達夫,纐纈一起:建物被害と人体感覚を考慮し た震度算定方法の提案,第11回日本地震工学シンポジウム論 文集, CD-ROM, 2002.

HOUSE DAMAGE IN SUMOTO CITY IN AWAJI ISLAND EARTHQUAKE

Susumu NAKANO, Junko KANAI, Jin-Cai JIANG, Hiroshi AKI and Atsushi MIKAMI

M6.3 earthquake of that epicenter near Awaji Island on April 13, 2013 has occurred. In Sumoto city, seismic intensity was 5 lower, a number of house damage such as the fall of roof tile has occured. We carried out damage survey of the outer wall and roof tiles to target all houses of Takenokuchi district in Sumoto city. In order to investigate the factors that house damage is concentorated in this area, we conducted terrain investigation by the old topographic maps, reconstruction survey of houses by aerial photographs, and ground motion estimation by microtremor H/V spectral ratio. As a result, it was found that acceleration response spectra from 0.3 to 0.5 seconds that affect the damage of nonstructural components was greater in this area.