

地震計設置環境が観測記録に及ぼす影響

The Influence of the Installation Condition of Seismographs on Their Records

池田和浩 Kazuhiro IKEDA (広島大学大学院工学研究科)
加納誠二 Seiji KANO (広島大学大学院工学研究科)

阪神大震災後、全国的に地震観測網の整備が進められた。しかし、地震計設置場所の地形条件・設置環境については基準が明確でなかったため、多種多様な場所に設置されている。近年、これらの設置環境による影響が地震観測記録に影響を及ぼし、地域の地震動が正しく記録されていない可能性があることが指摘されている¹⁾。本研究では、地震計の設置環境が観測記録にどのような影響を及ぼしているかを明らかにすることを目的として、広島県内の強震観測点における現地調査ならびに常時微動測定を行い、観測記録における一定方向への卓越の有無や卓越方向と設置環境を比較検討し、観測記録に影響を与えていると思われるいくつかの要素について検討した。

キーワード：地震計，地震観測，設置環境，常時微動，卓越方向 (IGC : B-4, B-9)

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以降、地震観測網が大きく見直され、地震発生時の状況把握と迅速な初動体制の確立のために気象庁および地方自治体により強震計が数多く設置され、広島県においても急速に整備が進んだ²⁾。また、防災科学技術研究所によって強震観測網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)等の整備もなされている³⁾。

その一方で、明確な地震計の設置基準がなかったため、地方自治体の地震計は、土地の確保や維持・管理等の理由から市町村役場の敷地内に設置されている場合が多い。その設置場所は、敷地の隅、建物近傍、花壇の上など、設置環境が多種多様であり、これらの設置環境が地震観測記録に影響を与え、記録が周辺地域の地震動を正しく代表していない可能性がある。例えば、芸予地震時における最大加速度分布と住家被害率分布を比較すると、呉市のように、被害地点は市街地周辺の山裾尾根部に集中しているが、地震観測点は市街地中心の平野部にある例や、呉市下蒲刈(旧豊田郡下蒲刈町)や安芸郡海田町のように1000galを超えるほどの非常に大きい加速度が観測されたにもかかわらず被害がそれほど大きくない地点があることが挙げられる⁴⁾⁵⁾。このような状況は、地震発生時の状況把握と初動体制の確立にとって好ましくない。

そこで、1つの地震計による観測記録がどの程度の範囲の地震動を的確に示しているかを検討し、地震計設置環境が地震観測記録に及ぼす影響を明らかにすることを本研究の目的とする。さらに、地震計の最適な設置場所を示すことを最終的な目標とする。

本研究では、広島県内の強震観測点の現地調査ならびに各観測点における常時微動計測を行い、2001年芸予地震の本震および最大余震と他の弱震の観測記録を用いて、地震観測記録に及ぼす地震計の設置環境の影響について検討する。

2. 現地調査および地盤の応答特性の整理方法

広島県内では、9機関、261箇所地震動の観測が行われている²⁾。このうちで主な地震観測網には、広島県震度情報ネットワーク(SIIN)99箇所²⁾、防災科学技術研究所が管理・運営する強震観測網(K-NET)21箇所³⁾、基盤強震観測網(KiK-net)18箇所³⁾、広島市地震情報ネットワークシステム8箇所⁶⁾がある。

本研究では、SIIN、K-NETおよびKiK-netで観測された地震記録や常時微動測定記録を用いて、地震計の設置環境と、地震観測記録の加速度オービットにおける一定の方向への卓越の有無およびその卓越方向を比較検討することによって、地震観測記録に及ぼす地震計設置環境の影響についての検討を行う。

2.1 現地調査

広島県内に設置されているSIINの強震観測地点99箇所と広島県内にあるK-NETおよびKiK-netの全強震観測地点39箇所の計138箇所において、現地調査を行った。

各強震観測点での調査の内容は、周辺地形の特徴、地盤の特徴、地震計から周辺構造物等までの距離等であり、こ

れらをデータシートに記入し、周辺状況のスケッチ・写真撮影等を行うとともに常時微動の計測を行った。以下にこれらの詳細について述べる。

(a) 現地調査データシート

現地調査データシートには、観測地点名、設置場所、緯度・経度等の観測地点情報や、芸予地震の地震動記録の有無、ボーリングデータの有無、地盤種別、芸予地震時の震源距離、最大加速度、地盤の固有周期、地震動 H/V スペクトル比の卓越周期、加速度応答スペクトルの卓越周期、SI 値、常時微動観測による H/V スペクトルの卓越周期、調査対象の地震計から常時微動計測用の小型地震計までの距離、芸予地震時の観測最大加速度等を整理した。また、コメント欄には観測地点の特徴や周辺状況を記述している。

(b) 写真撮影

観測地点及び周辺の写真撮影を行った。撮影は、地震計の設置場所、周辺構造物、溝、段差、壁、斜面等の微地形的なものまで、地震計の周辺状況が分かりやすいように考慮して撮影した。

(c) スケッチ

地震計周辺の状況をスケッチした。スケッチには、地震計設置場所の特徴や、周辺構造物、植込み、段差等の位置関係、地震計から周辺構造物等までの距離、段差の高さを記録した。平面図では分かりにくい段差・擁壁・斜面・坂道等の地形のある場所では説明を加え、縦断面図も描いている。

(d) 常時微動計測

地震計設置地点において常時微動計測を行った。サンプリング周波数を 100Hz、ゲインを 200 倍、ローパスフィルタを 50Hz という条件で計測を行った。

(e) 地形図からの読み取り

地震計が海から約 100m 以内や谷の幅が約 1km 以内の谷地形に設置されている場合、海までの距離や谷間の幅などを周辺の地形図から読み取った。ここで谷間の距離を計測する際、強震計設置位置を通り両側の山に可能な限り直角な直線を引き、その直線上での両側の山のふもとまでの直線距離を谷間の距離と定義している。

2.2 常時微動計測結果

図-1 に常時微動計測結果から求めた各地の卓越周期の分布図と広島県の地形図を示す。SIIN の内 57 箇所については、三浦ら⁷⁾によって実施された常時微動計測のデータを参照している。図-1 をみると、県北部に卓越周期が 0.1 秒以下の地点が集中していることがわかる。これは、県北部に山地が多く、地盤が硬いことによると考えられる。

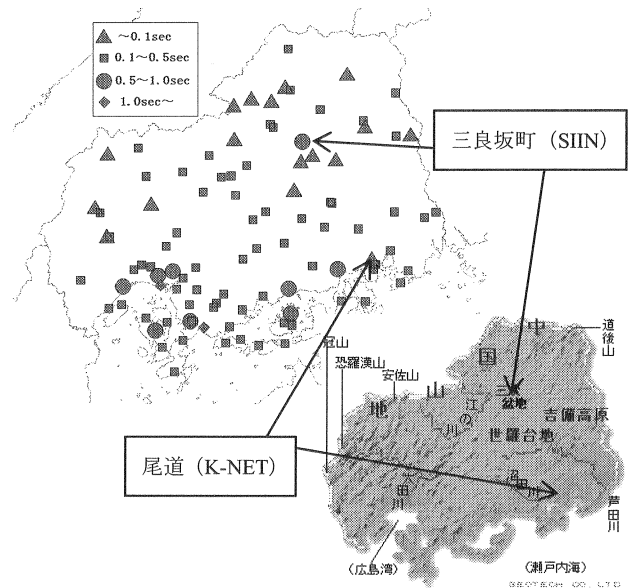


図-1 常時微動計測による地盤の卓越周期と広島県の地形（三浦ら⁷⁾の図参照）

卓越周期が 0.5 秒以上の比較的長い地点は県南部の海沿いに多く、特に広島市、三原市、福山市の市街地に集中していることがわかる。これは、海岸沿いの低地であり、広島市を流れる大田川、三原市を流れる沼田川、福山市を流れる芦田川の河川流域や河口の平野部であり、軟弱地盤を形成していることによるものと考えられる。また、周期が 1 秒以上の地点は広島市、呉市の海岸沿いのみであり、これらの地点が埋立地であり、非常に軟弱であることを示唆している。

このようにみると、地震計の設置場所はおおむね、周囲の地盤状況を反映した地点であると考えられる。しかし、三良坂町 (SIIN) のように、周辺の他の地震計よりも卓越周期が長い地点や、尾道 (K-NET) のように周辺の地震計よりも卓越周期が短い地点がある。これらの地震計は設置地点周辺の地盤と異なる設置環境になっている可能性もある。

現地調査の結果によると、三良坂町 (SIIN) では地震計のすぐ近くに浄水施設があり、地下にタンク等が埋められている。これらの施設建設の際の埋戻し土の上に地震計が設置されている可能性があり、地震計の設置場所が軟弱地盤であることが推定される。尾道 (K-NET) の地震計設置地点は、山を切土して作られた小学校の敷地の隅に設置されているため、海が比較的近い場所であっても堅硬な地盤であるものと考えられる。これらの地震計は周辺地域の地震動を正しく代表することができていない可能性がある。

2.3 各地震記録の比較検討方法

2.3.1 分散・共分散を用いた卓越の判別法

地震観測記録のオービットが一定の方向に卓越した形状（以降単に卓越と記す）を示す時の度合いおよびその方向を、分散・共分散を用いて判別した。図-2のように加速度オービットの形状から最小二乗法により卓越方向を求め、卓越方向の分散 σ_1 とそれに直行する方向の分散 σ_2 の比を卓越比 T と呼び、これを用いて卓越の度合いを評価することとした。以下に卓越比の求め方を示す。

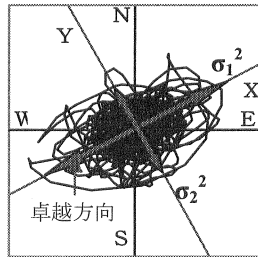


図-2 長軸方向・短軸方向の分散

・卓越比の求め方

加速度オービットの形状を楕円と考えた時の長軸方向の分散 σ_1 と、短軸方向の分散 σ_2 の値を求める。式(1)で示す分散共分散行列 A の固有値 λ_1, λ_2 を求め、 λ_1, λ_2 のうち、大きい方の値が長軸方向の分散 σ_1 、小さい方の値が短軸方向の分散 σ_2 を示しており、 σ_1 を σ_2 で除した値を卓越比とする。

$$A = \begin{pmatrix} \sigma_{EW}^2 & \text{Cov}(EW, NS) \\ \text{Cov}(EW, NS) & \sigma_{NS}^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、

- A : EW成分, NS成分の分散共分散行列
- σ_{EW}^2 : EW成分の分散
- σ_{NS}^2 : NS成分の分散
- $\text{Cov}(EW, NS)$: EW成分, NS成分の共分散

$$T = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (2)$$

2.3.2 卓越比の判別基準

卓越比を求める際に用いた共分散は、因果関係の根拠として扱われることが多い。しかし、

表-1 卓越比による卓越の強弱

卓越比	卓越の有無・強弱の判断
1~2	卓越なし
2~3	弱い卓越あり
3~4	やや強い卓越あり
4~	強い卓越あり

共分散自身は単に1つの対象における二つの測定値が対応しているということの指標に過ぎず、卓越の有無を判断するためには、数値から意味を解釈して基準を定める必要がある。

そこで本研究では、表-1に示すように、卓越比の値が2以上の時卓越有り、卓越比2以下を卓越なしと判断することとし、卓越が2以上3以下のものを弱い卓越、3以上4以下のものをやや強い卓越、4以上のものを強い卓越と判断することにする。

2.3.3 卓越方向の決定方法

卓越方向を求めるには、各加速度オービットにおいて、最小二乗法を用いて近似直線を描き、その傾きによって求

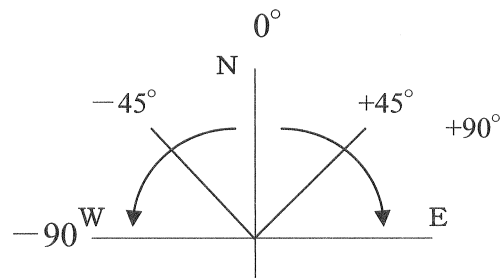


図-3 卓越方向の角度の定義

めることとした。

卓越方向の表し方は、図-3に示すように、真北方向を0°として、真東方向を+90°、真西方向を-90°とした。卓越方向を比較する際、本研究では、卓越方向の差が10°までのものを同一方向への卓越、20°までのものをほぼ同一方向への卓越と判断することにする。

3. 検討対象地震

本研究で検討に用いている地震は、2001年3月24日に発生した芸予地震 (M6.7)、その二日後の3月26日に発生した芸予地震の最大余震 (M5.0)、1999年7月16日に発生した弱震 (以下、弱震A(990716)と呼ぶ)、2002年10月13日に発生した弱震 (弱震B(021013))、2004年2月20日に発生した弱震 (弱震C(040220))、2004年4月20日に発生した弱震 (弱震D(040420)) の6つの地震である。これらはSIINによって観測された地震のうち、観測地点数が比較的多い地震で、震源位置にあまり偏りが生じない

表-2 検討に用いた地震の概要

地震名	発生年月日	発生時刻			震央緯度		震央経度		震源深さ km	M	震源地名	記録数
		時	分	秒	度	分	度	分				
弱震A(990716)	1999 7 16	2	59	9.32	34	25.48	133	11.75	20.45	4.4	EASTERN HIROSHIMA PREF	43
芸予地震	2001 3 24	15	27	54.14	34	7.20	132	42.52	51.38	6.7	AKINADA SETONAIKAI	47
芸予地震余震	2001 3 26	5	40	53.21	34	6.58	132	43.28	49.27	5	AKINADA SETONAIKAI	47
弱震B(021013)	2002 10 13	19	6	32.08	33	20.73	132	21.54	42.7	4.7	BUNGO CHANNEL	54
弱震C(040220)	2004 2 20	12	25	12.25	34	29.09	132	38.08	30.19	3.6	WESTERN HIROSHIMA PREF	47
弱震D(040420)	2004 4 20	22	26	32.9	33	27.90	132	14.84	48.26	4.6	IYONADA SETONAIKAI	78

ように選んでいる。表-2 に地震名，発生年月日，時刻，震央位置，震源深さ，マグニチュード，震源地名，観測された記録数を発生年月日の古い順に示す。

4. 基盤面と地表面での振動特性の比較

KiK-net 観測点の地中（基盤中）に設置されている地震計と地上（地表面）に設置されている地震計の，3章で示した地震観測記録を用いて，卓越比の比較を行った。図-4 に各 KiK-net 観測点における2つの地震計から得られた観測記録の卓越比を示す。図-4 より，地上に設置された地震計の観測記録において，卓越比 2 を超える観測記録は 24 あったのに対して，地中に設置された地震計の観測記録においては沼隈の 2.18 と吉田の 2.18 の2つの観測記録のみであった。また，図-5 に，各地震における，地中での卓越比と地上での卓越比の関係を示す。図-5 より，72

地震記録のうち 53 地震記録において，地中の卓越比よりも地上の卓越比が大きくなっている。

これらのことより，震源の方向および距離に関わらず，基盤中では地震動に卓越はほとんどみられないが，地震動が地盤を通過することによる影響，または地表面での地形や地震計の設置環境の影響によって卓越が生じているものと考えられる。このことから，地形や地震計の設置環境による地震観測記録への影響を明らかにすることの重要性は明らかである。

5. 設置環境による影響の検討

広島県内の各地震計設置地点において，2001 年芸予地震（M6.7），芸予地震の最大余震（M5.0），選出した4つの弱震の計6つの地震観測記録と，各観測地点で計測を行った常時微動計測を用いて，設置環境による地震観測記録

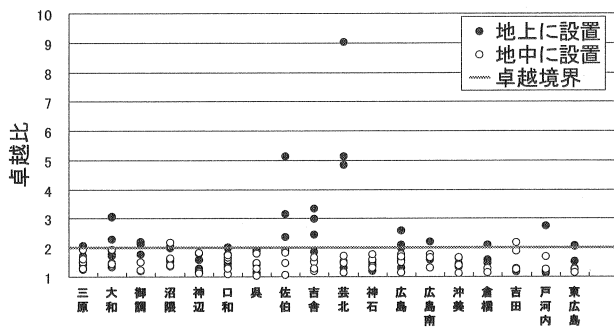


図-4 KiK-net 観測記録における卓越比

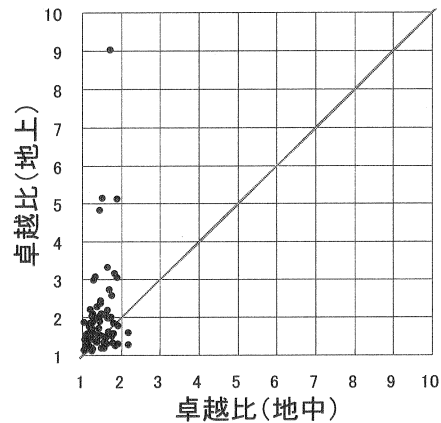


図-5 地中と地上の卓越比の関係

表-3 各地点における比較結果の例（美土里町）

040	美土里町		D	設置:1997.6			谷の幅:310m	卓越方向図示
	弱震A (990716)	芸予地震 (010324)	芸予余震 (010326)	弱震B (021013)	弱震C (040220)	弱震D (040420)	常時微動	
卓越比	—	3.82	—	—	4.37	2.11	1.50	
卓越方向(°)	—	-89	—	—	-84	-86	卓越なし	
震源方向(°)	-62	-7	-9	11	-1	17	—	
最大加速度(gal)	—	298	—	—	15	5	—	

表-4 各地点における比較結果の例（甲奴町）

075	甲奴町		A	設置:1997.6			谷の幅:330m	卓越方向図示
	弱震A (990716)	芸予地震 (010324)	芸予余震 (010326)	弱震B (021013)	弱震C (040220)	弱震D (040420)	常時微動	
卓越比	2.55	3.47	5.57	—	—	6.18	1.79	
卓越方向(°)	-83	-84	-86	—	—	-89	卓越なし	
震源方向(°)	-23	32	31	28	64	34	—	
最大加速度(gal)	21	124	18	—	—	4	—	

表-5 各地点における比較結果の例（神石町）

070	神石町		B	設置:1997.6			谷の幅:100m	卓越方向図示
	弱震A (990716)	芸予地震 (010324)	芸予余震 (010326)	弱震B (021013)	弱震C (040220)	弱震D (040420)	常時微動	
卓越比	20.26	3.54	5.27	—	—	—	2.11	
卓越方向(°)	48	24	22	—	—	—	-88	
震源方向(°)	-2	35	34	29	60	35	—	
最大加速度(gal)	53	138	15	—	—	—	—	

への影響について検討を行う。各地震計の各地震記録に対して、卓越の有無、卓越方向および卓越比をそれぞれ比較検討する。

5.1 地震記録の特徴

上述した判別法で、1つ以上の観測記録で卓越ありと判別された全ての地点において、地点ごとに周辺環境との比較を行った。そのうち特徴的な例（安芸高田市美土里町、三次市甲奴町、神石高原町（旧神石町））を表-3~5に示す。表-3に示した美土里町の場合、芸予地震、弱震C、弱震Dにおいて同じ方向に強い卓越がみられたが、常時微動では卓越はみられなかった。ここの地震計は、植え込み用の盛土の上に設置されており、植込みが卓越方向に影響を与えている可能性がある。また、地形的にみると、山が開けた方向に卓越していた。表-4に示した甲奴町の場合、記録があるすべての地震記録において同じ方向に強い卓越がみられるが、常時微動のみ卓越がみられなかった。ここの北側2.8mのところには二階建て庁舎があり、地震記録の卓越方向はその壁平行方向と一致しており、建物が影響している可能性がある。または地形的にみると、南50mのところにある川の流下方向（谷方向）とも一致している。表-5に示した神石町の場合、記録の取れている地震すべて（芸予地震、芸予余震、弱震A）において強い卓越がみられた。芸予地震と芸予余震は同じ方向の卓越、弱震Aは若干違う方向を向く非常に強い卓越である。常時微動にも卓越がみられたが、地震記録の卓越とは異なる方向である。この観測点は山に挟まれたごくせまい谷地形にある土地で、北西・南東方向側では山がせまり、平地がほとんどみられない。地震記録の卓越方向は谷方向とほぼ一致している。

5.2 卓越の検討結果

以上のように、各地震計設置地点における各地震記録の加速度オービットについて卓越の有無・卓越方向の比較検討を行った。これによると、地震観測記録に影響を与える可能性があるものには、地震計近傍の建物、段差・崖、植込み・盛土、地下タンク（浄化槽や地下空洞などを含む）などの設置環境要素と、谷、川や海などの地形的要素があることがわかった。

各地震計設置地点において、上述した地震観測記録に影響を与える可能性がある要素をその現地調査データおよび周辺地図から読み取り、それらの距離（植込み・盛土上は丸印で示す）を表-6に示す。表-6において灰色の部分は、それらの要素が、本章で検討した地震観測記録に実際に影響を及ぼしたと考えられるものである。

次章に、地震観測記録に影響を与える可能性が大きいと思われる地形条件・設置環境の要素として、データ数の比較的多い、地盤の卓越周期、近接建物までの距離、地下タンクまでの距離、谷地形に設置されている場合の谷の幅について、卓越の有無との関係を述べる。

6. 影響要素の検討

6.1 地盤の卓越周期

表-6には、常時微動から推定した地盤の卓越周期も記入している。図-6に卓越周期ごとの観測記録数、卓越がみられた記録数とその割合を示す。図-6をみると、卓越周期が長くなるにしたがって、卓越がみられた記録数の割合が小さくなる傾向があることがわかる。ここで、同一の地点において複数回観測されている場合、別々にカウントした。

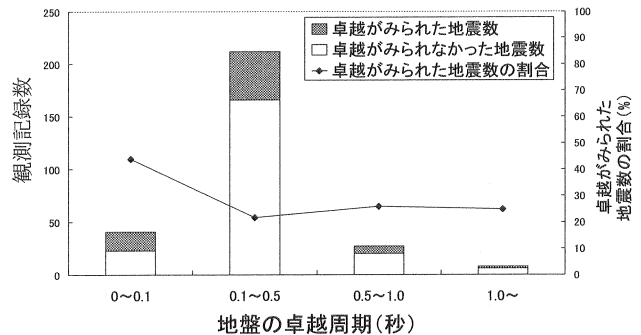


図-6 地盤の卓越周期と卓越がみられた地震数の関係

6.2 建物までの距離

図-7に地震計から建物までの距離と、その距離の範囲に該当する地震計のうち建物の壁と平行な方向に卓越がみられた地震計の割合の関係を示す。これをみると、地震計から3m以内に建物がある場合、建物の壁と平行の方向に卓越がみられた割合が高くなっていることがわかる。このことから、建物までの距離が3m程度の時、建物による

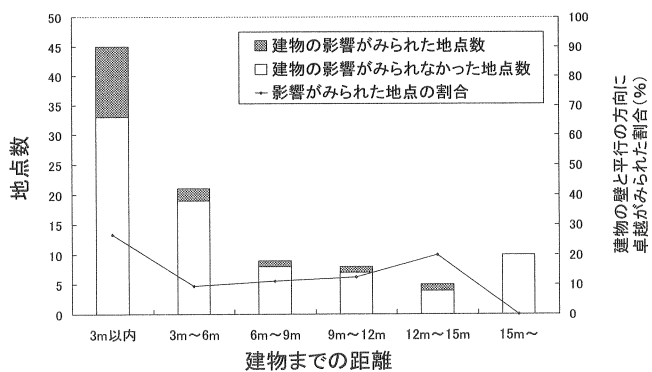


図-7 建物までの距離とその影響がみられた地点数の関係

表-6 各地震計設置地点周辺で地震記録に影響を与える可能性がある設置環境要素・地形要素

ID	地点名	卓越周期(秒)	設置環境要素					地形要素		
			建物までの距離(m)	槽込みまたは盛土上	段差・崖		地下タンク(m)	その他影響を与える可能性があるも	谷の幅(m)	海(m)
					距離(m)	高さ(m)				
1	広島市中区	0.86	1.5					12.6		50
2	呉市	0.53	8.5							
3	竹原市	0.80	7.8					3.7		
4	三原市	0.63	10							
5	尾道市	0.43	1		1	0.2			20	
6	因島市	0.37	1						34	
7	福山市		50							
8	府中市		32	○						
9	三次市	0.24	4.4					0.8m コンクリート塀		
10	庄原市	0.26	3.5		1.5			0.6		
11	大竹市		1.3	○					130	
12	東広島市	0.18	0.8					15		
13	廿日市市	0.65	16							
14	府中町	0.75	3.1							17.3
15	海田町	0.37	2						1670	
16	熊野町	0.22	2.3	○						19
17	坂町	0.48	3.8						200	
18	江田島町	0.29	1.5					地下に設置	630	
19	音戸町	0.22	3						30	
20	倉橋町	0.28	10						80	
21	下蒲刈町	0.16	0.8						50	
22	蒲刈町	0.40	8	○	33					
23	大野町	0.44	3					7m らせん階段		
24	湯来町	0.03	2		5.4					
25	佐伯町	0.24	7		7					
26	吉和町		25		1.7	3			510	50
27	宮島町	0.13	0.5		0.5			建物近接の隙間		
28	熊美町	0.77	7	○					150	
29	沖見町	0.38	1.5						120	
30	大柿町	0.15	3	○					750	
31	加計町		4	○	1			4	390	
32	筒賀村	0.25	3						510	
33	戸河内町		1.5		3.8	1		3	590	
34	芸北町	0.05	19							
35	大朝町		5	○					1030	
36	千代田町	0.16	15							
37	豊平町	0.12	1.4					建物近接 貯水池		
38	吉田町	0.25	8.5					12.5		
39	八千代町	0.14	4.5		0.5				310	
40	美土里町	0.16	1	○					310	
41	高宮町	0.09	4.3	○					390	
42	甲田町	0.13	3						920	
43	向原町	0.50	3.5		3	1.5				
44	黒瀬町	0.37	15							
45	福富町	0.17	40							
46	豊栄町	0.24	28.5					20~30m 池	330	
47	大和町	0.13	19	○	3			8		
48	河内町	0.15	13							
49	本郷町	0.45	9.5							
50	安芸津町	0.13	12						500	
51	安浦町	0.35	5.8					7~8m 鉄塔	1300	
52	川尻町	0.30	2.7						11	
53	豊浜町	0.22	9.7						40	
54	豊町	0.45	1.7					5	400	23
55	大崎町	0.26	1.8						900	
56	東野町	0.60	2.6					20	100	
57	木江町	0.36	4.5	○					50	
58	瀬戸田町	0.35	1.5	○					60	
59	御調町	0.14	1						590	
60	久井町	0.24	6		2					
61	向島町	0.40	3.2					コンクリ壁		1130
62	甲山町	0.17	2						800	
63	世羅町	0.18	1							
64	世羅西町	0.08	3	○					180	
65	内海町	0.20	5							130
66	沼隈町	0.30	6		0.7					
67	神辺町	0.28	1	○	0.7	0.7				
68	新市町	0.28	5.7	○	1	0.4			820	
69	油木町	0.20	5		30					
70	神石町	0.08	10					プール	100	
71	豊松村	0.03	8		3			4.6		
72	三和町(神)		4						360	
73	上下町		4.4						260	
74	総領町		3	○				井戸 コンクリ掲示板	260	
75	甲奴町	0.09	2.8						330	
76	若田村	0.07	5	○						
77	布野村	0.06	0.6	○					500	
78	作木村	0.07	2						100	19
79	吉舎町	0.08	8.4	○					410	60
80	三良坂町	0.53	24.5					11		
81	三和町(双)		3	○				5		
82	西城町		4.5		2	1				
83	東城町	0.11	1		4	1.5				30
84	口和町	0.05	15						410	
85	高野町	0.13	24						560	
86	比和町		0.3	○					260	
87	東区福田		2		1.4			2.0m 訓練棟		
88	南区宇品	1.00	2		6.5			2.5	50	
89	西区己斐	0.28	8	○	4					
90	安佐南区	0.35	2		6.5			10		
91	安佐北区	0.42	14		0.9					
92	佐伯区	0.30	0.4							
93	安芸区	0.21	1							
94	呉市広	1.15	4					40	500	
95	呉市焼山	0.13	12					2.4		
96	呉市郷原	0.31	2.4							
97	福山市松永	0.37	9.8	○	1.5					750
98	福山市駅家		40	○		0.2				
99	福山市鞆		1.5	○	0.5	1.3				21

地震計設置環境が観測記録に及ぼす影響

影響が強い可能性があると考えられる。今後は建物の高さ、建物の形状、基礎構造など、さらに検討が必要と考えられる。

5.3 地下タンクまでの距離

図-8 に地震計から地下タンクまでの距離と、その距離の範囲に該当する地震計のうち地下タンクのある方向に卓越がみられた地震計の割合の関係を示す。これをみると、地震計から 3m 以内と、9~12m に地下タンクが設置されている場合に 1 地点ずつ地下タンクのある方向への卓越がみられる。データ数が少ないため、はっきりと傾向を読み取ることは難しいが、地震計の付近に地下タンクが設置されている場合、その影響を受けている可能性がある。この後さらにデータ数を増やすとともに、地下タンクの高さ、深さ、内容物の有無などについても、検討が必要と考えられる。

5.4 谷地形

図-9 に地震計の設置場所が谷地形の場合、谷の幅とそ

の範囲に該当する地震計のうち谷が流れる方向に卓越がみられた地震計の割合の関係を示している。なお、谷の幅が 200m 以内である場合のデータ数が少ないことから検討対象からはずすこととする。これをみると、200m~400m の範囲において高い割合で谷の流れる方向に卓越がみられたことなどから、谷の幅が短くなるほど谷の流れる方向への卓越がみられる傾向があり、谷の幅が約 600m 以内までの範囲で谷地形による影響が及ぼされる可能性があると考えられる。

5.5 地震動と常時微動の卓越の比較

地震動観測記録と常時微動計測との関係を調べるため、県内の地震計設置地点における常時微動の計測記録と地震動観測記録において、卓越の有無、卓越方向の一致不一致についての検討を行った。検討には地震動観測記録とノイズの少ない常時微動計測記録が得られている 21 箇所のものを用いた。21 箇所の卓越比と卓越方向を表-7 に示す。

表-7 によると、21 箇所のうち、地震動観測記録、常時微動の両方に卓越があり、かつ卓越方向が一致した箇所は

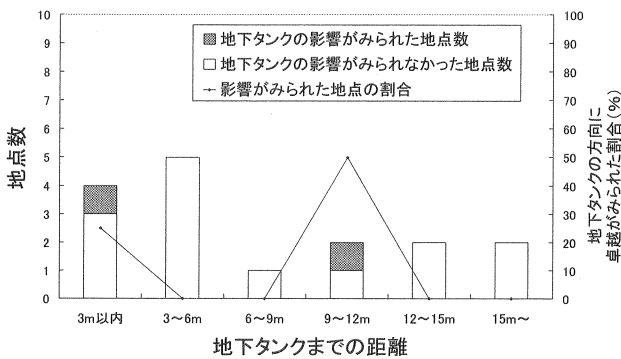


図-8 地下タンクまでの距離とその影響がみられた地点数の関係

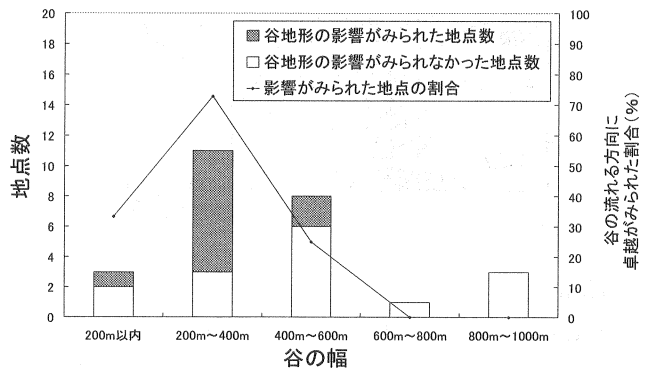


図-9 谷の幅と谷による影響がみられた地点数の関係

表-7 地震記録と常時微動の比較に用いた 21 地点の観測記録

SIIN NO.	卓越比							卓越方向						
	弱震 (990716)	芸予地震	芸予余震	弱震 (021013)	弱震 (040220)	弱震 (040420)	常時微動	弱震 (990716)	芸予地震	芸予余震	弱震 (021013)	弱震 (040220)	弱震 (040420)	常時微動
6	-	-	-	1.73	-	-	4.10	-	-	-	卓越なし	-	-	-13
9	-	1.71	-	1.41	-	1.28	1.69	-	卓越なし	-	卓越なし	-	卓越なし	卓越なし
12	1.60	1.59	1.24	1.43	1.58	1.40	1.55	卓越なし	卓越なし	卓越なし	卓越なし	卓越なし	卓越なし	卓越なし
24	1.12	2.24	2.17	-	-	-	2.91	卓越なし	-73	-72	-	-	-	15
32	1.89	1.99	-	-	-	-	3.16	卓越なし	卓越なし	-	-	-	-	-41
34	-	-	-	-	-	-	1.37	-	-	-	-	-	-	卓越なし
40	-	3.82	-	-	4.37	2.11	1.50	-	-89	-	-	-84	-86	卓越なし
41	1.12	2.37	1.37	-	1.92	2.04	1.59	卓越なし	16	卓越なし	-	卓越なし	77	卓越なし
42	-	1.01	-	1.24	1.24	1.39	3.05	-	卓越なし	-	卓越なし	卓越なし	卓越なし	-23
43	-	-	-	1.92	1.69	1.36	1.37	-	-	-	卓越なし	卓越なし	卓越なし	卓越なし
66	1.58	-	1.53	1.57	-	1.45	2.11	卓越なし	-	卓越なし	卓越なし	-	卓越なし	-54
67	-	1.42	-	-	-	-	1.97	-	卓越なし	-	-	-	-	卓越なし
70	20.26	3.54	5.27	-	-	-	2.11	48	24	22	-	-	-	-88
71	-	1.31	1.45	-	-	-	2.66	-	卓越なし	卓越なし	-	-	-	-6
75	2.55	3.47	5.57	-	-	6.18	1.79	-83	-84	-86	-	-	-89	卓越なし
76	1.61	1.22	2.11	-	2.26	2.21	1.63	卓越なし	卓越なし	-2	-	-71	-74	卓越なし
77	1.59	1.94	2.46	-	-	-	1.51	卓越なし	卓越なし	20	-	-	-	卓越なし
78	1.89	1.70	1.77	-	-	-	1.94	卓越なし	卓越なし	卓越なし	-	-	-	卓越なし
83	-	-	-	-	-	2.04	2.68	-	-	-	-	-	80	14
84	-	1.10	1.52	-	-	-	4.39	-	卓越なし	卓越なし	-	-	-	-23
85	-	2.29	-	-	2.96	3.54	1.65	-	-20	-	-	-15	-28	卓越なし
96	2.20	2.24	1.43	1.11	-	1.27	1.49	4	21	卓越なし	卓越なし	-	卓越なし	卓越なし

全くみられなかった。地震動観測記録、常時微動のどちらにも卓越がみられ、卓越方向が一致しなかったものは3箇所であった。地震動観測記録に卓越がみられたが、常時微動に卓越がみられなかったものは7箇所であった。地震動観測記録に卓越がみられず、常時微動に卓越がみられたものは6箇所であった。地震動観測記録、常時微動のどちらにも卓越がみられなかったものは5箇所であった。以上をまとめたものを表-8に示す。

このことから、地震動と常時微動における卓越の有無、卓越方向の一致不一致には関係がないものと判断される。よって、一般に常時微動は地盤の卓越周期を求めるために使われることが多いが、地震動によるその地点の揺れやすい方向の予測に用いることは難しいものと考えられる。これは、常時微動の振動源が地表面にあるため、卓越方向がその振動源の方向に左右されやすいこと、また、地震波として伝播する波動のうち地層境界、特に地表面に沿って伝播する波動である表面波のみが、常時微動の主成分となっていることに起因しているためと考えられる。

表-8 地震記録と常時微動の卓越に関する比較

地震記録	常時微動	卓越方向	箇所数
卓越あり	卓越あり	一致	0箇所
		不一致	3箇所
卓越なし	卓越なし		7箇所
	卓越あり		6箇所
	卓越なし		5箇所
			全21箇所

5. 結論

地震観測記録に及ぼす地震計設置環境の影響についての検討を行うため、広島県内の強震観測点の現地調査、地震観測記録の加速度オービットにおける卓越の有無・卓越方向の比較検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- ・KiK-net 観測点において地中と地上における観測記録の卓越比を比較すると、基盤面での地震動には卓越がほとんどみられない。地表面の地震動の卓越は、地盤を通過することによる影響、または地表面での地形や地震計の設置環境の影響によるものと考えられる。

- ・地盤の卓越周期が短いほど卓越がみられる傾向がある。
- ・地震計から建物までの距離が3m程度の時、影響が強く出る可能性がある。今後、建物の高さや基礎構造などの検討が必要である。

- ・地震計の付近に地下タンクが設置されている場合、地下タンクによる影響が出る可能性がある。今後、地下タンクの大きさ、深さ、内容物の有無などの検討が必要である。

- ・地震計が谷地形に設置されている場合、約50%の割合で谷が流れる方向に卓越し、地震観測記録に影響を与える可

能性がある。

- ・地震動と常時微動における卓越の有無、卓越方向には関係がないことから、常時微動計測結果から地震時の揺れやすい方向を予測することはできないものと考えられる。

今後、地震数や地震観測記録に影響を与えると考えられる要因をさらに増やして解析を進め、地域の代表的な地震観測記録にするための補正方法について検討を行う予定である。

謝辞

本研究においては、広島県震度情報ネットワーク(SIIN)による地震観測記録を使用させていただきました。地震計設置地点における現地調査では、広島県環境生活部危機管理室の多大なご協力を賜りました。広島県内の地盤の卓越周期に関する部分では、広島大学大学院工学研究科教授の三浦賢治先生らの貴重なデータを参照させていただきました。ここに感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会・地震工学委員会「震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関する研究小委員会」:「震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関する研究小委員会」最終提言
- 2) 神野達夫, 山本春行: 広島県震度情報ネットワークとの情報交流, 平成15年度広島大学地域貢献特別支援事業地域防災ネットワーク構築事業成果報告書 pp.19-26, 2004
- 3) 防災科学技術研究所: K-NETの概要, 防災科学技術研究所ホームページ, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 4) 加納誠二: 2001年芸予地震時の尾根部の応答特性に関する検討, 地盤工学会「土と基礎」Vol.51, No.11, Ser.No.550, pp.26-28, 2003
- 5) 榎野光: 芸予地震時の観測地震動に及ぼした地形の影響, 広島大学大学院工学研究科平成16年度修士論文, 2005
- 6) 広島市消防局危機管理部: 広島市地震情報ネットワークシステム, <http://www.shobou.city.hiroshima.jp/>
- 7) 三浦賢治: 地震観測地点の地盤情報, 平成14年度広島大学地域貢献特別支援事業地域防災ネットワーク構築事業成果報告書, 第8章, pp.171-180, 2003

(2007年6月29日 受付)