LRRI 技術資料，Vol.3，No.1，pp.1-58，2025.3

令和 6 年能登半島地震による鉛直地震動の特性

－新たな脅威、鉛直地震動－

常田賢一

（一社）地域国土強靱化研究所 顧問　　大阪大学 名誉教授

概　要

令和 6 年能登半島地震の被害では、輪島市の七階建の RC 造建物の転倒が特筆される。この建物の転倒に関して“新たな脅威、軟弱地盤”との報道（2024.9）があったが、土木分野での軟弱地盤は既知の事実であり、今更、“新たな脅威”ではない。建物の倒壊は建築分野の被害であるが、杭基礎は土木分野に関わりがあるため、転倒の原因を考察したが、着目したのは“鉛直地震動”である。

その契機は、同じ被害形態である 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波による建物の転倒を思い出したことであり、津波時の建物の転倒の原因は津波流による水平方向の水圧と同時に、上向き浮力による抵抗モーメントの減少の指摘に着目した。この指摘から類推したのは、能登半島地震の RC 造建物の転倒では、水平地震動に上向きの“鉛直地震動”が作用したのではないかと言う点である。

上記から、本文では、従来、設計では考慮されていない“鉛直地震動”に着目し、RC 造建物の転倒メカニズムについて、2 つの転倒形態を推察するとともに、令和 6 年能登半島地震において震央距離が近い、大谷、輪島、穴水および富来の 4 地点の加速度の観測記録を分析した。

その結果、震源近傍では、水平加速度に対して鉛直加速度が相当の規模かつ時間経過の中で発生していることを把握し、さらに水平加速度に対する鉛直加速度の比（加速度比）の標準化を試行した。

本文で得られた結果によれば、3 次元地震動は土木構造物でも関係するため、今後、鉛直地震動の影響の有無、程度および範囲、考慮条件、考慮方法（設計鉛直震度など）などの検討が必要である。

本資料が、従来、設計の対象外とされてきた“鉛直地震動”の実態解明、さらに防災に繋がることを期待している。

目　次

まえがき ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
１．鉛直方向作用力に起因する転倒事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
　１．１ 令和 6 年能登半島地震：地震動による七階建 RC 造建物の転倒・・・・・・・・・3
　１．２ 2011 東北地方太平洋沖地震：津波浸水による建物の転倒・・・・・・・・・・・・4
２．鉛直地震動による転倒機構の考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
　２．１ 令和 6 年能登半島地震災害調査団（地盤工学会）の報告からの知見・・・・・・5
　２．２ 鉛直地震動による転倒の不安定化の 2 形態・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
３．令和 6 年能登半島地震による鉛直地震動特性の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・8
　３．１ 最大加速度による相対比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
　３．２ 加速度の時刻歴による相対比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
　　（１）観測地点：大谷の加速度記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
　　（２）観測地点：輪島の加速度記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
　　（３）観測地点：穴水の加速度記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
　　（４）観測地点：富来の加速度記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
　３．３ 鉛直地震動の影響評価の考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
４．まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・56
あとがき ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58
謝辞・参考文献

まえがき

令和 6 年能登半島地震の被害において、輪島市の七階建の RC 造建物の転倒が注目された。この建物の転倒に関して、報道機関の NHK は 2024 年 9 月 1 日に“新たな脅威、軟弱地盤”と題する特集を報道したが、土木分野では、軟弱地盤に関わる砂質土地盤の液状化、粘性土地盤の圧密・沈下などの現象に起因するインフラの被害は既知の事実であり、殊更に“新たな脅威”ではないと言える。

ここで、RC 造建物の転倒は建築分野の被害ではあるが、ビルの杭基礎は土木分野にも関わりがあることから、原因を考察することとしたが、本文で着目しているのは“鉛直地震動”である。従来、構造物の設計地震動は“水平地震動”だけを外的作用としており、それが当たり前となり、鉛直地震動は考慮されず、無視されてきているが実状である。

しかし、今次の RC 造建物の転倒の事象から思い起こされたのは、2011 年東北地方太平洋沖地震の津波被害による建物の転倒であり、今次の RC 造建物の転倒と何らかの関係があるのか否かに着目したのが、本文の課題認識の動機である。一見すると、津波の浸水流による建物の転倒と今次の RC 造建物の転倒は無関係のように思えるが、津波によるビルの転倒では、津波流による水平方向の水圧の作用力と同時に、浸水に伴う上向きの浮力が作用しており、それによる抵抗モーメントの減少の関係が報告されている。

ここで、令和 6 年能登半島地震の RC 造建物の転倒では、津波流の水圧に相当する“水平地震動”が作用しているが、さらに、津波の浮力に相当する上向きの作用力として“鉛直地震動”が作用していることは容易に想像が付くことである。

上記から、本文では、従来、設計では考慮されていない“鉛直地震動”に着目し、RC 造建物の転倒メカニズムを考察するとともに、令和 6 年能登半島地震において、震央に近い方から、大谷、輪島、穴水および富来の 4 地点の加速度の観測記録を分析し、水平地震動［NS(±)方向および EW(±)方向）に対する鉛直地震動［UD(±)方向］の規模などの特性、つまり、水平加速度に対する鉛直加速度の比（UD(±)/|NS,EW|、本文では加速度比と呼ぶ。）を検討している。

その結果、震源に近い、いわゆる、直下型地震では、水平加速度に対して相当規模の鉛直加速度が相当の時間経過において発生していることが明らかになったが、さらに、設計の作用力とするため、水平加速度（|NS,EW|）の規模の区分に応じた加速度比の標準化を試行している。

なお、今次は RC 造建物の転倒を契機としたが、3 次元的に伝わる地震動は土木構造物に対しても共通である。その際、特に留意することは、水平地震動と鉛直地震動が同時に作用した構造物（杭基礎だけでなく、他の構造部位・部材も含む）の状態であり、それを問題視すべきか否かである。もし、影響があるのであれば、それは従来、見落とされている“新たな脅威”になると言える。そのため、今後、鉛直地震動の影響の有無、程度、範囲、さらに考慮が必要な条件、考慮方法（設計鉛直震度など）について検討が必要である。

本資料が、従来、設計の対象外とされてきた“鉛直地震動”に対して関心が向き、その実態解明に繋がり、さらに鉛直地震動の影響を考慮した設計法、対策に資することを期待している。

１．鉛直方向作用力に起因する転倒事例

１．１ 令和 6 年能登半島地震：地震動による七階建の RC 造建物の転倒

令和 6 年能登半島地震では、輪島市の七階建ての RC 造建物が転倒した被害が特徴である。（国研）建築研究所の現地調査 [1)]によれば、1972 年に竣工された同建物は、**写真 1.1** のとおり基礎の東側が大きく沈下し、建物は約 75°傾斜し、1 階から 5 階の床レベルまでが地盤内にめり込んでいる。しかし、地上部はほぼ原形をとどめているが、**写真 1.2** のように杭の引き抜き側とされる、西側の杭は全て杭頭がパイルキャップで破断し、そのため転倒したとされる。

写真 6.2　転倒した建物（南側から撮影）

写真 1.1　転倒による建物被害（右側が東側）[1)]

写真 6.3　引抜き側のパイルキャップと基礎梁

写真 6.4　パイルキャップ

写真 1.2　転倒による引抜き側（西側）の杭の破断 [1)]

上記の通り、第一義的には、当該 RC 造建物は、地震動の作用により杭に引抜き力が作用し、破断して、建物全体が形状を保持したまま転倒したと言える。なお、参考文献 1)を含めて、今次の現地調査報告では鉛直地震動に関しての言及は見られない。

参考文献 1）国立研究開発法人 建築研究所：令和 6 年（2024 年）能登半島地震による建築物の基礎・地盤被害に関する現地調査報告（速報），令和 6 年 2 月 14 日.

１．２ 2011 東北地方太平洋沖地震：津波浸水による建物の転倒

輪島市の RC 造建物の転倒を見た際、類似の被害として、2011 年東北地方太平洋沖地震による津波による建物の転倒被害が思い出されたため、改めて、転倒状況と原因を確認した。

国土技術政策総合研究所・建築研究所の地震被害調査報告 [2]によると、**写真 1.3** の転倒事例では、2 階建て RC 造建物（幅 10.5m×奥行 4.5m、高さ 6.1m）は、津波により杭が引き抜かれ、転倒したとされる。なお、同建物は海岸線から 110m ほど離れており、同建物が所在する町での計測浸水深は 15m とされている。

写真 6.2.3-1 建築物 東側立面　　写真 6.2.3-2 建築物 西側立面

写真 1.3　津波の浸水による RC 造建物の転倒被害 [2]

なお、調査報告 [2]では、転倒の原因を検討しており、建築物の抵抗モーメントと津波静水圧荷重による転倒モーメントを比較しているが、検討対象の建築物の場合、両モーメントの比較から、抵抗モーメントは転倒モーメントの 79%程度であり、転倒した実被害結果と整合するとしている。

ここで、注視されるのは、抵抗モーメントは「建築物重量から浮力を差し引いた鉛直荷重および杭の引抜き強度」を要因としている点である。

つまり、抵抗モーメントは津波の浸水に伴い建築物に発生する浮力により減少することを考慮している。言い換えると、浮力による抵抗の減少は荷重の増加であるため、津波の浸水による転倒には、荷重は「水平方向の津波静水圧荷重および上向きの浮力」であり、抵抗は「建築物重量および杭引抜き強度」が関係する。そして、式（3.1）の場合、建築物は転倒すると判断している。

「水平方向の津波静水圧荷重および上向きの浮力」の荷重モーメント
>「建築物重量および杭引抜き強度」の抵抗モーメント　　（3.1）

このように、津波の浸水により上向きに作用する浮力は、建築物の転倒の不安定化に関係する。

上記の津波による建築物の転倒から、類似の転倒が発生した輪島市の RC 造建物について、荷重と抵抗の要因を考察すると、津波による上向きの浮力に相当する作用として鉛直地震動の作用が推察できる。

なお、津波と地震動の違いは、浮力は上向きの作用だけであるが、鉛直地震動は上向きと下向きの両方向の作用である点である。そのため、鉛直地震動による影響は、抵抗モーメントの低下だけでなく、荷重モーメントの増加の両方になり、水平地震動の作用だけの場合よりも建築物は転倒しやすくなることが推察できる。

参考文献 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所・独立行政法人 建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国総研資料 第 674 号，建築研究所資料 第 136 号．平成 24 年 3 月．

２．鉛直地震動による転倒機構の考察

２．１　令和 6 年能登半島地震災害調査団（地盤工学会）の報告からの知見

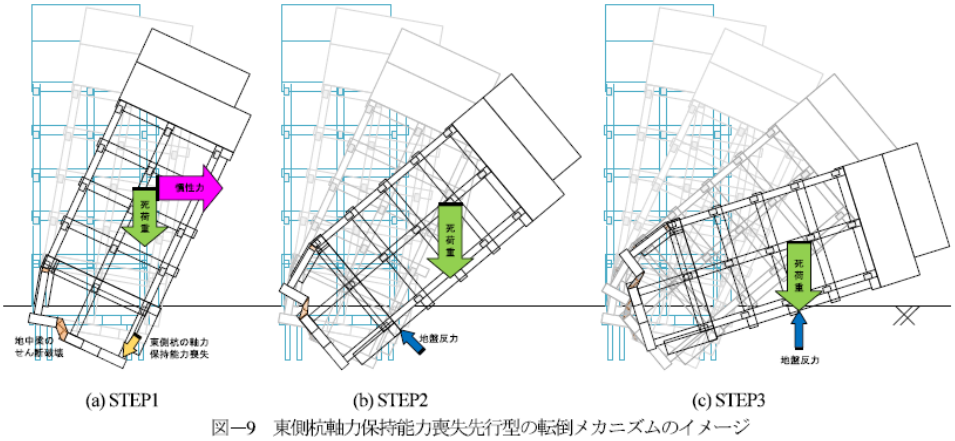
西岡ら [3]による令和 6 年能登半島地震の輪島市の RC 造建物の転倒に関する現地調査の結果では、破断が目視できる西側に対して、東側の地盤内の杭の状態は未確認であるが、「単純な引抜き側での杭頭破断だけでなく、東側の押込み側の杭の破壊、支持降伏による杭の軸力の喪失も転倒メカニズムとして重要であること」を指摘している。

そして、転倒メカニズムは**図 2.1** および**図 2.2** による 2 形態のイメージが示されている。前者は「西側杭引抜き破断先行型」と呼ばれ、東向き（図の右方向）に作用する水平地震動により、まず、西側の杭に引抜き力が先行して作用し、杭頭部が破断して浮き上がるとしている。他方、後者は、「東側杭軸力保持機能喪失先行型」と呼ばれ、東側の杭のせん断破壊、支持力不足が先行し、建物の傾斜に伴い西側の杭の破断、浮き上がるとしている。

このように、一般的には前者の転倒メカニズムが思いつくが、後者の転倒メカニズムに言及している点は特筆される。

図―8　西側杭引抜き破断先行型の転倒メカニズムのイメージ

図 2.1　「西側杭引抜き破断先行型」の転倒メカニズムのイメージ [3]



図―9　東側杭軸力保持能力喪失先行型の転倒メカニズムのイメージ

図 2.2　「東側杭軸力保持機能喪失先行型」の転倒メカニズムのイメージ [3]

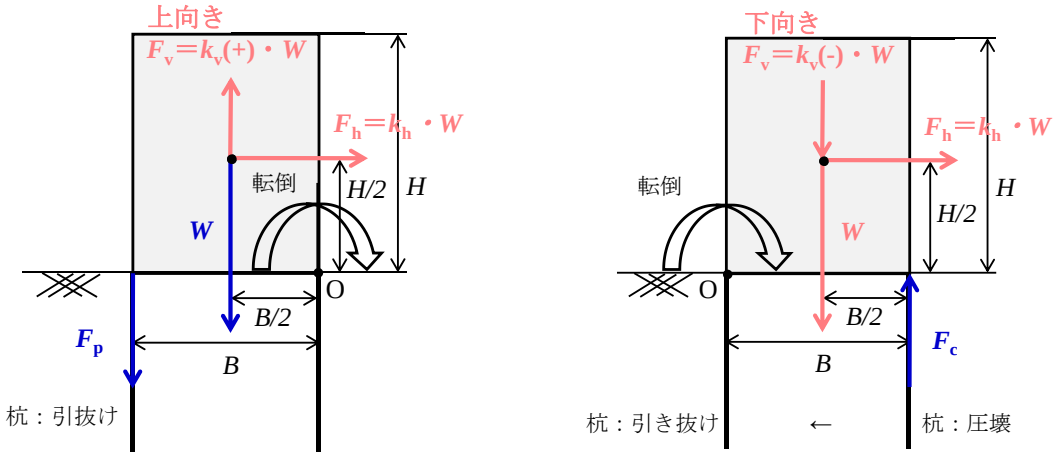
参考文献 3)　西岡英俊・原隆史・関口徹・下村修一・山栗祐樹：令和 6 年能登半島地震による杭基礎建物の転倒被害，地盤工学会誌，Vol.73，No.1，pp.35-39，2025.1.

２．２ 鉛直地震動による不安定化の 2 形態

本節では、１．２による上向きの浮力の作用の指摘および２．１の 2 つの形態の転倒メカニズムの提示に基づいて、鉛直地震動による不安定化の状態として、**図 2.3(1)**, **(2)**の 2 形態を想定する。本文では、それぞれ「上向き鉛直震度作用型」および「下向き鉛直震度作用型」と呼ぶことにするが、鉛直震度が転倒に影響する場合、そのメカニズムは下記の通りである。なお、鉛直地震動は加速度による表記が一般的であるが、**図 2.3(1)**, **(2)**では震度法を前提とした震度とする。

上向き鉛直震度動作用型：建築物の右側下端が回転中心（O）となる場合であり、抵抗モーメントは構造物重量（W）と杭の引抜き強度（F_p）により、荷重モーメントは水平地震力（F_h）と鉛直地震力（F_v）による。ここで、鉛直地震力は上向きの震度 k_v(+)が関わる。なお、k_h は水平震度であり、向きにより(+)と(-)があるが、図では荷重となる向きを想定している。この型の場合、荷重モーメントが抵抗モーメントより大きいと、左側の杭が引抜き強度を越えて、引き抜かれて転倒に至るが、上向きの鉛直地震動が影響する。

下向き鉛直震度作用型：建築物の左側下端が回転中心（O）となる場合であり、抵抗モーメントは杭の圧縮強度（F_c）だけであり、荷重モーメントは構造物重量（W）、水平地震力（F_h）、鉛直地震力（F_v）による。ここで、鉛直地震力は下向きの震度 k_v(-)が関わる。この場合、荷重モーメントが抵抗モーメントより大きいと、右側の杭が圧縮強度を越えて、圧壊し、建築物の傾斜により左側の杭が引抜かれて転倒に至るが、下向きの鉛直地震動が影響する。



(1) 上向き鉛直震度作用型の場合　　**(2)** 下向き鉛直震度作用型の場合

図 2.3　鉛直震度および水平震度による建築物の転倒メカニズム

【凡例】F_h：水平地震力、F_v：鉛直地震力、k_v(+)：鉛直震度（上向き）、k_v(-)：鉛直震度（下向き）、W：構造物重量、F_p：杭の引抜き強度、F_c：杭の圧縮強度、O：回転中心

上記の通り、鉛直地震動は上下のいずれの方向でも、荷重モーメントに関わり、転倒をし易くする作用として影響する。そのため、震度法による設計のための鉛直震度、言い換えると、鉛直加速度、さらに鉛直地震動の特性を把握することが重要となる。

なお、本文では加速度比を対象にするが、水平と鉛直の地震動の相関については、加速度比は震度比、地震動比と読み替えられるが、実務的な取り扱いに際しては工学的な判断が入る。

上記の通り、建物の転倒には鉛直地震動が関わることが推察できるが、我が国では構造物の全体系の安定性に関して、これまで鉛直地震動は設計で考慮してきていない状況にあり、令和 6 年能登半島地震は直下型地震であるにも関わらず、各種の報告において鉛直地震動は全く注目されていない。

言い換えると、土木分野でも同様であるが、地盤の揺れは 3 次元であることは体感していても、鉛直地震動は構造物全体系の設計外力作用として認識されてきてなく、何の疑いも無く、無意識に水平地震動のみを考慮してきている。なお、建築分野では、機械設備などで考慮されているようである。

そのため、鉛直地震動を構造物全体系の設計外力として考慮するか否かは、設計法の根源的な課題であり、議論が必要と思われるが、まず、鉛直地震動による構造物被害の有無の把握、認識からの取組みが必要である。

例えば、橋梁（桁）は、鉛直地震動だけでは“落橋しない”ため、橋軸方向と橋軸直交方向の水平地震動だけかつそれぞれ個別に設計で考慮しているが、水平地震動と同時に鉛直地震動が作用した場合、橋梁の全体系の他に、部位・部材の変状、損傷の形態が変わり、従来、想定していない損傷形態が発生することは想像に難くない。

上記のことから、本文では鉛直地震動と水平地震動が同時に作用している時刻、状態において、両者の相対的な作用規模の関係を把握することを目的として、**３章**において、地震動（加速度）観記録測による時刻歴データを分析することにした。

ここで、留意すべきは、時刻単位で瞬間的に発生する加速度が構造物の被害に直結するかの議論があることである。これに関しては、動的で不規則な地震動記録波形を用いた時刻歴応答解析では、最大加速度を含んで加速度の規模の変化を考慮していることになるが、静的で単一の数値に置き換えた設計震度を最大加速度に基づいて設定することは過大評価とされており、相応の規模の震度が設定（これが、前述の工学的判断）されている。

このような背景の下、本文で検討対象としている、設計震度を想定した加速度比は、時刻歴ごとの加速度に基づいており、上記と同様な議論はあるが、まず、実測加速度による加速度比について基礎的検討をする。

３．令和 6 年能登半島地震による鉛直地震動特性の検討

２章では鉛直地震動が建物の安定性に関わることを推察したが、本章では、鉛直地震動の影響の有無、程度を把握するため、鉛直地震動（あるいは鉛直加速度）と水平地震動（あるいは水平加速度）が同時に作用している時刻において、両者の相対的な規模の関係を把握することを主眼として、地震動の観測記録から（1）最大加速度および（2）加速度の時刻歴データの 2 つの視点により検討する。

３．１ 最大加速度による相対比較

2024 年 1 月 1 日の 16:10 に発生した本震による加速度記録は、（国研）防災科学研究所：NIED から公表[4]されているが、**表 3.1** は三成分加速度合成値が 200（ガル）以上であった 34 観測地点の 3 方向（N-S、E-W、U-D）の最大加速度、震央距離に基づいて[4]、水平加速度（NS、EW）に対する鉛直加速度の比（最大加速度比）を整理している。なお、最大加速度比の距離減衰は**図 3.1** となる。

表 3.1　令和 6 年能登半島地震の地震観測結果（抜粋）および最大加速度比

コード	観測地点名	最大加速度（ガル）			三成分合成値（ガル）	震央距離	最大加速度比	
		N-S	E-W	U-D		（km）	UD/NS	UD/EW
ISK006	富来	1479	2678	1142	2828	63	0.77	0.43
ISK003	輪島	1496	1120	1110	1632	34	0.74	0.99
ISK001	大谷	904	1429	674	1469	8	0.75	0.47
ISK005	穴水	1023	1146	1044	1280	44	1.02	0.91
ISKH04	富来	618	484	1202	1220	59	1.94	2.48
ISKH01	珠洲	595	748	1006	1007	4	1.69	1.34
ISK015	大町	979	926	747	1001	44	0.76	0.81
ISK002	正院	686	707	775	917	6	1.13	1.10
ISKH06	志賀	573	797	320	804	63	0.56	0.40
ISKH02	柳田	470	617	690	791	25	1.47	1.12
NIG004	小木	533	475	213	560	96	0.40	0.45
ISK008	羽咋	374	483	354	540	80	0.95	0.73
ISK007	七尾	374	359	283	459	57	0.76	0.79
TYM002	氷見	404	260	181	432	75	0.45	0.70
NIGH18	妙高	336	379	123	399	107	0.37	0.32
TYM009	八尾	377	281	156	393	102	0.41	0.56
GIF007	高根	302	302	55	353	163	0.18	0.18
TYM006	小矢部	304	304	69	318	97	0.23	0.23
NIG001	岩谷口	189	305	90	318	133	0.48	0.30
NIG003	佐和田	284	247	175	317	108	0.62	0.71
TYMH03	富山	201	165	192	289	85	0.96	1.16
ISK009	七塚	251	219	195	285	98	0.78	0.89
NIG025	直江津	263	231	82	280	92	0.31	0.35
TYM010	福光	143	256	76	263	110	0.53	0.30
ISK014	加賀	178	253	111	258	157	0.62	0.44
ISK012	鳥越	156	236	61	237	139	0.39	0.26
FKI001	三国	201	138	85	237	173	0.42	0.62
ISKH09	尾口	203	162	108	230	145	0.53	0.67
ISK010	金沢	215	163	101	224	120	0.47	0.62
NIG012	鹿瀬	196	173	81	223	196	0.41	0.47
NIG027	糸魚川	175	221	81	222	74	0.46	0.37
TYM005	新湊	174	199	88	213	83	0.51	0.44
NIGH06	加茂	161	202	74	212	160	0.46	0.37
GIF002	河合	171	204	56	208	137	0.33	0.27
＊対象観測地点は，三成分合成値200gal以上							＊赤字：1.0超	
		＊網がけ：300gal以上					＊青字：0.5～1.0	

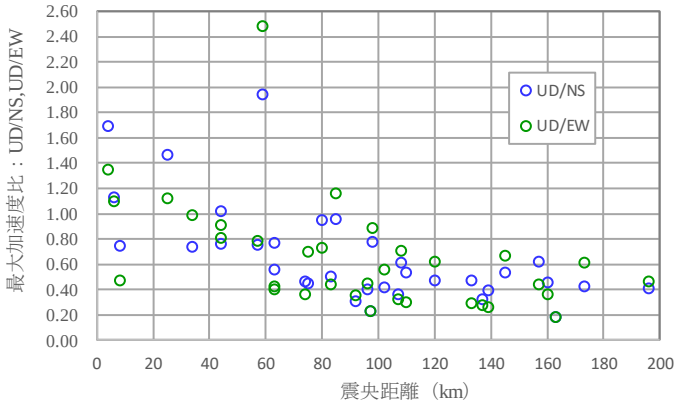


図 3.1　令和 6 年能登半島地震の最大加速度比の距離減衰

図 3.1 から、次の点が読み取れる。

(1) 震央距離が概ね 90km 以内で、最大加速度比は 1.0 以上である。

(2) 1.0 を越える最大加速度比は、富来（ISKH04）で 1.9～2.5 と突出している以外は、概ね 1.7 までである。

(3) 最大加速度比は、3 成分のそれぞれの最大値の比であり、必ずしも同時に発生している状態ではないこと、言い換えると、最大加速度比は過小評価されている点に注意が必要である。

上記の通りであるが、最大加速度比は水平加速度に対する鉛直加速度の発生規模の相対関係の比較方法の一つではあるが、設計で必要とされる、同時発生の外力作用の相対関係には直結していないため、あくまで参考値である。

参考文献 4) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所：防災科研技術研究所 強震観測網（K-NET，KiK-net），https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/（2025.1.16 閲覧）.

３．２ 加速度の時刻歴による相対比較

前節では、最大加速度比が必ずしも同時発生時の水平加速度に対する鉛直加速度の相対比較ではないため、本節では（国研）防災科学技術研究所 [4]が公表している観測加速度（K-net）の水平 2 成分（NS、EW）および鉛直 1 成分、UD の 3 成分の加速度の時刻歴データを分析する。

対象とした観測地点は、震央距離が小さい方から 4 地点、大谷（ISK001）、輪島（ISK003）、穴水（ISK005）および富来（ISK006）とした。ここで、ISK は K-NET の観測地点番号である。

公表されている観測記録は 0.01 秒ごとの加速度値であり、公表されている全記録時間は大谷、輪島、富来が 300 秒（30,000 時刻）、穴水が 280 秒（28,000 時刻）にわたる膨大なデータであるが、分析における観測値の取り扱いは、下記の通りとした。

(1) 対象とする時刻は、時刻 0 秒を起点として、主要動が収まったと判断される時刻までとする。本文では 0～90 秒までとなり、総時刻数は観測地点ごとに 9,000 時刻となる。

(2) 0.01 秒ごとの同一時刻の 3 成分間の加速度値に基づいて、水平加速度（NS、EW）に対する鉛直加速度（UD）の比（加速度比）を算出する。

(3) 鉛直加速度は、上向き方向［UD(+)］と下向き方向［UD(-)］に区分して整理する。区分したのは、**２．２**の通り、鉛直地震動の方向により構造物への作用が異なるためである。

(4) 水平加速度は、（+）方向と（-）方向があるが、鉛直加速度の影響には水平方向の区別は必要ないため、絶対値（+）にする。

まず、観測地点の大谷では、諸特性に関する幅広いデータの整理を行なうが、他の 3 観測地点では、地点間の相対比較に必要な項目だけについて整理を行う。

主な整理項目は、下記の通りである。

① NS、EW、UD のいずれかが 100gal 以上、200gal 以上、300gal 以上である 3 ケースについて、加速度比を 10 以下として、加速度比の経過時間の変化を把握する。

＊加速度比を 10 以下にしたのは、計算上、相当な規模の加速度比になる場合があるが、実務上、意味がないと判断し、第 1 段階の絞り込み条件とした。

② 300gal 以上のケースでは、さらに加速度比を 1.0 以下とし、かつ、UD が±300gal 以上の場合を除外し、加速度比の経過時間の変化を把握する。

＊加速度比を 1.0 以下としたのは、1.0 を越える水平地震動以上の鉛直地震動を対象とするのは、鉛直地震動が主体的になるため、別途の検討が必要と判断したためである。また、300gal 以上を対象としたのは、鉛直地震動を考慮するのは、全ての水平加速度ではなく、通常、設計で考慮されている水平加速度（本文では、200gal 台相当としている）を超える規模が妥当と判断したためである。言い換えると、200gal 台以下の水平加速度では鉛直地震動の影響を考慮する必要は無いと判断したためである。

③ ②について、鉛直加速度の上下の方向別に、加速度比と水平加速度の関係を把握する。

④ ③の結果から、鉛直加速度の方向別に、水平加速度の区分に応じた加速度比の標準化を試行する。さらに、鉛直加速度の両方向を集約した加速度比の標準化も試行する。

＊加速度比の標準化により、水平加速度に応じた鉛直加速度の設定が可能となる。

なお、上記の①では、NS、EW、UD のいずれかが 100gal、200gal、300gal 以上として、該当する時刻の加速度値を抽出したが、**表 3.2** は大谷の時刻 37.75～37.90 秒の加速度値のリスト例である。同表では、100gal 以上の加速度を赤字で識別しているが、100gal（200gal、300gal も同様）となる NS、EW、UD の組合せは**表 3.3** の 7 種類あり、本文では抽出した時刻ごとに分類 1～7 で分類している。

ここで、水平加速度に鉛直加速度が関係するのは、分類 1：NS＋EW＋UD、分類 3：NS＋UD、分類 4：EW＋UD であり、これらの時刻数の割合を算出している。つまり、これらの 3 分類の該当時刻数が多いほど、水平加速度（NS、EW）に UD が多く関わっていることになる。例えば、**表 3.3** の場合（大谷：100gal 以上、加速度比 10 以下）は、該当数は対象となる時刻数の 31.1%を占めている。なお、**表 3.2** の右端の欄は分類番号である。

また、**表 3.4** は観測 4 地点で或る規模の加速度（本文では 5.00gal 以上と設定）が発生、立ち上がった時刻である。同表によると、4 地点がある震央距離が 63km まででは、富来の EW、UD が他よりも遅い（たかだか 1 秒強）立ち上がりであるが、それ以外では明確な差異は認められない。これは、震源は 1 点の震央で代表されるが、実際の地震動は面的な震源断層から地震動が発震し、伝搬するためと推察する。

表 3.2　時刻ごとの所定加速度（表は 100gal）以上の抽出および分類例：大谷

時刻(s)	NS	EW	UD	分類
37.75	-147.545	335.5995	-136.9948	1
37.76	-115.6119	278.1141	36.04696	2
37.77	-53.70784	145.402	175.8173	4
37.78	6.760484	20.05814	152.1491	7
37.79	51.7893	-44.40147	25.24169	除外
37.8	61.69501	-72.89088	-71.61181	除外
37.81	63.24039	-83.29264	-151.0969	7
37.82	69.01746	-92.58878	-230.0765	7
37.83	18.92131	-65.94621	-209.9531	7
37.84	-55.18645	4.806553	-102.3907	7
37.85	-82.94419	65.20811	-41.78688	除外
37.86	-96.56741	106.4126	-20.84791	6
37.87	-114.739	131.4649	13.42142	2
37.88	-118.2838	124.2179	-6.483483	2
37.89	-121.0121	79.76904	-94.27169	5
37.9	-140.5259	24.35182	-163.9207	3

表 3.3　分類に応じた所定加速度（表は 100gal 以上、加速度比 10 以下）の該当時刻数の集計例：大谷

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	455	**13.8%**			
2	NS＋EW	697	21.2%			
3	**NS＋UD**	269	**8.2%**			
4	**EW＋UD**	299	**9.1%**	**31.1%**		
5	NS	733	22.3%			
6	EW	614	18.6%			
7	UD	226	6.9%		3,159	3,175
		3293	100.0%		総数	6,334

表 3.4　加速度が相応規模（5.00gal 以上）に達した時刻

加速度値が5.00galを越えた最初の時刻（s）				
観測地点	震央距離（km）	N-S	E-W	U-D
大谷	8	15.82	15.78	15.71
輪島	34	15.45	15.21	15.49
穴水	44	15.80	15.58	14.89
富来	63	15.40	16.42	17.00

(1) 観測地点：大谷の加速度記録

ⅰ） K-net の観測地震動：加速度履歴波形

図 3.2 は、震源に最も近い観測地点の大谷（ISK01）の加速度時刻歴図である。同図の最大加速度振幅（±）および加速度履歴データによる最大加速度の発生時刻（s）は、下記の通りである。

【NS：+903.54gal（40.27s） EW：-1429.01gal（29.64s） UD：+674.21gal（30.80s）】

最大加速度の発生は、ＥW、UD、NS の順であるが、EW と NS の時刻差は 10.63 秒である。

なお、主要動が収まるのは概ね 90s である。

また、上記の最大加速度は、方向により発生時刻が異なり、３．１で検証したような最大加速度が同時に発生することは稀と言える。

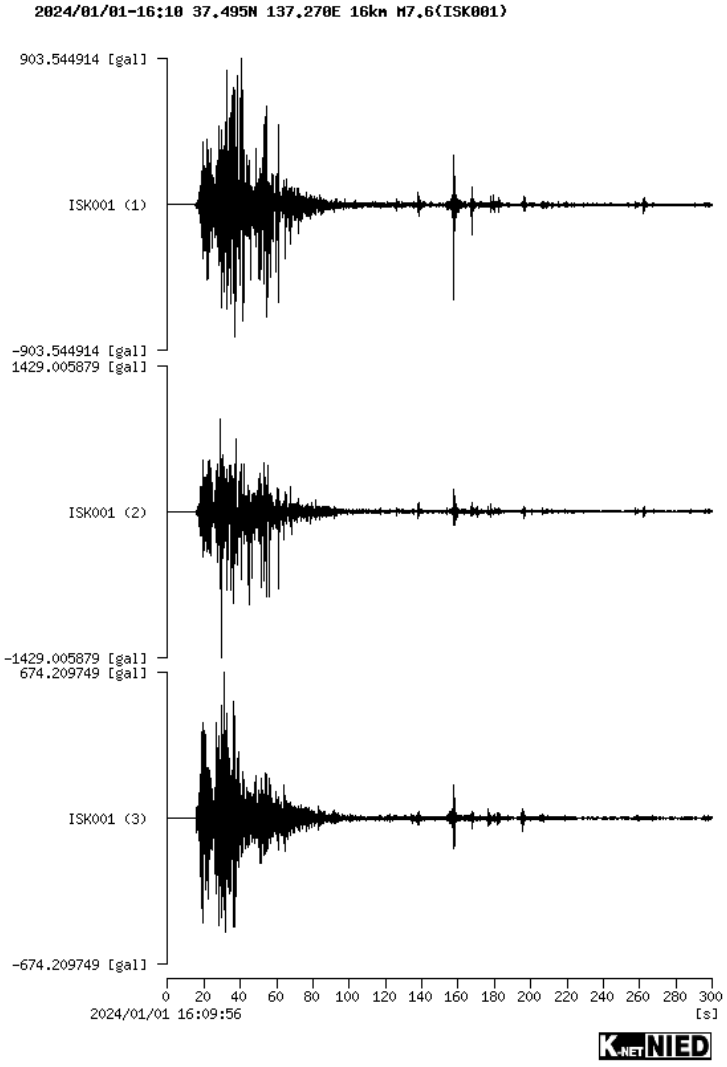


図 3.2 加速度履歴図：大谷

ⅱ） 鉛直地震動と水平地震動の相関性（1）-加速度比が無制限、10 以下の場合-

① 100gal 以上の場合

時刻 90s までの加速度履歴データから、3 成分のいずれかが 100gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 100gal 以上の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.5** の時刻 17.01s～81.69s であり 6,469 時刻である。そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3

成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.6(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 3,298 となり、残りの 3,171（=6,469 – 3,298）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 3,298 データである。

しかし、加速度比 UD/NS および UD/EW を算定すると、相当規模の比率になるものがあったため、本文の p.10 の整理項目①の通り、加速度比 10 以下に絞ることにした。その結果は**表 3.6(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 5 時刻減少し、総時刻数は 3,293 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 134 データおよび 118 データあり、除外したため、それぞれ 3,159 データおよび 3,175 データ、総数で 6,334 データを有効とした。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 6,334 データの時刻歴は**図 3.3** となる。

なお、水平加速度 NS、EW は（±）があるが、加速度比の評価には関係しないため、絶対値（+）にしている（以下、同じ）。そのため、**図 3.3** の加速度比（+）は上向きの鉛直加速度、（-）は下向きの加速度を示す（以下、同じ）。

図 3.3 によれば、主要動で加速度振幅が大きい、経過時間 20～40s では加速度比が 10 辺りまでの分布が多いが、60～70s 辺りまでも加速度比 8～10 の分布があり、加速度振幅が小さくとも加速度比は大きい傾向がある。つまり、加速度比が大きいから加速度振幅が大きいとは限らない。

表 3.5　100gal 以上の時刻数：大谷

発生	100galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	17.89	17.48	17.01
終了	73.12	81.69	64.49

表 3.6　100gal 以上の時刻数：大谷

（1）加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	455	**13.8%**			
2	NS＋EW	697	21.1%			
3	**NS＋UD**	269	**8.2%**			
4	**EW＋UD**	299	**9.1%**	**31.1%**		
5	NS	733	22.2%			
6	EW	614	18.6%			
7	UD	231	7.0%		3,298	3,298
		3298	100.0%		総数	6,596

（2）加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	455	**13.8%**			
2	NS＋EW	697	21.2%			
3	**NS＋UD**	269	**8.2%**			
4	**EW＋UD**	299	**9.1%**	**31.1%**		
5	NS	733	22.3%			
6	EW	614	18.6%			
7	UD	226	6.9%		3,159	3,175
		3293	100.0%		総数	6,334

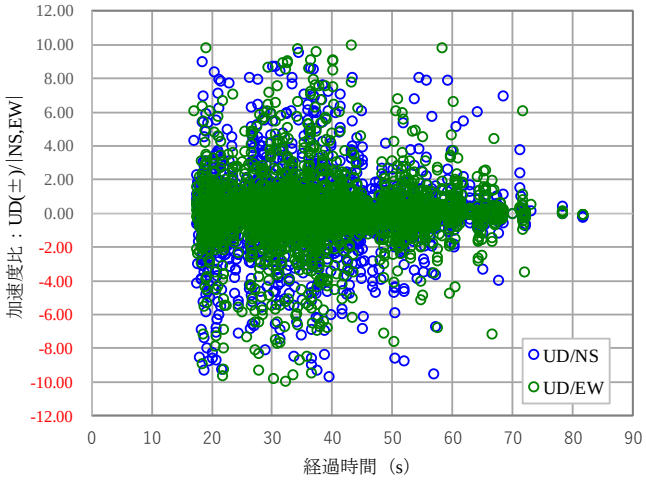


図 3.3　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［100gal 以上、加速度比 10 以下］：大谷

②　200gal 以上の場合

100gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 200gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 200gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.7** の時刻 17.96s～68.11s であり 6,016 時刻である。そのうち、いずれかが 200gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.8(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 1,579 となり、残りの 4,437（=6,016 -1,579）の時刻では 3 成分のいずれも 200gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数は、1,579 データである。

本ケースでも加速度比が 10 以下の加速度比に絞った。その結果は**表 3.8(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 3 時刻減少し、総時刻数は 1,576 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 66 データおよび 65 データあり、除外したため、それぞれ 1,510 データおよび 1,511 データ、総数で 3,021 データを有効とした。この 3,021 データは、①の 100gal 以上のケース（6,344）と比較して半分弱に減少している。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 3,021 データの時刻歴は**図 3.4** となる。

図 3.4 によれば、主要動で加速度振幅が大きい、経過時間 20～40s では加速度比が 10 辺りまでの分布が多く、50～60s 辺りでも 8～10 の加速度比の分布があるが、100gal 以上の場合と比較すると，有効データの減少もあり，加速度比の分布は絞り込まれている。

表 3.7　200gal 以上の時刻数：大谷

発生	200galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	18.83	18.08	17.96
終了	67.62	68.11	54.41

表 3.8　200gal 以上の時刻数：大谷

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	51	**3.2%**			
2	NS＋EW	267	16.9%			
3	**NS＋UD**	80	**5.1%**			
4	**EW＋UD**	68	**4.3%**	12.6%		
5	NS	498	31.5%			
6	EW	435	27.5%			
7	UD	180	11.4%		1,579	1,579
		1579	100.0%		総数	3,158

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	51	**3.2%**			
2	NS＋EW	267	16.9%			
3	**NS＋UD**	80	**5.1%**			
4	**EW＋UD**	68	**4.3%**	12.6%		
5	NS	498	31.6%			
6	EW	435	27.6%			
7	UD	177	11.2%		1,510	1,511
		1576	100.0%		総数	3,021

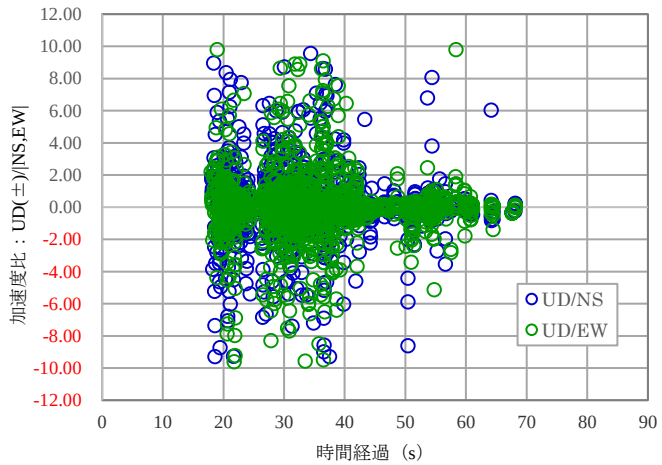


図 3.4　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［200gal 以上、加速度比 10 以下］：大谷

③ 300gal 以上の場合

200gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 300gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 100gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.9** の時刻 18.51s～64.44s であり 4,594 時刻である。そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.10(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 751 となり、残りの 3,843（=4,594 - 751）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 751 データである。

しかし、100gal 以上、200gal 以上と同様に、加速度比 UD/NS および UD/EW を算定すると、相当規模の比率になるものがあったため、加速度比 10 以下に絞ることにした。その結果は**表 3.10(2)** となり、総時刻数では分類 6 が 3 時刻、分類 7 が 2 時刻減少し、総時刻数は 749 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 34 データおよび 36 データあり、除外したため、それぞれ 715 データおよび 713 データ、総数で 1,428 を有効とした。この 1,428 データは、①の 200gal 以上のケース（3,021）と比較して半分弱に減少している。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 1,428 データの時刻歴は**図 3.5** となる。

図 3.5 によれば、100gal 以上、200gal 以上の場合は、時刻 50～70s でも加速度比が大きいが、300gal 以上では主要動で加速度振幅が大きい、経過時間 20～40s で加速度比が 10 辺りまで分布しており、発生時刻は 100gal 以上、200gal 以上の場合よりも絞り込まれている。

表 3.9　300gal 以上の時刻数：大谷

発生	300galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	19.07	19.23	18.51
終了	64.44	61.05	38.99

表 3.10　300gal 以上の時刻数：大谷

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	8	**1.1%**			
2	NS＋EW	104	13.8%			
3	**NS＋UD**	14	**1.9%**			
4	**EW＋UD**	14	**1.9%**	**4.9%**		
5	NS	301	40.1%			
6	EW	224	29.8%			
7	UD	86	11.5%		751	751
		751	100.0%		総数	1,502

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	8	**1.1%**			
2	NS＋EW	104	13.9%			
3	**NS＋UD**	14	**1.9%**			
4	**EW＋UD**	14	**1.9%**	**4.9%**		
5	NS	301	40.2%			
6	EW	224	29.9%			
7	UD	84	11.2%		715	713
		749	100.0%		総数	1,428

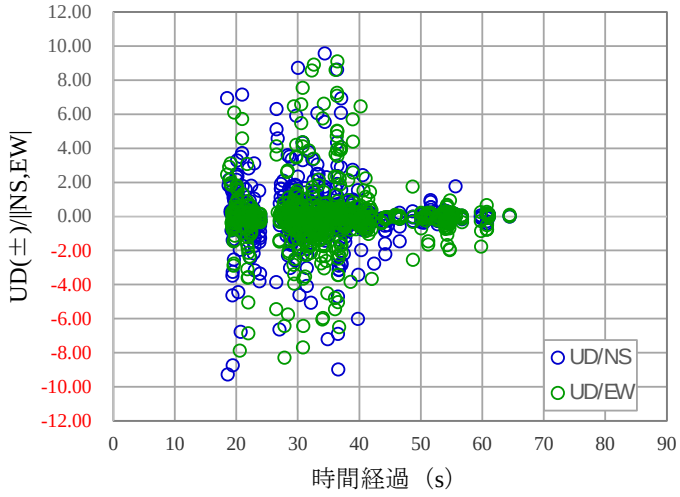


図 3.5　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 10 以下］：大谷

iii）　鉛直地震動と水平地震動の相関性（2）−加速度比 1.0 以下の場合−

300gal 以上の場合について、加速度比 10 以下について検証したが、鉛直加速度を考慮する場合であっても、鉛直加速度が水平加速度を超える想定は別途の検討が必要と判断し、第 2 段階として、加速度比 1.0 以下とした。なお、100gal、200gal、300gal の 3 ケースについて、加速度比 1.0 以下の検討をするのは大谷だけとし、他の 3 地点は 300gal のみとする。

まず、100gal 以上の場合、該当時刻数は**表 3.11** の通り 2,751 であり、データ数は NS が 2,235、EW が 2,188、総数が 4,423 である。4,423 データの加速度比の時間経過は**図 3.6** であり、加速度比が 1.0 まで分布するのは、時刻 20s 弱～60s であり、それ以降は低下している。

次に、200gal 以上の場合、該当時刻数は**表 3.12** の通り 2,751 であり、データ数は NS が 1,091、EW が 1,079、総数が 2,170 である。2,170 データの加速度比の時間経過は**図 3.7** であり、加速度比が 1.0 まで分布するのは、時刻 20s 弱～40s に集中し、時刻 50～60s でも見られるが、それ以降は低下している。

表 3.11　100gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：大谷

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	356	**12.9%**			
2	NS＋EW	697	25.3%			
3	**NS＋UD**	170	**6.2%**			
4	**EW＋UD**	182	**6.6%**	**25.7%**		
5	NS	733	26.6%			
6	EW	613	22.3%			
7	UD	0	0.0%		2,235	2,188
		2,751	100.0%		総数	4,423

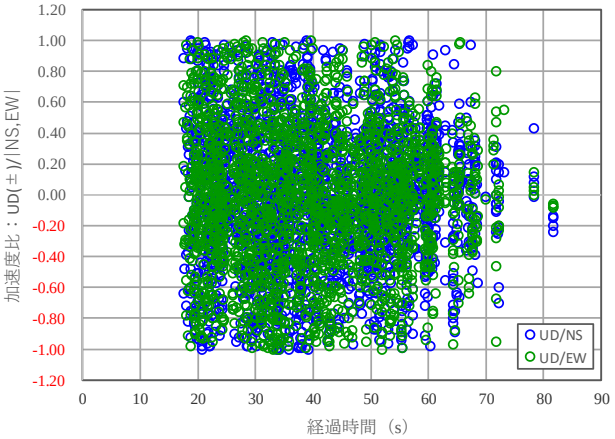


図 3.6　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［100gal 以上、加速度比 1.0 以下］：大谷

表 3.12　200gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：大谷

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	45	**3.4%**			
2	NS＋EW	270	20.4%			
3	**NS＋UD**	56	**4.2%**			
4	**EW＋UD**	45	**3.4%**	**11.0%**		
5	NS	486	36.7%			
6	EW	422	31.9%			
7	UD	0	0.0%		1,091	1,079
		1,324	100.0%		総数	2,170

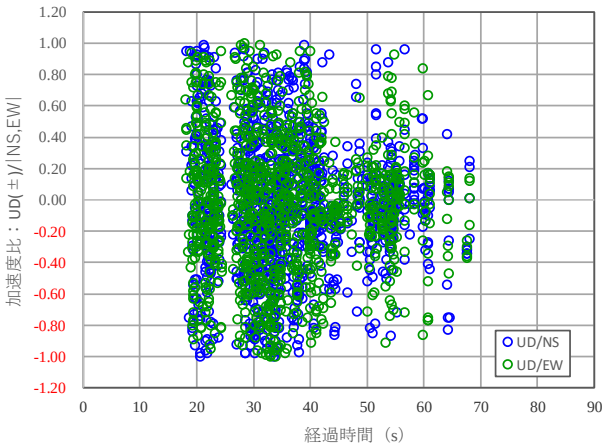


図 3.7　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［200gal 以上、加速度比 1.0 以下］：大谷

さらに、300gal については詳述するが、**表 3.13** は加速度比 1.0 以下とした結果である。**表 3.10(2)** の加速度比 10 以下の場合と比較すると、分類 1、2、3、4、5、6、7 において、それぞれ 1、0、5、6、1、1、84 の時刻数、総時刻数で 98 が減少している。ここで、特に、分類 7 の時刻数は 0 であるが、分類 7 は鉛直加速度が 300gal 以上で、水平加速度（NS、EW）が 300gal 未満の場合であるため、加速度比を 1.0 以下にすると必然的に除外される。また、UD/NS および UD/EW のデータ数はそれぞれ 160、159 が減少し、有効データ数はそれぞれ 555 および 554、総数で 1,109 データである。

有効データ数 1,054 による加速度比の時間変化は**図 3.8** となる。同図によれば、加速度比が 1.0 辺りまでの分布は、20s 弱～40s および 50～60s 秒辺りとなり、200gal 以上の場合と比較して絞り込まれている。

表 3.13　300gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：大谷

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	7	**1.1%**			
2	NS＋EW	104	16.0%			
3	**NS＋UD**	9	**1.4%**			
4	**EW＋UD**	8	**1.2%**	**3.7%**		
5	NS	300	46.1%			
6	EW	223	34.3%			
7	UD	0	0.0%		555	554
		651	100.0%		総数	1,109

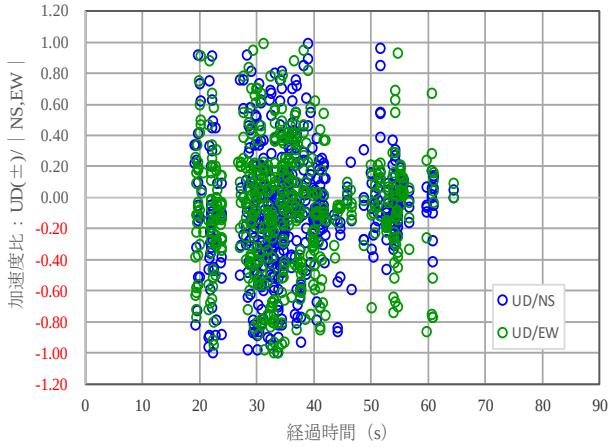
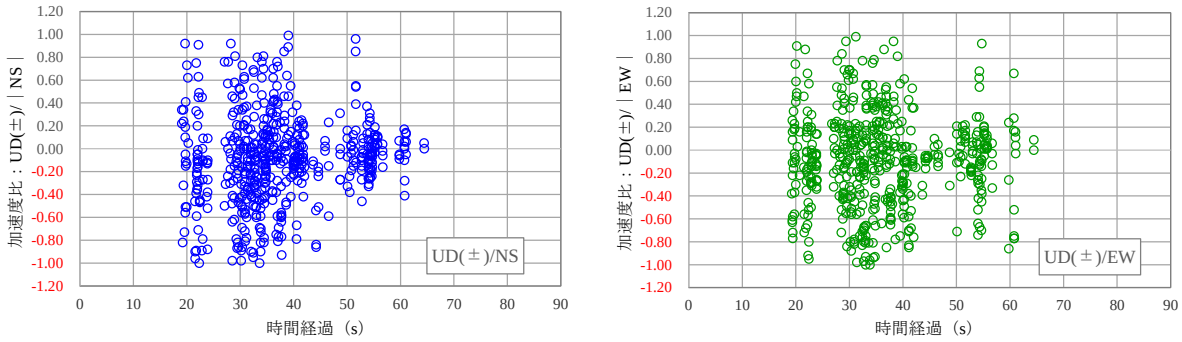


図 3.8　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 1.0 以下］：大谷

また、**図 3.9** は水平地震動の NS、EW の方向別の加速度比の時刻歴であるが、特には方向別のは見られない。



(1)　NS 方向　　(2)　EW 方向

図 3.9　水平加速度の方向別の加速度比の時刻歴［300gal 以上、加速度比 1.0 以下］：大谷

次に、水平加速度と加速度比を比較する。その際、建物の不安定化に関わる鉛直加速度は、上向きと下向きで区別が必要であるので、水平地震動に対する上向き鉛直加速度（+）と下向き鉛直加速度（-）に区分して、**iii**）の 300gal 以上、加速度比 1.0 以下の結果（1,109 データ）に基づいて、水平加速度に対する鉛直加速度の加速度比の関係を算出した。

【UD(+)：上向きの場合】

上向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 448 データ（NS：214、EW：234）であり、両者の関係は**図 3.10** となる。図のように水平加速度の区分を行い、区分内の加速度比の平均とそれに基づく、水平加速度が 300gal 以上で加速度比の標準化をしている。300gal 以上としたのは、本文の p.10 の整理項目②による。

図 3.10 によれば、水平加速度が大きい領域（例えば、500gal 以上）ではデータが少ないが、水平加速度が増加すると、上向きの鉛直地震動による加速度比（+）が低減する傾向がある。

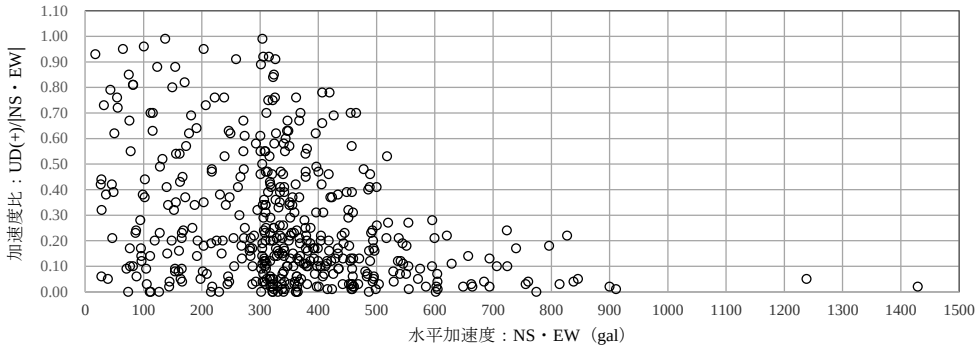


図 3.10　水平加速度と上向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：大谷

【UD(-)：下向きの場合】

下向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 661 データ（NS：341、EW：320）であり、両者の関係は**図 3.11** となる。水平加速度の区分ごとの加速度比の平均および標準化を示す。

図 3.11 によれば、水平加速度が増加すると、下向きの鉛直地震動による加速度比（-）の絶対値が低減する傾向がある。

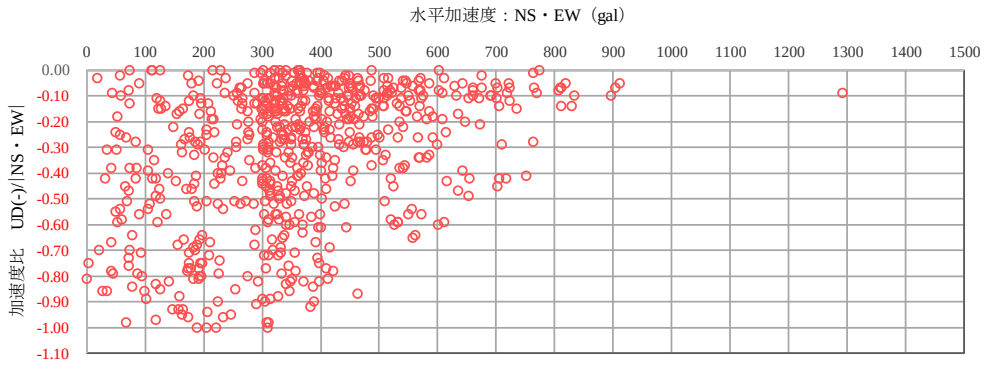


図 3.11　水平加速度と下向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：大谷

(2) 観測地点：輪島の加速度記録

ⅰ） K-net の観測地震動：加速度履歴波形

図 3.12 は、震央距離 34km の観測地点の輪島（ISK03）の加速度時刻歴図である。同図の最大加速度震幅（±）および加速度履歴データによる最大加速度の発生時刻（s）は、下記の通りである。

【NS：+1496.04gal（34.77s） EW：-1119.65gal（33.52s） UD：+1109.84gal（33.06s）】

最大加速度の発生は、UD、EW、NS の順であるが、1.71 秒の時間差であり、大谷よりも短く、同時ではないが、短時間で発生している。

なお、主要動が収まるのは概ね 90s である。

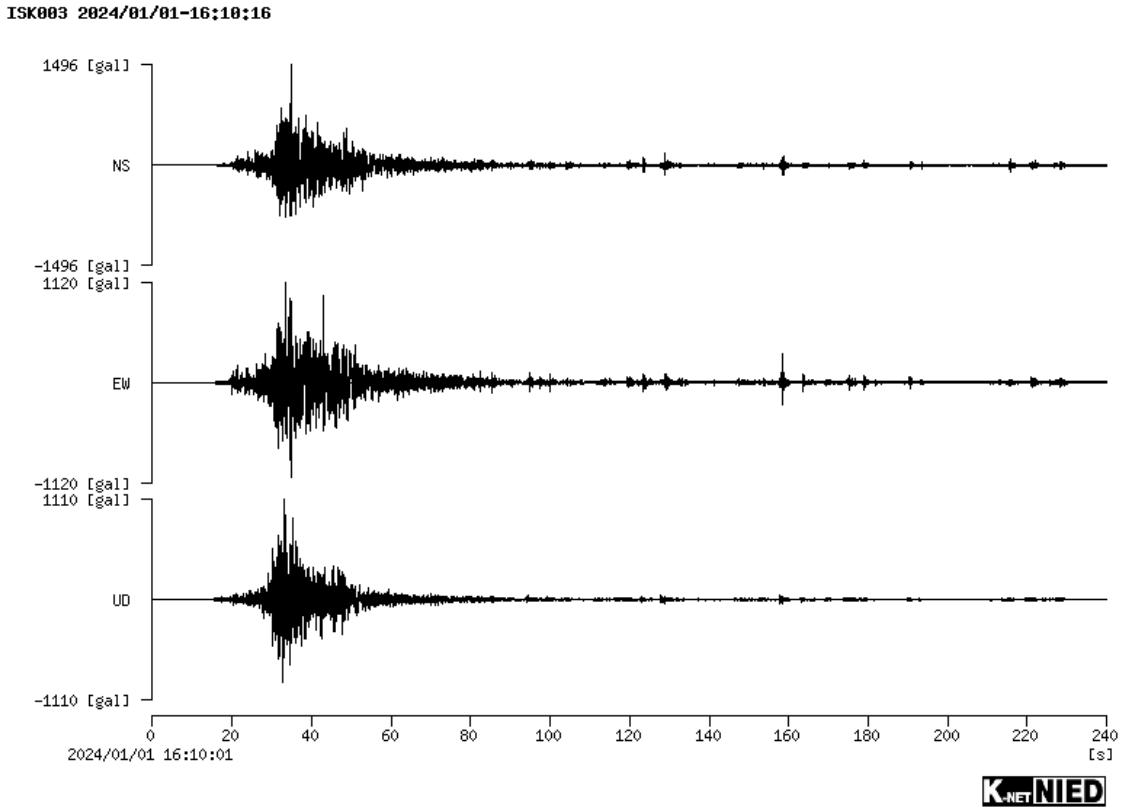


図 3.12 加速度履歴図：輪島

ⅱ） 鉛直地震動と水平地震動の相関性（1）-加速度比が無制限、10 以下の場合-

① 100gal 以上の場合

時刻 90s までの加速度履歴データから、3 成分のいずれかが 100gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 100gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.14** の時刻 19.89s～82.34s であり 6,246 時刻である。そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.15(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 2,823 となり、残りの 3,423（=6,246 – 2,823）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 2,823 データである。

しかし、大谷と同様に（以下、穴水、富来も同様）加速度比 UD/NS および UD/EW を算定すると、相当規模の比率になるものがあったため、加速度比が 10 以下の加速度比に絞ることにした。その結果は**表 3.15(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 3 時刻減少し、総時刻数は 2,820 となっ

たが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 101 データおよび 94 データあり、除外したため、それぞれ 2,719 データおよび 2,726 データ、総数で 5,445 データを有効とした。

表 3.14　100gal 以上の時刻数：輪島

発生	100galの発生時刻範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	21.47	19.89	26.58
終了	73.03	82.34	59.44

表 3.15　100gal 以上の時刻数：輪島

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	537	**19.0%**			
2	NS＋EW	517	18.3%			
3	**NS＋UD**	239	**8.5%**			
4	**EW＋UD**	264	**9.4%**	**36.9%**		
5	NS	567	20.1%			
6	EW	566	20.0%			
7	UD	133	4.7%		2,823	2,823
		2823	100.0%		総数	5,646

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	537	**19.0%**			
2	NS＋EW	517	18.3%			
3	**NS＋UD**	239	**8.5%**			
4	**EW＋UD**	264	**9.4%**	**36.9%**		
5	NS	567	20.1%			
6	EW	566	20.1%			
7	UD	130	4.6%		2,719	2,726
		2820	100.0%		総数	5,445

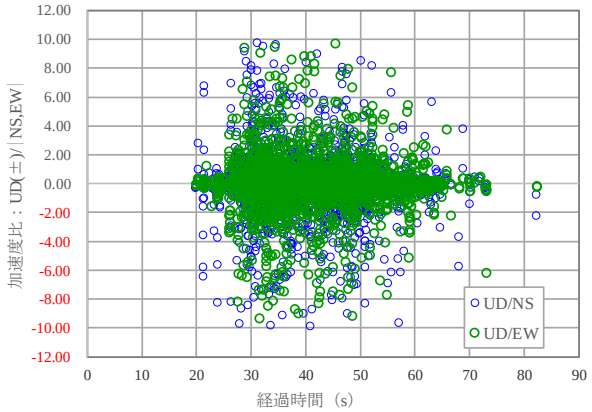


図 3.13　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［100gal 以上、加速度比 10 以下］：輪島

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 5,445 データの時刻歴は**図 3.13** となる。 **図 3.13** によれば、主要動で加速度振幅が大きい、経過時間 30～50s では加速度比が 10 辺りまでの分布が多いが、60 秒辺りまでも 8 程度までの加速度比の分布がある。それぞれ、大谷の場合は 20～40s、60～70s であったが、10 ほど時刻が遅くなり 30～60s でまとまった分布である。ここで、遅い理由は、震源から離れているためであり、まとまったのは伝搬に伴い平準化したと推測する。

② 200gal 以上の場合

100gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 200gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 200gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.16** の時刻 25.96s～61.73s であり 3,578 時刻である。そのうち、いずれかが 200gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.17(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 1,557 となり、残りの 2,021（=3,578－1,557）の時刻では 3 成分のいずれも 200gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数は、1,557 データである。

さらに、加速度比が 10 以下の加速度比に絞ると**表 3.17(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 2 時刻減少し、総時刻数は 1,555 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがいずれも 64 データあり、除外したため、いずれも 1,491 データとなり、総数で 2,982 データを有効とした。この 2,982 データは、①の 100gal 以上のケース（5,445）と比較して半分強に減少している。

以上により、抽出した UD/NS と UD/EW の 2,982 データの時刻歴は**図 3.14** となる。**図 3.14** によれば、主要動で加速度振幅が大きい、加速度比が 10 辺りまでの分布が卓越するのは、経過時間 30～50s となり、100gal の場合よりも時刻帯が絞られている。100gal から 200gal 以上に絞り込んだために当然であるが、言い換えると、加速度振幅が大きい領域では加速度比が大きいことになる。

表 3.16　200gal 以上の時刻数：輪島

発生	200galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	25.96	27.73	29.21
終了	53.50	61.73	49.30

表 3.17　200gal 以上の時刻数：輪島

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	115	**7.4%**			
2	NS＋EW	243	15.6%			
3	**NS＋UD**	113	**7.3%**			
4	**EW＋UD**	118	**7.6%**	**22.3%**		
5	NS	410	26.3%			
6	EW	435	27.9%			
7	UD	123	7.9%		1,557	1,557
		1557	100.0%		総数	3,114

表 3.17　つづき　　**(2)** 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	115	**7.4%**			
2	NS＋EW	243	15.6%			
3	**NS＋UD**	113	**7.3%**			
4	**EW＋UD**	118	**7.6%**	**22.3%**		
5	NS	410	26.4%			
6	EW	435	28.0%			
7	UD	121	7.8%		1,491	1,491
		1555	100.0%		総数	2,982

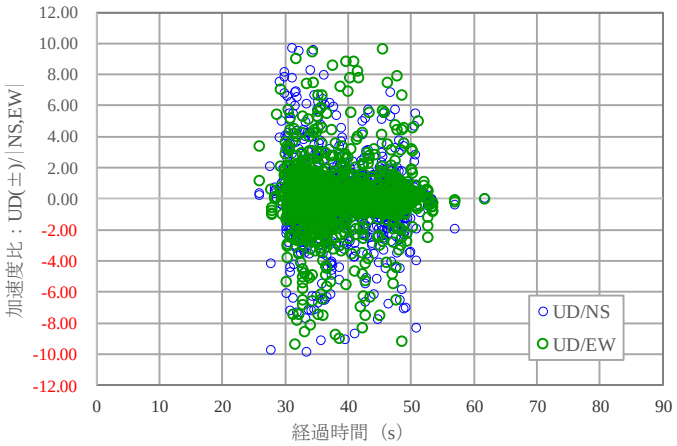


図 3.14　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［200gal 以上、加速度比 10 以下］：輪島

③ 300gal 以上の場合

200gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 300gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 300gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.18** の時刻 28.42s～52.74s であり 2,433 時刻である。そのうち、いずれかが 300gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.19(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 872 となり、残りの 1,561（=2,433 - 872）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 872 データである。

次に、100gal 以上、200gal 以上と同様に、加速度比が 10 以下の加速度比に絞ることにした。その結果は**表 3.19(2)**となり、総時刻数では分類 7 が 1 時刻減少し、総時刻数は 871 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 34 データおよび 41 データあり、除外したため、それぞれ 837 データおよび 830 データ、総数で 1,667 を有効とした。この 1,667 データは、②の 200gal 以上のケース（2,982）と比較して半分強に減少している。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 1,667 データの時刻歴は**図 3.15** となる。**図 3.15** によれば、加速度比が 10 辺りまでの分布が卓越するのは、200gal の場合の経過時間 30～50s の時刻帯の中で最大加速度の発生時刻（33～35s 辺り）に絞られている。

表 3.18　300gal 以上の時刻数：輪島

発生	300galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	30.23	28.42	30.02
終了	52.74	50.88	47.86

表 3.19　300gal 以上の時刻数：輪島

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	24	**2.8%**			
2	NS＋EW	113	13.0%			
3	**NS＋UD**	38	**4.4%**			
4	**EW＋UD**	43	**4.9%**	**12.1%**		
5	NS	278	31.9%			
6	EW	268	30.7%			
7	UD	108	12.4%		872	872
		872	100.0%		総数	1,744

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	24	**2.8%**			
2	NS＋EW	113	13.0%			
3	**NS＋UD**	38	**4.4%**			
4	**EW＋UD**	43	**4.9%**	**12.1%**		
5	NS	278	31.9%			
6	EW	268	30.8%			
7	UD	107	12.3%		837	830
		871	100.0%		総数	1,667

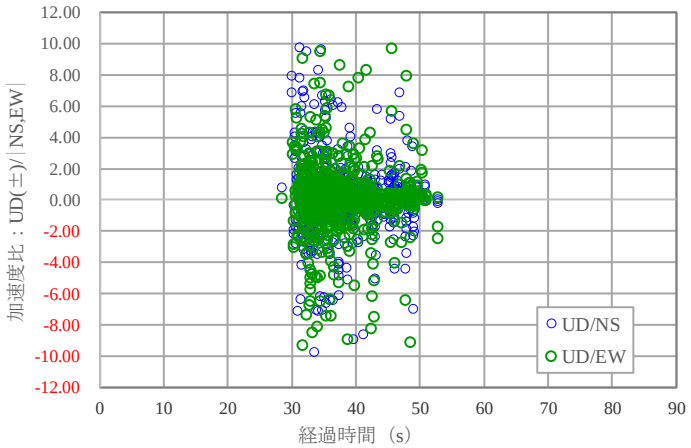


図 3.15　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 10 以下］：輪島

iii）　鉛直地震動と水平地震動の相関性（2）−加速度比 1.0 以下の場合−

300gal 以上の場合について、加速度比 1.0 以下とした。**表 3.20** は加速度比 1.0 以下とした結果であるが、**表 3.19(2)**の加速度比 10 以下の場合（総時刻数 871）と比較すると、分類 1、2、3、4、5、6、7 において、それぞれ 7、0、14、23、0、1、107 の時刻数が減少し、総時刻数は 152 減じて、

719 となる。また、UD/NS および UD/EW のデータ数はそれぞれ 254、270 が減少し、有効データ数はそれぞれ 583 および 560、総数で 1,143 データとなる。

有効データ数 1,143 による加速度比の時間変化は**図 3.16** となる。**図 3.15** の加速度比 10 以下では、加速度比が 10 辺りまでの分布は経過時間 30～50s 辺りにまとまっているが、加速度比 1.0 以下の場合でも同様な傾向である。

なお、大谷で検討した、水平地震動の NS、EW の方向別の加速度比の時刻歴（**図 3.9**）については、方向別の差異は見られないため、割愛する。

表 3.20　300gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：輪島

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	17	**2.4%**			
2	NS＋EW	113	15.7%			
3	**NS＋UD**	24	**3.3%**			
4	**EW＋UD**	20	**2.8%**	**8.5%**		
5	NS	278	38.7%			
6	EW	267	37.1%			
7	UD	0	0.0%		583	560
		719	100.0%		総数	1,143

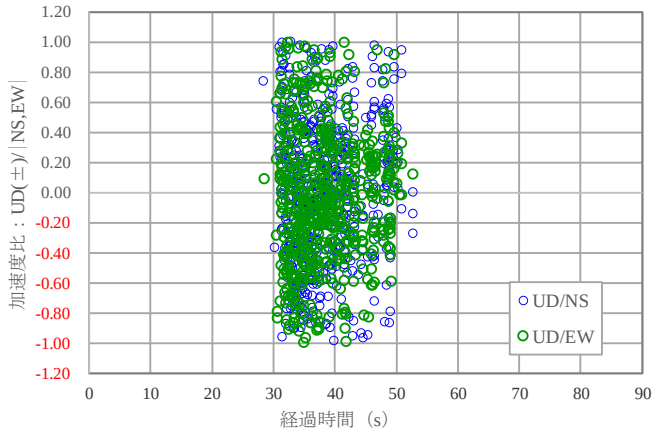


図 3.16　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 1.0 以下］：輪島

次に、**図 3.16** の 300gal 以上、加速度比 1.0 以下の結果（1,143 データ）について、水平地震動（NS、EW：絶対値）に対する鉛直加速度（±）の加速度比の関係を算出した。

【UD(+)：上向きの場合】

上向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 553 データ（NS：286、EW：267）である。両者の関係は**図 3.17** となる。**図 3.17** によれば、水平加速度が増加すると、上向きの鉛直地震動による加速度比が低減することが分かる。

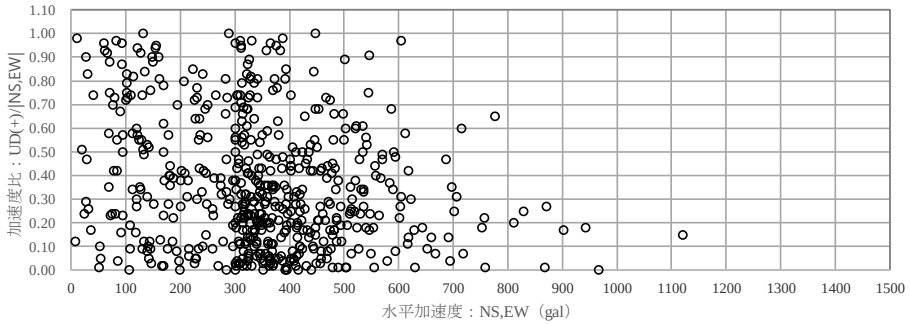


図 3.17　水平加速度と上向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：輪島

【UD(-)：下向きの場合】

下向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 590 データ（NS：297、EW：293）である。両者の関係は**図 3.18** となるが、水平加速度が増加すると、下向きの鉛直地震動による加速度比は低減することが分かる。

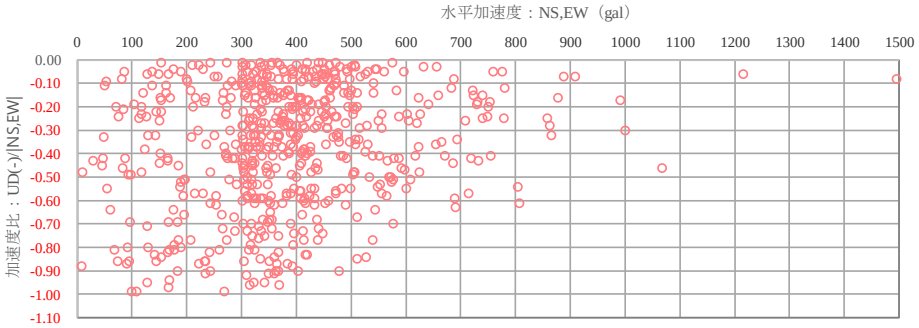


図 3.18　水平加速度と下向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：輪島

(3) 観測地点：穴水の加速度記録

ⅰ） K-net の観測地震動：加速度履歴波形

図 3.19 は、震央距離 44km の観測地点の穴水（ISK05）の加速度時刻歴図である。同図の最大加速度震幅（±）および加速度履歴データによる最大加速度の発生時刻（s）は、下記の通りである。

【NS：-1022.90gal（47.16s） EW：+1145.74gal（44.22s） UD：+1043.59gal（42.75s）】

最大加速度の発生は、UD、EW、NS の順であり、輪島と同じであるが、発生時刻の差は 4.41 秒であり輪島（1.71 秒）より長く、発生時刻は輪島（33.06～34.77s）よりも遅い。

なお、主要動が収まるのは概ね 90s である。

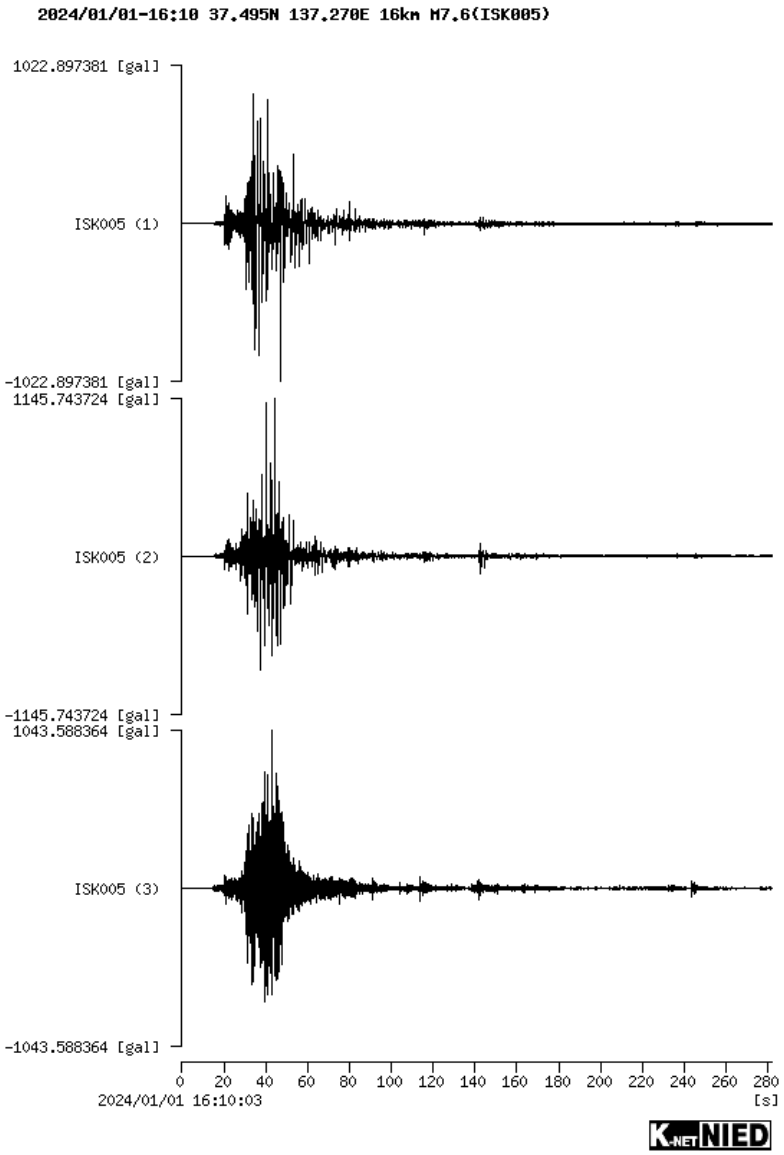


図 3.19 加速度履歴図：穴水

ⅱ） 鉛直地震動と水平地震動の相関性（1）-加速度比が無制限、10 以下の場合-

① 100gal 以上の場合

時刻 90s までの加速度履歴データから、3 成分のいずれかが 100gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 100gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.21** の時刻

20.47s～82.77s であり 6,232 時刻である。そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.22(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 2,245 となり、残りの 3,987（=6,232 – 2,245）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 2,245 データである。

しかし、大谷、輪島と同様に加速度比が 10 以下の加速度比に絞ることにした。その結果は**表 3.22(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 42 時刻減少し、総時刻数は 2,203 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 244 データおよび 225 データあり、除外したため、それぞれ 2,001 データおよび 2,020 データ、総数で 4,021 データを有効とした。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 4,021 データの時刻歴は**図 3.20** となる。 **図 3.20** によれば、主要動の前の、20s 付近で加速度比が 10 となる時間帯があるが、加速度振幅が大きい、経過時間 30～60s において加速度比が 10 辺りまでの分布が多い。輪島と同様に、30～60s でまとまった分布になっている。

表 3.21　100gal 以上の時刻数：穴水

発生	100galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	20.47	21.97	28.09
終了	82.77	67.06	61.38

表 3.22　100gal 以上の時刻数：穴水

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	397	**17.7%**			
2	NS＋EW	254	11.3%			
3	**NS＋UD**	208	**9.3%**			
4	**EW＋UD**	313	**13.9%**	**40.9%**		
5	NS	378	16.8%			
6	EW	277	12.3%			
7	UD	418	18.6%		2,245	2,245
		2245	100.0%		総数	4,490

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	397	**18.0%**			
2	NS＋EW	254	11.5%			
3	**NS＋UD**	208	**9.4%**			
4	**EW＋UD**	313	**14.2%**	**40.9%**		
5	NS	378	17.2%			
6	EW	277	12.6%			
7	UD	376	17.1%		2,001	2,020
		2203	100.0%		総数	4,021

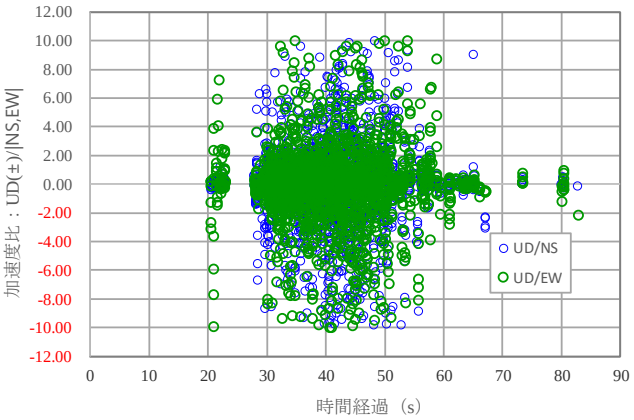


図 3.20　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［100gal 以上、加速度比 10 以下］：穴水

② 200gal 以上の場合

100gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 200gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 200gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.23** の時刻 30.44s～60.99s であり 3,056 時刻である。そのうち、いずれかが 200gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.24(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 1,238 となり、残りの 1,818（=3,056－1,238）の時刻では 3 成分のいずれも 200gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数は、1,238 データである。

さらに、加速度比が 10 以下の加速度比に絞ると**表 3.24(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 54 時刻減少し、総時刻数は 1,184 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものが NS で 153 データ、EW で 120 データあり、除外したため、NS が 1,085 データ、EW が 1,118 データとなり、総数で 2,203 データを有効とした。この 2,203 データは、①の 100gal 以上のケース（4,021）と比較して半分強に減少している。

表 3.23　200gal 以上の時刻数：穴水

発生	200galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	30.81	30.44	30.64
終了	60.99	53.10	53.37

表 3.24　200gal 以上の時刻数（加速度比 1.0 以下）：穴水

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	77	**6.2%**			
2	NS＋EW	140	11.3%			
3	**NS＋UD**	109	**8.8%**			
4	**EW＋UD**	131	**10.6%**	**25.6%**		
5	NS	216	17.4%			
6	EW	222	17.9%			
7	UD	343	27.7%		1,238	1,238
		1238	100.0%		総数	2,476

表 3.24 つづき　　**(2)** 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	77	**6.5%**			
2	NS＋EW	140	11.8%			
3	**NS＋UD**	109	**9.2%**			
4	**EW＋UD**	131	**11.1%**	**26.8%**		
5	NS	216	18.2%			
6	EW	222	18.8%			
7	UD	289	24.4%		1,085	1,118
		1184	100.0%		総数	2,203

以上により抽出した UD/NS と UD/EW の 2,203 データの時刻歴は**図 3.21** となる。**図 3.19** によれば、100gal で見られた 20s 付近の加速度比 10 辺りの分布は無くなり、さらに、主要動で加速度振幅が大きいのは経過時間 30～50s となり、100gal の場合（30～60s）よりも時刻帯が絞られている。

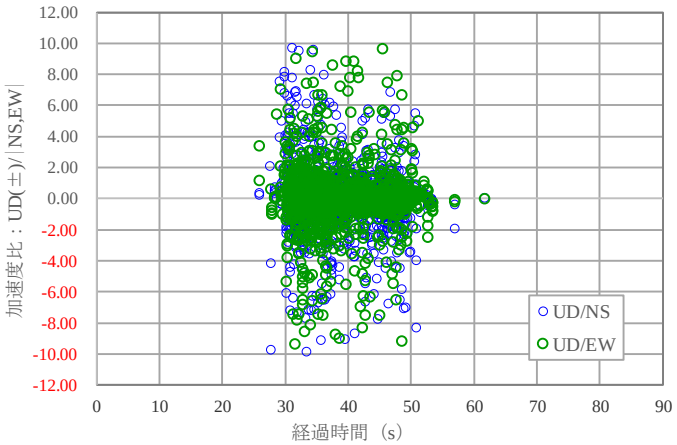


図 3.21　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［200gal 以上、加速度比 10 以下］：穴水

③ 300gal 以上の場合

200gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 300gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 300gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.25** の時刻 30.84s～53.08s であり 2,225 時刻である。そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.26(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 735 となり、残りの 1,490（=2,225 - 735）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 735 データである。

ここで、加速度比 10 以下に絞ったその結果は**表 3.26(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 23 時刻減少し、総時刻数は 712 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 99 データおよび 74 データあり、除外したため、それぞれ 636 データおよび 661 データ、総数で 1,297 データを有効とした。この 1,297 データは、①の 200gal 以上のケース（2,203）と比較して半分強に減少している。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 1,251 データの時刻歴は**図 3.22** となる。**図 3.22** によれば、加速度比が 10 辺りまでの分布が卓越するのは、200gal の場合の経過時間 30～50s において、さらに時刻帯が絞られており、最大加速度の発生時刻（42～47S）の付近が特に多い。

表 3.25　300gal 以上の時刻数：穴水

発生	300galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	30.84	31.2	30.84
終了	53.08	51.86	48.96

表 3.26　300gal 以上の時刻数：穴水

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	9	**1.2%**			
2	NS＋EW	61	8.3%			
3	**NS＋UD**	31	**4.2%**			
4	**EW＋UD**	48	**6.5%**	**11.9%**		
5	NS	155	21.1%			
6	EW	177	24.1%			
7	UD	254	34.6%		735	735
		735	100.0%		総数	1,470

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	9	**1.3%**			
2	NS＋EW	61	8.6%			
3	**NS＋UD**	31	**4.4%**			
4	**EW＋UD**	48	**6.7%**	**12.4%**		
5	NS	155	21.8%			
6	EW	177	24.9%			
7	UD	231	32.4%		636	661
		712	100.0%		総数	1,297

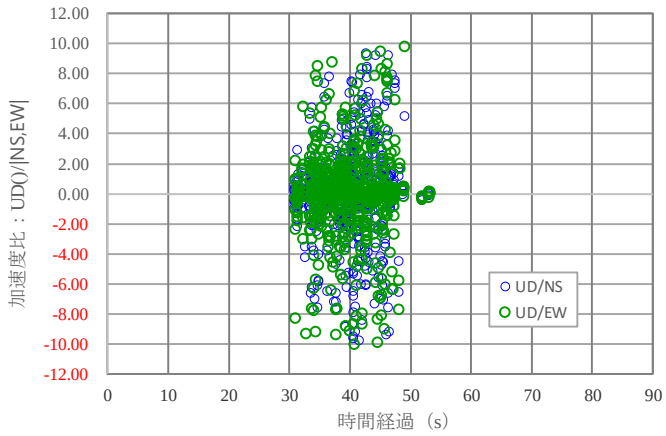


図 3.22　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 10 以下］：穴水

iii）　鉛直地震動と水平地震動の相関性（2）−加速度比 1.0 以下の場合−

300gal 以上の場合について、大谷、輪島の場合と同様に加速度比 1.0 以下とした。**表 3.27** は加速度比 1.0 以下とした結果であるが、**表 3.26(2)**の加速度比 10 以下の場合（総時刻数 712）と比較

すると、分類 1、2、3、4、5、6、7 において、それぞれ 1、0、11、17、0、0，231 の時刻数が減少し、総時刻数は 260 減じて、452 となる。また、UD/NS および UD/EW のデータ数はそれぞれ 308、296 が減少し、有効データ数はそれぞれ 328 および 365、総数で 693 データとなった。

有効データ数 693 による加速度比の時間変化は**図 3.23** となる。加速度比 1.0 以下においても、**図 3.22** の加速度比 10 以下と同様に、加速度比が 1.0 辺りまでの分布は経過時間 30～50s 辺りにまとまっている。なお、加速度比 10 以下と異なり、最大加速度の発生時刻の前（30～40s）でも大きい分布がある。

なお、大谷で検討した、水平地震動の NS、EW の方向別の加速度比の時刻歴については、輪島と同様に、方向別の差異は見られないため、割愛する。

表 3.27　300gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：穴水

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	8	**1.8%**			
2	NS＋EW	61	13.5%			
3	**NS＋UD**	20	**4.4%**			
4	**EW＋UD**	31	**6.9%**	**13.1%**		
5	NS	155	34.3%			
6	EW	177	39.2%			
7	UD	0	0.0%		328	365
		452	100.0%		総数	693

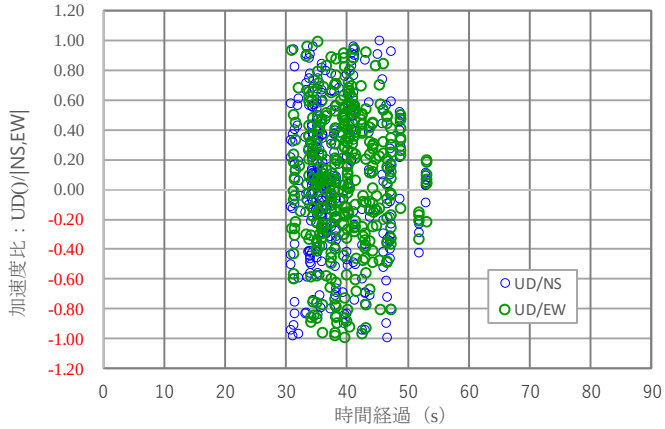


図 3.23　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 1.0 以下］：穴水

次に、**図 3.23** の 300gal 以上、加速度比 1.0 以下の結果（693 データ）について、水平地震動（NS、EW：絶対値）に対する鉛直加速度（±）の加速度比の関係を算出した。

【UD(+)：上向きの場合】

上向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 390 データであり、NS が 185 データ、EW が 205 データである。両者の関係は**図 3.24** となる。**図 3.24** によれば、大谷、輪島と同様に、水平加速度が増加すると、上向きの鉛直加速度の加速度比が低減することが分かる。しかし、穴水の場合、水平加速度が 300～600gal、さらに、特に 800gal 以上での加速度比が大きく、他の観測地点と異なる特徴がある。これは、観測地点の地盤条件に関係すると推察される。

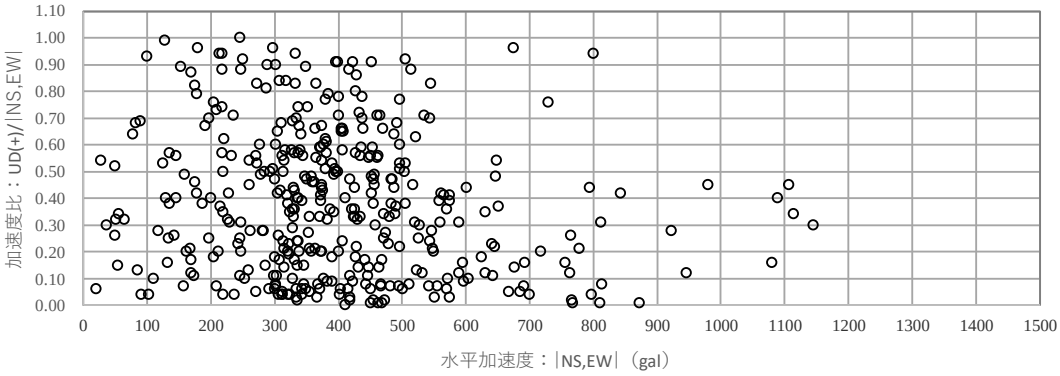


図 3.24　水平加速度と上向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：穴水

【UD(-)：下向きの場合】

下向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 303 データであり、NS が 148 データ、EW が 155 である。両者の関係は**図 3.25** となるが、水平加速度が増加すると、下向きの鉛直加速度の加速度比は低減することが分かる。なお、上向きの場合と異なり、加速度比は大谷、輪島と、ほぼ同レベルである。

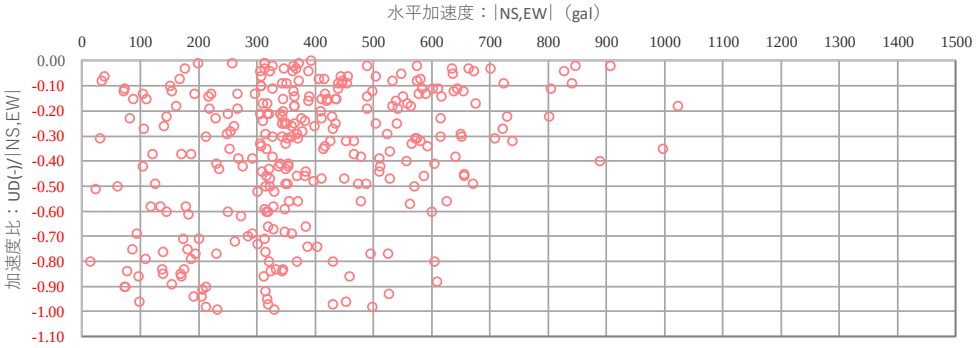


図 3.25　水平加速度と下向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：穴水

(4) 観測地点：富来の加速度記録

ⅰ） K-net の観測地震動：加速度履歴波形

図 3.26 は、4 つの観測地点のうちで震源から最も遠い（震央距離 63km）観測地点の富来（ISK06）の加速度時刻歴図である。同図の最大加速度震幅（±）および加速度履歴データによる最大加速度の発生時刻（s）は、下記の通りであるが、震央から遠いにも関わらず、4 観測地点で最大加速度（EW）が観測されている。

【NS：+1479.18gal（46.24s） EW：-2678.22gal（46.37s） UD：+1141.72gal（46.23s）】

なお、最大加速度の発生は、UD、NS、EW の順であるが、UD と EW の時間差は 0.14 秒であり、ほぼ同時刻で発生している。この場合、データの記録時刻の間隔は 0.01 秒であるため、0.01 秒の間では、加速度値が同値になる可能性は否定できないと推察する。言い換えると、同時発生は極めて稀ではあるが、全く無いとは言えない。

なお、主要動が収まるのは概ね 90s である。

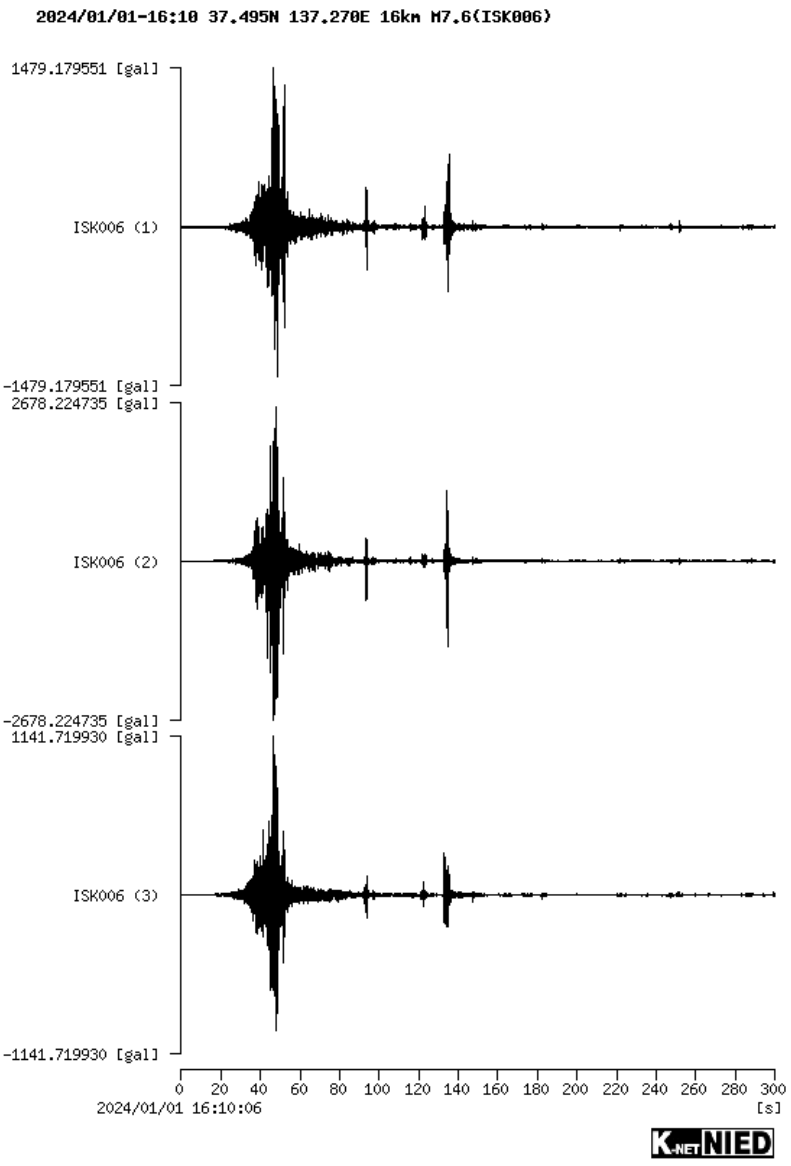


図 3.26 加速度履歴図：富来

ⅱ） 鉛直地震動と水平地震動の相関性（1）-加速度比が無制限、10 以下の場合-

① 100gal 以上の場合

時刻 90s までの加速度履歴データから、3 成分のいずれかが 100gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 100gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.28** の時刻 34.16s～75.43s であり 4,128 時刻である。ここで、注目されるのは、100gal の開始時刻は、NS、EW、UD のいずれも 34s 台にあり、発生時刻の差は 0.73 秒であり、最大加速度の発生時刻（46s 台）と同様に、ほぼ同時に発生している。

そのうち、いずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.29(1)**になる。同表のように選定された総時刻数は 2,083 となり、残りの 2,045（=4,128－2,083）の時刻では 3 成分のいずれも 100gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 2,083 データである。

しかし、大谷、輪島、穴水と同様に、加速度比を 10 以下に絞ることにした。その結果、**表 3.29(2)** となり、総時刻数では分類 7 だけが 2 時刻減少し、総時刻数は 2,081 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 85 データおよび 47 データあり、除外したため、それぞれ 1,998 データおよび 2,036 データ、総数で 4,034 データを有効とした。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 4,034 データの時刻歴は**図 3.27** となる。**図 3.27** によれば、加速度比の最大が 10 辺りに至る時刻は 35～50s にあり、50～60s では加速度比の最大が 8 程度にあり、その後の 60～75s 辺りまでは、加速度比の最大は 4～6 が継続している。ここで、輪島と穴水では、20s 辺りで加速度比が立ち上がり始めているのに対して、富来は 35s 辺りであり、15 秒ほど遅いが、震央から離れているためと推察される。

表 3.28　100gal 以上の時刻数：富来

発生	100galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	34.89	34.16	34.76
終了	74.04	75.43	55.7

表 3.29　100gal 以上の時刻数（加速度比 1.0 以下）：富来

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	450	**21.6%**			
2	NS＋EW	477	22.9%			
3	**NS＋UD**	108	**5.2%**			
4	**EW＋UD**	191	**9.2%**	**36.0%**		
5	NS	211	10.1%			
6	EW	569	27.3%			
7	UD	77	3.7%		2,083	2,083
		2083	100.0%		総数	4,166

表 3.29 のつづき　　**(2)** 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	450	**21.6%**			
2	NS＋EW	477	22.9%			
3	**NS＋UD**	108	**5.2%**			
4	**EW＋UD**	191	**9.2%**	**36.0%**		
5	NS	211	10.1%			
6	EW	569	27.3%			
7	UD	75	3.6%		1,998	2,036
		2081	100.0%		総数	4,034

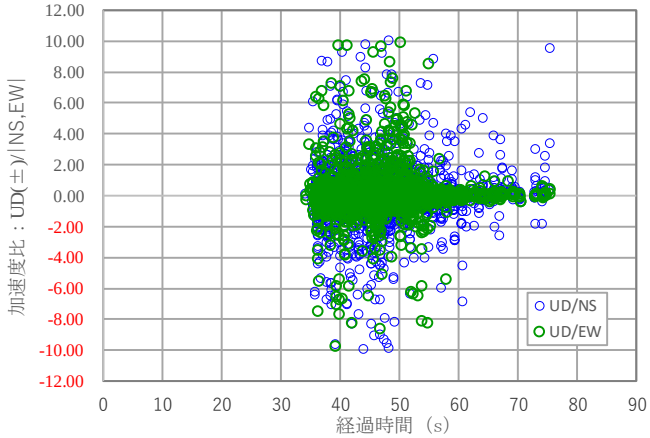


図 3.27　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［100gal 以上、加速度比 10 以下］：富来

② 200gal 以上の場合

100gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 200gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 200gal の発生と終了の時刻の範囲である**表 3.30** の時刻 36.03s～60.70s であり 2,468 時刻である。ここで、200gal の立ち上がり時刻は、36.03s（EW）と 37.10s（UD）の 1.07 秒の範囲にあり、ほぼ同時刻に立ち上がっている。

NS、EW、UD のいずれかが 200gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.31(1)**になる。選定された総時刻数は 1,287 となり、残りの 1,181（=2,468－1,287）の時刻では 3 成分のいずれも 200gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数は、1,287 データである。

さらに、加速度比が 10 以下の加速度比に絞ると**表 3.31(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 4 時刻減少し、総時刻数は 1,283 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものが NS で 50 データ、EW で 33 データあり、除外したため、NS が 1,237 データ、EW が 1,254 データとなり、総数で 2,491 データを有効とした。この 2,491 データは、①の 100gal 以上のケース（4,034）と比較して 6 割強に減少している。

表 3.30　200gal 以上の時刻数：富来

発生	200galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	36.95	36.03	37.10
終了	53.83	60.70	52.62

表 3.31　200gal 以上の時刻数（加速度比 1.0 以下）：富来

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	153	**11.9%**			
2	NS＋EW	262	20.4%			
3	**NS＋UD**	41	**3.2%**			
4	**EW＋UD**	125	**9.7%**	**24.8%**		
5	NS	203	15.8%			
6	EW	426	33.1%			
7	UD	77	6.0%		1,287	1,287
		1287	100.0%		総数	2,574

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	153	**11.9%**			
2	NS＋EW	262	20.4%			
3	**NS＋UD**	41	**3.2%**			
4	**EW＋UD**	125	**9.7%**	**24.8%**		
5	NS	203	15.8%			
6	EW	426	33.2%			
7	UD	73	5.7%		1,237	1,254
		1283	100.0%		総数	2,491

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 2,491 データの時刻歴は**図 3.28** となる。**図 3.28** によれば、100gal で見られた 50s 付近以降の加速度比の分布は減少し、加速度比の最大が 10 に至るのは、経過時間 35～55s となり、100gal の場合と異なり、55s 以降の加速度比はそれほど大きくはない。

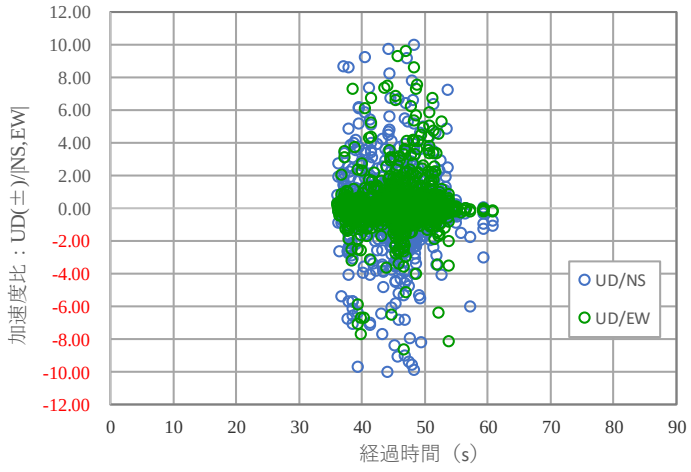


図 3.28　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［200gal 以上、加速度比 10 以下］：富来

③ 300gal 以上の場合

200gal 以上で選定し、分析した時刻数から、さらに 3 成分のいずれかが 300gal 以上となる時刻を抽出したが、その抽出対象となる母数は、3 成分の 300gal の発生と終了の時刻の範囲である**表**

3.32 の時刻 36.71s～53.82s であり 1,712 時刻である。同表によると、300gal の水平加速度の開始（NS：37.40s、EW：36.71s）と終了（NS：53.82s、EW：53.60s）は、ほぼ同時刻である。

NS、EW、UD のいずれかが 100gal 以上となる時刻は、3 成分の組合せ 7 分類ごとに**表 3.33(1)**になる。選定された総時刻数は 859 となり、残りの 853（=1,712 - 859）の時刻では 3 成分のいずれも 300gal 未満である。他方、UD/NS および UD/EW のそれぞれのデータ数も 859 データである。

ここで、加速度比 10 以下に絞った結果は**表 3.33(2)**となり、総時刻数では分類 7 だけが 2 時刻減少し、総時刻数は 857 となったが、UD/NS および UD/EW ごとには、加速度比が 10 を越えたものがそれぞれ 33 データおよび 17 データあり、除外したため、それぞれ 826 データおよび 842 データ、総数で 1,668 データを有効とした。この 1,668 データは、①の 200gal 以上のケース（2,491）と比較して 2/3 程度に減少している。

上記により、抽出した UD/NS と UD/EW の 1,664 データの時刻歴は**図 3.29** となる。**図 3.29** によれば、加速度比が 10 辺りまでの分布は、35～55s の時刻帯においても、200gl の場合よりも、さらに絞られている。

表 3.32　300gal 以上の時刻数：富来

発生	300galの発生時間範囲（s）		
	NS	EW	UD
開始	37.40	36.71	41.25
終了	53.82	53.60	52.27

表 3.33　300gal 以上の時刻数：富来

(1) 加速度比が無制限の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	64	**7.5%**			
2	NS＋EW	138	16.1%			
3	**NS＋UD**	21	**2.4%**			
4	**EW＋UD**	61	**7.1%**	**17.0%**		
5	NS	127	14.8%			
6	EW	402	46.8%			
7	UD	46	5.4%		859	859
		859	100.0%		総数	1,718

(2) 加速度比が 10 以下の場合

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/EW	UD/NS
1	**NE＋EW＋UD**	64	**7.5%**			
2	NS＋EW	138	16.1%			
3	**NS＋UD**	21	**2.5%**			
4	**EW＋UD**	61	**7.1%**	**17.1%**		
5	NS	127	14.8%			
6	EW	402	46.9%			
7	UD	44	5.1%		826	842
		857	100.0%		総数	1,668

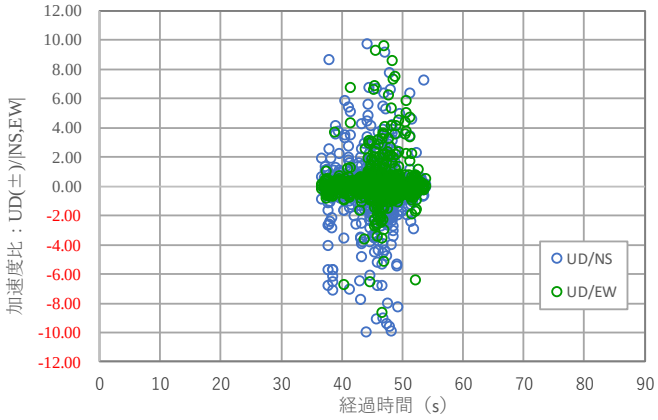


図 3.29　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 10 以下］：富来

iii）　鉛直地震動と水平地震動の相関性（2）−300gal 以上、加速度比 1.0 以下の場合−

300gal 以上の場合について、加速度比 1.0 以下とした。**表 3.34** は加速度比 1.0 以下とした結果であるが、**表 3.33(2)**の加速度比 10 以下の場合（総時刻数 857）と比較すると、分類 1、2、3、4、5、6、7 において、それぞれ 3、0、18、22、0、2，44 の時刻数が減少し、総時刻数は 89 減じて、768 となる。また、UD/NS および UD/EW のデータ数はそれぞれ 253、115 が減少し、有効データ数はそれぞれ 573 および 727、総数で 1,300 データとなった。

有効データ数 1,300 による加速度比の時間変化は**図 3.30** となる。加速度比 1.0 以下においても、**図 3.29** の加速度比 10 以下と同様に、加速度比が 1.0 辺りまでの分布は経過時間 35〜55s 辺り、特に、最大加速度の発生時刻（46s 台）辺りにまとまっている。

なお、大谷で検討した、水平地震動の NS、EW の方向別の加速度比の時刻歴については、輪島と同様に、方向別の差異は見られないため、割愛する。

表 3.34　300gal 以上で加速度比 1.0 以下の場合の時刻数：富来

分類	組合せ	該当時刻数	割合	分類1,3,4の割合	データ数	
					UD/NS	UD/EW
1	**NE＋EW＋UD**	61	**7.9%**			
2	NS＋EW	138	18.0%			
3	**NS＋UD**	3	**0.4%**			
4	**EW＋UD**	39	**5.1%**	**13.4%**		
5	NS	127	16.5%			
6	EW	400	52.1%			
7	UD	0	0.0%		573	727
		768	100.0%		総数	1,300

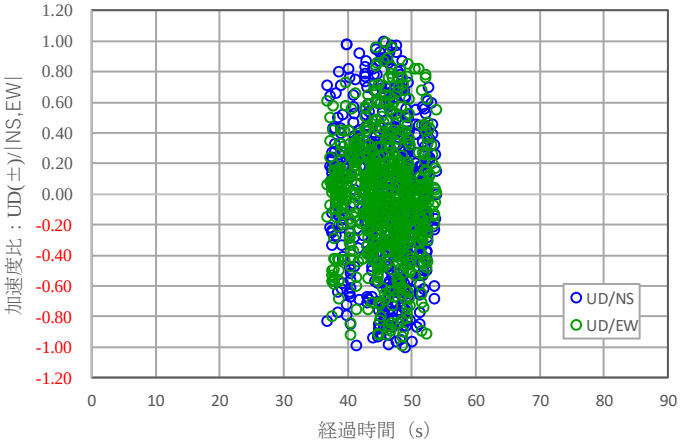


図 3.30　加速度比 UD/NS，UD/EW の時刻歴［300gal 以上、加速度比 1.0 以下］：富来

次に、**図 3.30** の 300gal 以上、加速度比 1.0 以下の結果（1,300 データ）について、水平地震動（NS、EW：絶対値）に対する鉛直加速度（±）の加速度比の関係を算出した。

【UD(+)：上向きの場合】

上向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 615 データであり、NS が 283 データ、EW が 332 データである。両者の関係は**図 3.31** となる。**図 3.31** によれば、大谷、輪島と同様に、水平加速度が増加すると、上向きの鉛直地震動による加速度比が低減することが分かる。ここで、富来の場合、最大水平加速度が 2,678gal であるため、穴水の 1,200gal 以下、大谷と輪島の 1,500gal 以下の検討範囲に対して、水平地震動の範囲は 2,700gal までと広い。ここで、安全側として、1,500～2,700gal を平均すると、1,500gal 以上でも比較的、相応の加速度比になる（**図 3.36**、**表 3.37** 参照）。

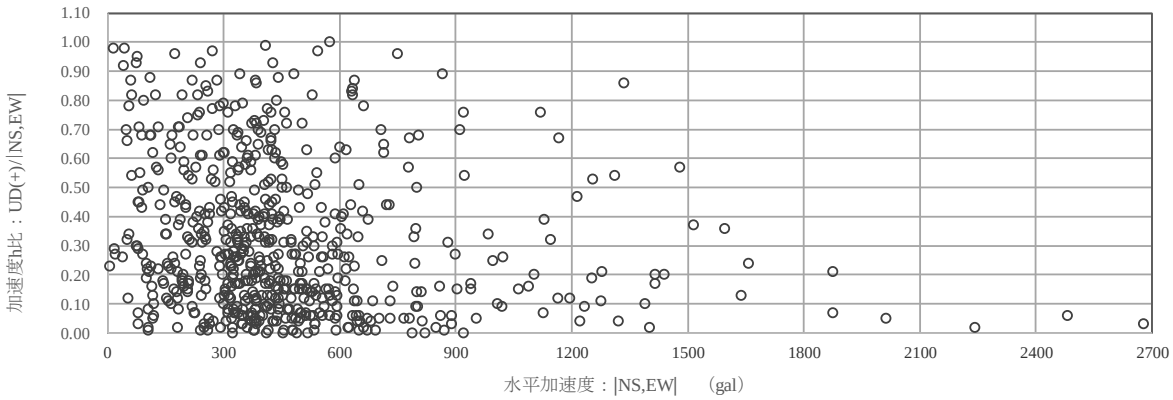


図 3.31　水平加速度と上向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：富来

【UD(-)：下向きの場合】

下向きの鉛直加速度に関係する水平加速度は 685 データであり、NS が 290 データ、EW が 395 である。両者の関係は**図 3.32** となるが、水平加速度が増加すると、下向きの鉛直地震動による加速度比は低減することが分かる。ここで、下向きの場合、1,500gal 以上の範囲でも比較的、加速度比は大きくなっていることが、他の観測地点と異なる。

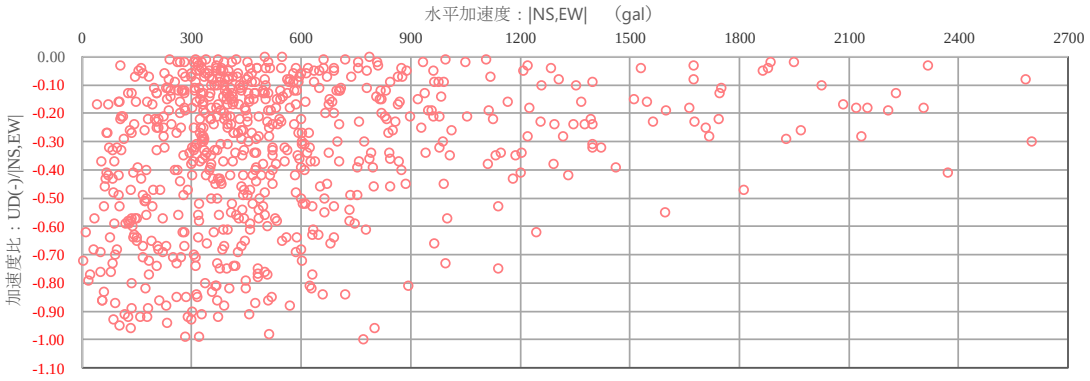


図 3.32　水平加速度と下向き鉛直地震動の加速度比の関係［加速度比 1.0 以下］：富来

３．３ 鉛直地震動の影響評価の考察

３．２では、大谷、輪島、穴水、富来の 4 観測点における加速度履歴データに基づいて、水平加速度（NS、EW）に対する鉛直加速度（UD）の比：加速度比を 0.01 秒ごとに算出し、加速度比の時間経過および水平加速度との関係を整理した。本節では、これらの結果に基づいて、4 観測点の結果ではあるが、加速度比の特性について相対的な検証を行う。

表 3.35 は、4 観測点の最大加速度値、その発生時刻などであるが、下記が読み取れる。

(1) 今次の地震で観測された最大加速度は、震央から最も離れている“富来”であり、震源に近いとは限らない。＊観測地点の地盤、地形などの要因によると推察。

(2) 方向別の最大加速度の発生について、震央に最も近い“大谷”での EW と NS の時間差は 10.63 秒であるが、震央から離れた他の 3 観測地点では時間差が小さくなり、最も遠い“富来”では 0.14 秒内、言い換えると、ほぼ同時刻に発生している。

(3) 最大加速度の発生順位は、“大谷”では水平加速度（EW）が最初であるが、他の 3 地点では鉛直加速度（UD）であるものの、NS、EW の順位は不規則である。

表 3.35　最大加速度の発生時刻と方向別の発生順位

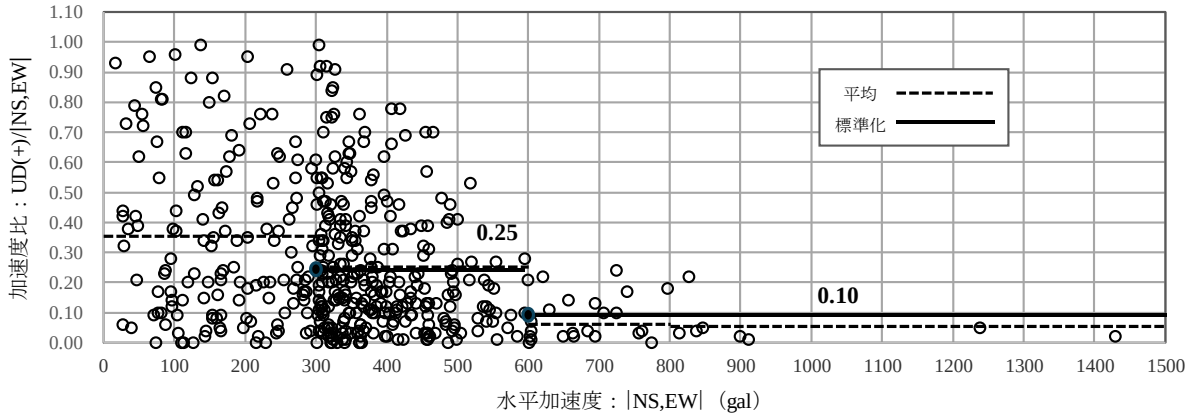
観測地点	震央距離（km）	N-S（gal）	E-W（gal）	U-D（gal）	発生順位と時刻差（s）
大谷	8	903.54	-1429.01	674.21	EW,UD,NS
	発生時刻（s）	40.27	29.64	30.80	10.63
輪島	34	1496.04	-1119.65	1109.84	UD,EW,NS
	発生時刻（s）	34.77	33.52	33.06	1.71
穴水	44	-1022.90	1145.74	1043.59	UD,EW,NS
	発生時刻（s）	47.16	44.22	42.75	4.41
富来	63	1479.18	-2678.22	1141.72	UD,NS,EW
	発生時刻（s）	46.24	46.37	46.23	0.14

図 3.33～図 3.36 は、観測地点ごとに、上向きおよび下向きのそれぞれの方向の鉛直加速度に対する加速度比と水平加速度（NS、EW）の関係について、水平加速度を区分し、区分ごとに加速度比の平均、さらに、それらに基づいた下記の視点（標準化条件）により標準化を試行した。

(1) 所要の規模の水平加速度（本文では、300gal）以上で鉛直加速度の影響を考慮することとし、水平加速度が 300gal 未満では“考慮しない”とし、300gal 以上について、平均値に基づいて加速度比を標準化する。

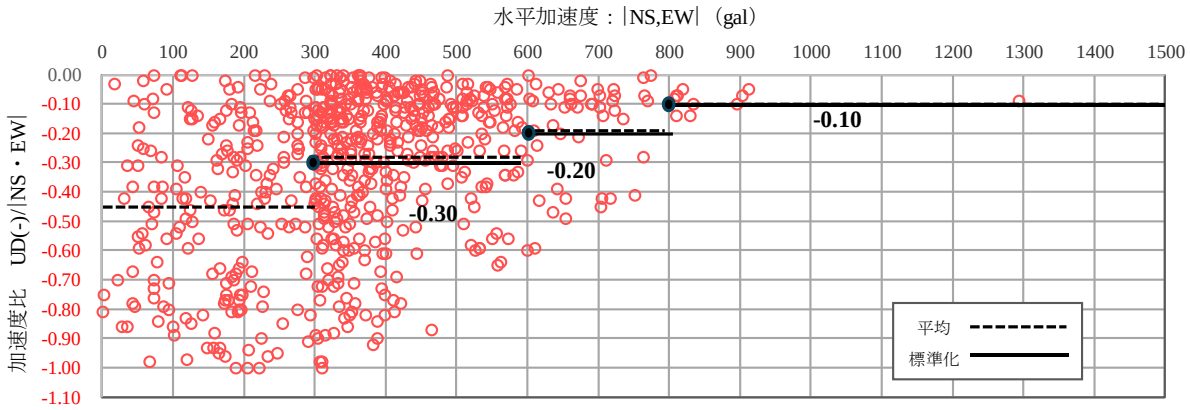
(2) 区分ごとに代表する加速度比について、平均値の分布傾向が異なることもあるが、基本的には、水平加速度の増加により加速度比が減少する傾向を踏まえる。

(3) 区分ごとの加速度比の代表値は、平均値に基づいて、0.05 単位で設定する。



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal
平均	0.35	0.25	0.08	0.06
標準化	考慮しない	0.25	0.10	

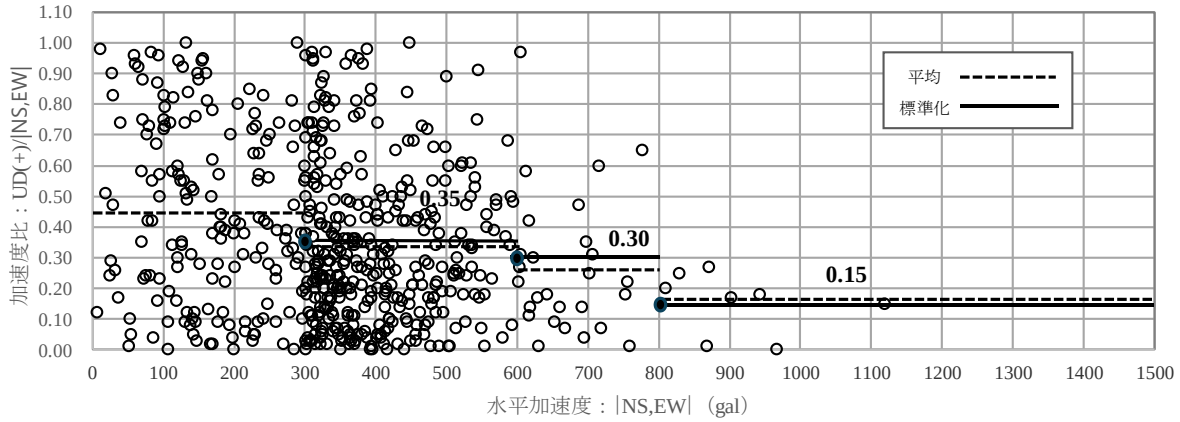
（1） 上向きの鉛直加速度：大谷



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal
平均	-0.45	-0.28	-0.19	-0.09
標準化	考慮しない	-0.30	-0.20	-0.10

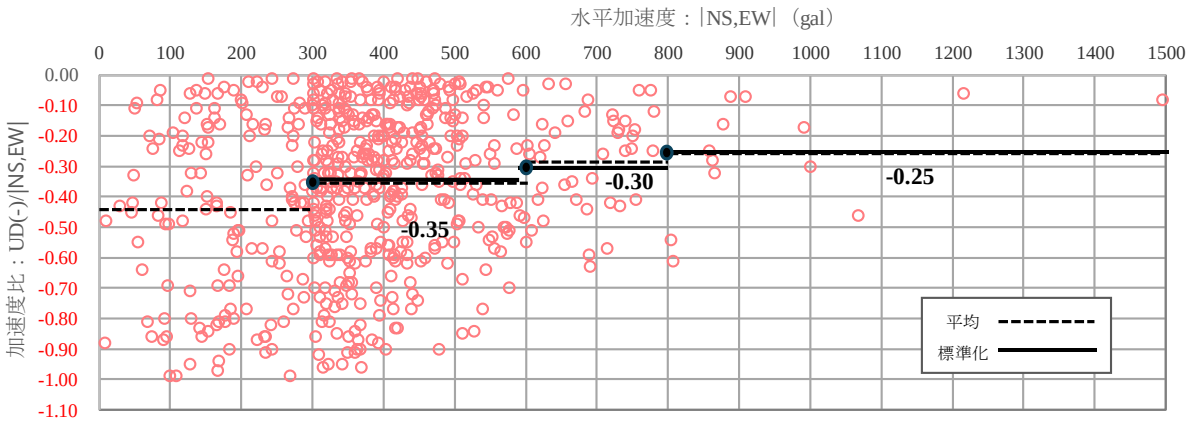
（2） 下向きの鉛直加速度：大谷

図 3.33　上向きおよび下向きの鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化：大谷



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal
平均	0.45	0.33	0.27	0.15
標準化	考慮しない	0.35	0.30	0.15

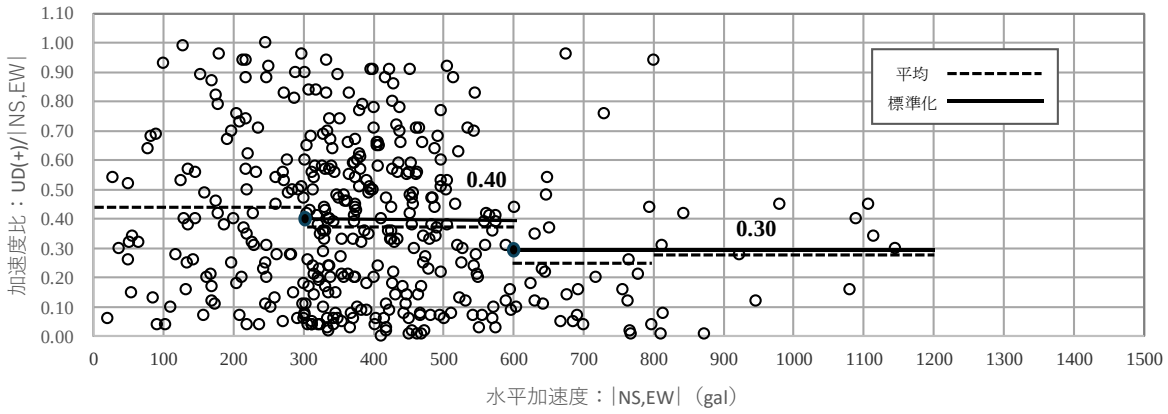
（1） 上向きの鉛直加速度：輪島



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal
平均	-0.44	-0.35	-0.28	-0.26
標準化	考慮しない	-0.35	-0.30	-0.25

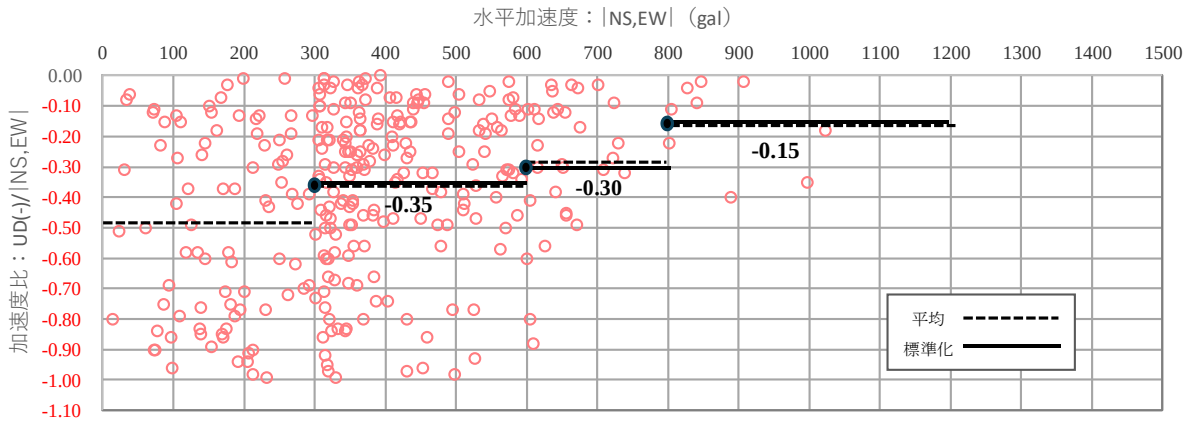
（2） 下向きの鉛直加速度：輪島

図 3.34　上向きおよび下向きの鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化：輪島



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1200gal
平均	0.44	0.38	0.24	0.31
標準化	考慮しない	0.40	0.30	

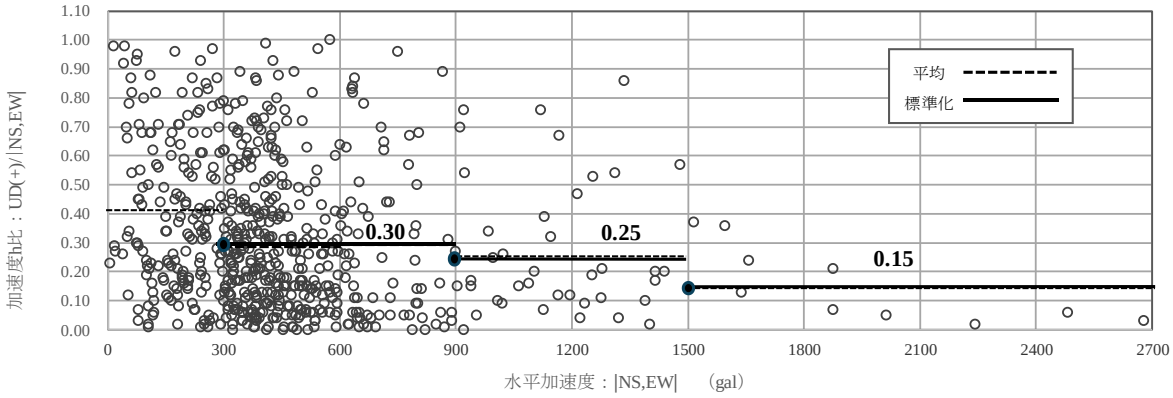
（1） 上向きの鉛直加速度：穴水



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1200gal
平均	-0.49	-0.35	-0.28	-0.16
標準化	考慮しない	-0.35	-0.30	-0.15

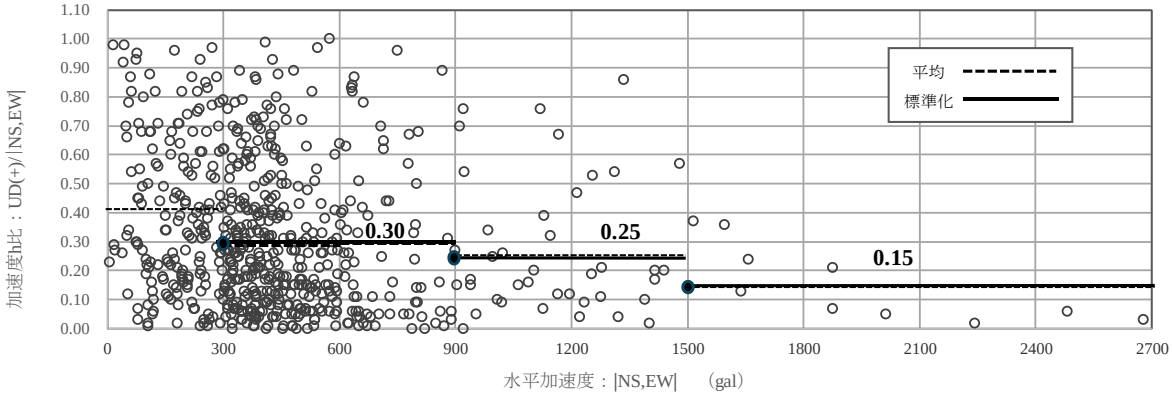
（2） 下向きの鉛直加速度：穴水

図 3.35　上向きおよび下向きの鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化：穴水



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal	1500～2700gal
平均	0.41	0.29	0.30	0.26	0.15
標準化	考慮しない	0.30		0.25	0.15

（1）上向きの鉛直加速度：富来



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal	1500～2700gal
平均	0.41	0.29	0.30	0.26	0.15
標準化	考慮しない	0.30		0.25	0.15

（2）下向きの鉛直加速度：富来

図 3.36　上向きおよび下向きの鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化：富来

また、4 地点のデータを集約した、上向き、下向き別の水平加速度に対する加速度比の関係は、**図 3.37** となる。同図に記載したデータは、**表 3.36** の通りである。同表の通り、**図 3.33**～**図 3.36** の地点ごとおよび**図 3.37** の 4 地点に関して、用いたデータ数は、下記の状況にある。

(1) 標準化の対象とした 300gal 以上では、4 地点の上向きで NS が 137～202、EW が 155～291、下向きで NS が 98～272、EW が 122～351 であるが、いずれも富来が最も多く、最も穴水が少ない。ただし、全数としては不足のないデータ数と思われる。

(2) 大谷、輪島、穴水、富来の 300gal 以上の上下方向のデータ数は、それぞれ 773、842、512、960 であり、富来が最も多く、穴水が最も少ない。ただし、全数としては不足のないデータ数と思われる。

(3) 総合計は 4,244 であり、300gal 未満が 1,157、300gal 以上が 3,087 であり、300gal 以上が 7 割強（72.6%）である。

(4) 300gal 以上の 4 地点合計は 3,087 であり、上向きが 1,437、下向きが 1,650 であり、それぞれ 47.5%、53.5%であり、概ね同数である。

表 3.36　使用データの内訳

鉛直加速度・鉛直地震動の向き		水平加速度・水平地震動の区分	観測地点			
			大谷	輪島	穴水	富来
上向き	NS	全体	214	286	185	283
		300gal未満	62	84	48	130
		300gal以上	152	202	137	153
	EW	全体	234	267	205	332
		300gal未満	76	78	50	41
		300gal以上	158	189	155	291
	地点計	300gal以上	310	391	292	444
	4地点合計		1437			
下向き	NS	全体	341	297	148	290
		300gal未満	69	70	50	125
		300gal以上	272	227	98	165
	EW	全体	320	293	155	395
		300gal未満	129	69	33	43
		300gal以上	191	224	122	351
	地点計	300gal以上	463	451	220	516
	4地点合計		1650			
地点・上下合計		300gal以上	773	842	512	960
4地点・上下合計			3087			
地点・上下合計		300gal未満	336	301	181	339
4地点・上下合計			1157			
総合計		0～2700gal	4244			

なお、水平加速度の最大値は、大谷、輪島で 1,500gal 以内、穴水で 1,200gal 以内、富来で 2,700gal 以内であるが、水平加速度が大きくなるほど、データ数が少なくなる傾向にある。

上記の 4 観測地点ごとの、水平加速度の区分ごとの加速度の平均値および標準化の試行結果を総括したのが**表 3.37** である。同表の通り、上向きと下向きでは、加速度区分と加速度比が異なるが、各観測地点および 4 観測地点について、水平加速度の区分ごとの上向きおよび下向き別の加速度比の平均、さらに標準加速度比では、下記の傾向が読み取れる。

ⅰ）大谷は上下のいずれの向きも他地点より小さい。

ⅱ）輪島は下向きの 800～1,200gal で大きい。

ⅲ）穴水は上向きの 800～1,200gal で大きい。

ⅳ）富来は上下のいずれの向きも 600～1,200gal で他地点より大きい。

ⅴ）1,200～2,700gal は富来だけであるが，上向きと下向きのいずれでも相応の大きさである。

ⅵ）地点ごとに加速度比に大小の差異はあるが，実務上，平均あるいは標準値に顕著な差異はない。

また、**表 3.37** および**図 3.33～図 3.36** には、各観測地点の加速度比の標準化を例示している。地点別に標準化された加速度比の傾向は、前述の加速度比の平均と同様な傾向にある。

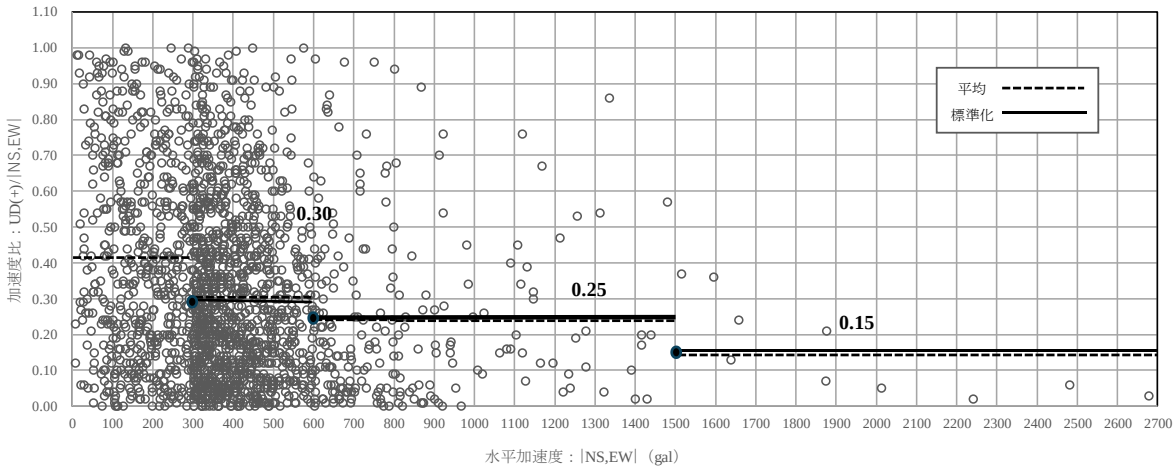
表 3.37　4 観測地点の加速度比の平均と標準化

鉛直加速度の方向	観測地点	平均標準化	水平加速度|NS,EW|の加速度区分（gal）と加速度比：UD(±)/|NS,EW|				
			0～300	300～600	600～800	800～1500 800～1200	1500～2700
上向き	大谷	平均	0.35	0.25	0.08	0.06	
		標準化	考慮しない	0.25	0.10		
	輪島	平均	0.45	0.33	0.27	0.15	
		標準化	考慮しない	0.35	0.30	0.15	
	穴水	平均	0.44	0.38	0.24	0.31	
		標準化	考慮しない	0.40	0.30		
	富来	平均	0.41	0.29	0.30	0.26	0.15
		標準化	考慮しない	0.30		0.25	0.15
	4地点	平均	0.41	0.31	0.25	0.24	0.15
		標準化	考慮しない	0.30	0.25		0.15
下向き	大谷	平均	-0.45	-0.28	-0.19	-0.09	
		標準化	考慮しない	-0.30	-0.20	-0.10	
	輪島	平均	-0.44	-0.35	-0.28	-0.26	
		標準化	考慮しない	-0.35	-0.30	-0.25	
	穴水	平均	-0.49	-0.35	-0.28	-0.16	
		標準化	考慮しない	-0.35	-0.30	-0.15	
	富来	平均	-0.45	-0.32	-0.34	-0.25	-0.18
		標準化	考慮しない	-0.35		-0.25	-0.20
	4地点	平均	-0.45	-0.32	-0.28	-0.23	-0.18
		標準化	考慮しない	-0.30		-0.25	-0.20

さらに、4 観測点の加速度比の上向きおよび下向き別、さらに、それに基づいて上下方向を集約した加速度比の標準化を抜粋すると、**表 3.38** および**図 3.37**、**図 3.38** になる。なお、上下方向の加速度比の標準化では、4 地点の全データ（4,244）の絶対値（+）の平均値を算出し、それらを包含して 0.05 単位で設定している。

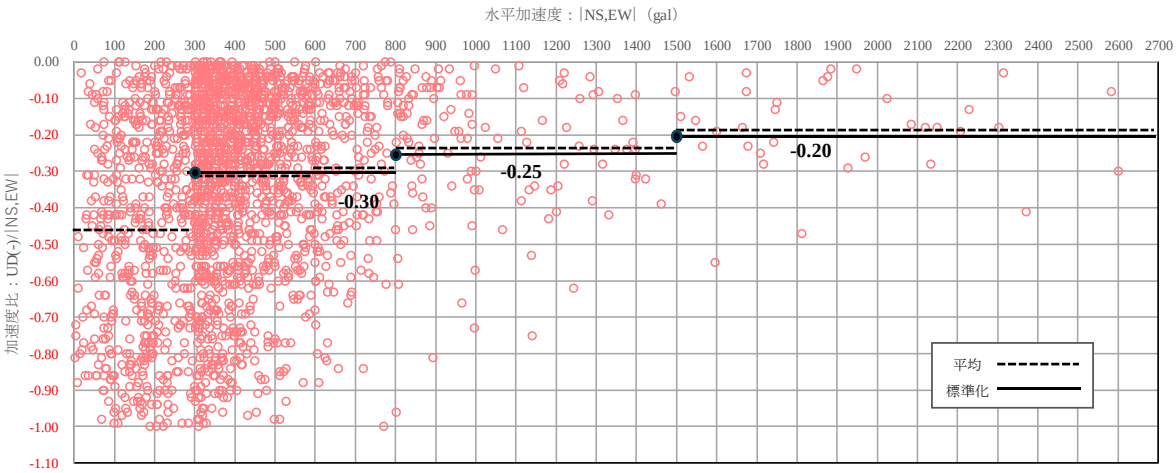
表 3.38　方向別および上下方向の加速度比の標準化の例

上向き	4地点	水平加速度（gal）	0～300	300～600	600～1500		1500～2700
		標準加速度比	考慮しない	0.30	0.25		0.15
		備考：データ数	569	1208	219		10
		総数：2006		1437			
下向き	4地点	水平加速度（gal）	0～300	300～600	600～800	800～1500	1500～2700
		標準加速度比	考慮しない	-0.30		-0.25	-0.20
		備考：データ数	588	1491		125	34
		総数：2238		1650			
上下方向		水平加速度（gal）	0～300	300～600	600～800	800～1500	1500～2700
		平均値	0.43	0.32	0.27	0.23	0.17
		標準加速度比	考慮しない	0.35	0.30	0.25	0.20
		備考：データ数	1157	2503	332	208	44
		総数：4244		3087			



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal	1500～2700gal
平均	0.41	0.31	0.25	0.24	0.15
標準化	考慮しない	0.30	0.25		0.15

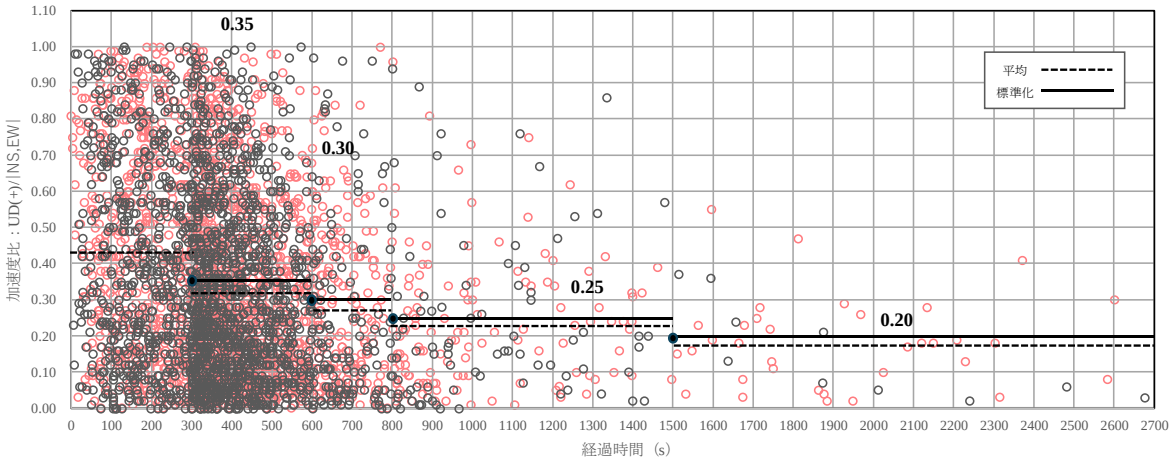
（1）上向きの鉛直加速度



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal	1500～2700gal
平均	-0.45	-0.32	-0.28	-0.23	-0.18
標準化	考慮しない	-0.30		-0.25	-0.20

（2）下向きの鉛直加速度

図 3.37　4 観測地点の上向きおよび下向きの鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化



	0～300gal	300～600gal	600～800gal	800～1500gal	1500～2700gal
平均	0.43	0.32	0.27	0.23	0.17
標準化	考慮しない	0.35	0.30	0.25	0.20

図 3.38　4 観測地点の上下方向の鉛直加速度と水平加速度の関係と加速度比の標準化

表 3.38 の標準化された加速度比は、鉛直地震動を考慮、設定する際に参考にできる。その際、鉛直地震動の影響の 2 形態に応じて考える場合は、方向別の加速度比を適用し、そうでない場合は集約した加速度比を適用すればよい。

なお、水平加速度 300gal 以上において相応の規模（300gal 以上）の鉛直加速度が関係するのは、時刻歴の方向別の 7 分類のうち、分類 1：NS＋EW＋UD、分類 3：NS＋UD、分類 4：EW＋UD であり、4 地点ごとの検討において、これらの 3 分類の時刻数の割合を算出してある。

表 3.39 は、3 分類に該当する時刻数であり、300gal 以上、加速度比 1.0 以下の場合について、分類ごとの時刻数、割合である。同表によれば、観測地点により割合が異なるが、3.7～13.4%の範囲にある。さらに、4 地点の割合の平均は、単純平均で 9.8%、該当する時刻数の重み付平均で 11.2%である。これらの 3 分類の該当時刻数あるいは割合が多いほど、水平加速度（NS、EW）に対して、鉛直加速度（UD）が相当規模で関わっていることになるが、**表 3.39** に示す単純平均（9.8%）と時刻数重み付平均（11.2%）を勘案すると、その割合は概ね 10%程度である。

表 3.39　水平加速度に対する鉛直加速度の影響が大きい時刻数と割合：300gal 以上、加速度比 1.0 以下

分類		大谷		輪島		穴水		富来	
		時刻数	割合（%）	時刻数	割合（%）	時刻数	割合（%）	時刻数	割合（%）
総時刻数		651		719		452		768	
1	NS+EW+UD	7	1.1	17	2.4	8	1.8	61	7.9
3	NS+EW	9	1.4	24	3.3	20	4.4	3	0.4
4	EW+UD	8	1.2	20	2.8	31	6.9	39	5.1
合計		24	3.7	61	8.5	59	13.1	103	13.4
割合の分布・単純平均・時刻数重み付平均		分布：3.7　～　13.4（%）		単純平均：9.8（%）		時刻数重み付平均：11.2（%）			

さて、時刻ごとの瞬間的な加速度に関する取り使い、工学的判断に関しては、本文での標準加速度化は加速度比の平均に基づいており、その意味では加速度比の最大値（1.0）ではなく、妥当な数値（0.35～0.15）にあると考えている。

さらに、標準加速度比（K_{vh} とする。）を用いて水平地震動から鉛直地震動を算出するケースとして、**図 3.39** の水平震度（k_h から k_v）、水平加速度時刻歴波形の最大加速度振幅（α_{hmax} から α_{vmax}）、さらに気象庁震度階による水平加速度（α_h から α_v）の 3 ケースを例示する。

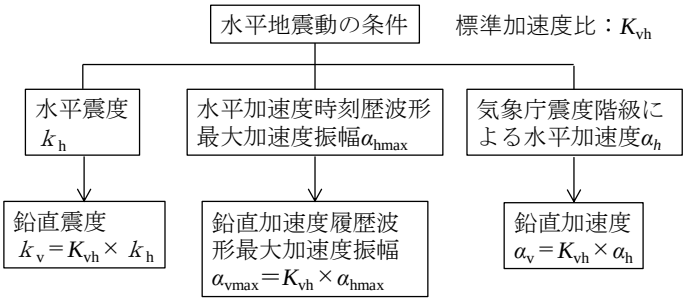


図 3.39　標準加速度比を用いて水平地震動から鉛直地震動を設定する方法例

ここで、**図 3.39** の気象庁震度階級による鉛直地震動の算定のケースは、ある構造物が存在している地点、地域において気象庁震度階（だけ）が想定されている場合、鉛直加速度を求める場面を想定している。このケースを取り上げたのは、気象庁が「均一な揺れが数秒間続くと仮定した時、地震波の周期、加速度と震度との関係を表したもの」として**図 3.40** を示していることを参照したためである。

同図によれば、構造物の固有周期などに基づいて想定した地震動の周期と想定する震度階級から水平加速度（特に水平の記述はないが）が想定できる。気象庁は、**図 3.40** の見方として「実際の地震波はさまざま周期の波が含まれているので、震度 7 が加速度で何 gal に相当すると言えませんが、 仮に周期 1 秒の波が同じ振幅で数秒間続くとすると、震度 7 の下限に相当する計測震度 6.5 以上になるためには、 3 成分の合成値で約 600gal 以上の加速度が必要であることを示しています。これが周期 0.1 秒の波になると 2,700gal 以上になると読み取れます。」と例示している。

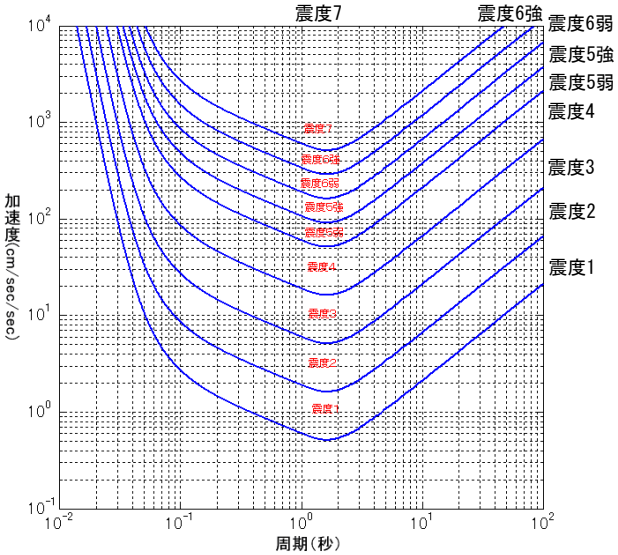


図 3.40　気象庁震度階級、周期と加速度の関係 [5]：枠外の震度区分は文献 5 に加筆

さて、輪島市での今次の水平地震動（計測震度 6.2、震度階級 6 強、最大加速度 NS：1,496gal、EW：1,120gal、UD：1,110gal）に基づいて、**図 3.39** の 3 ケースによる鉛直地震動の想定を例示してみる。

方法 1：想定される水平震度は、NS が 1,496/980＝1.53、EW が 1,120/980＝1.14 であり、**図 3.38** の 800～1,500gal に対応する標準化速度比が 0.25 であるため、鉛直震度は NS が 1.53×0.25＝0.38、EW が 1.14×0.25=0.29 となる。

＊換算した水平震度の 1.53、1.14 の妥当性の議論はある。

方法 2：水平加速度振幅に基づき鉛直加速度振幅を補正する場合：水平加速度振幅は、NS が 1,496gal、EW が 1,120gal であり、**図 3.38** の 800～1,500gal に対応する標準化速度比が 0.25 であるため、鉛直加速度履歴波形の加速度幅（1,110gal）を、NS による 1,496×0.25＝374gal、EW による 1,120gal×0.25=280gal、さらに両者の平均（374＋280）/2＝327gal に補正する。

＊最大値とするならば、374gal。

方法 3：水平地震動の（卓越）周期が必要であるが、例えば、周期 0.173 秒（後述、ただし富来）とすると、**図 3.40** から下記の（最大）水平加速度が読み取れる。

震度 7：1,700gal～、　震度 6 強：900～1,700gal、

震度 6 弱：500～900gal、震度 5 強：300～500gal

ここで、輪島は震度 6 強であるので、水平加速度は 900～1,700gal（未満）と設定するが、900～1,500（未満）gal とする場合は、**図 3.38** の 800～1,500gal に対応する標準化速度比 0.25、また、1,500～1,700gal とする場合は、標準化速度比 0.20 により、水平加速度を補正して、鉛直加速度振幅とする。

＊水平加速度　900～1,500（未満）gal の場合：鉛直加速度 225～375（未満）gal

水平加速度 1,500～1,700（未満）gal の場合：鉛直加速度 300～340（未満）gal

ここで、4 地点の計測震度による震度階級の関係（**表 3.40** 参照）、上記の読取り値および**表 3.41** の水平加速度を対比すると、下記の通り（青字は読取り加速度の範囲内）である。

	富来：6.6（7）	穴水：6.5（7）	輪島：6.2（6 強）	大谷：6.2（6 強）
	1,700gal～	1,700gal～	900～1,700gal	900～1,700gal
N S	1,479gal	1,023gal	1,496gal	904gal
EW	2,678gal	1,146gal	1,120gal	1,429gal

上記の対比によれば、富来の NS、穴水の NS、EW は読取り値の範囲より小さい。なお、NS、EW のいずれかで見ると、4 地点のうち、3 地点が読み取り範囲にあるとも言える。

表 3.40　計測深度と震度階級の関係 [5)]

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5未満	5 弱	4.5以上5.0未満
1	0.5以上1.5未満	5 強	5.0以上5.5未満
2	1.5以上2.5未満	6 弱	5.5以上6.0未満
3	2.5以上3.5未満	6 強	6.0以上6.5未満
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上

表 3.41　4 地点の最大加速度：**表 3.1** から抜粋

観測地点名	最大加速度（ガル）			三成分合成値（ガル）
	N-S	E-W	U-D	
富来	1479	2678	1142	2828
輪島	1496	1120	1110	1632
大谷	904	1429	674	1469
穴水	1023	1146	1044	1280

さて、気象庁震度階級から水平加速度を推定するケースについて、**図 3.40** の仮定である「均一な揺れが数秒間続くとした水平加速度」が実態的なのか否かの検証を試みた。

例えば、富来の水平加速度（EW）について、最大加速度（46.37s、2,678.225gal）が発生している時刻を挟んだ数秒（3.00 秒：44.33～47.33 秒を抜粋）間において、300gal 以上の加速度が発生している時刻を黒枠で区分［(+)は青字、(-)は赤字］すると、**表 3.42(1)**、**(2)**およびとなり、図化すると**図 3.41** になる。

表 3.42（1）3.00 秒間で 300gal 以上の水平加速度の発生状況：44.33～45.87 秒

時刻	EW	連続時間
44.33	109.232	
44.34	321.8213	(+)1
44.35	538.9075	0.06s
44.36	639.4269	
44.37	728.0555	
44.38	781.1738	
44.39	632.6883	
44.4	321.4178	
44.41	37.41082	
44.42	-101.7614	
44.43	-145.1255	
44.44	-215.1562	
44.45	-319.0068	(-)1
44.46	-382.0146	0.07s
44.47	-384.7686	
44.48	-431.172	
44.49	-641.9774	
44.5	-832.6604	
44.51	-690.7142	
44.52	-372.3464	
44.53	-139.0947	
44.54	163.3375	
44.55	516.6892	(+)2
44.56	661.9027	0.09s
44.57	623.7117	
44.58	527.9944	
44.59	495.796	
44.6	605.0508	
44.61	732.313	
44.62	799.6039	
44.63	752.9648	
44.64	457.668	
44.65	54.99002	
44.66	-234.525	
44.67	-708.7589	(-) 2
44.68	-1531.053	0.08s
44.69	-1877.01	
44.7	-1220.329	
44.71	-461.8316	
44.72	-323.2509	
44.73	-386.3264	
44.74	-371.5813	
44.75	-311.175	
44.76	-91.9291	
44.77	177.0819	
44.78	610.3013	(+)3
44.79	1439.735	0.04s
44.8	1947.981	
44.81	1305.937	
44.82	133.9619	
44.83	-372.8062	(-)3
44.84	-326.998	0.03s
44.85	-420.2532	
44.86	-440.9843	
44.87	-221.8442	
44.88	-169.8183	
44.89	-370.0722	(-)4
44.9	-638.9086	0.03s
44.91	-757.1857	
44.92	-569.4856	
44.94	-70.14112	
44.95	44.55487	
44.96	59.57942	
44.97	71.10206	
44.98	161.4859	
44.99	291.2751	
45	449.4098	(+)4
45.01	601.8102	0.04s
45.02	671.3925	
45.03	585.1049	
45.04	336.2191	
45.05	147.1864	
45.06	140.6481	
45.07	124.3147	
45.08	153.4948	
45.09	360.6934	(+)5
45.1	357.8124	0.01s
45.11	-54.20746	
45.12	-418.8185	(-)5
45.13	-509.004	0.04s
45.14	-521.2363	
45.15	-474.085	
45.16	-342.4776	
45.17	-205.2171	
45.18	25.07542	
45.19	341.7777	(+)6
45.2	537.4069	0.02s
45.21	535.9941	
45.22	271.2768	
45.23	-127.4548	
45.24	-230.7245	
45.25	-105.2051	
45.26	-85.17426	
45.27	-62.10799	
45.28	-45.78704	
45.29	-237.4984	
45.3	-535.2573	(-)6
45.31	-797.9208	0.04s
45.32	-920.586	
45.33	-777.1573	
45.34	-496.4606	
45.35	-290.1998	
45.36	-180.8668	
45.37	-146.3323	
45.38	-67.05226	
45.39	245.0053	
45.4	559.9771	(+)7
45.41	578.9214	0.09s
45.42	624.0542	
45.43	875.2237	
45.44	978.8349	
45.45	947.8214	
45.46	990.3289	
45.47	978.5477	
45.48	840.796	
45.49	602.1155	
45.5	245.4451	
45.51	-158.7049	
45.52	-638.4812	(-)7
45.53	-1213.363	0.03s
45.54	-1416.33	
45.55	-869.1286	
45.56	-157.812	
45.57	-15.79517	
45.58	-145.3774	
45.59	-46.28881	
45.6	-10.49317	
45.61	-111.9475	
45.62	41.68924	
45.63	291.1254	
45.64	279.535	
45.65	-11.05886	
45.66	-398.3136	(-)8
45.67	-636.3673	0.02s
45.68	-554.5651	
45.69	-91.01523	
45.7	297.7524	
45.71	131.1936	
45.72	-171.3732	
45.73	-344.3311	(-)9
45.74	-546.737	0.02s
45.75	-426.5359	
45.76	-0.11717	
45.77	226.0944	
45.78	407.445	(+)8
45.79	715.0238	0.02s
45.8	706.6034	
45.81	240.8347	
45.82	-197.8183	
45.83	-236.2077	
45.84	-35.89277	
45.85	118.8553	
45.86	209.2201	
45.87	251.3452	

（つづく）

表 3.42（2） 3.00 秒間で 300gal 以上の水平加速度の発生状況：45.87～47.33 秒

45.88	277.9658	
45.89	386.1445	(+)9
45.9	435.7283	0.01s
45.91	234.8296	
45.92	-169.3356	
45.93	-621.3008	(-)10
45.94	-1049.265	0.03s
45.95	-1284.611	
45.96	-889.7737	
45.97	-103.7532	
45.98	162.9722	
45.99	-54.0949	
46	-300.3106	(-)11
46.01	-697.4614	0.04s
46.02	-929.7915	
46.03	-651.7314	
46.04	-331.348	
46.05	-184.6501	
46.06	48.11974	
46.07	290.8755	
46.08	328.2088	(+)10
46.09	324.1966	0.02s
46.1	355.4286	
46.11	230.1477	
46.12	124.6305	
46.13	280.8	
46.14	603.6714	(+)11
46.15	899.5892	0.03s
46.16	858.9705	
46.17	392.3584	
46.18	-93.55556	
46.19	-336.3371	(-)12
46.2	-593.0746	0.03s
46.21	-939.6972	
46.22	-866.7809	
46.23	-37.4601	
46.24	1119.545	(+)12
46.25	1874.398	0.07s
46.26	2024.069	
46.27	1745.012	
46.28	1112.349	
46.29	569.6215	
46.3	511.0152	
46.31	490.8813	
46.32	187.7393	

46.33	-167.7358	
46.34	-648.5081	(-)13
46.35	-1515.451	0.08s
46.36	-2428.063	
46.37	**-2678.225**	
46.38	-2149.497	
46.39	-1398.474	
46.4	-865.7736	
46.41	-580.7373	
46.42	-346.4917	
46.43	-8.553813	
46.44	151.5478	
46.45	31.46301	
46.46	138.8747	
46.47	503.0049	(+)13
46.48	879.5259	0.06s
46.49	1416.241	
46.5	1884.733	
46.51	1863.583	
46.52	1351.864	
46.53	646.5223	
46.54	227.739	
46.55	225.232	
46.56	244.2049	
46.57	136.9935	
46.58	82.01894	
46.59	-39.19531	
46.6	-326.1118	(-)14
46.61	-540.813	0.04s
46.62	-674.2425	
46.63	-799.3737	
46.64	-670.7654	
46.65	-254.5901	
46.66	80.45544	
46.67	136.9458	
46.68	79.6942	
46.69	60.52382	
46.7	25.37782	
46.71	-124.6521	
46.72	-442.2682	(-)15
46.73	-749.9434	0.02s
46.74	-630.5998	
46.75	-263.6736	
46.76	-349.2563	(-)16
46.77	-705.5536	0.05s
46.78	-735.1802	
46.79	-658.3842	
46.8	-636.2252	
46.81	-407.4447	
46.82	-157.1604	

46.83	-161.0172	
46.84	-196.8109	
46.85	211.1853	
46.86	1255.296	(+)14
46.87	2241.409	0.03s
46.88	2133.696	
46.89	995.6547	
46.9	-14.27841	
46.91	-153.6671	
46.92	32.82809	
46.93	-204.2574	
46.94	-657.9664	(-)17
46.95	-921.352	0.04s
46.96	-940.386	
46.97	-676.593	
46.98	-281.3243	
46.99	-5.122492	
47	67.38933	
47.01	32.76895	
47.02	141.2672	
47.03	455.4215	(+)15
47.04	714.9427	0.02s
47.05	587.5145	
47.06	104.343	
47.07	-358.5533	(-)18
47.08	-791.1173	0.05s
47.09	-1346.681	
47.1	-1663.741	
47.11	-1294.07	
47.12	-473.0376	
47.13	7.85872	
47.14	-22.49373	
47.15	95.30542	
47.16	437.1125	(+)16
47.17	595.3416	0.07s
47.18	814.2526	
47.19	1220.083	
47.2	1390.366	
47.21	1277.605	
47.22	1022.997	
47.23	617.5836	
47.24	242.361	
47.25	83.89249	
47.26	16.00632	
47.27	-143.4399	
47.28	-302.7059	(-)19
47.29	-403.3074	0.04s
47.3	-548.0201	
47.31	-615.5475	
47.32	-435.127	
47.33	-90.20438	

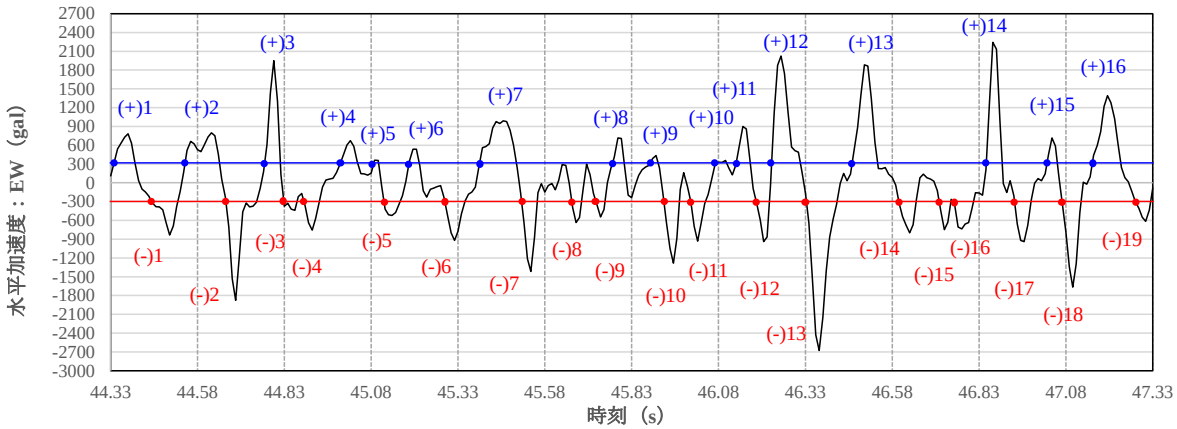


図 3.41　3.00 秒間（44.33～47.33s）で水平加速度（EW）が 300gal を超える繰り返しの状況例：富来

表 3.42(1)、**(2)**の通り、3.00 秒間において 300gal 以上となるのは、(+)が 16 回、(-)が 19 回発生しており、繰り返される時間間隔（周期に相当）は、単純平均でそれぞれ 0.188 秒（=3.00/16）、0.158 秒（＝3.00/19）である。

また、300gal 以上の総継続時間の合計は、(+)で 0.68 秒、(-)で 0.76 秒、両者の合計は 1.44 秒であり、それぞれ 3.00 秒の時間の 23%、25%、両者の合計では 3.00 秒の 48%を占めている。

さらに、**図 3.41** は 300gal 以上となる状況を示す（図中の数値は 300gal 以上の発生順の番号）。同図には、300gal に達する時刻を(+)では青丸、(-)では赤丸の点で示してあるが、隣接する 2 点の時刻差（周期に相当）は、(+)では平均 0.188 秒（最大 : 0.39 秒、最小 : 0.06 秒）、(-)では平均 0.157 秒（最大 : 0.26 秒、最小 : 0.04 秒）であり、両者の平均は 0.173 秒である。ここで、平均値（0.188、0.157）は前述の単純平均（各 0.188、0.158）とほぼ同値であるが、言い換えると、単純平均でも相応の状態を示していると言える。

以上の結果によれば、

「数秒（3.00 秒）間において、水平加速度の(+)および(-)のいずれでも、相当規模の加速度振幅（300gal）以上の揺れ、水平加速度は、周期を変動（0.39～0.04 秒 : 平均 0.173 秒）しながら、相当時間（1.44 秒）の間で繰り返されている、続いている」

と想定できる。

ここで、**図 3.40** の「均一な揺れが数秒間続く仮定により求める加速度」は、

「同じ振幅と周期の正弦波が数秒間続く仮定による最大加速度」

のように、読み替えることができるが、正弦波であることが前提にある。

しかし、通常、加速度履歴波形は**図 3.41** の通り、正弦波のような振幅および周期が均一な正弦波ではないため、上記の想定および正弦波の最大振幅に対して、不規則波に対してはあるレベル以上の加速度と考えてみると、

「300gal 以上の振幅になる加速度は、変動する周期（0.39～0.04 秒 : 平均 0.173 秒）で、数秒間（3.00 秒）のうちの半分程度（1.44 秒）の時間帯で発生が繰り返されて、続いている」

と言い換えられる。

従って、気象庁震度階級から求める（最大）加速度について、仮定に近い状態はあり得ると言える。ただし、規則波（正弦波）と不規則波の差異は前提としてあり、両者の相対関係は対象とする構造物に対する損傷、被害に基づいて相対化することが必要である。

例えば、振幅***gal、周期***秒の正弦波が**波（**秒間）作用した場合の構造物の被害レベルと、振幅***gal 以上、その発生周期***秒の不規則波が**秒間作用した場合の被害レベルが同等と見なせるか否かであり、同等と見なせる場合は、上記の各波形特性により正弦波と不規則波は相対化できたことになる。

４．まとめ

令和 6 年能登半島地震による輪島市の RC 造建物の転倒の原因について、類似の 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波による転倒被害の原因から鉛直地震動が関わっていることを類推し、鉛直地震動による 2 形態の転倒メカニズムを想定した。

さらに、鉛直地震動による転倒の安定性を検証するためには、従来、適用されている水平地震動に対して鉛直地震動の関与度、言い換えると、水平地震動（加速度）に対する鉛直地震動（加速度）の相対的な規模：加速度比を明らかにすることが必要であることから、最大加速度による加速度比に加えて、大谷、輪島、穴水および富来の観測加速度データ（K-NET）を用いて、時刻別の加速度の相対比較を行った。

その結果、水平加速度比の区分に応じた加速度比の標準化を試行した。

本文における検討の考え方および得られた知見は、下記の通りである。

（１）令和 6 年能登半島地震で発生した輪島市の RC 造建物の転倒の原因には、2011 年東北地方太平洋沖地震の津波による類似の転倒被害原因（津波水圧と浮力）を考慮すると、水平地震動と同時に作用する鉛直地震動も関与していると推察できる。

（２）鉛直地震動が関与する RC 造建物の転倒のメカニズムには、回転中心の位置および鉛直地震動の上下の向きにより 2 形態（**図 2.3**）が想定できる。本文では、「上向き鉛直震度作用型」および「下向き鉛直震度作用型」と呼ぶ。

（３）設計における鉛直地震動の影響の考慮には、水平地震動に対する鉛直地震動の相対的な比率（本文では、加速度比と呼ぶ。）によることが考えられる。この加速度比の解明のためには、地震動の観測データに基づくことが実態的であり、有効である。その場合、水平・上下の 3 方向（NS、EW、UD）の観測データのうち、最大加速度による加速度比は、同時発生時の相対比較ではないため、鉛直地震動の発生規模を知る参考にはなるが、鉛直地震動を定量的に算定する根拠としては不適当である。そのため、本文では、基礎的な検討として､同時発生時の加速度比は 0.01 秒ごとの時刻による加速度の相対的比較によることにし、令和 6 年能登半島地震（2024.01.01、16:10）の 4 観測地点（大谷、輪島、穴水、富来）での観測加速度記録（NS、EW、UD の 3 成分）を対象とした。

（４）4 観測地点において算出した 0.01 秒ごとの加速度比は、1.0 以上になる場合があるが、鉛直地震動が水平地震動を越える場合を想定する設計は、鉛直加速度を主体とした別途の検討が必要である。しかし、基本的な加速度比の分布を把握するため、第 1 段階として 100gal、200gal、300gal 以上のケースについて加速度比 10 以下の時刻歴データを対象として検討した。ここで、鉛直地震動の影響を考慮するのは、従来、鉛直地震動は考慮してきていない状況も考慮して、全ての水平地震動を対象とするのではなく、相当規模（本文では、200gal 台を想定）の水平地震動を対象にすることが合理的であるとして､300gal 以上については、さらに加速度比 1.0 以下の時刻歴データについて検討した。

（５）観測地点の加速度記録の分析に基づくと、加速度比 1.0 以下、300gal 以上の水平加速度の区分に応じた加速度比の分布およびそれらの平均が得られた（**表 3.37**、**図 3.33**～**図 3.36**）。その結果、0.01 秒ごとの加速度比は、水平加速度の増加に伴って低減する傾向がある。ま

た、水平加速度の区分ごとの加速度比の平均は、4 観測地点において 0.38～0.06 の範囲にあり、地点ごとの顕著な差異は見られない。言い換えると、観測地点に関わらず、共通的、統一的な取り扱いができる。なお、最大加速度の観測値は、大谷および輪島で概ね 1,500gal 以下、穴水で同 1,200gal 以下、富来で同 2,700gal 以下であり、本文では水平加速度の想定範囲を 2,700gal とした。

（6）設計のために、方向別および上下方向を集約した加速度比の標準化の試行例を示した（**表 3.38**）が、それにより水平加速度と同時発生を想定する鉛直加速度を設定することができる。ここで、本文で得られた標準加速度比の規模の妥当性は、工学的判断を含めて、さらに検討が必要であるが、本文では、実測された加速度観測データの分析結果（平均）に基づいている。

なお、時刻ごとの瞬間的な加速度に関する取り使い、工学的判断に関しては、本文での標準加速度化は加速度比の平均に基づいており、その意味では加速度比の最大値（1.0）ではなく、妥当な数値（0.35～0.15）にあると考えている。このため、本文で試行した標準加速度比は、標準化条件（p.43）の下で、水平震度（k_h から k_v）、水平加速度時刻歴波形の最大加速度振幅（α_{hmax} から α_{vmax}）、気象庁震度階による水平加速度（α_h から α_v）などから鉛直地震動を算定するための、震度比あるいは加速度振幅比として適用できる。

（7）相当規模（300gal 以上）の水平地震動と同時に発生する相当規模（300gal 以上）の鉛直地震動の発生は、水平地震動（NS、EW）および鉛直地震動（UD）のいずれかが 300gal 以上である時刻の概ね 10%を占めている。なお、この割合（10%程度）は影響がある鉛直地震動の発生頻度ではあるが、割合の大小により鉛直地震動を考慮するか否かの判断根拠にはならないこと、言い換えると、割合が小さくとも鉛直地震動が影響する場合があることに注意が必要である。

（8）観測される不規則な加速度履歴データに関して、気象庁震度階級における「均一な揺れが数秒間続く仮定による加速度」は、「同じ振幅と周期の正弦波が数秒間続く仮定による最大加速度」と読み替えられるが、富来の水平最大加速度（EW：46.37s、2,678.225gal）が発生している時刻を挟んだ 3.00 秒間における 300gal 以上の加速度の発生履歴（だけの確認であるが）によれば、「300gal 以上の振幅になる加速度（の発生状態）が、変動する周期（0.39～0.04 秒：平均 0.173 秒）で繰り返されて数秒（3.00 秒）間続く」と見なせるので、気象庁震度階級、周期から求める（最大）加速度の前提である仮定に近い状態はあり得る。

（9）本文は、鉛直地震動の影響の有無、その評価について、RC 造建物の転倒を契機としたが、他の木造建物などでも類似の影響があるのか否か、建築建物における鉛直地震動の影響の考慮方法、条件の検討が必要である。もし、鉛直地震動の影響がある場合は、従来の水平地震動の作用に加えて、鉛直地震動を考慮することが望ましい。

（10）建築構造物以外の土木構造物においても、構造物の全体系、さらに部位・部材に対して、水平地震動と同時発生する鉛直地震動は、複合的作用として従来、見落としていた、あるいは想定していない新たな損傷、変状と関係があると思われるため、今後、構造物の全体系、部位・部材の状態に基く検証が必要である。

あとがき

本文は、令和 6 年能登半島地震の RC 造建物の転倒被害を契機として、従来、設計地震動として重視されてきていなかった鉛直地震動に焦点を当てて、その特性を検討したが、本文を参考にして、鉛直地震動の影響に目を向けるとともに、構造物への影響の評価のきっかけにして頂ければ、幸いである。

謝辞

本文で用いた 4 観測地点の加速度記録データの収集に際しては、応用地質（株）防災・減災事業部 解析技術部の鈴木晴彦氏、根本 信氏および同部 防災コンサルティング部の澤田石智紀氏の御協力を頂いている。ここに、感謝申し上げる。

参考文献

1）国立研究開発法人 建築研究所：令和 6 年（2024 年）能登半島地震による建築物の基礎・地盤被害に関する現地調査報告（速報），令和 6 年 2 月 14 日.
2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所・独立行政法人 建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国総研資料 第 674 号，建築研究所資料 第 136 号．平成 24 年 3 月.
3) 西岡英俊・原隆史・関口徹・下村修一・山栗祐樹：令和 6 年能登半島地震による杭基礎建物の転倒被害，地盤工学会誌，Vol.73，No.1，pp.35-39，2025.1.
4) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 : 防災科研技術研究所 強震観測網（K-NET，KiK-net）、https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/ （2025.1.16 閲覧）
5) 気象庁：https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/comp.html，震度と加速度（2025.2.24 閲覧）
6) 常田賢一：鉛直地震動を考える，地盤工学会誌，寄稿（2025.3 投稿中：採否未定）.