

1.4 各種スペクトルから見た地震動

2007年3月25日、石川県能登半島沖を震源とする Mj 6.9 の地震が発生し、我が国では福岡県西方沖を震源とする地震 (Mj 7.0) 以来となる死者 1 名、及び負傷者 336 名、住宅全壊 630 棟、住宅半壊 1,520 棟 (5月28日現在) の被害が発生した¹⁾。この地震では、輪島市鳳至町の気象庁観測点、七尾市田鶴浜町、輪島市門前町走出の自治体観測点、及び穴水町大町の防災科学技術研究所 K-NET 観測点において震度 6 強が観測されている²⁾ (図 1.4-1)。また、本地震の災害を受けて局地激甚災害指定基準の改正が実施されたことにより、地震後 1 ヶ月以内である 4 月 25 日をもって局地激甚災害に指定され、七尾市、輪島市、珠洲市、能登町、志賀町、穴水町の 3 市 3 町に対して特別な財政援助などが実施されている³⁾。

本節では、能登半島地震の観測記録、主として各種スペクトルに着目して、地震動と被害との関連について報告する。ただし、ここでの対象は 3 月 25-26 日に実施した現地調査に基づいているため、全被害構造物を網羅する分析ではないことを予め付記しておく。

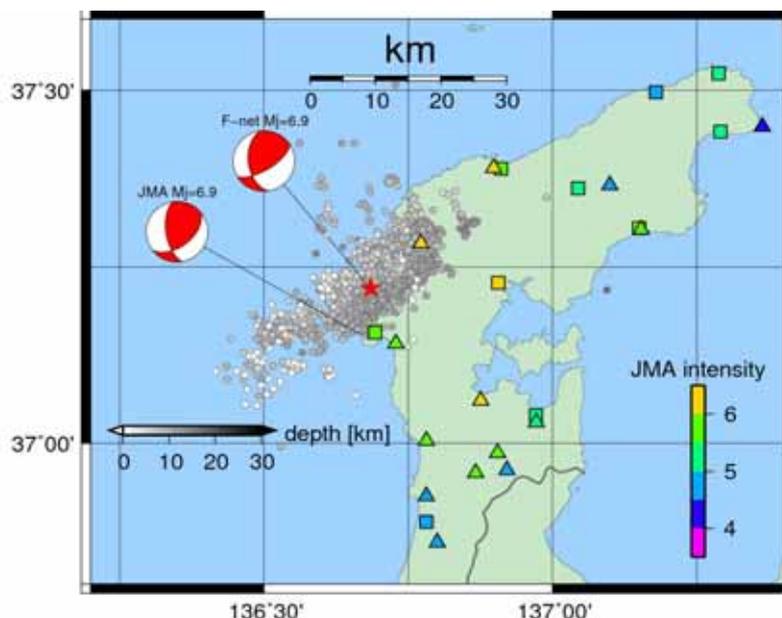


図 1.4-1 震度分布[:気象庁 ,及び自治体観測点 , :防災科学技術研究所 K-NET ,KiK-net 観測点],余震分布[防災科学技術研究所 Hi-net による本震後一週間の余震分布],及び CMT 解[防災科学技術研究所 (F-net), 及び気象庁 (JMA)]。

1.4.1 観測波形と応答スペクトル

本地震では、前述したように輪島市鳳至町、輪島市門前町、七尾市田鶴浜町、穴水町大町において震度 6 強が観測されたが、時刻歴波形データが公開されているものは輪島市鳳至町の気象庁観測点 (JMA Wajima) と及び穴水町大町の防災科学技術研究所 K-NET 観測点 (K-net ISK005) との 2 地点のみである。図 1.4.1-1 (左) にこの 2 地点の速度波形と、比較のため過去の被害地震の波形として 2004 年新潟県中越地震の川口観測点、兵庫県南部地震

の神戸海洋気象台，JR 鷹取駅で得られた観測記録の速度波形を併せて示す⁴⁾。なお，断層法線方向の成分で比較を行うために，本地震の記録は N148° 方向の成分を示す。図中の振幅のスケールは全波形で揃えているために直接振幅の比較ができ，本地震がここで示した他の地震の振幅と同じ約 100cm/s の最大速度値を有していることが確認される。また，図 1.4.1-1 (右) に疑似速度応答スペクトル (減衰 5%) の比較を示す⁴⁾。気象庁輪島観測点では周期 1.9 秒 (420cm/s) が卓越し，K-NET 穴水観測点では周期 0.95 秒 (230cm/s) が卓越していることから，両観測点における地震動に含まれる周波数成分が異なることが示唆される。併せて示す過去の被害地震のスペクトルと比較すると，本地震の両スペクトル形状は JR 鷹取駅のスペクトルをわずかながら下回っている。

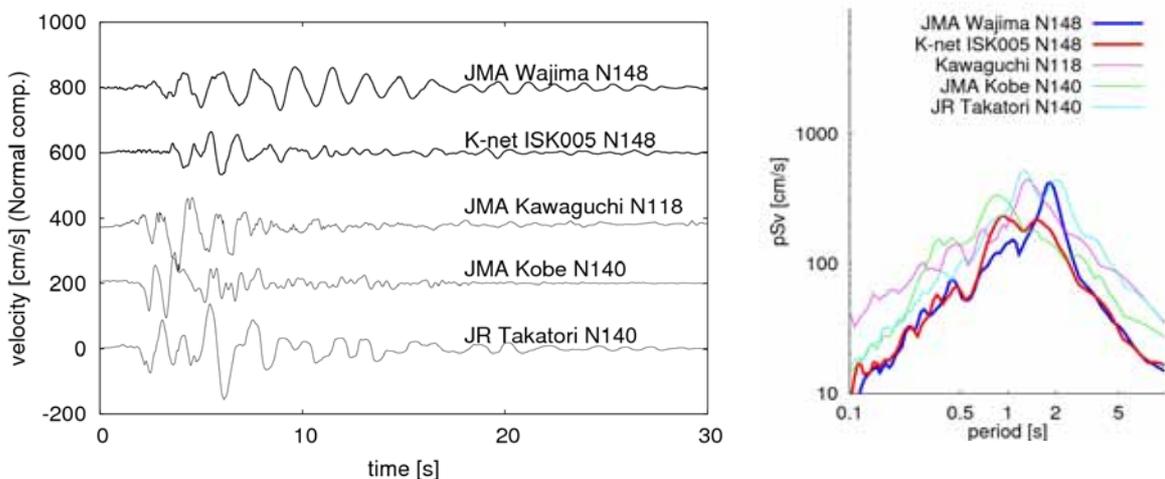


図 1.4.1-1 能登半島地震の観測波形記録と過去の被害地震の記録と比較⁴⁾
(左：速度波形の比較，右：疑似速度応答スペクトルの比較)。

1.4.2 中能登農道橋の被害と変位応答スペクトル

本地震では，七尾市能登島に架かる 2 本の橋梁，能登島大橋と中能登農道橋において被害が発生し一時点検通行止めとなった⁵⁾。中能登農道橋 (写真 1.4.2-1) は斜張橋 (450m) と箱桁橋 (170m) とが連続した全長 620m のほぼ東西に橋軸を有する橋梁で (写真 1.4.2-2)，斜張橋部と箱桁橋部の連結部で写真 1.4.2-3 に示す約 10cm の橋軸方向振動痕を確認した。連結部では若干の段差が見られるものの橋梁の構造体に被害が確認されないことから，この橋軸方向の変位は許容範囲内と考えられる。

中能登農道橋の近傍に本震を記録した観測点はないものの，10km 程離れた 2 つの K-net 観測点，穴水観測点 (ISK005) と七尾観測点 (ISK007) の記録を用いて応答スペクトルを算出する。橋軸方向がほぼ東西方向であることから，両観測記録の東西成分に対して変位応答スペクトルを算出すると (図 1.4.2-1)，実際に入力はこれらの地震動と異なると考えられるものの，本橋の規模より推定すると橋軸方向に 2 秒以下程度の固有周期を有すると

考えられるため、振動痕と関連させて 10cm のオーダーのオーダーの相対変位が発生する地震動が橋梁に入力したと想定することは不合理ではないと考えられる。



写真 1.4.2-1 中能登農道橋の概観

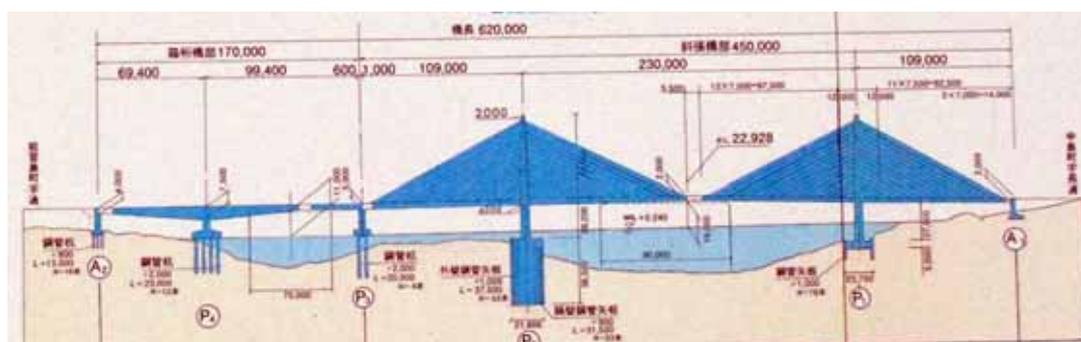


写真 1.4.2-2 中能登農道橋の概略図



写真 1.4.2-3 中能登農道橋に見られる橋軸方向（東西方向）の振動痕

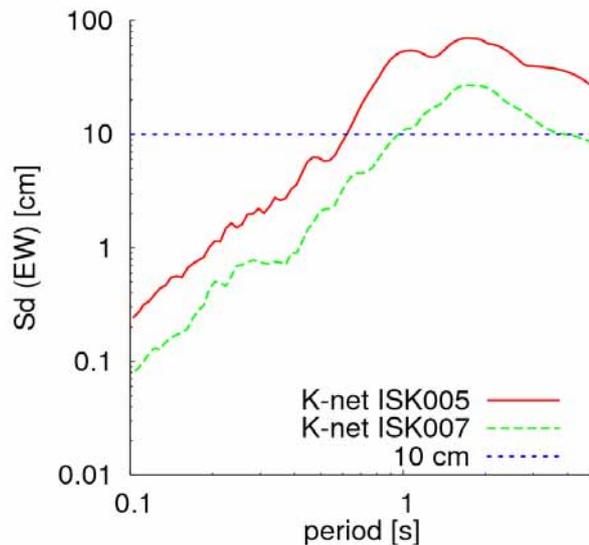


図 1.4.2-1 K-net 穴水観測点 (ISK005) と七尾観測点 (ISK007) の変位応答スペクトル

1.4.3 必要強度スペクトル

本地震における木造家屋や道路の被害といった非線形性を呈する構造物被害への地震動の影響を評価するために、ここでは簡単な非線形履歴特性が考慮された必要強度スペクトルによる比較を行う。

二次剛性が一次剛性の 10% であるバイリニア型非線形一自由度系の塑性率 $\mu=5$ に対応する必要強度スペクトルを図 1.4.3-1 に示す。本地震の観測波形は気象庁輪島観測点 (JMA Wajima) と K-net 穴水観測点 (ISK005) を代表とし、比較のため 2004 年新潟県中越地震の川口観測点、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台、JR 鷹取駅で得られた観測記録についても同様に示す。線形応答スペクトル (図 1.4.1-1) でみられた 1~2 秒におけるピークは、本スペクトルでは現れていない。図 1.4.3-1 に示す東西成分と南北成分それぞれの必要強度スペクトルの比較から K-net 穴水観測点では東西成分が、また気象庁輪島観測点では南北成分が過去の被害地震レベルに相当する降伏強度を要求することがわかる。屋根の重い木造構造物や上部に重量を持つ RC 橋脚などは大まかにではあるがバイリニア型の履歴曲線として近似することができるため、本地震において発生した穴水駅前の木造住宅の倒壊方向がほぼ東西方向である事実と調和的であると考えられる。

また、本地震では道路被害も発生しており、有料道路 (能登有料道路、能越自動車道) や国道、県道などで落石・陥没などにより地震発生直後から一部区間で通行止めとなった。特に能登有料道路では、路面の崩落が 11 ヶ所、路面のクラック等が 40 ヶ所で発生し⁵⁾、穴水 IC ~ 柳田 IC 間が全線通行止めとなった。国道 249 号志賀町深谷地区では写真 1.4.3-1 のような大規模な盛土の崩壊が発生し、現場で確認したところ高盛土である北側斜面の部分では幅 10m ほど、長さ 100m ほどに渡って盛土が崩壊していた。

盛土の被害に対しては、傾斜方向にのみ塑性変形を考える片側必要強度スペクトル⁶⁾が適

当であると考えられる。国道 249 号の崩壊現場に近い K-net 富来観測点 (ISK006) の観測記録と、斜面災害・盛土崩壊が数多く報告された 2004 年中越地震の山古志村での観測記録の両者に対して片側必要強度スペクトルを算出した(図 1.4.3-2)。ここで、残留変位 10cm に対する必要設計水平震度を、斜面の傾斜方向を変えてそれぞれ 2 本の実線で示している。0.5 秒以上の固有周期を有する地盤に対しては、山古志村の方が大きな設計水平震度を要求するが、より短周期を固有周期とする地盤に対しては本地震の富来の記録は山古志と同レベルの設計水平震度を要求することが確認される。

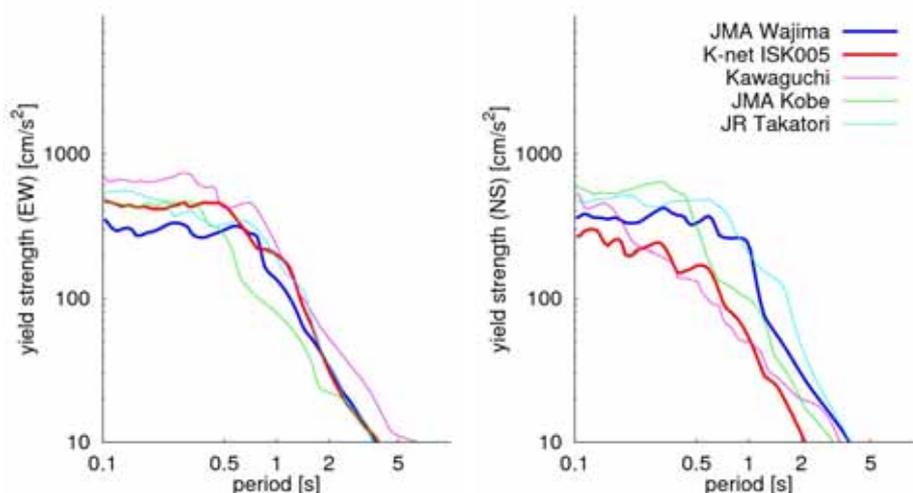


図 1.4.3-1 観測波形記録と過去の被害地震の観測波形記録の必要強度スペクトル ($\mu=5$)
(左：東西成分，右：南北成分)



写真 1.4.3-1 国道 249 号志賀町深谷地区での盛土崩壊現場

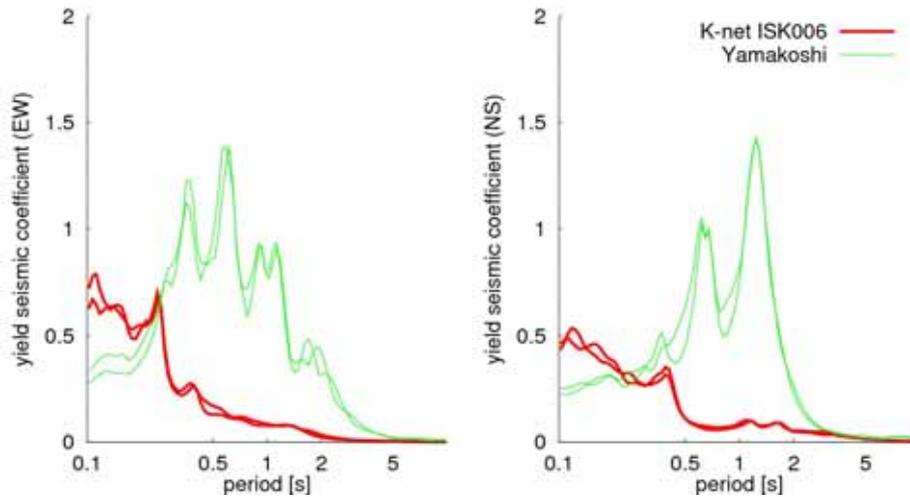


図 1.4.3-2 K-net 富来観測点 (ISK006) と 2004 年中越地震の山古志観測点における観測波形の片側必要強度スペクトル (残留変位 0.1m)
(左：東西成分，右：南北成分)

謝辞

本項では、防災科学技術研究所および気象庁の観測記録を使用させていただきました。ここに記して感謝します。

【付録 1】1.4 節執筆者

後藤浩之・高橋良和 (京都大学防災研究所)
豊岡亮洋 (京都大学大学院都市社会工学専攻)

【付録 2】参考文献および URL

- 1) 石川県：消防防災 Web，<http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp>，2007 .
- 2) 気象庁：報道表資料，
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/houdou.html，2007 .
- 3) 内閣府：「平成十九年能登半島地震による石川県鳳珠郡能登町等の区域に係る災害についての激甚災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令」について，
<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h19/070425noto.pdf>，2007 .
- 4) 岩田知孝，浅野公之：2007 年能登半島地震に関する情報，
<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/noto070325.html>，2007 .
- 5) 内閣府：地震防災のページ 災害情報一覧 <http://www.bousai.go.jp/saigaiinfo.html>，2007 .
- 6) 澤田純男，土岐憲三，村川史朗：片側必要強度スペクトルによる盛土構造物の耐震設計法，第 10 回日本地震工学シンポジウム，pp.3033-3038，1998 .