

2007年能登半島地震で被災を受けた長大橋を 対象とした入力地震動の推定

竹田周平¹・幸左賢二²・村田 晶³・長尾亮太⁴・宮島昌克⁵・北浦 勝⁶

¹正会員 博士課程 金沢大学大学院 自然科学研究科（〒920-1192石川県金沢市角間1-11）

²正会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

³正会員 金沢大学大学院助教 自然科学研究科（〒920-1192石川県金沢市角間1-11）

⁴学生会員 金沢大学 工学部 土木建設工学科（〒920-1192石川県金沢市角間1-11）

⁵正会員 工博 金沢大学大学院教授 自然科学研究科（〒920-1192石川県金沢市角間1-11）

⁶フェロー員 工博 金沢大学大学院教授 自然科学研究科（〒920-1192石川県金沢市角間1-11）

1. はじめに

2007年3月25日09時41分、能登半島沖を震源とするマグニチュードM6.9の地震が発生した。石川県内においては、穴水町・輪島市・七尾市で震度6強を、また北海道から中国地方にかけては震度5から1を観測した。今回の本震は、西北西-東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型であった。図-1に能登半島における近年の地震発生位置を示す、この能登半島においては、過去に被害をもたらしたM6.0以上地震は数回発生しているものの、M7.0を超える地震は発生していないとみられ、今回観測された地震が過去最大のものとなった。この地震により、死者1名、負傷者336名、住宅全壊580棟、住家半壊1,063棟などの被害が発生した¹⁾。また、液状化の発生、道路盛土の崩壊、一部橋梁の損傷等も発生した。特に能登半島を縦貫している有料道路における高盛土では、大規模な盛土崩壊が発生している²⁾。構造物の被害においては、能登島と本土に架かる海上橋の能登島大橋やツインプリッジにおいて損傷が発生したが、早期復旧が可能な限定的な被害であった。このように長大橋の被害を分析を行うには、橋梁架橋位置での観測波形を用いる方法が望ましいが、実際に橋梁付近で観測された波形はない。さらに、橋梁架橋位置における波形は、応答解析を行う上で重要な要素であり、この波形を推測することは被害分析を行う上で重要である。

本論文では、この能登半島地震に着目し、被害概

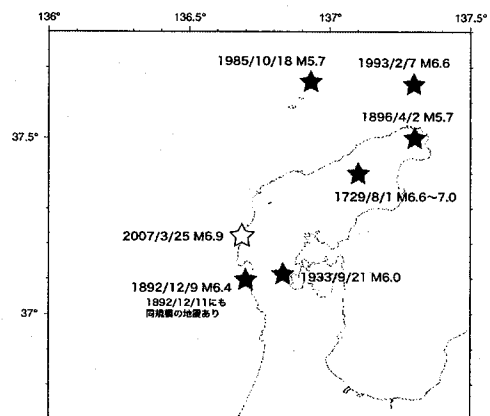


図-1 能登半島における近年の地震発生位置

要や観測記録・構造物の被害概要を述べるとともに、長大橋である能登島大橋の被害損傷分析を行うための入力波形の再現を試みた。

2. 能登島大橋の地質概要

能登島大橋の地質について述べる。橋梁架橋付近の地表面は、沖積層の粘土およびシルトが堆積している。この地層は高含水比で軟弱な粘土層であるが、海底付近にはほとんど分布していない。その粘土層の下層は、珪藻泥岩層（和倉層）であり、50~60mの深度まで層厚を呈している。珪藻泥岩は、指頭で

容易につぶすことができる強度である。またこの珪藻泥岩は、標準貫入試験のような動的試験を行う場合、①先端の構造が閉塞か開放によってN値が異なり、また室内の強度試験の結果との相関性が悪い、②深度とN値や強度特性との間には、粘性土のような有効土被り圧の影響が全く確認されない、③オーガボーリングなどで繰り返し作用を与えると、脆性な材料特性から粘性材料に一変し施工管理上非常に取り扱いにくい材料になる、④強酸性であるため鋼やコンクリート材への影響が懸念されるなどの特徴を有している。



写真-1 橋脚基部の被害状況

3. 能登島大橋の概要と地震被害

(1) 能登島大橋の概要

本橋（昭和57年架設）は、七尾湾中央部に位置する能登島と本土を結ぶ3径間連続PCラーメン橋と前後の計18径間のPCT単純桁橋からなる全長 $L=1,050$ mの海上橋である。図-2に橋梁の側面図を示す。

下部構造は、逆T式橋脚が20基（鋼管杭による多柱式基礎）で端部は逆T式橋台（鋼管杭基礎）と重力式橋台（直接基礎）で構成されている。

(2) 能登島大橋の地震被害

写真-1に橋脚基部のひび割れ状況を示す。被害報告³⁾より、図-2に示す桁橋の橋脚（P6,7）とラーメン橋と単純橋の掛違い橋脚（P10）、ラーメン橋の中間橋脚（P11）の計4基に比較的顕著な損傷が確認されている。P6・P7では、基部コンクリートの剥落とひび割れ、鉄筋のはらみだし、内3本の破断とフーチングとの境界部直近で帯鉄筋1本の破断が確認された。P10では、中間段落とし部で曲げ、せん断ひびわれがみられ、橋軸直角方向地震動の影響によるものと判断される。調査の結果、損傷が大きいP7・P10も大きな残留変形等もなくモルタル等による断面補修とひび割れ注入により当面の供用に必要な耐荷力は確保できると考えられる。

4. 入力波形の推定

(1) 観測波形

石川県内においては気象庁（以下「JMA」と称す）、独立行政法人防災科学技術研究所、自治体震度計による地震観測が合計62地点で実施されている。これらの地震計設置位置を図-3に示す。

震度分布は、石川県輪島市・七尾市・穴水町で震度6強、志賀町・能登町・中能登町で震度6弱を記録したほか、北陸地方を中心に北海道から中国・四国地方にかけて震度5強～震度1を記録した。また震度6強を記録したのは、輪島市門前町走出（計測震度6.4）、穴水町大町（計測震度6.3）、七尾市田鶴浜町（計測震度6.2）、輪島市鳳至町（計測震度6.1）の4箇所である。なお、自治体震度計による計測震度は地震・火山月報（防災編）⁴⁾を参照した。

最大加速度は、SI-01（門前町走出）において $1,304\text{cm/s}^2$ を記録したのが最大であり、ISK005（穴水）、ISK006（富来）で 900cm/s^2 と越える大きな最大加速度を記録した。最大速度はISK005（穴水）で 103cm/s を記録したのが最大であり、JMA-01（輪島市鳳至町）でも 100cm/s に近い値が記録された。代表的な観測記録（JMA-01：輪島市鳳至町）と応答スペクトル²⁾を図-4に示す。

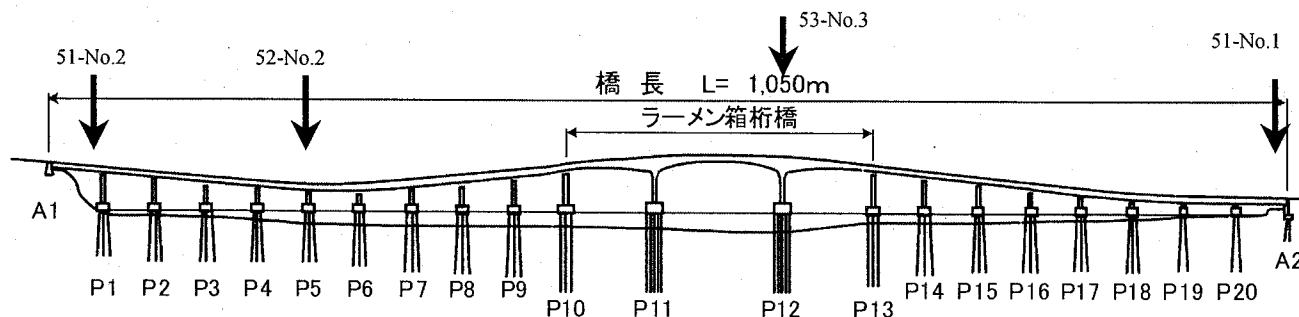


図-2 能登島大橋の側面図

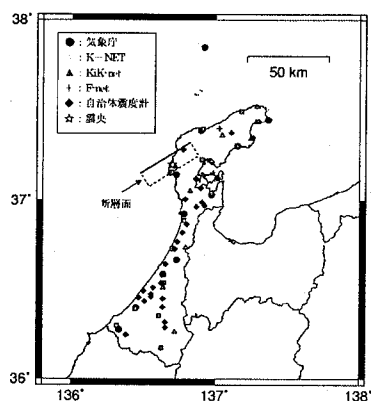


図-3 地震計設置位置

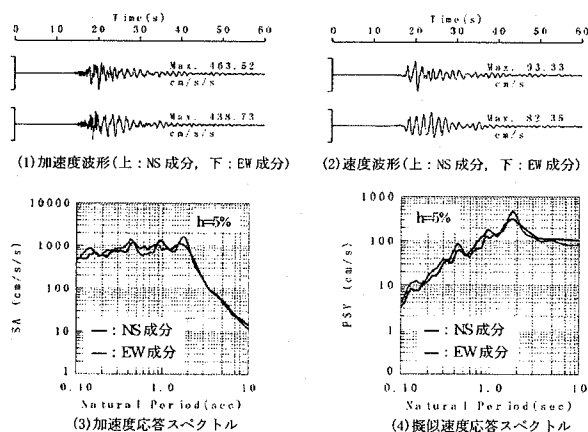


図-4 輪島市鳳至町の観測記録

このように、観測記録が得られている場合は、被害推定を行うことが可能となるが、能登島大橋付近では観測記録がないことから、橋梁への入力地震動の推定が重要となる。この理由について、橋梁の動的解析は、入力地震動の振幅や振動数などの特性が橋梁の動的応答性に影響を及ぼすためである。

(2) 入力地震動の推定

入力地震動の推定を行う。入力地震動の推定では、Kik-netで観測された能登町柳田の地中観測データ(NS方向)を用いた。この観測記録を工学基盤面での距離減衰を考慮して福島・田中式により最大加速度を調整し、その後FDELと能登島大橋のボーリング調査結果から地表面の地震動を推定した。

図-5に柳田の地中観測データを示す。この柳田で得られた地中部の観測データに基づき震源位置における波形を作成、その後震源より43km離れた能登島大橋の基盤波形を作成した。図-6に推定した能登島大橋位置における基盤波形を示す。なお、ここに示す並行方向は橋軸方向を、直交方向は橋軸直角方

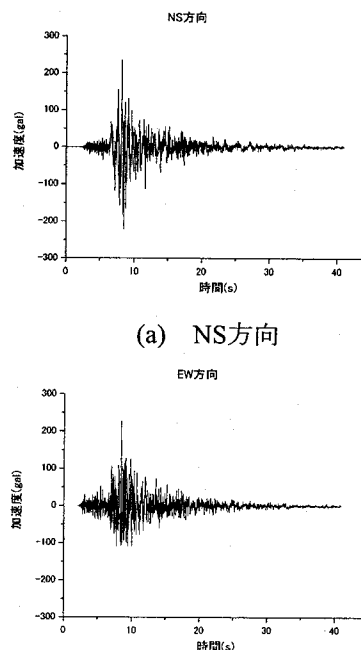


図-5 能登町柳田の地中観測データ

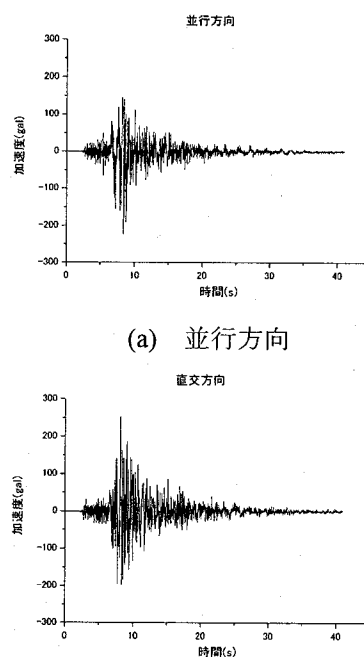


図-6 能登島大橋位置の推定基盤波形

向を示す。なお波形の推定について、地震動の方向は橋梁の解析方向を考慮し変換している。

次に、地表面波形について述べる。作成した能登島大橋位置における基盤波形を基に、FDELを用いて各ボーリング位置における地表面波形を解析した。

能登島大橋には全部で11箇所の調査を行っている。
ここでは代表的な、51-No.1, 53-No.3, 52-No.2,
51-No.2の全4箇所（図-2の↓位置）の調査結果に着
目した。これらの地表面における時刻歴加速度波形
を図-7に示す。また、この波形を基に、 $h=5\%$ とし
たときの加速度応答スペクトルを図-8に示す。応答
スペクトルより、並行方向の最大応答スペクトルは
1740gal、直交方向は2660galと大きな値であること
が判る。スペクトルのピークを平均化すると約
1000galであることから、能登島大橋は1000gal程度
の水平力が作用したものと推測できる。

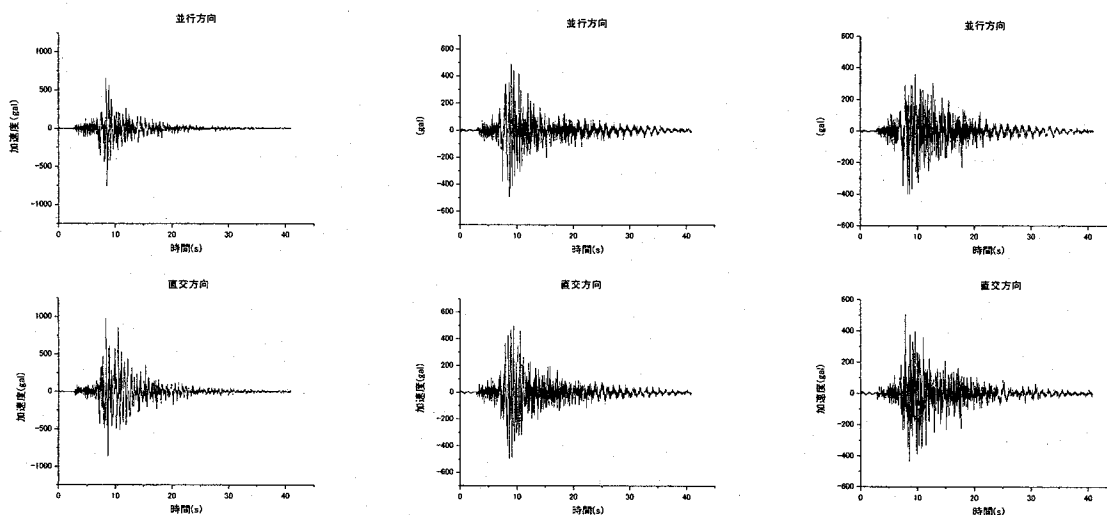
5. まとめ

本研究では、能登半島地震により被災を受けた能
登島大橋に着目し、被害推定を行うために必要とな
る地表面波形を推定することを目的とし検討を試み
た。今後は、この推定地震動を用いて動的解析を実
施し、橋梁の損傷メカニズムを検討する予定である。

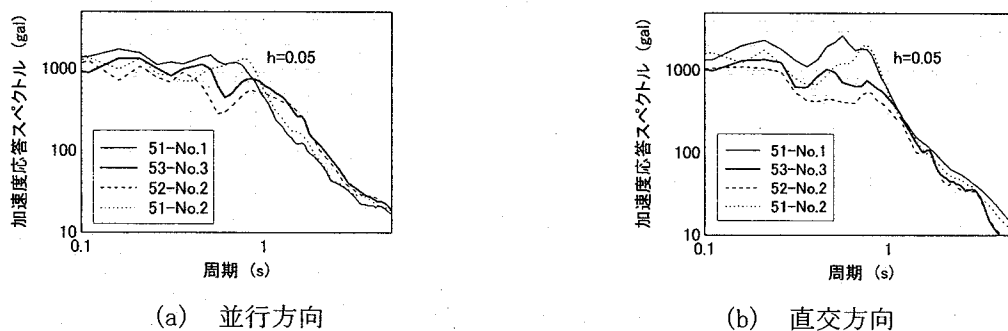
謝辞：本研究を行うにあたり、（独）防災科学技術
研究所（Kik-net）が観測・収集した強震記録を使用
した。また（株）日本海コンサルタントの小川義厚
氏より能登地区における地質に関する情報の提供と
ご指導を頂きました。ここに記して感謝の意を表し
ます。

参考文献

- 1) 災害時地震・津波速報 平成19年（2007年）能登半
島地震，災害時自然災害報告書2007年第1号（対象地
域：石川県），気象庁，2007.
- 2) 土木学会・地盤工学会：2007年能登半島地震被害調
査 報告書，平成19年10月.
- 3) 土木技術資料，平成19年能登半島地震緊急調査報告，
pp.6-11,2007.6.
- 4) 気象庁：平成19年3月 地震・火山月報（防災編），
p.49，2007.



(a) 21-No. 1 (b) 53-No. 3 (c) 52-No. 2
図-7 能登島大橋位置の推定地表面波形（上段：並行，下段：直交方向）



(a) 並行方向 (b) 直交方向

図-7 能登島大橋位置の推定地表面波形