

福井地震による九頭竜川堤防被害と微動特性について

福井大学工学研究科 正会員 ○小嶋 啓介
 福井大学工学研究科 正会員 伊藤 雅基
 元福井大学工学部 非会員 水野 智洋

1. まえがき

1948年6月28日の福井地震($M_j=7.1$)では、福井平野周辺で建物の倒壊率が100%に迫る甚大な被害に加え、平野全域にわたる液状化も観測されている。九頭竜川の多くの橋梁も落橋し、堤防は広い範囲で縦亀裂、法面崩壊、側方流動を伴いながら大きく沈下する被害を受け、約1カ月後の7月25日の水害を引き起こす要因となった。本研究では、福井地震で被災した九頭竜川堤防を対象とし、常時微動のアレイおよび単点観測に基づいて、堤体と基礎地盤の振動特性と被害との関連性を検討した結果を報告する。

2. 福井地震による堤防の被害

図1に、福井平野周辺の地形図上に、九頭竜川堤防の被害の概要を示す。図2は堤防の基礎地盤と天端沈下量の河口からの距離ごとの分布である。図中のR,Lは右左岸を示す。地盤沈下量は下流域の80cm程度から扇状地で急減している。天端沈下の平均は1.5~2mであるが、福井地震断付近、平野中央の19km付近、日野川と合流する14km付近では4mを超える値が報告されている。破堤箇所は、4km付近と、福井市街に近い19km付近である。

3. 常時微動観測

九頭竜川堤防を対象とし、図1に△で示す地点で常時微動のアレイ観測を、●印地点で単点3成分観測を実施した。本報告では、堤防天端、法肩、犬走りおよび基礎地盤での横断アレイ観測と、単点観測について検討する。以下では川面方向をNとして横断方向をNS、縦断方向をEWと上下方向をVと称する。微動観測には、Lennartzの速度計LE-3D/Liteと白山工業のLS-8800を組みあわせ、サンプリング間隔0.005sで、継続時間は約10分とする観測を行った。収録データから、40.96秒の区間を、20.48秒オーバーラップさせながら抽出し、各データセットの平均パワーを算出し、パワーの小さい順に10組程度選定し、0.1HzのParzenウィンドをかけ、伝達関数とH/Vスペクトルを算出した。

4. 堤防・基礎地盤の微動特性

図3は11.6kmおよび19.4km地点の横断アレイ観測地点のスペクトル特性を示している。同図のNS/VとH/Vは、天端中央の3成分観測から算出した、横断成分(NS)および水平動成分と上下動成分Vのスペクトル比である。19.4km地点の結果を見ると、NS/VおよびH/Vスペクトルには、共通して0.58秒と1.8秒付近に

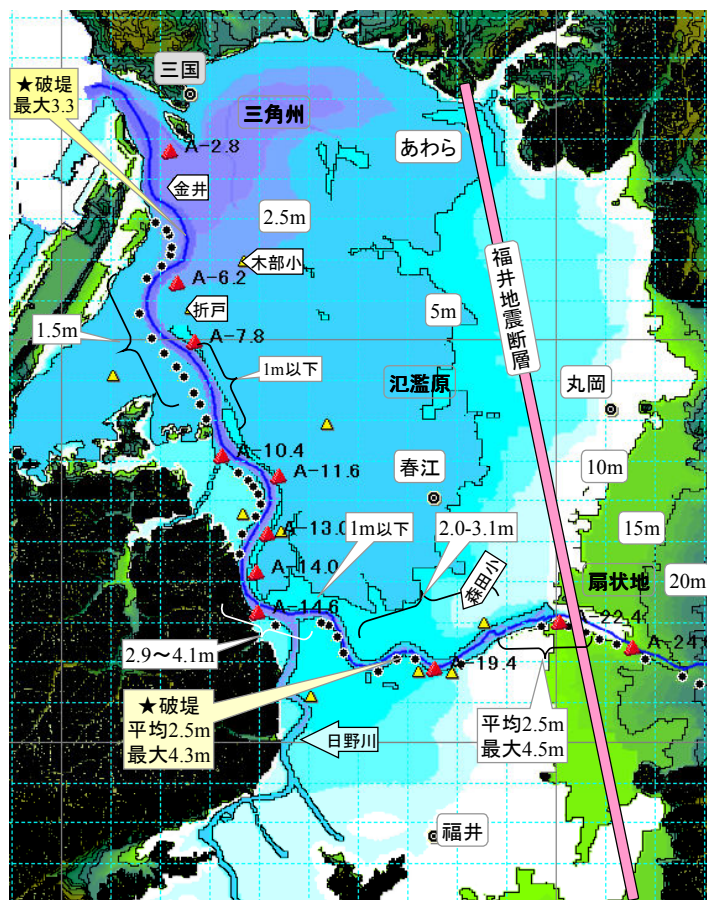


図1 九頭竜川堤防の被害と微動観測点

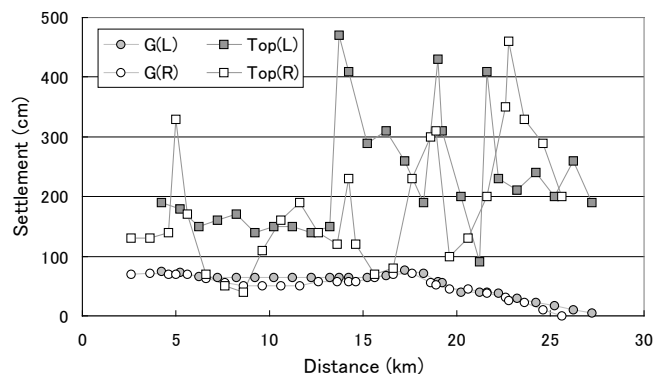


図2 九頭竜川堤防の地盤および天端沈下分布

キーワード：福井地震，九頭竜川堤防，常時微動，卓越周期
 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 福井大学工学研究科

明瞭なピークが認められる。既存の福井平野における微動観測結果から、この二つのピークは、S波速度が300m/s以下の軟弱層（沖積層と呼称する）と第四紀層最下面に起因する卓越周期であり、以下ではそれぞれ T_a と T_q と呼ぶ。同様のピークはやや不明瞭ながら11.6km地点でも確認できる。同図中の NS/NS は、天端中央と法尻の盛土横断成分の伝達関数である。伝達関数では、基礎地盤特性に起因する成分がキャンセルされ、上記の T_a と T_q に相当するピークは確認できない。一方、0.15~0.19秒付近に明確なピークが認められ、盛土横断方向の固有周期に対応すると思われる。このピーク周期は、上述の NS/V および H/V スペクトルでも確認できる。なお紙面の都合で図は示さないが、その他の観測点においても同様の結果が得られた。図5(a)は伝達関数 H/H と H/V スペクトルから判読された盛土の固有周期の比較である。一か所を除いて両者は良く対応していることが確認できる。中村・中野は、盛土の固有周波数 f_0 を盛土高さ H 、幅 B 、平均S波速度を用いて $f_0 = 0.28 \cdot B^{-0.97} (B/H)^{0.84} \cdot V_s$ とする近似式を提案している。図4(b)は、 H/H スペクトルから推定した固有周期と上式との比較である。全地点を通して、実験式による盛土の固有周期は、伝達関数 H/H から求めた値に比較してやや低い傾向にあるが、両者は比較的良好な対応を示している。以上の結果から、盛土天端の H/V スペクトルから基礎地盤の卓越周期と、盛土の固有周期の概略値が推定できる可能性が示唆されたと考える。

図5は H/V スペクトルから判読した堤防固有周期の分布である。河口付近ではやや低い地点も見受けられるが、全体的に0.1~0.15秒付近でばらついている。一方、図6は基礎地盤の卓越周期の分布である。 T_q は九頭竜川河口付近から九頭竜川が山麓に近づく14km付近まで漸減するが、平野中央部を横断する16kmから20kmにかけて1.5秒以上となり、福井地震断層（東側隆起）を超える22km付近から減少する。 T_a は0.7~0.8秒付近で推移するが、九頭竜川が扇状地に入る18km付近から0.2秒程度まで単調に減少する。図2の堤防基礎地盤の沈下量と沖積層の卓越周期分布を比較すると、両者の変化傾向は類似していることが分かる。福井平野内では、断層からの距離よりも表層地盤特性が堤防基礎地盤に影響したことが示唆される。一方、図5と6の左右の矢印は、図2で示した福井地震の天端沈下量の大きい範囲である。その範囲は、堤体の卓越周期が大きいと地点との対応が若干認められるが、地盤の卓越周期との相関性は低いようであり、堤体および基礎地盤の液化化の影響が大きい可能性がある。

5. あとがき：九頭竜川堤防の微動観測を行い、堤体および基礎地盤の卓越周期特性と、福井地震被害との関連性について検討した。今後、微動 H/V スペクトルに基づく地盤のS波速度構造の推定や堤体被害の卓越周期や液化履歴と関連性を検討する予定である。本研究の一部は、福井県大学連携研究補助金の援助を得て実施した。

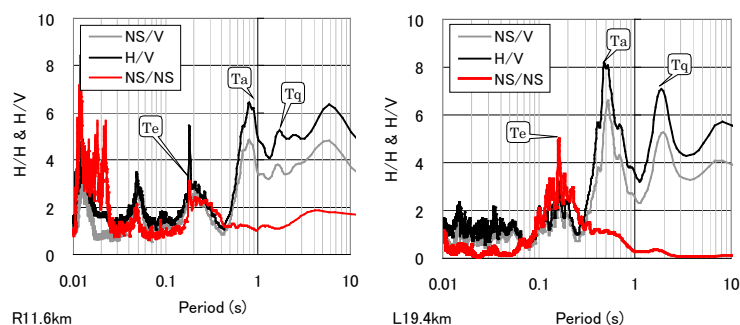
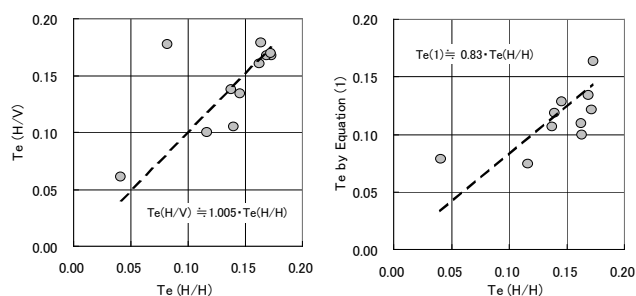


図3 天端—基礎地盤の伝達関数と天端 H/V スペクトル



(a) H/V による固有周期 (b) 近似式による固有周期
図4 盛土の固有周期の比較

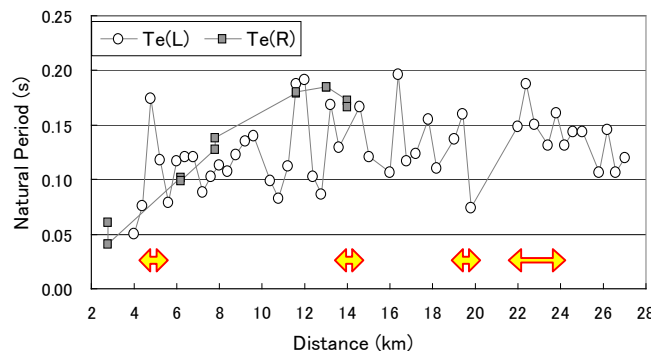


図5 九頭竜川堤防の堤体の固有周期分布

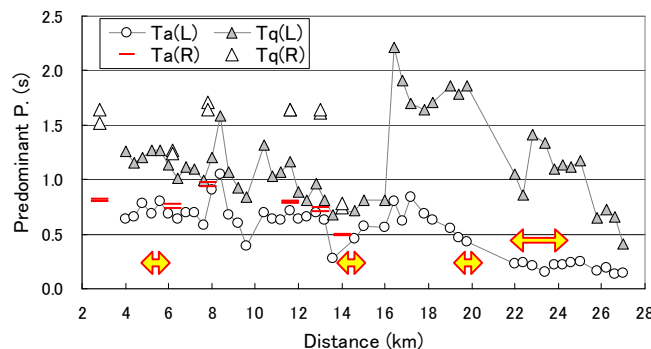


図6 九頭竜川堤防基礎地盤の卓越周期分布