

令和6年能登半島地震の観測記録を用いた鋼管集成橋脚の応答特性の分析

(一財)阪神高速先進技術研究所 正会員 ○赤松 伸祐 正会員 服部 匡洋
 阪神高速道路(株) 正会員 谷口 祥基 正会員 西村 美紀
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

鋼管集成橋脚は図-1 に示すように、鋼管 4 本組を基本単位とし、履歴減衰機能を有するせん断パネルを組み込んだせん断リンクにより鋼管を互いに接合することで単一の柱とした構造である。本橋脚は死荷重や活荷重などの鉛直荷重を一次部材である鋼管柱で支持し、地震時慣性力などの水平荷重を二次部材であるせん断リンクで抵抗する機構を有する。この橋脚は、阪神高速道路の海老江ジャンクション（以下、海老江 JCT）などにおいて試験施工が実施され、既に供用が開始されている。そして、実構造に適用された鋼管集成橋脚が設計時のコンセプトに従って挙動しているかを確認するために、2021 年 4 月よりモニタリング計測を実施している。

ここでは、2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震時の観測データを用いて、鋼管集成橋脚の応答特性を分析した。

2. 対象橋梁とセンサ配置

計測対象の鋼管集成橋脚は、海老江 JCT の神戸線から淀川左岸線への渡り線となる D ランプ[1]の PD4 橋脚に適用されている。D ランプ[1]の平面図を図-2²⁾（航空写真を加工して作成）に示す。PD4 橋脚を含む D ランプ[1]橋は PD1～PD5 間の鋼 5 径間連続鋼床版箱桁橋（ $92.7+60.5+50.5+49.0+78.9=331.6\text{m}$ ）であり、端支点の支持条件は PD1 が機能分離、PD5 が固定、その間の中間支点は剛結構造である。PD4 橋脚以外の橋脚は従来型の矩形断面鋼製橋脚である。



図-2 D ランプ[1]橋平面図

計測機器の設置位置および測点名を図-3 に示す。ひずみゲージの計測断面は橋脚基部と上部であり、鋼管に対して橋軸および橋軸直角方向の 4 箇所（位置で鋼管軸方向（鉛直方向）のひずみを計測している。加速度計は橋脚基部と各せん断リンクの上側の計 5 箇所に設置し、計測方向は鋼管集成橋脚に対して橋軸、橋軸直角、鉛直の 3 方向性成分としている。これらの計測時間は地震を感知してから 300 秒間、計測間隔は 200 Hz である。



図-1 鋼管集成橋脚

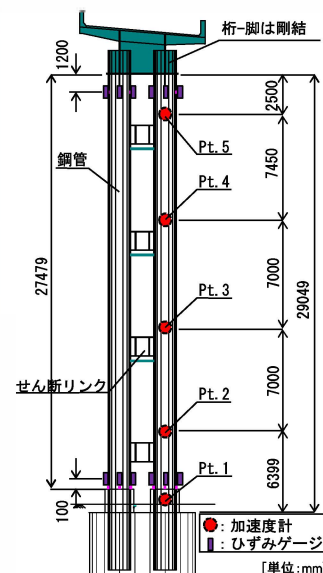


図-3 対象構造物の計測位置

3. 観測地震動

2024年1月1日16時10分頃、能登半島を震源とするマグニチュードM7.6の地震が発生し、海老江JCTが位置する大阪市福島区付近では震度4を観測した。図-4に5%の減衰を考慮したPt.1の加速度応答スペクトルを道路橋示方書・同解説V編耐震設計編³⁾（以下、「道示V」という）に示される加速度応答スペクトルと併せて示す。Pt.1は構造物の応答となるが、最も地表面に近い箇所での計測波形となる。これより今回計測された計測波形は、道示Vに示されるレベル1地震動より全ての周期帯で小さいことが分かる。また、3方向の周期は0.8～1.1秒程度の周期帯で最大加速度となっている。

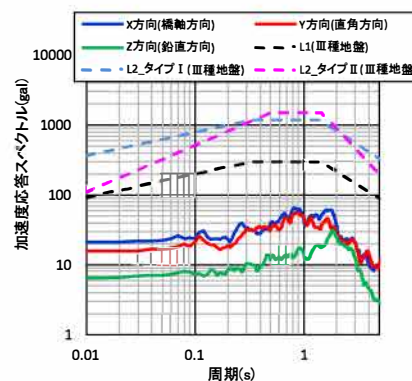


図-4 Pt. 1の加速度応答スペクトル

キーワード 令和6年能登半島地震、鋼管集成橋脚、モニタリング

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7 東亜ビル内 (一財)阪神高速先進技術研究所 TEL 06-644-6038

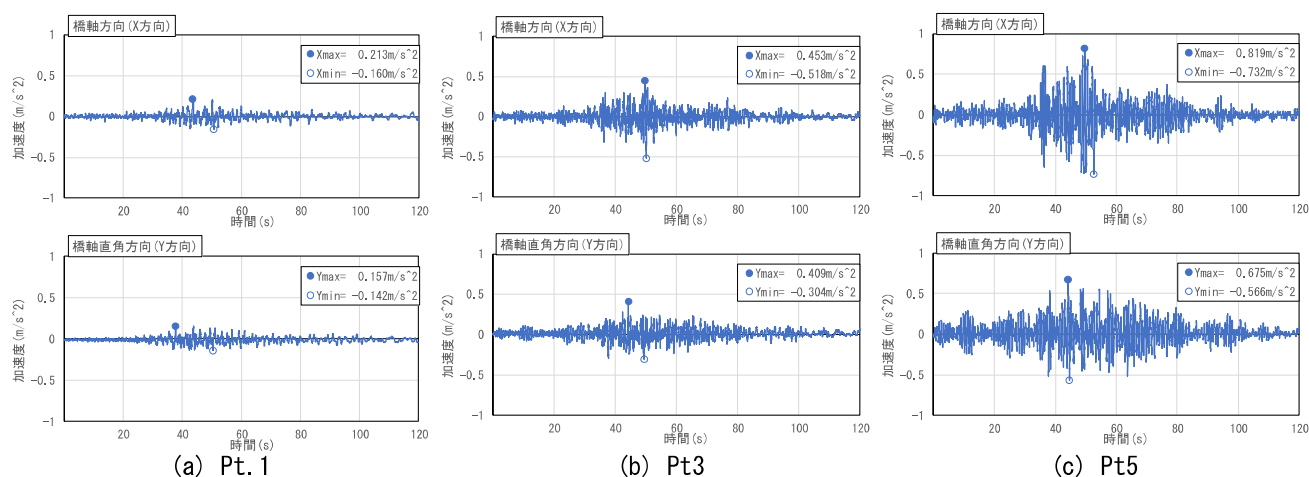


図-5 観測した加速度応答時刻歴波形

4. 加速度の分析

代表的な計測値としてPt.1, Pt.3, Pt.5で計測された橋軸と直角方向の加速度応答時刻歴波形を図-5に示す。Pt.1, Pt.3, Pt.5のそれぞれの最大加速度の絶対値は、橋軸が 0.213 m/s^2 , 0.518 m/s^2 , 0.819 m/s^2 , 直角が 0.157 m/s^2 , 0.409 m/s^2 , 0.675 m/s^2 となり、橋脚の上部ほど加速度が増幅する傾向を捉えている。また、図-6に示すPt.5とPt.1のフーリエスペクトル比から推測されるPD4橋脚の固有振動数は、橋軸方向と直角方向でそれぞれ 1.67 Hz , 1.41 Hz である。一方で、耐震設計で用いた非線形動的解析モデルの固有振動数は、PD4橋脚の橋軸方向と直角方向に着目するとそれぞれ 1.05 Hz と 0.94 Hz であり、どちらも計測値の方が振動数が高い傾向である。これは、耐震設計では大規模地震時の地盤の軟化を考慮した基礎ばねを用いていることに対し、今回のレベル1地震動より小さな地震では基礎が応答しなかったことが要因の一つと想定される。

5. ひずみの分析

計測データのうち、Pt.5の加速度が最も大きい時間 ($t=49.6 \text{ s}$) の鋼管ひずみを図-7に示す。鋼管基部のひずみは、鋼管A, B基部の橋軸方向外側 (A-b-1, B-b-1) でそれぞれ $+140 \mu$, $+154 \mu$, 鋼管C, D基部の橋軸方向外側 (C-b-3, D-b-3) でそれぞれ -237μ , -115μ と、橋軸方向外側で最大の圧縮および引張のひずみが発生している。また、ひずみ値は、4本の鋼管の中央に近づくほど小さい値となっていることから、設計における想定通り4本の鋼管が1本の柱のように挙動していると言える。

鋼管上部も同様の傾向であるが、各鋼管の内側 (A-t-3, B-t-3, C-t-1, D-t-1) で逆方向のひずみが発生している。この逆方向のひずみが発生している箇所は、全て各鋼管の橋脚内側のフィレット下側であり、フィレットにより鋼管上部の変形が拘束された影響を捉えていると考えられる。

6. まとめ

ここでは、取得した計測データから鋼管集成橋脚の挙動を分析した。一方で、今回取得した作用に対して「全ての部材が弾性的に挙動する」という設計想定を、計測データと外観目視から評価することが困難である。今後は時刻歴応答解析によって鋼管集成橋脚の地震時の挙動を再現し、その解析モデルを用いた評価を行う必要がある。

参考文献

1) 赤松伸祐, 服部匡洋, 青木康素, 谷口祥基: 鋼管集成橋脚の性能検証を目的としたモニタリング計画の策定および挙動分析, 鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, 第30巻, 2022. 2) 国土地理院: 地図・空中写真閲覧サービス, <https://mapapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> (2023年3月20日閲覧) 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編, 2017.

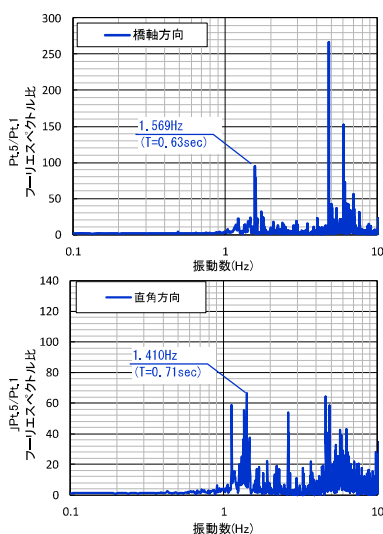
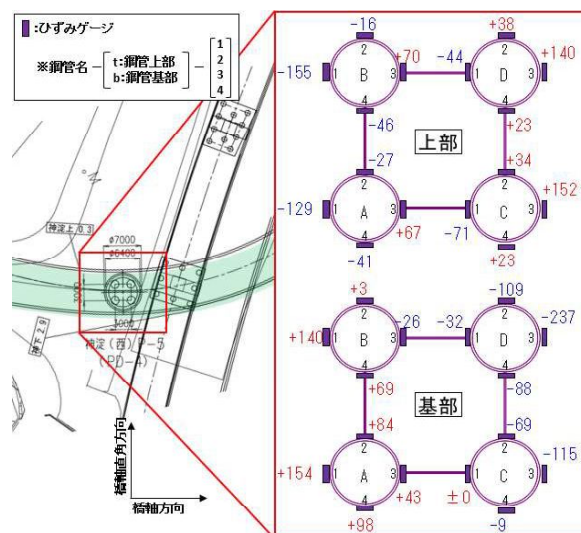


図-6 フーリエスペクトル比

図-7 49.6sの鋼管ひずみ(ひずみ値 $\times 10^{-6}$)