

5. まとめ

鳥取県西部地震は、その地震規模が気象庁マグニチュード $M_J 7.3$ 、最大震度階 6 強、最大加速度 927gal が観測されたにもかかわらず、地震による構造物の被害は軽微なものであった。本業務では、鳥取県西部地震で観測された地震動の特性を求め、地震動特性の面から橋梁構造物に与える影響を検討した。さらに、鳥取県が管理する震源域周辺（鳥取県西部地域）に建設されている橋梁 10 橋の RC 橋脚 12 基を対象に非線形動的解析を行い、耐震補強の効果を確認した。

- 1) 震源断層域で観測される地震動には、振幅が大きくかつ加速度波形としてはその周期が長いパルスが含まれており、そのパルスが構造物に与える影響（破壊力）が大きいことが、内陸直下型地震である 1994 年ノースリッジ地震や 1995 年兵庫県南部地震で観測された地震動の分析から報告されている。鳥取県西部地震も内陸直下型地震であり、防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET, KiK-Net で断層近くの地震動も観測されているので、その加速度波形のパルスと兵庫県南部地震で観測された加速度波形のパルスを比較した。その結果、各種構造物に甚大な被害を与えた兵庫県南部地震の地震動に含まれるパルスよりも、鳥取県西部地震の地震動に含まれるパルスは小さい（面積が小さい）ことが確認された。
- 2) 地震動が構造物に与える影響を、構造物の固有周期と当該地震動が作用したときに構造物に生じる応答加速度の大きさによって表したものに弾性加速度応答スペクトルがある。鳥取県西部地震において I 種地盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルは、ノースリッジ地震や兵庫県南部地震の加速度応答スペクトルよりも圧倒的に小さい。さらに加速度応答スペクトルの最大ピークは固有周期 0.2~0.3 秒付近にあり、それよりも長周期の領域では、加速度応答スペクトルが急激に小さくなっている。一般的な橋梁構造物の固有周期は、0.5 秒~0.8 秒付近に存在するため、鳥取県西部地震において I 種地盤上で観測された地震動が橋梁構造物に与える影響は小さいことがわかる。
- 3) 鳥取県西部地震において II 種地盤上で観測された日野記録の加速度応答スペクトルは、固有周期 0.5 秒から 1.0 秒にかけて、兵庫県南部地震やノースリッジ地震よりも大きな応答を示しているため、橋梁が弾性応答する場合には、橋梁構造物に与える影響は大きいといえる。しかし、橋梁構造物に大きな力を有する地震動が作用し、何らかの損傷（RC 橋脚のひびわれや軸方向鉄筋の降伏等）が生じると橋梁構造物の剛性は当初の剛性よりも柔らかくなるため、上述した橋梁構造物の固有周期は、長周期化し、0.8 秒~2.0 秒付近へと移行することになる。構造物に甚大な被害を与えた兵庫県南部地震やノースリッジ地震では、固有周期 0.5 秒~0.8 秒の領域だけでなく、固有周期 0.8 秒~2.0 秒の領域における加速度応答スペクトルも大きかったために、多くの構造物が倒壊に至ったと報告されている。これに対して、鳥取県西部地震の II 種地盤上で観測された日野記録は、固有周期 0.8 秒~2.0 秒の領域ではその加速度応答スペクトルは小さいため、橋梁が非線形応答する場合には、橋梁構造物に大きな被害を与えるだけの力が無かったことがわかる。

- 4) 地震によって生じた被害程度との相関は、地震動の最大加速度よりも地震動の速度応答スペクトルを積分したスペクトル強度 SI 値の方が高いことが知られている。既往の研究によれば、 SI 値が 25 cm/sec 以上となると地震によって被害が生じることが報告されている。鳥取県西部地震で観測された地震動の SI 値は、日野の観測記録を除けば、地震動の最大加速度が大きいわりには、建造物の被害の程度が軽微であった釧路沖地震の釧路気象台記録よりも SI 値は約半分と小さい。
- 5) 鳥取県が管理する橋梁の内、鳥取県西部地震によって何らかの被害が生じた橋梁は、震源から半径 20km 以内の範囲に分布しており、その範囲内で観測された地震動の SI 値は、30cm/sec 以上となっていることから、既往の地震によって生じた被害と SI 値の関係は、鳥取県西部地震での橋梁被害にもあてはまるのがわかる。
- 6) 兵庫県南部地震以前は、道路橋の耐震設計の基本は震度法であった。しかし、兵庫県南部地震以後は、橋梁構造物に生じる塑性変形能力を期待した地震時保有水平耐力法へ耐震設計の基本は移行している。地震時保有水平耐力法では、地震動の作用に対して構造物を適切に損傷させるためにはどれだけの降伏水平耐力を構造物に与えるかを決定する必要がある。橋梁構造物に生じる損傷（応答塑性率）を、耐震設計で目標とする損傷（許容塑性率）以下に抑えるために必要な降伏水平耐力を対象とする地震動毎に求めたものが所要降伏水平震度であり、これを固有周期毎に求めたものが所要降伏水平震度スペクトルである。鳥取県西部地震で観測された地震動の所要降伏水平震度スペクトルは、日野の観測記録を除けば、ノースリッジ地震、兵庫県南部地震、釧路沖地震で観測された地震動よりも小さく、橋梁構造物に大きな損傷を与えるような地震動ではなかったことがわかる。
- 7) 鳥取県西部地震で観測された地震動の応答塑性率 1, 2 に対する所要降伏水平震度スペクトルは、固有周期 0.5 秒よりも長周期の領域では、多くの観測地点で震度法に用いる設計水平震度以下となっており、鳥取県が管理する橋梁構造物に生じた被害が軽微であったことと整合している。
- 8) 鳥取県が管理する震源域周辺（鳥取県西部地域）に建設されている橋梁 10 橋の RC 橋脚 12 基の耐震補強前後を対象に非線形動的解析を行い、耐震補強を行うことによって、RC 橋脚の耐震性能が向上したことや、その結果、鳥取県西部地震で観測された最大級の地震動にも耐えられるようになったことを確認した。

以上より、兵庫県南部地震やノースリッジ地震のように橋梁構造物に大きな損傷を与えた地震と比較して、鳥取県西部地震は橋梁構造物に与える影響が小さい地震であったことがわかる。