

4-5 鳥取県が管理する橋梁の地震応答

4-2 に示す鳥取県が管理する橋梁の耐震補強前後の RC 橋脚に、鳥取県西部地震で観測された地震動が作用したときにどのような地震応答を示すかと、耐震補強の効果を確認するために、非線形動的解析を行う。前節では所要降伏水平震度を用いて RC 橋脚に生じる非線形応答を推定したが、これは、簡易的な方法（簡易法）によって非線形応答を推定したことに相当する。これに対して、ここで用いる非線形動的解析は厳密解に相当する。作用させる地震動（入力地震動）は、I 種地盤上に建設されている橋梁の RC 橋脚には江府記録 NS 成分、II 種地盤上に建設されている橋梁の RC 橋脚には日野記録 NS 成分とする。図 4-10 は、対象とする橋梁の設計震動単位を 1 基の下部構造とそれが支持する上部構造重量とみなせる場合の解析モデルである。1 基の橋脚とそれが支持する上部構造部分の重量を取り出して、1 自由度非線形振動系にモデル化した。ただし、耐震補強後に積層ゴム支承に取り替えて反力分散構造とした場合には、上部構造部分の重量と橋脚の重量を別々に表し、積層ゴム支承と RC 橋脚の 2 種類の剛性からなる 2 自由度非線形振動系にモデル化する。RC 橋脚の非線形特性は、図 4-10 に示す Takeda 型モデルを用い、構造減衰定数は 2% を仮定した。

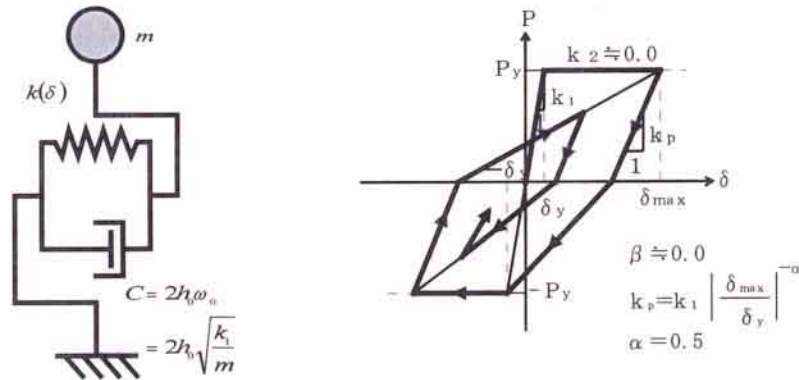


図 4-10 対象とする 1 自由度非線形振動系と復元力特性（Takeda 型モデル）

図 4-11 は、各橋梁に鳥取県西部地震で観測された地震動が作用したときの橋脚天端の応答変位と許容変位を、図 4-12 は RC 橋脚の応答履歴と許容変位を表したものである。

図 4-11(1)(a)より、賀祥橋に江府記録 NS 成分が作用した場合には、橋脚天端の最大応答変位は補強前後とも同程度となっている。賀祥橋は、RC 巻き立て工法で耐震補強をし固有周期が 0.7 秒から 0.4 秒に短くなっており、3-2 で示した江府記録 NS 成分の弾性加速度応答スペクトルを参考にすると、補強後の方が大きな地震動の作用を受けることがわかる。それにも関わらず、応答変位が補強前後で同じ程度になっているのは、図 4-12(1)の橋脚の応答履歴図に示すように、RC 橋脚の降伏水平耐力が大きくなり、RC 橋脚が地震動のエネルギーを吸収する能力が大きくなったからである。乗

乗越橋、坂井原橋 P3 橋脚、江尾新橋、丸山正面橋に江府記録 NS 成分が作用した場合も、賀祥橋の場合と同じ傾向となっている。

図 4-11(1)(b)より、あごうじ橋に江府記録 NS 成分が作用した場合には、橋脚天端の応答変位が補強前後ともに、許容変位に比較して小さいことがわかる。あごうじ橋の耐震補強の方法は、橋脚には手を加えずに、既設の支承をゴム支承に取り替えて、変形性能を高め固有周期を長くするという方法であり、補強前に固有周期 1.0 秒であったものが、補強後には固有周期 1.7 秒に長周期化している。3-5 で示した江府記録 NS 成分の加速度応答スペクトルを参考にすると、固有周期 1.0 秒の加速度応答スペクトルは約 0.2g、固有周期 1.7 秒の加速度応答スペクトルは約 0.1g であり、固有周期を長周期化することで、構造物に作用する力が小さくなっていることから、補強の効果が確認できる。

これと同じように、白山橋、坂井原橋 P1・P2 橋脚に江府記録 NS 成分が作用した場合も、橋脚天端の応答変位が補強前後ともに、許容変位に比較して小さいことがわかる。補強前の構造系の固有周期は、3 橋脚とも 0.8 秒以上あり作用する地震動が小さい。補強後の構造系は 3 橋脚とも RC 巻き立て工法であり、剛性を強くして降伏水平耐力を高める方法を採用している。したがって、耐震補強後には固有周期が短くなるため、作用する地震動が大きくなる。しかし、耐震補強によって降伏水平耐力も大きくなり、地震動のエネルギーを吸収する性能が向上したため、図 4-11(1)(e)、図 4-11(2)(h)、(i) に示すように、補強後も損傷が生じることが無く弾性の応答を示し、応答変位が小さく抑えられた。

図 4-11(1)(c)より、高橋橋に江府記録 NS 成分が作用した場合の橋脚天端の応答変位は、補強によってほとんど生じなくなることがわかる。また、図 4-12(c)より、高橋橋は、補強前に最大応答塑性率が 10.3 であったのに対し、補強後には損傷が生じることなく線形の応答を示している。高橋橋の耐震補強方法は、橋脚は剛性を強くして降伏水平耐力を高め、さらに既設の金属支承をゴム支承に取り替えて変形性能を高めるといふ、耐震補強方法である。これにより、補強前に固有周期が 0.3 秒であったものが、補強後には固有周期が 0.9 秒となっている。補強方針のとおり、固有周期の長周期化による地震動の影響の低減効果が得られるとともに、橋脚の降伏水平耐力が増加して地震動のエネルギーを吸収する性能が向上したため、耐震補強後は橋脚に損傷が生じることが無く変形も抑えることができている。

図 4-11(2)(a)より、丸山橋に日野記録 NS 成分が作用した場合には、補強前後で橋脚天端の最大応答変位は同じくらい生じているが、補強によって許容変位が大きくなっているために、補強後の応答変位は許容できる値になっている。丸山橋の耐震補強方法は、RC 巻き立て工法であり、橋脚の降伏水平耐力を増加させるとともに、橋脚が損傷を受けても急激に耐力を失わないようねばり強い構造としたため（じん性を高めたため）、許容変位が増加している。3 章で示した地震動の特性で、どの指標を用いた場合にも鳥取県西部地震の強震記録の中で格段に大きい日野記録を作用させた場合でも、丸山橋に生じる損傷は許容変位に収まり、十分な耐震補強効果が得られていることがわかる。

これに対して、前田橋に日野記録 NS 成分を作用させた場合の橋脚天端の応答変位

は、図 4-11(1)(d)に示すように、補強前後ともに許容変位を超過している。補強前後とも固有周期が 0.5 秒付近にある前田橋にとっては、固有周期 0.5 秒から 1.0 秒で兵庫県南部地震やノースリッジ地震よりも大きな加速度応答を生じさせる日野記録は、耐震補強された RC 橋脚にとっても厳しい地震動であることが伺える。実際には、前田橋は米子の近くに位置しており、日野記録のような地震動は作用していない。図 4-13 は、前田橋に日野記録 NS 成分と米子記録 EW 成分が作用したときの橋脚の応答を示したものである。補強前の前田橋には、日野記録 NS 成分が作用した場合でも、米子記録 NS 成分が作用した場合にも、橋脚天端に生じる変位は同じくらい大きいものとなっていた。しかし、補強後には、米子記録 EW 成分が作用した場合に生じる橋脚天端の変位は小さくすることができ、損傷も生じることなく、十分な補強効果が得られていることがわかる。

鳥取県が管理する 10 橋（ここでは、12 基の RC 橋脚を対象とした）の橋梁の非線形動的解析より、鳥取県の橋梁は耐震補強を施すことによって、その耐力特性や変形性能が向上し、鳥取県西部地震程度の地震には耐えられる耐震性能を有していることが確認された。ここでは、一律に、構造減衰定数を 2%として検討を行ったが、実際には地盤への逸散減衰効果などが生じるため、減衰効果はここで用いた 2%よりも大きいと考えられ、実際に生じる応答は、図 4-11～図 4-13 に示す応答よりも小さくなると予想される。

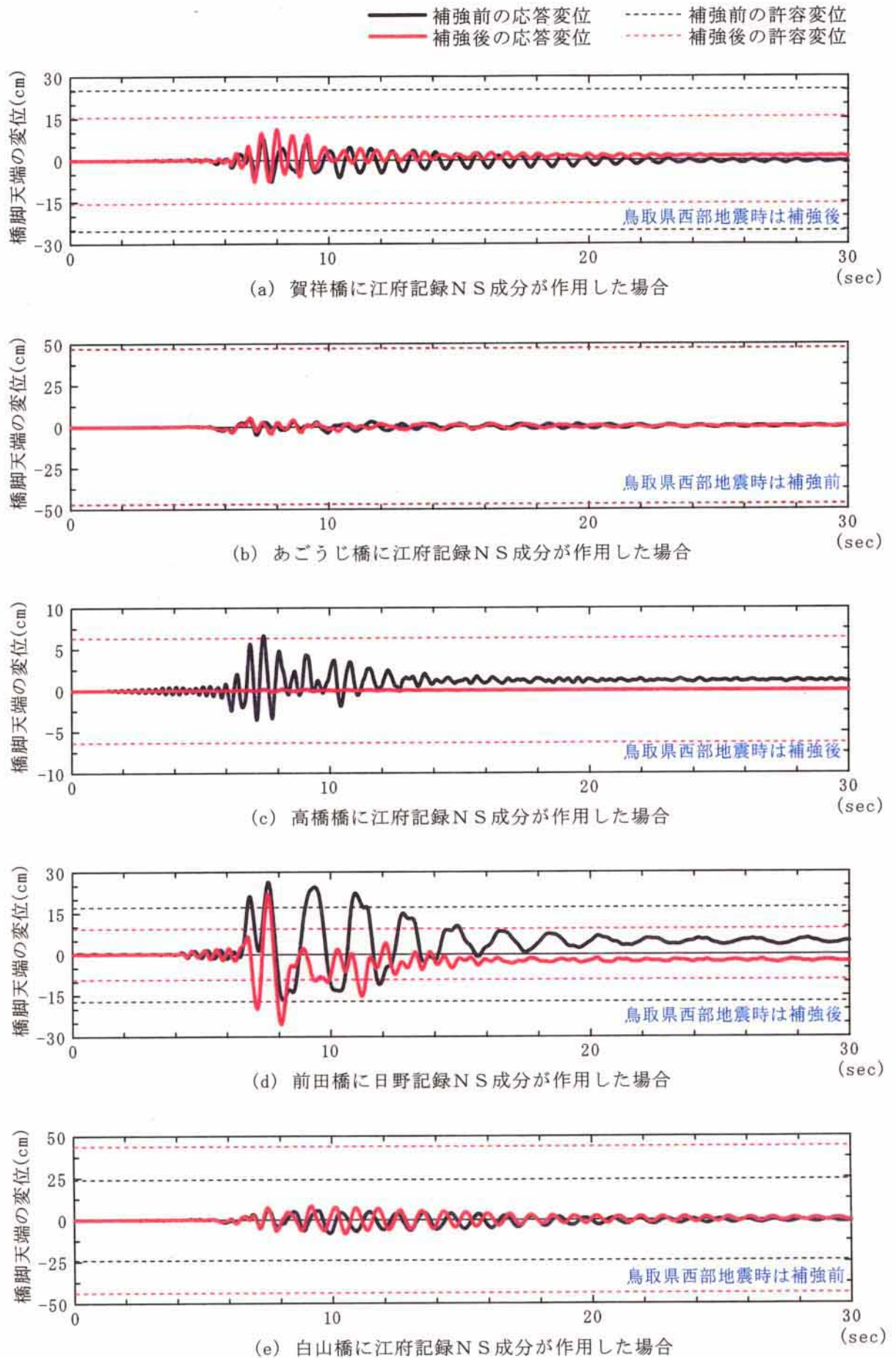


図4-11(1) 鳥取県の実在橋梁に鳥取県西部地震が作用したときの橋脚の応答

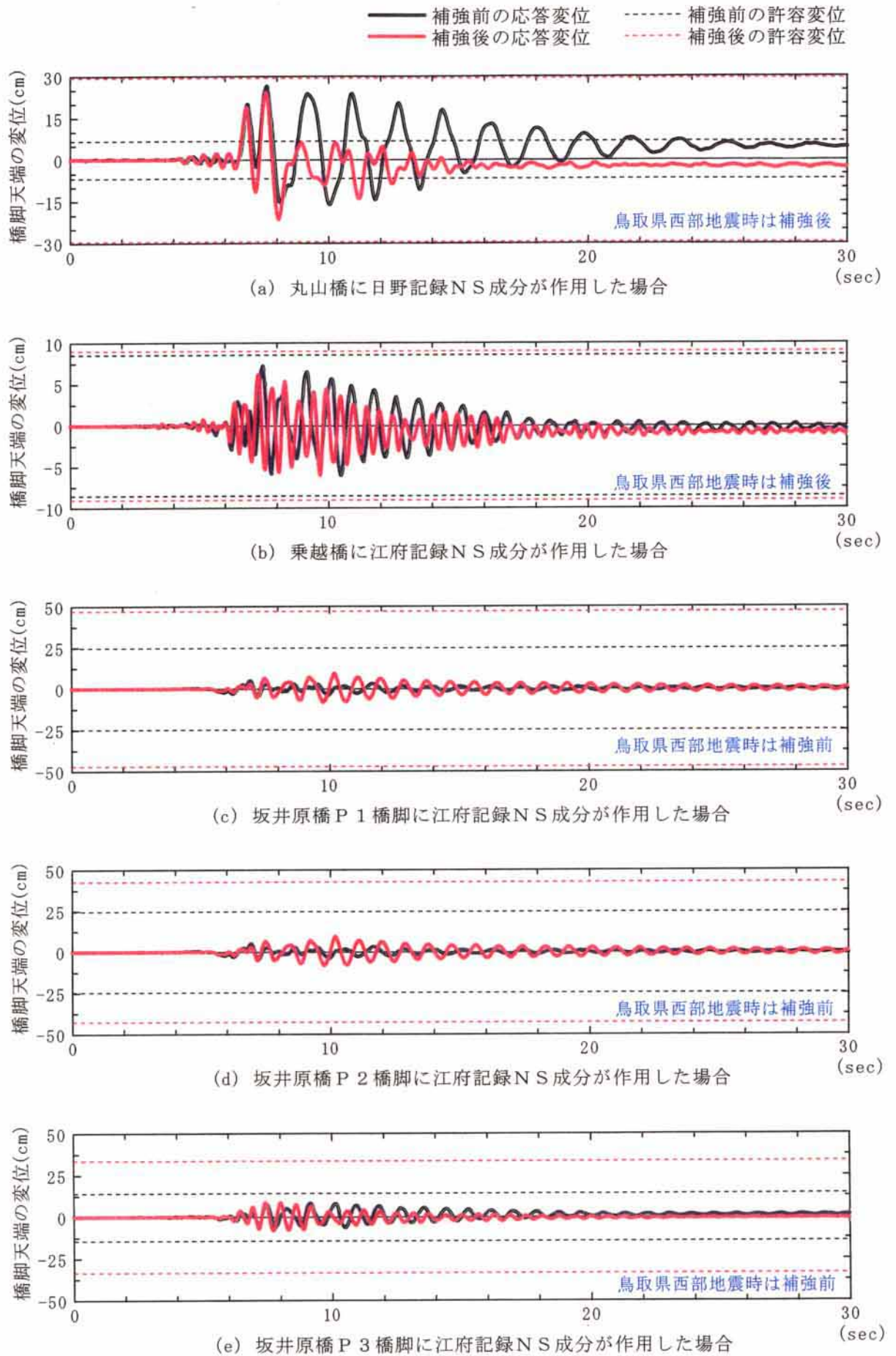


図4-11(2) 鳥取県の実在橋梁に鳥取県西部地震が作用したときの橋脚の応答

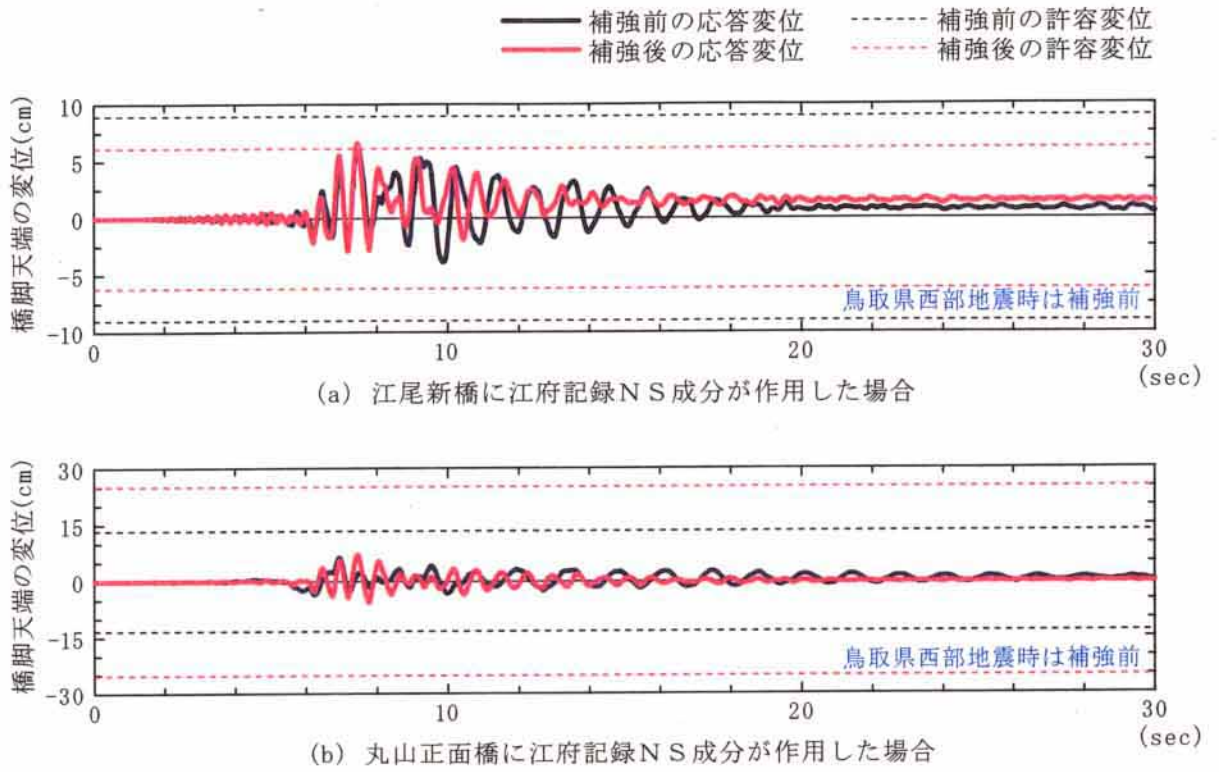


図4-11(3) 鳥取県の実在橋梁に鳥取県西部地震が作用したときの橋脚の応答

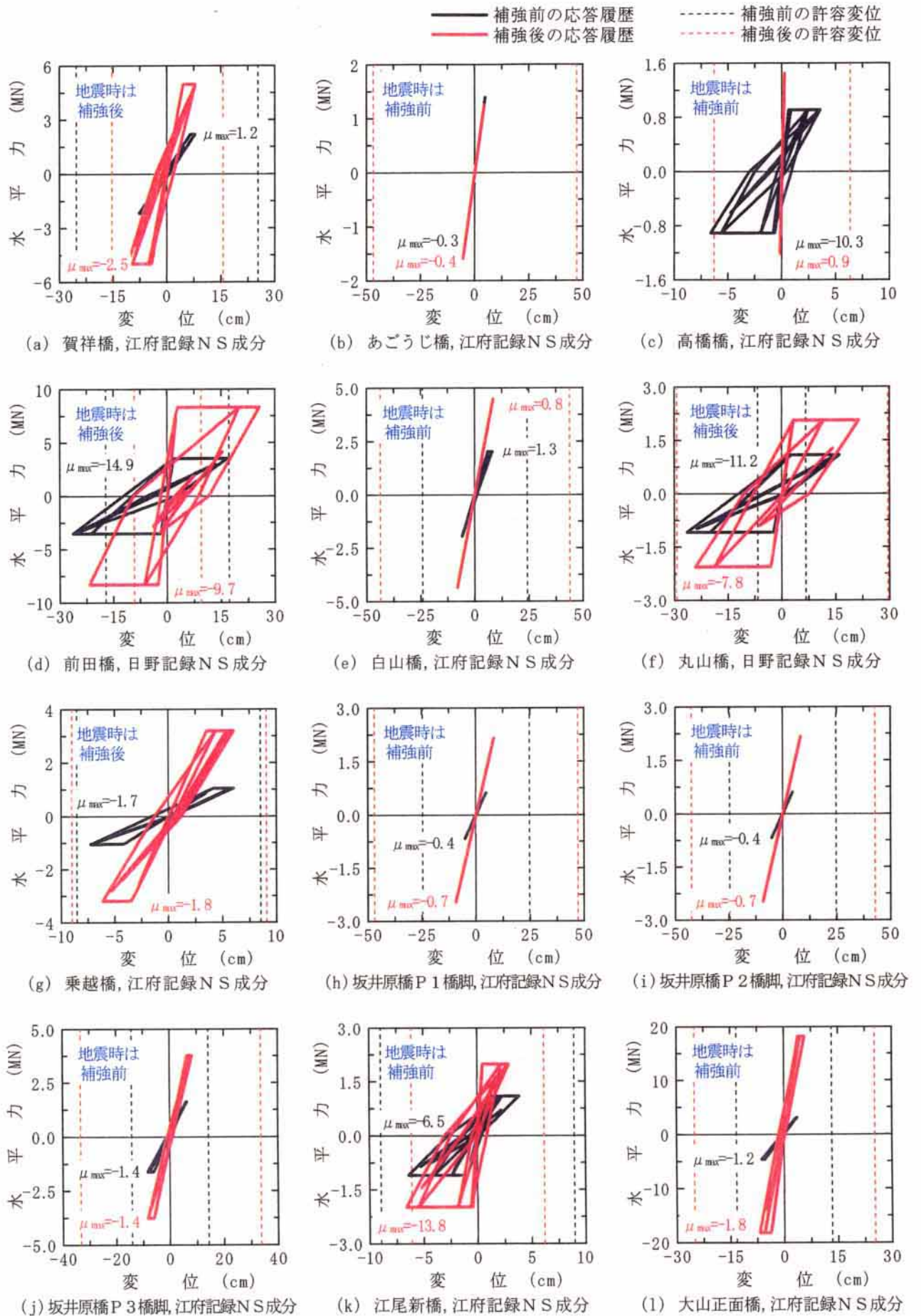
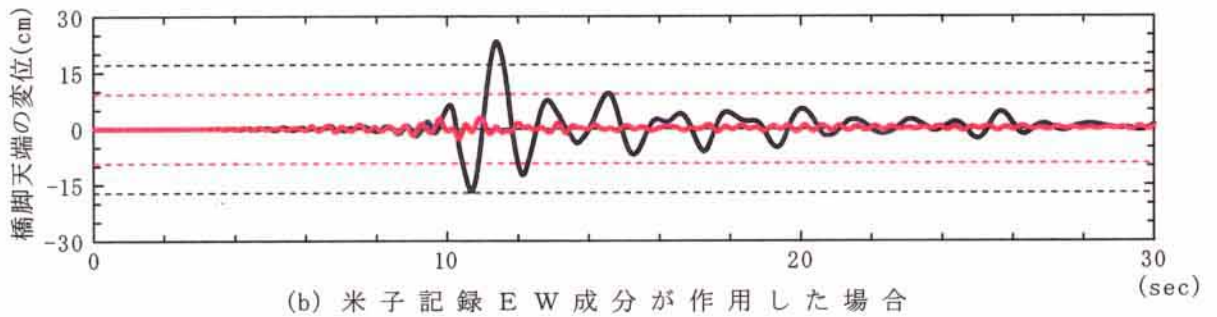
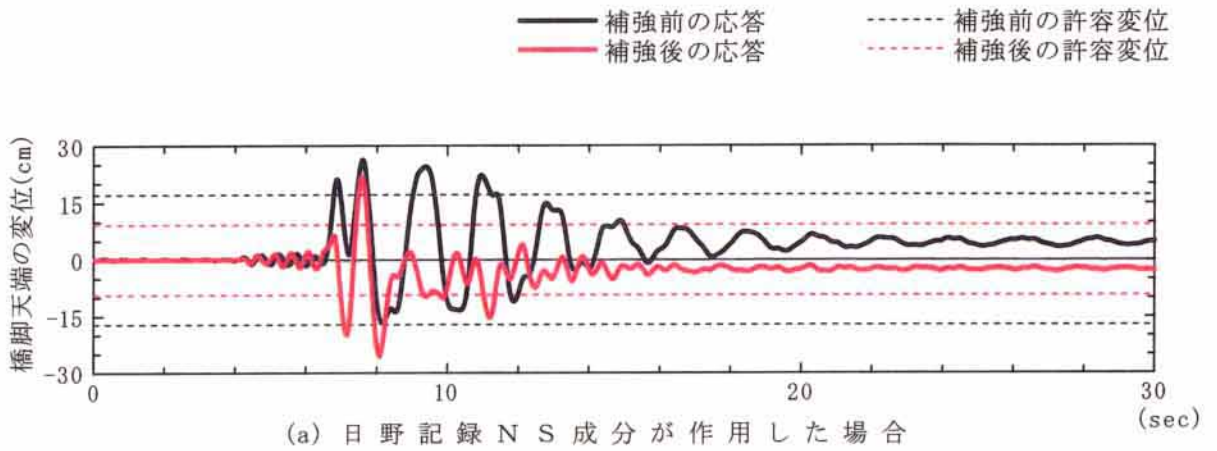
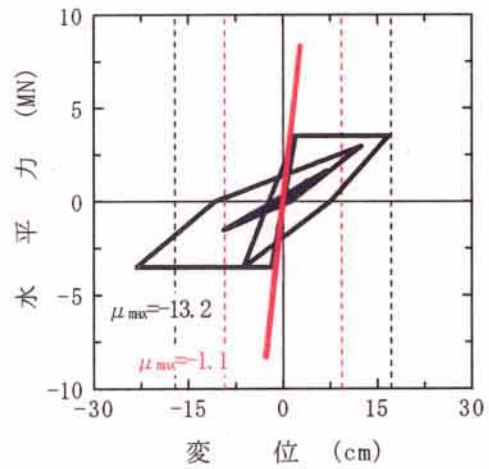
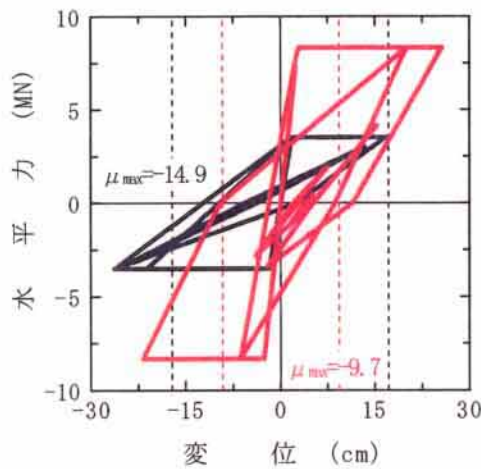


図4-12 鳥取県の実在橋梁に鳥取県西部地震が作用したときの橋脚の応答履歴



(2) 橋脚の応答変位波形



(1) 橋脚の応答履歴

図4-13 前田橋に鳥取県西部地震が作用したときの橋脚の応答

参考文献

- 1) 財土木研究センター：建設省災害情報システム・ガイドライン（案），pp.248～249，
1993.1