

3-7 所要降伏水平震度スペクトル

兵庫県南部地震がおきるまでは、我が国の橋梁の耐震設計は、震度法が耐震設計の基本であった。震度法は、「設計水平震度 0.2~0.3 程度の水平力、すなわち自重の約 20~30%に相当する水平力を作用させたときに生じる応力度を許容応力度以下にとどめれば、耐震設計で考慮した設計水平震度よりも大きな地震動が作用しても、降伏後の塑性変形能力で地震動をやり過ごすことができるはずだ」というものである。しかし、兵庫県南部地震は、橋梁に甚大な被害を生じさせ、震度法で弾性設計しておけば降伏後も塑性変形能力で大きな地震動に耐えられるはずだという耐震設計では不十分であることを知らしめた。その結果、兵庫県南部地震以後の耐震補強や耐震設計は、想定される大きな地震動を橋梁に作用させ、それによって橋梁に生じる塑性変形をもとめ、その塑性変形を許容される変形量以下にとどめるためには、橋梁にどれだけの降伏水平耐力を与える必要があるかを求める塑性変形を考慮した地震時保有水平耐力法へと耐震設計の基本が移行している。

図 3-20 は、加速度応答スペクトルと同様にコンピュータの中で震動実験を行ったものである。加速度応答スペクトルと異なるのは、加振台には固有周期だけでなく、固有周期は同じであっても降伏水平耐力が異なる柱を多数載せていることと、加速度ではなく変位を計測する点である。そのため、同じ固有周期を有する柱であっても、降伏水平耐力が小さい柱には大きな塑性変形が生じ、降伏水平耐力が大きい柱には小さな塑性変形が生じることになる。その塑性変形を降伏水平変位で除して応答塑性率をもとめ、同じ応答塑性率毎に、柱の固有周期を横軸に、降伏水平耐力を自重で除した降伏水平震度を縦軸にとり、その交点を線で結んだものが所要降伏水平震度スペクトルである。応答塑性率は、構造物の損傷の度合いを示す指標としてよく用いられている。このように、所要降伏水平震度スペクトルは、橋梁に生じる変位を、耐震設計で許すことができる塑性変形以下にとどめるために橋梁に与えなければならない降伏水平耐力の下限値を、水平震度の形で示したものである。

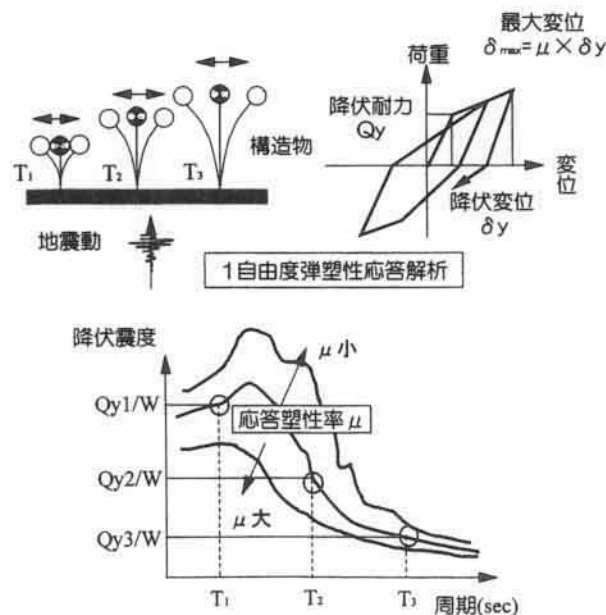


図 3-20 所要降伏水平震度スペクトルの概念 ⁷⁾

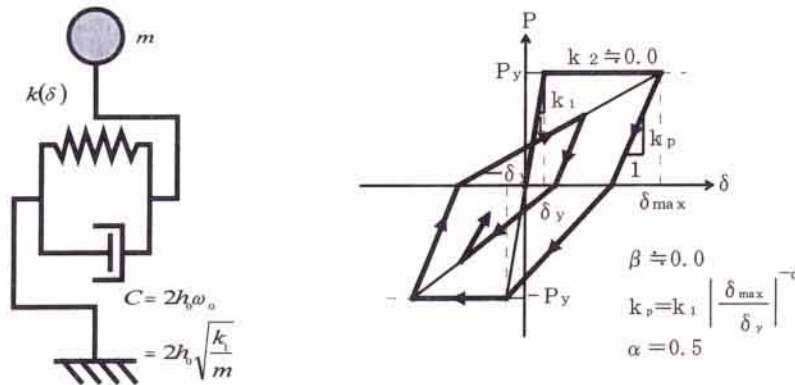


図 3-21 対象とする 1 自由度非線形振動系と復元力特性 (Takeda 型モデル)

そこで、図 3-21 に示される 1 自由度非線形振動系を対象に所要降伏水平震度スペクトルを作成する。1 自由度非線形振動系の非線形特性は、RC 橋脚の非線形特性を最も良く表している Takeda 型モデルを用い、構造減衰定数は、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定される標準加速度応答スペクトルとの比較がしやすいように 5% とした。着目する固有周期は、様々な橋脚の固有周期を包含するように、0.1, 0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 秒とする。一般に、道路橋示方書 V 耐震設計編に基づいて耐震設計された RC 橋脚に許容される応答塑性率は、残留変位が大きくなるようにするために 6 以下に抑える必要がある。これより、応答塑性率が 1, 2, 4, 6 に留まるために必要な所要降伏水平震度スペクトルを作成した。前節で述べた加速度応答スペクトルは、線形域での地震応答への影響を表しているのに対して、所要降伏水平震度スペクトルは、非線形域での地震応答への影響の大小を表す指標である。対象とする地震記録は、2-3 で示した鳥取県西部地震で観測された強震記録と過去の強震記録の水平成分のうち、それぞれ、SI 値の大きい方向の成分とした。

表 3-2 は、各固有周期ごとの所要降伏水平震度を示したものである。図 3-22 は、このうち固有周期が 0.5 秒と 1.0 秒の構造物が損傷しない（弾性応答の）ために必要な降伏水平震度を、鳥取県西部地震の震源と観測地点の位置を表した図に示したものである。震源に最も近い観測地点の日野において、鳥取県西部地震によって RC 橋脚が無損傷の状態を維持するためには、固有周期 0.5 秒の橋脚では 2.70、固有周期 1.0 秒の橋脚では 1.31 と、大きな降伏水平震度が必要なことがわかる。しかし、その次に震源に近い観測地点の伯太では、鳥取県西部地震によって構造物が無損傷の状態を維持するためには、固有周期 0.5 秒の橋脚では 0.79、固有周期 1.0 秒の橋脚では 0.20 の降伏水平震度を有していればよく、日野の場合に比較すると格段に小さい耐力で地震動をやりすごせることがわかる。図 3-22(2)～(4)は、鳥取県西部地震において固有周期 0.5 秒と 1.0 秒の構造物の損傷が、応答塑性率で 2, 4, 6 に留まるために必要な降伏水平耐力（所要降伏水平震度）を示したものである。震央から 20km 以内の日野、江府、米子、広瀬、日南を除くと、応答塑性率が 2 に留まるために必要な降伏水平耐力は 0.2 以下と小さい。図 3-22(1)～(4)を比較すると、許容する損傷を応答塑性率 1, 2, 4, 6 と大きくすれば、構造物に必要な降伏水平耐力は小さくなっていくことがわかる。それで

も、日野においては、応答塑性率が6の損傷まで許容するとしても、降伏水平耐力が0.56必要となる。どの応答塑性率の場合にも、所要降伏水平震度は、各観測地点の地盤の性質などを反映してばらついてはいるが、概ね、震源から離れるにともなって小さな値となっていくことがわかる。

図3-23は、鳥取県西部地震の対象とする地震記録について、固有周期が1.0秒の橋脚の所要降伏水平震度と震央距離の関係を、応答塑性率ごとに示したものである。多少のばらつきはあるが、震央距離が遠くなるにともない所要降伏水平震度は小さくなっている。特に、Ⅱ種地盤の日野記録NS成分と米子記録EW成分で大きな所要降伏水平震度が得られている。

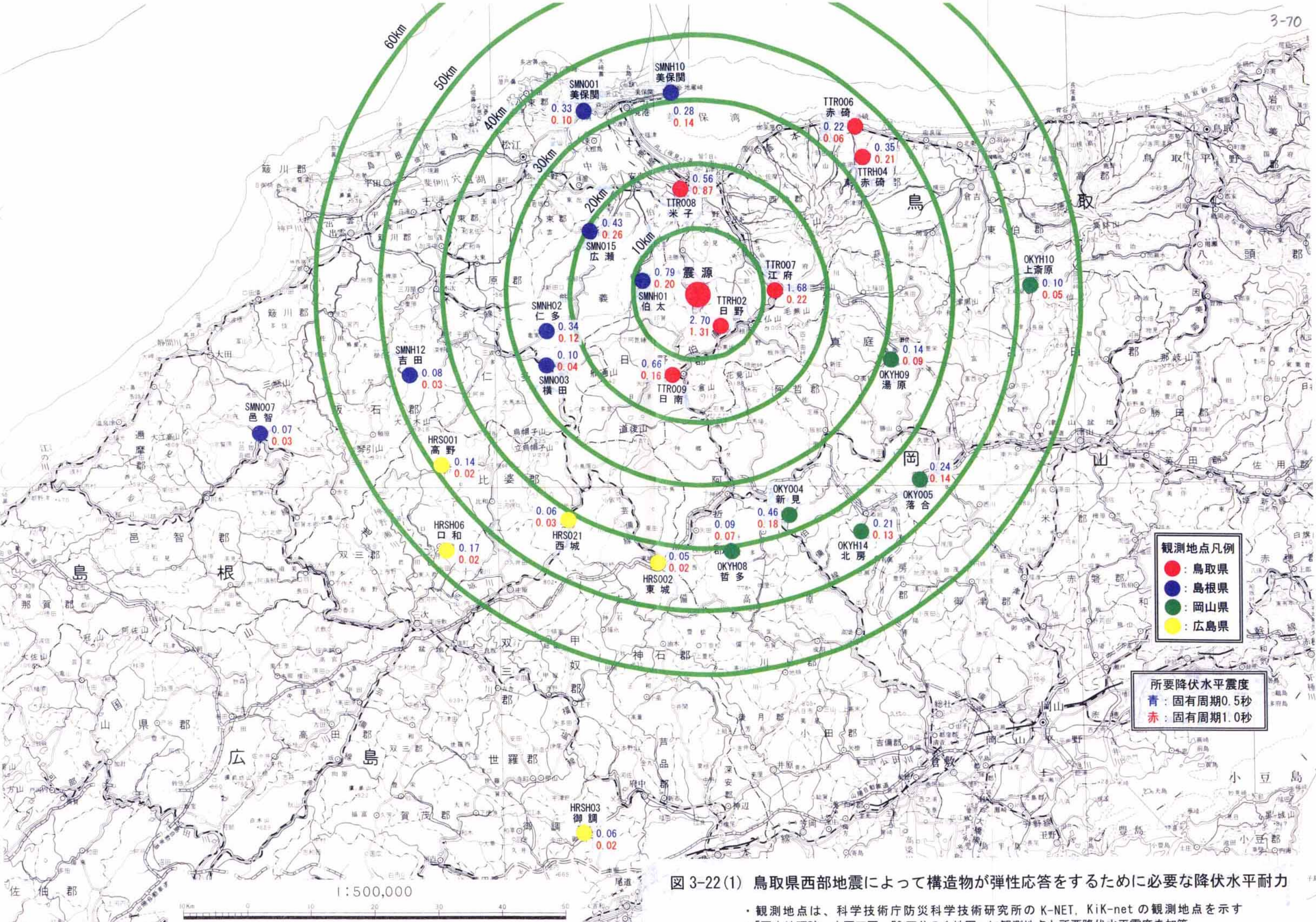


図 3-22(1) 鳥取県西部地震によって構造物が弾性応答をするために必要な降伏水平耐力

- ・ 観測地点は、科学技術庁防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測地点を示す
- ・ 「国土地理院 中国四国 50 万分の 1 地図」に観測地点と所要降伏水平震度を加筆

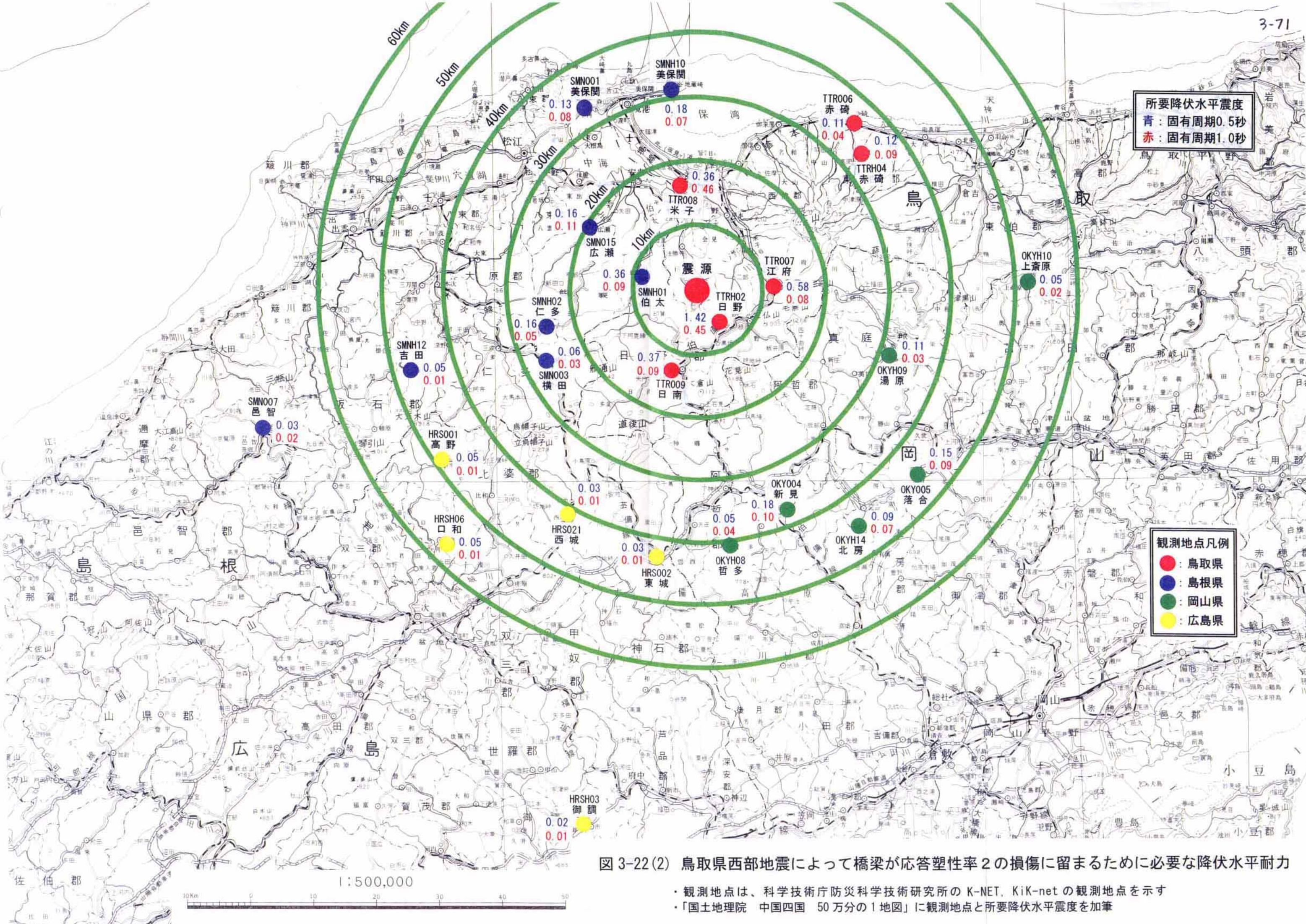


図 3-22 (2) 鳥取県西部地震によって橋梁が応答塑性率 2 の損傷に留まるために必要な降伏水平耐力

- ・観測地点は、科学技術庁防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測地点を示す
- ・「国土地理院 中国四国 50 万分の 1 地図」に観測地点と所要降伏水平震度を加筆

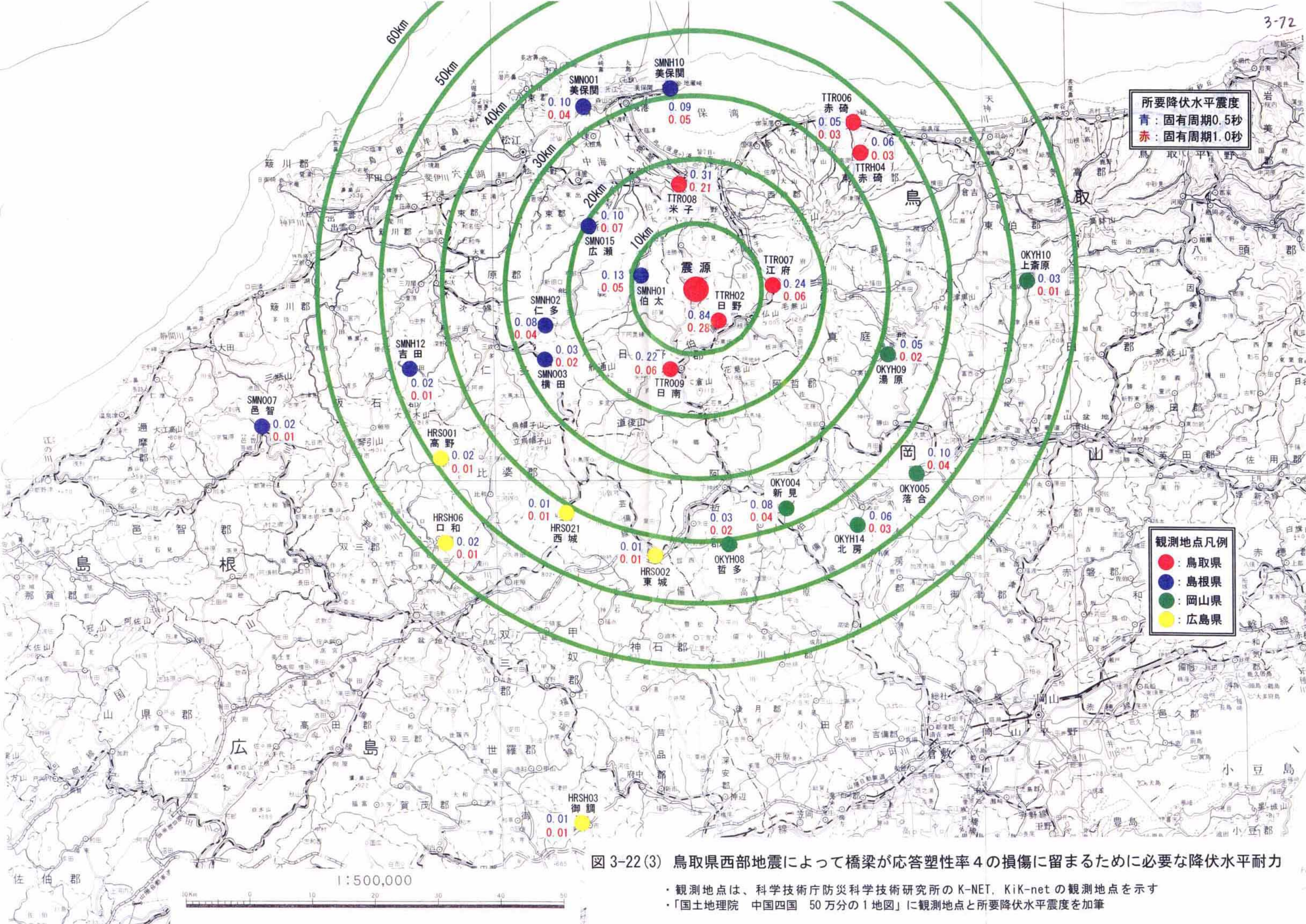


図 3-22(3) 鳥取県西部地震によって橋梁が応答塑性率4の損傷に留まるために必要な降伏水平耐力

- ・観測地点は、科学技術庁防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの観測地点を示す
- ・「国土地理院 中国四国 50万分の1地図」に観測地点と所要降伏水平震度を加筆

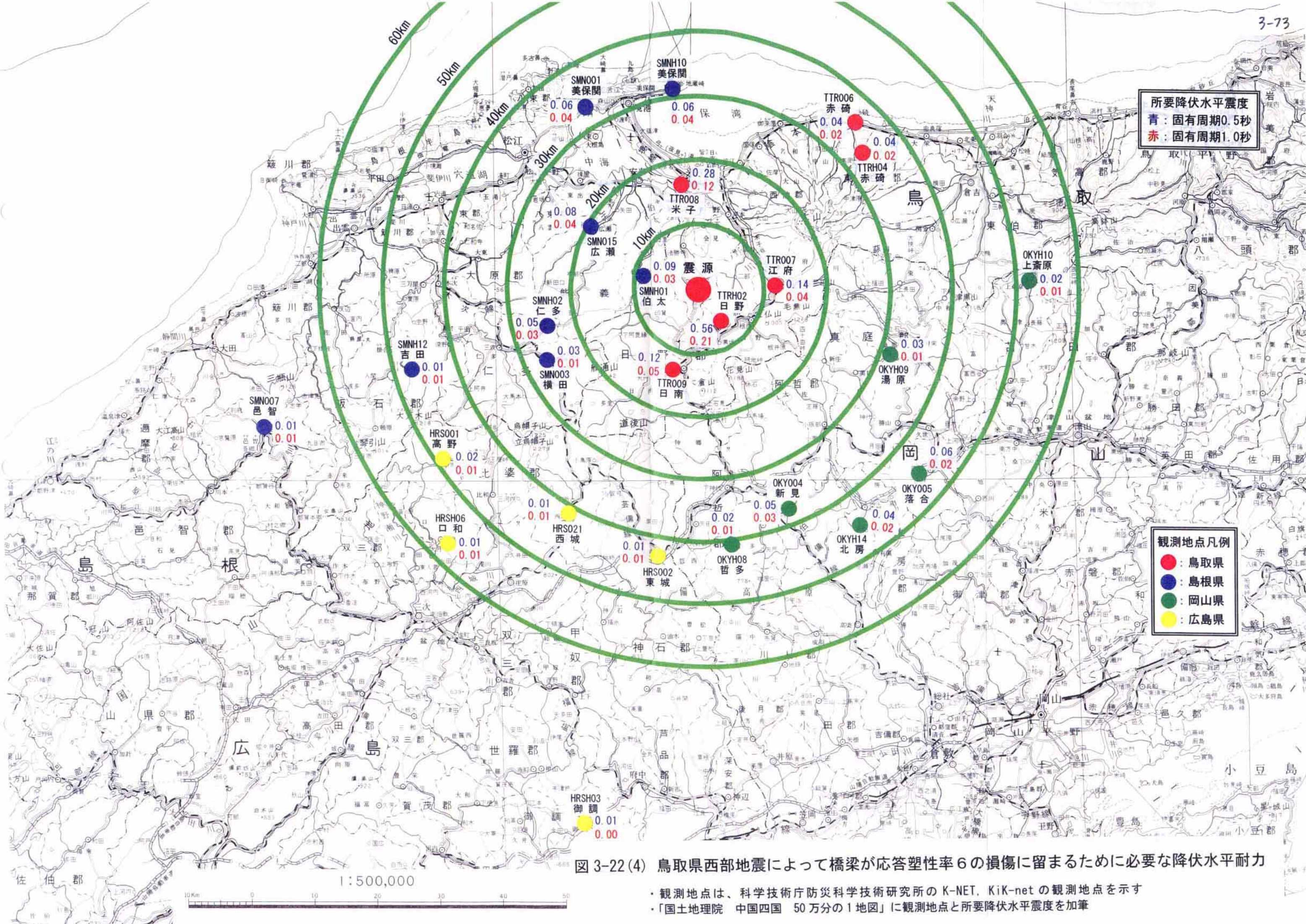


図 3-22(4) 鳥取県西部地震によって橋梁が応答塑性率6の損傷に留まるために必要な降伏水平耐力

・観測地点は、科学技術庁防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測地点を示す
 ・「国土地理院 中国四国 50 万分の 1 地図」に観測地点と所要降伏水平震度を加筆

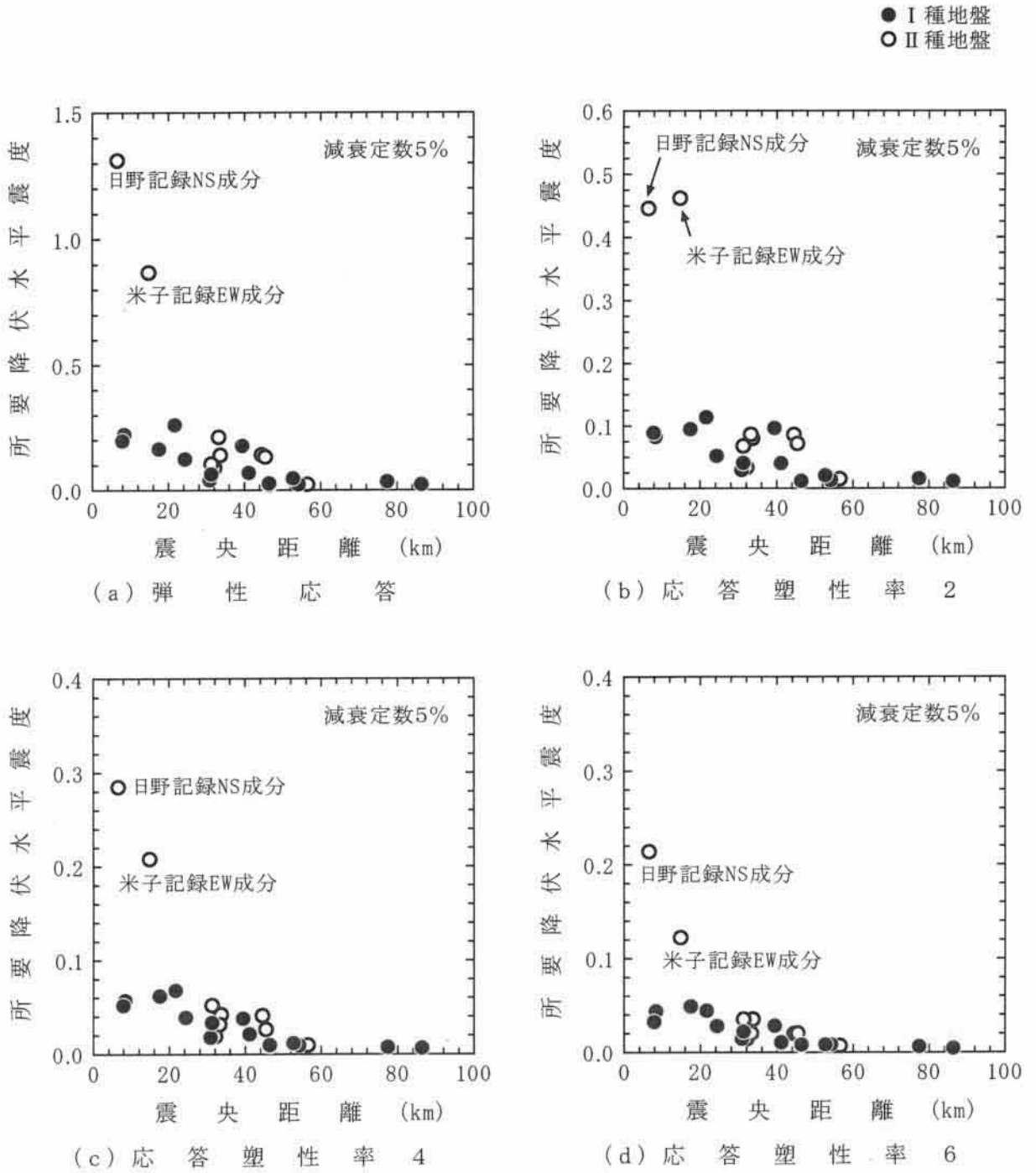
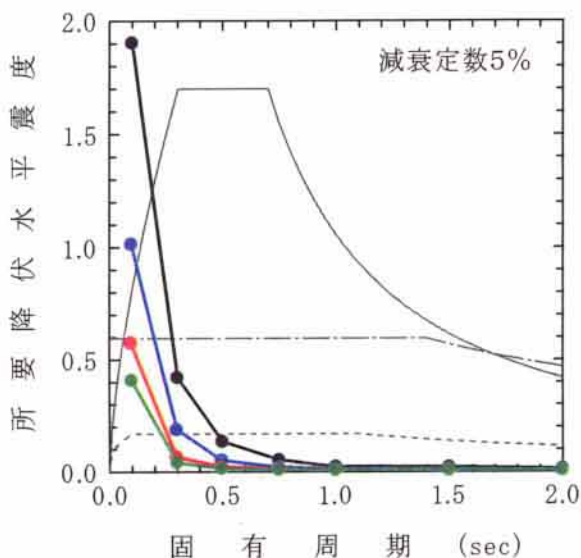


図3-23 所要降伏水平震度と震央距離の関係（固有周期1.0秒）

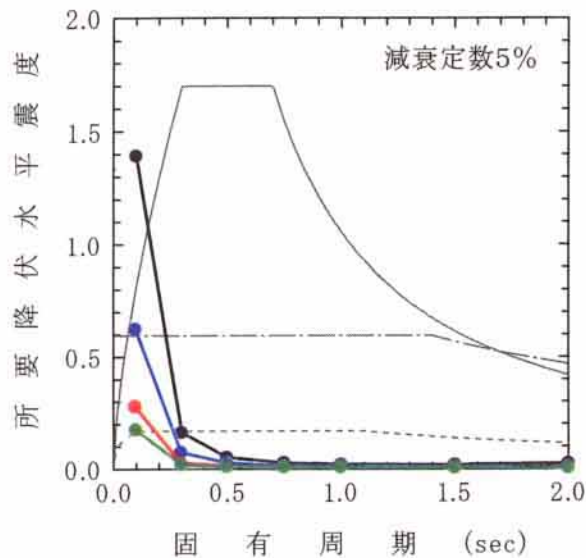
図3-24は、各地震動について作成した所要降伏水平震度スペクトルを示したものである。観測地点の地盤種別がわかっている場合には、同図に、地盤種別に対応した道路橋示方書V耐震設計編に規定される震度法と地震時保有水平耐力法に用いる標準設計水平震度に地域別補正係数($C_z=0.85$)を乗じた設計水平震度をあわせて示した。

図3-24(1)(a)の高野記録NS成分の所要降伏水平震度スペクトルに着目すると、この地点に建設された固有周期0.5秒のRC橋脚が弾性応答をするためには、降伏水平震度が0.14以上必要であることがわかる。固有周期0.5秒では、点線で示される震度法に用いる設計水平震度はそれよりも大きな値となっているため、震度法で設計された固有周期0.5秒のRC橋脚が高野の観測地点に建設される場合は、損傷を受けないことになる。一方、同図(d)の新見記録EW成分が、固有周期0.5秒のRC橋脚に作用した場合には、降伏水平震度が0.46以上のRC橋脚は弾性応答を示し、降伏水平震度が0.18のRC橋脚は応答塑性率2に相当する非線形応答を生じ、降伏水平震度が0.08のRC橋脚は応答塑性率が4に相当する非線形応答を生じることになる。震度法のみで設計された固有周期0.5秒のRC橋脚は設計水平震度0.17で許容応力度以下に収まる(弾性応答する)ように設計しているため、その降伏水平震度は鉄筋の許容応力度と降伏点応力度の関係と地震時の割り増しを考慮すると $0.17 \times 1.7 / 1.5$ は、約0.19以上となることから応答塑性率は2以下となることがわかる。このように、所要降伏水平震度スペクトルは各観測地点で観測された地震動が非線形応答に与える影響を表すとともに、RC橋脚等の構造物の降伏水平耐力が既知の場合には、その構造物にどの程度の損傷が生じるかを表す指標となっている。

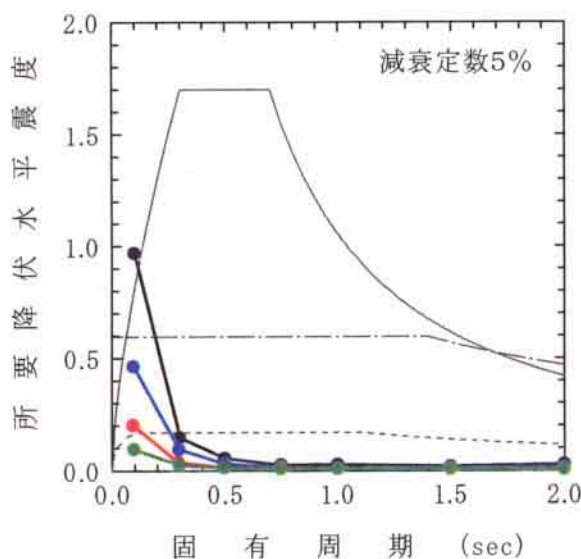
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=0.85$)



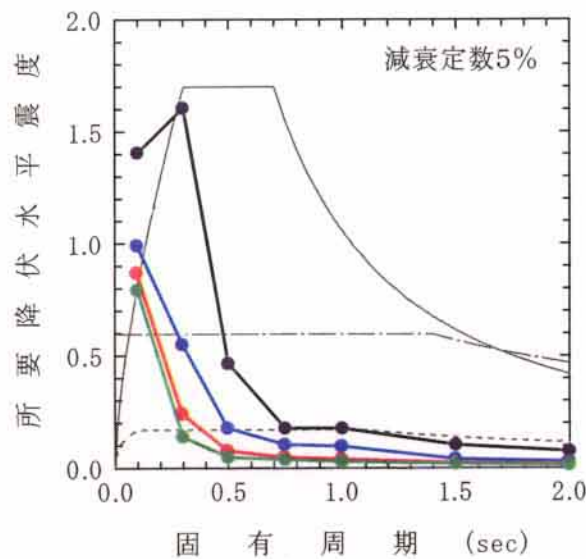
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 高野 (HRS001) NS成分 -



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 東城 (HRS002) NS成分 -



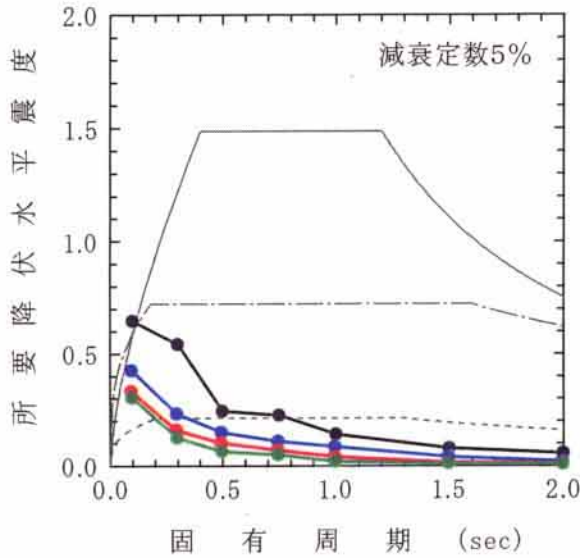
(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 西城 (HRS021) EW成分 -



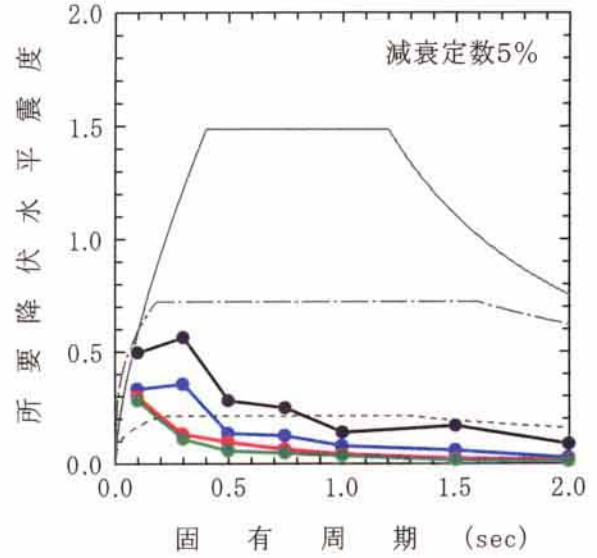
(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 新見 (OKY004) EW成分 -

図3-24 (1) 所要降伏水平震度スペクトル

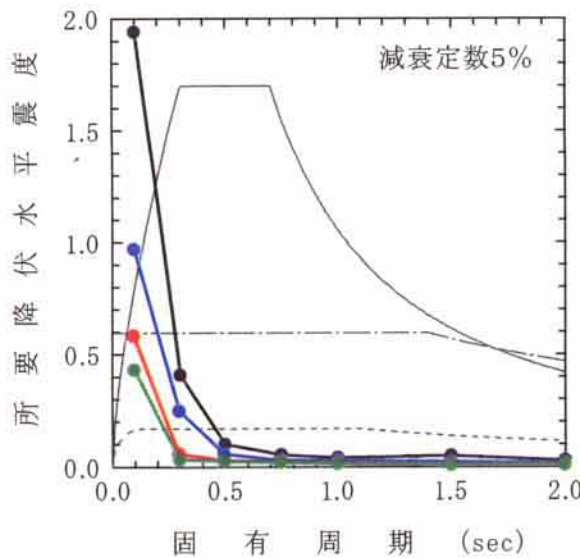
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=0.85$)



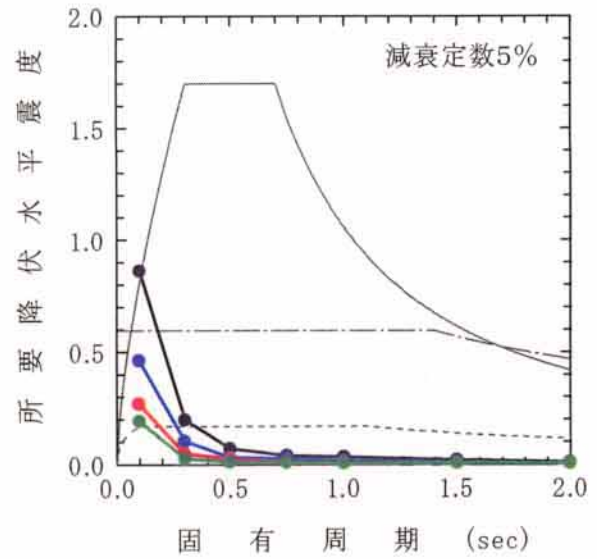
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 落合 (OKY005) EW成分 -



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 美保関 (SMN001) EW成分 -



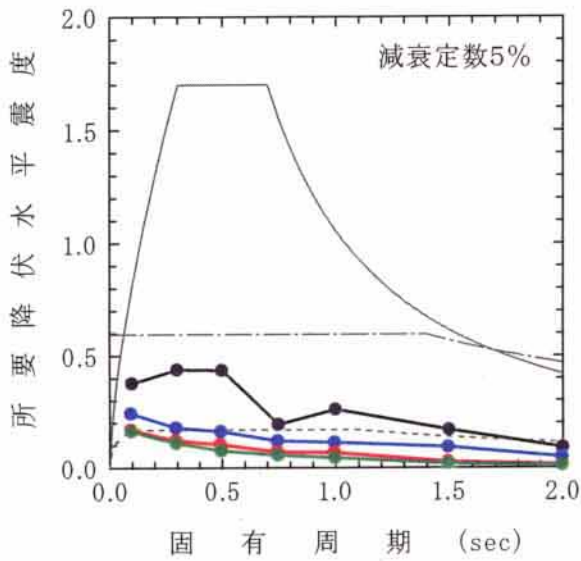
(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 横田 (SMN003) NS成分 -



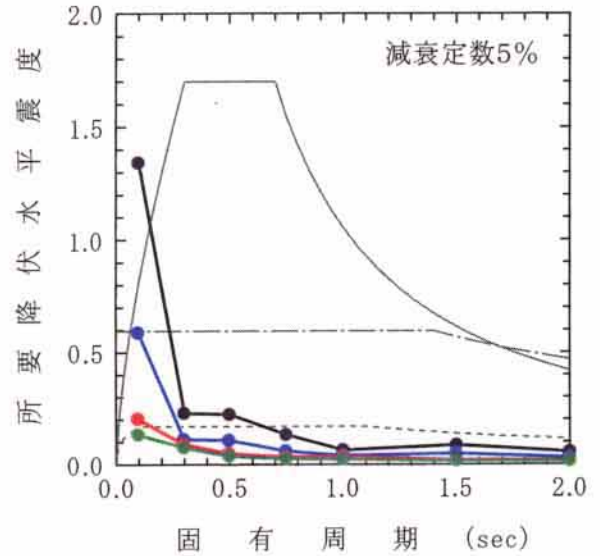
(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 邑智 (SMN007) NS成分 -

図3-24 (2) 所要降伏水平震度スペクトル

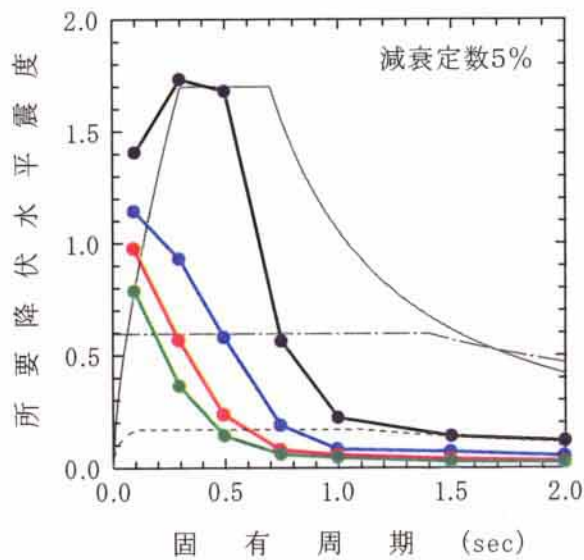
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=0.85$)



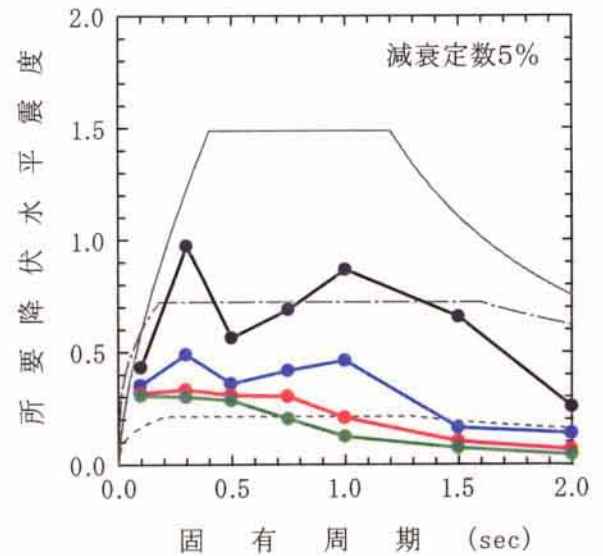
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 広瀬 (SMN015) NS成分 -



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 赤崎 (TTR006) NS成分 -

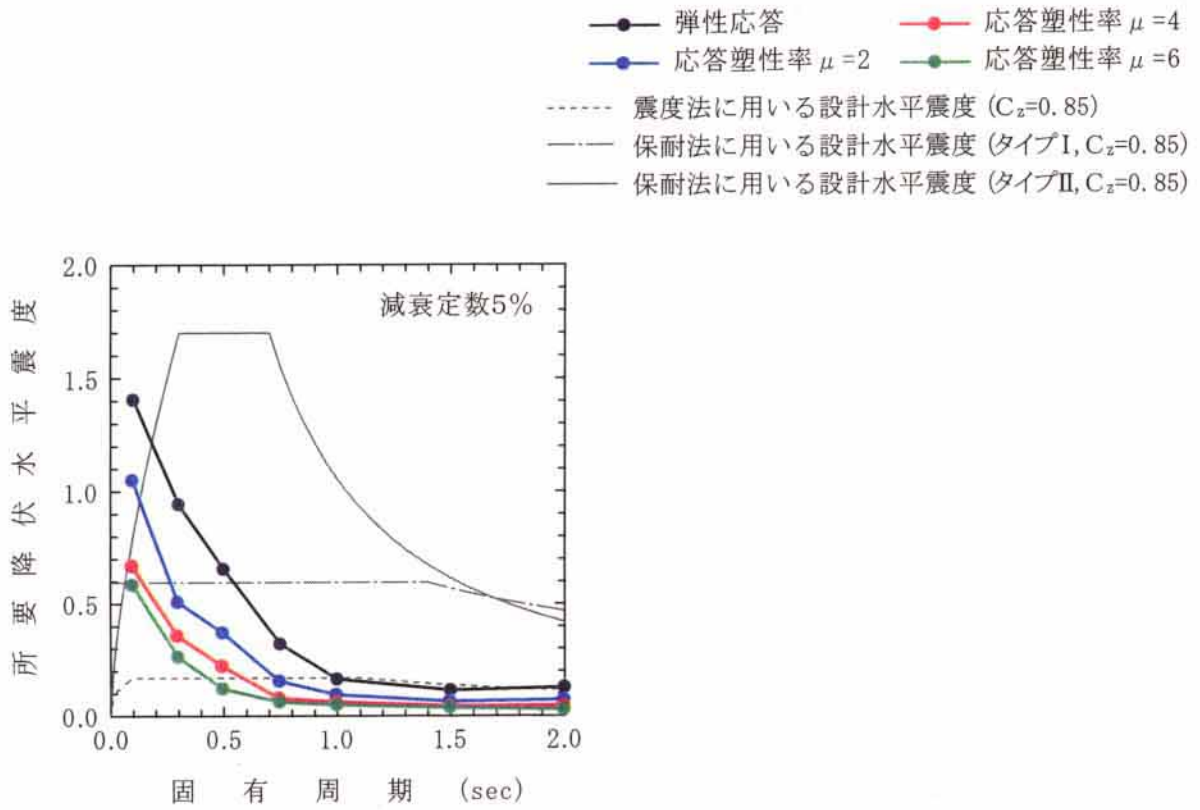


(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 江府 (TTR007) NS成分 -



(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
- 米子 (TTR008) EW成分 -

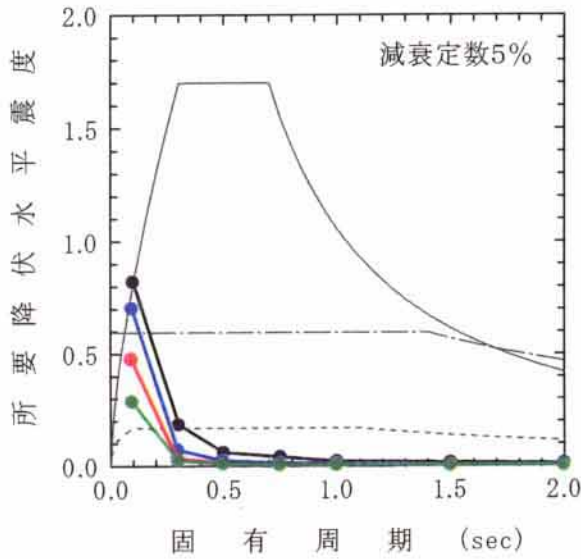
図3-24 (3) 所要降伏水平震度スペクトル



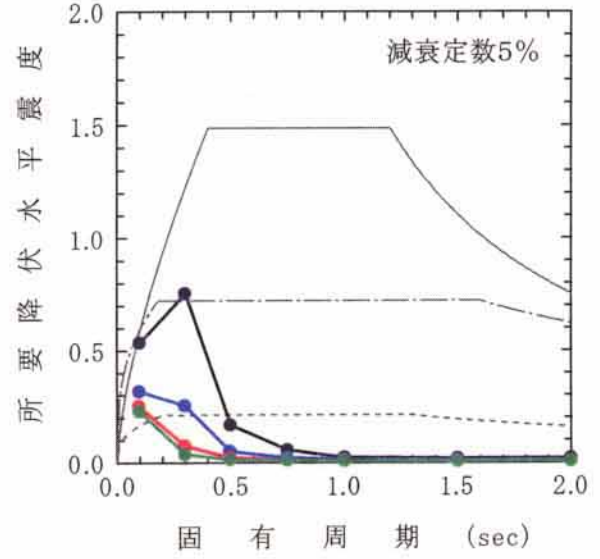
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
 -日南(TTR009) NS成分-

図3-24(4) 所要降伏水平震度スペクトル

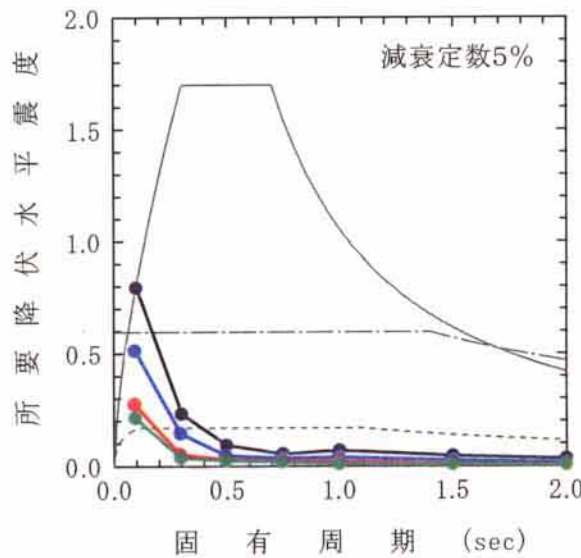
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=0.85$)



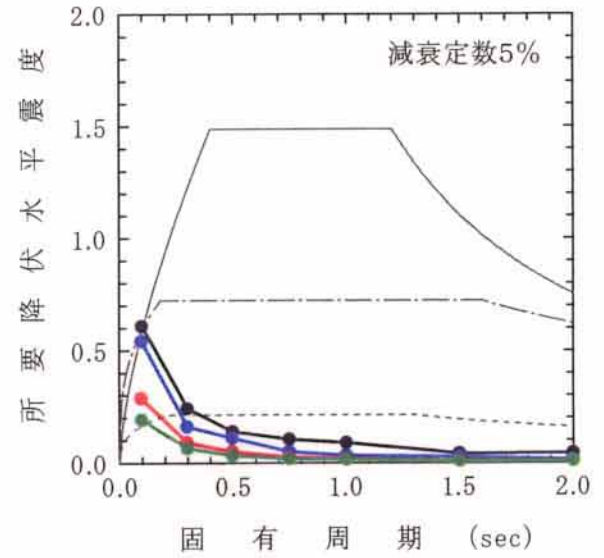
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
— 御調 (HRSH03) EW成分 —



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
— 口和 (HRSH06) EW成分 —



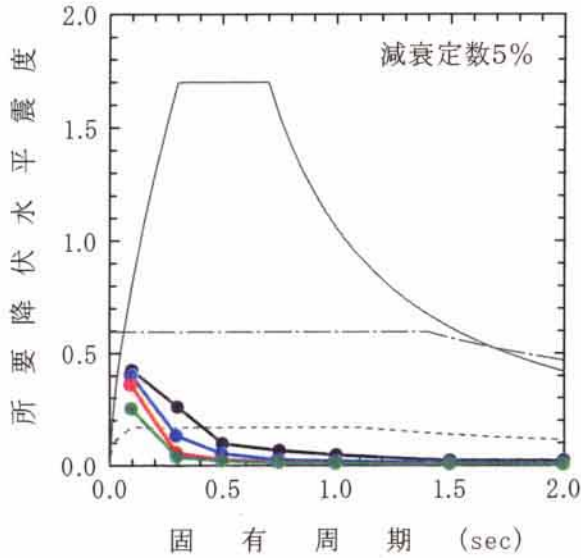
(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
— 哲多 (OKYH08) EW成分 —



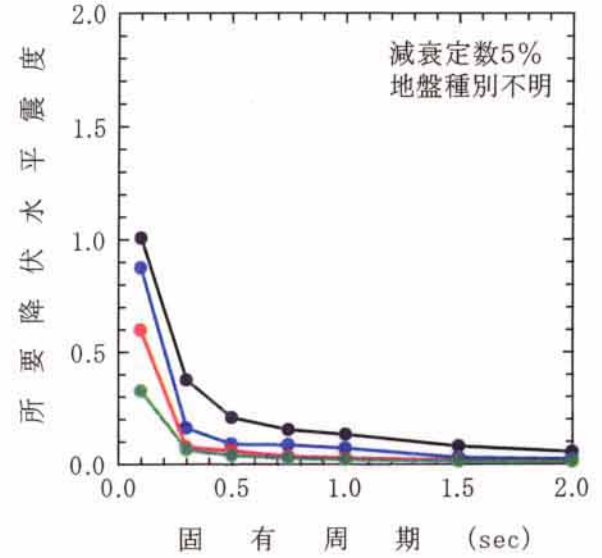
(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
— 湯原 (OKYH09) NS成分 —

図3-24 (5) 所要降伏水平震度スペクトル

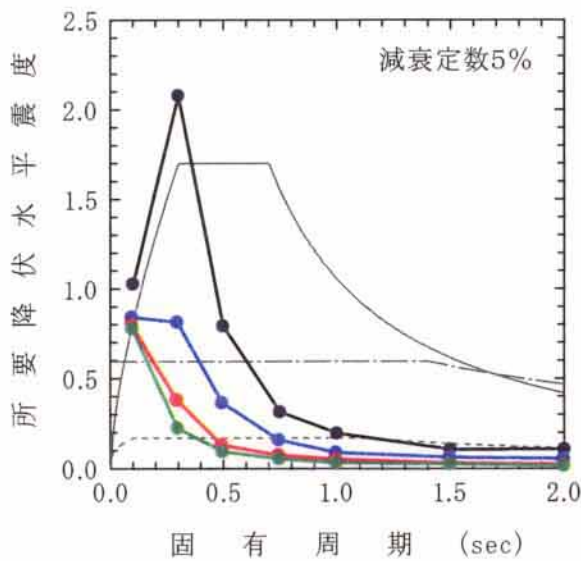
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_d=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_d=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_d=0.85$)



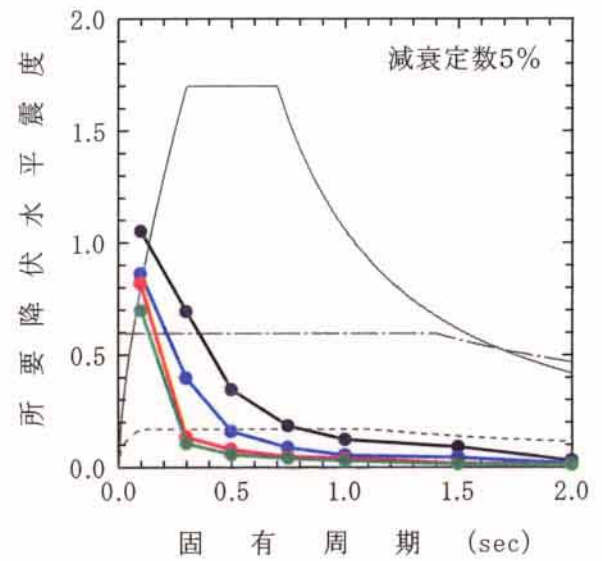
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
-上斎原(OKYH10) NS成分-



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
-北房(OKYH14) EW成分-



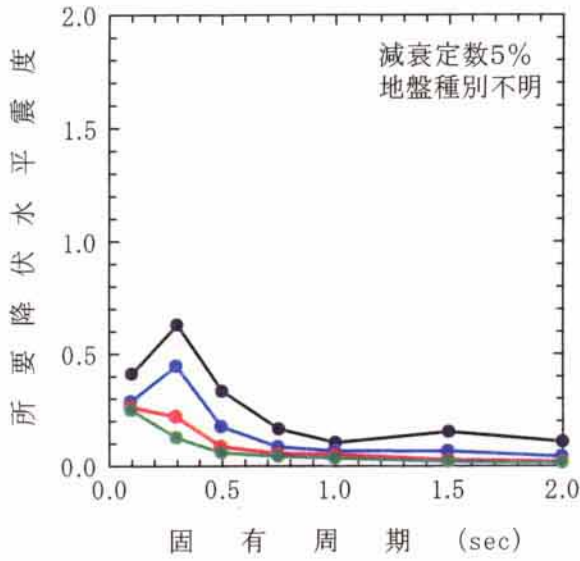
(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
-伯太(SMNH01) NS成分-



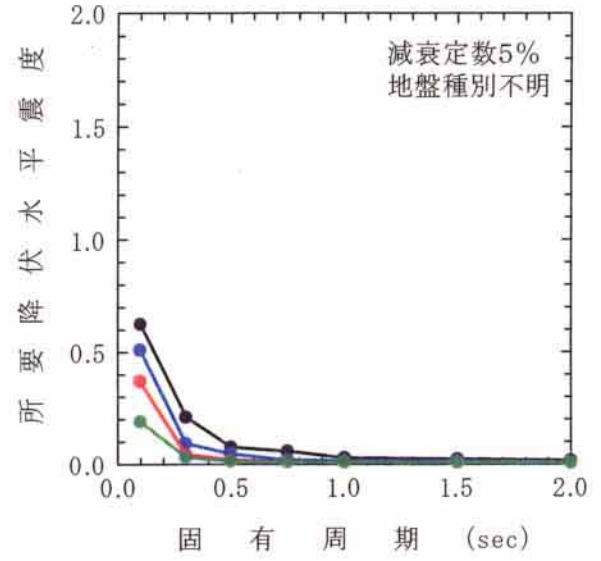
(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
-仁多(SMNH02) NS成分-

図3-24 (6) 所要降伏水平震度スペクトル

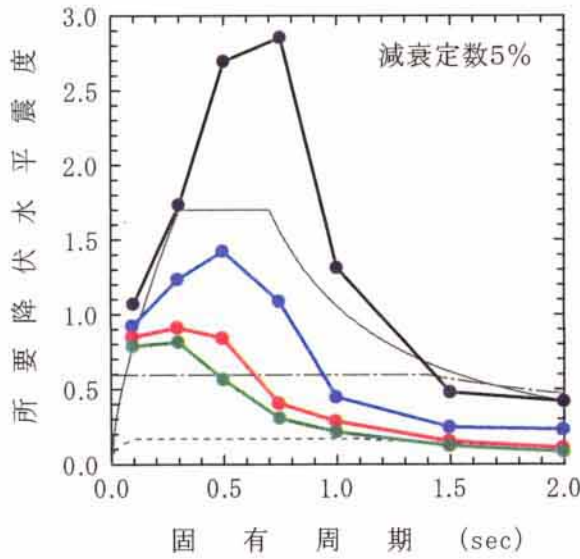
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=0.85$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=0.85$)



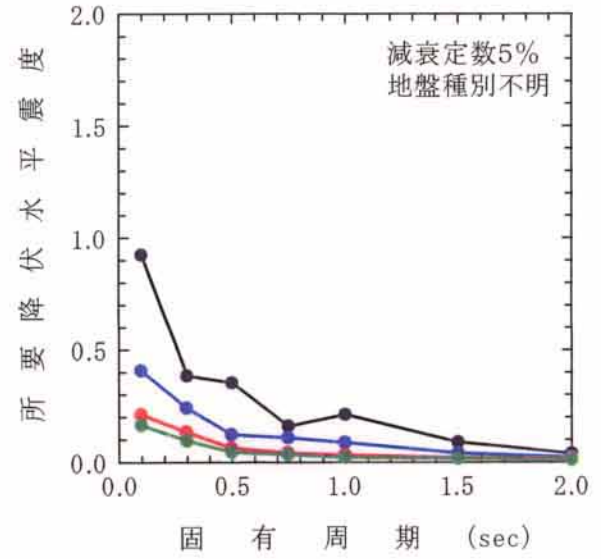
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震
—美保関(SMNH10) EW成分—



(b) 2000.10.6 鳥取県西部地震
—吉田(SMNH12) NS成分—



(c) 2000.10.6 鳥取県西部地震
—日野(TTRH02) NS成分—

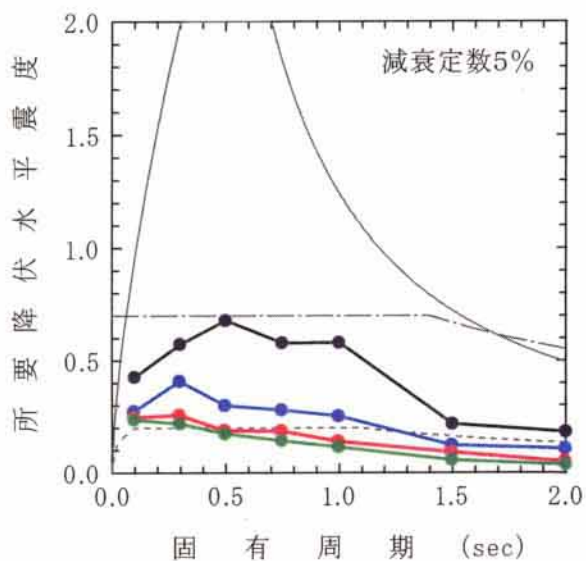


(d) 2000.10.6 鳥取県西部地震
—赤崎(TTRH04) NS成分—

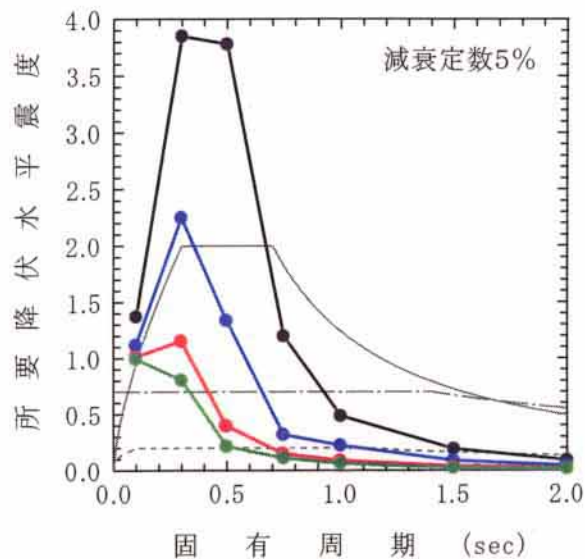
図3-24 (7) 所要降伏水平震度スペクトル

図 3-25 は、既往の強震記録について所要降伏水平震度スペクトルを示したものである。同図(1)(a)より、十勝沖地震の八戸港記録 EW 成分の弾性応答の所要降伏水平震度スペクトルは、どの固有周期の場合にも、震度法に用いる設計水平震度よりも大きくなっており、もし八戸港に道路橋の RC 橋脚があれば何らかの損傷を受けて非線形応答したと考えられる。十勝沖地震では建築の RC 構造物に多くの被害が生じている。同図(b)の釧路沖地震の釧路気象台記録 EW 成分の弾性応答の所要降伏水平震度スペクトルは、固有周期が 0.3~0.5 秒付近では、地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度よりも約 2 倍大きく、震度法で設計する際に想定した設計水平震度よりもはるかに大きい地震動が作用していることがわかる。釧路沖地震では、橋梁構造物に甚大な被害が生じてはいないが、古い設計基準によって設計された主鉄筋が段落しされた RC 橋脚の段落し部に曲げ損傷が生じている。図 3-25(1)の(c),(d),図 3-25(2)の(a)に示されるノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録 NS 成分、JR 鷹取駅記録 NS 成分においても、所要降伏水平震度スペクトルは大きな値となっている。弾性応答に留めるために必要な所要降伏水平震度スペクトルは、地震時保有水平耐力法で用いられるタイプ II 地震動の設計水平震度とおおむね一致している。これは、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定される地震時保有水平耐力法で対象とするタイプ II 地震動（内陸直下型地震動）の I 種地盤と II 種地盤の地震力は、兵庫県南部地震で観測された地震動に基づいて定められているからである。同図(2)(b),(c)の兵庫県南部地震における東神戸大橋周辺地盤上の記録と、神戸ポートアイランドの記録は、弾性応答の所要降伏水平震度が、地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度よりも小さくなっている。これは、耐震設計上の地盤種別が III 種地盤となる地表面上のタイプ II 地震動の地震力は、兵庫県南部地震で観測された地震動の弾性加速度応答スペクトルを約 1.5 倍したものに基づいて定められているからである。

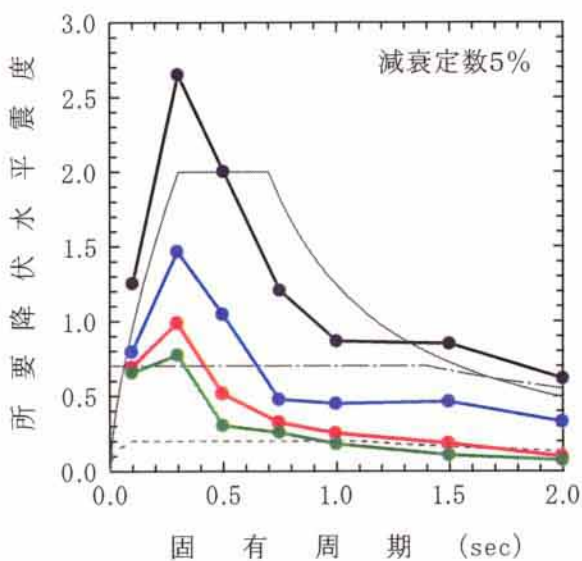
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=1.00$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=1.00$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=1.00$)



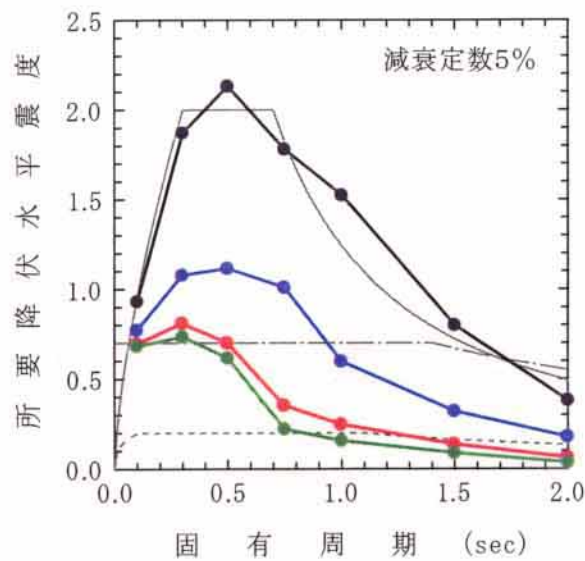
(a) 1968.5.16 十勝沖地震
- 八戸港 EW成分 -



(b) 1993.1.15 釧路沖地震
- 釧路気象台 EW成分 -



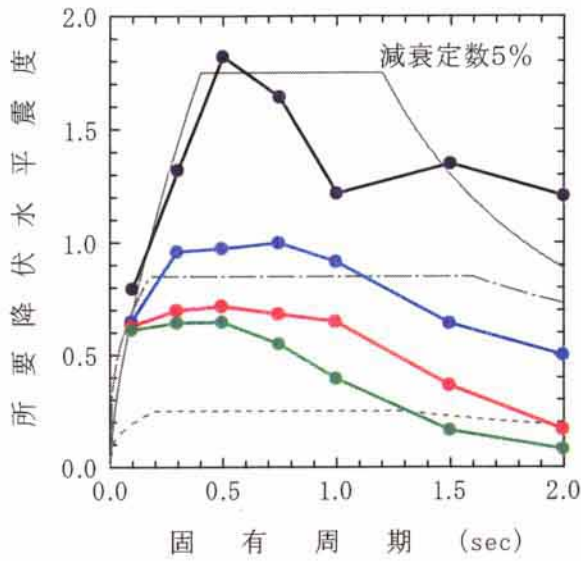
(c) 1994.1.17 ノースリッジ地震
- Sylmar 駐車場 EW成分 -



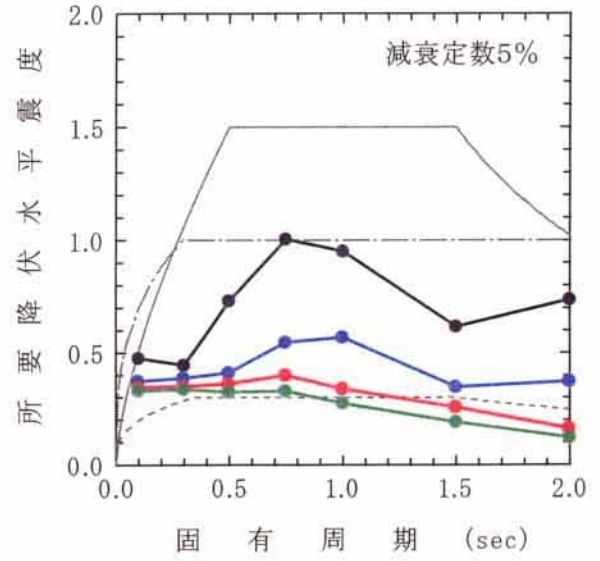
(d) 1995.1.17 兵庫県南部地震
- 神戸海洋気象台 NS成分 -

図3-25 (1) 所要降伏水平震度スペクトル

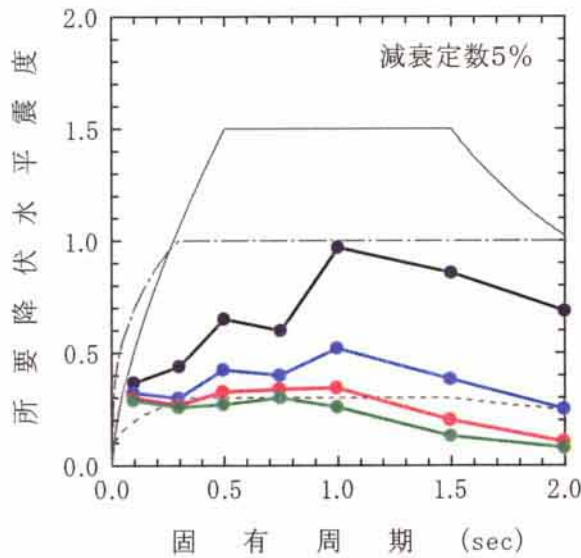
- 弾性応答
- 応答塑性率 $\mu=4$
- 応答塑性率 $\mu=2$
- 応答塑性率 $\mu=6$
- 震度法に用いる設計水平震度 ($C_z=1.00$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプI, $C_z=1.00$)
- 保耐法に用いる設計水平震度 (タイプII, $C_z=1.00$)



(a) 1995.1.17 兵庫県南部地震
- JR 鷹取駅 NS成分 -



(b) 1995.1.17 兵庫県南部地震
- 東神戸大橋周辺地盤上 NS成分 -



(c) 1995.1.17 兵庫県南部地震
- 神戸ポートアイランド NS成分 -

図3-25 (2) 所要降伏水平震度スペクトル

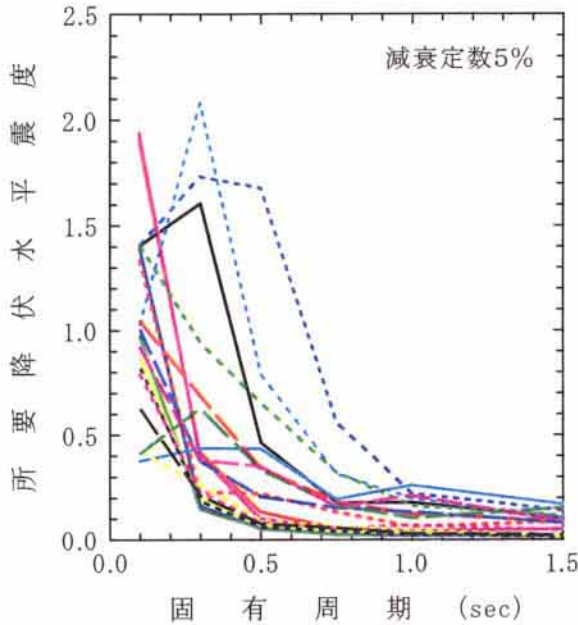
図 3-26 は、鳥取県西部地震で観測された地震動の所要降伏水平震度スペクトルを地盤種別ごと、応答塑性率ごとに比較したものである。同図(1)に示す I 種地盤に着目すると、弾性応答に留めるために必要な所要降伏水平震度が大きいのは、江府記録 NS 成分、伯太記録 NS 成分、新見記録 EW 成分、日南記録 NS 成分である。応答塑性率 2,4,6 も、同じ記録の所要降伏水平震度が大きいことがわかる。同図(2)に示すの II 種地盤の所要降伏水平震度に着目すると、どの応答塑性率の場合についても、日野記録 NS 成分と米子記録 EW 成分の所要降伏水平震度が大きいことがわかる。そこで、鳥取県西部地震で観測された I 種地盤と II 種地盤の所要降伏水平震度の大きい地震動と既往の強震記録のそれを比較した。

I種地盤

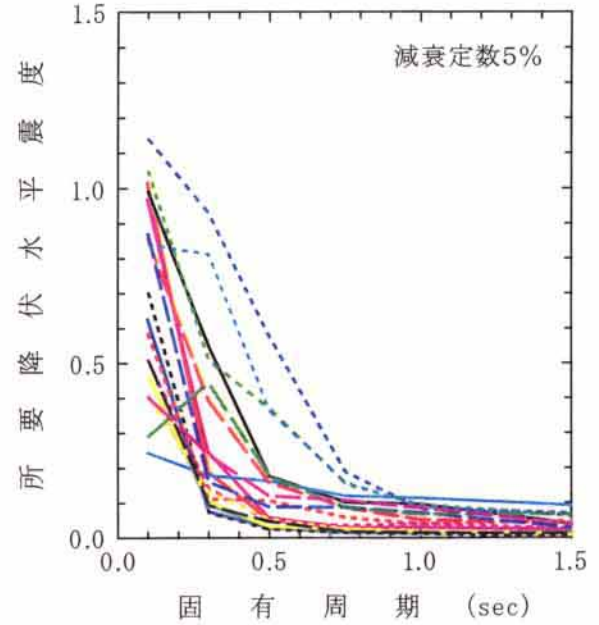
- HRS001 高野NS
- HRS002 東城NS
- HRS021 西城EW
- OKY004 新見EW
- SMN003 横田NS
- SMN007 邑智NS
- SMN015 広瀬NS
- TTR006 赤崎NS

地盤種別不明

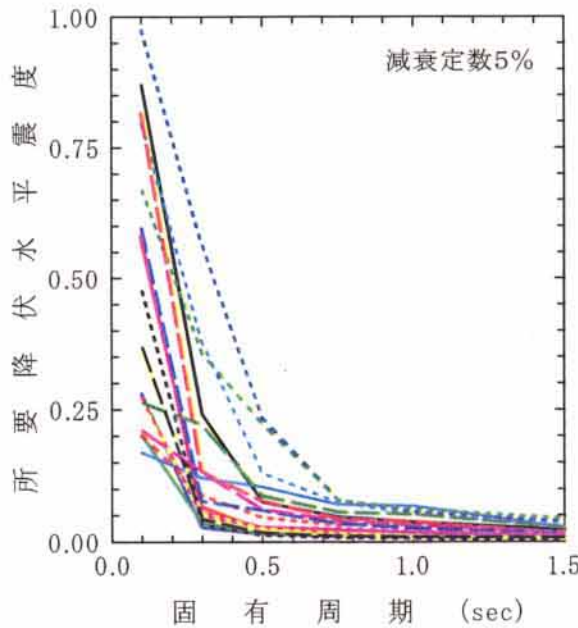
- TTR007 江府NS
- TTR009 日南NS
- HRSH03 御調EW
- OKYH08 哲多EW
- OKYH10 上斎原NS
- SMNH01 伯太NS
- SMNH02 仁多NS
- OKYH14 北房EW
- SMNH10 美保関EW
- SMNH12 吉田NS
- TTRH04 赤崎NS



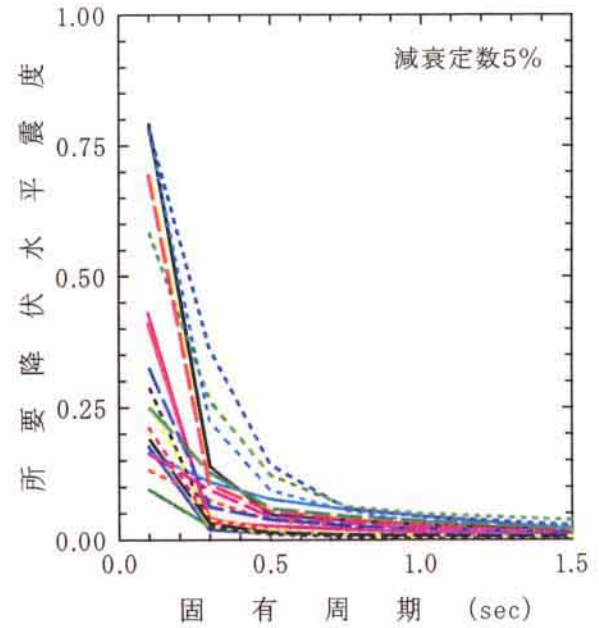
(a) 弾性応答



(b) 応答塑性率 2



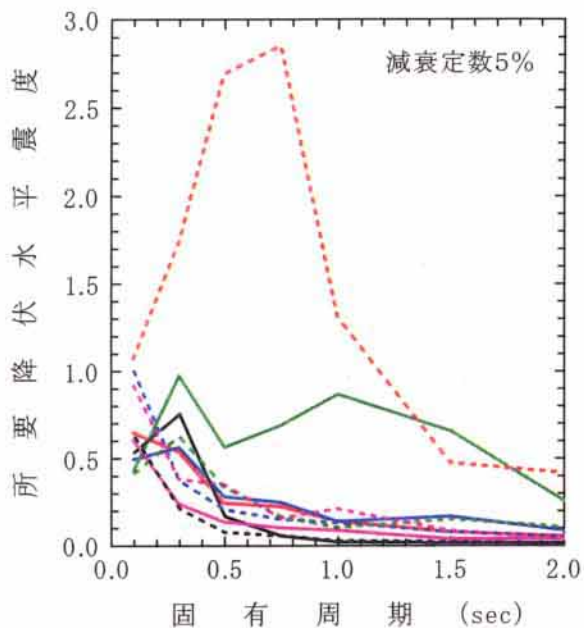
(c) 応答塑性率 4



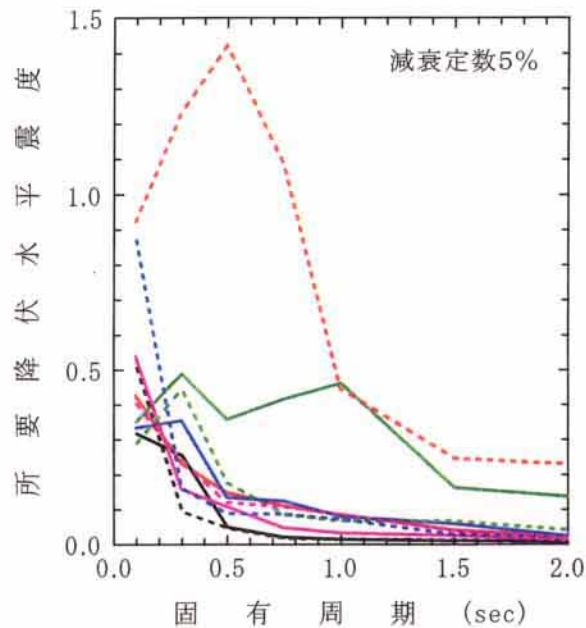
(d) 応答塑性率 6

図3-26 (1) 所要降伏水平震度スペクトルの比較 (I種地盤)

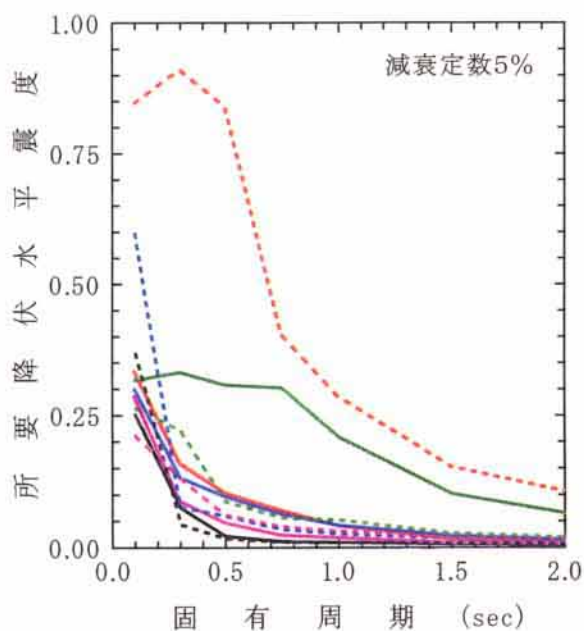
- | | | | |
|-------|--------------|--------|--------------|
| II種地盤 | | 地盤種別不明 | |
| — | OKY005 落合EW | - - - | OKYH14 北房EW |
| — | SMN001 美保関EW | - - - | SMNH10 美保関EW |
| — | TTR008 米子EW | - - - | SMNH12 吉田NS |
| — | HRSH06 口和EW | - - - | TTRH04 赤崎NS |
| — | OKYH09 湯原NS | - - - | |
| — | TTRH02 日野NS | | |



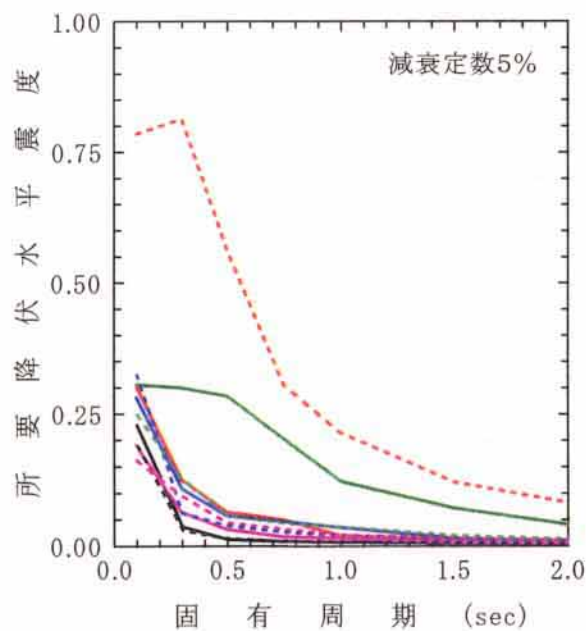
(a) 弾性応答



(b) 応答塑性率 2



(c) 応答塑性率 4

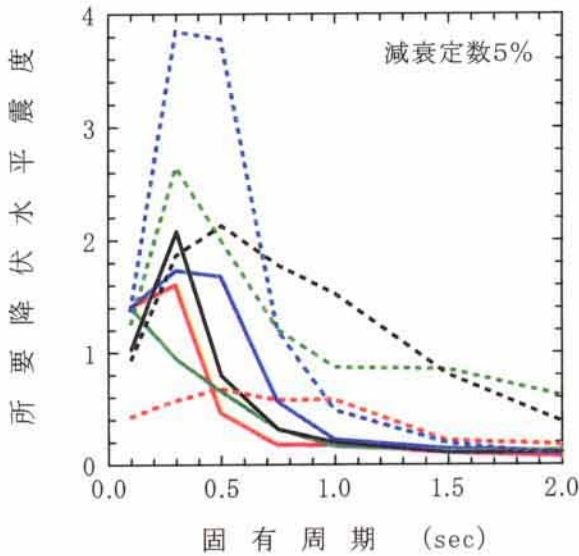


(d) 応答塑性率 6

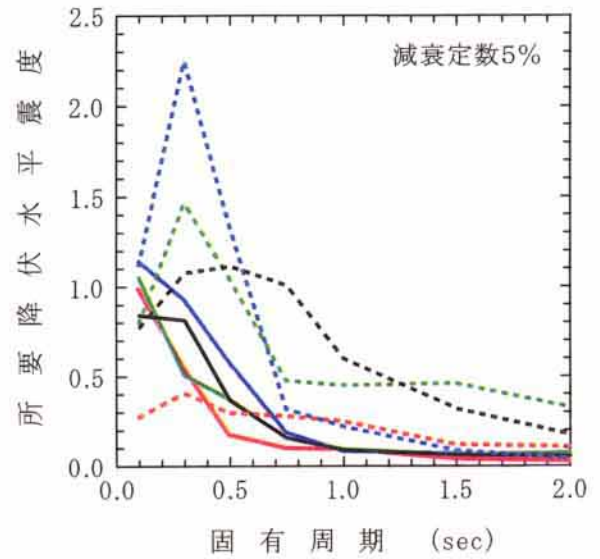
図3-26 (2) 所要降伏水平震度スペクトルの比較 (II種地盤)

図 3-27(1)は、I 種地盤の新見記録 EW 成分、江府記録 NS 成分、日南記録 NS 成分、伯太記録 NS 成分と十勝沖地震の八戸港記録 EW 成分、釧路沖地震の釧路気象台記録 EW 成分、ノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録 NS 成分の所要降伏水平震度スペクトルを比較したものである。いずれの応答塑性率とも、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、十勝沖地震を除く全ての既往の強震記録よりも小さい値となっている。したがって、I 種地盤上に建設される RC 橋脚が損傷を受けずにすむための降伏水平耐力や、軽微な損傷あるいは許容できる損傷に留めるための降伏水平耐力は、既往の地震で観測された地震動に比べて小さく、鳥取県西部地震で観測された地震動は、RC 橋脚等の橋梁構造物に与える影響が小さい地震動であったといえる。図 3-27(2)は、II 種地盤の米子記録 EW 成分、日野記録 NS 成分と、十勝沖地震の八戸港記録 EW 成分、ノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分の所要降伏水平震度スペクトルを比較したものである。弾性応答に留めるために必要な所要降伏水平震度スペクトルは、固有周期 0.5 秒～1.0 秒の間では、日野記録 NS 成分が最も大きく、所要降伏水平震度 2.5 以上となっている。しかし、固有周期が 1.5 秒～2.0 秒の間では、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分やノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分の所要降伏水平震度よりも小さい。日野記録 NS 成分の応答塑性率 2 の所要降伏水平震度は、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分やノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分より 0.5 秒～1.0 秒で大きい。日野記録 NS 成分の、応答塑性率 4,6 の所要降伏水平震度は、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分やノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分の所要降伏水平震度よりも全般的に大きい。以上より、固有周期が 0.5 秒より長い領域では、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分やノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分がやはり大きな所要降伏水平震度を示している。以上より、日野記録 NS 成分が固有周期が 0.5～1.0 秒の RC 橋脚に代表される橋梁構造物に作用すると、全く損傷を許さないためには大きな降伏水平耐力が必要となるが、固有周期が 1.0 秒より長い橋梁構造物を弾性応答に留める場合や、ある程度の損傷を許容する場合には、兵庫県南部地震の JR 鷹取駅記録 NS 成分やノースリッジ地震の Sylmar 駐車場記録 EW 成分よりも小さな降伏水平耐力で所要の耐震性能を確保できることがわかる。

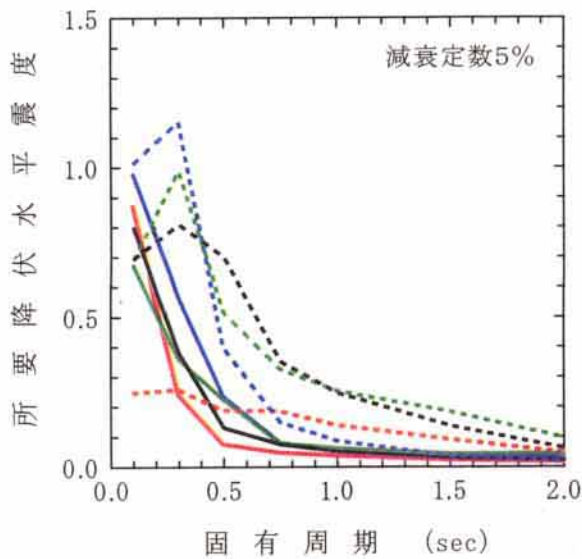
- 鳥取県西部地震 新見EW (OKY004)
- " 江府NS (TTR007)
- " 日南NS (TTR009)
- " 伯太NS (SMNH01)
- 十勝沖地震 八戸港EW
- 釧路沖地震 釧路気象台EW
- ノースリッジ地震 Sylmar駐車場EW
- 兵庫県南部地震 神戸海洋気象台NS



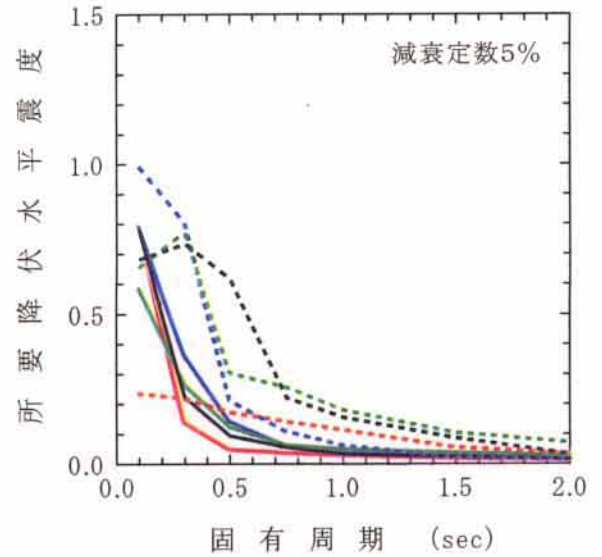
(1) 弾性応答



(2) 応答塑性率 2



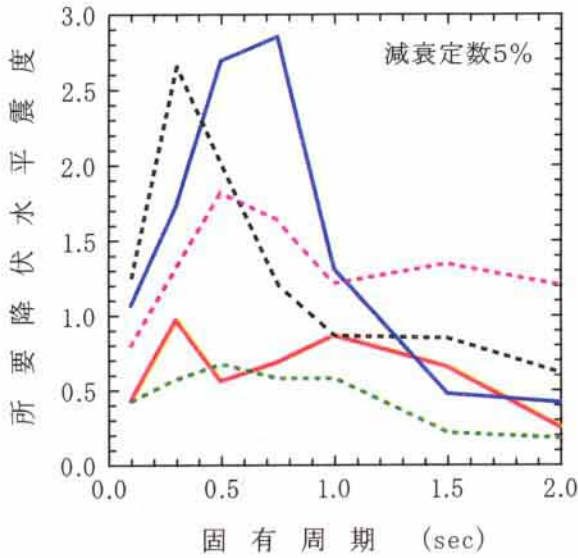
(3) 応答塑性率 4



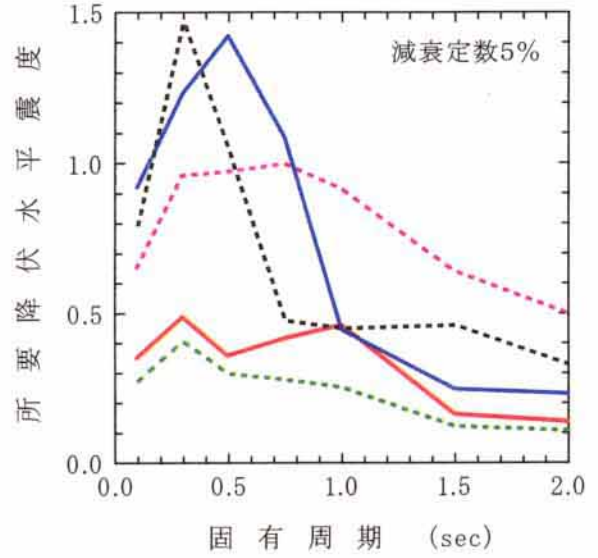
(4) 応答塑性率 6

図3-27 (1) 所要降伏水平震度スペクトルの比較
(鳥取県西部地震と既往の強震記録の比較, I種地盤)

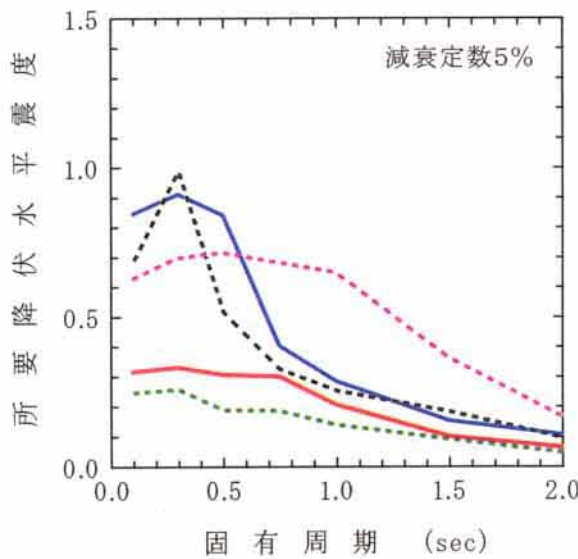
- 鳥取県西部地震 米子EW (TTR008)
- " " 日野NS (TTRH02)
- - - 十勝沖地震 八戸港EW
- - - ノースリッジ地震 Sylmar駐車場EW
- · · 兵庫県南部地震 JR鷹取駅NS



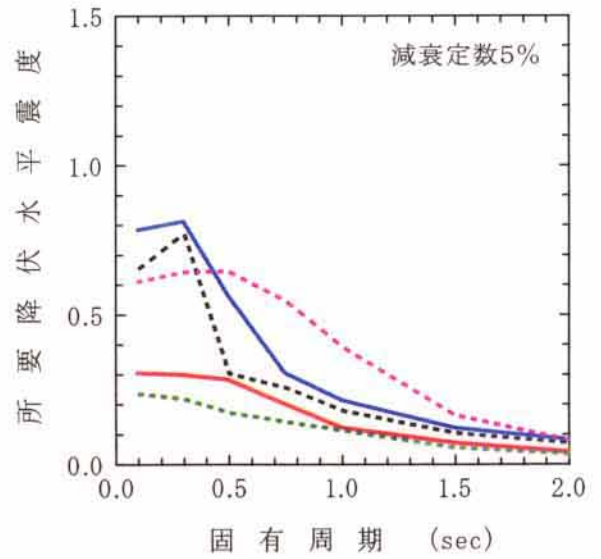
(1) 弾性応答



(2) 応答塑性率 2



(3) 応答塑性率 4



(4) 応答塑性率 6

図3-27(2) 所要降伏水平震度スペクトルの比較
(鳥取県西部地震と既往の強震記録の比較, II種地盤)

参考文献

- 1) 川島一彦, 相沢興, 高橋和之: 最大地震動および地震応答スペクトルの距離減衰式; 土木研究所報告, 第 166 号, 昭和 60 年 9 月.
- 2) 福島美光: 断層近傍まで適用可能な最大加速度の距離減衰式の導出と改訂, 清水建設研究報告, 第 63 号, pp.75~88, 1996.
- 3) 理論地震動研究会編著: 地震動-その合成と波形処理-, pp.112, 鹿島出版会, 1994.2
- 4) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, pp.148, 鹿島出版会, 1994.5
- 5) 翠川三郎: 2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震被害調査報告 地震動について, 財震災予防協会, 地震工学ニュース, No.176,2001.1
- 6) 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) 抜粋, pp.248~249, 1993.1
- 7) 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説, 耐震設計, pp.394, 1999.10