

2.3 応答解析結果

2.3.1 弾塑性変位応答の傾向

応答変位一定則、エネルギー一定則を検証する意味で、鉄筋コンクリート造の一般的な復元力モデルであるモデル3を用いた1質点系に対し、特性周期の異なる3波の地震動（Castaic EW、El Centro NS、Hachinohe NS）を用いた応答解析を、降伏強度をパラメータとして行なった。初期周期は、応答スペクトルの加速度一定領域として0.3秒、速度一定領域として1.0秒の2種とした。解析結果を、弾性応答変位、弾性応答せん断力で規準化して図-2.6に示す。初期周期 0.3秒のものでは地震動による応答の差が大きく、特に、降伏強度が小さい時その傾向が強い。Hachinohe NSに対する応答値はエネルギー一定則よりも大きな値となっている。このことは、エネルギー一定則はある地震動に対しある特定の初期周期の時のみに成立し、一般的には成り立たない事を示している。初期周期 1.0秒のものでは、どの地震動に対する応答値も、応答変位一定則より小さな値となっている。

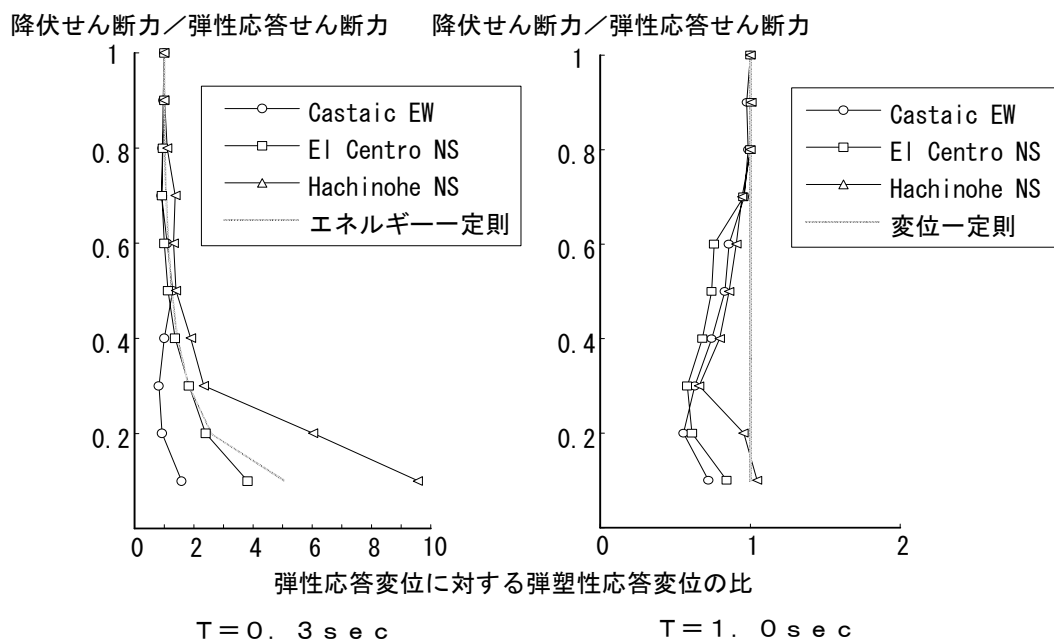


図-2.6 代表的な地震動に対する無次元化弾塑性変位応答値

2.3.2 無次元化パラメータに対する応答

変位応答に対する地震動の影響を検討するため、以下に定義した3つの無次元パラメーター、

周期比(TR) = 初期周期 T_0 / 地震動の特性周期 (T_c : 2.2.1で定義した加速度
応答スペクトル一定領域と速度応答スペクトル一定領域の境界
の周期)

強度比(SR) = 降伏強度 / 2%減衰弾性応答せん断力

変位応答比(DR) = 最大応答変位 / 初期周期 T_0 における2%減衰の変位応答スペ
クトル値

のうち、 TR 、 SR を変化させて応答計算を行った。

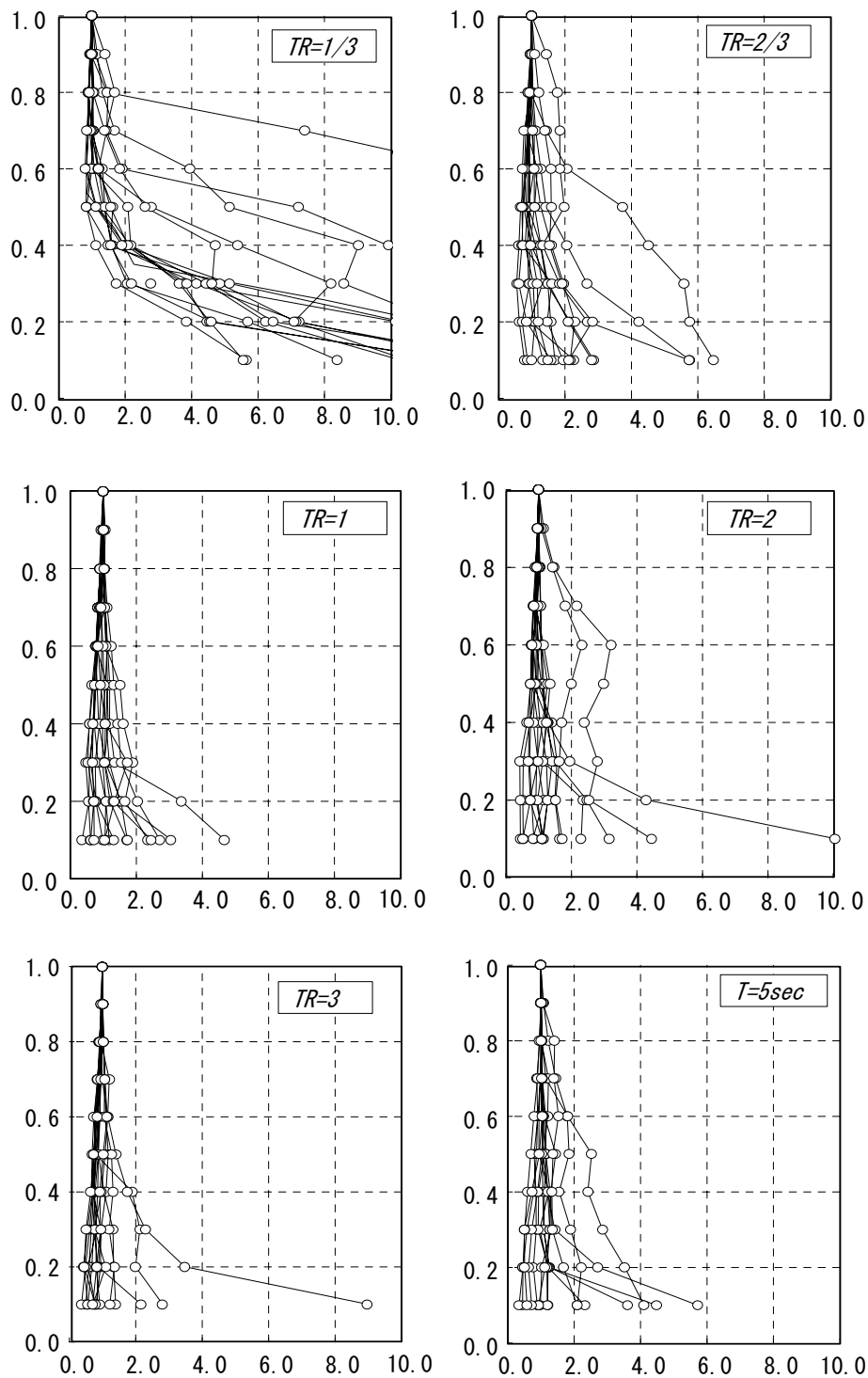
TR としては、応答スペクトルの加速度一定領域として、1/3、2/3の2種、速度、もしくは変位一定領域として、1、2、3の3種とし、さらに初期周期5秒のものも加えた計6種とした。 SR としては、0.1から1.0まで 0.1刻みの10種とした。これから得られた応答変位を弾性応答変位で除して DR とした。これに表-2.1に示した16種の地震動、図-2.5に示した5種の復元力特性モデルを合わせて計4800種類の応答解析を行った。

計算結果は、同一の TR を持つものを一つの図にまとめて示す。図-2.7は、モデル3に対する結果をまとめたものである。縦軸は強度比(SR)、横軸は変位応答比(DR)を表している。同図にプロットされた結果はそれぞれの図においてはほぼ同一の傾向を示しているが、 TR によっては、1、2の地震動で相違が見られるものがある。これは、初期周期が弾性応答スペクトルの谷間に位置し、弾性応答変位スペクトル値が周りの周期のものに比べ過度に小さいためである。弾性応答値の代わりに、図-2.1中に示した平滑化した3折れ線によるスペクトル値で応答値を除して SR と DR を求めると 図-2.8のようになり、 SR が極端に小さい場合を除き地震動による著しいばらつきがなくなる。同様な結果は、モデル1、2、4についても得られた。これは、本章における規準化の方法が適当である事を示しているといえよう。モデル5においても同様な結果が得られているが、ばらつきが他のモデルに比べて大きな結果となっている。

一方、図-2.9はこれらの履歴モデルの影響を見るために、El Centro NS波に対する応答結果を、図-2.8と同一の周期比において示したものである。この図では DR は、平滑化していない弾性応答変位そのものを用いて求めてある。初期周期(T_0)が、地震動の特性周期(T_c)より長い場合については各モデルに対する応答結果は非常に近い。 T_0 が T_c より短い場合にはモデル間における相違が見られ、その差は周期比 TR の小さいほど大きく、応答値は履歴モデルの等価粘性定数の値の小さいものほど応答が大きくなっている。

モデル5では、初期周期が、地震動の特性周期より長い場合($TR>1$)においても変位一定則を満足しないものもあり、変位一定則を満足させるには、等価周期の伸びにともなう変位の伸びを抑えるに必要な等価粘性減衰の増加が必要であるといえる^{13),14)}。

弾性応答せん断力に対する降伏せん断力の比



弾性応答変位に対する弾塑性応答変位の比

図-2.7 弾性応答で無次元化した弾塑性変位応答値
(Model 3 に対する応答値)

弾性応答せん断力に対する降伏せん断力の比

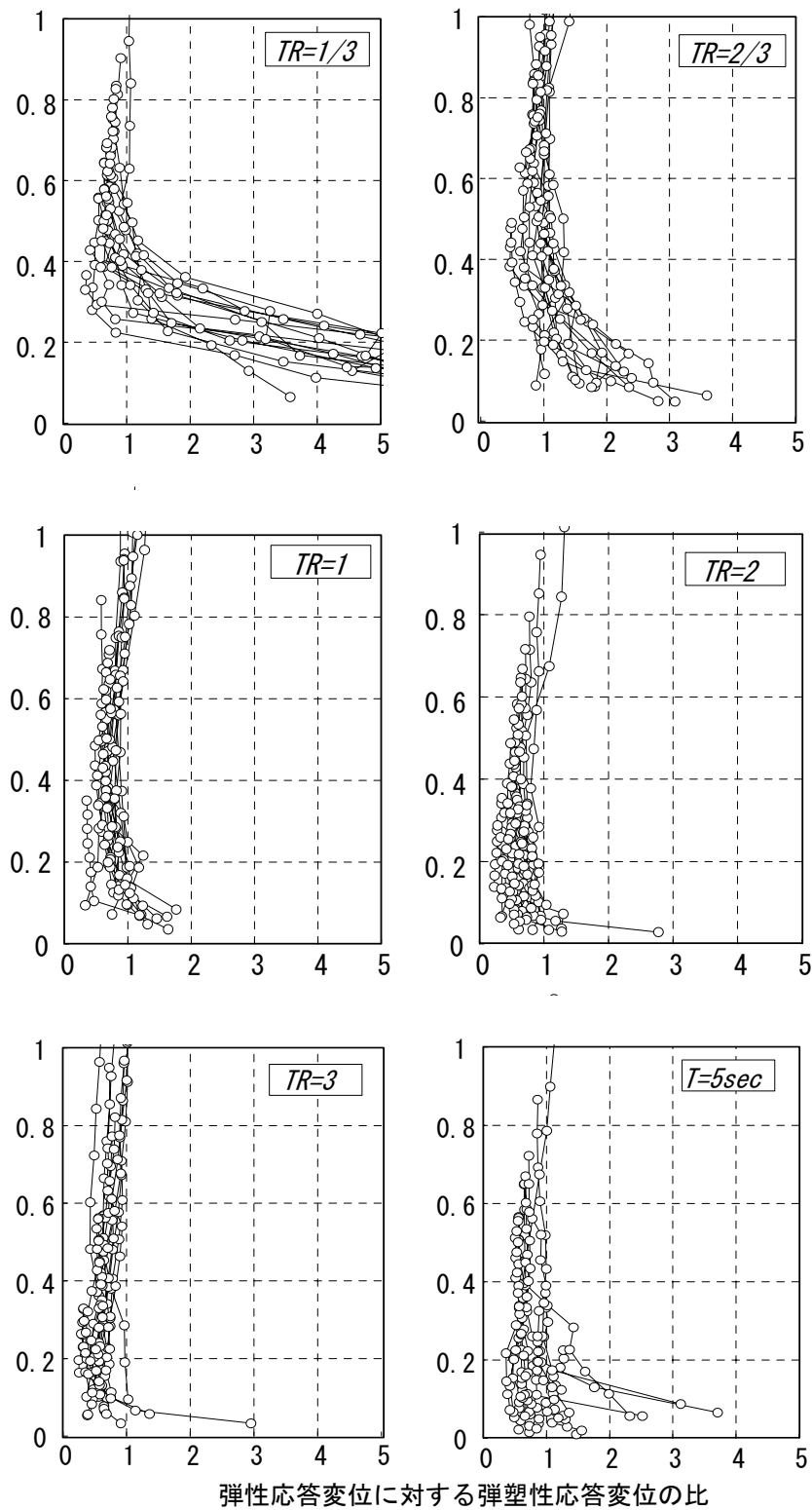
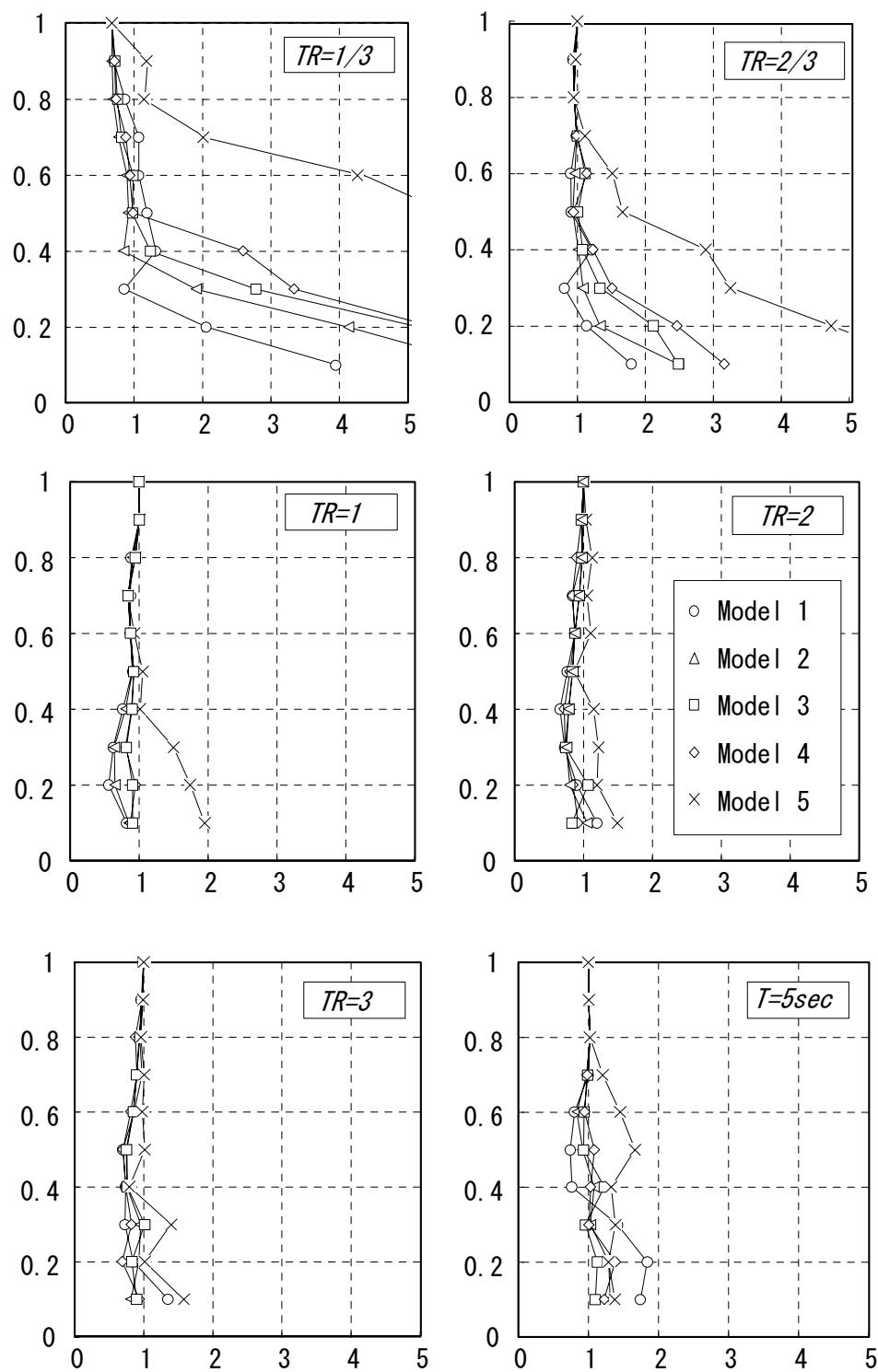


図-2.8 提案した無次元化パラメータで示した弾塑性変位応答値
(Model 3 に対する応答値)

弾性応答せん断力に対する降伏せん断力の比



弾性応答変位に対する弾塑性応答変位の比

図-2.9 履歴モデルによる弾塑性変位応答値の相違
(El Centro NS に対する応答値)

2.3.3 弾塑性変位応答値のゾーニング

前節の結果より、弾塑性応答値が平滑化した弾性応答値以下である境界の強度比を各周期比ごとに求め、周期比(TR)と強度比(SR)との図にプロットすると、図-2.10のようになる。モデル5を除いた各モデルの境界値は図中に示した $TR+SR=1$ で表せる。

これより、鉄筋コンクリート構造物の非線形応答を次の二つの領域に分けて考える事ができる。

I $TR+SR \geq 1.0$

変位応答は強度にかかわらず平滑化した弾性変位応答スペクトル値を越えない。また、極端なスリップ型を除き履歴モデルの影響は少ない。従って、非線形変位応答は2%減衰の平滑化した弾性変位応答スペクトル値とすれば実用的には十分である。

II $TR+SR < 1.0$

変位応答は周期比と強度比の関数である。曲げで降伏する鉄筋コンクリート構造物であれば、 DR を図-2.8の曲線を使って求め、変位応答値を推定可能である。図-2.11は、図-2.8に示したモデル3に対する応答値のうち、 $TR < 1$ の値を、横軸に $TR+SR$ を、縦軸に DR をとって対数目盛りで描いたものである。図中の破線は、

$$DR=1/(TR+SR)^{2.5} \text{ ----- (2.18)}$$

を示す曲線である。ばらつきはあるが、この線で DR が近似できており、これにより推定する事も可能である。

一般的には、この領域において、応答値は履歴モデルの特性の影響を受け、ばらつきも大きくなるため、あらかじめ履歴特性が推定されなければならないという問題が残る。これは逆の見方をすれば、短周期の建物において系の変位応答値が弾性応答値以下で安定な挙動を示すには、領域 I になるよう耐力を設定すれば良いという事になる。

このゾーニングは、既往の振動台実験の結果を TR と SR で整理した結果でも満足している¹⁵⁾。

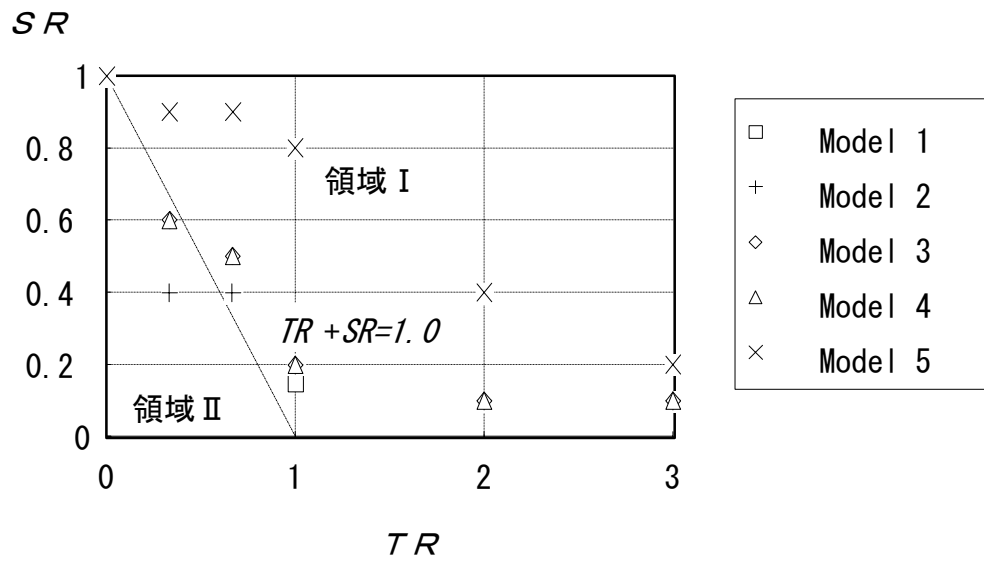


図-2.10 弾塑性変位応答が弾性変位応答以下となる境界の周期

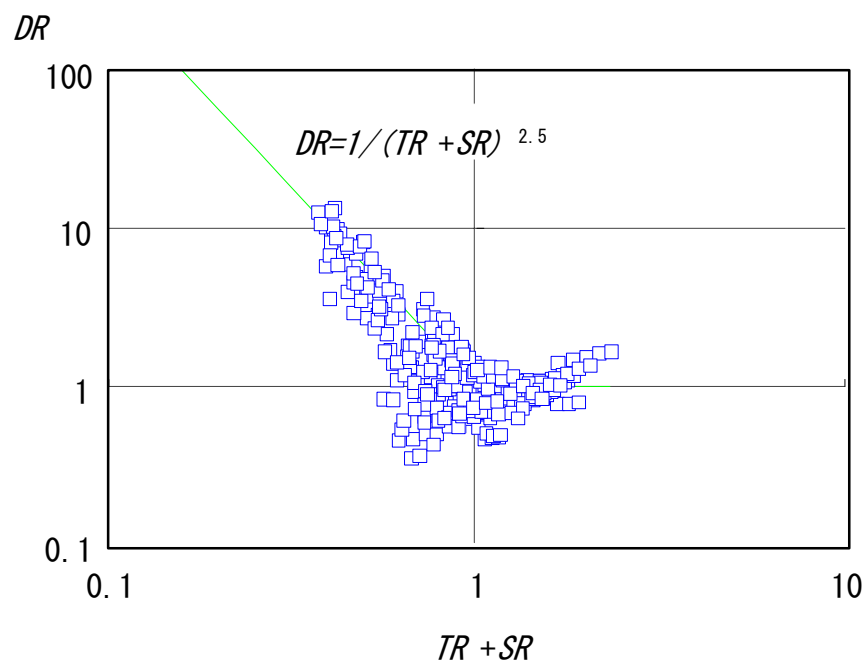


図-2.11 領域 I における弾塑性変位応答の分布

図-2.6	代表的な地震動に対する無次元化弾塑性変位応答値.....	33
図-2.7	弾性応答で無次元化した弾塑性変位応答値 (MODEL 3 に対する応答値)	36
図-2.8	提案した無次元化パラメータで示した弾塑性変位応答値 (MODEL 3 に対する応答値)	37
図-2.9	履歴モデルによる弾塑性変位応答値の相違 (EL CENTRO NS に対する応答値)	38
図-2.10	弾塑性変位応答が弾性変位応答以下となる境界の周期.....	40
図-2.11	領域 I における弾塑性変位応答の分布.....	40