

# 中越沖地震の柏崎刈羽原子力への影響評価 (2)地震荷重の特徴

北海道大学大学院工学研究科  
菊地 優

# 検討方法

- 分科会の主旨

「公開されている情報を元に、技術的な立場から  
中立的な評価を行う」

- 公開されている情報

地震災害調査報告

地震観測記録

# 検討内容

## ■ 建屋に関する検討

- 被害調査報告のレビュー
- 弾塑性応答スペクトルによる分析
- 建屋に作用した地震力の推定

## ■ 機器に関する検討

- 応答低減係数 $D_s$ の評価
- 応答低減係数による弾塑性応答特性の評価
- パルス性入力に対する弾塑性応答の依存性

# 被害調査報告のレビュー

2007年8月22日開催の

「2007年新潟県中越沖地震災害調査報告会」

(土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本建築学会・日本地震学会の共催)

における、

千葉大学・中井教授の報告に着目

柏崎刈羽原子力発電所建屋に作用した荷重に関する考察

## ■ 原子力発電施設の設計用地震力

- 静的地震力(現行の耐震基準による)
- 動的地震力(時刻歴応答解析による)
- 両地震力を包絡するように設計地震力が決められる。

## ■ 重要度係数

- Aクラス(3.0):原子炉建屋、コントロール建屋
- Bクラス(2.0):タービン建屋、廃棄物処理建屋
- Cクラス(1.0):その他のサービス建屋

## 柏崎刈羽原子力発電所の特徴

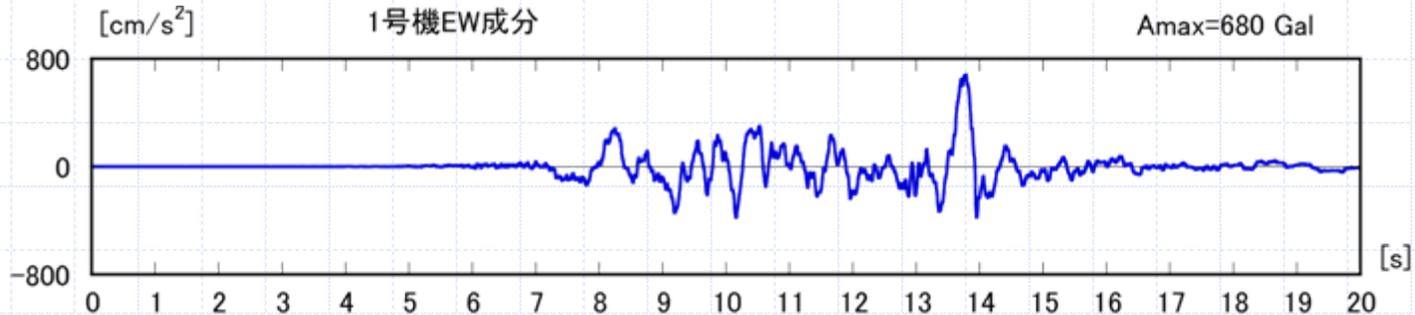
- 軟岩サイトである。
  - 埋め込み深さが非常に大きい。
- 動的相互作用により、建屋の応答は大きくならない。

動的地震力<静的地震力となり、静的地震力にはかなりの余裕が見込まれていた。

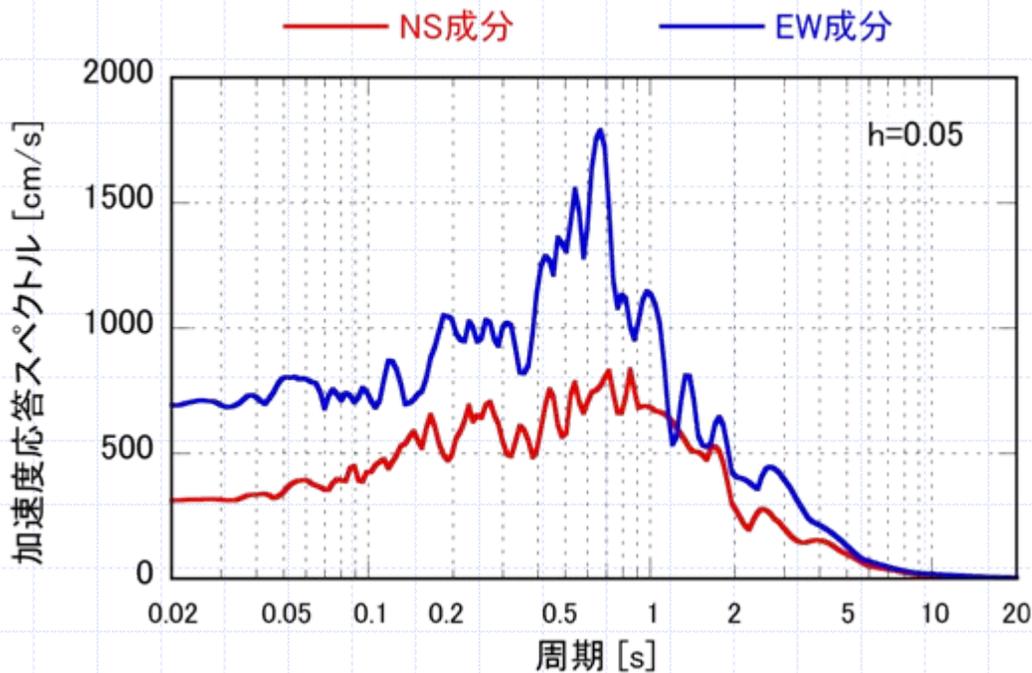
\*Cクラスで設計された事務本館(地震発生直後に建物の損傷により緊急対策室が使用不可能)とは対照的

# 観測記録の分析

1号機原子炉建屋地下5階(基礎版上)



加速度時刻歴波形

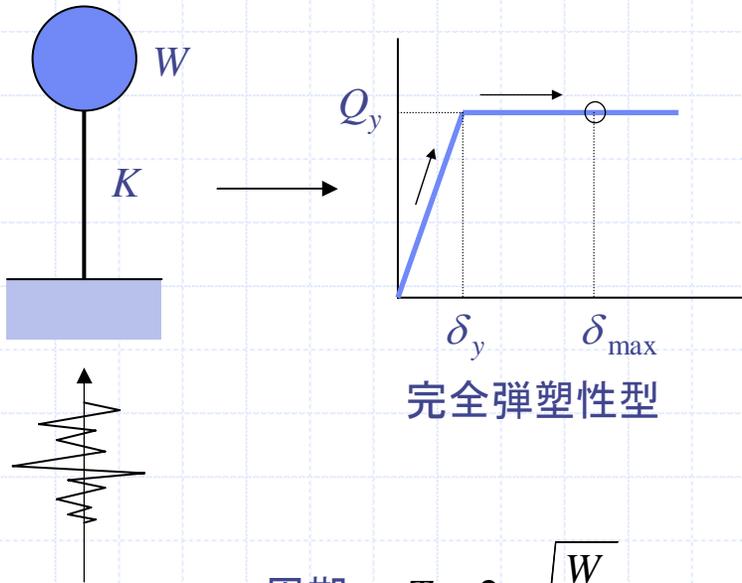


(弾性)応答スペクトル

## 観測記録の特徴

- やや長周期のパルス性の加速度波形が最大応答を支配 (1号機原子炉建屋基礎の観測波)
- 一般的な機器の固有周期 (0.2s~0.05s) に比べてパルスの継続時間が長く、静的な荷重の性格を持つ

# 弾塑性応答スペクトルによる分析



周期:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}}$

降伏せん断係数:  $C = \frac{Q_y}{W}$

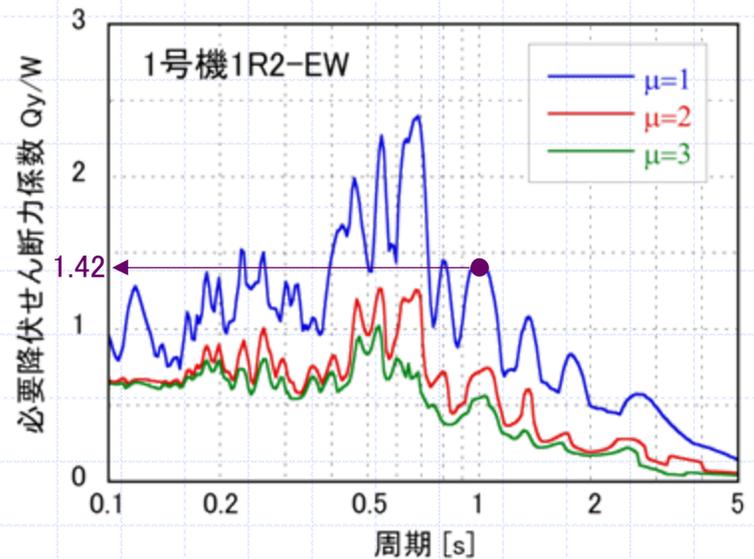
塑性率:  $\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y}$

周期ごとに繰り返す

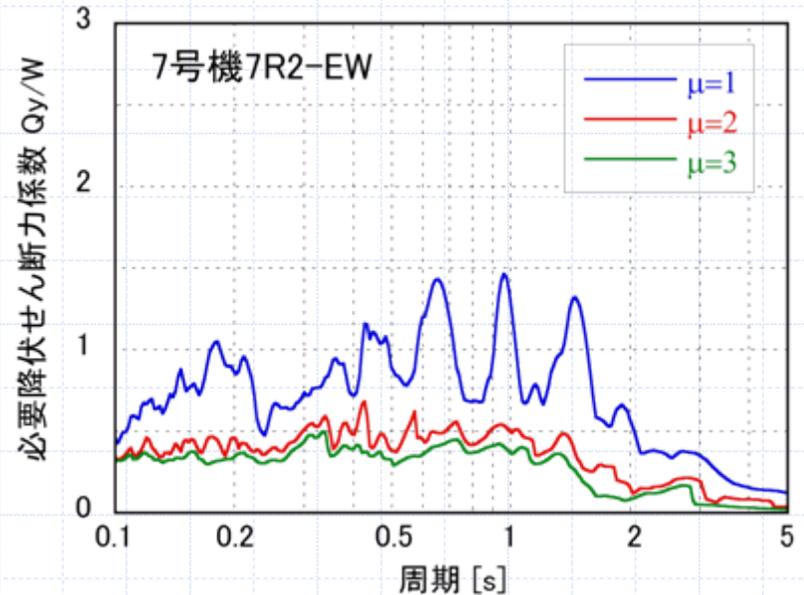
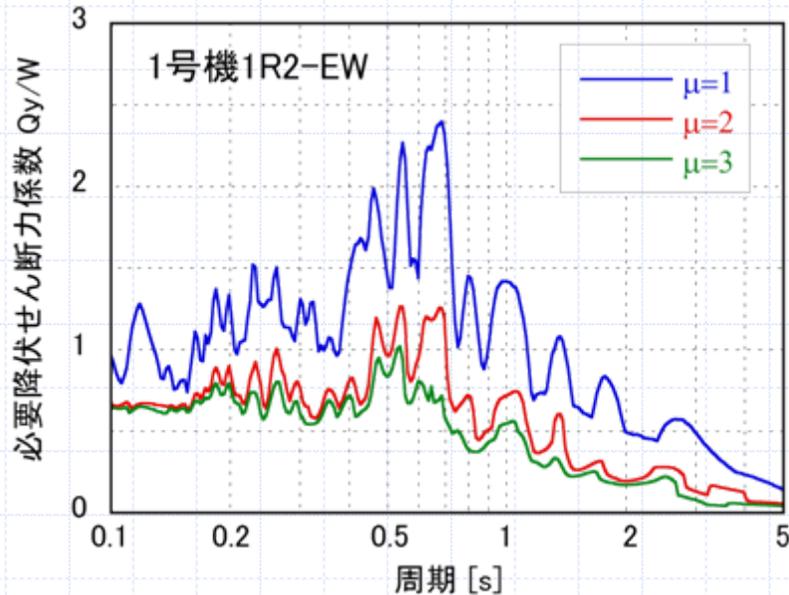
塑性率  $\mu$  が、所定の値となるような  $Q_y$  を求める。



周期  $T$  と降伏せん断力  $C$  をプロットする。

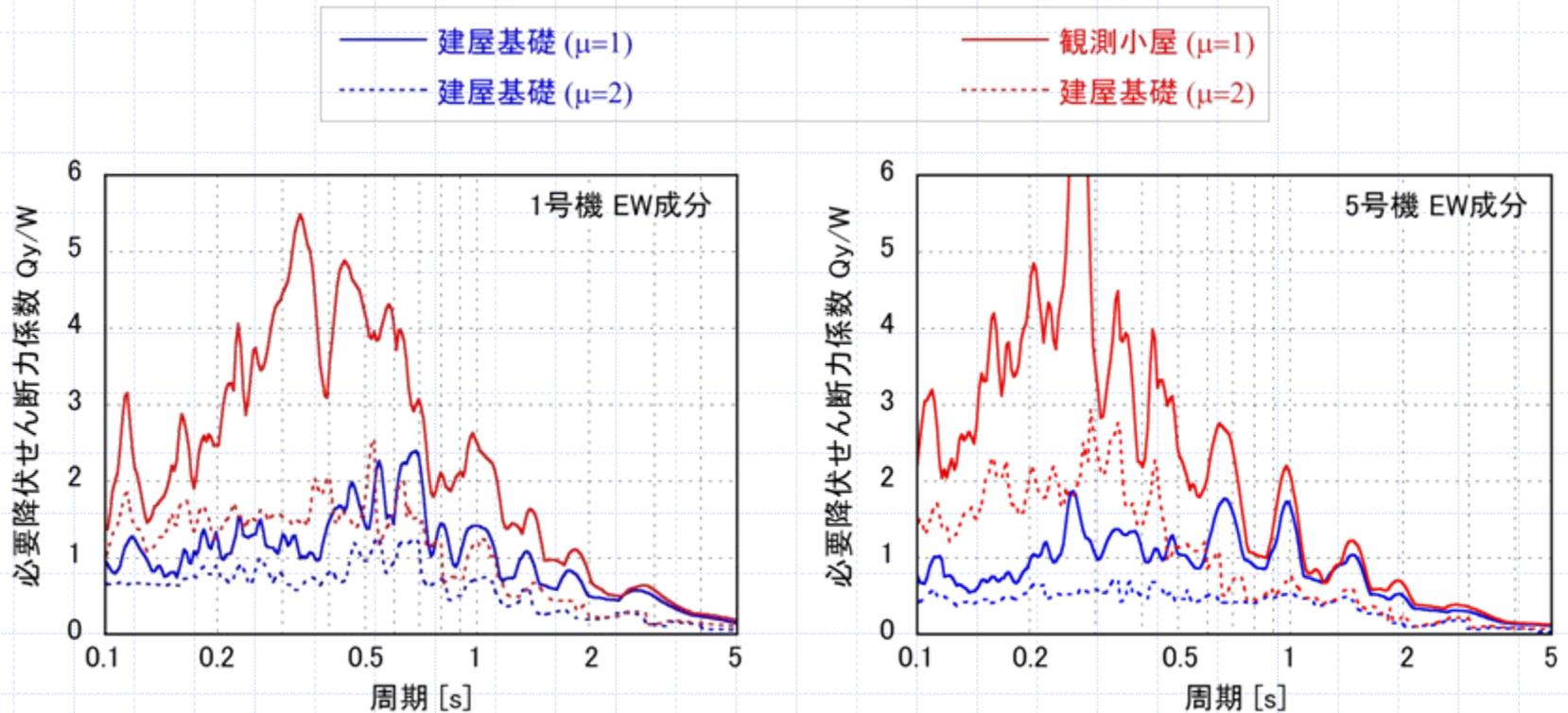


# 弾塑性応答スペクトルの比較(建屋内)



- $\mu=1$ の弾塑性応答スペクトルは、弾性限耐力に対応する。
- 建屋躯体に損傷が生じていないとすれば、 $\mu=1$ の建屋は耐力を有する。
- 弾性状態から少しの許容塑性率を増加させるだけで、必要降伏せん断力係数は激減する。

# 弾塑性応答スペクトルの比較(建屋内外)



- 建屋基礎版と観測小屋で、約2~5倍の差がある
- 地盤と建屋の動的相互作用による地震応答の低減効果

# 建屋耐力の試算

- 耐震基準の要求耐力と実被害との対応
  - 1995年兵庫県南部地震の被害データ
  - 低層建物ほど要求耐力より大きな耐力(約2倍)
- 原子炉建屋の重要度係数:3.0

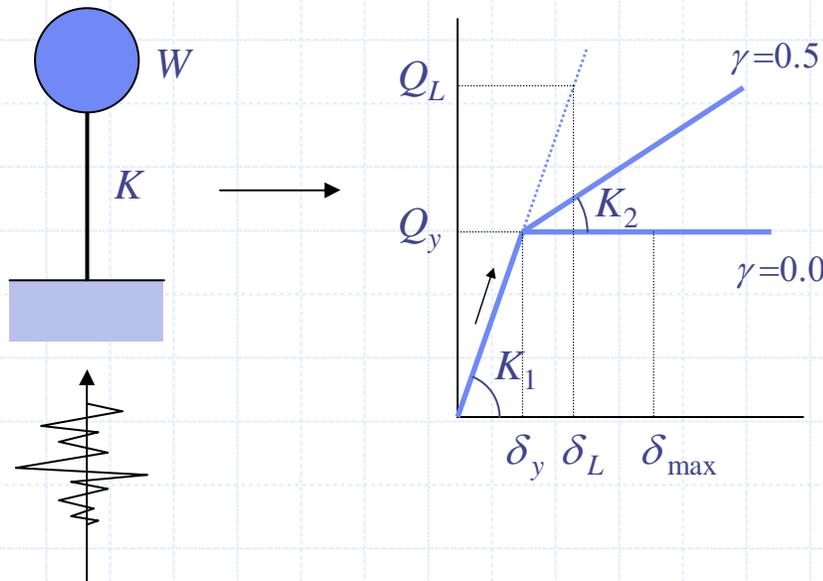
$$\rightarrow 0.2 \times 3 \times 2 = 1.2$$

- 弾塑性応答スペクトル
  - 大半の周期で弾性限必要耐力は1.2以下
  - 塑性率2.0を許容すれば、全周期帯域で1.2以下

# 機器の応答

原子炉建屋基礎の加速度観測波形を用いて、

- 機器の弾塑性応答に与える観測地震波の影響を応答低減率 $D_s$ を用いて確認する。
- 弾性限界にある構造の、それを上回る入力に対する応答の特徴を確認する。



弾塑性1自由度振動系

剛性比:  $\gamma = \frac{K_2}{K_1}$  ( $\gamma = 0.0, 0.5$ )

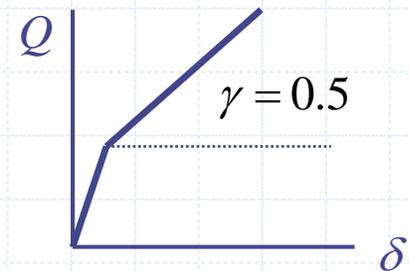
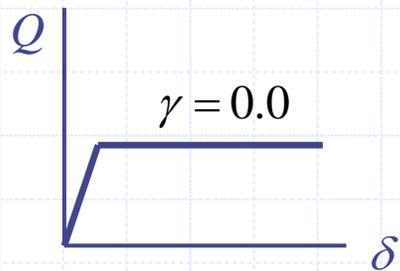
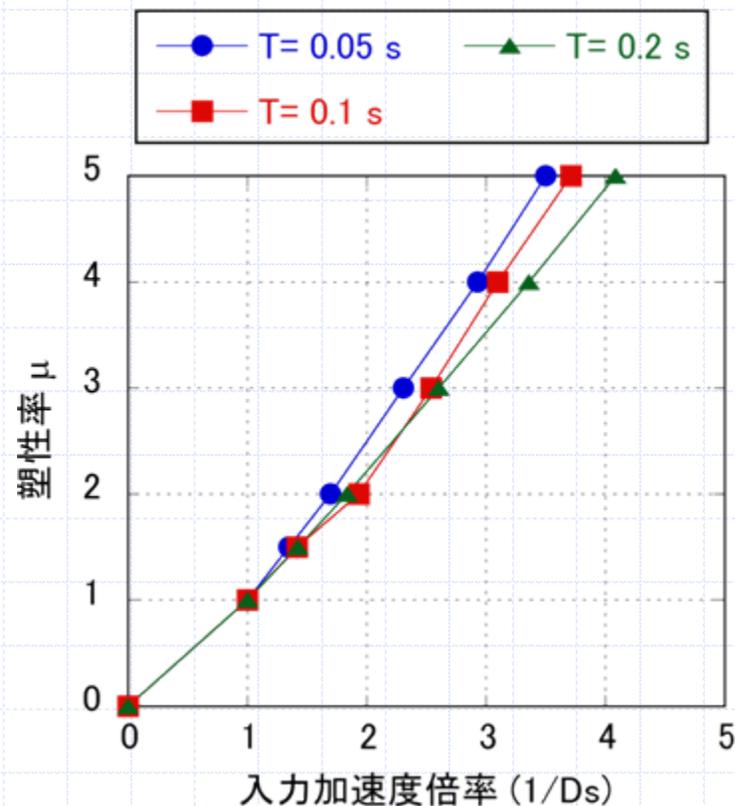
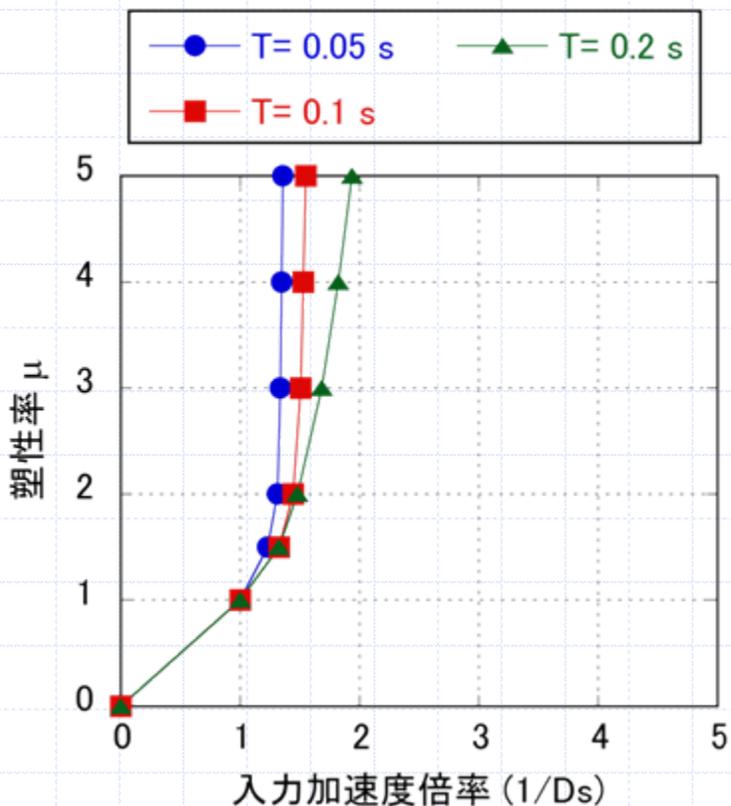
周期:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}}$  ( $T = 0.05, 0.1, 0.2$ )

応答低減係数:  $D_s = \frac{Q_y}{Q_L}$

通常、1.0以下の値  
 $D_s$  が小さいほど、裕度が大きい

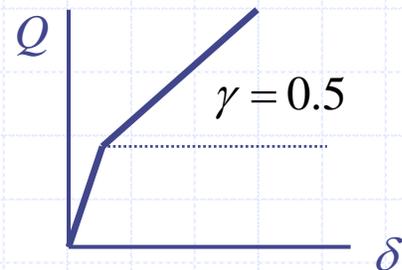
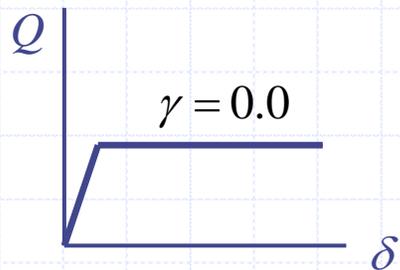
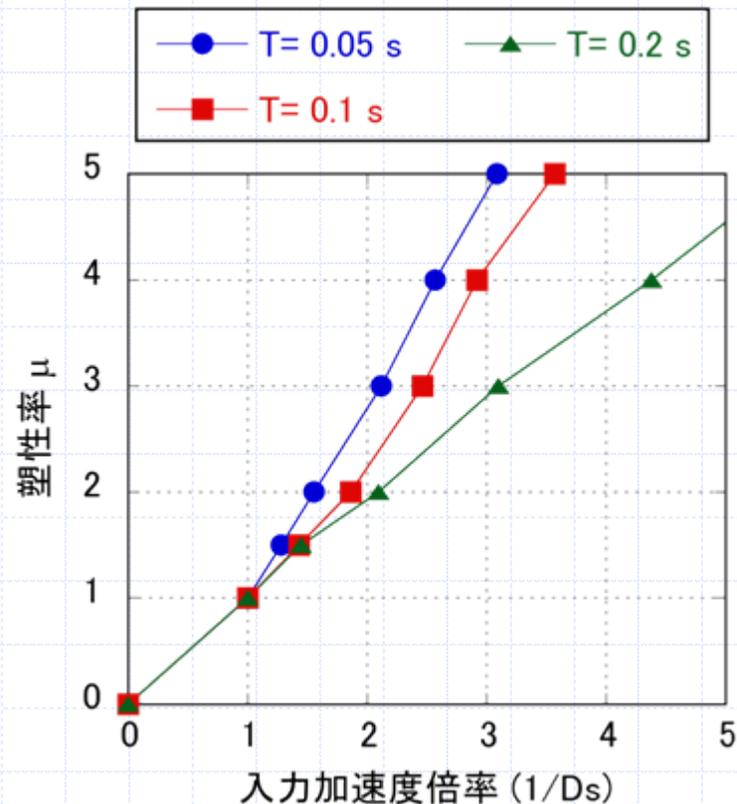
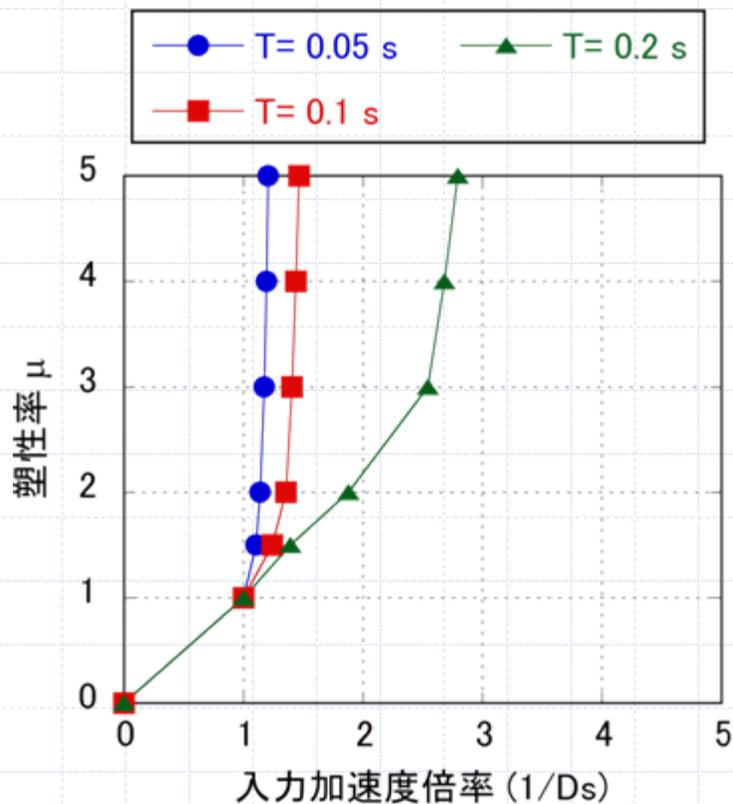
# 弾塑性地震応答挙動(1号機EW方向)

## ■弾塑性領域における入力一変位応答関係

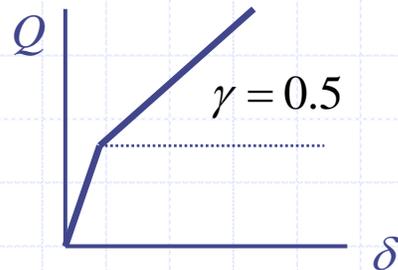
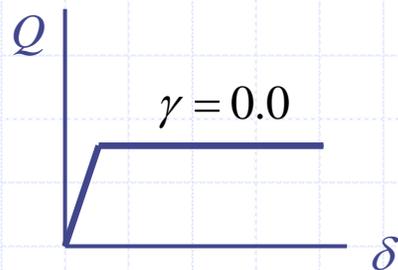
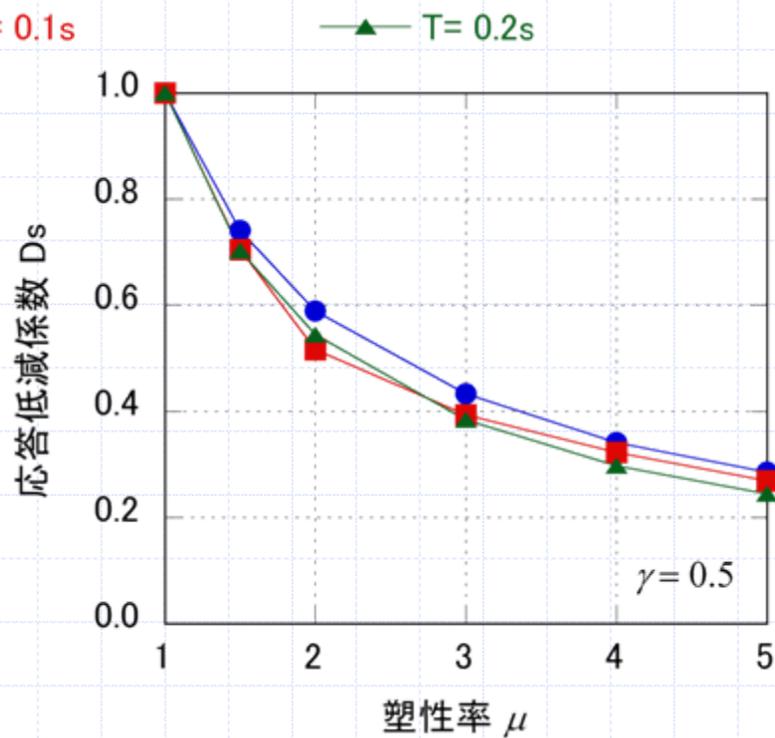
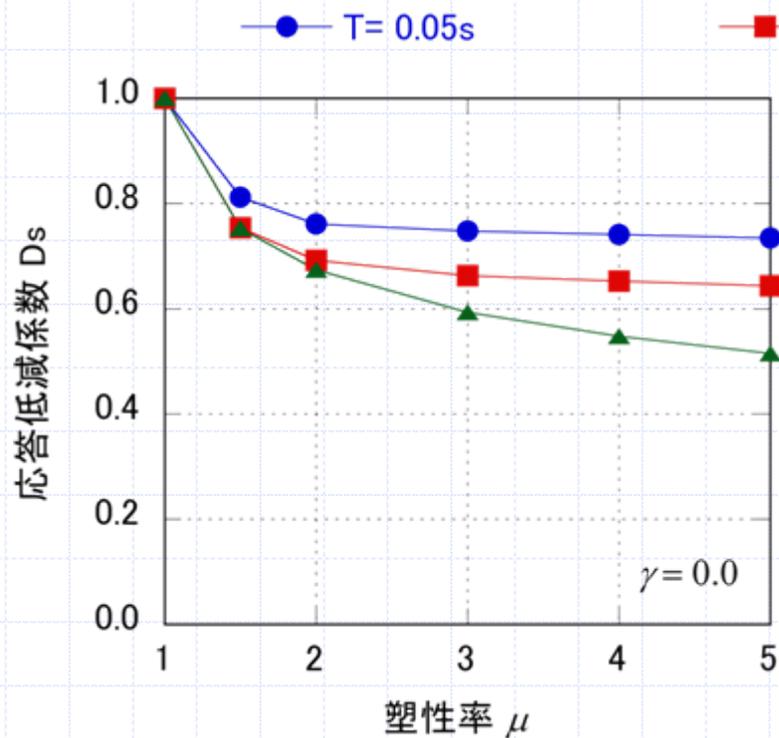


# 弾塑性地震応答挙動(7号機EW方向)

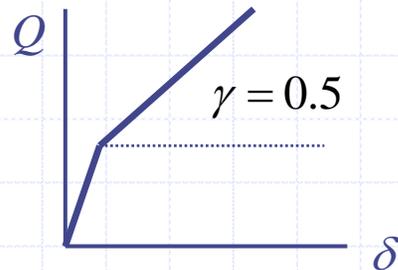
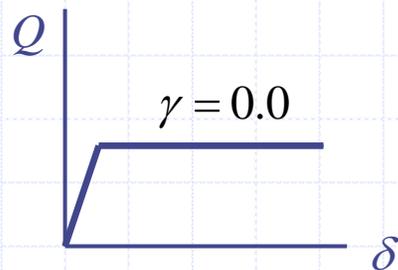
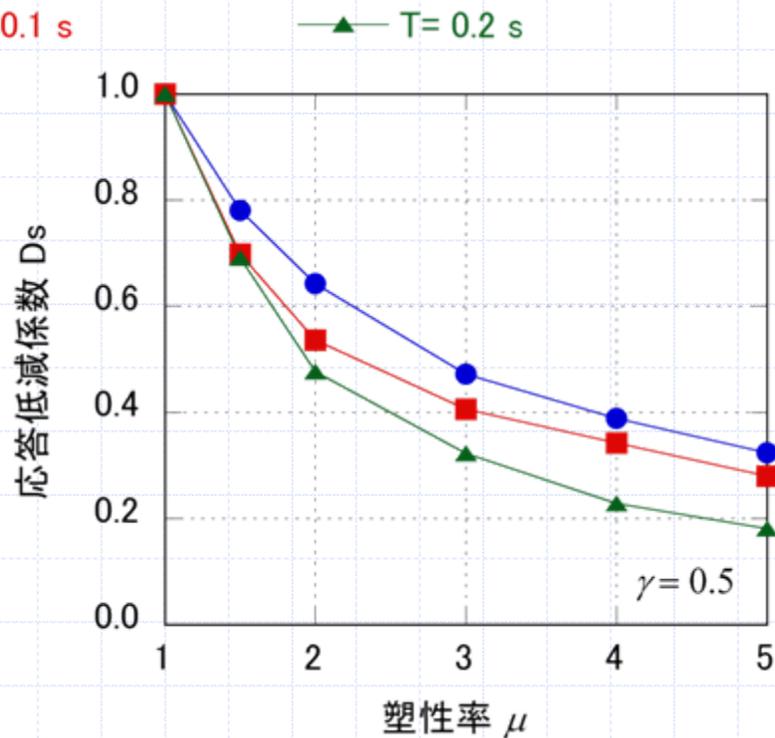
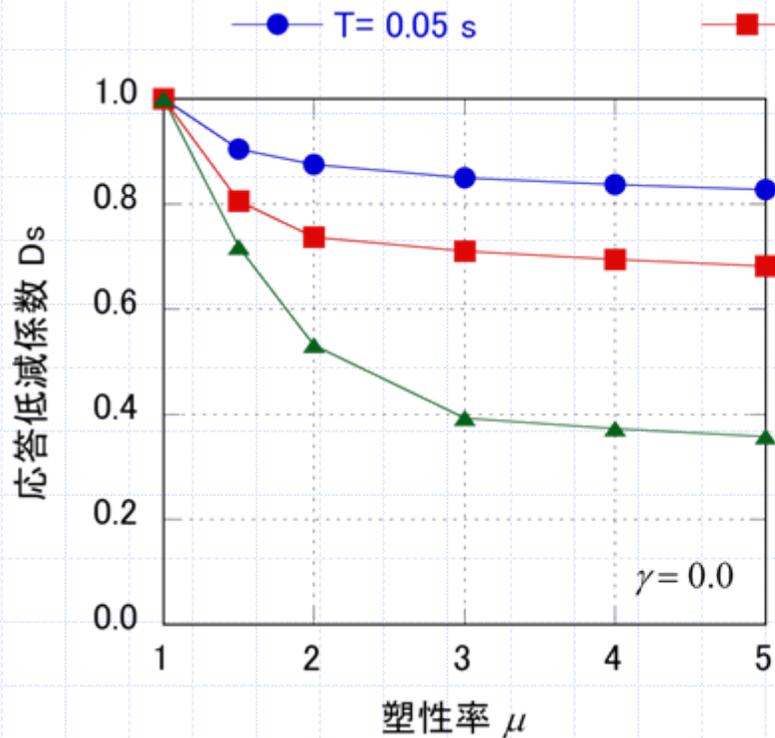
## ■弾塑性領域における入力一変位応答関係



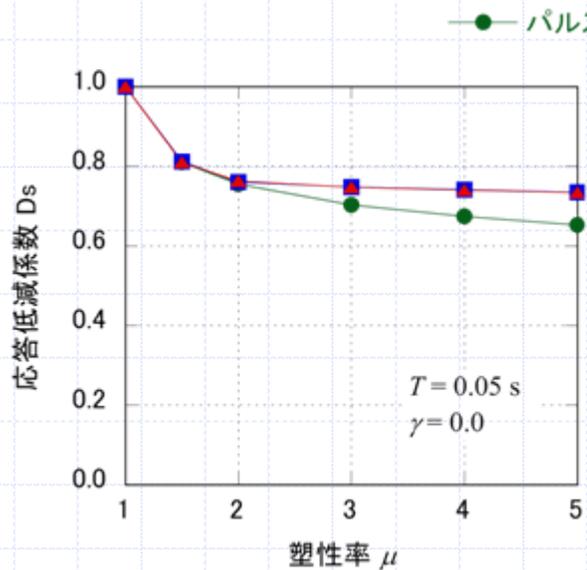
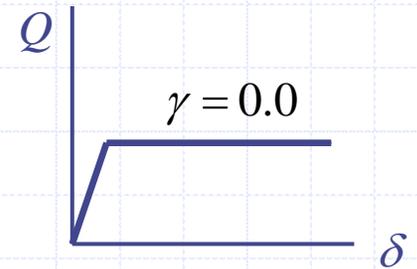
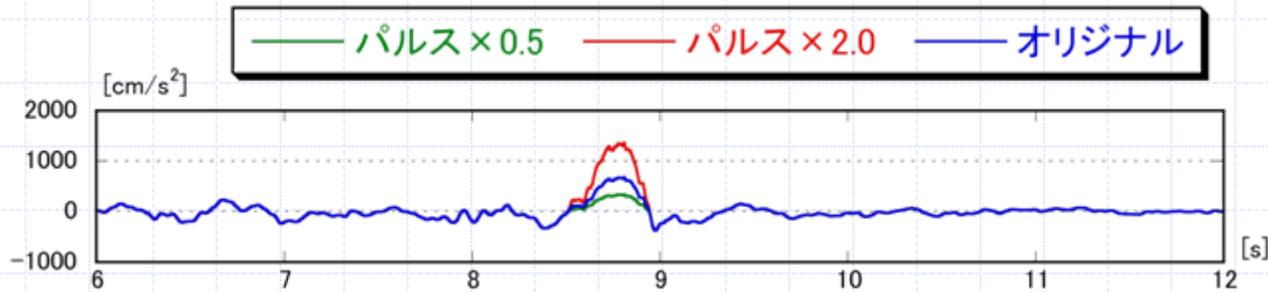
# 応答低減係数: $D_s$ (1号機EW方向観測波)



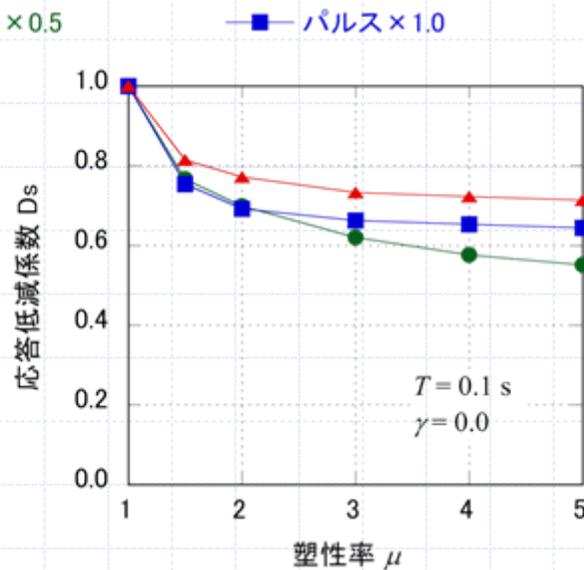
# 応答低減係数: $D_s$ (7号機EW方向観測波)



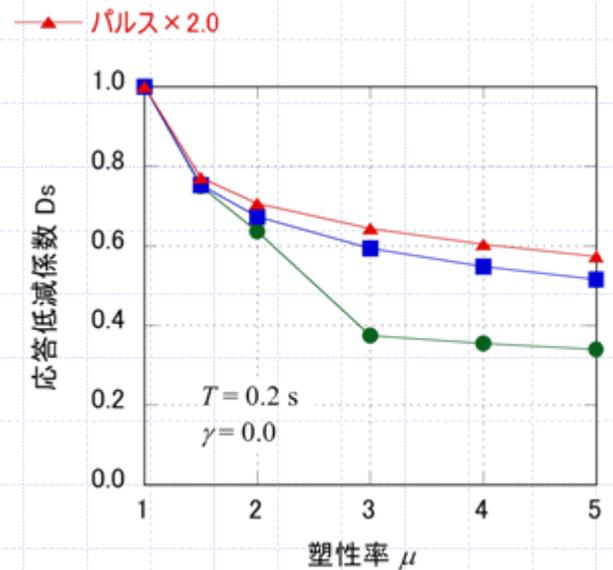
# パルス性入力に対する検討-1



T=0.05 s

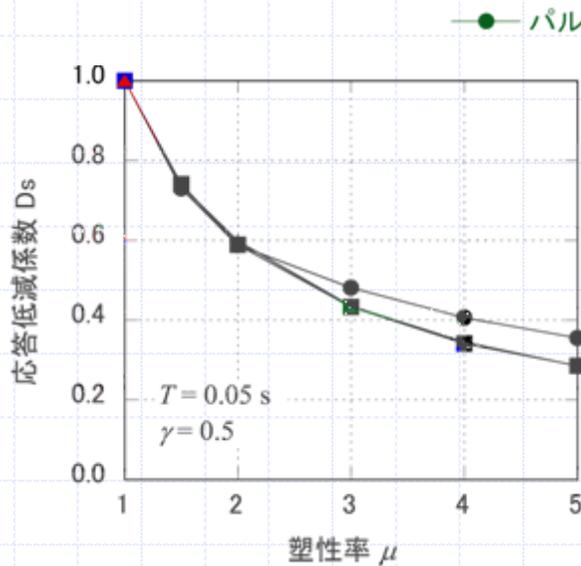
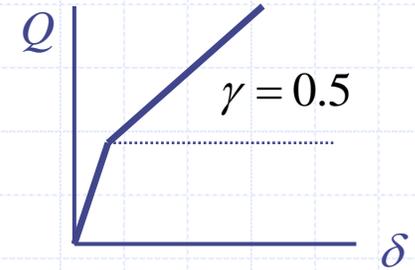
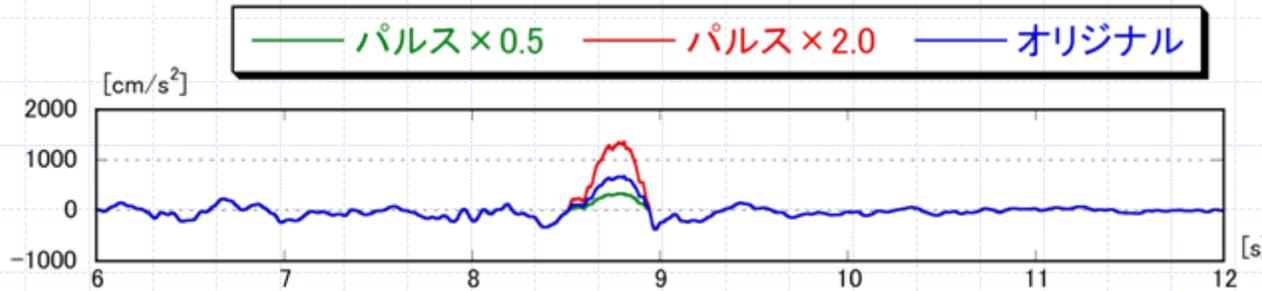


T=0.1 s

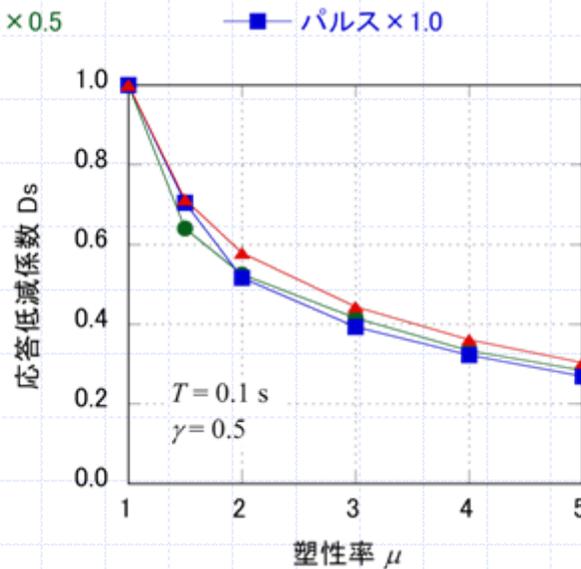


T=0.2 s

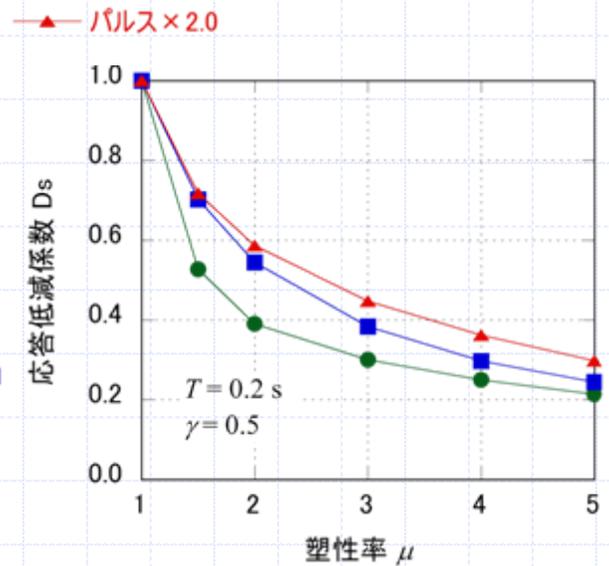
# パルス性入力に対する検討-2



T=0.05 s



T=0.1 s



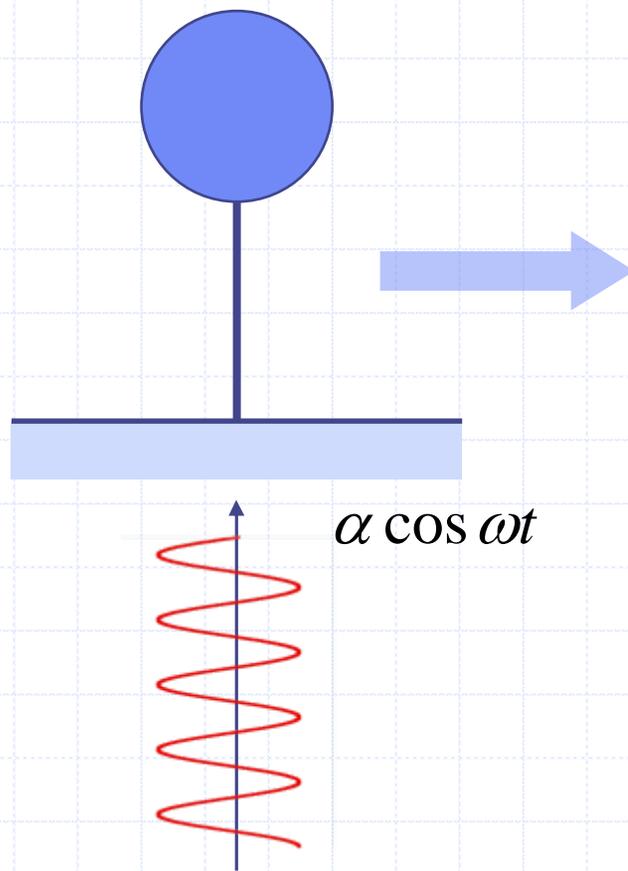
T=0.2 s

# 機器の応答に関するまとめ

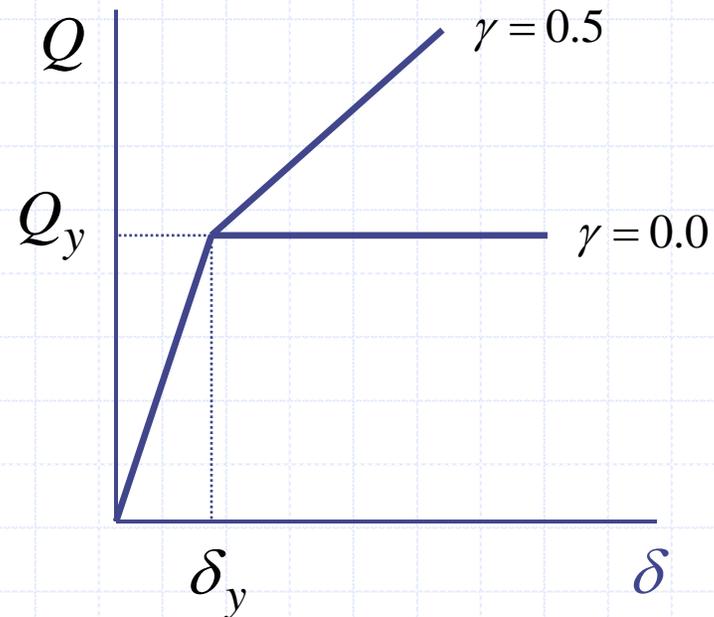
- 1) 弾性領域を超える応答において、固有周期が短周期側の機器の応答変位の増加が大きい。
- 2) パルス性の入力においては、弾塑性エネルギー吸収による応答低減効果が小さい。
- 3) 一般機器のように、弾性限界後の剛性が期待できるものは応答低減効果を見込むことができ、急激な崩壊には至らない。

# 非線形定常振動

- 弾塑性型の復元力特性を有する1自由度系の定常振動応答について考えてみる。



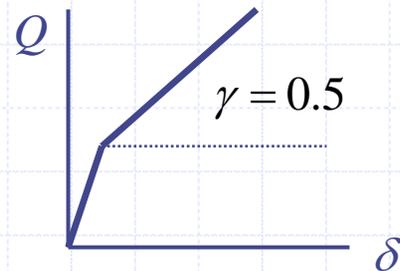
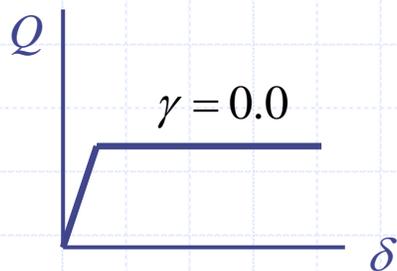
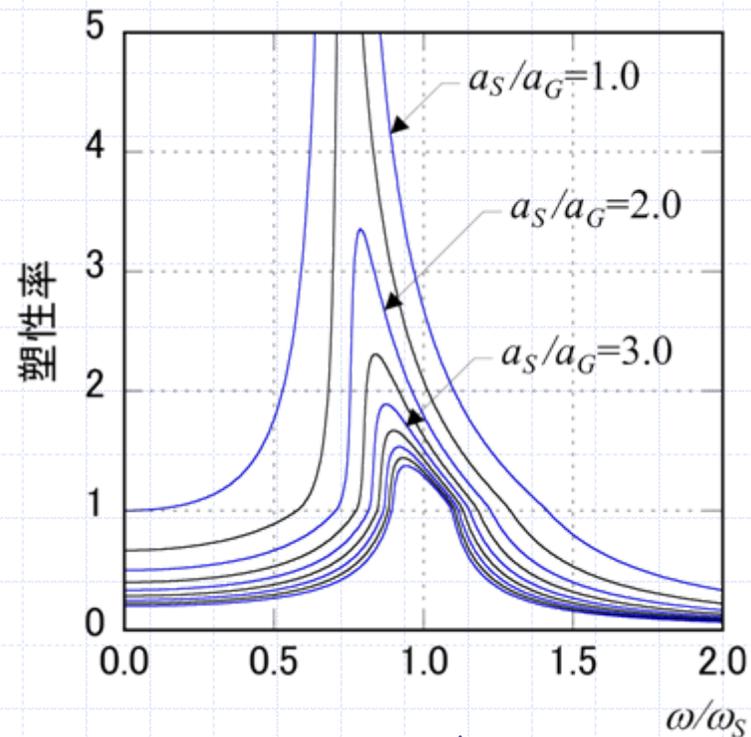
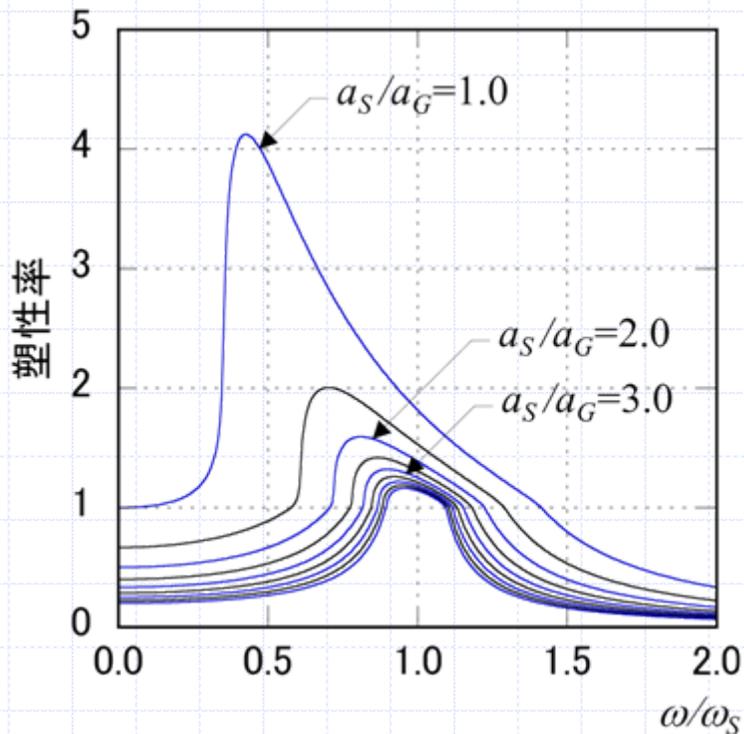
(調和地動)



弾塑性型の復元力特性

# 弾塑性型 1 自由度系の共振曲線

$a_s/a_G = (\text{降伏点加速度} / \text{地動加速度})$



# まとめ

- 柏崎刈羽原子力発電所で観測された地震記録を用いて、建屋に作用した荷重の推定と機器に応答について検討した。
- 弾塑性スペクトルによる分析からは、原子炉建屋には弾性限耐力以内か、あるいはこれを少し超える程度の地震力が作用したと思われる。
- 機器の応答では、弾性限界以降の剛性（降伏後剛性）が、裕度に対して大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。