

# 球形貯槽の ブレース構造の応力解析

# 事業所A



図5-4 364番タンクのブレース破断状況

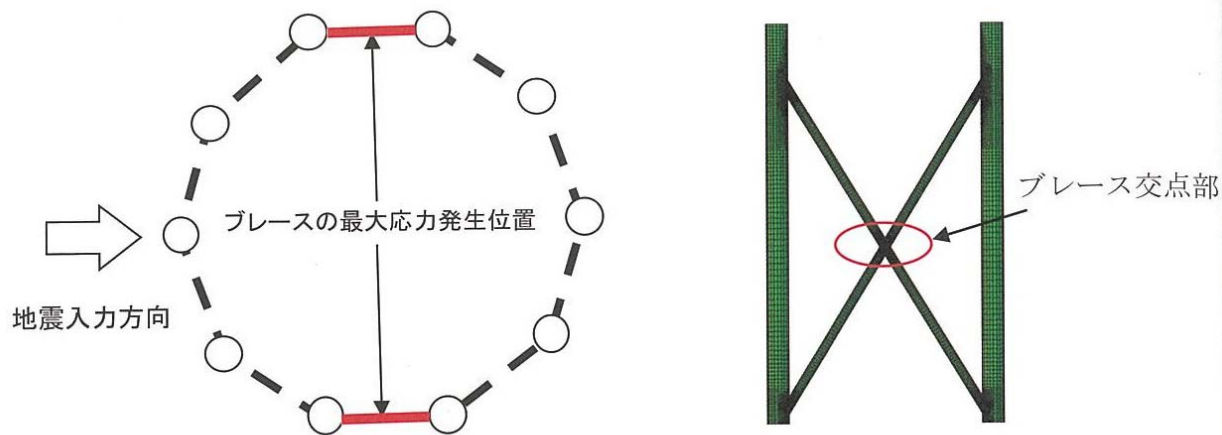


図5-5 ブレースの最大応力発生位置

(事業所A 事故調査報告書より)

- ・14:46の東北地方太平洋沖地震で、水で満液状態であった球形貯槽の複数のブレースが損傷
- ・15:15の茨城県沖地震後に貯槽が倒壊

# 事業所B

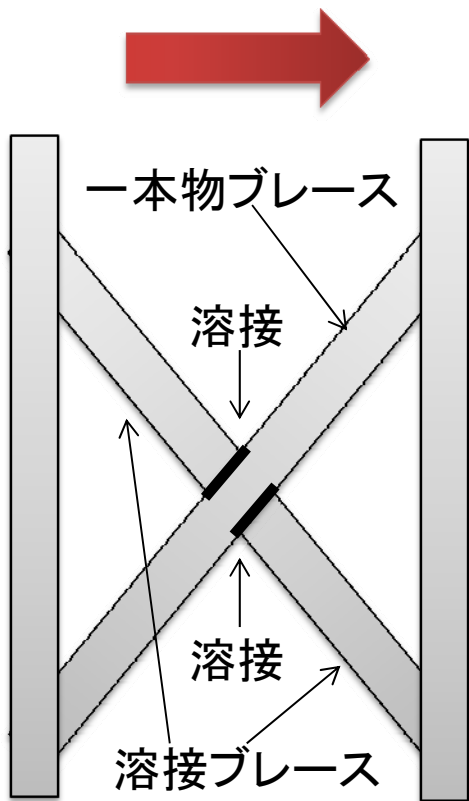


- ・14:46の東北地方太平洋沖地震、15:15の茨城県沖地震後に、2基の球形貯槽において、複数のブレースが損傷しているのが発見された。
- ・1基は水で満液、他の1基は液化ブタンで満液の状態であった。

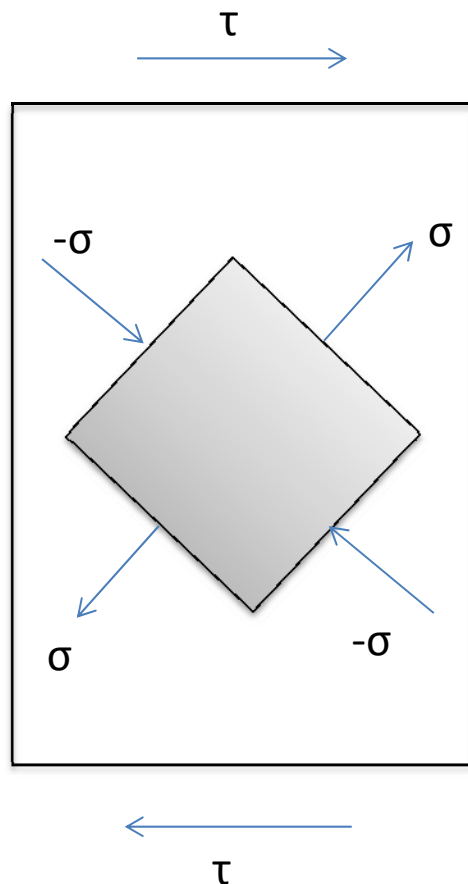
# ブレースの耐震性能評価

- 耐震告示  
ブレース1本のみでの評価
- 2本の交差するブレース接合構造  
耐震告示で評価の明示なし  
応力の多軸性あり

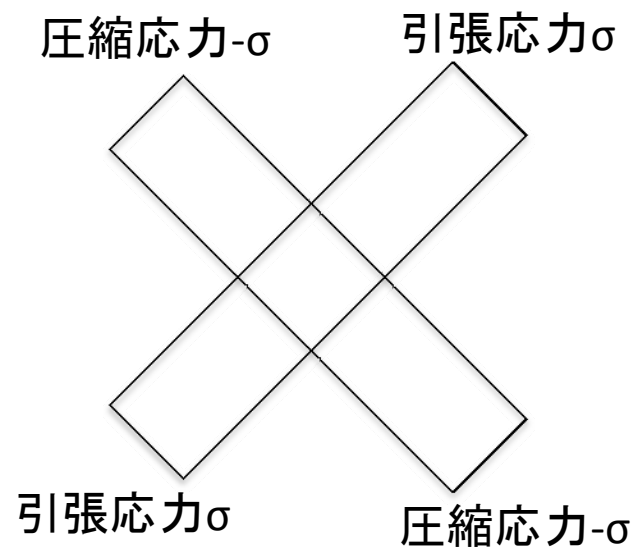
# ブレース構造の負荷応力



交差するブレースの  
接合構造

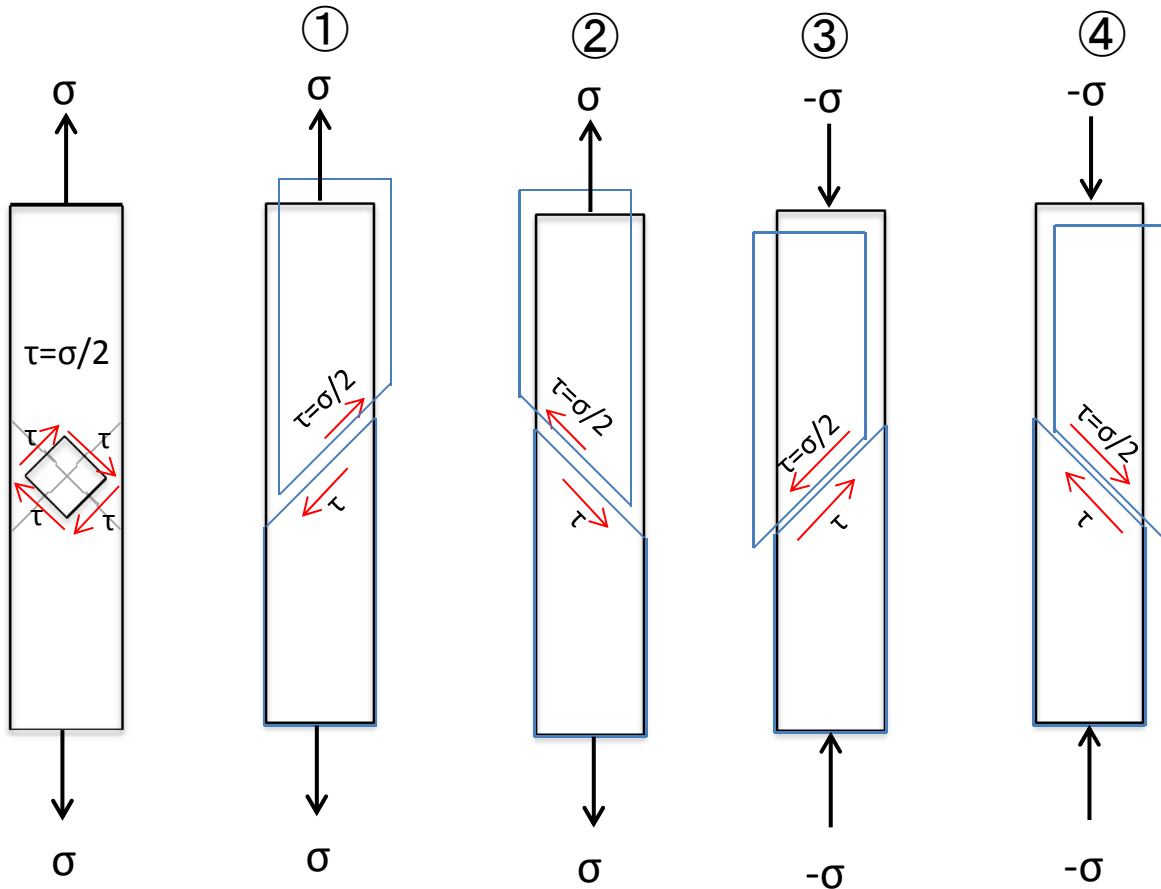


せん断応力と二軸応力



接合構造の負荷応力

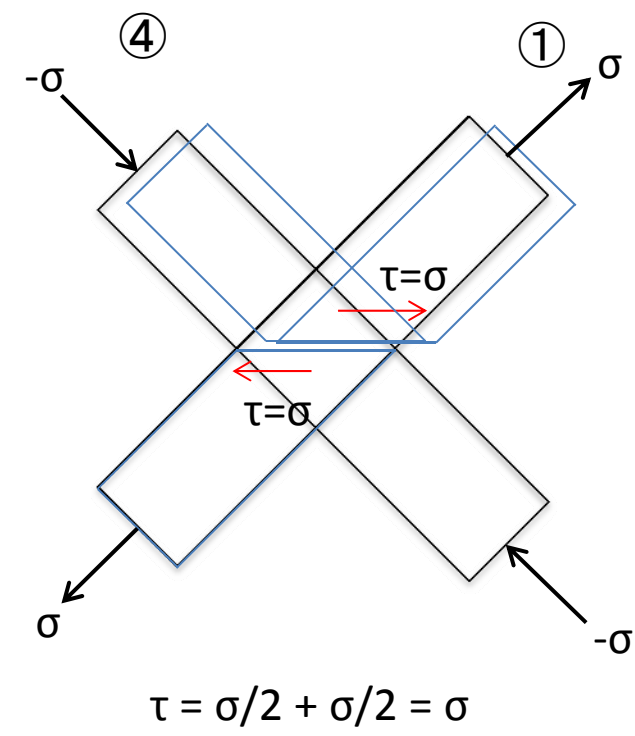
# 塑性変形モデル化(すべり)とせん断応力



すべり面とせん断応力

引張変形

圧縮変形



二軸応力場(せん断応力場)のすべり

# 相当応力

- ・多軸応力の一軸応力への置換え
- ・ミーゼスの相当応力

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}}$$

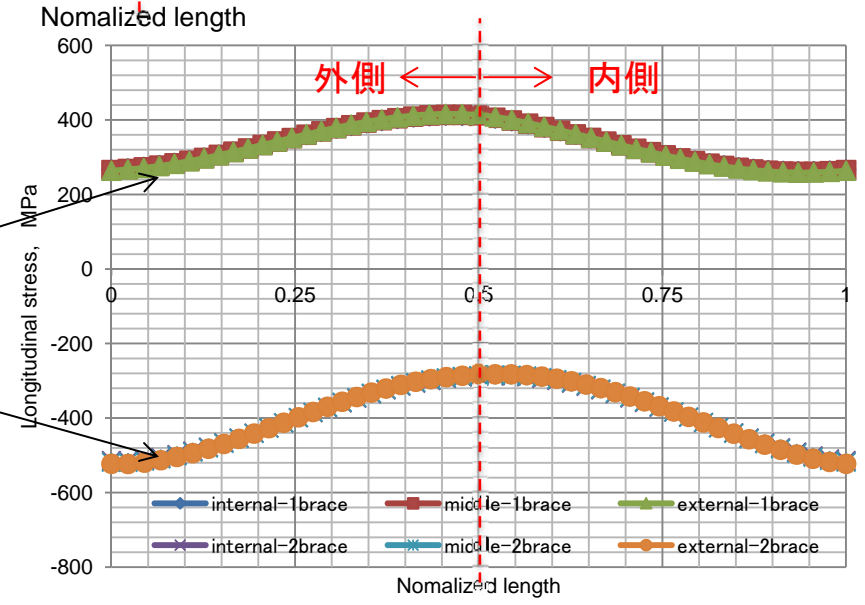
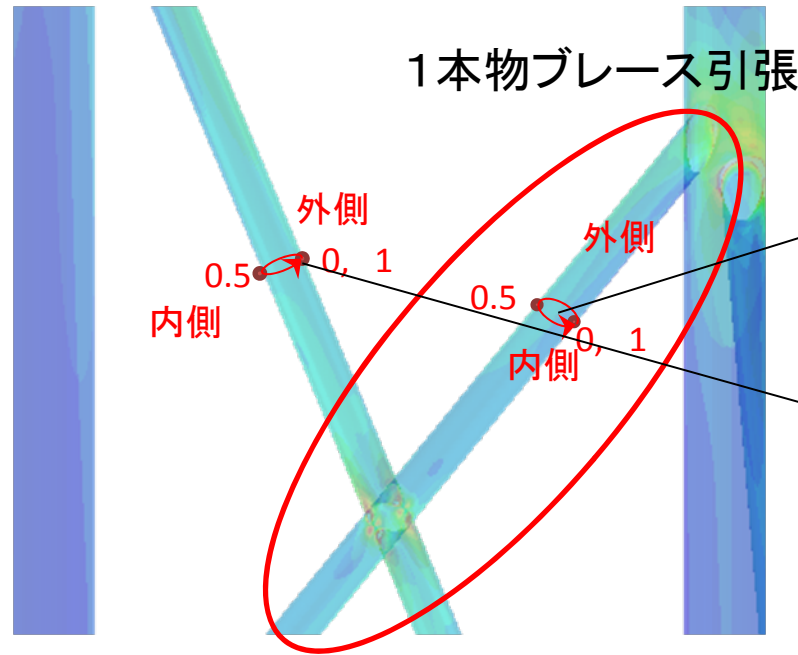
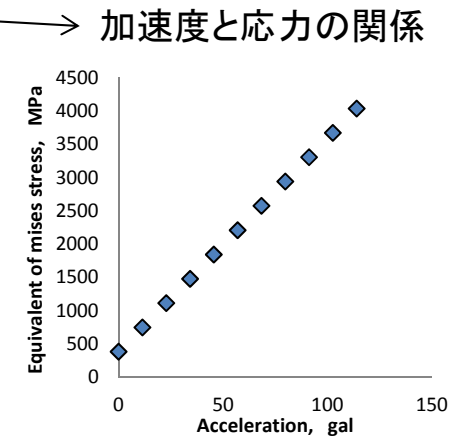
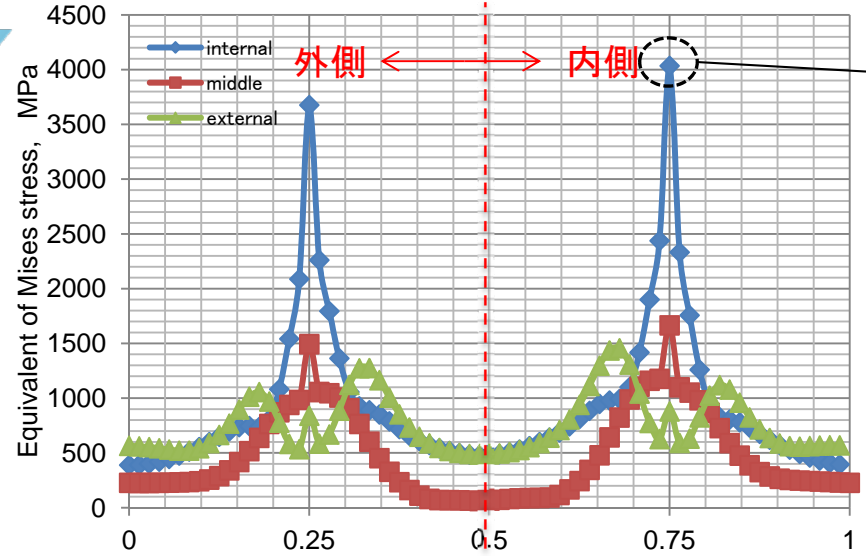
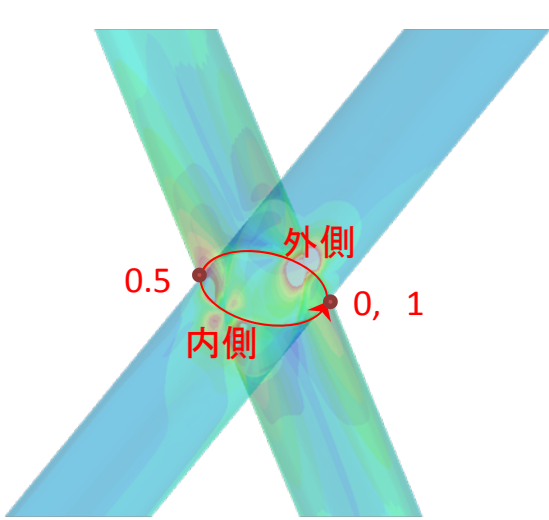
- ・トレスカの相当応力

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - \sigma_3$$

- ・せん断応力場( $\sigma$ 、 $-\sigma$ )の応力差

$$\text{応力差} = \sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma - (-\sigma)) = 2\sigma$$

# FEM解析結果(事業所A)1本物ブレース引張 交差断面応力分布

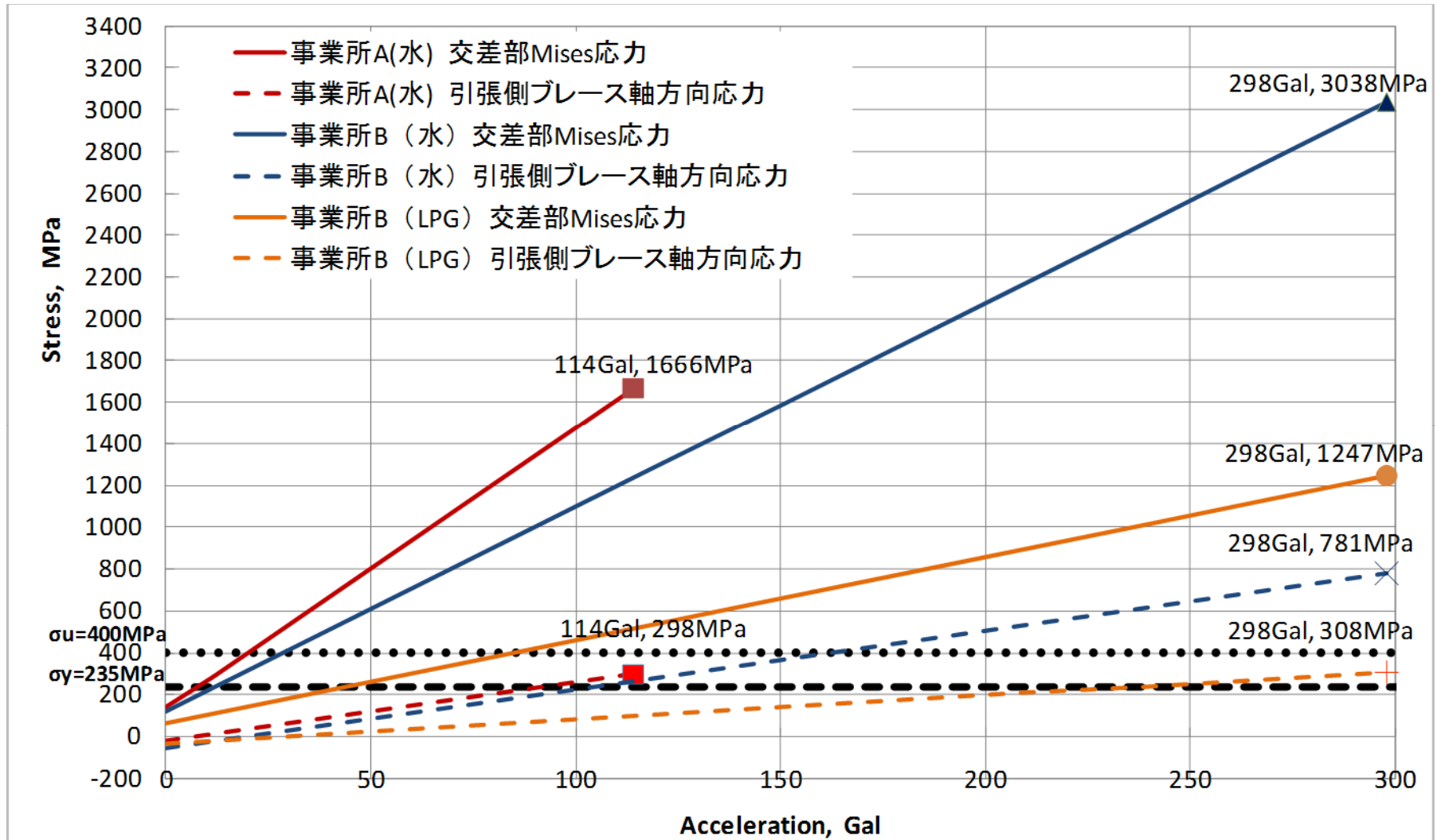




# ブレース破断のメカニズム

- 2本のパイプブレースがX字型に交差する構造  
→耐震告示では、2本のブレースは独立とみなす。
- 実際には、1本物のブレースに交差するブレース(切断した2本)を溶接で取付けた構造  
→2本のブレースは独立ではない。
- 1本物のブレースが引張応力を受ける場合、交差するブレースの圧縮応力が重畳して、交差部分の相当応力(せん断応力)が増大する。
- 地震動で1本物のブレースは容易に引張降伏し、塑性変形する。
- 地震動の繰返し負荷でブレースは引張方向に伸び、絞りを生じ、破断する。
- 同時に、交差するブレースの溶接取付部分が破断する。

# 一本物ブレース引張側のブレース交差断面内側中央の肉厚中央における応力と加速度の関係



# まとめ

- 2本のパイプブレースの交差部分では、2軸応力により、相当応力(せん断応力)が増大し、塑性変形による破断の原因となる。
- 1本物ブレースが引張応力を受ける場合が、交差する溶接取付けブレースが引張応力を受ける場合よりも、相当応力は高くなる。すなわち、1本物ブレースの破断が先行する。
- 現行のブレースの耐震性能の評価に、交差部分の相当応力を考慮する必要がある。