

いま必要とされる耐震設計について
—建築物の荷重を設計する—

2001. 2. 21.

勝どき泉ビル3Fホール

東京大学 大学院新領域創成科学研究科

環境学専攻 教授 神田 順

建築物の荷重を設計する

1. はじめに
2. 耐震設計の現状
3. 地震動と構造安全性の照査
4. 安全性のみえる設計法
5. グローバルな要求安全性
6. おわりに

1. はじめに

⇒ 建築基準法改正

⇒ 規制緩和・国際協調・

自己責任・性能設計

⇒ 兵庫県南部地震

その前に

基準法改正の現実(2000)

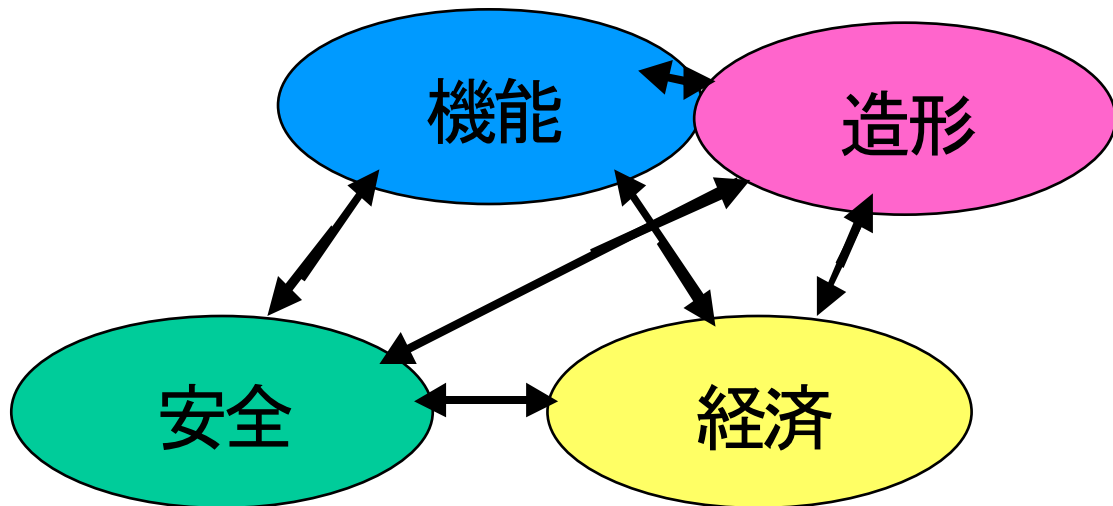


- ★ 規制緩和 → 新検証法？
- ★ 国際協調 → 信頼性指標？
- ★ 自己責任 → 確認申請？
- ★ 性能規定 → 仕様規定？

1. はじめに

性能設計

要求される耐震性



ウイトルヴィウスの強用美

2. 耐震設計の現状

許容応力度設計 + 保有耐力設計

$C_0 = 0.2$ $C_0 = 1.0$

地域係数 (0.7), 0.8, 0.9, 1.0

地盤種別 1種、2種、3種

過去の経験から将来へ

⇒ 耐力の向上。

地震被害でわかったこと。

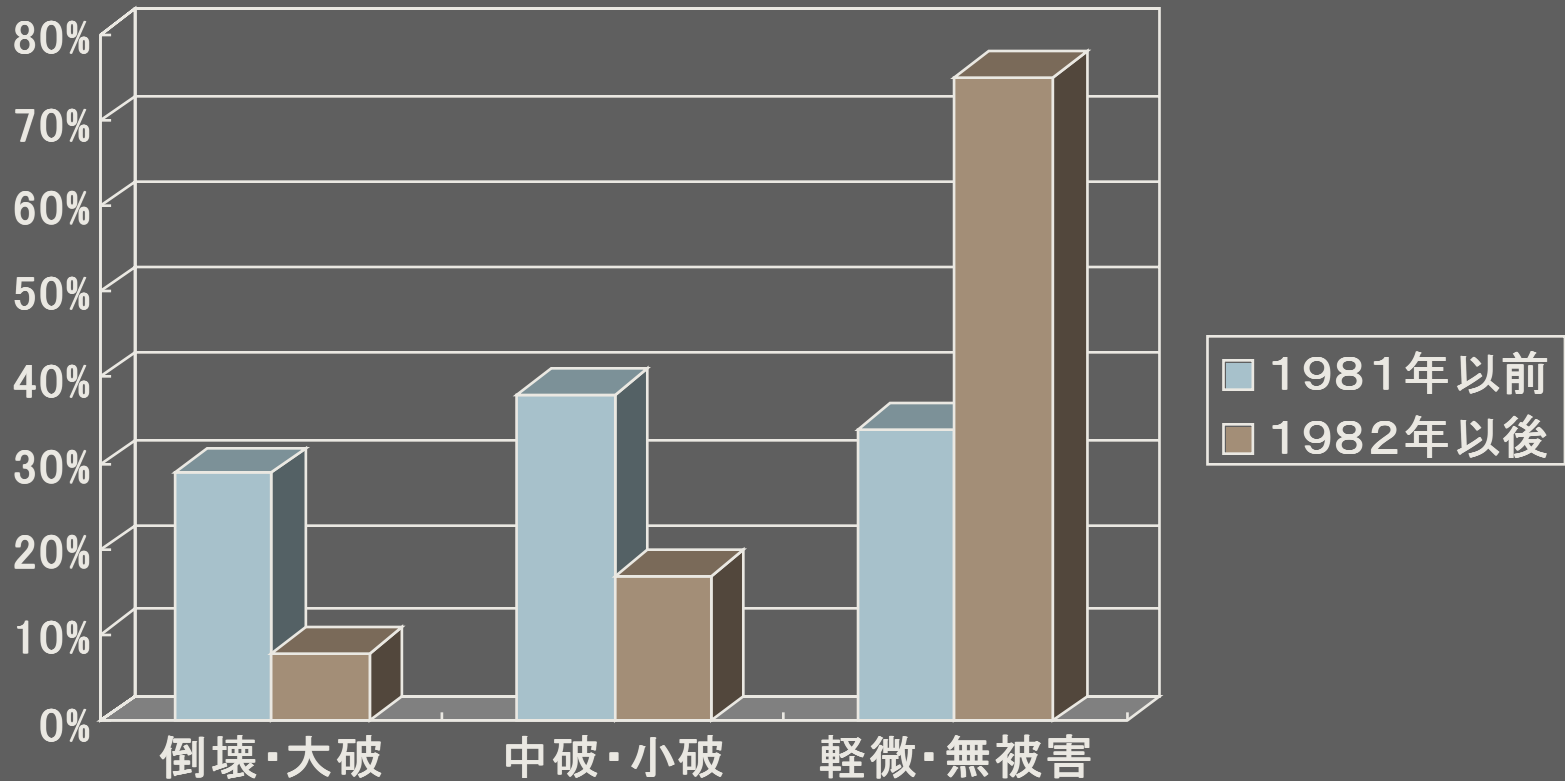
すべて同じ要求？

⇒ 荷重を考える。

過去の最大をどう読むか。

兵庫県南部地震の位置付け？

兵庫県南部地震被害率分布



地盤による入力の違いの大きさ



Fig.6 Distribution of maximum acceleration for macro-analysis based on Sato's results ¹²⁾

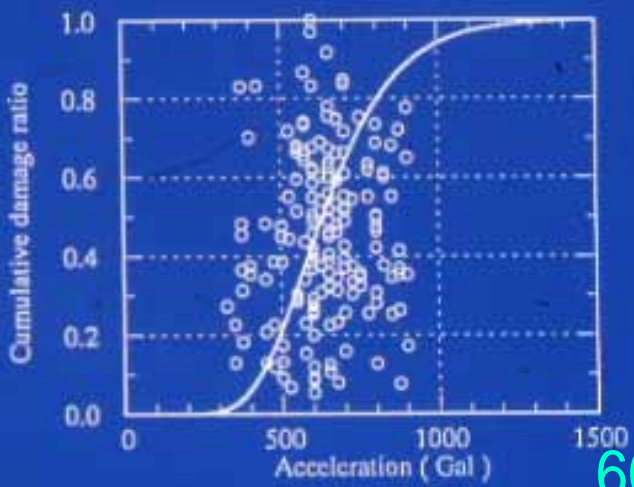
地震動強さに応じた被害分布



Fig.7 Distribution of severe damaged and collapsed buildings ratio based on the BRI report ¹⁾

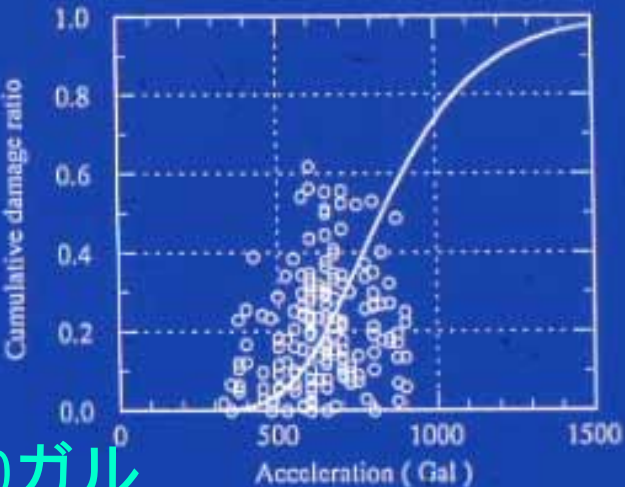
小破

中破



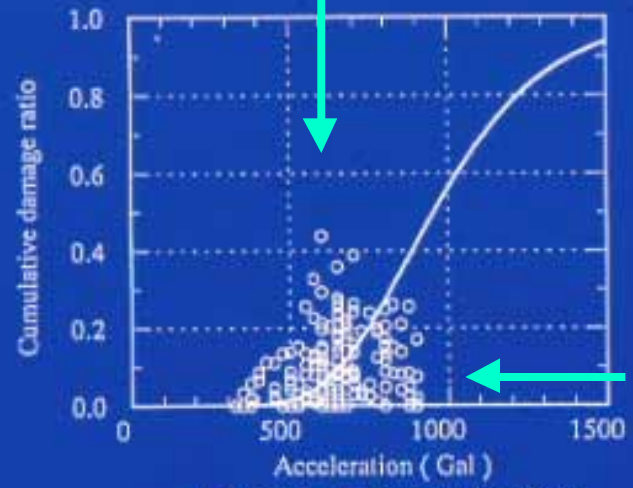
(a) Minor damage or more

600ガル



(b) Moderate damage or more

大破・倒壊



(c) Severe damage and collapse

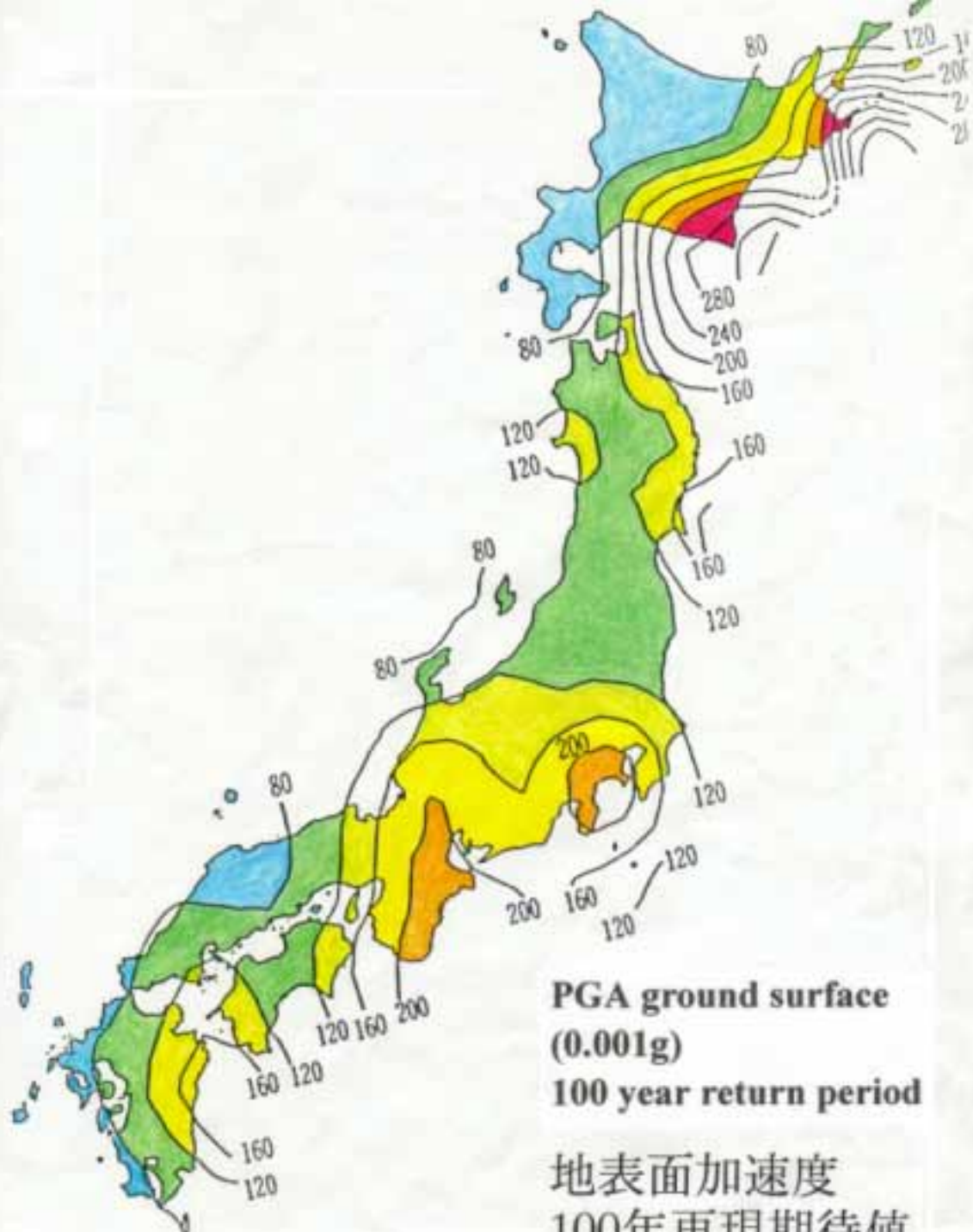
5%

被害率vs加速度(新耐震以前を含む)

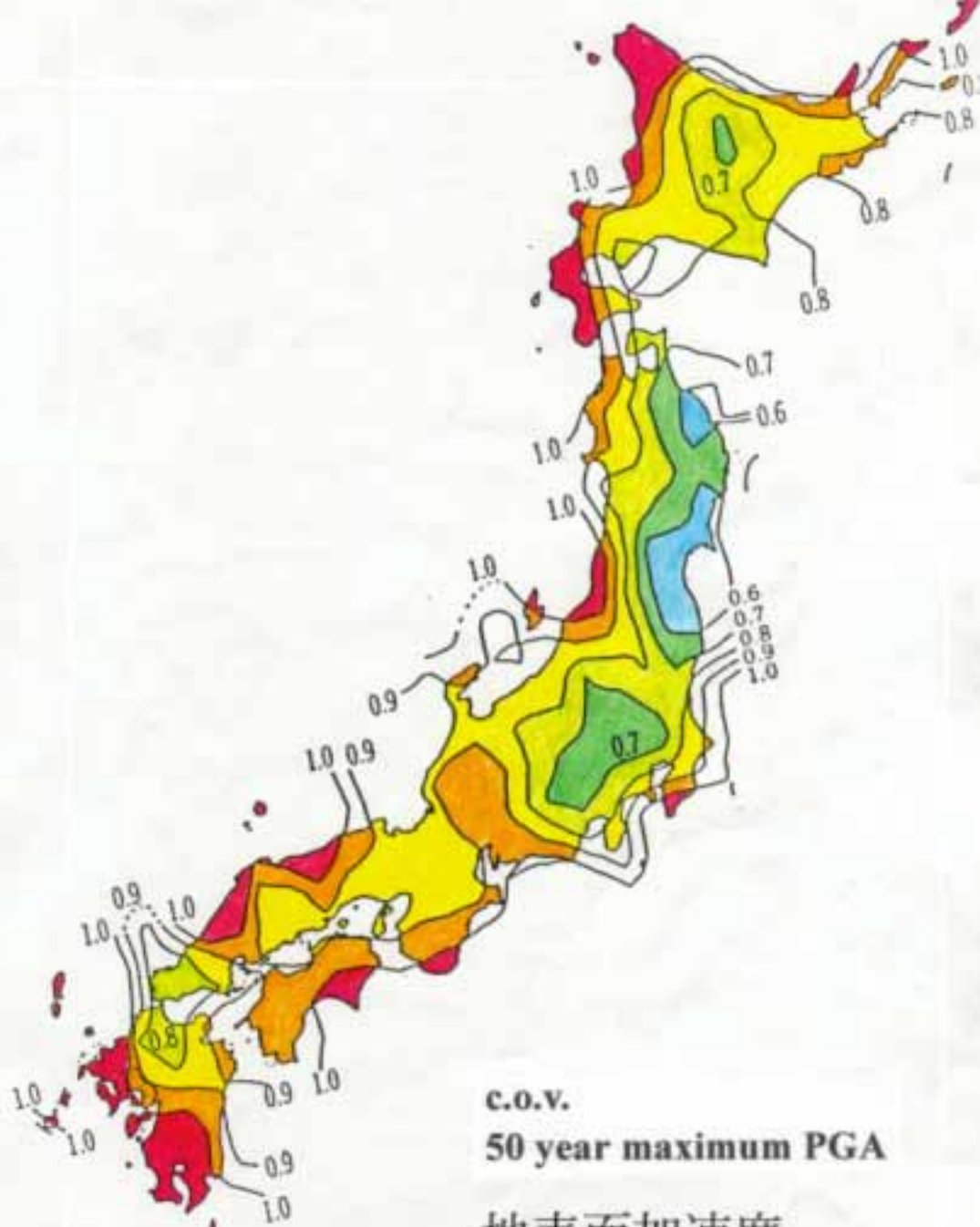
2. 耐震設計の現状

建築基準法を守れば安全か？

3. 地震動と構造安全性の照査

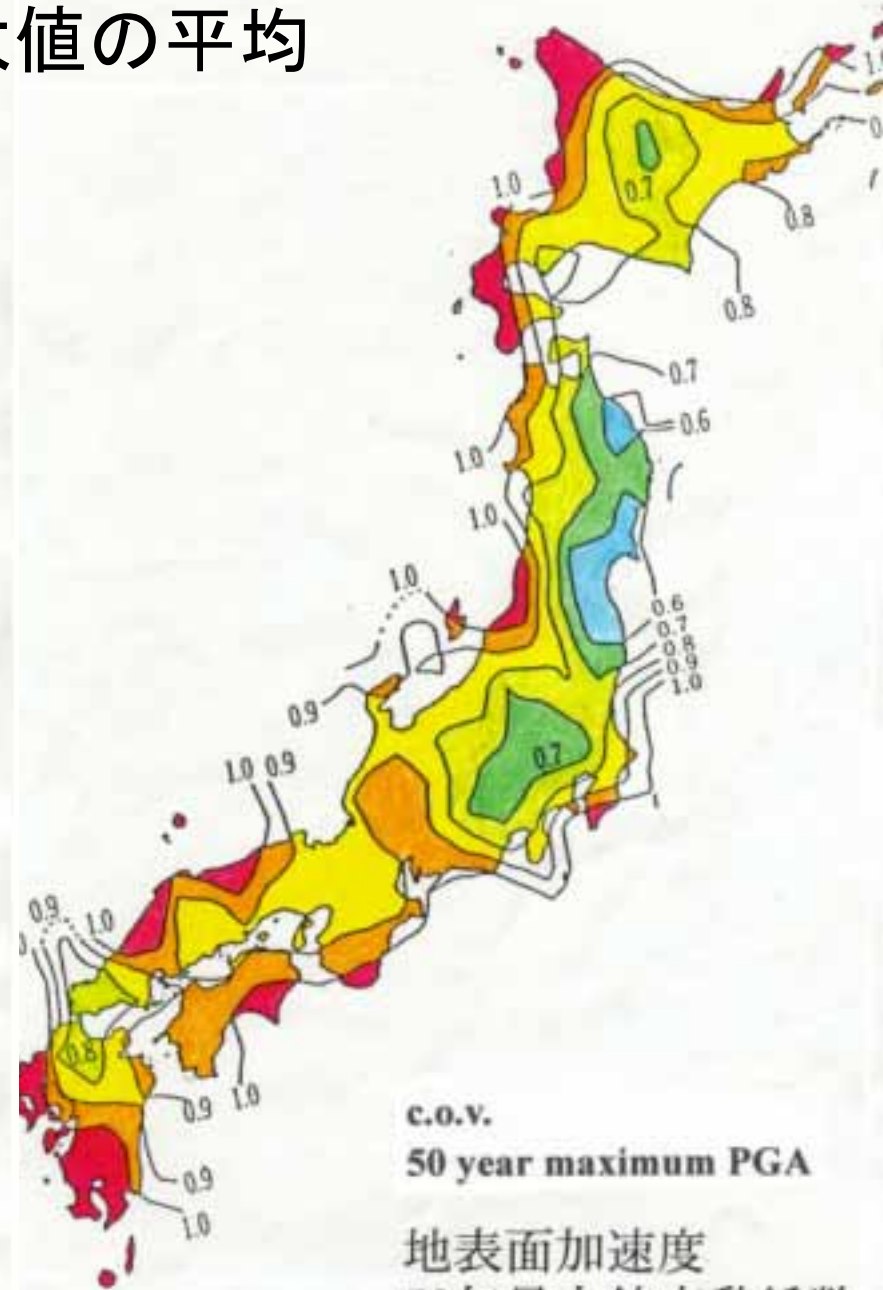
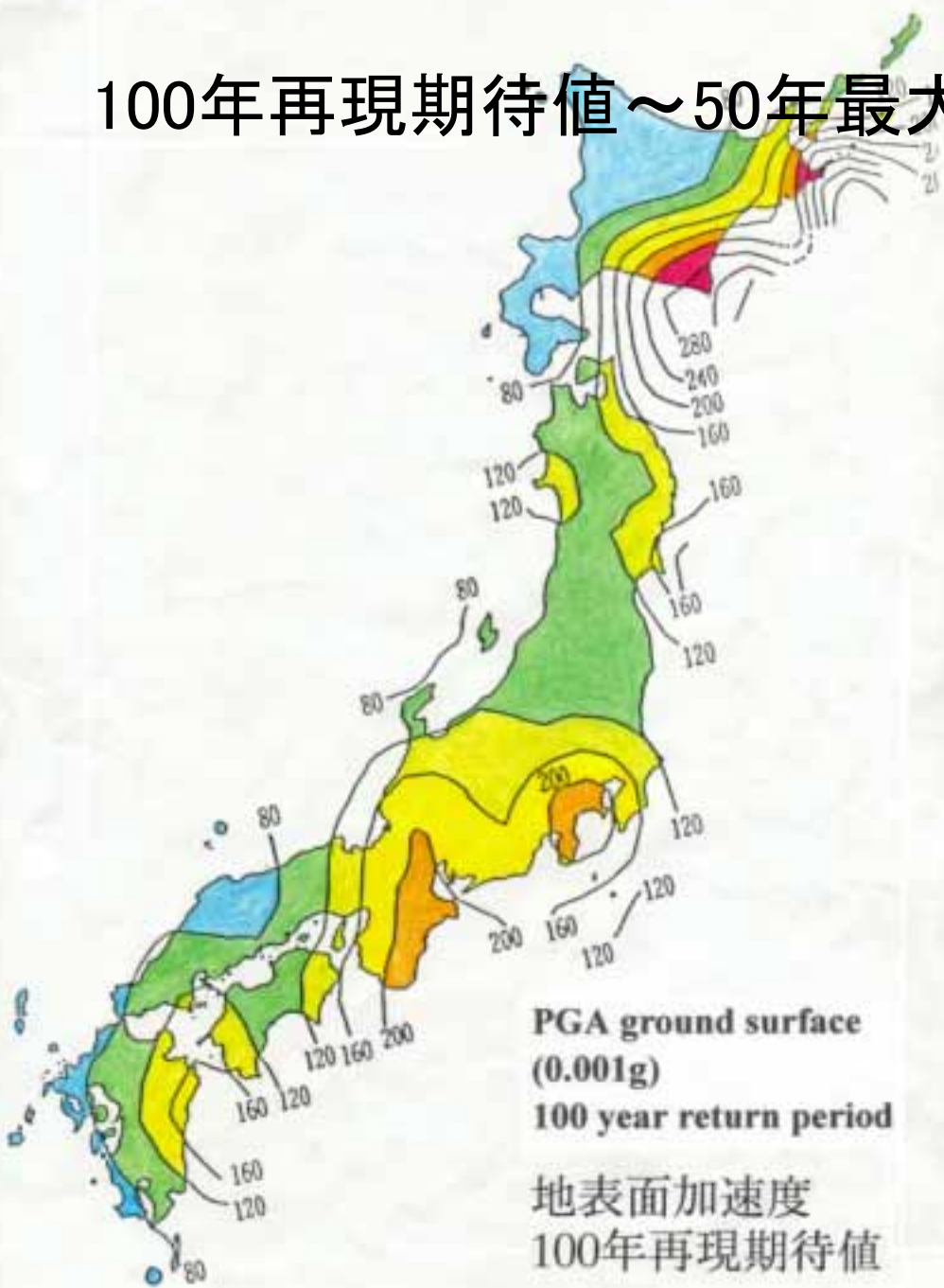


3. 地震動と構造安全性の照査



地表面加速度
50年最大値変動係数

100年再現期待値～50年最大値の平均



3. 地震動と構造安全性の照査

$$Q_D < R_D$$

設計荷重効果 < 設計耐力

3. 地震動と構造安全性の照査

地震動の評価すべき項目

⇒ 地震の起こりやすさ

(ハザード評価)

⇒ 地盤特性

⇒ 弾塑性応答

4. 安全性のみえる設計法

限界状態設計法への招待

4. 安全性のみえる設計法

破壊確率

or

信頼性指標, β

$$P_F = \Phi(-\beta)$$

4. 安全性のみえる設計法

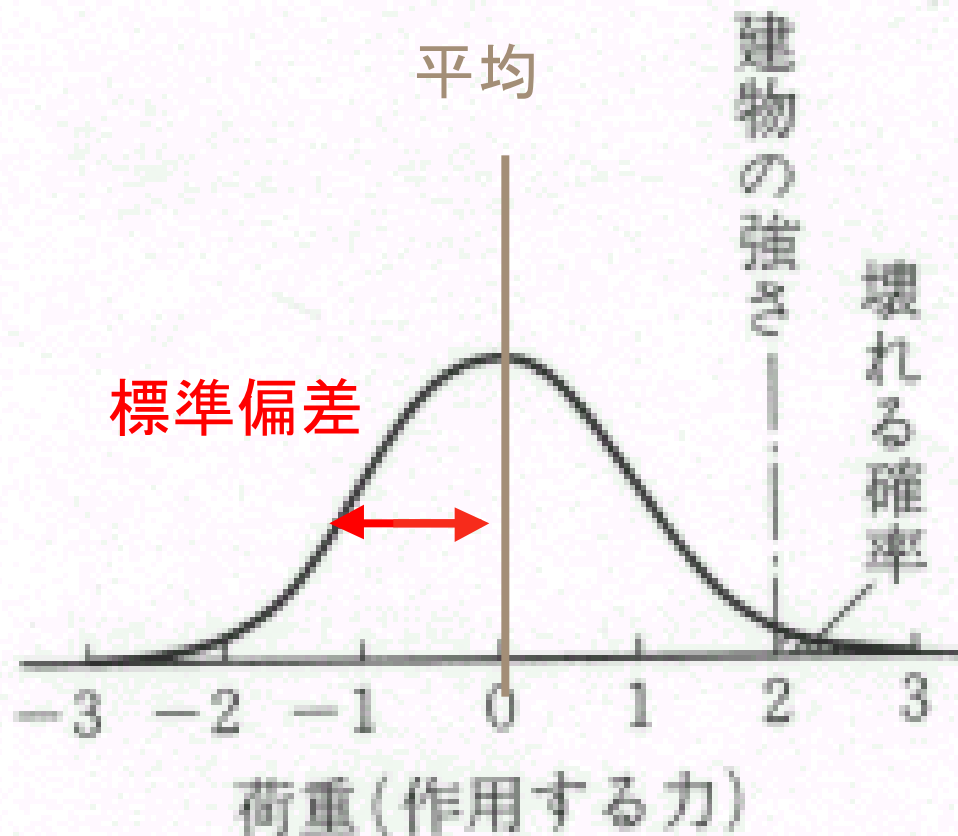


図8 荷重と壊れる確率

4. 安全性のみえる設計法

限界状態関数

$$g = R - Q$$

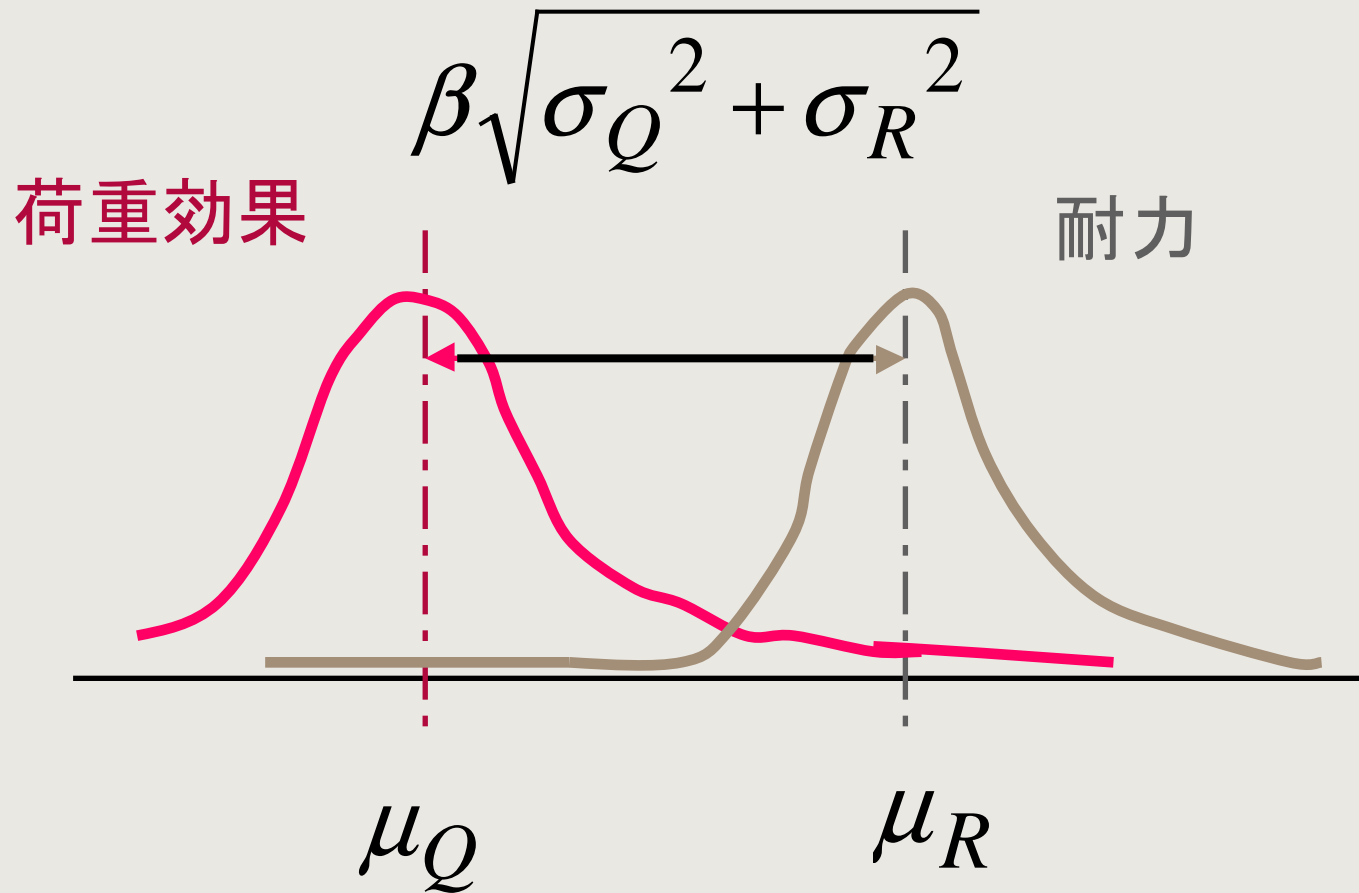
破壊確率

$$P_f = \Pr[g < 0] = \Pr[R \leq Q]$$

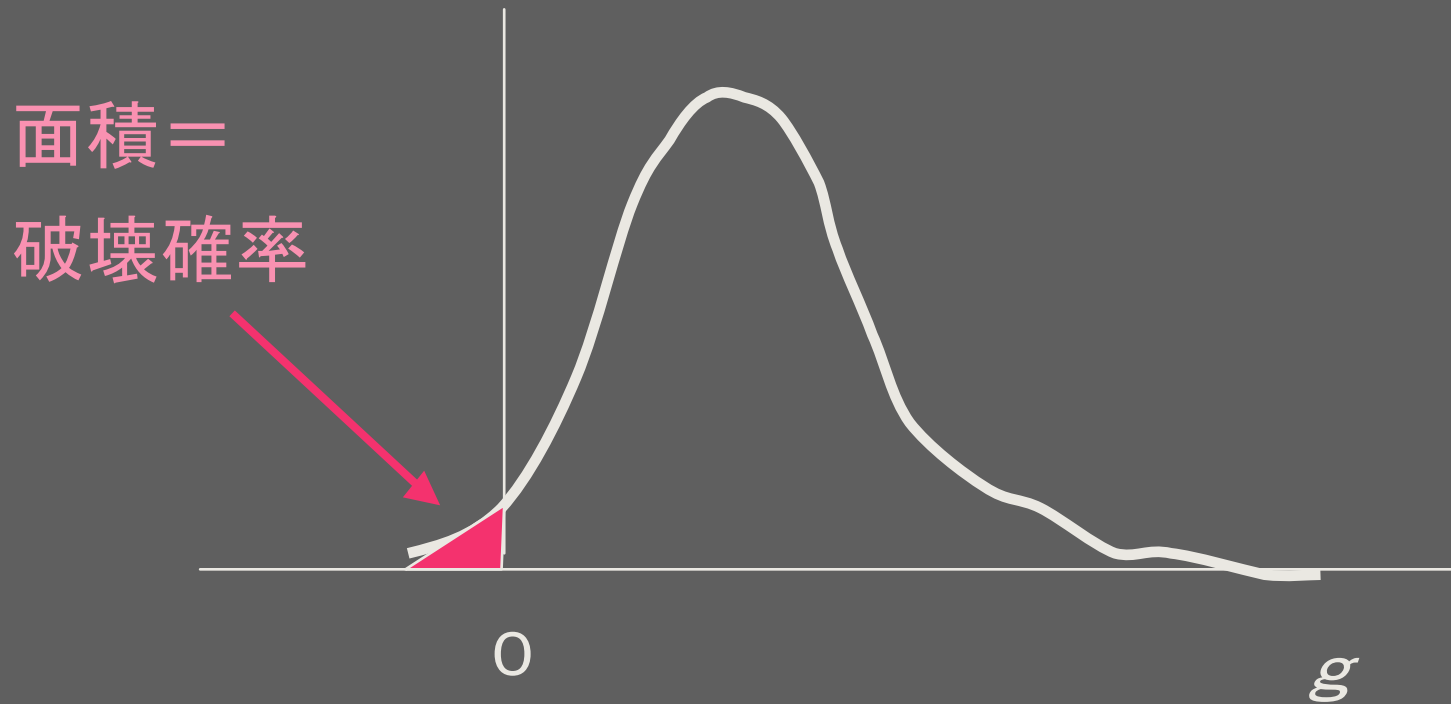
信頼性指標

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}}$$

4. 安全性のみえる設計法



4. 安全性のみえる設計法



$$P_f = \int_{-\infty}^0 f(g) dg = \int_{-\infty}^{\frac{\mu_g}{\sigma_g}} \phi(s) ds = \Phi\left(-\frac{\mu_g}{\sigma_g}\right)$$



図6 10 マルク札のガウス

$$s = \frac{g - \mu_g}{\sigma_g}$$

標準化変数

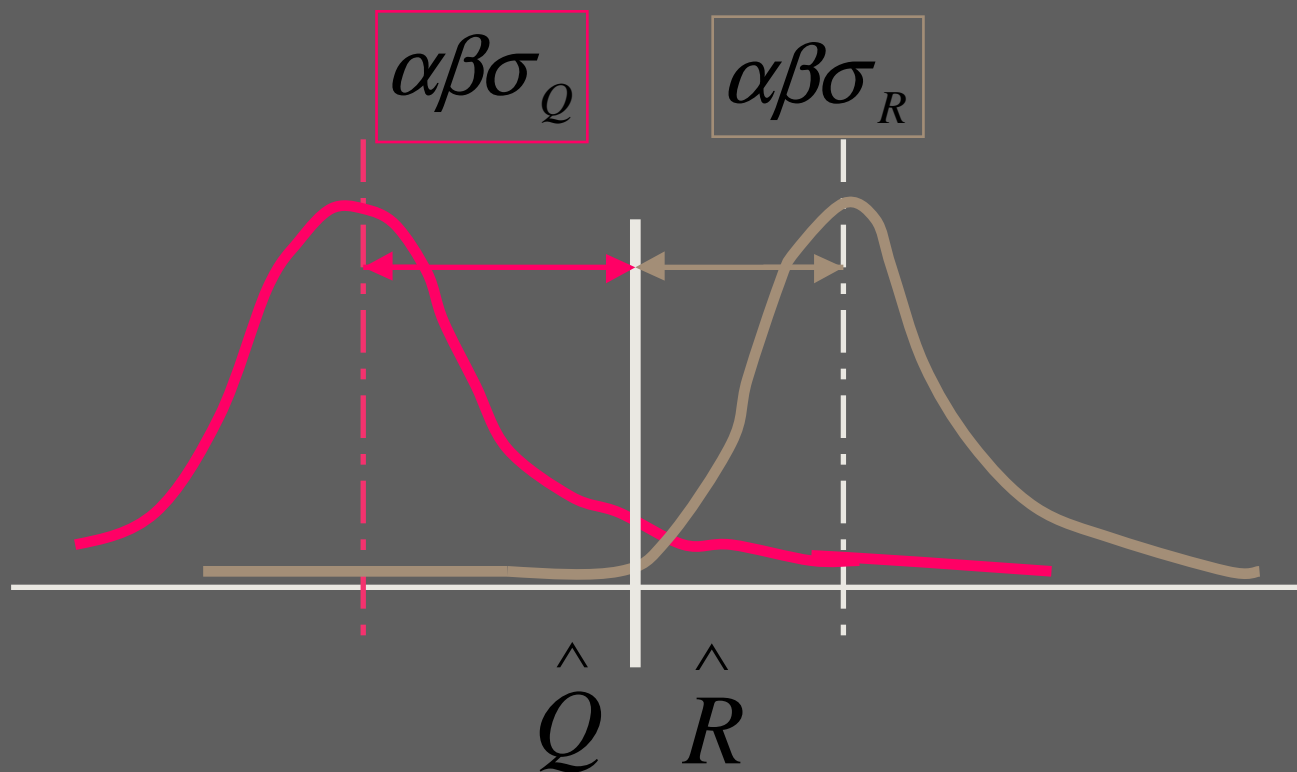
$$g = \sigma_g s + \mu_g$$

4. 安全性のみえる設計法

$$\beta\sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_R^2} = \alpha_Q\beta\sigma_Q + \alpha_R\beta\sigma_R$$

分離係数 α の導入

4. 安全性のみえる設計法

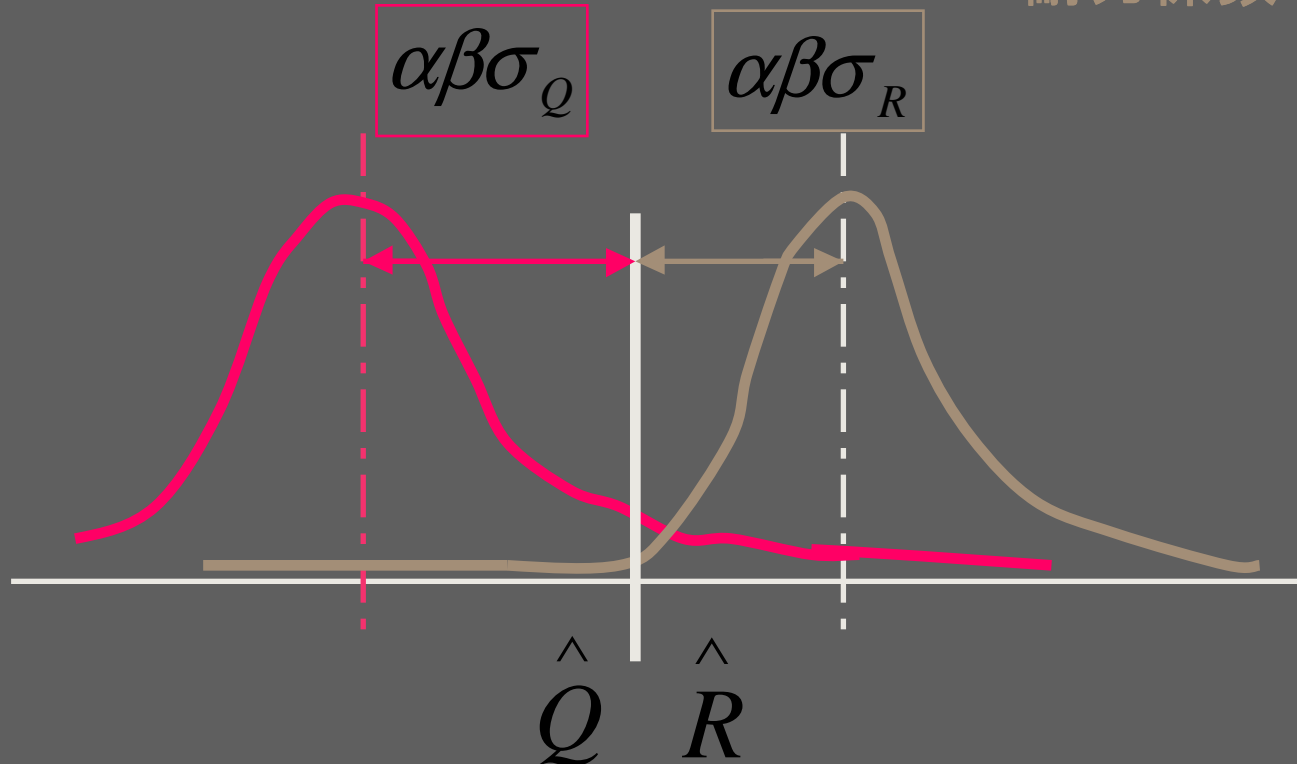


4. 安全性のみえる設計法

$$(1 + \alpha_Q \beta V_Q) \mu_Q = (1 - \alpha_R \beta V_R) \mu_R$$

荷重係数

耐力係数



4. 安全性のみえる設計法

荷重係数の例

β	荷重係数	設計地動加速度
1	1.67	0.334 G
2	2.77	0.554 G
3	4.62	0.924 G

α (分離係数) = 0.85, 平均値 (中間値) 0.2 G
 ζ (対数標準偏差) = 0.6

4. 安全性のみえる設計法

まとめ

- β による安全性評価
ISO2394
- バラツキを設計式の中に表現
荷重係数・耐力係数

5. グローバルな要求安全性

安全性(広義)の費用対効果

$$C_T = C_I + \sum P_f C_F \longrightarrow \text{最小化}$$

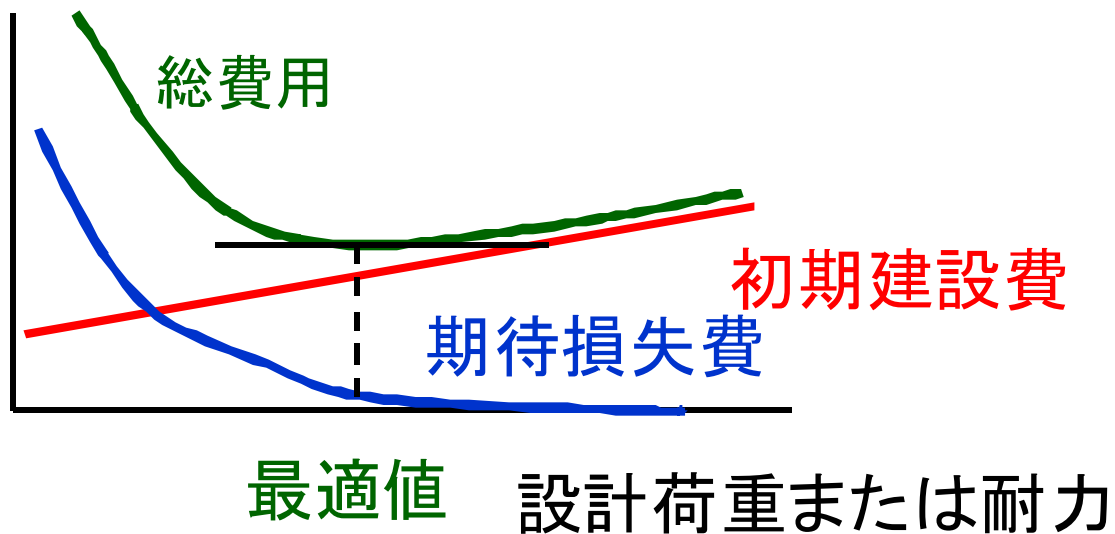
バラツキ量

損失予測

コスト上昇

5. グローバルな要求安全性

総費用最小化の意義



5. グローバルな要求安全性

総費用最小化原理

$$C_T = C_I + C_M + \sum P_{Fi} C_{Fi}$$

C_T : 総費用, C_I : 初期建設費

C_M : 維持管理費

P_{Fi} : i 段階の破壊確率

C_{Fi} : i 段階の破壊時損失費

5. グローバルな要求安全性

$$\beta_{opt} = -\alpha_Q \zeta_Q + \sqrt{(\alpha_Q \zeta_Q)^2 + 2 \ln \left(\frac{g \sqrt{1 + V_Q^2}}{\sqrt{2\pi k} \alpha_Q \zeta_Q} \right)}$$

g : 規準化損失コスト

k : コスト上昇係数

参考: 神田・平川、建築学会構造系論文集、1999年9月

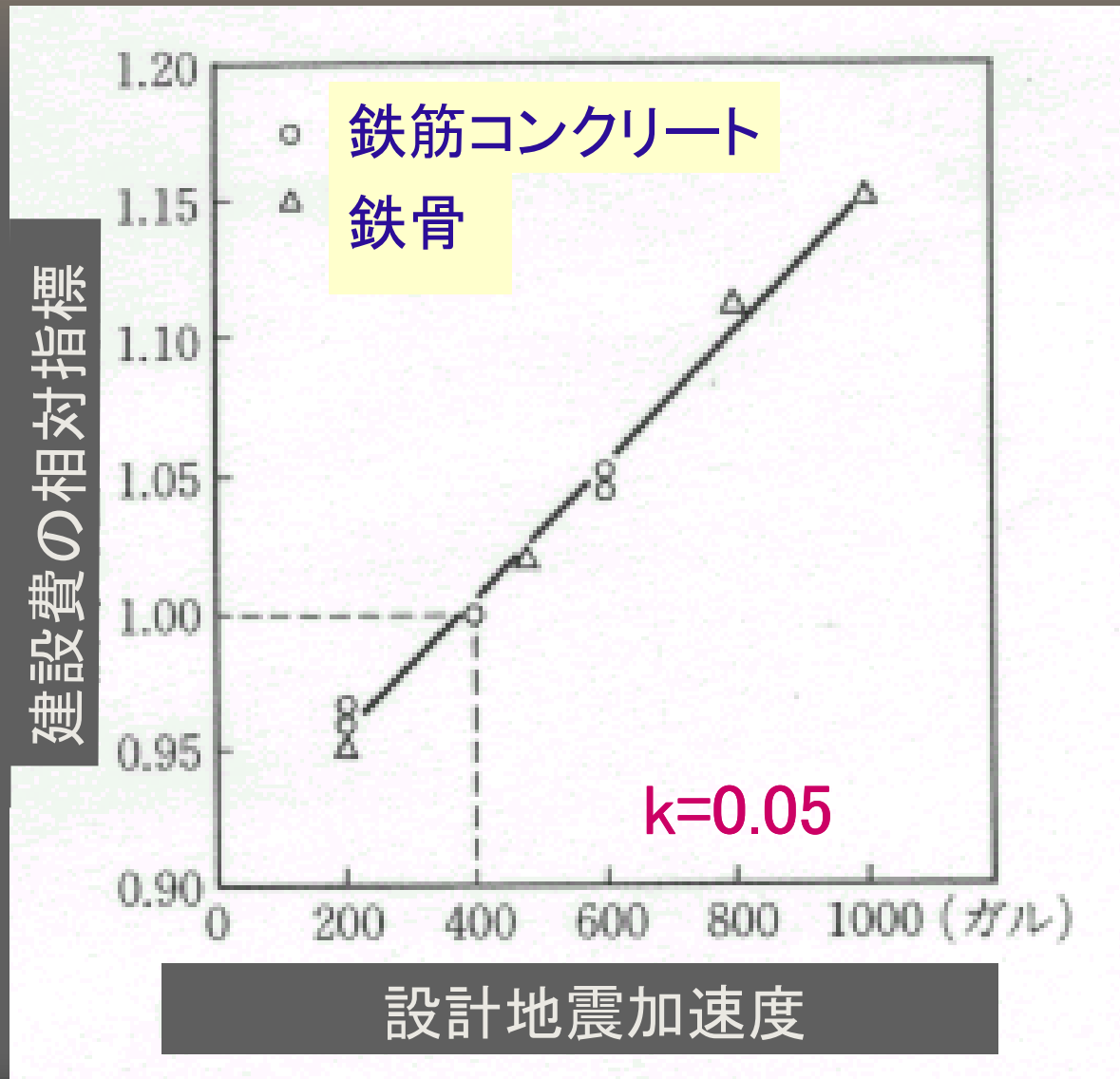
5. グローバルな要求安全性

初期建設費の評価式

$$C_I = C_0 \left\{ 1 + k \left(\frac{r_d}{\mu_Q} - 1 \right) \right\}$$

$$k \propto \mu_Q$$

初期建設費の試算例



5. グローバルな要求安全性

構造被害による損失分析

- 構造物の被害
- 内容物の被害
- 非構造材の被害
- 設備機器の被害
- 機能損失
- 怪我
- 人命喪失
- 心理的被害

5. グローバルな要求安全性

破壊時費用推定例

$$C_F = g C_0$$

用途	g
住宅	2.4
高層事務所	6.9
病院	33.6
原子力	2113

5. グローバルな要求安全性

$g=2$

$k=0.05$

に対して、例えば

変動係数	最適 β
0.3	2.6
0.7	2.0
1.0	1.7

5. グローバルな要求安全性

$$\beta = \log g + 1.7$$

g : 規準化損失コスト

例えば g が1のとき、 β は1.7。 10のとき2.7。

6. おわりに

アカウンタビリティ(説明責任)

6. おわりに

- ⇒ プロフェッショナルたること。
- ⇒ 自らを技術で鍛える。
- ⇒ なるべく最新の情報を取り込む。
- ⇒ 建築主の要求を掘り起こす。
- ⇒ 構造安全性について説明する。
- ⇒ 時間をかけて判断を仰ぐ。

6. おわりに



エピローグ

基準法改正への素直な感想

1. 官僚にあるのは既得権益を守ること。
2. 日本の政治は今も統帥権の下にある。
3. あまりにも、物を言わぬエンジニアが多い。
4. JSCAは事務所経営者の団体を目指すのか？
5. エンジニアには倫理を示す義務がある。

1. 官僚にあるのは既得権益を守ること。
(岩橋健定氏のメモより)
2. 日本の政治は今も統帥権の下にある。
(司馬遼太郎:この国のかたちより)
3. あまりにも、物を言わぬエンジニアが多い。
(何度かの寄稿に対しての反響の弱さから)
4. JSCAは事務所経営者の団体か。
(大越俊男氏との会話から)
5. エンジニアには倫理を示す義務がある。
(今川英憲氏との会話から)