

2011年度日本建築学会大会PD(応用力学部門)

# ロバスト性・冗長性を向上させた 建物の構造デザイン

主旨説明

京都大学  
竹脇 出

# 背景

- ニューヨークWTCビル崩壊事故
  - 日本鋼構造協会内に委員会（和田委員長）  
**崩壊制御設計ガイドライン**  
**—リダンダンシーに優れた鋼構造建築—**  
**I.設計編, II.研究編, 2005.**
- 建築学会応用力学運営委員会内にロバスト性・冗長性に関連する小委員会（2005～）

# 冗長性とロバスト性の定義の一例

- 冗長性には、
  - (1)構造システムにおける構造要素の繋がりに着目したもの（並列と直列）
  - (2)余裕度に着目したもの

前者に関連するものとしてフェールセーフ、  
後者に関連するものとして安全率がある。

# 冗長性とロバスト性の定義の一例 (続)

- ロバスト性とは、  
外乱や構造特性がばらついたとしても、尚、  
構造物が機能性や安全性を保持し続けるこ  
とのできる能力と定義できる。このように定義  
は比較的容易であるが、**ロバスト性を定量的  
に測る尺度**はそれほど多くはない。今回の作  
品においても定量化しているものはほとんど  
なかったと言ってもよい(入力レベルについて  
は比較的簡単)。今後の展開が期待される。

提案名		ロバスト性			冗長性		
最優秀賞	都市百貨網 ーダンパーチューブ構造がつなぐスト ックー	外乱変動			フェール セーフ		
	STEP bi-STEPPING ー外力の性状に応じ、浮き上がり部の 支点間距離が2段階に変化する制震 構造ー	外乱変動				余裕度	
佳作	位置エネルギーを利用して塔 状建築物のロバスト性を高め た構造デザイン	外乱変動			フェール セーフ		
	都市のロバスト性と冗長性 ー相互扶助制振システムの提案ー	外乱変動			フェール セーフ		
	M-O-N-O (Multi-Optimizing Network Operation) ー連結制震機構×集団抵抗機構ー		構造変動		フェール セーフ		
	現状の性能・機能を維持する 高性能な制振レトロフィット	外乱変動			フェール セーフ		
	連結制振によりロバスト性と 冗長性の向上を図った免震構 造			外乱・ 構造変動			変形制限
	粘性減衰と履歴減衰からなる 大変形可能な制震構造システ ム			外乱・ 構造変動		余裕度	

ロバスト性

フェールセーフ

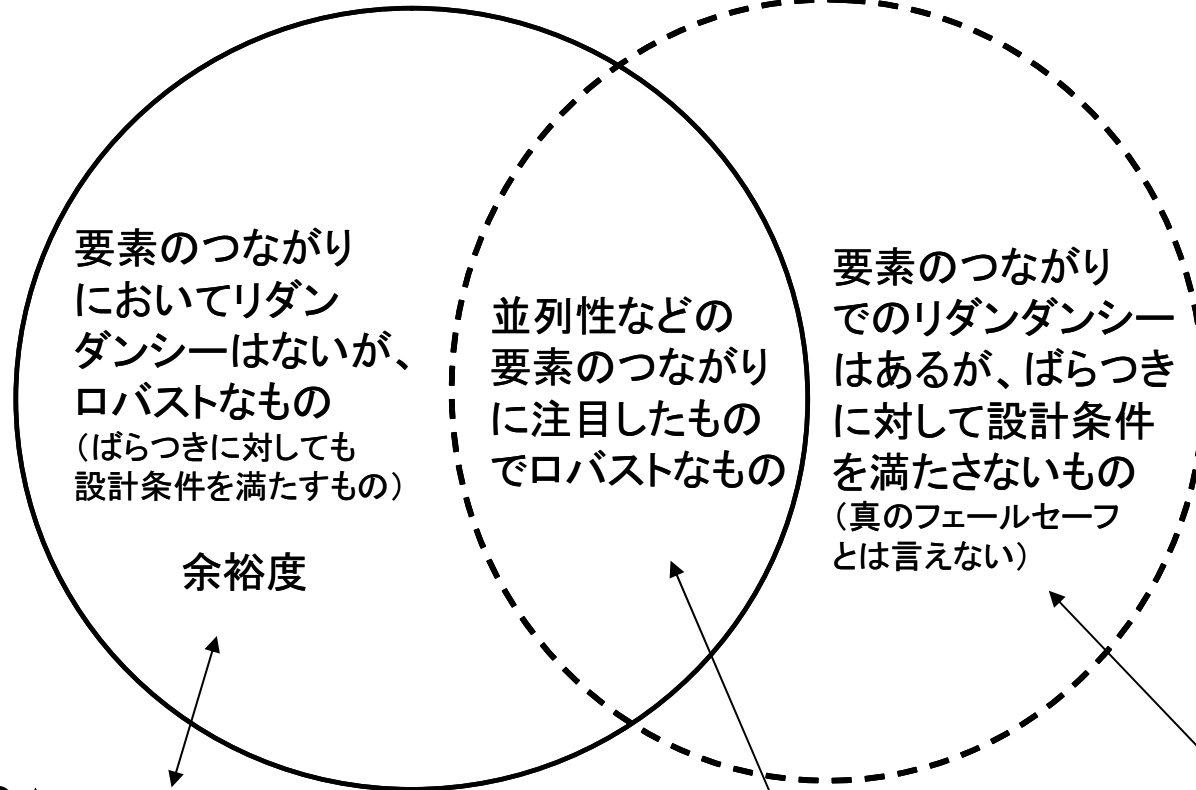
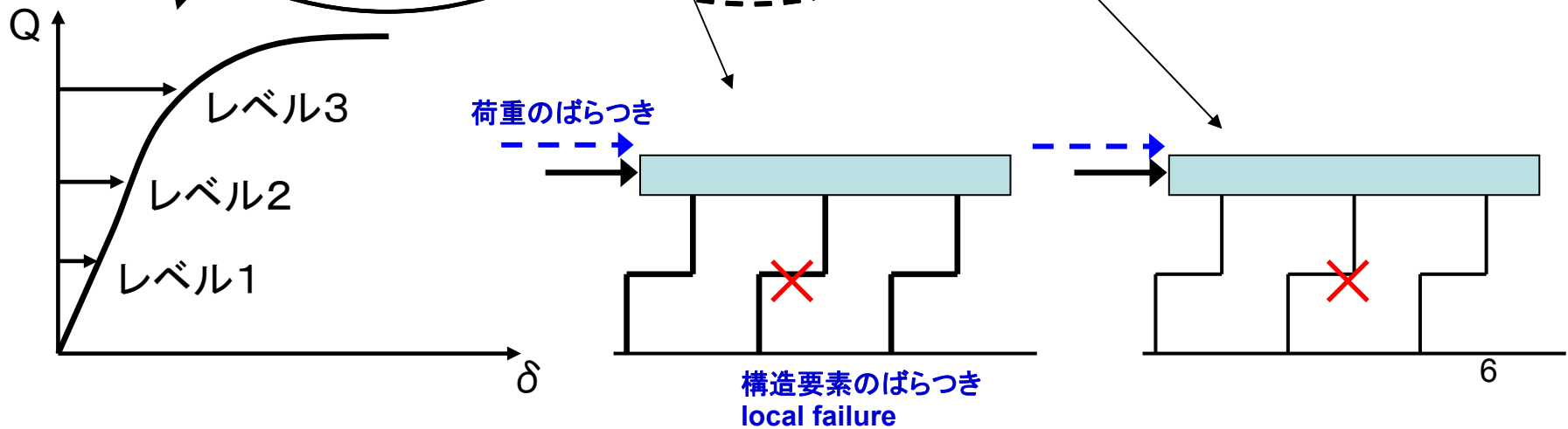


図1 冗長性(リダンダンシー)と頑強性(ロバスト性)の関係の一例



## 余裕度

・リダンダンシー＝ロバスト性

図1の左端の部分

## 要素のつながり

・リダンダンシー＝フェールセーフ  
・ロバスト性＝insensitivity to local failure)

図1の中央

図2 余裕度と要素の繋がりから見た  
リダンダンシーとロバスト性

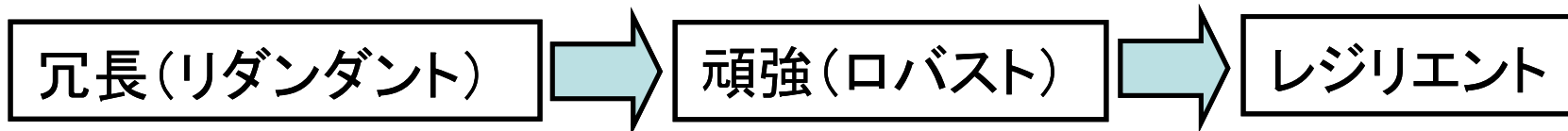
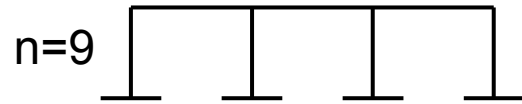
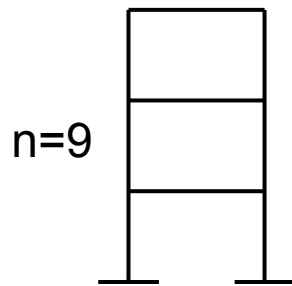
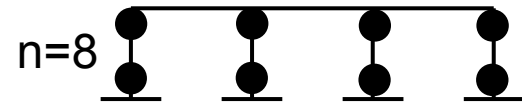
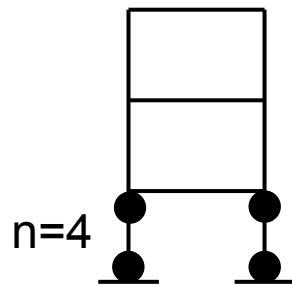


図3 冗長性とロバスト性およびレジリエンスの  
概略的關係の一例

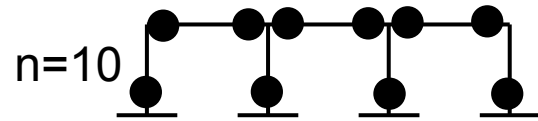
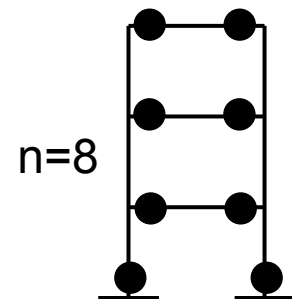
# 構造力学における不静定次数と 弾塑性系の不静定次数



Static indeterminacy



Redundancy  
under static  
lateral loads

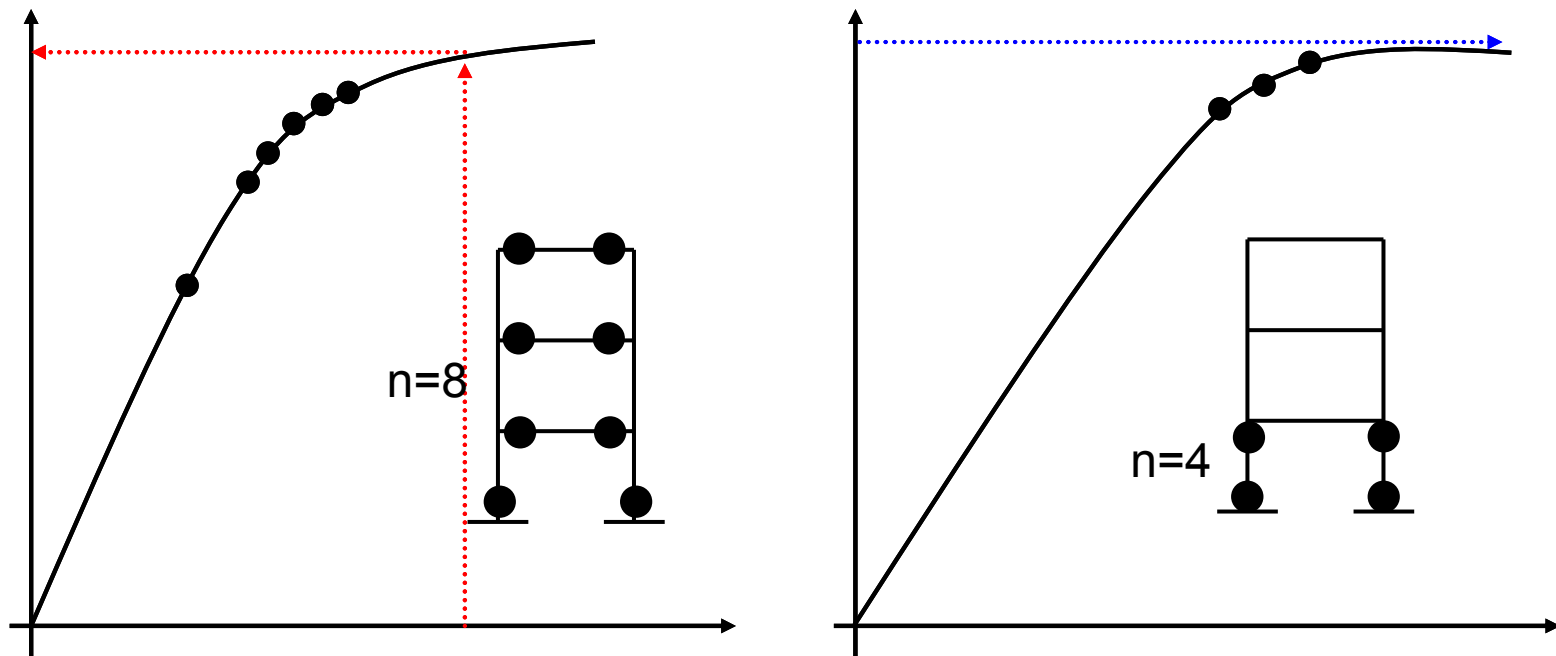


(from Prof. Bertero, ASCE)



# 余裕度と不静定次数が同時に扱われることもある

塑性ヒンジが最初に形成される点を層の塑性率を定義する点とすると、最初に塑性ヒンジが形成されてから耐力点までの距離は弾性限耐力に対する終局耐力の比(余裕度)を表し、リダンダンシーを表す一つの尺度と見なすことができる。



# Passive Defense

(A.Piore: Scientific American, June 2011  
'Planning for the Black Swan')

## 想定外への対応

- 構造設計においては、本来想定外ということはあるとはならないが、現実の世界ではそうもいかない。
- 要は、**想定外の範囲を如何に狭め、想定範囲を広げることができるか**に構造設計者の技量が問われている。
- 想定外の範囲を狭めて少しでも冗長性やロバスト性に優れた構造物を設計することが構造設計で要請されている。

## <Passive Defenseの例>

### 構造特性の変化による応答低減効果

- 長周期地震動に対して弾塑性化することによる応答低減(共振からの回避)
- 浮き上がりによる非線形化

機構、形状による工夫(ex. 心柱・・・)

変形制限機構

ストッパー

曲げ破壊、せん断破壊の制御

柱・梁耐力比制限などの多くの仕様規定