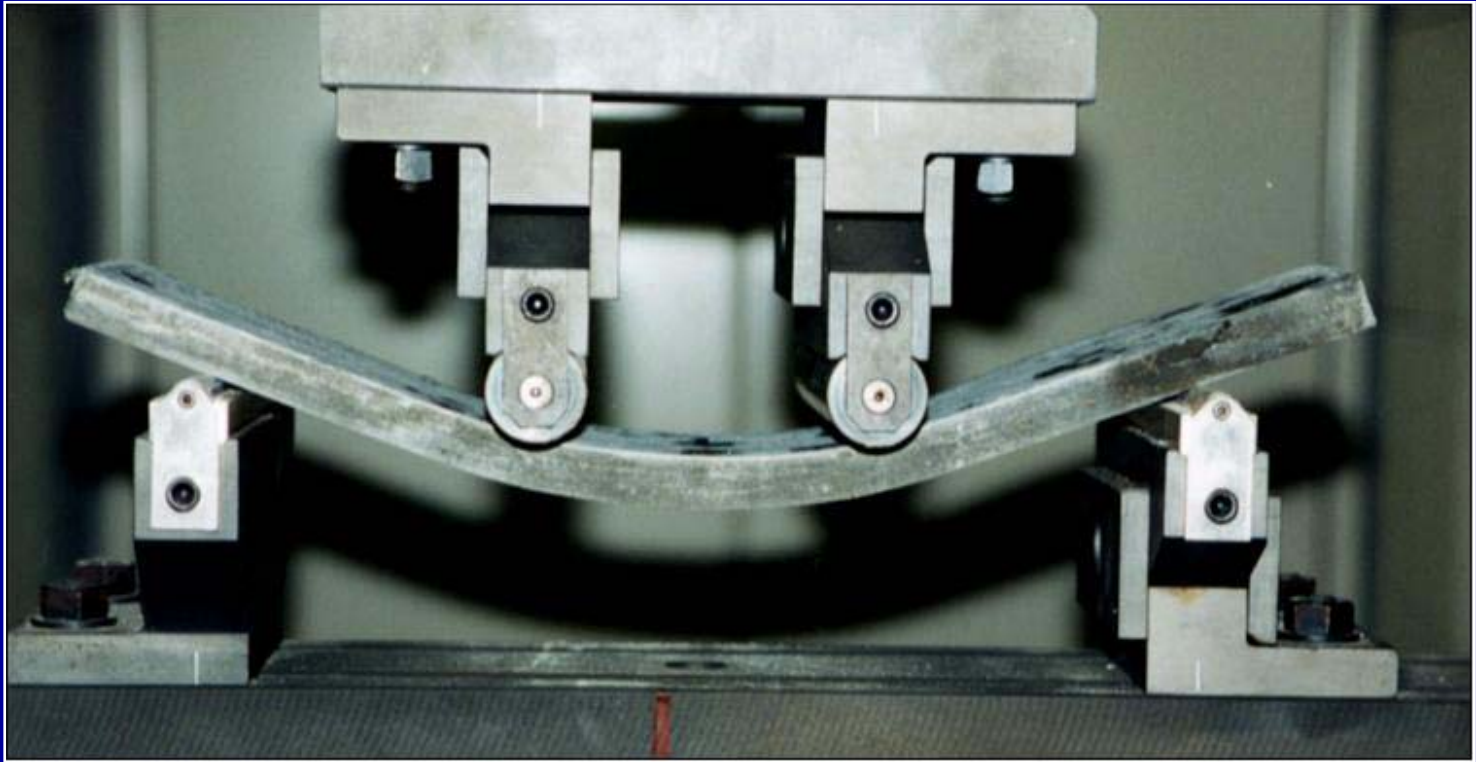


# 損傷制御に向けた高靱性コンクリートの可能性

- 地震に強く、損傷を受けにくい安全・安心な建物を創成するために -



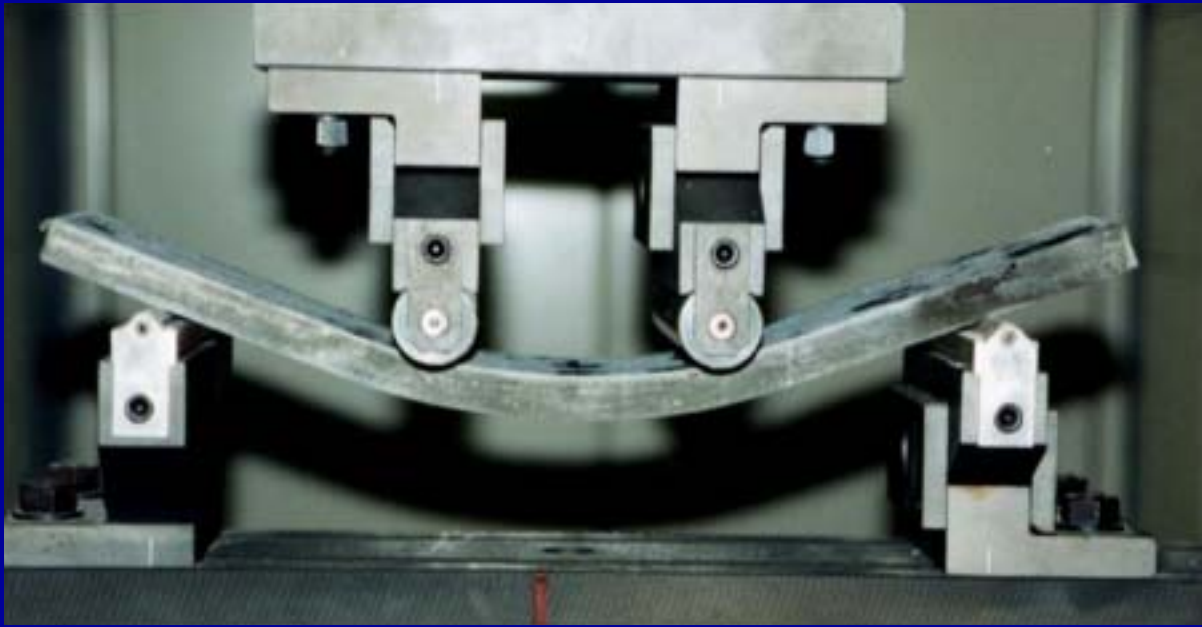
独立行政法人 建築研究所  
構造研究グループ 上席研究員・研究主幹

福山 洋

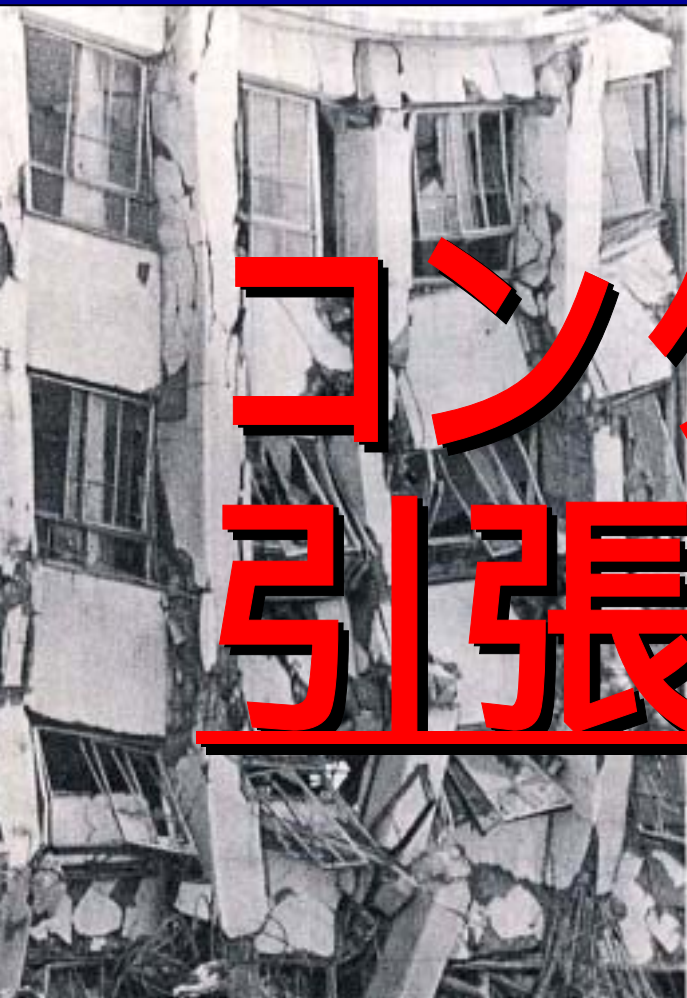
# 本日の講演内容

- 高靱性コンクリートとは？
- 損傷制御の必要性
- プロティ建築物の損傷制御
  - ・ 既往の地震被害
  - ・ 損傷制御方法の提案
  - ・ 応答解析 & 構造実験による検討結果
- 今後の課題

# □ 高靱性コンクリートとは？



コンクリートは、圧縮力には極めて強いが引張力には弱くて脆い。  
大地震の際に、コンクリートの建物に大きなひび割れや損傷が生じる原因は、この引張の脆さにある。



1968年 十勝沖地震



1948年 福井地震

**コンクリートは  
引張に脆い!?**

# 既存鉄筋コンクリート柱の破壊性状

## 振動台実験



# 高靱性コンクリートの開発！

コンクリートの「脆さ」を  
鉄のような「粘り強い」特性に



コンクリートがひび割れる時の力よりも、繊維がひび割れを  
跨いで伝える力のほうが大きくなるようにする

**繊維：** 種類、太さ、長さ、混入量、強度、付着力

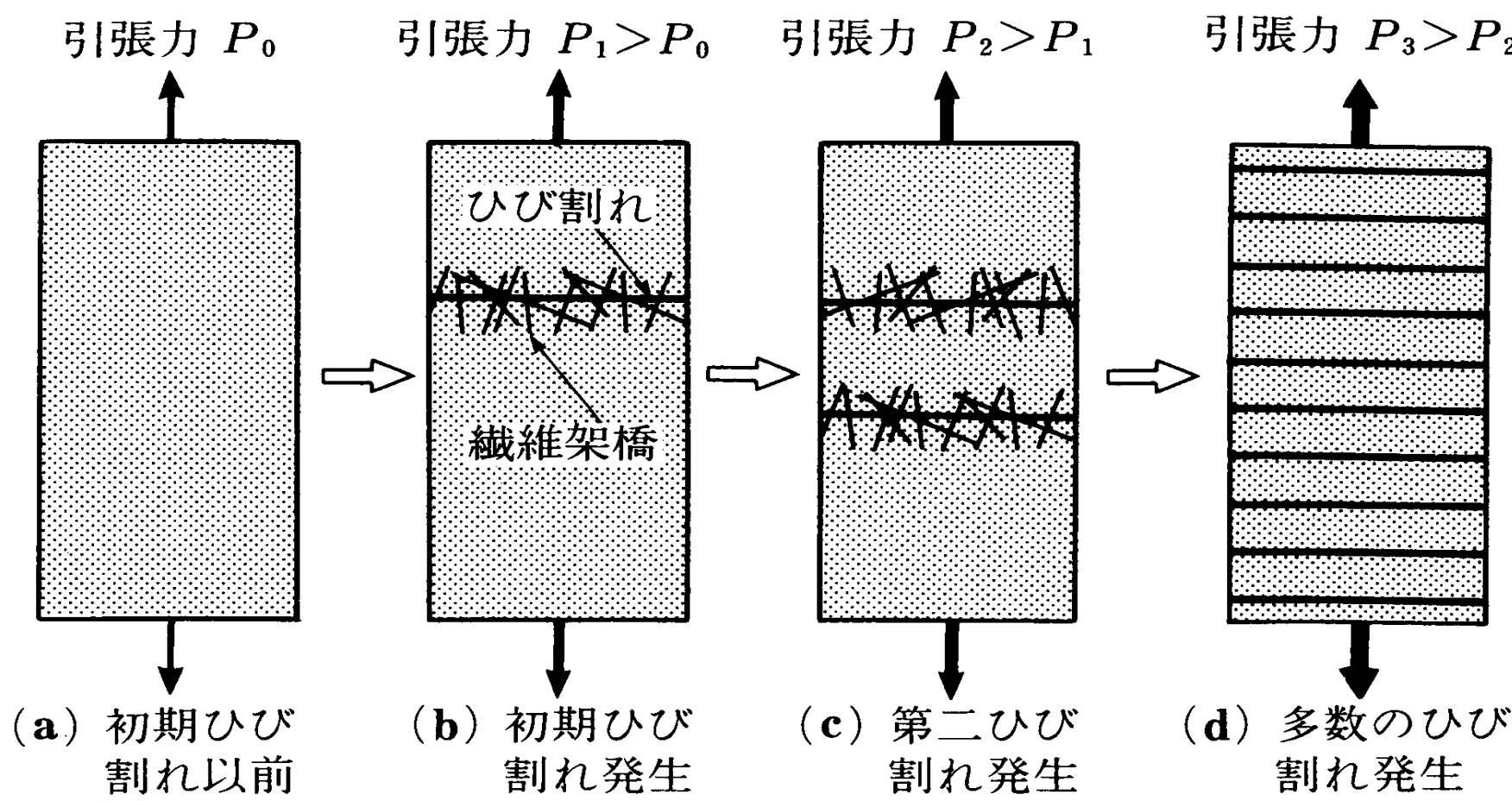
**マトリクス：** 調合(水の量、セメントの量等)、空気量、混練方法  
などを適切に調整



繊維とモルタルの練り混ぜ



# コンクリートがひび割れる時の力よりも、繊維がひび割れを跨いで伝える力のほうが大きくなるようにする







# 高靱性コンクリートの特徴！

マルチプルクラッキング特性：

幅が数十ミクロンの微小なひび割れが多数分散する

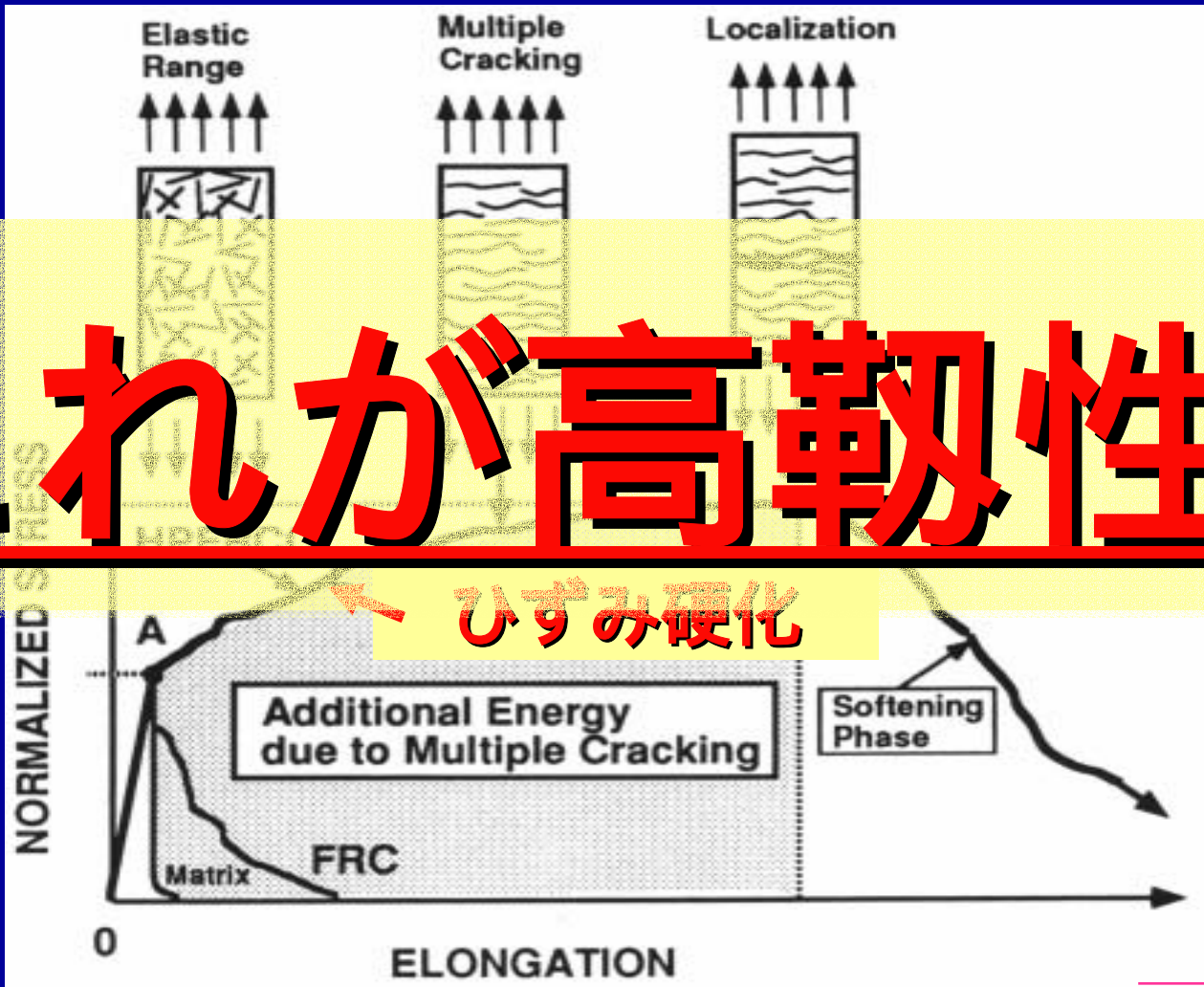
ひび割れは  
殆ど見えない！

鉄筋コンクリートの場合

高靱性セメント複合材料の場合

# 高靱性コンクリートの特徴！

**ひずみ硬化特性：** ひび割れが発生しても、引張抵抗力が低下しない



**これが高靱性！**

ひずみ硬化

# 高靱性コンクリートの製造・施工

- 目標とする力学性能  
高靱性・マルチプルクラック
- 安定した品質の確保  
繊維の均質な分散性
- 施工性の確保  
流動性

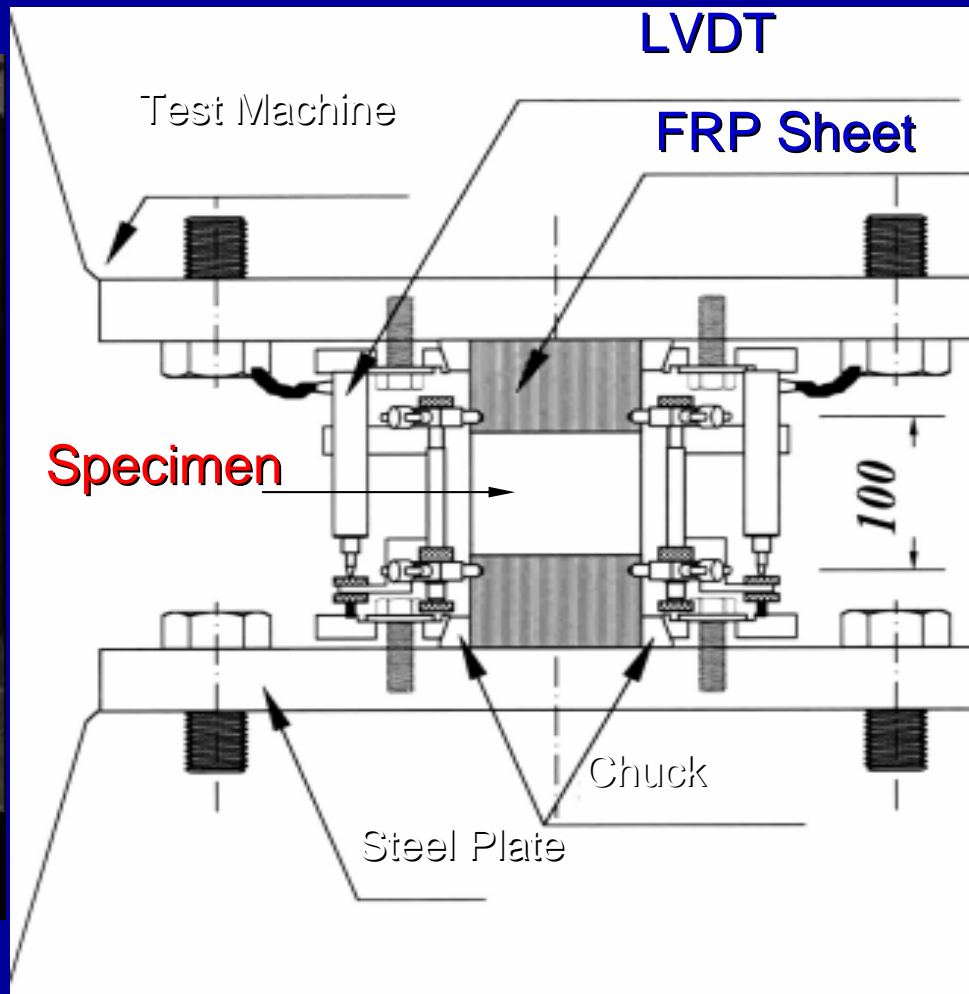




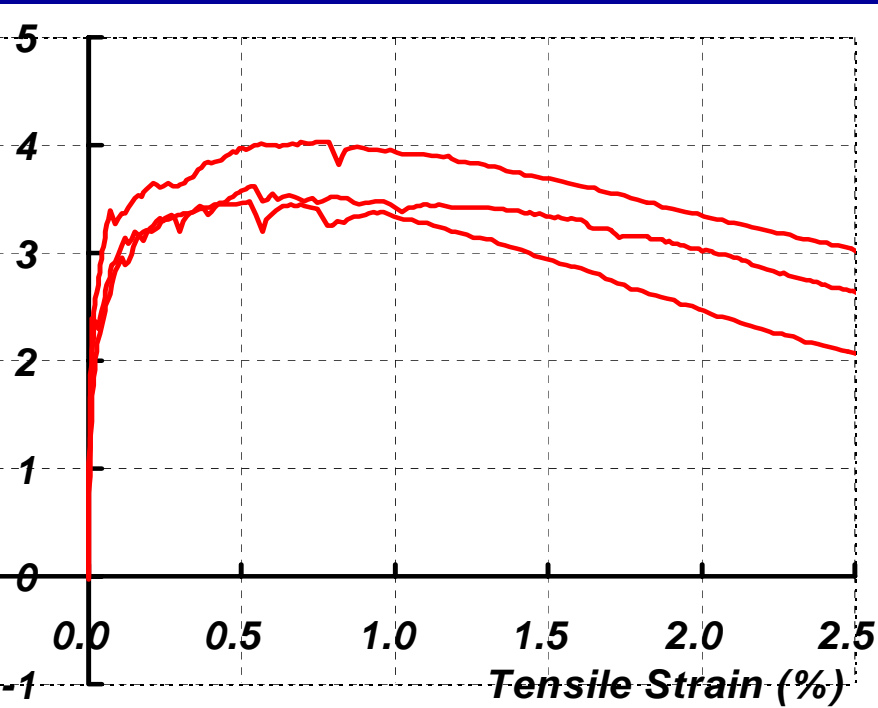
# 引張 - 圧縮繰り返し試験



100 φ × 200mm

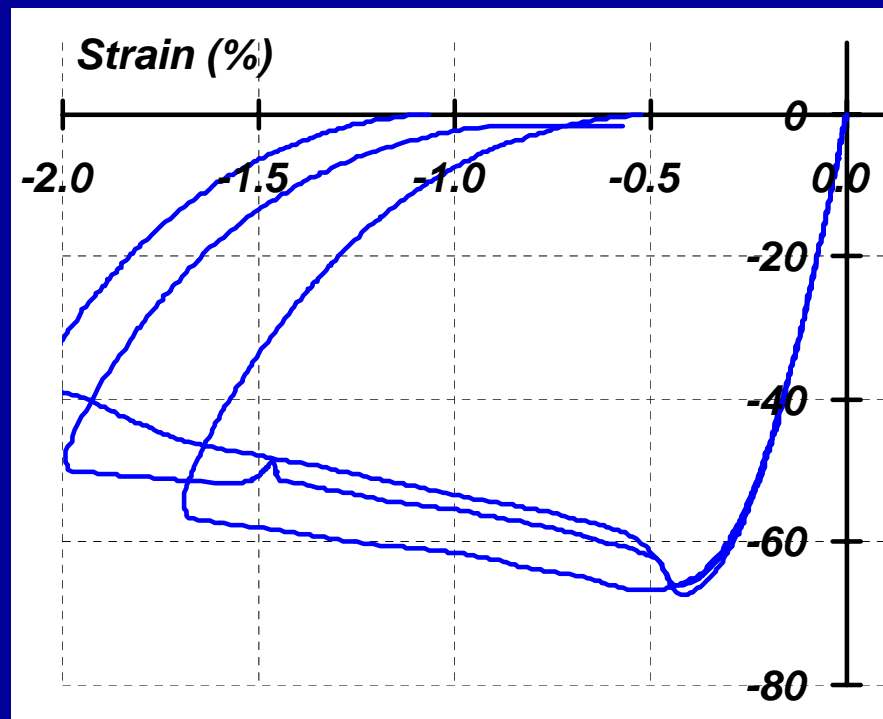


# 一軸応力 - ひずみ特性の例



(a) 引張性状の例

(ポリエチレン1%とスチールコード1%を混合した場合)

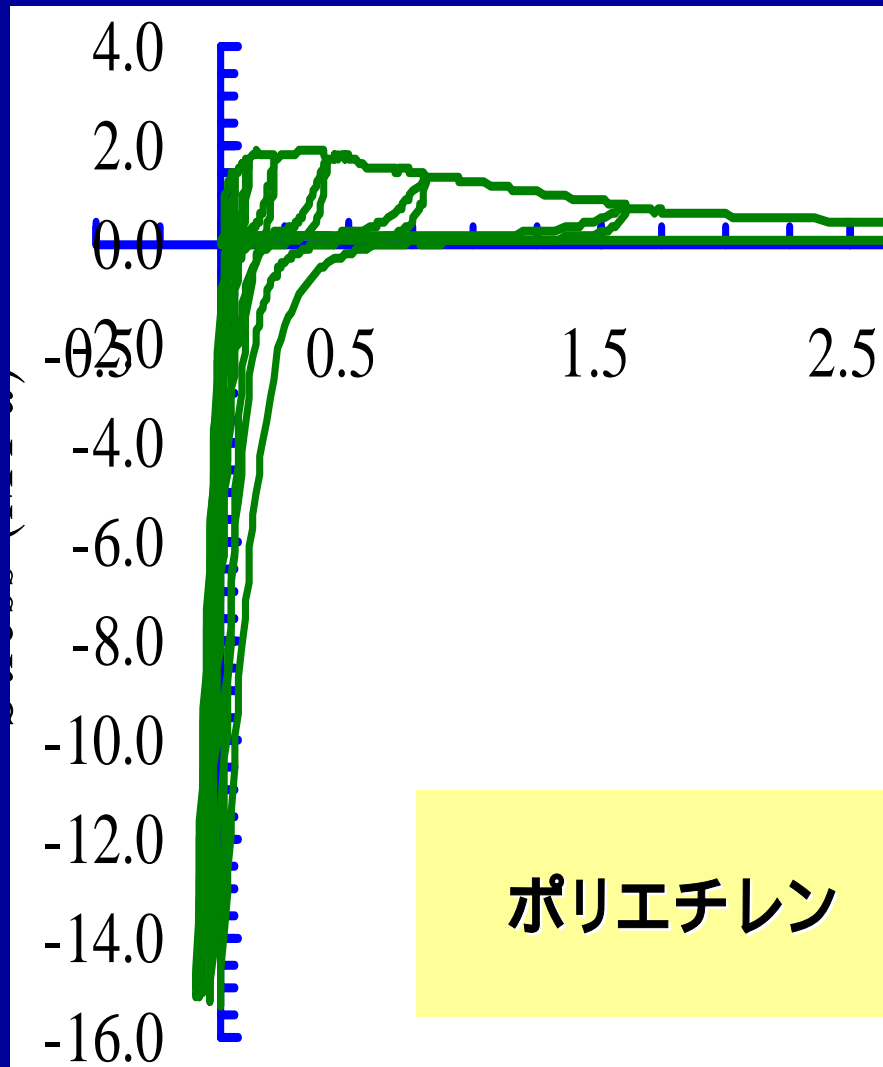
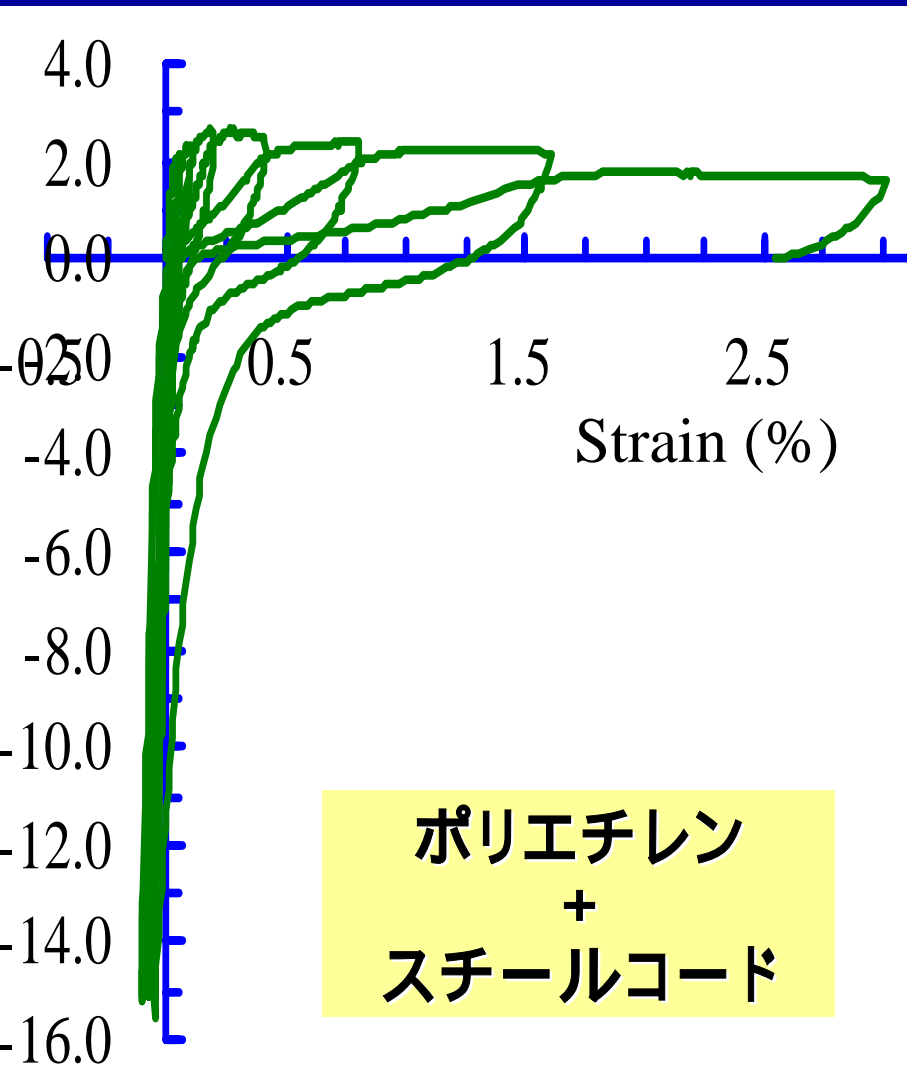


(b) 圧縮性状の例

(スチールコード2%の場合)



# 引張 - 圧縮繰り返し特性の例



# 練り上がり状況



# 失敗例





# 失敗例



# 構造性能の向上 (梁試験の結果 - 1)

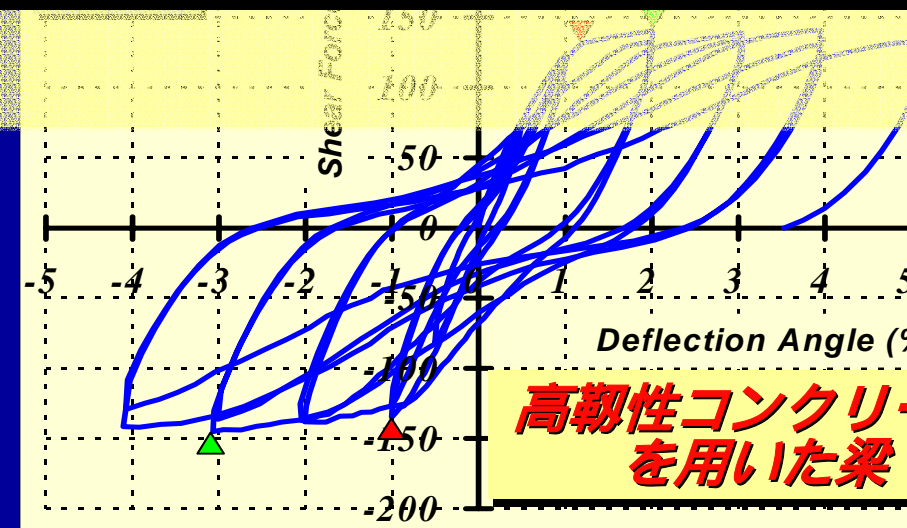
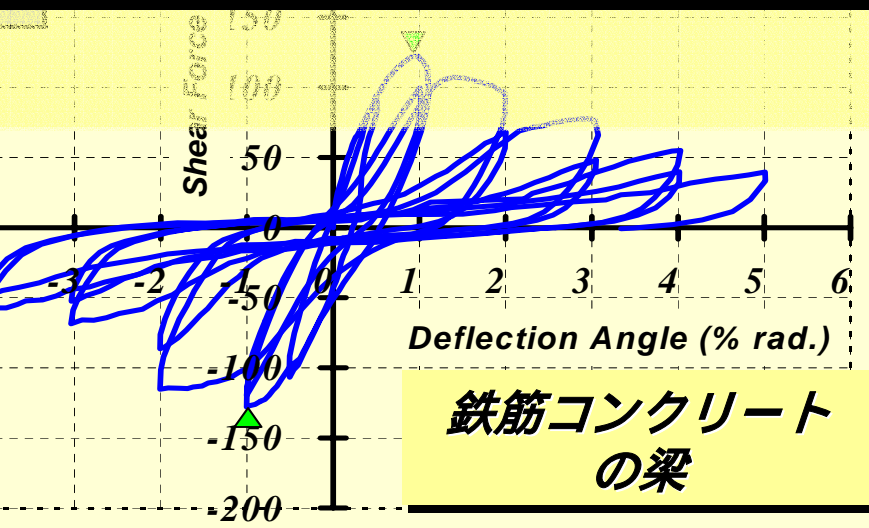


せん断破壊



高げ降

# せん断補強効果！

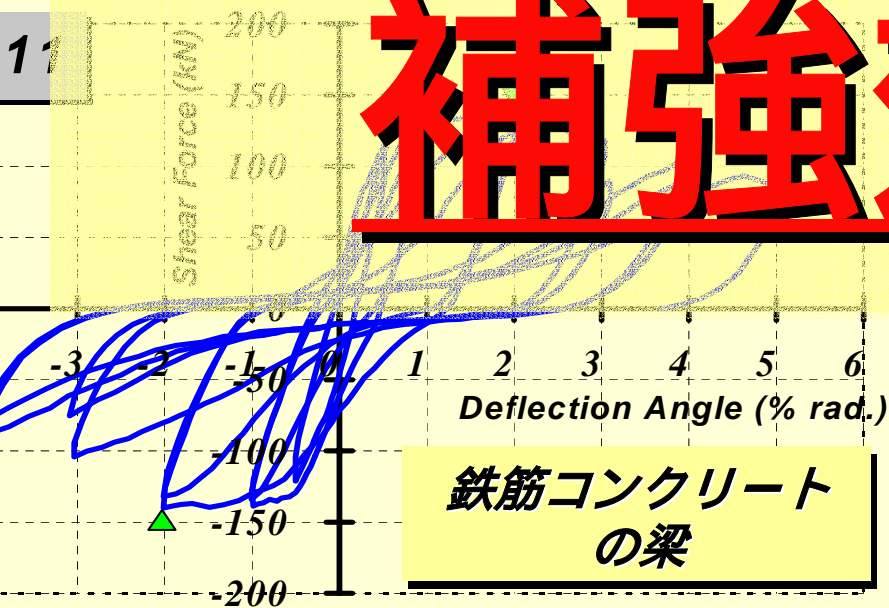




# 構造性能の向上 (梁試験の結果 - 2)



# 付着割裂 補強効果!



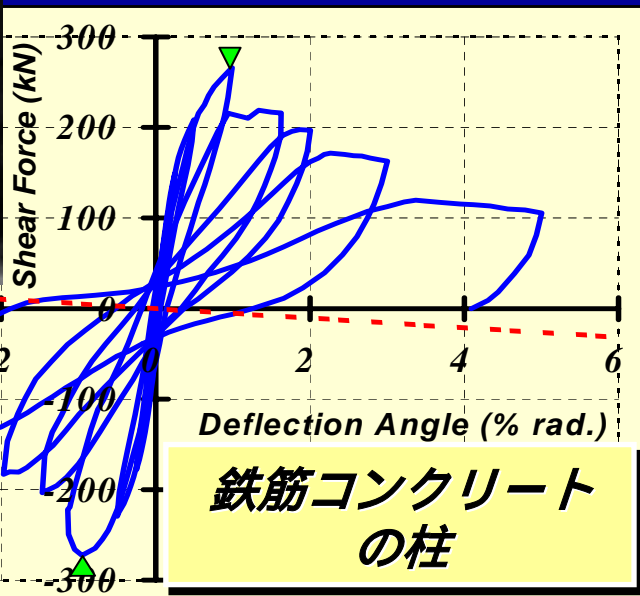
# 構造性能の向上 (柱試験の結果)

せん断破壊

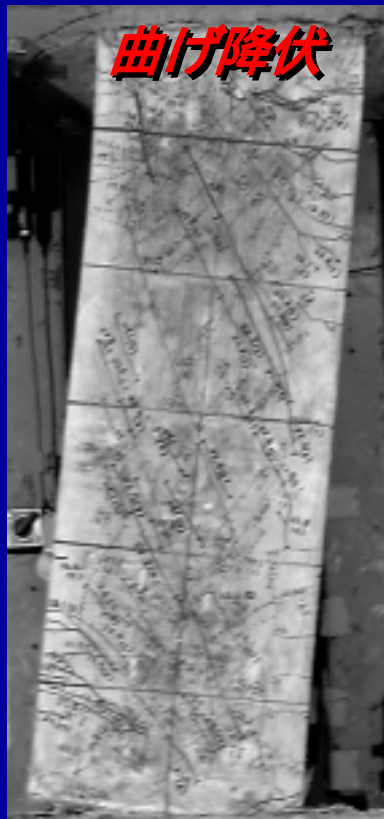


鉄筋コンクリート造の柱:

せん断破壊とその後の付着割裂破壊により、大破している

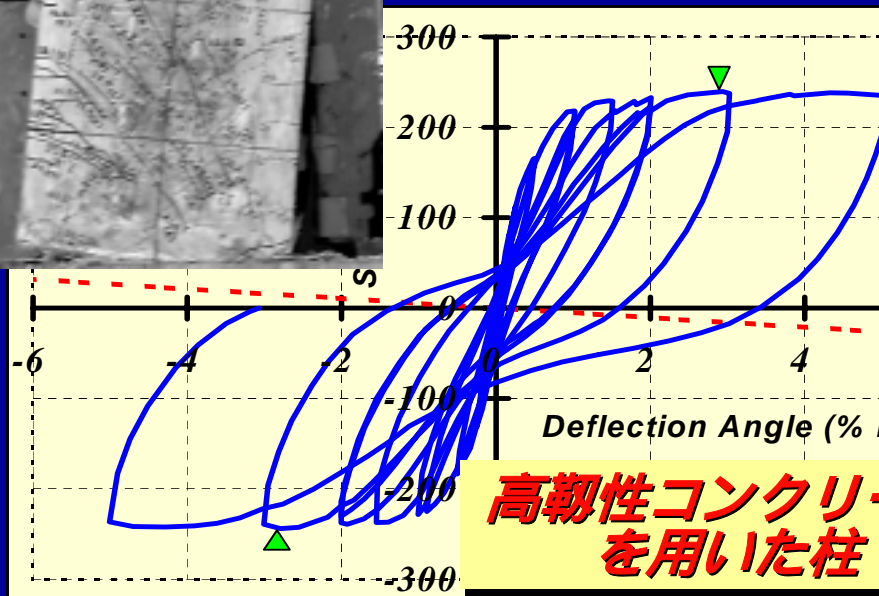


曲げ降伏

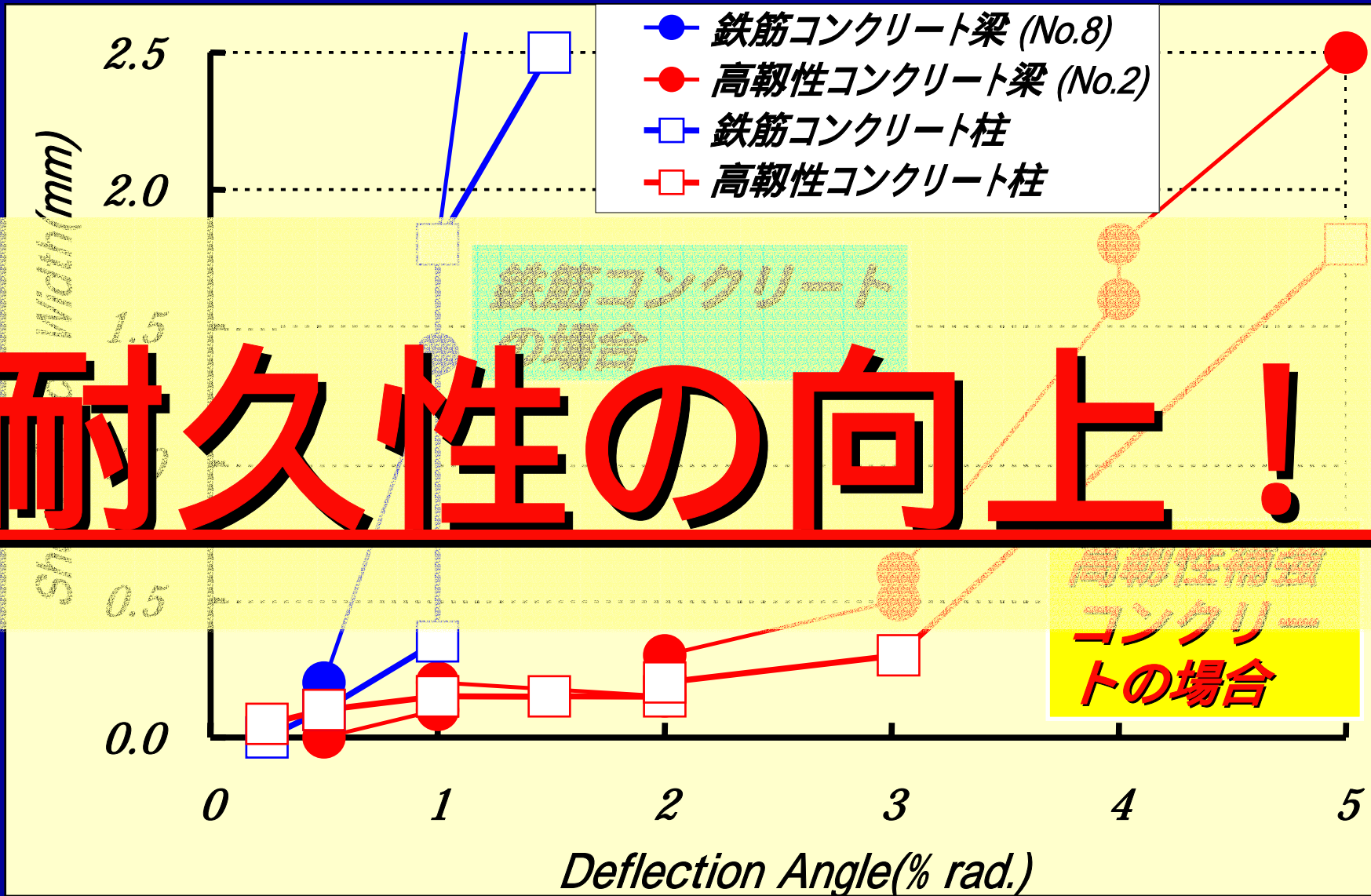


左の柱と同じ配筋で、高コンクリートを用いた柱:

破壊は適切に防止され、も大幅に軽減されている



# 最大せん断ひび割れ幅の推移



# □ 損傷制御の必要性



# 損傷制御

員傷に起因する(安全性、使用性、耐久性等の)性能の低下  
が生じないようにするため、

もしくは、

低下してもその性能を容易な修復により元のレベルに回復で  
きるようにするために、

員傷を防止、もしくは、適切に抑制すること



# 損傷制御の必要性

## 背景1 …… 阪神淡路大震災の経験

### 阪神淡路大震災

新耐震基準に基づく建物も大きな損傷を受けた  
修復費用が高いため取り壊され、新しく建て直されるケー  
が多かった

人命の保護(建物の崩壊の防止)だけでなく、ひび割れ  
などの損傷も抑え、地震後の修復を軽減する(出来れば  
無被害に抑える)ことの重要性を示す。

損傷制御の必要性

修復性



**地震後の修復を  
考えた設計が必要**

# 建築基準法

## 目的

### 第1条

この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する**最低の基準を定めて**、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もって**公共の福祉の増進に資すること**を目的とする。

# 建築基準法

## 耐震に関する要求性能

中地震

(震度5程度、80～100gal程度)

… 建物が数度は遭する程度の地震

機能保持

これは

最低限の要求!

人命保護

建築物に部分的なひび割れ等の損傷が生じても、  
最終的に崩壊からの人命の保護を図る



# 耐震補強



**次の地震で  
社会問題になる？**



# 損傷制御の必要性

## 背景2 … 地球環境問題

地球環境問題の観点から

日本の建物の寿命（更新周期）が短い

長寿命化には

損傷制御が必要！



建築物の長寿命化

耐久性、修復性

地震で損傷を受け、使えなくなるのは長寿命建物ではな

# 損傷制御の必要性

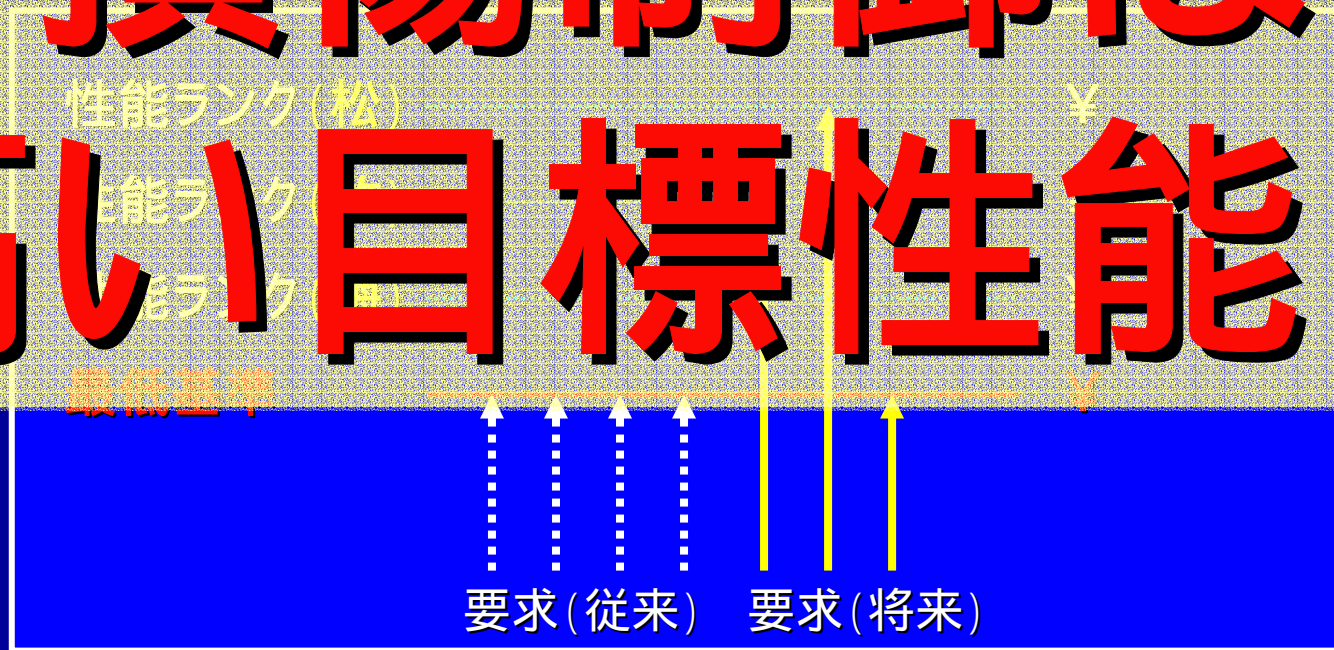
## 背景3 … 性能設計

- 性能設計体系への移行

建物に対する社会からの要求の高度化

# 損傷制御は

# 高い目標性能!







# 損傷制御の必要性

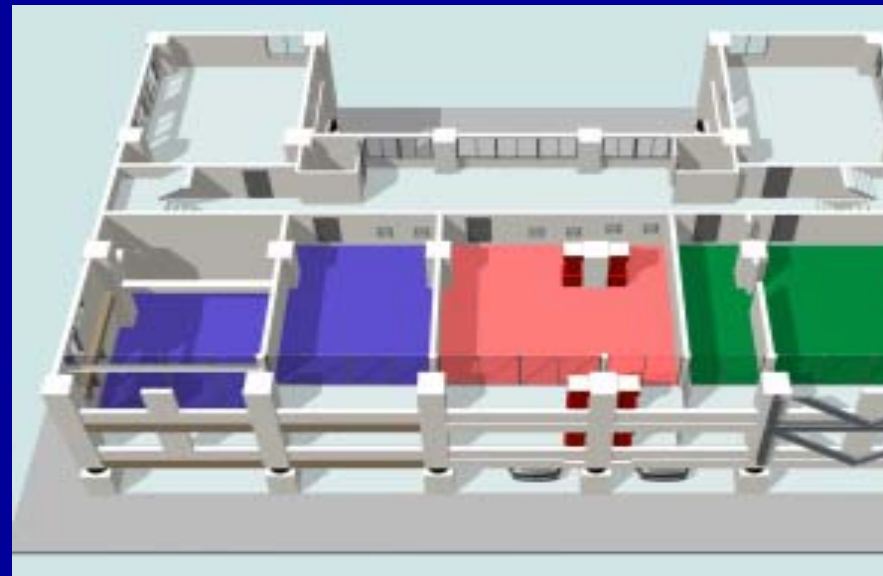
## 背景4・・・ 建て替え問題

- 近々、高度成長期(1960～'70年代)の建物(集合住宅)が建て替えを検討する時期に到達



早急に、  
機能性向上(空間拡大など)、耐久性向上、修復性向上の  
ための技術の確立が必要

# 既存ストックのリニューアル



# 目標性能

# 今後必要 補強技術

損傷制御 (松)

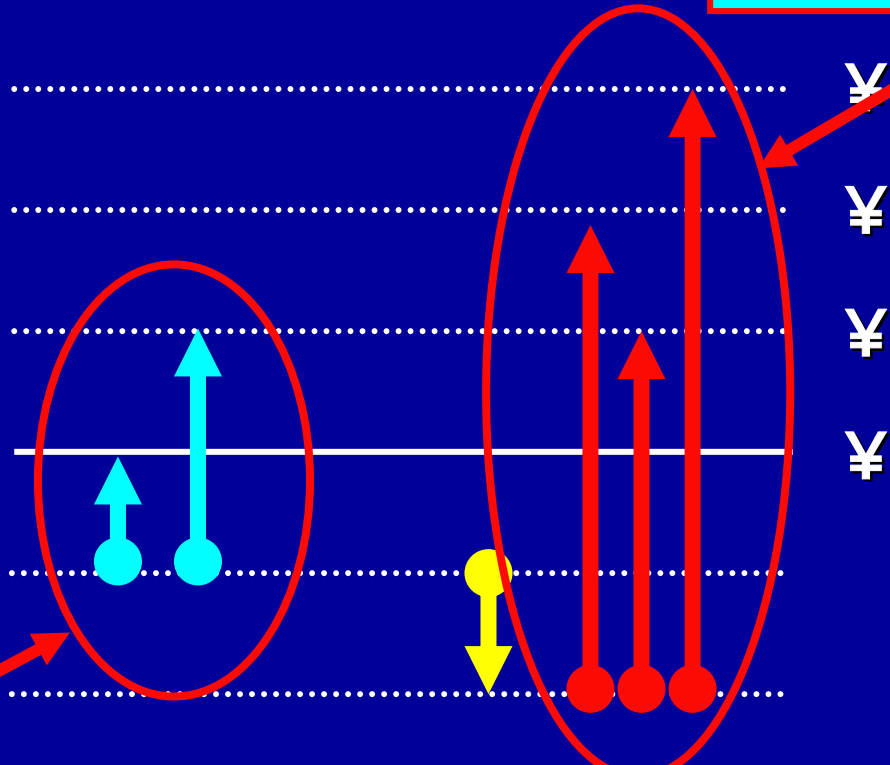
損傷制御 (竹)

損傷制御 (梅)

最低基準レベル

既存不適格建築

構造要素撤去後

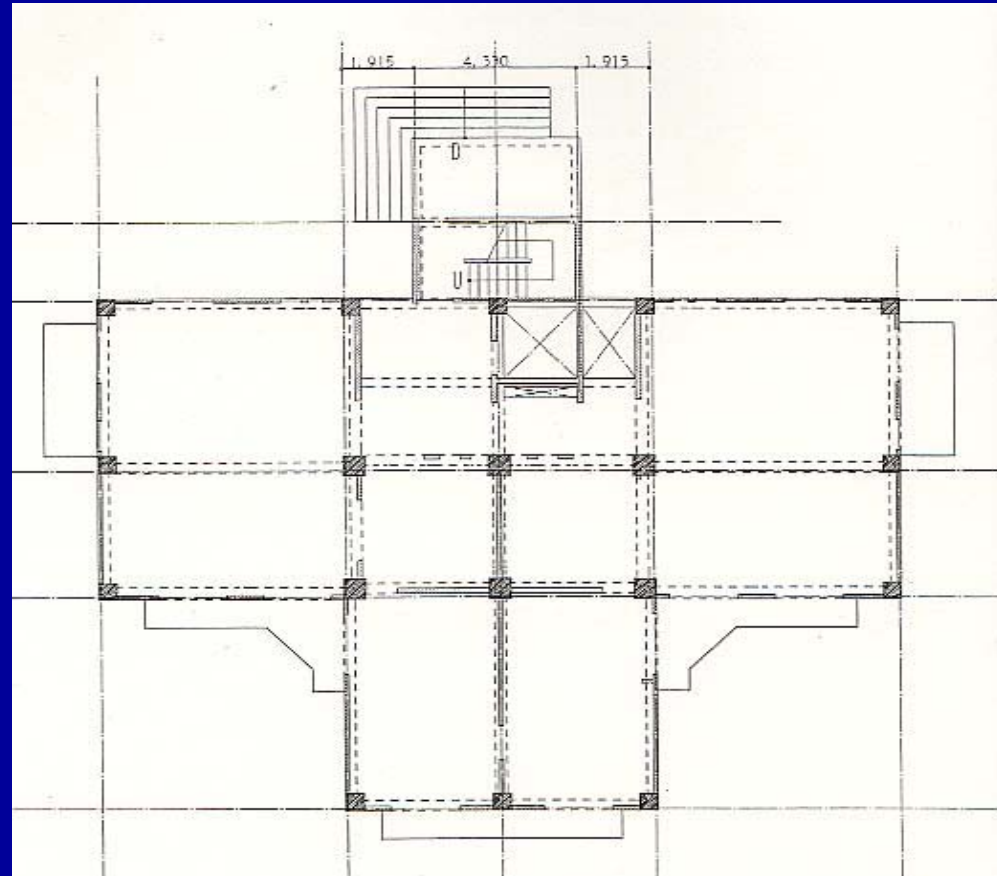
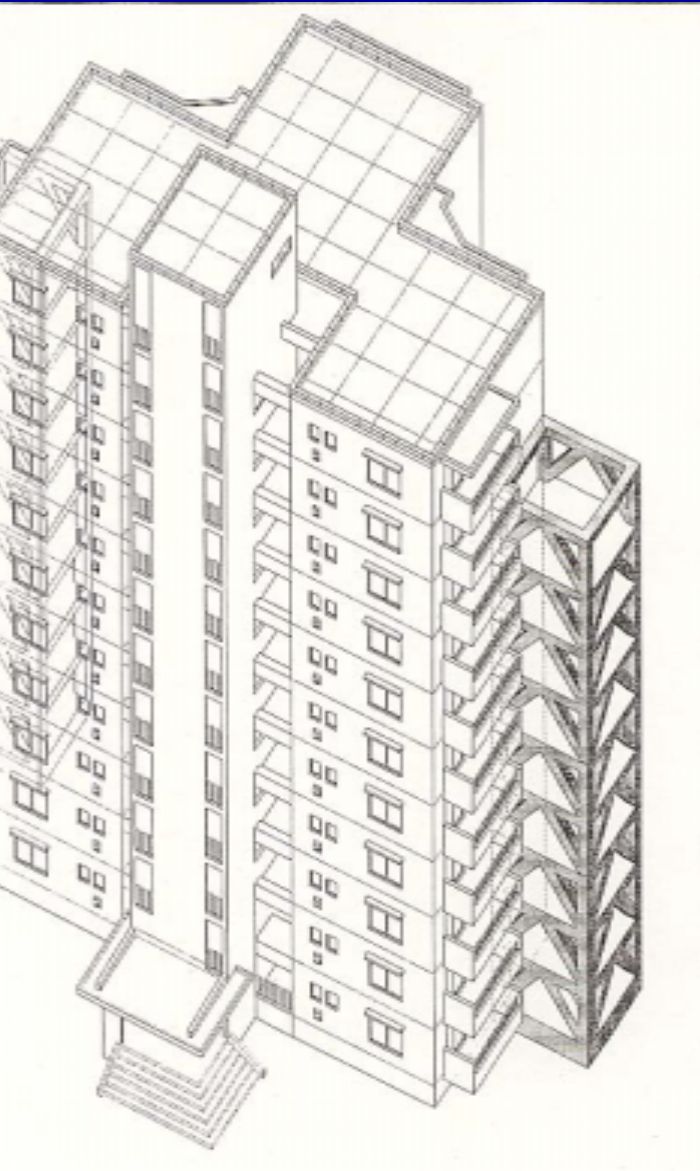


# 現在の 補強技術

通常の  
耐震補強

空間拡大  
リニューアル

# Cost Study





# Cost Study

目的：耐震性能の向上

< モデル建物：11階建、3×4 スパン >

# 損傷制御技術は

# まだまだ！

- ・ 粘性型制振装置 2 3.2 億円
- ・ 耐震補強 (内架壁の増設) 0.4 億円
- ・ 耐震補強 (外架構の増設) 0.4 億円
- ・ 耐震補強 (柱のFRP巻立て) 0.4 億円

高性能

法が要  
るレベ

性能

# リニューアルの海外事例





# リニューアルの海外事例



# □ ピロティ建築物の損傷制御





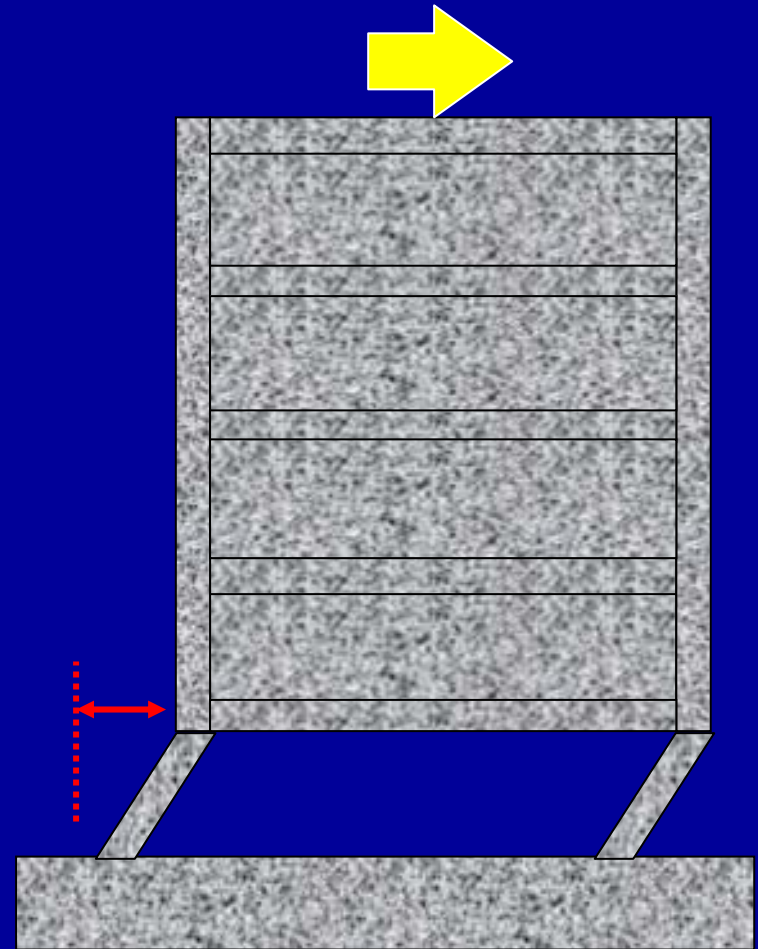
# ピロティ構造の崩壊 (旧基準による建築物の場合)



柱のせん断破壊

# 新耐震基準によるピロティ構造の崩壊

(その1 過度の変形集中)



過度の変形集中

# 新耐震・ピロティ建築物(過度の変形集中)









# 新耐震・ピロティ建築物(過大な変動軸力)



# 新耐震・ピロティ建築物(変形集中と過度の変動軸力)





# 新耐震・ピロティ建築物



# ピロティの耐震補強事例

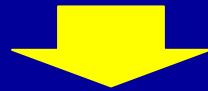




# 研究開発の目的

## ロティ建築物

- ・ 都市部において社会的要望が多い
- ・ 兵庫県南部地震において、RC建物の中で特筆すべき被害を受けた



高い耐震性能を保有させるための、新しい応答制御技術の開発  
ピロティ空間を塞がずに 損傷を低減する

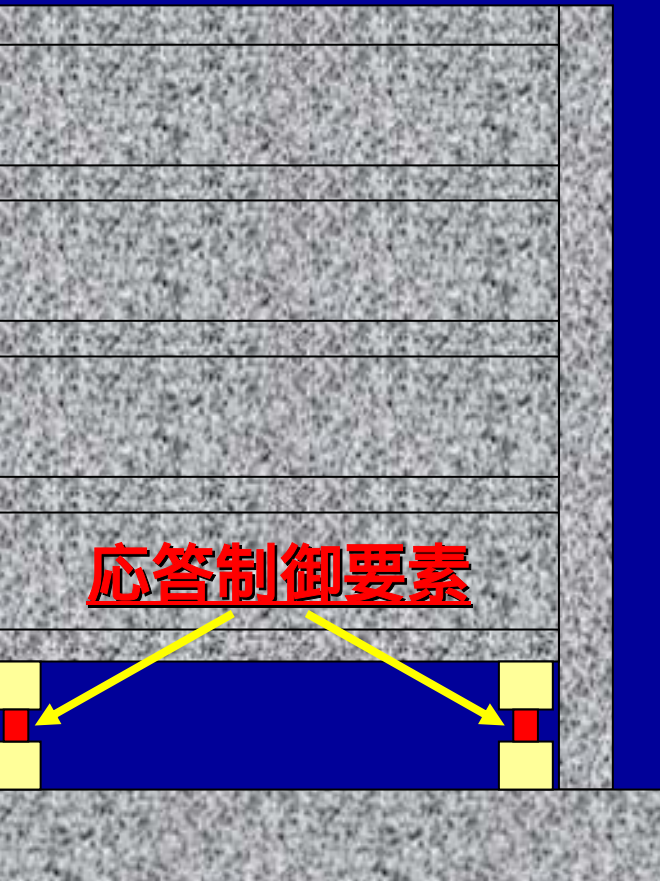
- 耐震壁の増設 ×
- 耐震ブレースの設置 ×
- 既往のエネルギー吸収装置 ×

(例えば、極低降伏点ダンパー、粘弾性ダンパー、オイルダンパー など)

# ピロティ構造の空間確保と損傷制御

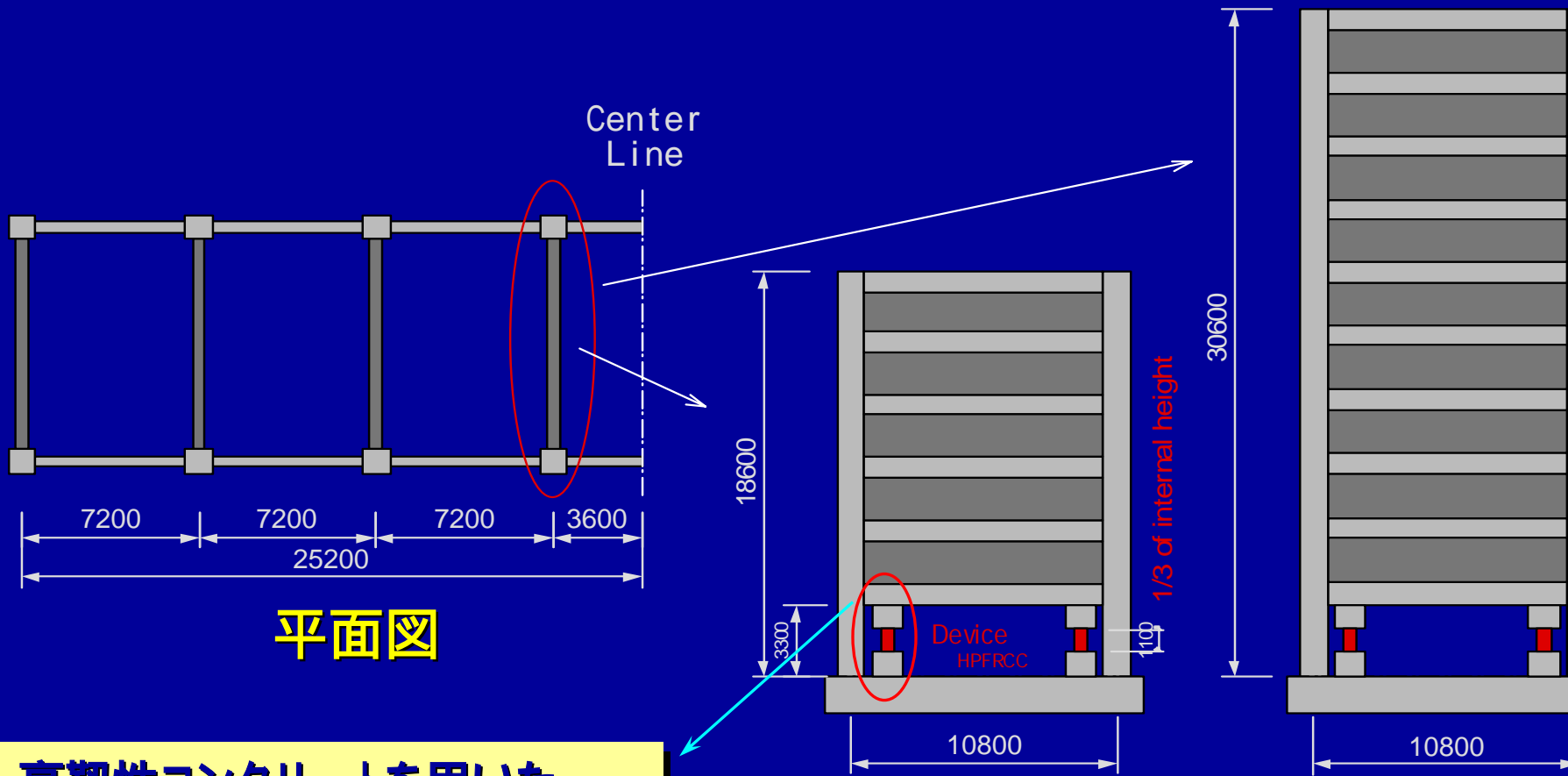
## メリット

- ピロティの広い空間を確保する
- 層の強度、剛性、減衰特性を向上させ地震応答変位を低減する  
← 短スパン & 高靱性
- 柱の軸力を低減し、破壊を防ぐ
- 架構の損傷を防止する
- コストの低減



# 地震応答解析

## 解析対象建築物



平面図

軸組図

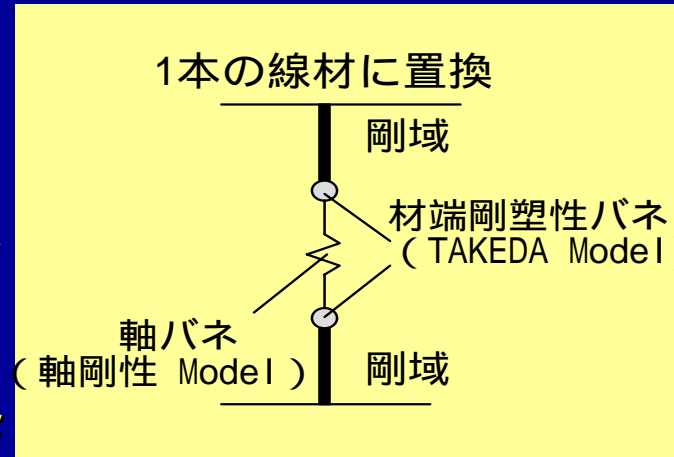
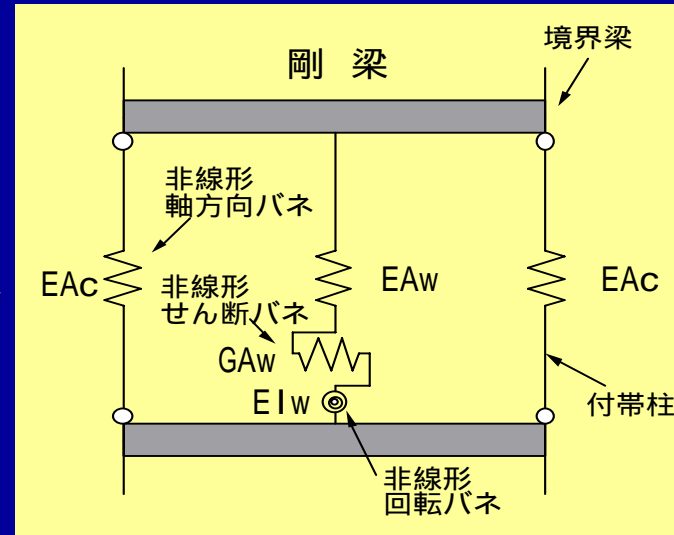
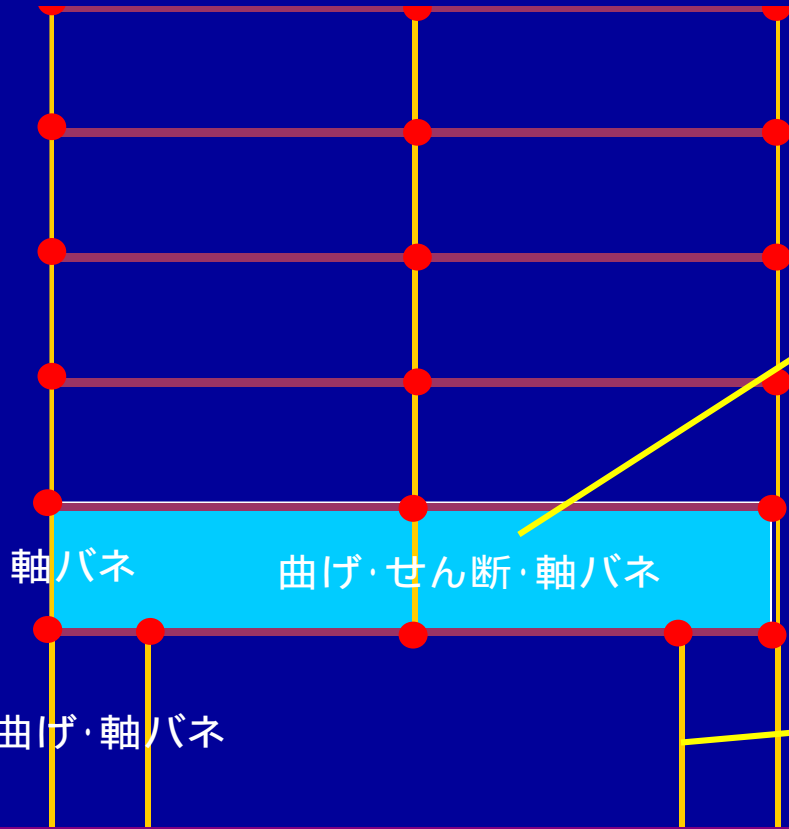
高靱性コンクリートを用いた  
応答制御要素

6層建物

10層建物

# 地震応答解析 解析モデル

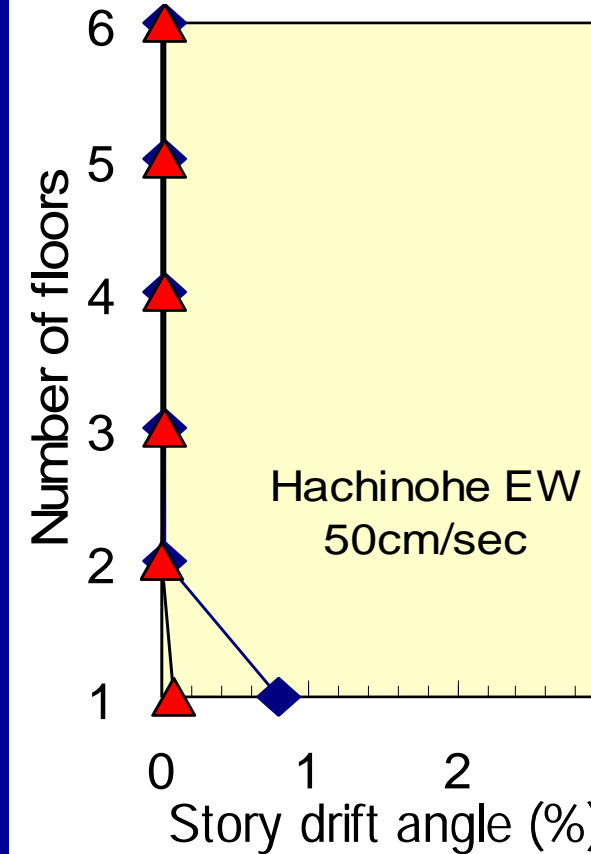
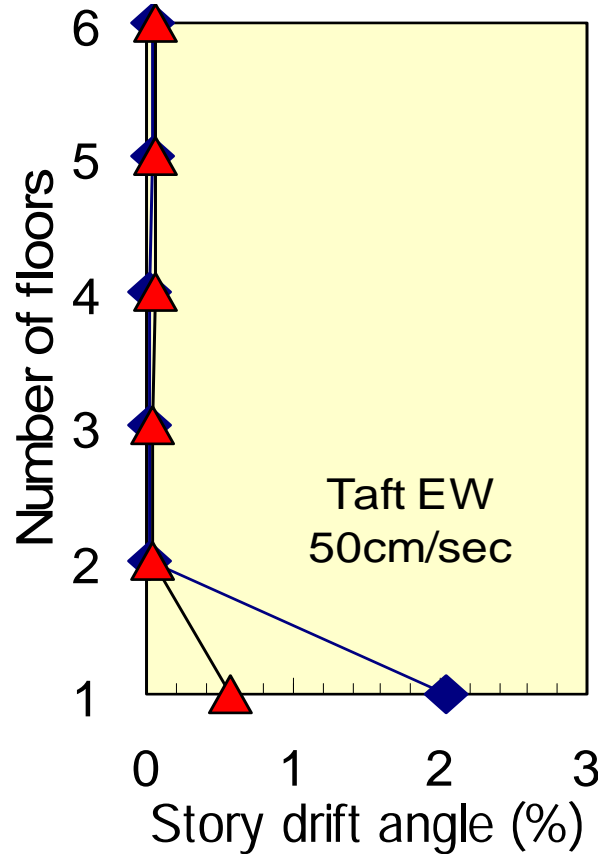
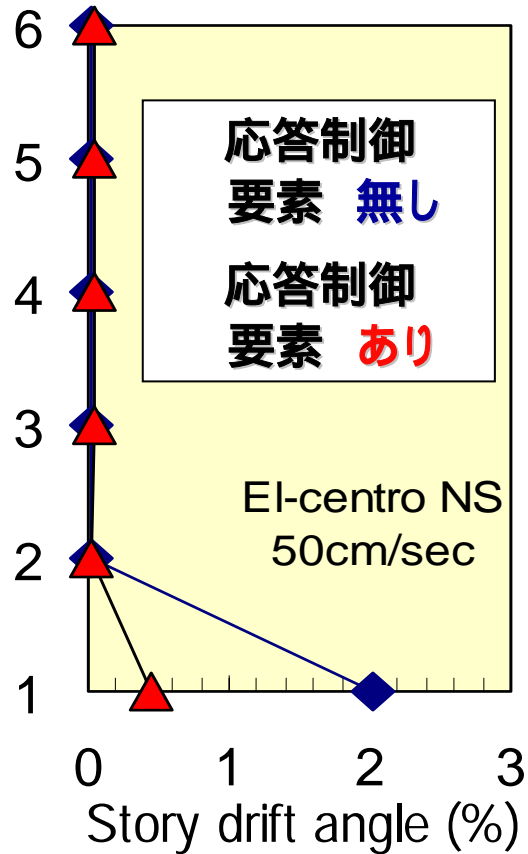
壁



応答制御要素

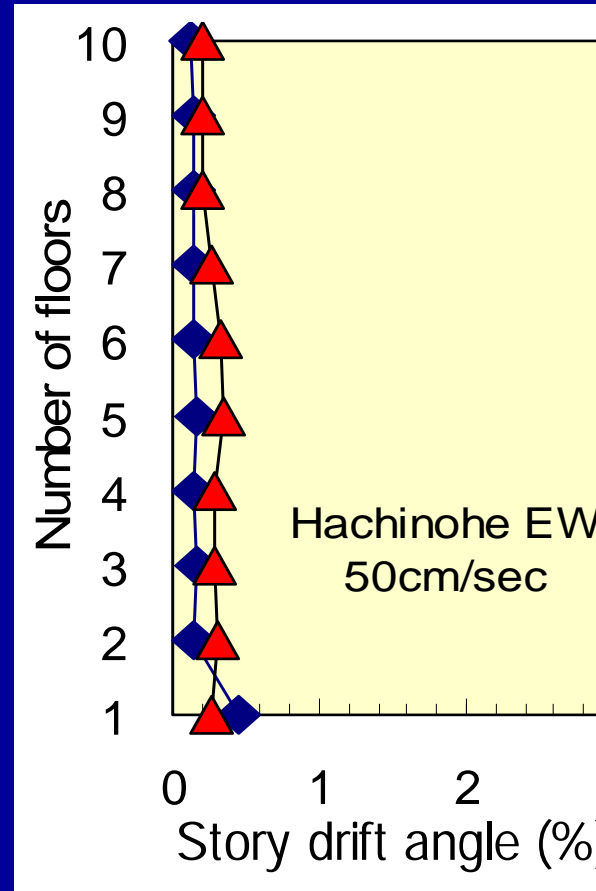
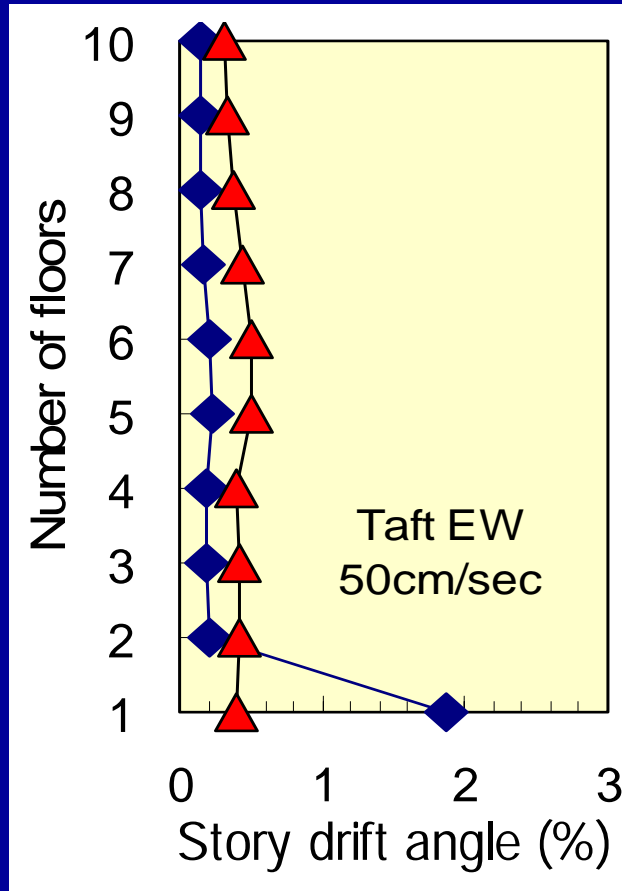
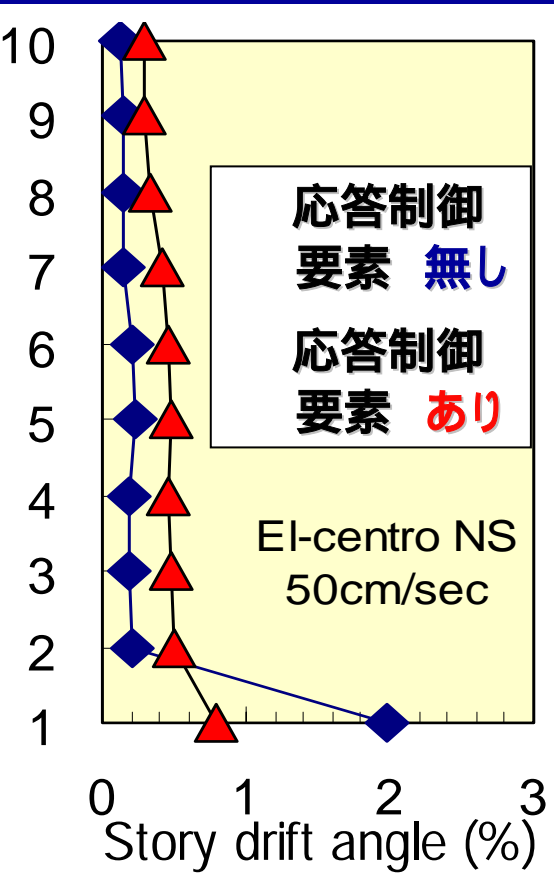


# 解析結果 (6層建物)



(地震の規模は50cm/secに基準化)

# 解析結果 (10層建物)



(地震の規模は50cm/secに基準化)

# 応答制御要素単体の構造実験



配筋状況

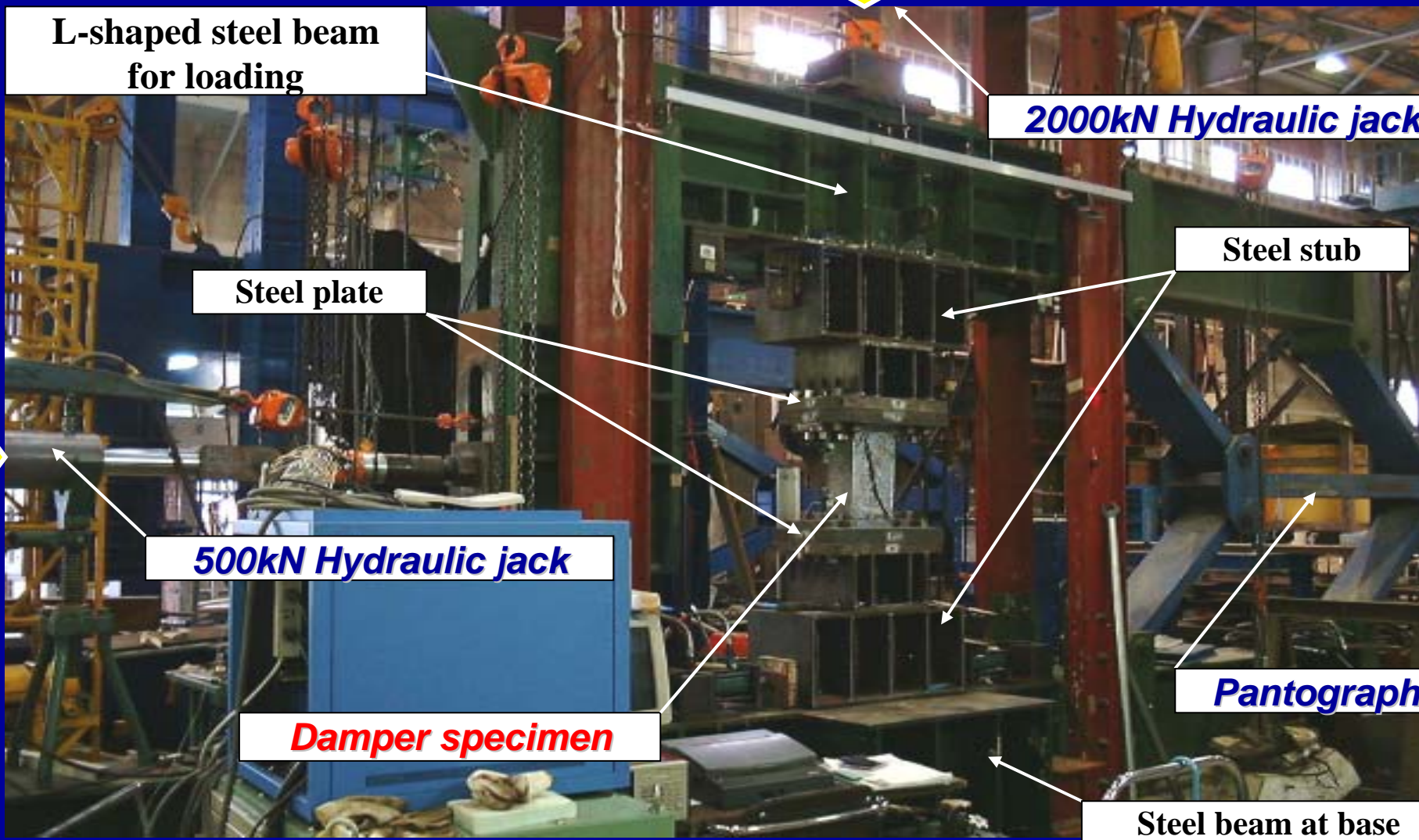
- **目的**

高靱性コンクリートによる応答制御要素の実現可能性を調べる

- **試験体**

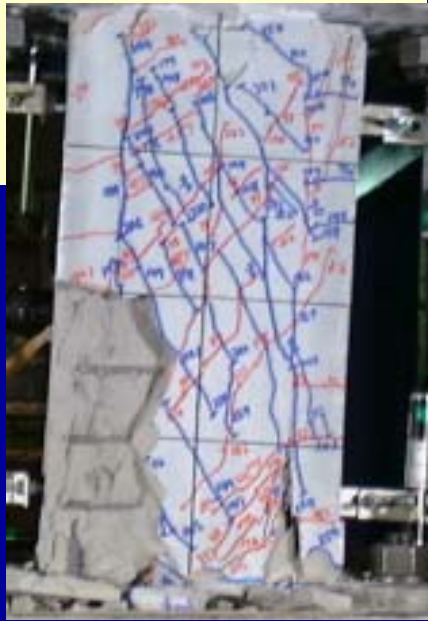
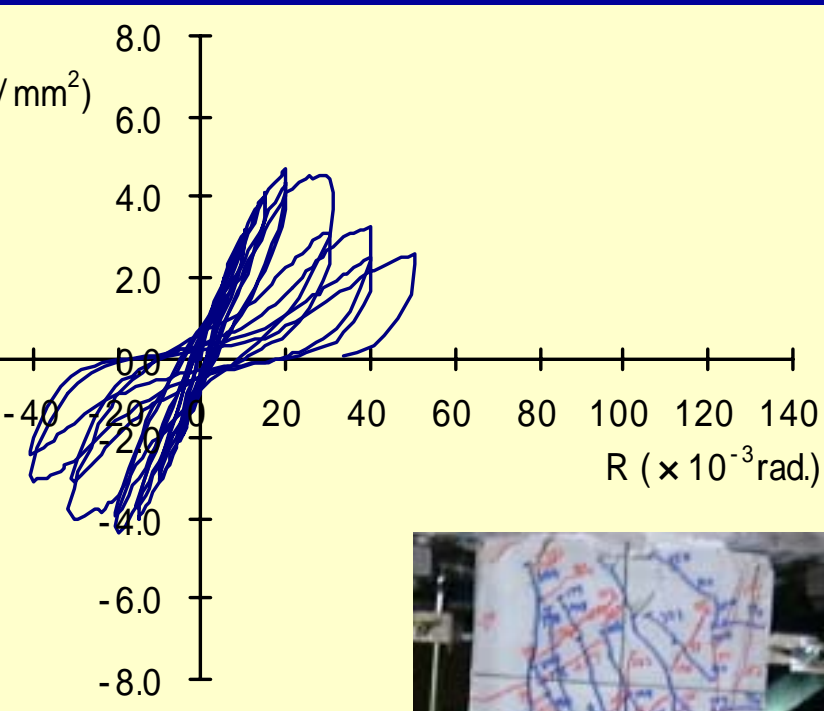
- 断面 : 150 × 200 mm
- 高さ : 400 mm
- 主筋 : 4-D13
- 帯筋 : D6@50

# 載荷裝置



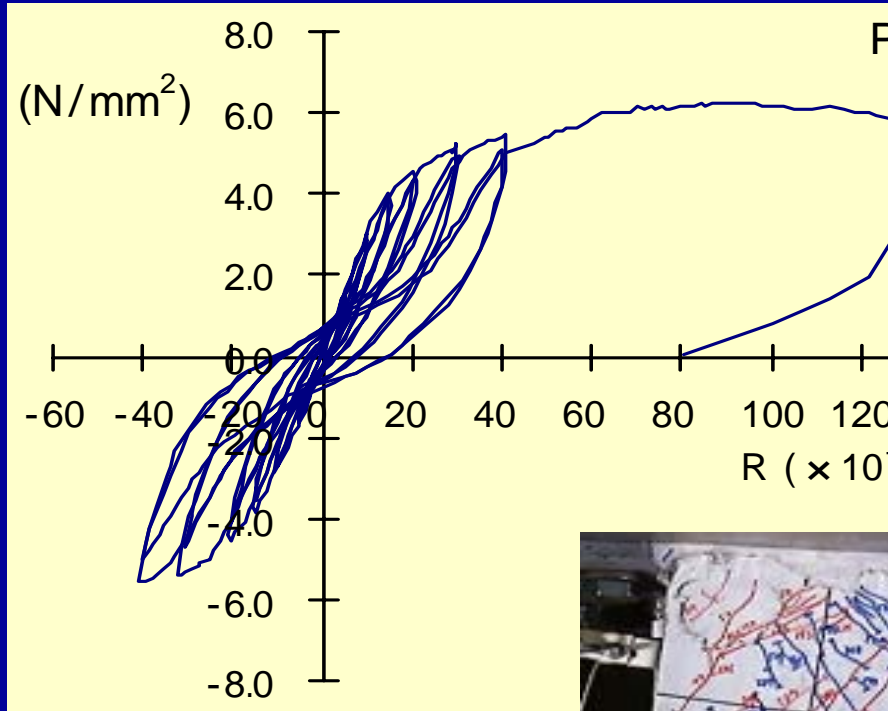


# 応答制御要素の性能



タル + 鉄筋

途中で大きく破壊  
抵抗力が低下した。  
性能は小さい



高靱性コンクリート + 鉄筋

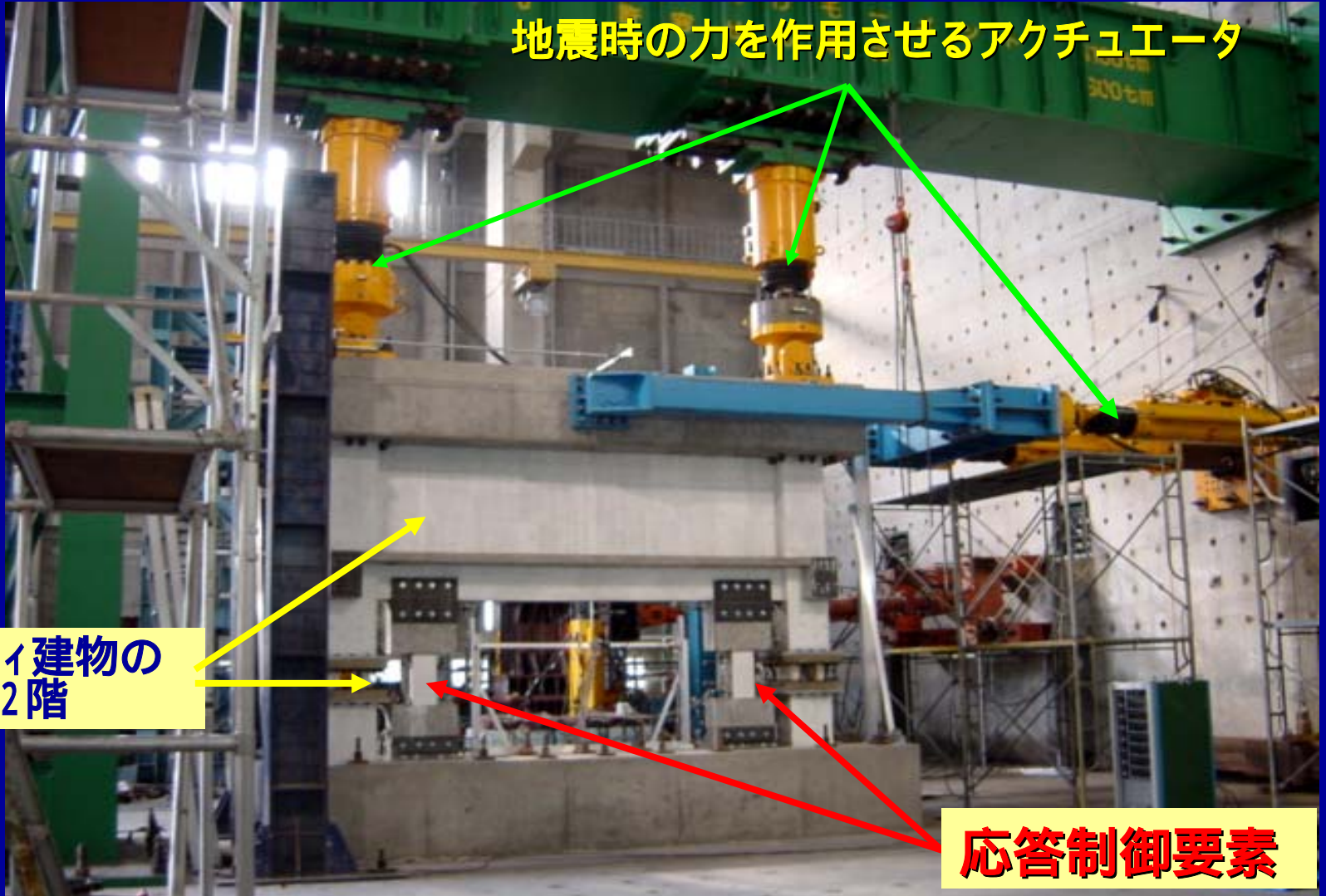
実験では12%という大変形  
まで破壊しなかったため、そ  
こで実験を終了させた。

# 性能確認実験

地震時の力を作用させるアクチュエータ

ピロティ建物の  
1階と2階

応答制御要素



# 2階床での応答変位の時刻歴 (実験と解析の比較)

**技術の有効性を  
確認!**

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4  
Time (sec)

— analysis (without Damping)  
— analysis (with Damping)  
— experiment (with Damping)



# 高靱性コンクリートの適用例

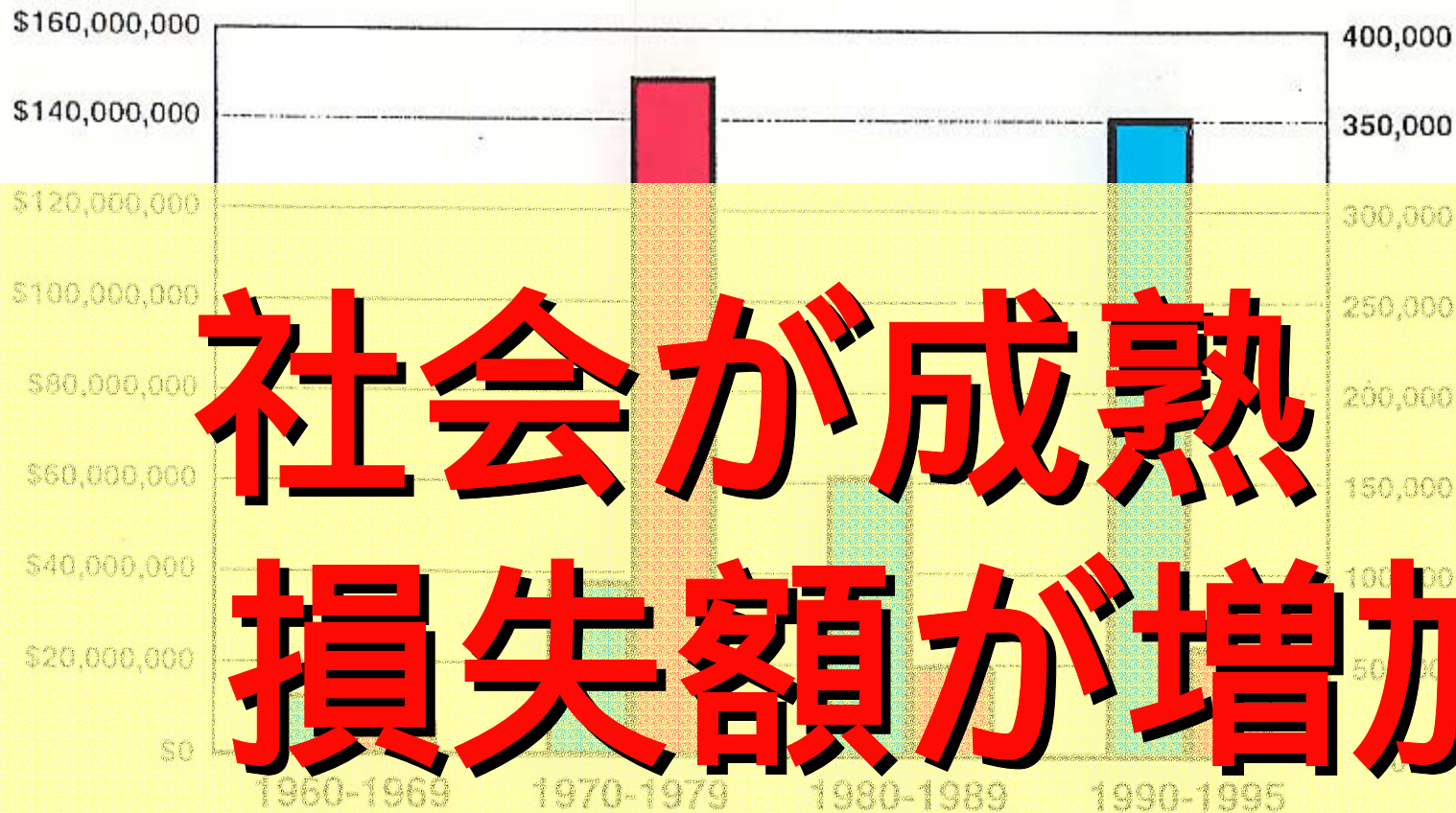
損傷制御に有効な  
技術のひとつ！

自己損傷低減要素

応答制御要素



# 地震被害の推移



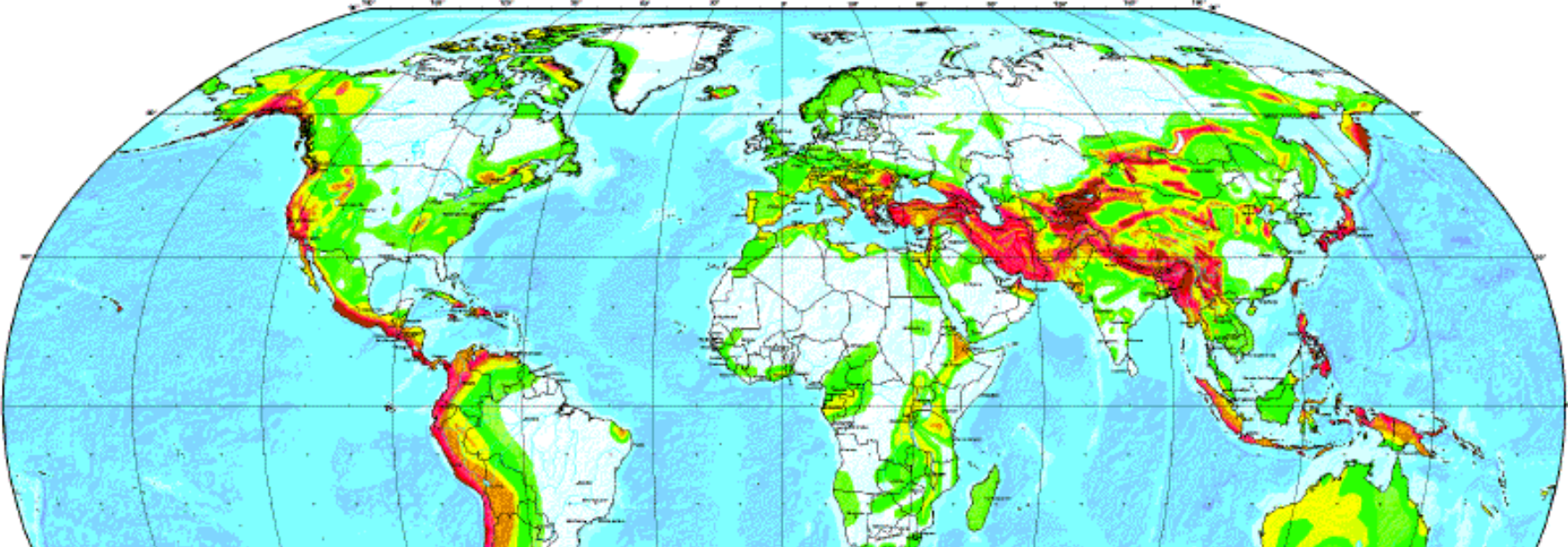
**社会が成熟  
損失額が増加**

経済的損失

人的損失

世界の地震被害軽減のために

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP



**安全は当然!**  
**安心が必要!**

**損傷制御技術の実用化!**

# その他の利用





# 中国にて







**Thank you !**

**Building Research Institute**