

被災建造物の補修補強後の耐力変形状研究委員会

<http://rc.arch.cst.nihon-u.ac.jp/TC/index.html>

- 委員長 白井 伸明 (日本大学)
副委員長 中村 光 (名古屋大学)
幹事 北山 和宏 (東京都立大学)
幹事 衣笠 秀行 (東京理科大学)
幹事 小林 薫 (東日本旅客鉄道)
伊藤 睦 (中部大学)
岡野 素之 (大林組)
河野 進 (京都大学)
斉藤 成彦 (山梨大学)
鈴木 計夫 (福井工業大学)
宗 栄一 (ショーボンド建設)
滝本 和志 (清水建設)
田才 晃 (横浜国立大学)
田嶋 和樹 (日本大学)
牧 剛史 (埼玉大学)
向井 智久 (建築研究所)



本委員会の目的は、「**復旧性能を明確にした耐震設計法**」を構築することである。このために必要となる5つ検討事項に基づいて、**3つのWG**を発足した。

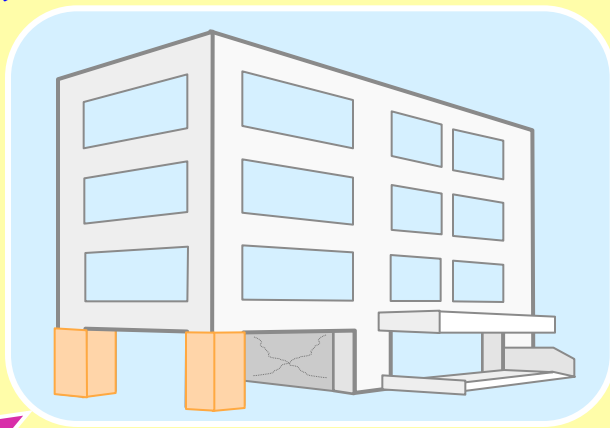
本委員会におけるWGの位置づけは下図のとおりである。

本委員会はFSであることから、本年度は ①復旧性能を明確にした耐震設計法の大きな枠組みの議論、②実務的な補修・補強に関する情報収集および整理 を行なった。これらの成果は、次年度以降の活動の方向を示す指針である。

補修・補強後の性能評価 WG

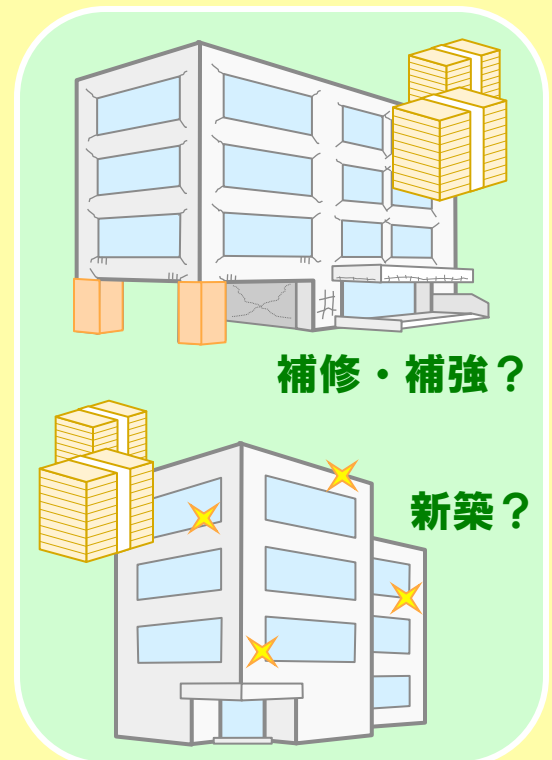
補修・補強後の建造物が所定の性能を回復しているかを判断

- ・補修補強の方法
- ・補修補強後の性能評価



復旧性能を考慮した耐震設計法 WG

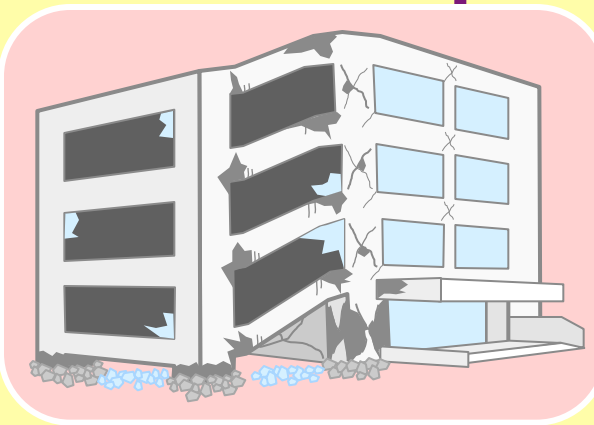
建造物の残りの供用期間と性能回復に必要な費用とを勘案し、経済的に無理のない補修・補強が行なえるかどうかを確認 (復旧性能の評価)



性能
(性能とは?)

大地震

・損傷評価



- ・復旧性評価
- ・損傷度とコスト

性能低下曲線

時間

損傷評価 WG

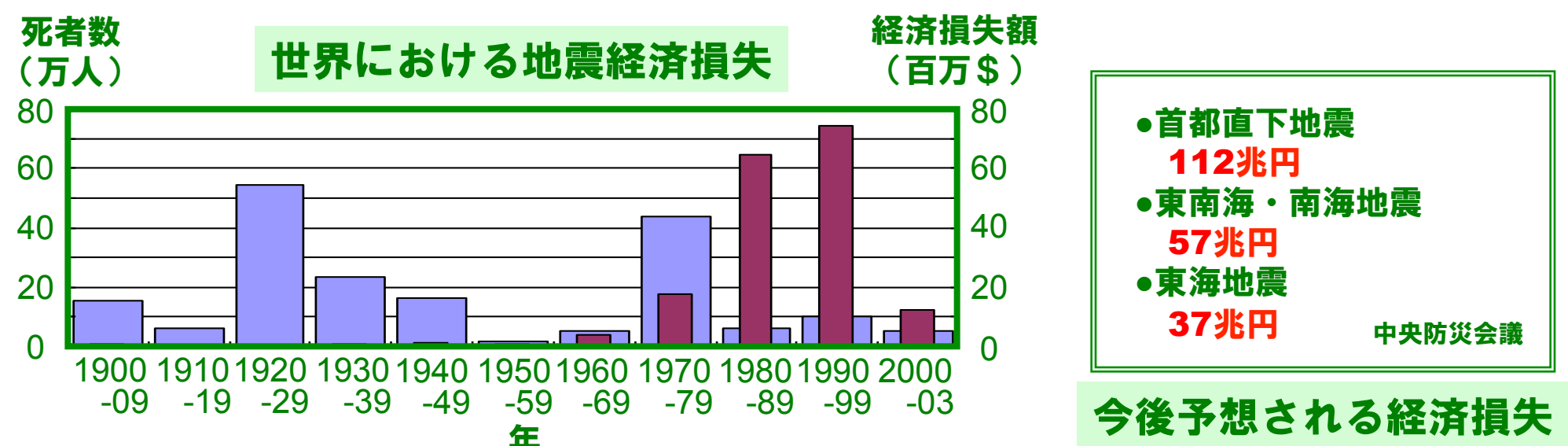
建造物にどの程度の性能低下が生じたのかを正確に把握

復旧性を考慮した耐震設計 WG

衣笠（主査）， 齊藤， 田嶋， 中村， 牧， 向井

経済性を考慮した復旧性能評価の必要性

地震による経済損失額は今後ますます増加することが予想される。復旧コストなど， 経済的観点から建造物の耐震設計法や復旧性能を見直す時期ではないか？



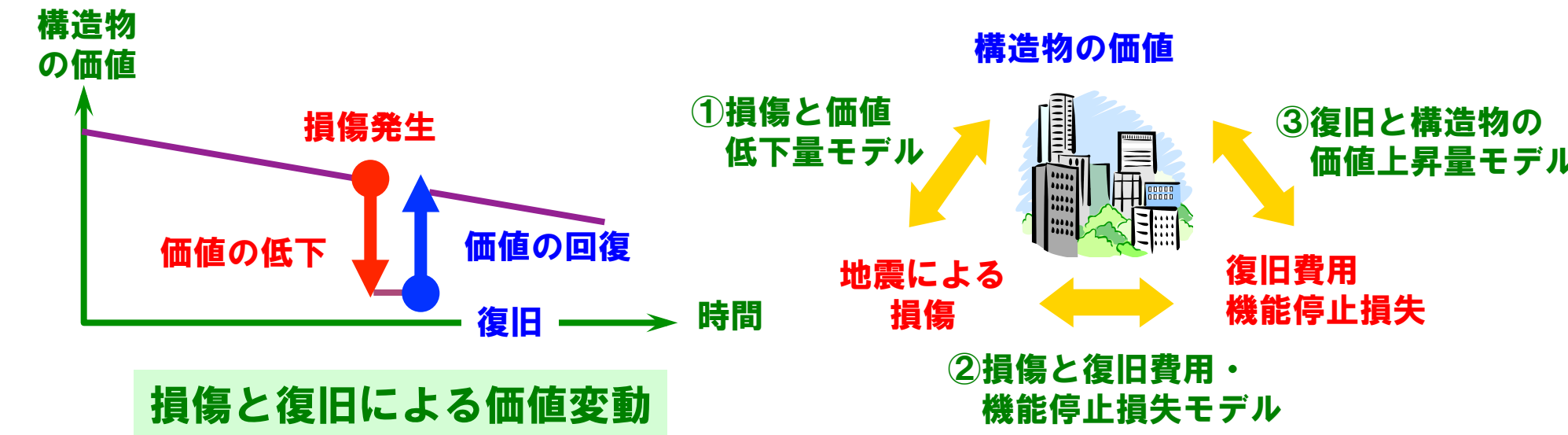
経済性を考慮した復旧性能指標

復旧性能を「地震が発生して損傷が生じた場合でも， 経済的に無理なく補修ができて， 計画供用期間を全うできる性能」と定義し， 下式によって復旧性能指標の構築を試みる。下式では， 復旧行為を建造物への投資と考え， 採算性の概念に基づき復旧性能を評価する。

$$\text{復旧性能指標} = \frac{\text{投資} / \text{利益}}{(\text{復旧コスト} + \text{機能停止損失}) / \text{復旧された建造物が生む価値}}$$

研究目標： 3つのモデルの構築

経済性を考慮した復旧性能評価を精度良く行うためには， 「建造物の価値」， 「地震による損傷」， 「復旧費用・機能停止損失」の相互の関係を明らかにすることが必要である。



今後の活動項目

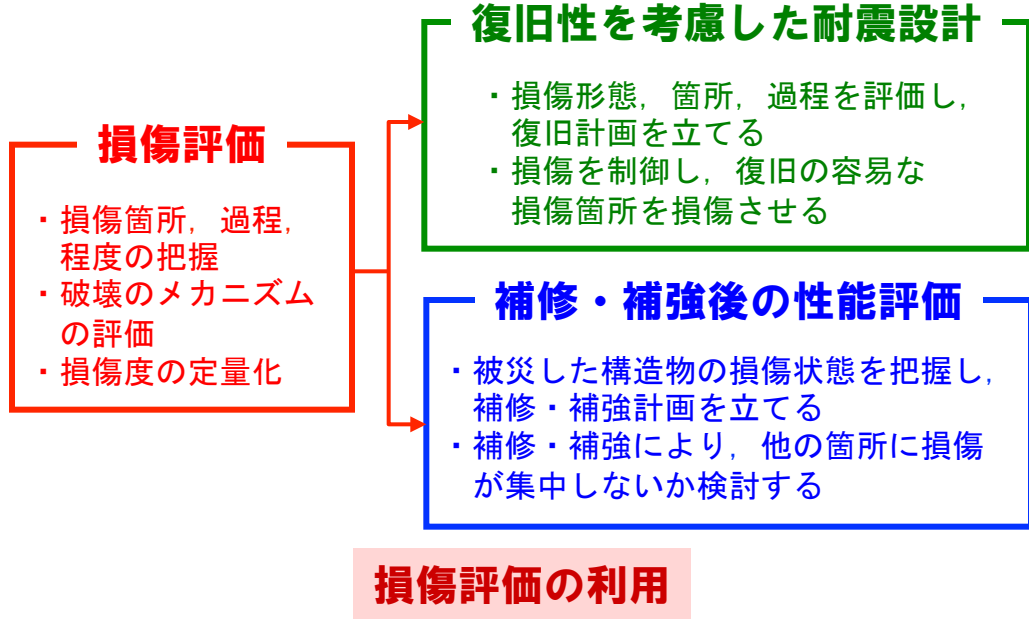
1. 損傷と復旧費用・機能停止損失の関係に関する調査・研究（上図②について）
損傷度と復旧費用， 機能停止損失の関係は？ 損傷部位による復旧費用， 機能停止損失の違いは？
2. 建造物の経済的価値に関する調査研究（上図①， ③について）
建造物の経済的価値の社会的な評価は？ 地震による価値の低下や価値の回復の評価は？

損傷評価 WG

北山（主査）、伊藤、岡野、河野、斉藤、田才、田嶋

損傷評価を行なう目的と必要性

1. 損傷評価を行なうことにより、想定外乱に対する性能を損傷指標によって工学量として示し、外乱後における建造物の残存性能を評価可能な体系を構築する。
2. 被災後の早期に復旧を要する建造物に対しては、損傷制御という観点から、想定地震に対する建造物の応答量と損傷度の評価を行なう。

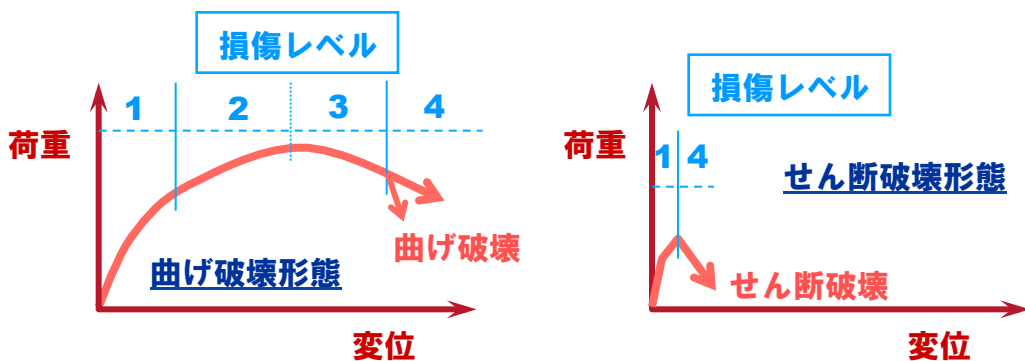


損傷に関する物理量

損傷のレベル	損傷に関する物理量	情報の利用
材料	ひび割れ（曲げ、せん断）	耐久性評価、補修計画
	コンクリートの圧壊	部材の終局状態
	主鉄筋の降伏	損傷の開始
	主鉄筋の座屈・破断	部材の終局状態、復旧性
	せん断補強筋の降伏	せん断耐力の低下
部材	残存剛性（剛性低下）	
	曲げ降伏（塑性ヒンジ）	
	せん断破壊	部材の崩壊
	荷重－変位関係（部材角、断面力）	損傷状態の段階的な表現
層・全体系	塑性率（靱性率）	
	荷重－変位関係	建造物の性能
	最大応答変位	
	残留変形	復旧性能

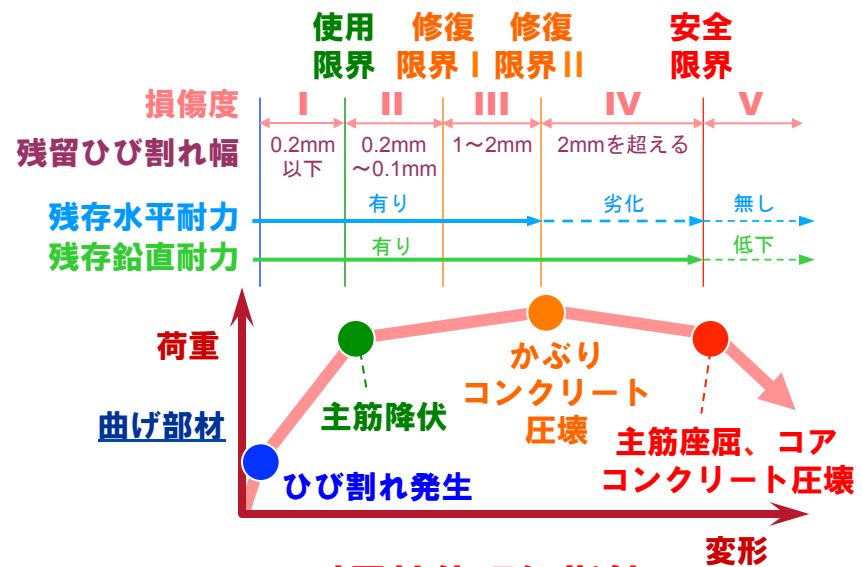
損傷評価の現状と到達点

鉄道標準（コンクリート建造物）

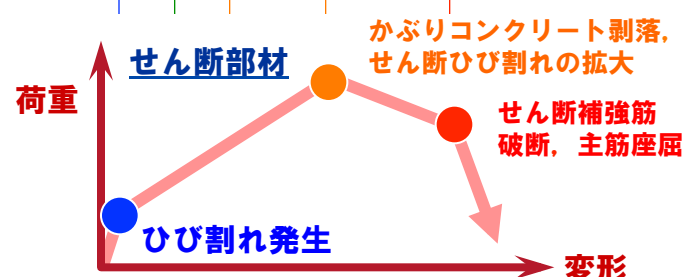
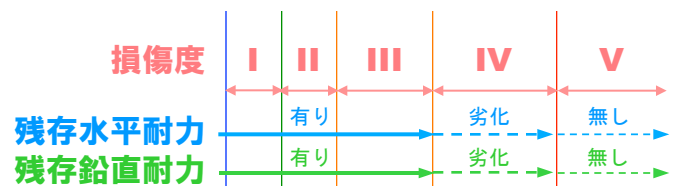


損傷レベル	損傷状態	補修工法のイメージ
損傷レベル1	無損傷	無補修（必要により耐久性上の配慮）
損傷レベル2	場所によっては補修が必要な損傷	必要によりひび割れ注入、断面修復
損傷レベル3	補修が必要な損傷	・ ひび割れ注入、断面修復 ・ 必要により帯鉄筋当の整正
損傷レベル4	補修が必要な損傷で、場合によっては部材の取替えが必要な損傷	・ ひび割れ注入、断面修復、帯鉄筋の整正 ・ 軸方向鉄筋、PC鋼材の変形が著しい場合は、部材の取替え

土木分野における部材の損傷の捉え方



AIJ耐震性能評価指針



被災度区分判定基準

建築分野における部材の損傷の捉え方

今後の活動項目：損傷評価の先に向かって

1. 損傷評価のアプリケーションとしての利用法
2. 部材および建造物全体の限界状態の設定
3. 損傷制御型設計法の開発
4. 被災した建造物の残存性能の予測と評価
5. 耐震補強した建造物の性能評価

補修・補強後性能評価 WG

小林（主査）、伊藤、鈴木、宗、滝本、田嶋

WGの目的：復旧後の建造物の耐震性能評価

復旧性を指標とした性能評価(照査)型設計をより高度に発展させるために、復旧後の建造物の耐震性能評価が可能となる検討手法の構築を目指す。

耐震性能1: 地震後にも補修せずに機能を保持でき、かつ(L1地震動) 過大な変位を生じない

耐震性能2: 地震後に補修を必要とするが、早期に機能が(L2地震動) 回復できる

耐震性能3: 地震によって建造物全体系が崩壊しない(L2地震動)

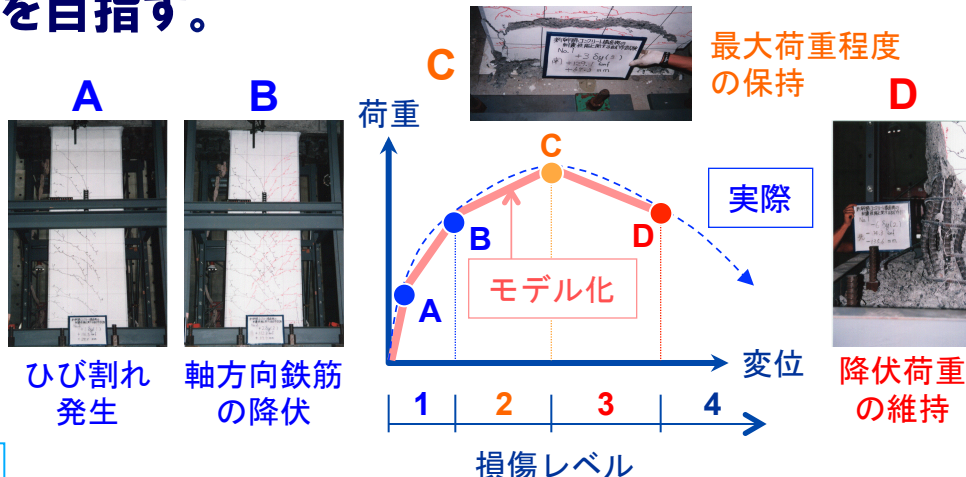
建造物の耐震性能

部材の損傷を制限

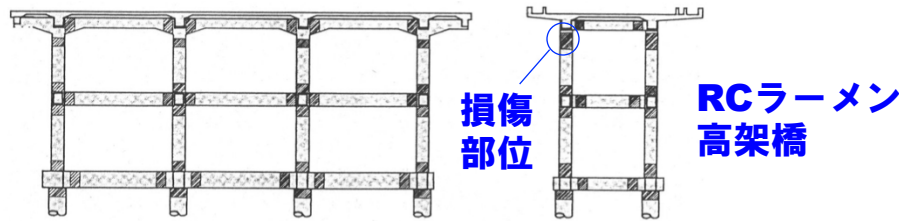
- 損傷レベル1: 無損傷
- 損傷レベル2: 場合によっては補修が必要な損傷
- 損傷レベル3: 補修が必要な損傷
- 損傷レベル4: 補修が必要で、場合によっては部材の取替えが必要な損傷

基礎の安定レベル確保

- 安定レベル1: 無損傷(作用荷重が降伏支持力以下)
- 安定レベル2: 場合によっては補修が必要な損傷
- 安定レベル3: 補修が必要で、場合によっては建造物の矯正等が必要な損傷



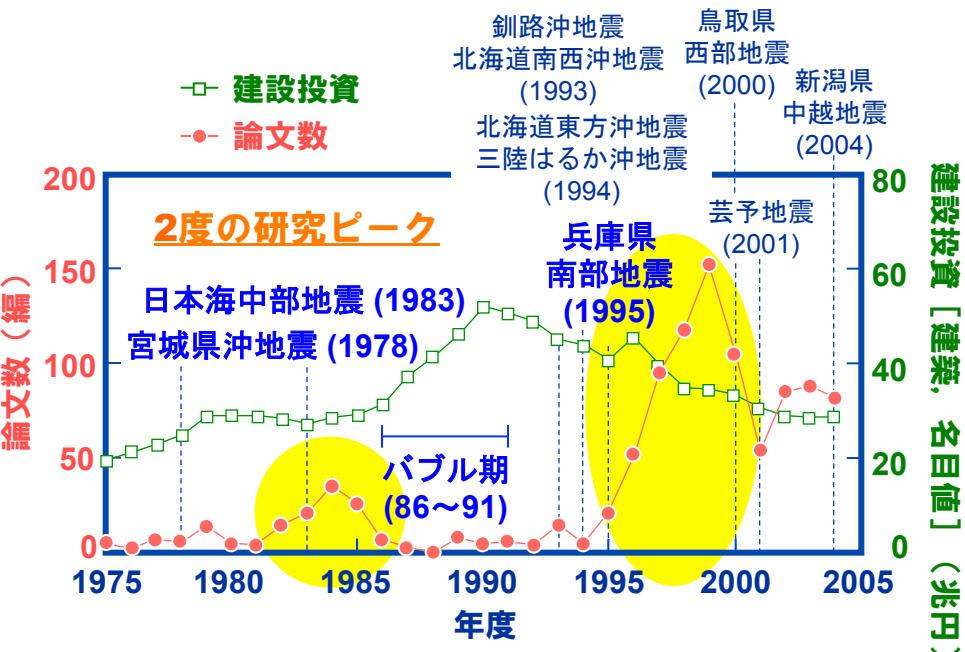
部材の損傷レベル (RC部材)



建造物の耐震性能	I	II	III	
部材の損傷レベル	上層梁・地中梁	1	2	3
	その他の梁	1	3	4
	柱	1	3	3
基礎の安定レベル	1	2	3	

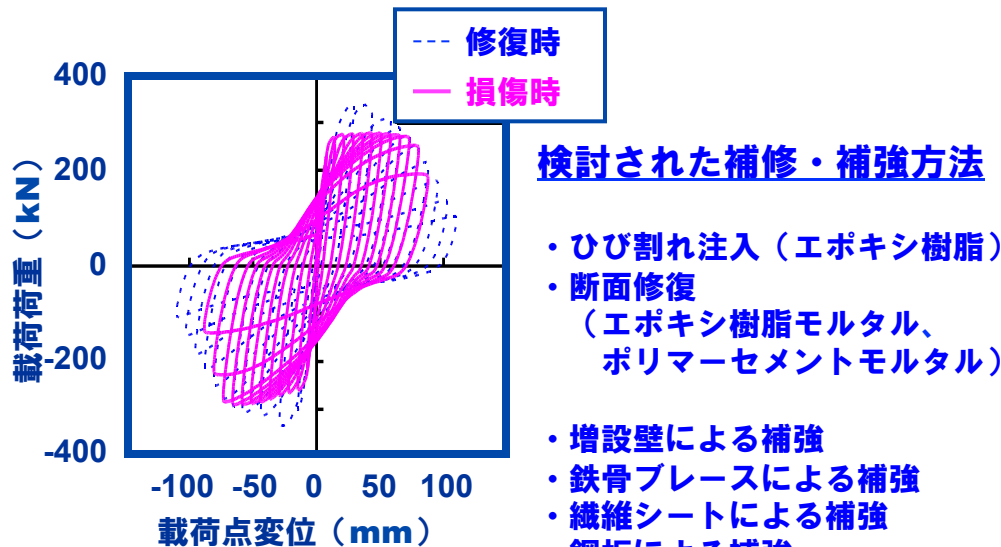
鉄道建造物等設計標準・同解説 耐震設計 (H11.10)

既往の研究事例の調査結果



RC造建物の補修・補強に関する研究論文数の年度別推移

要求耐震性能と部材の損傷レベル・基礎の安定レベルの例



検討された補修・補強方法

- ひび割れ注入 (エポキシ樹脂)
- 断面修復 (エポキシ樹脂モルタル、ポリマーセメントモルタル)
- 増設壁による補強
- 鉄骨ブレースによる補強
- 繊維シートによる補強
- 鋼板による補強
- 制震ブレースによる補強

損傷後補修した実験例

今後の活動項目

- 各種補修・補強工法における性能向上効果に寄与する力学的要因分析
補修後の部材性能評価の力学的性能指標例
(剛性, 耐力, 変形性能, 破壊モード, 損傷レベル, エネルギー吸収性能, 等価粘性減衰定数)
- 補修・補強後の建造物における性能評価指標の検討
性能評価を行うための力学的性能指標の構築
- 補修・補強後の建造物挙動に関する数値解析的検討
補修効果に関する実験のシミュレーション → 右写真参照
- 補修・補強後建造物の性能評価手法の確立に向けた検討

