

# 耐震診断法の高度化に 関する検討

平成22年4月15日

(財)日本建築防災協会

# 検討の目的

## ◆ 目的

現行の耐震改修促進法で認められている耐震診断基準では診断に適していないか、もしくは、より高度は診断をするべき建築物の耐震性能を適切に評価できる診断法の開発

## ◆ 検討内容

1. 鉄筋コンクリート造建築物の非線形時刻歴応答解析等の非線形詳細解析による診断法の検討
2. 鉄骨造体育館に対する三次元非線形時刻歴応答解析による診断法の検討
3. 木造建築物に対する一般診断法と精密診断法の評価法の検証

# 検討体制

主として(財)日本建築防災協会の中に、本委員会と3つの部会を設置して検討を行った。(独)建築研究所の技術指導のもとに実施)

## (1)本委員会

・委員長：壁谷沢寿海(東京大学) 他 9名

## (2)部会

- ①鉄筋コンクリート部会                   :  部会長:中埜良昭(東京大学)    他 8名
- ②鉄骨造部会                               :  部会長:山田哲(東京工業大学)  他 6名
- ③木造部会                                   :  部会長:腰原幹雄(東京大学)    他 10名

# 2009年度 研究のアプローチ

## ◆検討対象:

既存(1981年以前の設計)の中低層RC造(PCa造を含む)建物

## ◆高度化の効果の対象:

(Ⅰ) 現行の耐震診断手法(第1次~3次)そのものの高度化

(Ⅱ) 将来の耐震診断手法(第4次:静的非線形立体解析, 第5次:動的非線形立体解析)の開発(評価手法の高度化)

※(Ⅱ)に主眼を置きつつも, その評価手法や判断基準が明確でないために曖昧になりがちな現行診断手法に潜在する問題点(後述の◎項目)を解決することにより, (Ⅰ)に直接的に寄与することも並行して検討

テーマ: ①破壊モード推定の高精度化 / ②せん断柱部材を含む部分架構の水平・鉛直抵抗機構の解明 / ③耐力劣化部材を含む架構の非線形解析手法の高度化 / ④構造特性に基づく修復性能評価 / ⑤平面的不整形建物の剛床仮定成立限界 / ⑥WPC壁部材の耐震性能評価 / ⑦海外の診断手法の文献調査

①破壊モード推定の高精度化(推定vs. 実現象)⇒  
(Ⅰ)(Ⅱ)

- ✓ 部材, (部分・全体)架構の破壊モードの不整合の解消
- ✓ 梁の拘束による軸力作用, 腰壁やスラブの梁に対する影響程度などを考慮したパラメトリックスタディ

⇒地震応答時には梁耐力がその上限耐力付近に達することにより柱先行降伏メカニズムを形成していると考えられることから, これを解析的に再現しうる曲げ耐力の上昇に寄与する梁軸力の推定手法を提案した。

②せん断柱部材を含む部分架構の載荷実験⇒(Ⅰ)  
(Ⅱ)

- ✓ せん断柱部材を含む部分架構の水平および鉛直抵抗機構の解明を目的とした載荷実験を計画し, その試験体を設計・製作した。

### ③耐力劣化部材を含む架構の非線形解析手法の高度化⇒(Ⅱ)

✓ 柱および梁の耐力劣化の有無をパラメータとして、耐力劣化型履歴モデルの構築、等価1自由度系縮約手法および静的漸増解析手法による耐力曲線の作成、等価減衰評価

⇒ 耐力劣化が下層部に集中する場合、縮約した履歴特性は外力分布形の影響を受けにくいこと、柱のみに耐力劣化モデルを適用した場合の応答予測精度は低下すること、など解析手法の可能性と限界点を明らかにした。

### ④構造特性に基づく修復性能⇒(Ⅱ)

⇒ 地震時の修復費用や修復時間を相対的評価する修復性能指標 $I_D$ の算出を目的に、修復難易度を重み付けする手法を提案

## ⑤ 平面的不整形建物の剛床仮定成立限界⇒ (I)

- ✓ L型平面建物の主体部と突出部の間に設けられた接続スラブの剛性が建物全体の並進振動性状に与える影響を検討
- ⇒ 接続スラブの剛床時に対する非剛床時の耐震性能推定式を静的な力のつりあいに基づき定式化し、地震応答解析結果と比較することでその適用可能性を示した

## ⑥ WPC壁部材の耐震性能評価⇒ (I)

- ✓ WPC耐震壁の静的載荷実験結果に基づき破壊メカニズムと耐震性能の評価を検討
- ⇒ 現行のWPC構造耐震診断手法による評価は無開口耐震壁の実験値を、耐力については過小評価し、また変形限界は過大評価するため、評価手法に再考の余地があることを示した

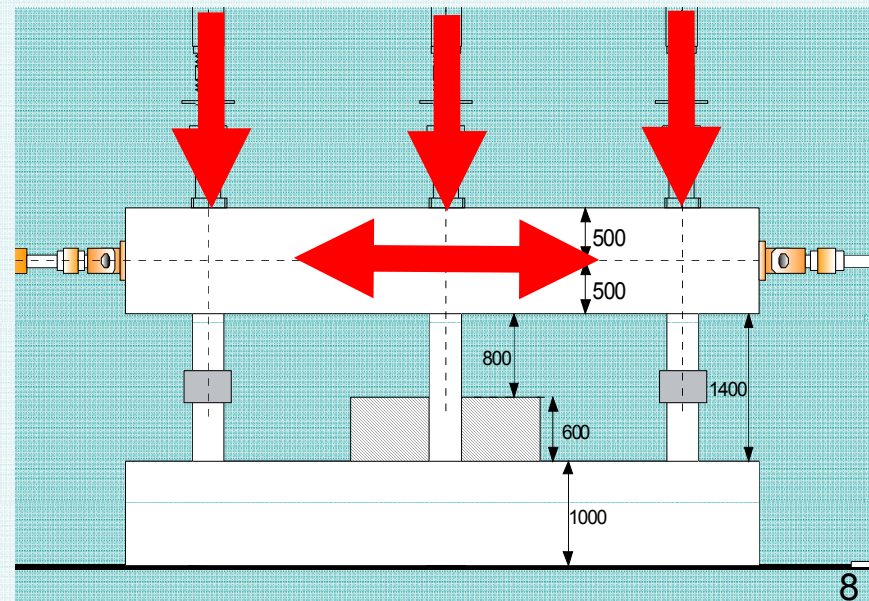
## 今後の予定

### ①破壊モード推定の高精度化(推定vs. 実現象)⇒(Ⅰ)(Ⅱ)

- ✓ 梁軸力の推定手法の改善とその他の梁耐力上昇条件を考慮した解析による実被害の推定精度改善とその検証

### ②せん断柱部材を含む部分架構の載荷実験⇒(Ⅰ)(Ⅱ)

- ✓ ぜい性部材を含む部分架構の載荷実験を実施し、ぜい性部材破壊後の柱の水平・鉛直応力負担変動と損傷の関係を残存耐震性能や部材間の軸力負担の変化を含め明らかにする
- ✓ 高次耐震診断手法に組み込める、ぜい性部材を含む架構の復元力特性の提示





## 今後の予定

### ③耐力劣化部材を含む架構の非線形解析手法の高度化

- ✓ 柱の曲げ・せん断ばねの耐力劣化による不釣合い力解除アルゴリズムの確立
- ✓ 耐力劣化開始前後における適切な載荷外力分布形状の検討

### ④構造特性に基づく修復性能⇒ (Ⅱ)

- ✓ 既往の実験結果等との比較を通じた提案損傷評価モデルの改善

### ⑤平面的不整形建物の剛床仮定成立限界⇒ (Ⅰ)

- ✓ 対象建物の平面的不整形程度, 基本振動特性(固有周期等), 接続スラブの非線形性, ねじれ振動の影響等を考慮した検討と提案した推定手法の適用性の検証・拡張

### ⑥WPC壁部材の耐震性能評価⇒ (Ⅰ)

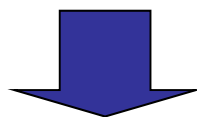
- ✓ 有開口壁の破壊メカニズムの解明を含む, 現行WPC構造耐震診断手法の改善案の提示

# 鉄骨造体育館の三次元非線形時刻歴応答解析 による診断法

## 背景と目的

- 鉄骨造体育館は剛床仮定が成り立たない場合が多く、ゾーニングを行い、2次元の構造解析による構面毎の診断が行われているが、この方法で地震時に立体的に挙動する体育館の耐震性能が適切に評価できているかは不明であり、大きな問題である。
- 現在では解析技術の進歩により、三次元の非線形時刻歴応答解析が比較的容易に行えるようになってきており、体育館は被災時に避難所として建物の機能を保持するために高い耐震性能が要求させるべきであることから、地震時における弾塑性挙動を精度よく予測できる高度な診断法として三次元非線形時刻歴応答解析を活用するための検討を行う。

## 平成20年度

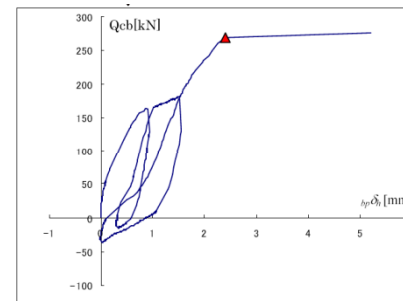


- 三次元非線形時刻歴応答解析を、地震時における弾塑性挙動を精度よく予測できる高度な診断法として活用するための検討準備作業として、鉄骨造体育館に関する被害事例に関する情報収集と、耐震診断の行われた体育館に関する資料調査を進め、鉄骨造体育館に関する構造上の問題点の抽出とデータベースの構築に着手した。

# 鉄骨造体育館の三次元非線形時刻歴応答解析による診断法

平成21年度の成果

- 被害事例、耐震診断資料の分析の結果、ブレースや柱脚といった耐震要素の接合部に問題点が多いだけでなく、耐力の評価法が曖昧であり、**診断時の評価だけでなく、補強設計時にも問題となる**ことがわかった。
- 引張ブレース接合部、ブレース付柱脚の耐力評価の実験研究を行い、体育館の耐震性能評価ならびに補強設計のための資料を得た。



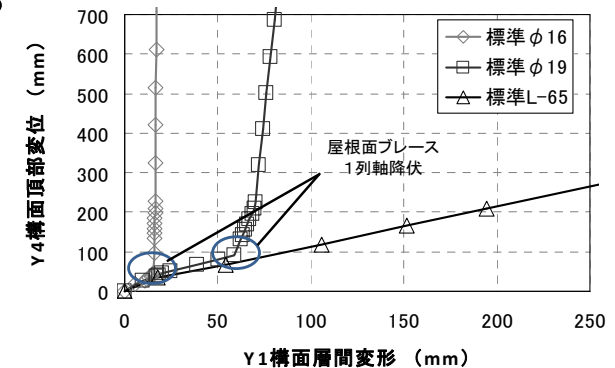
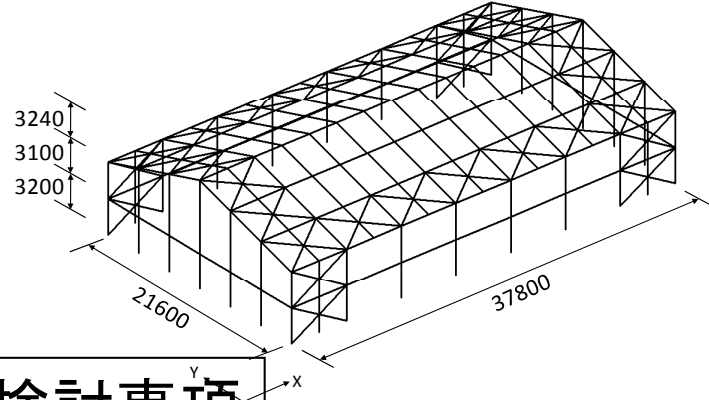
▲: 側方破壊発生



# 鉄骨造体育館の三次元非線形時刻歴応答解析による診断法

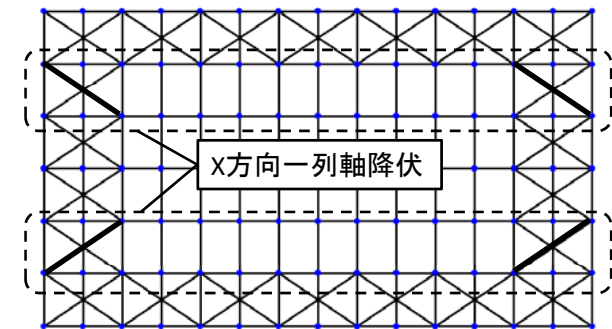
## 平成21年度の成果

- 汎用構造解析プログラム(NTTデータ、Sein La Crea, La Dans)による3次元非線形解析に着手し、1階建て鉄骨造体育館(Sタイプ)を対象として、**屋根面ブレースの配置及び断面をパラメータとした弾塑性解析を行い、屋根面の変形について定量的な検討を行った。**



## 平成22年度の検討事項

これまでに明らかにした**構造要素の性能を反映した3次元非線形応答解析**を進め、剛床仮定が成立しない体育館の耐震性能評価法の検証を行う。



# 木造建築物に対する一般診断法と精密診断法の評価法の検証

(1)耐震診断法の精度確認

(2)木造建物の常時微動計測における  
固有振動数と耐震性能の関係

(3)木造建物の耐震要素と破壊モードの収集整理

# 耐震診断法の精度確認

## 既存の地震被害調査

木造建物の  
被害モード  
被災度の分類

2008,2009

耐震診断による  
木造建物  
耐震性能評価

2008,2009

地震観測による  
入力地震動  
の推定

2009

耐震診断による耐震性能と被災度の関係

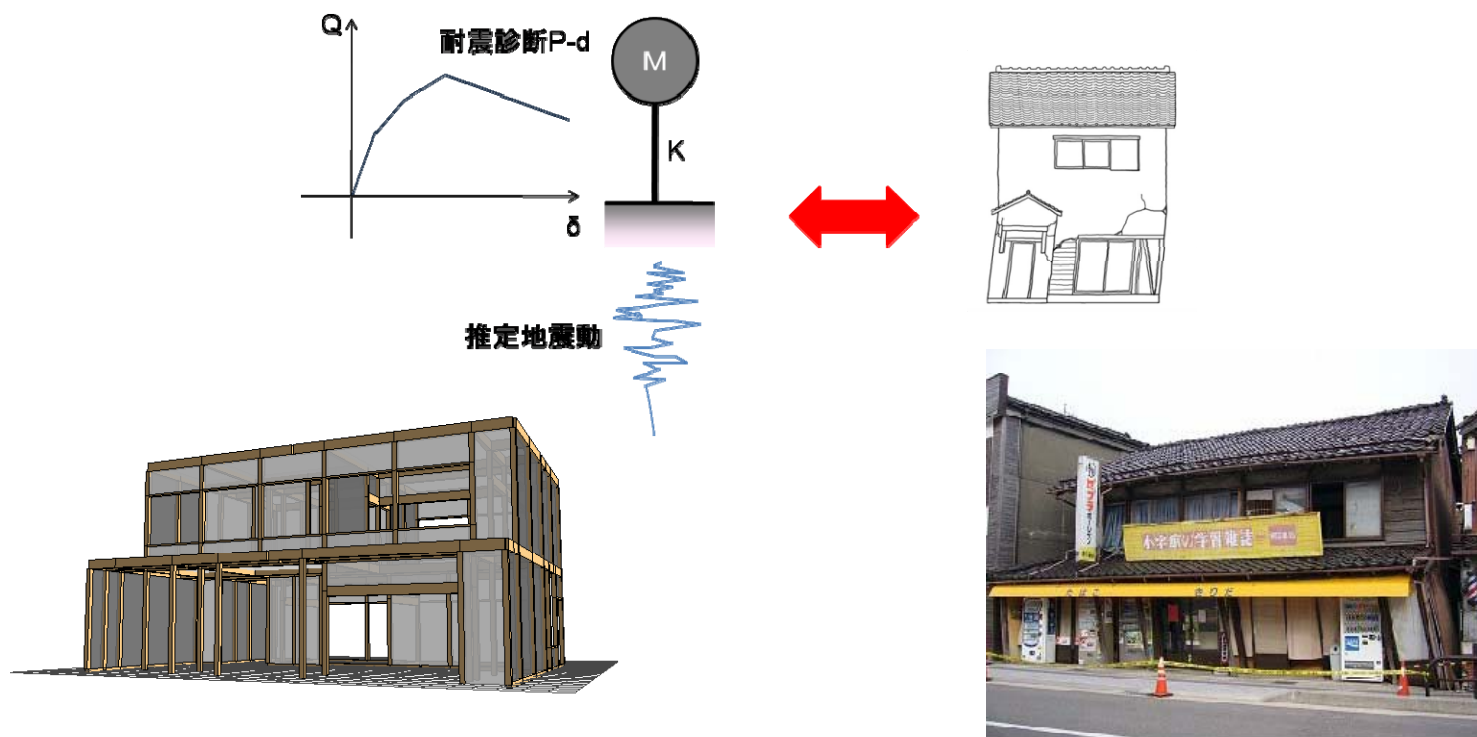
2008,2009

耐震診断法の評価方法の検証

# 耐震診断法の精度確認

## 耐震診断法の精度確認

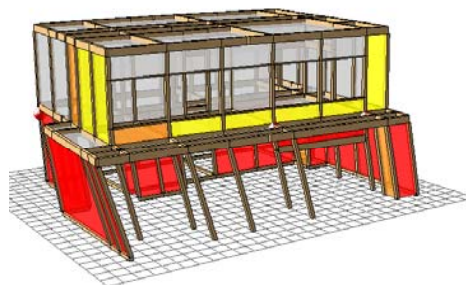
平成20年度の成果を踏まえ、入力地震動の推定が可能な地域の建物を  
選択し、現行の耐震診断法を用いて応答予測を行い。実地震の被災度  
と比較を行った。



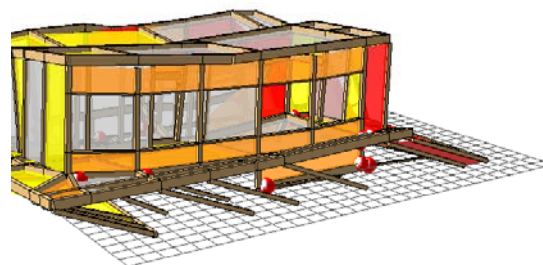
耐震診断(応答予測)

地震被害

# 耐震診断法の精度確認



W4  
耐震診断評点 X方向 0.15



## 耐震診断(応答予測)

詳細モデルによる時刻歴応答計算による地震被害推定

- ・対象敷地の地震動推定
- ・詳細モデルの作成、解析
- ・応答解析結果と地震被害の比較

解析結果は、地震被害を大きめに評価、倒壊前の柱の折損位置など破壊モードは、解析と地震被害で似た傾向を示した。

→ 各構造要素のデータ収集、精度向上を目指す。

## 地震被害



# 木造建物の破壊モード

## 現状の耐震診断法で評価できない破壊モード

### (1)破壊モード

- 1.柱頭・柱脚接合部の先行破壊(柱頭・柱脚接合部低減係数)
- 2.P- $\delta$ 効果による破壊(倒壊限界変形角)
- 3.床・屋根の先行破壊
- 4.横架材接合部の外れによる破壊
- 5.建物の移動、柱脚の踏み外し、又裂きによる破壊
- 6.柱の曲げ破壊と鉛直支持能力

### (2)耐震要素

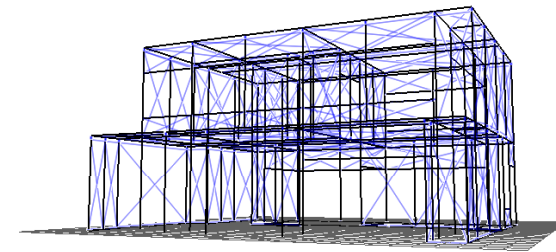
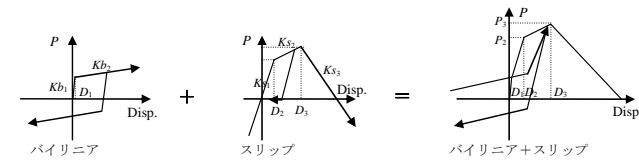
- 1.垂れ壁付き独立柱の柱曲げ破壊、垂れ壁腰壁付き独立柱の曲げ破壊
- 2.土蔵造(土壁大壁)の破壊
- 3.135角筋かい(学校建築)の評価 → 兵庫県
- 4.方杖(学校建築)の評価 → 荷重-変形部会
- 5.通し柱の評価、通し柱の曲げ破壊
- 6.浴室部のブロック壁の評価
- 7.階段のささらの効果
- 8.高さ方向(1, 2階)、幅方向の連続壁の効果
- 9.防火壁の評価(学校建築)

### (3)劣化

- 1.モルタル塗り壁の劣化による破壊
- 2.釘打ち面材壁、金物接合部の劣化による破壊
- 3.経年変化の影響測定(常時微動と荷重変形関係)

### (4)荷重、入力

- 1.入力地震動の推定 → 基準整備別委員会
- 2.積載荷重の移動
- 3.地震時積載荷重、地震時積雪荷重
- 4.積雪の地震時の挙動(積雪の落下)
- 5.柱脚・壁の浮き上がりと積載荷重による抑え込み
- 6.入力低減
- 7.防火壁の評価(学校建築)



赤字は詳細モデルでも再現できていない破壊モード  
→要素データの収集整備



常時微動計測による経年変化補正

## 木造部会 今後の課題

### (1) 詳細モデルの精度向上、信頼性向上

- ・解析によって地震被害を再現するために、耐震要素データの見直しを行い、追跡精度の向上を目指す。
- ・詳細モデルの信頼性向上のために、既往の木造住宅実大振動台実験結果などを用いて精度検証を行う。

### (2) 詳細解析モデルプラットフォームの整備

- ・詳細解析モデルをより汎用的に使用可能にするに、木造建物用解析モデルプラットフォームを作成する。
- ・木造建物の構法別の基本解析モデルを提案し、要素実験が当該モデルのどの要素を特定するかを明確にする。
- ・現在行われている多くの実験や既往の実験データの有効活用と、実験目的の明確化が可能になる。

### (3) 経年変化の実測補正

- ・既存建物の経年変化を考慮して、新築建物データを補正するための指標を検討する。