

平成20年度建築基準整備促進補助金事業報告会

耐震診断法の高度化に 関する検討

平成21年5月19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
- 建築基準法に基づき既存建築物の構造計算を行う際のコンクリートの設計基準強度の設定方法の検討

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
4. 既存コンクリートの設計基準強度の設定

検討体制

(財)日本建築防災協会の中に、本委員会と4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

鉄筋コンクリート部会 : 部会長:中埜良昭(東京大学) 他 8名

鉄骨造部会 : 部会長:山田哲(東京工業大学) 他 6名

木造部会 : 部会長:腰原幹雄(東京大学) 他 10名

既存コンクリート強度部会 : 部会長:梶田佳寛(宇都宮大学) 他 7名

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

2008年度 / 現行耐震診断手法の限界・問題点と 高度化に向けて検討すべき課題の整理

- ✓ 耐震診断結果と実被害との整合精度向上 (評価の高精度化)
 - ・部材 / (部分) 架構の破壊モード, I_s 値と被害程度
 - ・非線形解析手法にも同様の問題点が潜在
- ✓ ぜい性部材の破壊メカニズム (単独部材および周辺架構の影響を含む部材の損傷と軸力支持能力の変化) とモデル化
- ✓ 解析手法そのものの高度化 (非線形架構の適切な外力分布の設定, 不釣合い力解放) のためのアルゴリズムの整備
- ✓ 損傷評価による被災度の判定と継続使用性・復旧性の評価
- ✓ 修復性能を明示的に表現可能な指標の整備
- ✓ リスク評価と性能表示法
- ✓ ……など

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:

() 現行の耐震診断手法(第1次~3次)そのものの高度化

() 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)

() 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,() に直接的に寄与することも並行して検討

テーマ1. 解析手法とモデル化に関する解析的研究

テーマ2. 破壊機構の解明とモデル化に関する実験的研究

テーマ3. 文献調査(継続)

2009年度

1. 解析手法とモデル化に関する解析的研究(1)

◆ 破壊モード推定の高精度化(推定vs.実現象) () ()

部材, (部分・全体)架構の破壊モードの不整合
Is値の大小と被害程度の不整合

- ✓ 不整合が生じた / 十分に実被害を説明しきれない事例(兵庫県南部, 岩手・宮城内陸, 震動実験@E-Defense等)の収集(継続)
- ✓ 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

実現象をより合理的に説明しうるモデル化の方法, そのクライテリアを明らかにする

◆ 平面的不整形建物の剛床仮定成立限界 ()

突出部やくびれを有する建物の剛床はどこまで成り立つか?

- ✓ 不整形の程度, 耐震要素の配置, 床の剛性と強度等をパラメータとした立体解析 **剛床仮定(簡便解析)の適用範囲**

2009年度

1. 解析手法とモデル化に関する解析的研究(2)

◆ 耐力劣化部材を含む架構の非線形解析手法の高度化 ()

非線形化する架構の静的解析時の適切な外力分布形は？

- ✓ 非線形化に伴う振動モード変動を考慮した外力分布の設定
動的解析結果との比較

耐力劣化部材を含む架構の非線形解析手法開発に直結するアルゴリズム(静的外力分布形状の設定～不釣合い応力の解放を含む)の提示

◆ 構造特性に基づく修復性評価 ()()

崩壊以前の損傷を明示的に表現できないか？

- ✓ 修復難易度との関係も考慮しながら部材の変形レベルに応じた損傷評価(ひび割れ幅,長さ,欠損など)を定量化

構造要素の部材レベルの損傷から架構の修復性能を評価するための手法を検討する

2009年度

2. 破壊機構の解明とモデル化に関する実験的研究

◆ ぜい性部材を含む架構の水平・鉛直抵抗機構の解明 () ()

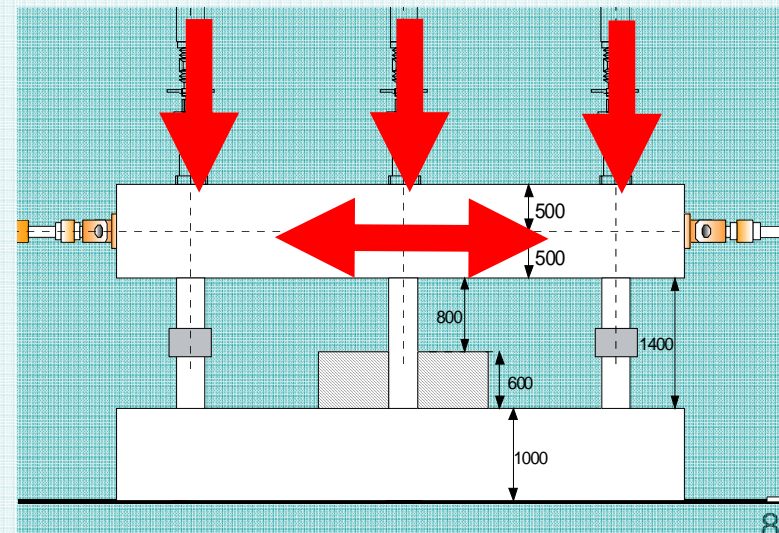
周辺架構の軸力伝達機構を含めたぜい性部材の復元力特性のモデル化はまだ提案されていない

- ✓ 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を提示する

パラメータ

- ・梁の強度・剛性
- ・直交部材の有無
- ・せん断余裕度
- ・導入軸力レベル
-など



2009年度

2. 破壊機構の解明とモデル化に関する実験的研究

◆ WPC部材の強度と変形性能評価 () ()

既存のWPC診断基準は保守的な性能評価

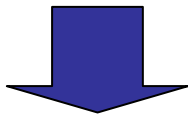
- ✓ WPC構造壁あるいは床スラブ部材(機能改修も念頭に置いた開口設置後の部材を含む)の載荷実験

WPC部材の「真」の強度と変形能を実験的に解明する

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、地震時に立体的に挙動する体育館が適切にモデル化できているかという点が問題である。
- 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たことから、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活用するための検討を行う。



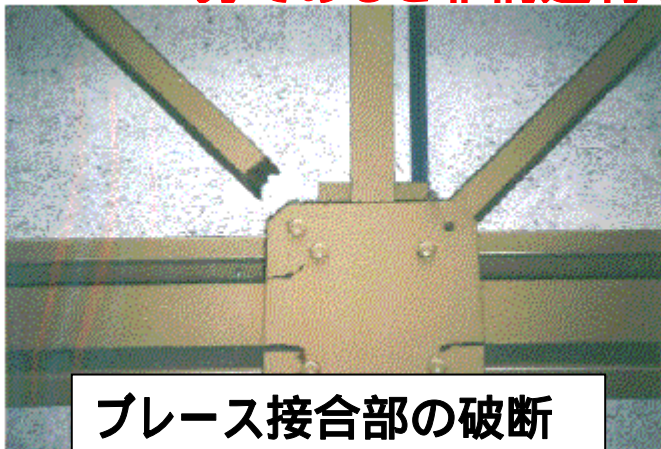
まず対象である鉄骨造体育館の耐震上の問題点等を整理

- 鉄骨造体育館に関する地震被害事例のデータベースを構築した。
- 鉄骨造体育館に関する耐震診断資料のデータベースを構築した。
- データを分析し、鉄骨造体育館における耐震上の問題点と、精度の高い非線形応答解析を行う上での課題を抽出した。

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

鉄骨造体育館に関する地震被害事例の分析

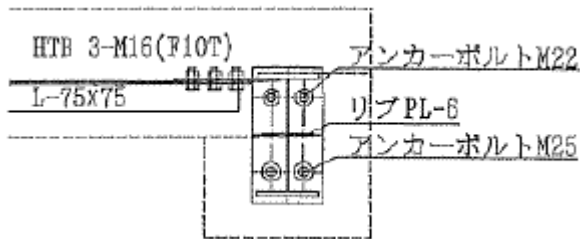
- ブレース端、柱脚といった**耐震要素の接合部の設計に問題**があり早期に破壊している例が多い。
- 構造要素の被害は**設計時に十分な配慮がなされていない**ことも原因であるが、**柱脚などについては十分な設計資料が無い**のも事実であり、実験研究を進める必要がある。
- **構造部材や接合部の破壊に伴い大きな層間変形が生じた場合**だけでなく、**構造躯体に目立った被害が見られない場合でも、変形追従性が不十分であると非構造材の被害が生じる**場合がある。



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

鉄骨造体育館の耐震診断資料の分析

- ブレース端接合部や柱脚などの耐震要素の接合部の設計が不適切な場合が多く、保有耐力接合になっていない。
- 柱梁接合部の溶接において、外観からは完全溶込溶接と判断できない例や、超音波探傷検査の結果全線にわたる欠陥が見つかる例が多いほか、柱脚のアンカーが正しく施工されていないなど、施工時の問題点も多く見られる。
- 柱脚部の設計などは現在も十分な資料が無いことから、接合部の設計に資する研究資料の充実と規準類・解説書の充実、設計者への啓発が必要である。



保有耐力接合となっていないブレース接合部

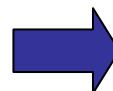


アンカーボルトが欠落した柱脚

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

三次元非線形応答解析を行う上での課題

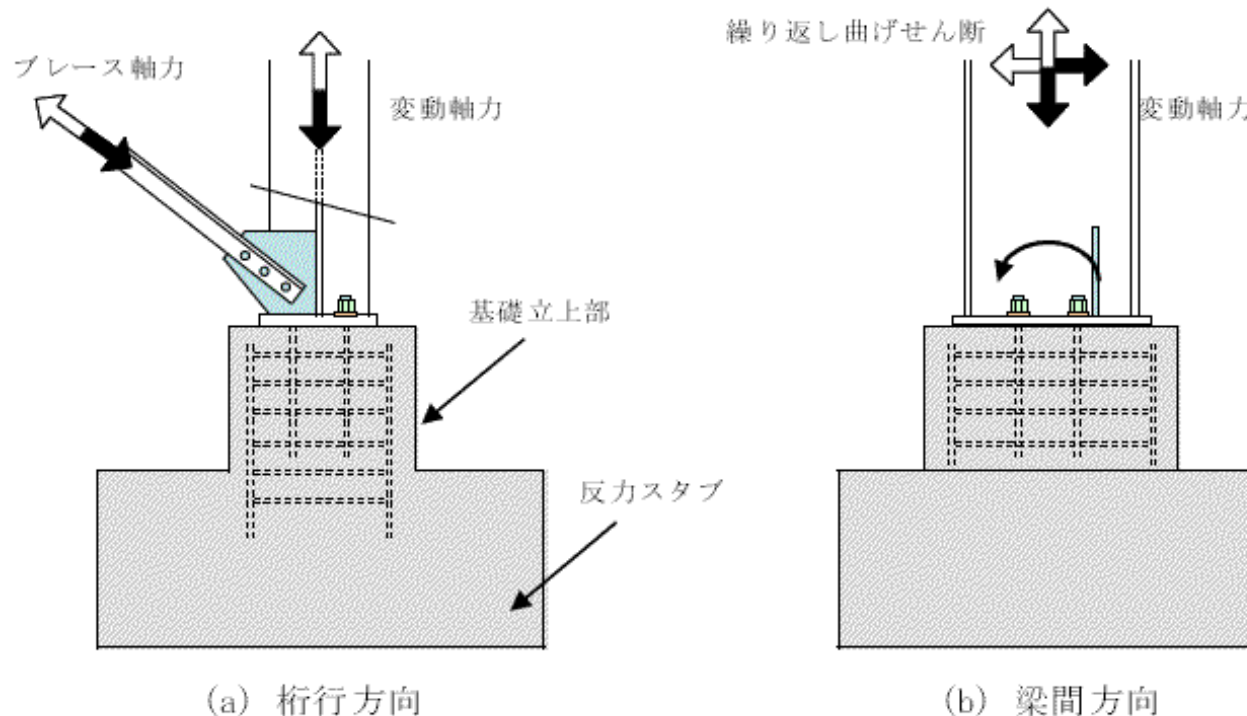
- 耐震診断技術として実用化するためには、一般の診断者も使用可能である必要がある。市販の弾塑性立体応答解析プログラムでどこまでのモデル化が可能であるか、特に地震被害や耐震診断で問題となった接合部における偏心などの局所的な偏心問題まで扱えるのか、部材の履歴モデルはどのように設定できるのかといった点を整理する必要がある。
- 水平耐力に対する非構造材の寄与を定量的に評価する必要がある。これまでの地震でも、構造要素だけの評価では耐震性能が著しく劣ると評価されているものの、比較的大きな地震でも目に見える被害を受けていない例もある。
- 既往の部材・接合部の終局挙動に関する研究はラーメンを対象とした研究が多く、大きなスパンを有するブレース構造である体育館を構成する部材・接合部については、最大耐力の評価が曖昧なものも多い。特に柱脚については、現在も十分な資料が無いことから、診断時の評価が曖昧であるだけでなく、補強設計時にも問題が多い。ブレース付柱脚の性能を明らかにすることは、精度の良い診断を行う上で必要不可欠である。



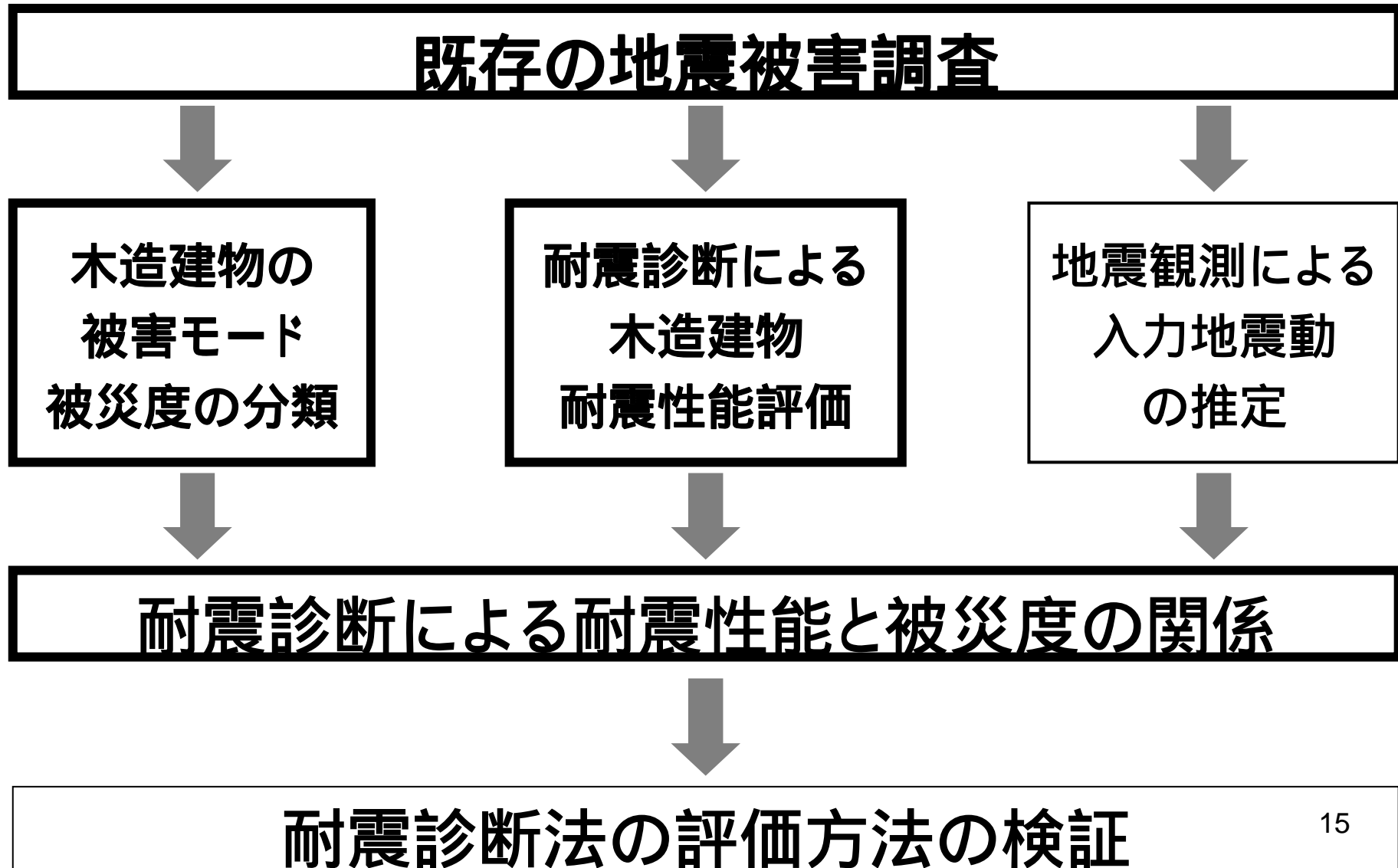
鉄骨造体育館の三次元非線形時刻歴応答解析による診断法

三次元非線形応答解析を行う上での課題

- 三次元非線形解析と併せ、補修方法の開発も併せたブレース付柱脚の載荷実験を行い、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充実させる。

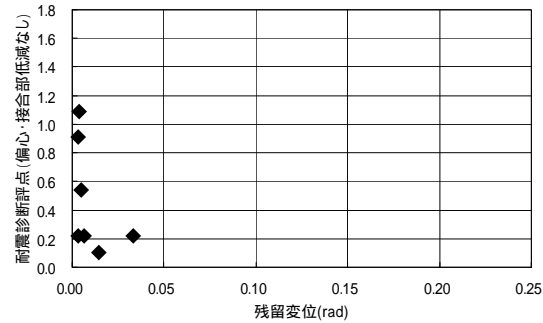


木造建築物に対する一般診断法と精密診断法の評価法の検証

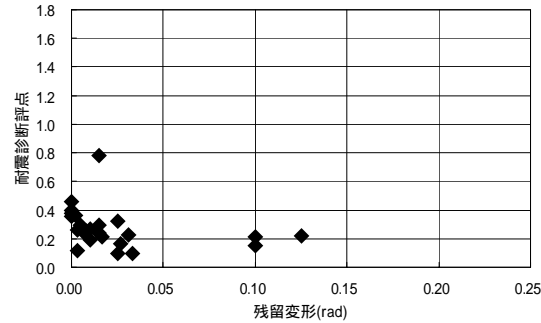


耐震診断による耐震性能と被災度の関係

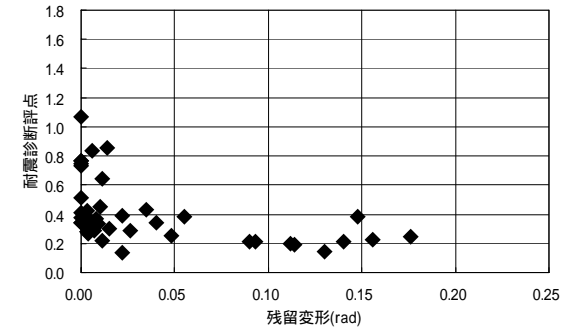
現行の耐震診断法の精度確認 耐震診断評点(Y)と残留変形角(X)



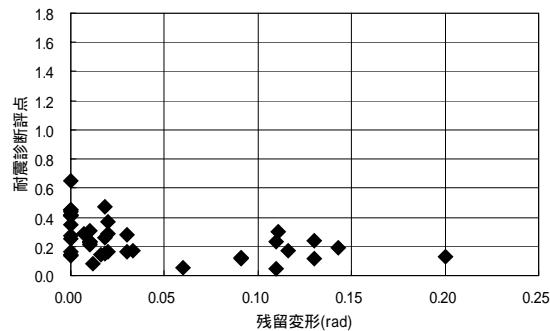
1987年千葉県西方沖地震



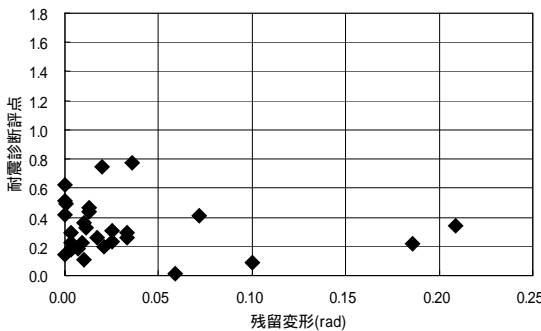
2000年鳥取県西部地震



2004年新潟県中越地震



2007年能登半島地震



2007年新潟県中越沖地震

耐震診断評点の高い建物では、被災度が小さい傾向にあることがみられるが、入力地震動の特定が困難なため定量的な評価となる。

全体としては、評点0.5～0.6程度では、残留変形角が小さく抑えられる傾向がある。

【今後の課題】入力地震動の特定の可能性の検討や、耐震性能の変形目標値などに関する研究も重要である。

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

木造建物構法の地方性対応

- ・地震被害事例収集
- ・耐震診断(地方版)の収集・整理
- ・耐震要素の構法整理

住宅以外の木造建築物(学校、幼稚園、保育園、社寺建築、芝居小屋など)への耐震診断法の対応

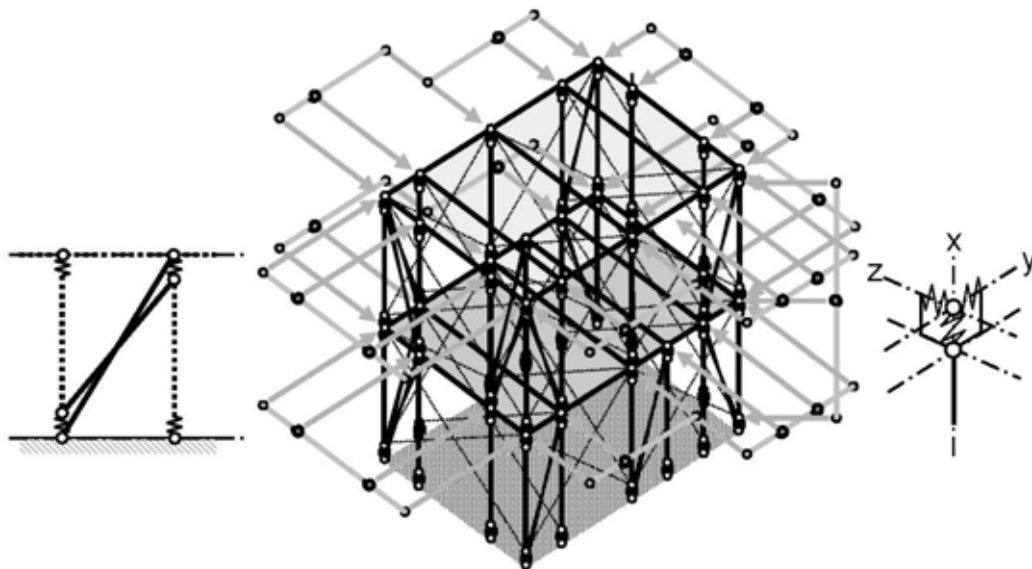
- ・地震被害事例収集
- ・大規模木造の耐震要素の整理
- ・荷重条件整理
- ・耐震診断・耐震補強実例収集

地震被害事例収集と破壊モードの整理



地震被害に見られる木造建物の被害を現行の診断法では評価できないものもみられた。

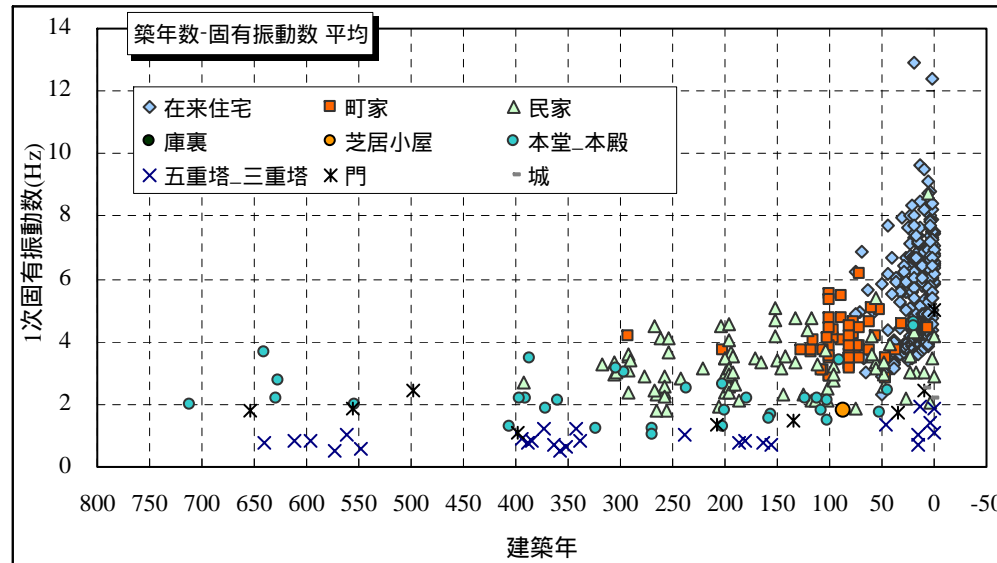
【今後の課題】評価・再現可能な解析モデルからパラメータ解析などにより簡易な診断法へ反映していくことが重要である。



参考
大都市大震災軽減化特別プロジェクト
木造建物実験

常時微動計測による耐震診断の可能性

木質構造の基礎的な振動特性に関する知見を定量的に把握することを目的として、既存木質構造に対して行われた常時微動測定に関する資料を収集整理した。



単純に固有振動数の値だけでは耐震性能との相関があまりみられない。個々の建物の構造的な性能評価と合わせなければ耐震性能評価として常時微動計測を用いた耐震性能評価は困難である。

【今後の課題】

木造建物の常時微動計測による固有振動数については、耐震診断による建物性能(重量・剛性)との比較、振幅レベルによる評価などが課題となる。

耐震診断の高度化(木造)

既存の木造建物という分類の中には、建物規模・用途がさまざまであり、耐震要素もそれぞれ多岐にわたる。

木造建物の耐震診断を高度化していくためには、まず、建築構法別に系統だてて整理を行い、それぞれの耐震要素について破壊モードを明らかにすることで大地震時の耐震性能を評価することができ、建物の安全性を確保することにつながる。

既存コンクリートの設計基準強度の設定

目的

既存建築物を建築基準法に基づき構造計算を実施するときのコンクリート強度の設定法を提案する。

検討方法

- ・コンクリート強度に関する仕様書・規格の変遷
- ・学校建築物のコンクリート強度の実態
- ・共同住宅のコンクリート強度の実態(その1)
- ・共同住宅のコンクリート強度の実態(その2)

学校建築物のコンクリート強度の実態

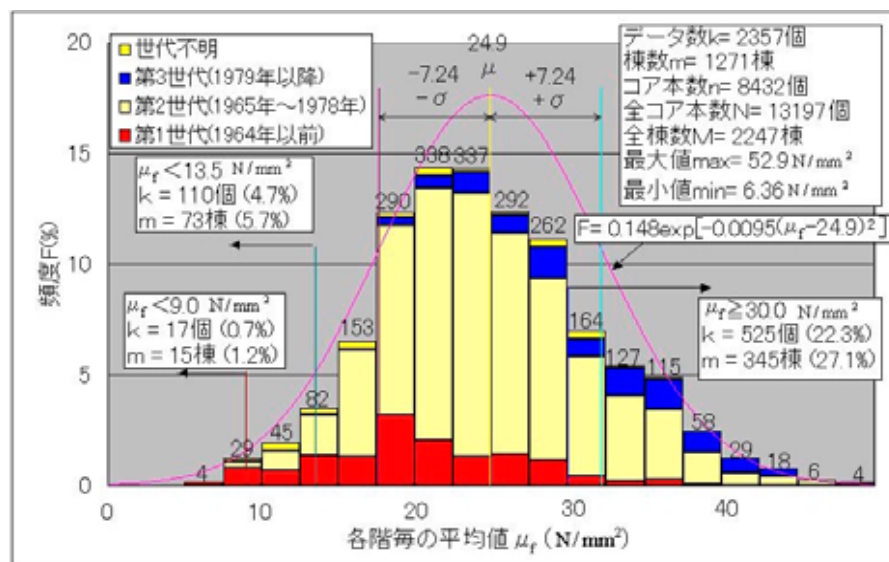
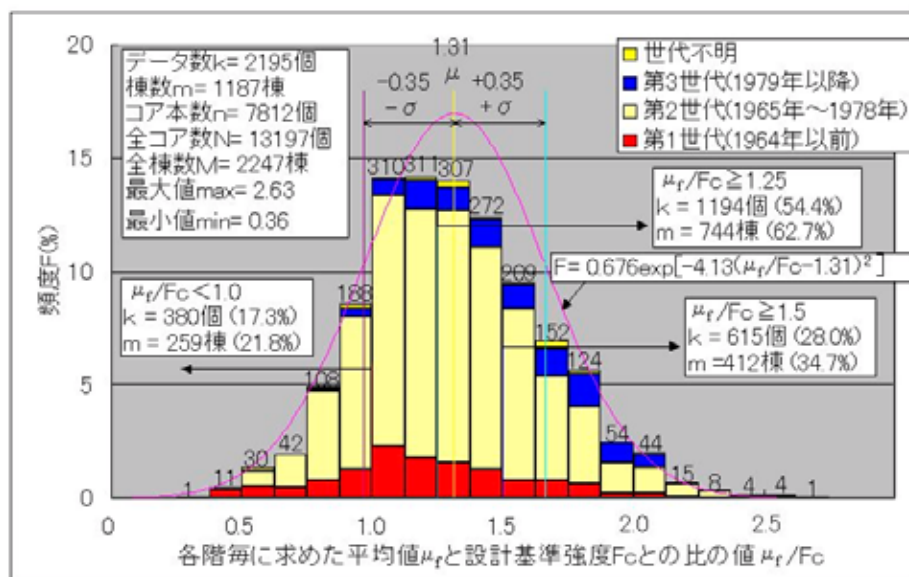


図4.2.1(a)各階毎に求めた各階平均値 μ_f [N/mm²]の頻度分布

各階毎に求めた平均値 μ_f が13.5N/mm²を下回るデータが4.7%ある。



設計基準強度 F_c との比 μ_f/F_c が1.0を下回るデータが17.3%も存在する。

図4.2.1(b)各階毎に求めた平均値 μ_f と設計基準強度 F_c との比の値(μ_f/F_c)の頻度分布

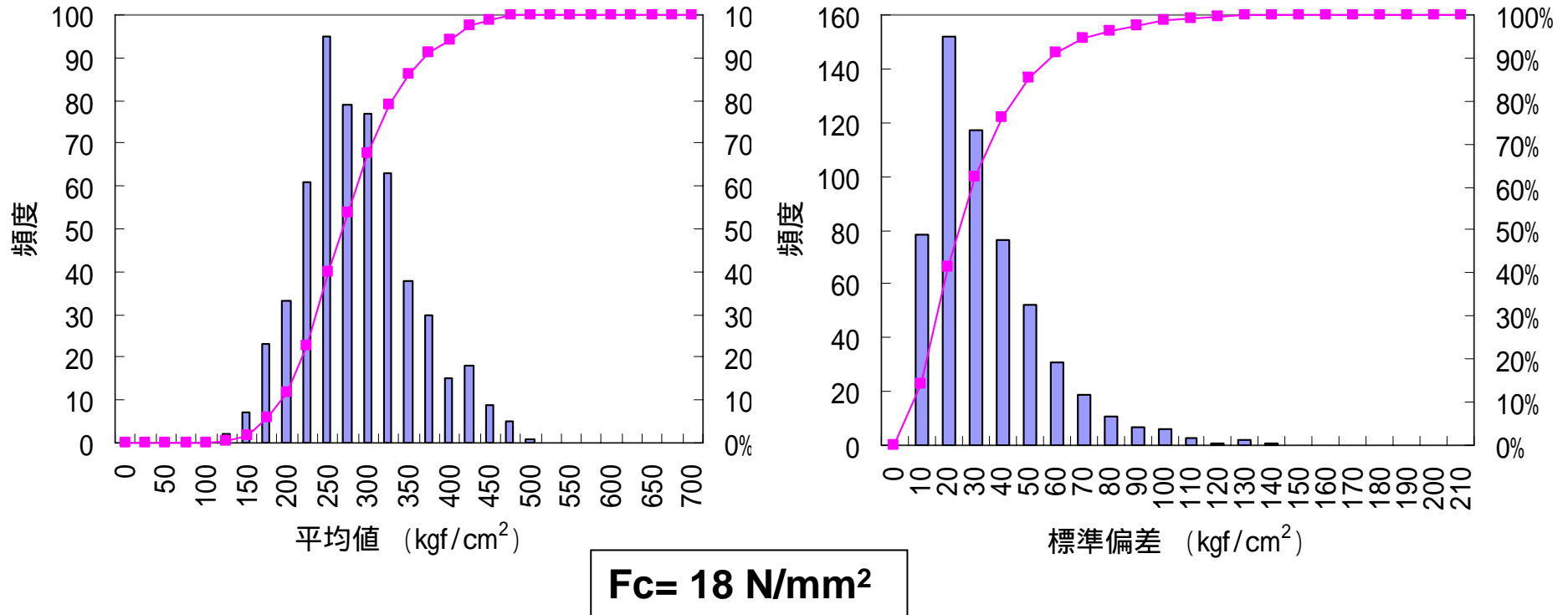
共同住宅のコンクリート強度の実態(その1)

既存共同住宅の同一打設区分(調合強度、配合、使用材料が同じ)から3本コアを採取してコンクリート強度を調査した。

表2.3.1 データの概要

建設時期	1956 ~ 1984年
構造形式	RC造、SRC造
階数	2 ~ 17 階
設計基準強度 F_c	16.5、18.0、21.0、22.5、24.0 N/mm ²
コア採取位置と本数	壁から3本

共同住宅のコンクリート強度の実態(その1)



圧縮強度(平均値)/設計基準強度 = 1.3 ~ 1.5

圧縮強度の標準偏差 = 2 ~ 4 N/mm²

(ただし、現場練りとレディーミクストコンクリートでは差が出てくる。)

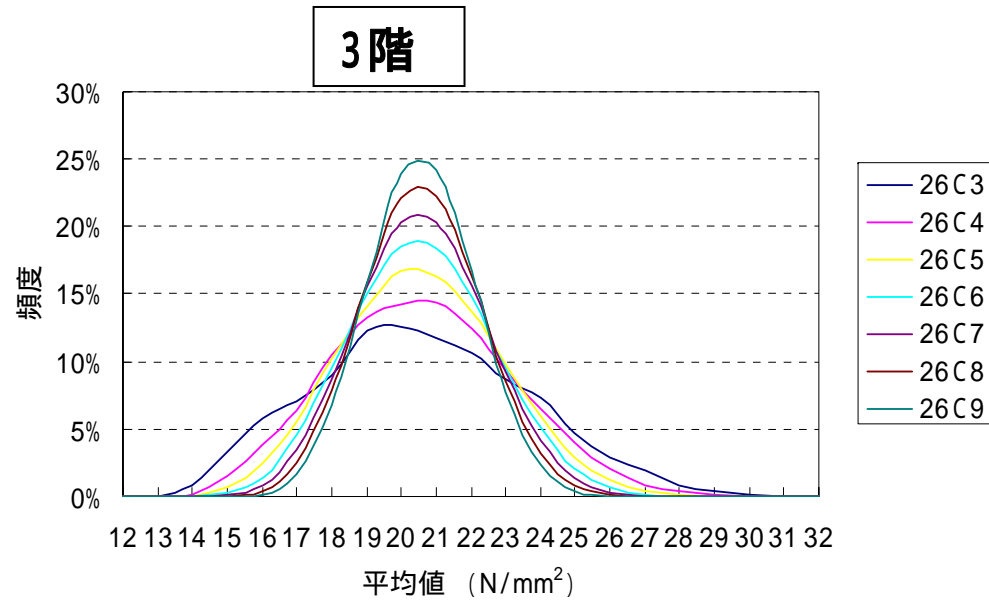
共同住宅のコンクリート強度の実態(その2)

昭和30年代に建設された4階建て共同住宅から各階複数本採取したコンクリートコア圧縮試験から、コア数による躯体コンクリート強度の推定の検討を実施した。

表2.4.1 共同住宅とコア採取の概要

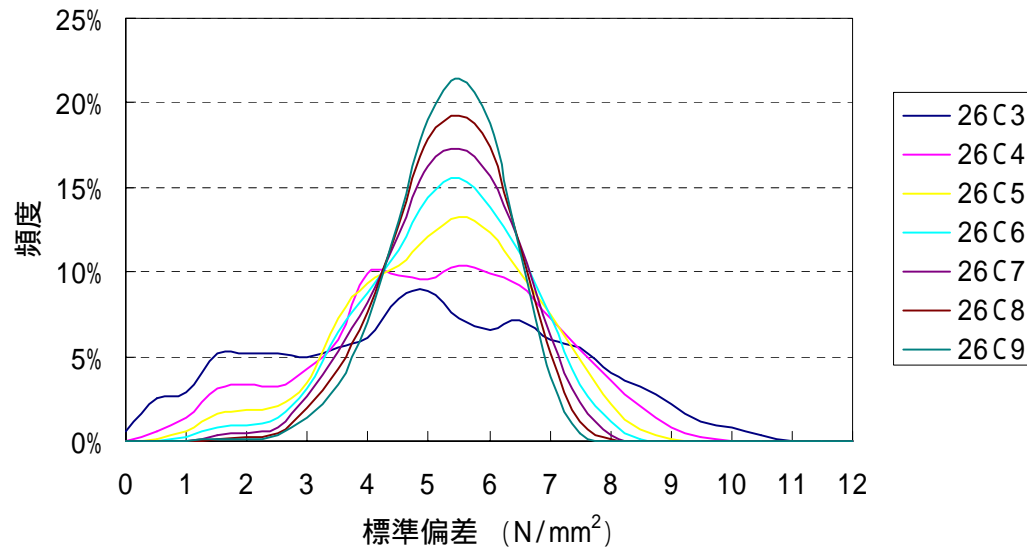
建設時期	1959年頃
構造形式	壁式RC造
階数	4階
設計基準強度 F_c	15.0 N/mm ² (現場練りコンクリート)
コア採取位置	耐力壁
コア採取本数	1階:27本、2階:11本、 3階:26本、4階:22本 (合計86本)

共同住宅のコンクリート強度の実態(その2)



コンクリート強度は概ね正規分布となる。

コンクリート強度と標準偏差はコア本数が6本程度で傾向が明らかになる。



$F_c=15\text{N/mm}^2$ (現場練りコンクリート)では、標準偏差の信頼係数80%として、下限値 4N/mm^2 、上限値 7N/mm^2 が考えられる。

既存コンクリート強度基準値の考え方の提案

前提条件

- ・設計基準強度が $16.5\text{N/mm}^2 \sim 24.0\text{N/mm}^2$ の既存建築物のコア強度

提案

- ・ コア採取本数:コンクリート同一打設区分で3～6本とする。可能なら、6本もしくは、6本以上が好ましい。
- ・ コンクリート強度の平均値:採取したコアの平均値を採用する。
- ・ コンクリート強度の標準偏差:
採取コア6本以上の場合:コア強度から求めた標準偏差
採取コア6本未満の場合:コア強度から求めた標準偏差、ただし、
最小値 3N/mm^2 、最大値 6N/mm^2 とする。