

東日本大震災での教訓を活かした 耐震設計法に関する研究成果

建築研究所 重点研究課題

**庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保
に資する耐震性能評価手法の構築**

(実施期間：H25-27)

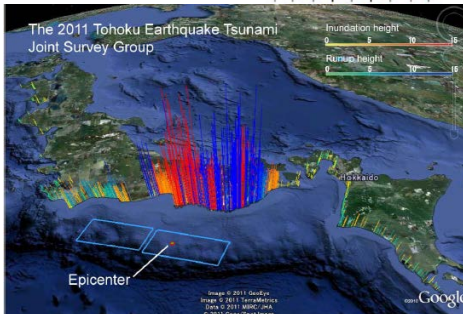
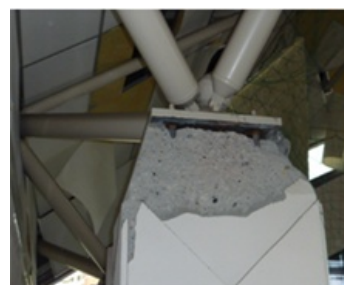
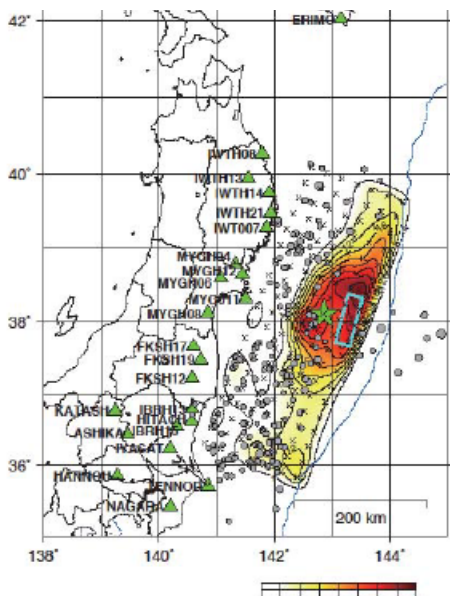
構造研究グループ 主任研究員 向井智久



研究背景

国内における優先課題：東日本大震災

巨大地震・津波 東日本大震災の被害



研究背景

東日本大震災の被災事例の教訓

現行基準の要求レベルでは**地震後の継続使用性**は必ずしも確保されない！

研究の背景：東日本大震災の教訓

建築物の「**大地震後の継続使用**」ができなくなる問題が顕在化



上部構造＋基礎構造

- ・ 災害拠点庁舎のRC壁
- ・ 避難施設となるRC体育館の支承部
- ・ コンクリート系杭基礎

研究背景

性能に基づく耐震設計手法の推進

既往の研究課題01

建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」
1995年に始まり、3年間に渡って性能設計に関する検討を実施
体制：総合委員会，目標水準分科会，性能評価分科会，社会機構分科会

目標性能水準：基本構造性能と限界状態

基本構造性能		限界状態	評価対象				
			構造骨組	建築部材 (構造部材) (内外装材)	設備・機器	什器	地盤
使用性	(機能性, 居住性の確保) 建築物の使い易さや住み良 さの確保	使用限界 Serviceability Limit	機能障害や感覚障害を生じない		機能障害を生じない		
修復性	(財産の保全) 外部からの刺激による建築 物の損傷の制御	修復限界 Reparability Limit	損傷が設定範囲内に収まる				
安全性	(人命の保全) 建築物の内外の人の生命に 直接及ぼす危険の回避	安全限界 Safety Limit	鉛直支持能力 を喪失しない	脱落・飛散し ない	転倒・脱落・移動しない		崩壊や大規模 な変状が生じ ない



研究背景

既往の研究課題03

建築構造物の 災害後の機能維持／早期回復 を目指した構造性能評価システムの開発 (2007年～2009年)

成果報告書は以下を参照

<http://www.kenken.go.jp/english/contents/publications/proceedings/020.html>

評価システム構築に必要な技術的課題

評価システム

①新たな耐震設計の枠組み

(1) 建築物の揺れ度合い（応答値）の算定
(従来の構造計算で可能)

(2) 各部位の「壊れた程度（損傷状態）」の推定

(3) 各部位が壊れたこと
によって失われる機能の推定

(4) 壊れた部位
の修復方法

(5) ライフ
ラインの情報

(6) ユーザにとっ
て関心の高い耐
震性能の表示

(4) 壊れた部位
の修復に必要な
費用や時間

機能喪失シナリオ

機能回復シナリオ

性能表示

②データベース

(新たな耐震設計の枠組みを
使う際に必要となるデータ)

- ・ 損傷評価
- ・ 修復性評価
- ・ 機能性評価

③性能表示資料の作成
(ユーザにとって分かりやすい
耐震性能の表示手段をつくる)



研究目的と検討対象の絞り込み

目的：災害拠点となる建築物を地震後も継続使用できるような仕組みの構築

成果を見据えた性能設計の対象の絞り込み

対象

あらゆる用途
あらゆる部位
あらゆる入力
あらゆる損傷



対象

庁舎・避難施設
構造部材・非構造部材
現行の入力レベル（極稀）
損傷限界状態

研究体制とその役割

サブテーマ1：

地震後の**継続使用性**に関する**阻害要因**分析と地震後の**継続使用性**に資する**要求性能**の提案

サブテーマ2：

地震後の**継続使用性**確保に必要な**部位の耐震性能****評価手法等**の検討

サブテーマ3：

地震後の**継続使用性**確保に資する**建築物の耐震性能****評価手法**と**評価事例**の構築

研究内容

サブテーマ1：H25-27

25年度：庁舎・避難施設等に対して

- 地震後の継続使用性の阻害要因の事例収集・被害要因分析

26-27年度：

- 地震後の継続使用性確保に資する耐震性能ランクに応じた要求性能の提案

連携体制：主として建物管理者

- ・官庁営繕部・地方自治体
- ・UR都市機構

1. 地震後の継続使用性に関する阻害要因分析の概要

- 東日本大震災で被災した建築物事例を対象に、地震後の継続使用性に関する阻害要因の事例を調査・収集した。
- 阻害要因を分析するフローを提案し、各被害事例を当該フローにあてはめて、系統的に要因を分析する。
- 分析事例数は46棟
 - 庁舎：10棟
 - 学校校舎：8棟
 - 体育館：25棟
 - 集合住宅：3棟

庁舎の地震後継続使用性に関する被災情報

小破でも地震後継続使用できなかった
→継続使用性に関する阻害要因を分析

建築物	地域	建設年	耐震診断実施状況	地震後の措置	近傍の震度	被災度
A	東北	1963	済(NG)* ¹	立入禁止	5強	大破
B	関東	1961	未	立入禁止	6弱	小破
B'		1961	未	—	6弱	中破
C		1970	済(NG)	立入禁止	6強	大破
D	関東	1968	済(NG)	立入禁止	6強	小破
E		1967	済(NG)	立入禁止	5強	小破
F		1960	済(NG)	立入禁止	6弱	大破
G	関東	1958	未	立入禁止	6強	中破
H		1966	未	立入禁止	6強	中破
I		1964	未	立入禁止	6強	大破
J		1969	済* ²	立入禁止	6強	中破

*¹ 過去の地震で被災した後に応急補強済, *² 耐震改修済

地震後の継続使用性分析の考え方

- 「地震後の継続使用性がある」と判断する状態 … 地震後に当該建築物の全体または一部の範囲が使用（立入）禁止とならずに継続使用できる状態
- 「地震後」 … 下表の段階(I)(II)のタイミングでの状態を対象

段階	震災復旧に係る行為	本研究	応急危険度判定基準	被災度区分判定基準
(I) 発災直後	応急措置	●	●	
(II) やや混乱の落ち着いた時期	復旧の要否判断, 補修, 応急復旧	●		●
(III) 恒久使用に至るまでの時期	恒久復旧			●

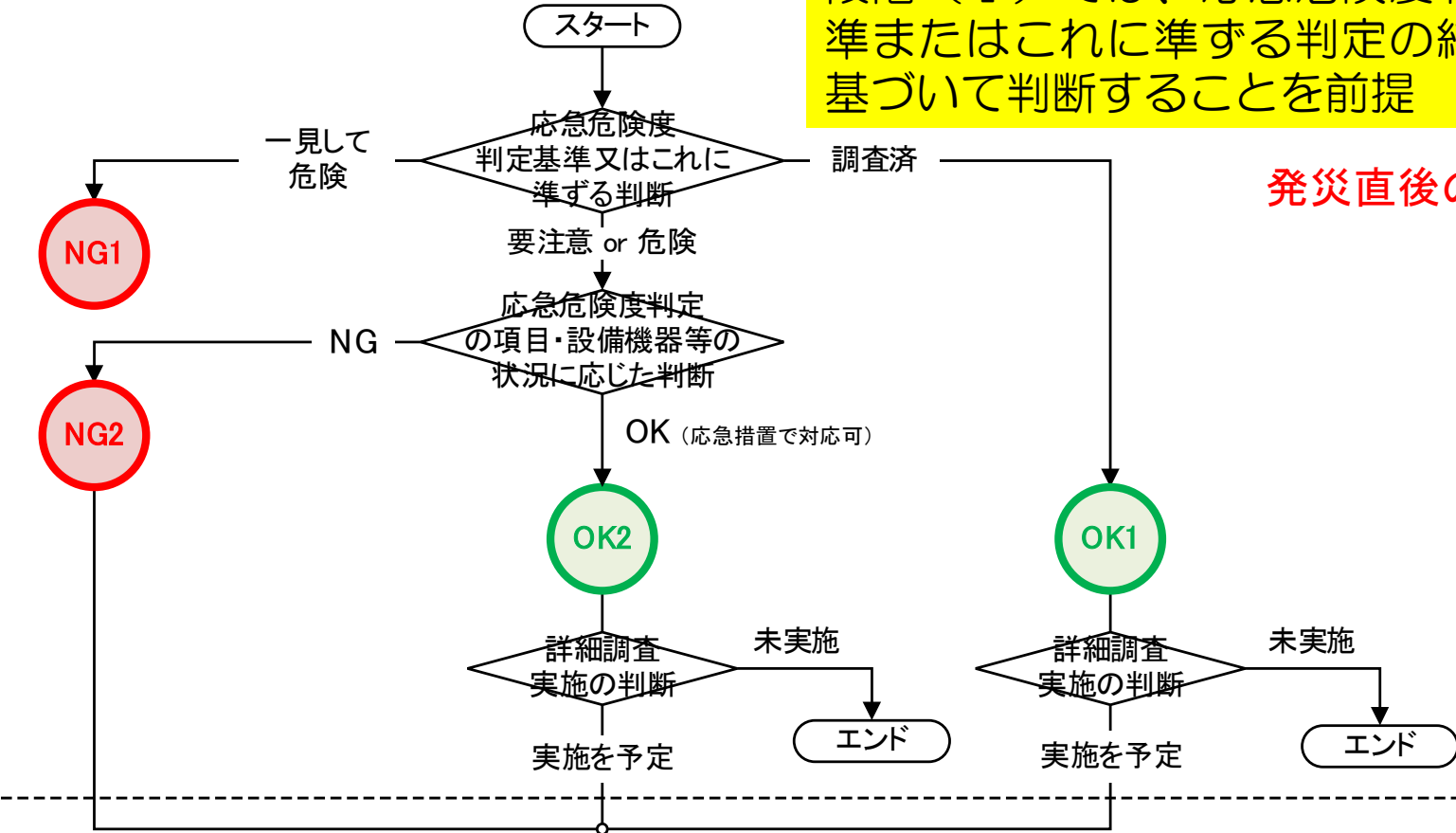
- 例えば、将来的に(III)の段階で恒久復旧できた場合でも、(I)(II)の両段階で使用（立入）禁止措置がされていれば、継続使用性がないとみなす



継続使用性の分析フロー（地震直後-数週間）

段階（I）では、応急危険度判定基準またはこれに準ずる判定の結果に基づいて判断することを前提

発災直後の判断（I）



OK 継続使用性 あり
NG 継続使用性 なし

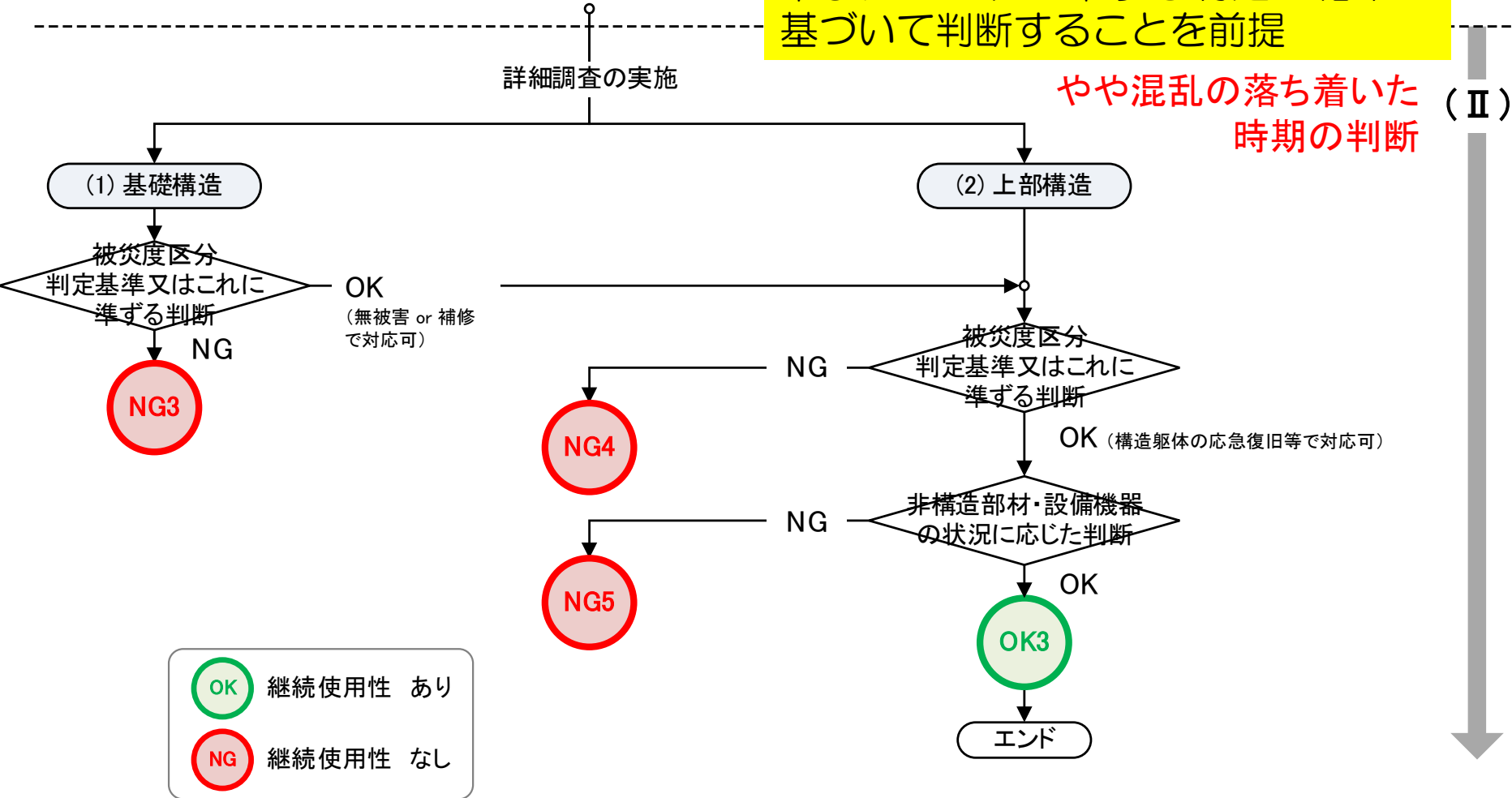
詳細調査の実施へ



継続使用性の分析フロー（数週間-数ヶ月）

段階（Ⅱ）では、被災度区分判定基準またはこれに準ずる判定の結果に基づいて判断することを前提

やや混乱の落ち着いた
時期の判断 (Ⅱ)



- OK 継続使用性 あり
- NG 継続使用性 なし

継続使用性分析フロー取纏めの結果

地震後の継続使用性の有無		記号
継続使用性あり	発災直後の判断に基づき、当該建築物の全体を継続使用した。	OK1
	発災直後の判断に基づき、必要に応じて当該建築物の一部を使用制限し、応急措置によって継続使用した。	OK2
	やや混乱の落ち着いた時期の判断に基づき、当該建築物の一部を使用制限し、軽微な補修又は応急復旧によって継続使用した。	OK3
継続使用性なし		NG1~5



継続使用性がないと判断されるものは、構造躯体、非構造部材、設備機器等の被害状況に基づき、NG1~5の5とおりに分類。

⇒ 継続使用の阻害要因に相当

継続使用性があると判断されるものは、各部位が多少損傷がある。

⇒ 継続使用の目標ランクに相当

2. 地震後の継続使用性に関する要求性能(案)の概要

- 新築建築物の設計と耐震性能評価のための要求性能を3段階のランクとして定義し、それに対応する部分ごとの損傷状態を系統的に整理

要求性能(案)の位置づけ

地震動レベル	耐震性能レベル			
	完全機能確保	機能確保	人命確保	崩壊寸前
中地震動未満のレベル	○	×	×	×
中地震動レベル	□	○	×	×
大地震動レベル	★ S	□ A	○ B	×
(過大入力レベル)		★	□	○
		最重要建築物	重要建築物	一般建築物

建築基準法で想定する最低レベル

この範囲の耐震性能に着目し，3段階の目標ランクとして定義する

活動上重要なエリアの設定

「官庁施設の総合耐震計画基準・同解説」では、非常時の優先業務が確実に実行されるために、執務空間などの耐震安全性に係る機能が確保されることが重要であることが示されている。 ⇒その他の用途建物についても、この考え方を援用

用途	地震後に必要とされる機能（業務）	活動上重要なエリア		
			検証部位の例	
庁舎	災害時優先業務の指揮と情報伝達の拠点	災害対策本部	非耐力壁,吊り天井,外壁材,ガラス窓	基礎構造 上部構造
	災害復旧復興業務のうち、優先度の高いもの	応急業務エリア		
	職員の活動支援	トイレ	給排水設備	
	基幹設備機能の確保	電気室,電算室	設備機器	
	活動経路の確保	廊下,階段室	非耐力壁,Exp.J.	
		エレベータ室	エレベータ設備	
体育館	災害時の避難行動の拠点	アリーナ	非耐力壁,吊り天井,外壁材,ガラス窓	基礎構造 上部構造
	避難者の活動支援	トイレ	給排水設備	
	活動経路の確保	廊下,階段室	非耐力壁,Exp.J.	

目標ランク (S, A, B) の定義

目標ランク	活動上重要なエリア	左記以外のエリア	対象部位				分析フローで概ね対応する継続使用の状態	
			基礎構造	上部構造	非構造部材		活動上重要なエリア	左記以外のエリア
					活動上重要なエリア	左記以外のエリア		
S 建築物の全体を使用制限することなく、継続使用できること。	●	●			N-I	N-I	OK1	
A 建築物の一部に使用制限が生じるが、活動上重要なエリアは使用制限することなく、継続使用できること。	●	○	F-I	S-I	N-II	N-II	OK2	
B 活動上重要なエリアを含む建築物の一部に使用制限が生じるが、一定の措置後、継続使用できること。	○	○	F-II F-III	S-II S-III	N-III	N-III	OK2 ⇒ OK3	

- 使用制限することなく継続使用できる
- 使用制限した後に継続使用できる

目標ランクに適用する損傷限界状態の 設定（1. 基礎構造）

構造上の分類		基礎構造	
		地盤	基礎部材
I	大地震動後、当該部分に 被害 （直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を 許容しない 。	(F_G-I) 上部構造の耐久性に影響する沈下・変形が生じない状態。	(F_P-I) 修復が不要な状態（例えば、部材は短期許容応力度以内に留まっていること）。
II	大地震動後、当該部分の 比較的小さな損傷 に対して、 応急措置又は軽微な修復の実施を許容 する。	(F_G-II) 上部構造が継続使用不能な沈下・変形に達しない状態で、比較的簡易に恒久復旧できる状態。	(F_P-II) 基礎部材の損傷・沈下により、上部構造が継続使用不能とならない状態で、必要に応じて軽微な修復による恒久復旧が必要な状態（例えば、部材は終局強度以内、かつせん断余裕度を確保できていること）。
III	大地震動後、当該部分の 損傷 に対して、 応急措置又は修復の実施を許容 する。	(F_G-III) 上部構造が継続使用不能な沈下・変形に達しない状態で、長期間に渡る恒久復旧作業が必要な状態。	(F_P-III) 基礎部材の損傷・沈下により、上部構造が継続使用不能とならない状態で、大規模な修復による恒久復旧が必要な状態（例えば、一部に修復可能なヒンジ状態を許容すること）。

目標ランクに適用する損傷限界状態の 設定（2. 上部構造）

構造上の分類	上部構造	
	RC造	屋根支承部
I	<p>(S_R-I)</p> <p>大地震動後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない。</p> <p>構造部材に生じる損傷によって修復が不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が0.2mm未満）。</p>	<p>(S_{RS-I})</p> <p>支承部の柱梁部材のコンクリートや支承部モルタルに亀裂がほとんど観察されないほぼ無損傷の状態。</p>
II	<p>(S_R-II)</p> <p>大地震動後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。</p> <p>構造部材に生じる損傷によって応急復旧は不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が1.0mm未満で、損傷度II程度）。</p>	<p>(S_{RS-II})</p> <p>支承部の柱梁部材のコンクリートに亀裂が生じ、支承部モルタルにひび割れや一部の剥離、剥落が生じる程度の軽微な被害の状態。</p>
III	<p>(S_R-III)</p> <p>大地震動後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する。</p> <p>構造部材に生じる損傷によって計画的な修復を行うことが必要だが、残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が2.0mm未満で、損傷度III程度）。</p>	<p>(S_{RS-III})</p> <p>支承部の柱梁部材のコンクリートにわずかなひび割れが生じ、支承部モルタルにひび割れや部分的な破壊が生じる小破程度の状態。</p>

目標ランクに適用する損傷限界状態の 検討（3. 非構造部材）

構造上の分類	非構造部材
	RC造壁
I	<p>大地震動後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない.</p> <p>(N_w-I) 壁部材に生じる損傷によって修復が不要で、取り付く建具に損傷がなく建具の機能が確保されている健全な状態（例えば、ひび割れ幅0.3mm未満、はく落率0.0%未満）</p>
II	<p>大地震動後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する.</p> <p>(N_w-II) 壁部材に生じる損傷によって修復が必要であるが、建具の機能が確保されている健全な状態（例えば、ひび割れ幅2.0mm未満、壁見付け面のはく落率1.0%未満）</p>
III	<p>大地震動後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する.</p> <p>(N_w-III) 壁部材に生じる損傷によって大規模な修復が必要で、建具の使用が困難な状態（例えば、壁見付け面のはく落率5.0%未満、脆性破壊（曲げ圧縮、せん断破壊）しない）</p>

研究内容

サブテーマ2：H25-27

25-26年度：

部位の地震**被害の再現**や**損傷評価**のための**構造実験**

27年度：

継続使用に資する部位の**耐震改修**に必要な条件の整理
と**耐震改修工法のアイデア**

連携体制：主として研究者

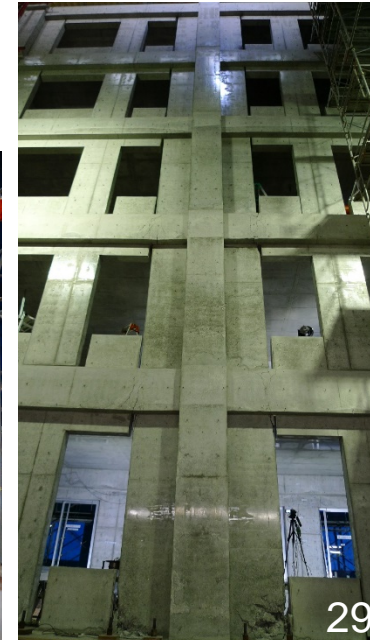
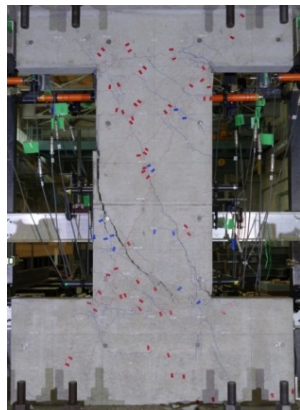
- ・ 大学
- ・ 民間（基準整備事業の事業者）
- ・ 国総研（総プロ）

研究内容

サブテーマ2：H25-27 RC造壁

実施した構造実験：

- RC造方立て壁の実大実験@東工大（共研）
- RC造腰壁垂れ壁付き方立て壁部材の実験@建研（民間共研）
- RC造部分架構実験@建研（基準整備事業共研）
- RC造壁付き架構実験@京大（共研）
- RC造実大5層架構実験@建研（国総研総プロ共研）

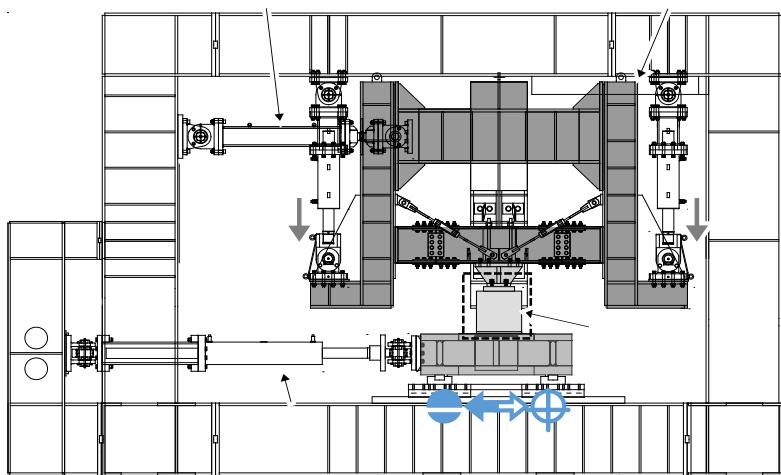


研究内容

サブテーマ2：H25-27 RC体育館定着部

実施した構造実験：

- 体育館定着部の静的加力実験@東工大（共研）
- 体育館定着部の振動実験@建研（東工大共研）



30

研究内容

サブテーマ2：H25-27 RC杭基礎

実施した構造実験：

- RC杭頭接合部実験@戸田建設（基整促共研）
- RC杭頭曲げ実験@建研
- RC杭-柱-基礎梁部分架構実験@戸田建設（共研）
- RC杭-柱-基礎梁部分架構補修補強実験@戸田建設（共研）
- RC杭-柱-基礎梁部分架構実験@建研（共研）



各実験の関連性

東日本大震災の被害解明・
対応（既存・新築）

RC壁の有効利用（新築）

標準モデル架構の抽出

① 壁付き架構

④ 方立壁付き架構

② 実大方立壁

③ 腰壁・垂れ壁付き方立壁

⑤ 実大5層架構

方立壁の軸力評価

方立壁の軸力評価

腰壁・垂れ壁の効果・寸法効果の検証

構造性能
（剛域・危険断面）
の評価

損傷限界状態の設定

設定した損傷限界状態の検証

検証したモデル・
設計法の適用

試験体形状・配筋に反映

被災した庁舎・共同住宅の調査

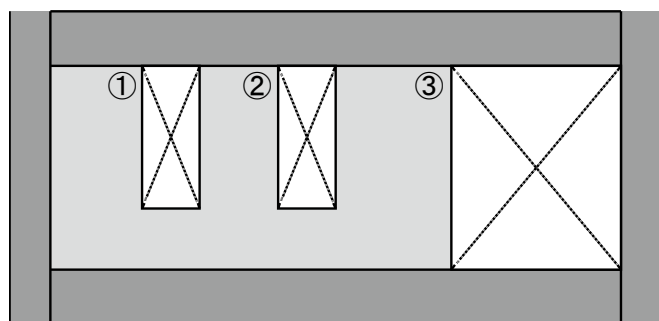
東日本大震災で被災した庁舎・共同住宅(壁面数155+76)を対象に、
非耐力壁の開口率指標に着目して、損傷との関係を調査

→ 総プロ(非構造壁WG)と連携して実施

開口率指標:

開口長さ比 = $\sum l_0/l$ 開口面積比 = $\sum A_0/A$

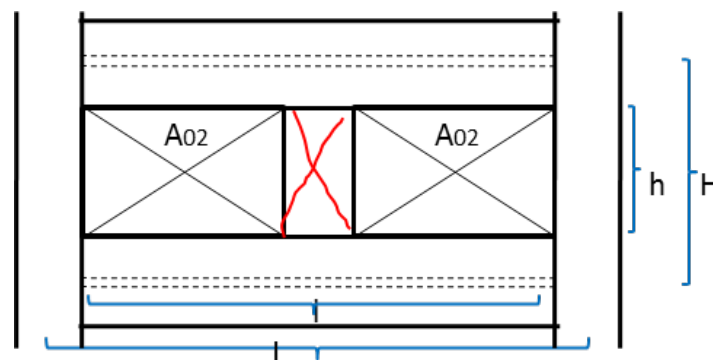
l_0 : 開口長さ, l : 壁内法長さ, A_0 : 開口面積, A : 壁内法面積



庁舎で非耐力壁が被災した事例

$$\sum l_0/l = 0.50, \quad \sum A_0/A = 0.43$$

②と③の間でひび割れ幅1.9mm(損傷度III)



共同住宅で非耐力壁が被災した事例

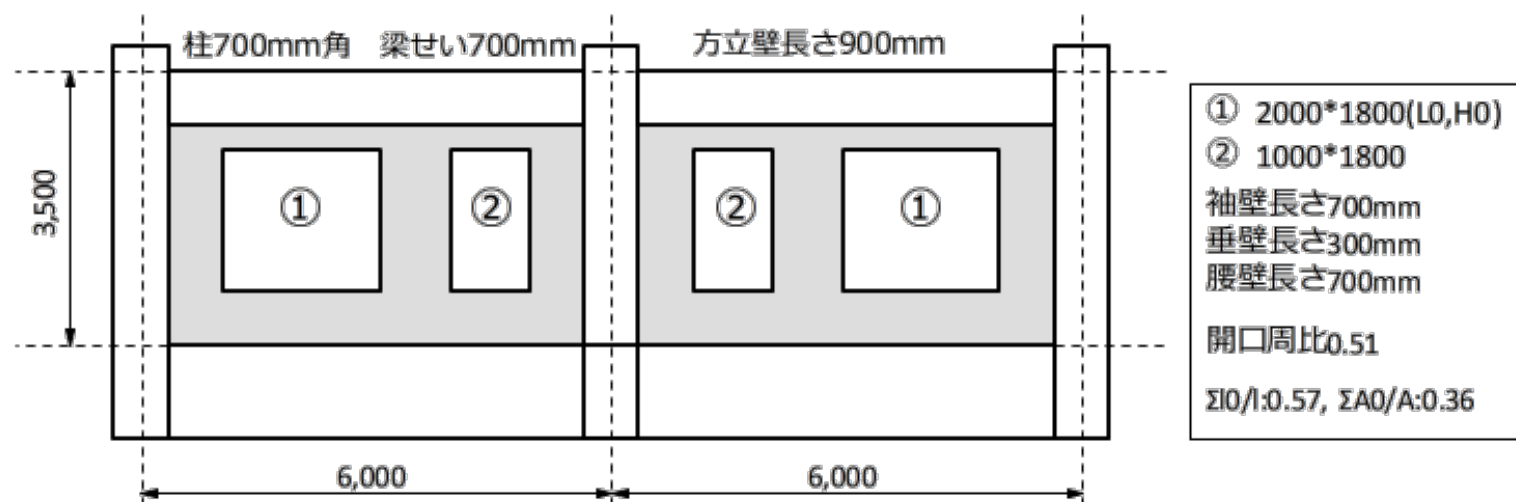
$$\sum l_0/l = \sum A_0/A = 0.85$$

方立て壁の被害

標準モデル架構の提案

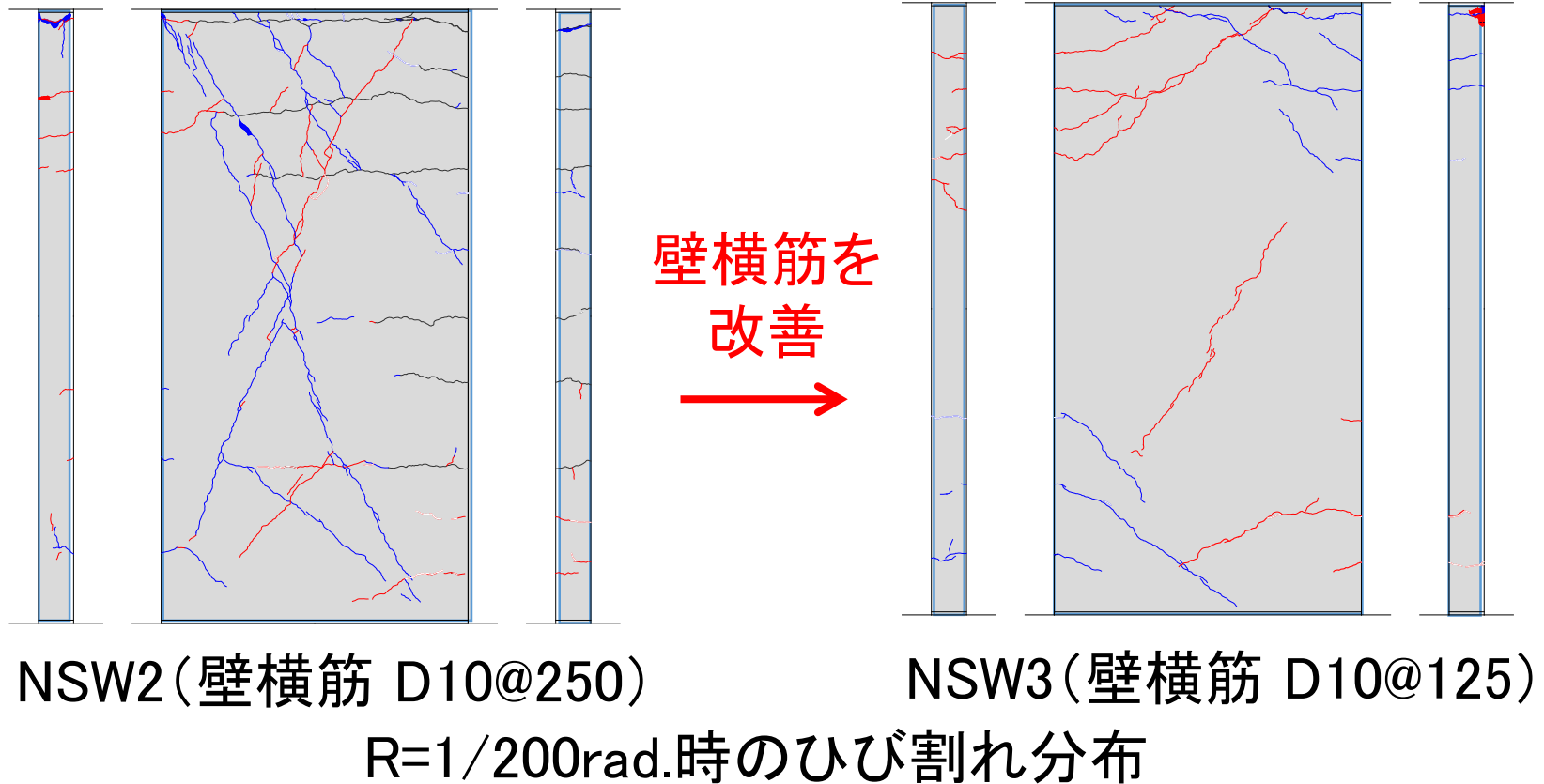
(損傷軽減が必要と考えられる)標準モデル架構の条件

- ・開口率指標の条件 ($\Sigma A_0/A=0.3\sim0.6$, $\Sigma l_0/l=0.3\sim0.9$)を満足
- ・庁舎の標準的な構造階高として3.0mを超える
- ・壁を除いた架構のベースシア係数が0.3程度で、層せん断力係数0.2で層間変形角が1/200程度となる部材断面を有する



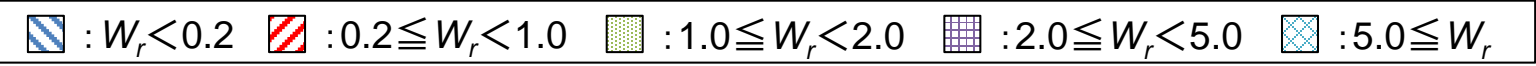
→ 部材実験や架構実験の試験体形状, 配筋に反映

詳細計測結果の適用例

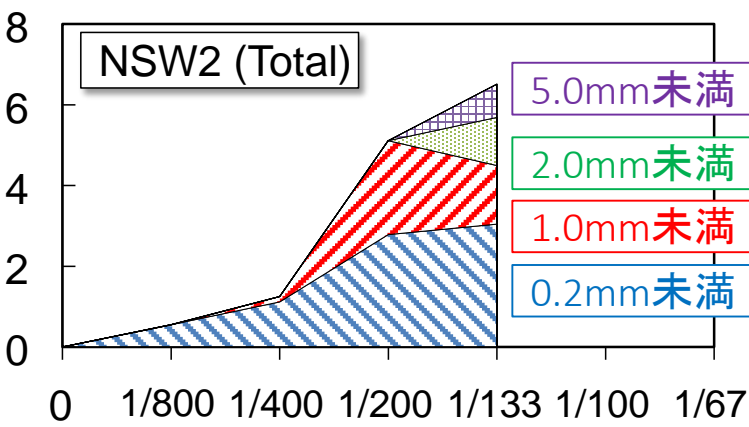


⇒ ひび割れ分布が異なっていることが分かるが、改善の効果について定量的に議論することは困難

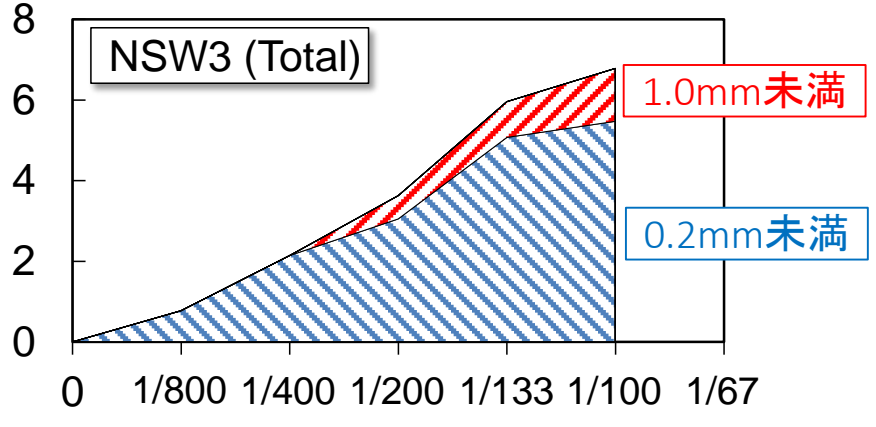
詳細計測結果の適用例



単位面積あたりの
残留ひび割れ長さ
(m/m²)



NSW2 (壁横筋 D10@250)



NSW3 (壁横筋 D10@125)

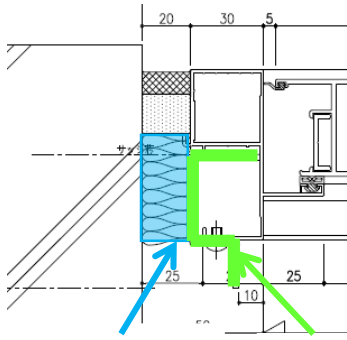
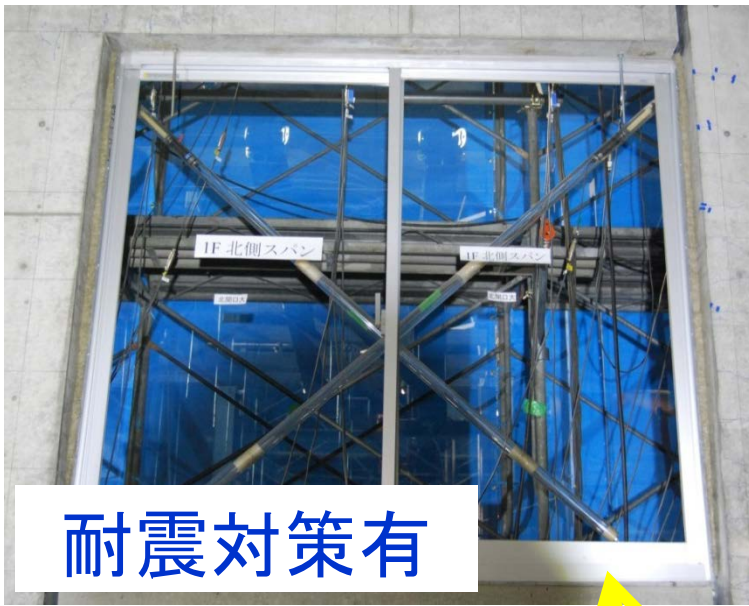
経験最大変形角

詳細計測を行い，結果を分析することで，

- ・変形角の増大に伴い，残留ひび割れの長さが単調増加している
- ・壁横筋の改善により，幅の小さいひび割れの比率が増加していることが分かる。

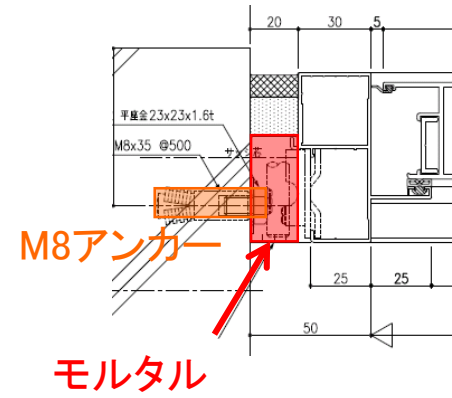
非構造部材の継続使用性

⑤ 実大5層架構実験では、アルミサッシ枠窓の継続使用性を検証



1F層間変形角 ()は代表変形	北側(耐震対策済)						南側(対策無: 四周モルタル)					
	引違い窓			縦すべり出し窓			引違い窓			縦すべり出し窓		
	損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠
1/536(1/400)	◇	○	○	◇	○	○	◇	○	○	△	○	○
1/248(1/200)	△	○	○	◇	○	○	◇	○	○	△	△	△
1/121(1/100)	△	○	○	×	△	×	×	○	×	×	×	×
1/73(1/67)	×	○	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×
1/48(1/50)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

◇軽微、△損傷有、支障有、×損傷大、不可(開閉、施錠が不可の場合は損傷も×とした。)



ロックウール 縦枠補強

M8アンカー
モルタル

損傷限界状態の設定

実大方立壁実験を含む，方立壁，袖壁付き柱の構造実験の結果を基にRC壁の損傷限界状態を設定した。

I : ひび割れ幅0.3mm, 剥落率0.0%未満

⇒ 部材角 $1/200\text{rad.}$ (方立壁), $1/400\text{rad.}$ (袖壁付き柱) 以下

II : ひび割れ幅2.0mm, 剥落率1.0%未満

⇒ 部材角 $1/100\text{rad.}$ (方立壁), $1/200\text{rad.}$ (袖壁付き柱) 以下

III : 剥落率5.0%未満, 脆性破壊なし

⇒ 部材角 $1/80\text{rad.}$ (方立壁), $1/100\text{rad.}$ (袖壁付き柱) 以下

構造上の分類		構造部材	非構造部材 (RC壁)
I	大地震後, 当該部分に被害 (直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く) を許容しない。	例えば, 残留ひび割れ幅が 0.2mm 未満	
II	大地震後, 当該部分の比較的小さな損傷に対して, 応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。	例えば, 残留ひび割れ幅が 1.0mm 未満 (損傷度 II 程度)	
III	大地震後, 当該部分の損傷に対して, 応急措置又は修復の実施を許容する。	例えば, 残留ひび割れ幅が 2.0mm 未満 (損傷度 III 程度)	

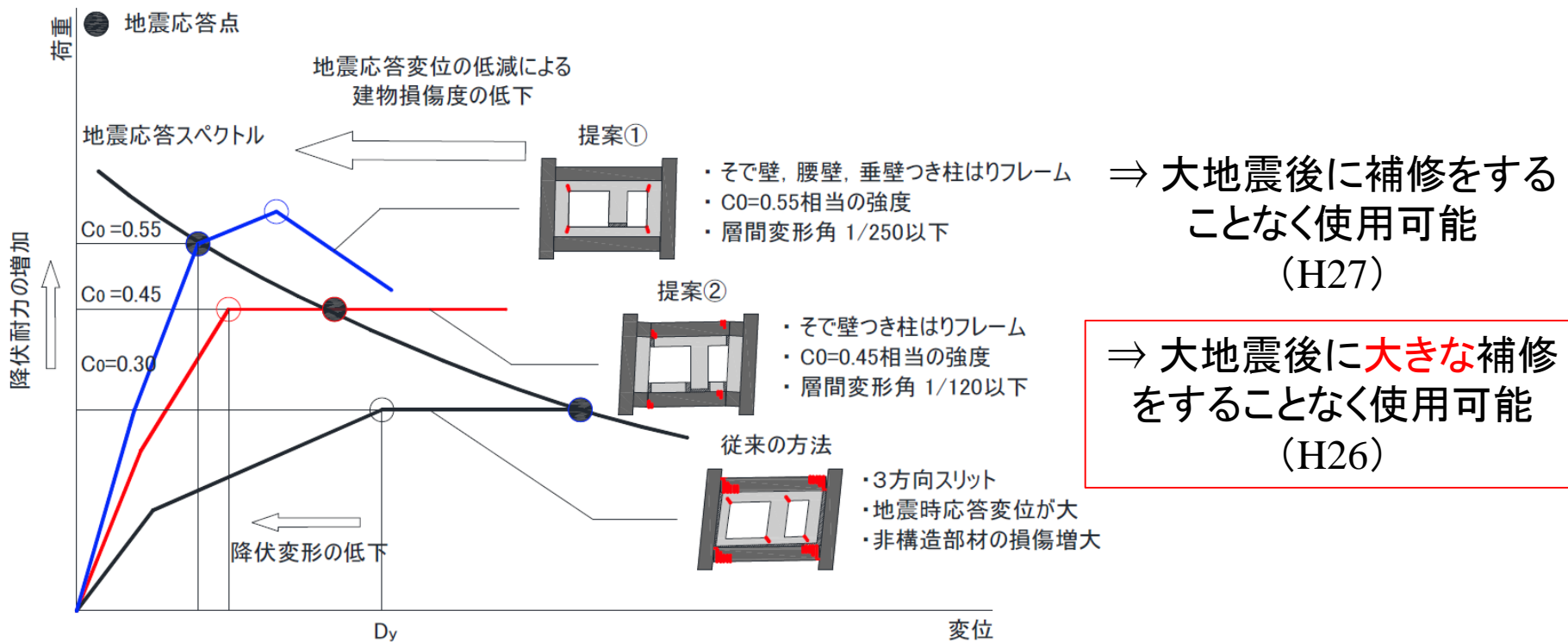
実験概要

総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」

継続使用性確保に資する新たな構造形式の実大検証実験を実施

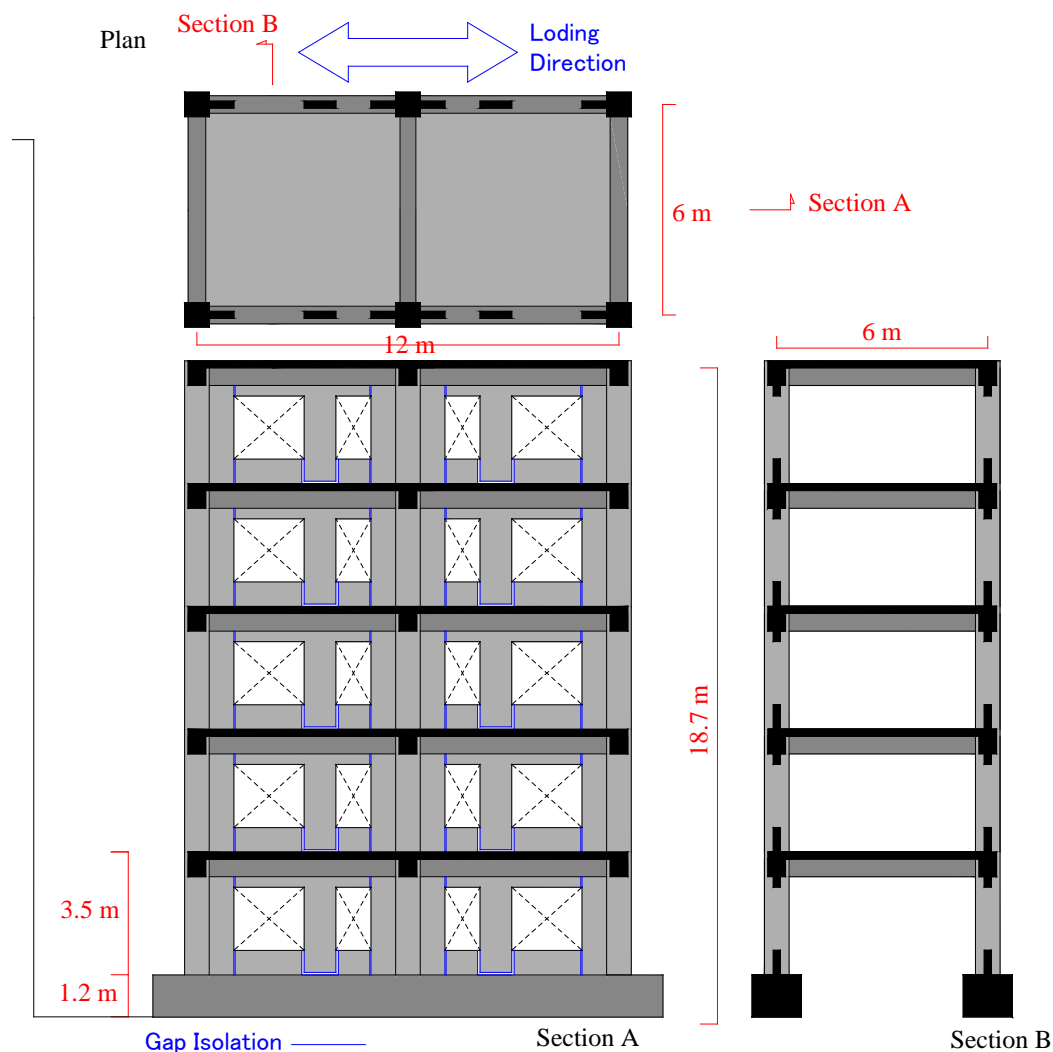
国総研：災害拠点建築物の継続使用のための**設計法・留意事項**

建研：**部材・部分架構の性能評価法**，継続使用性の**評価事例**

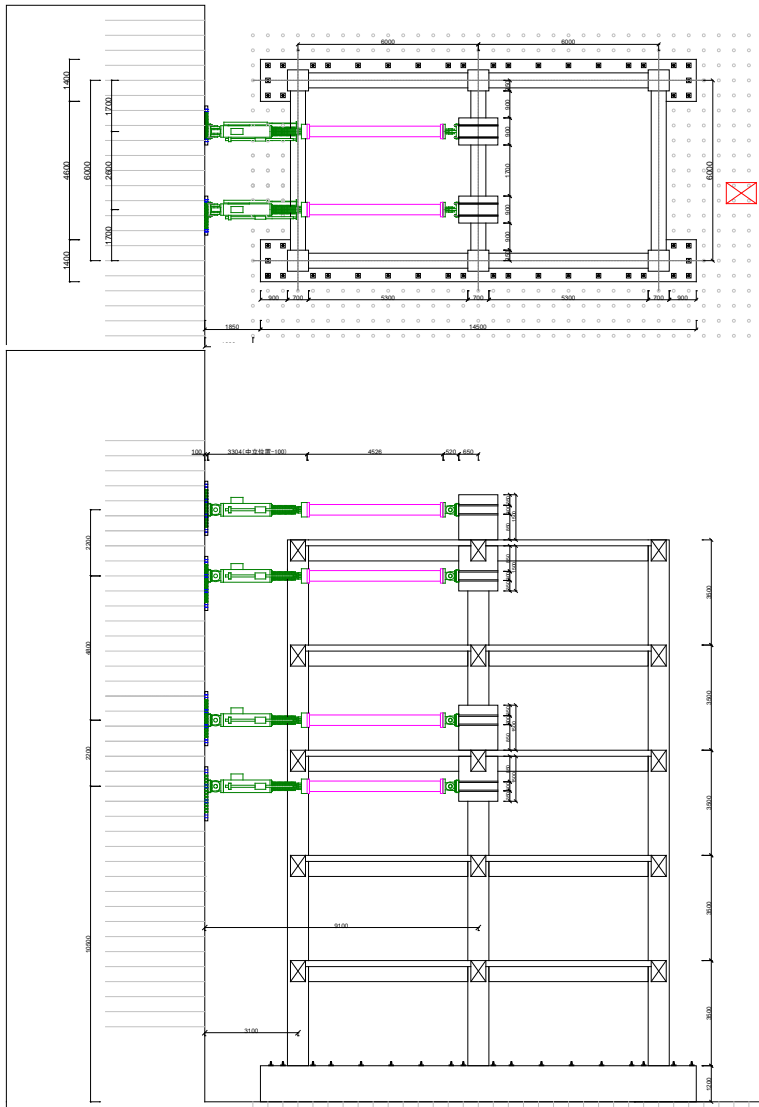


試験体概要

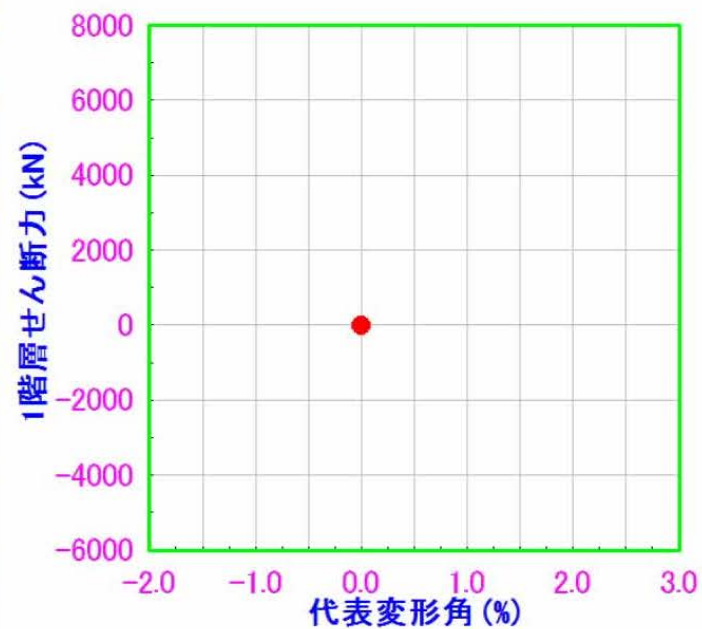
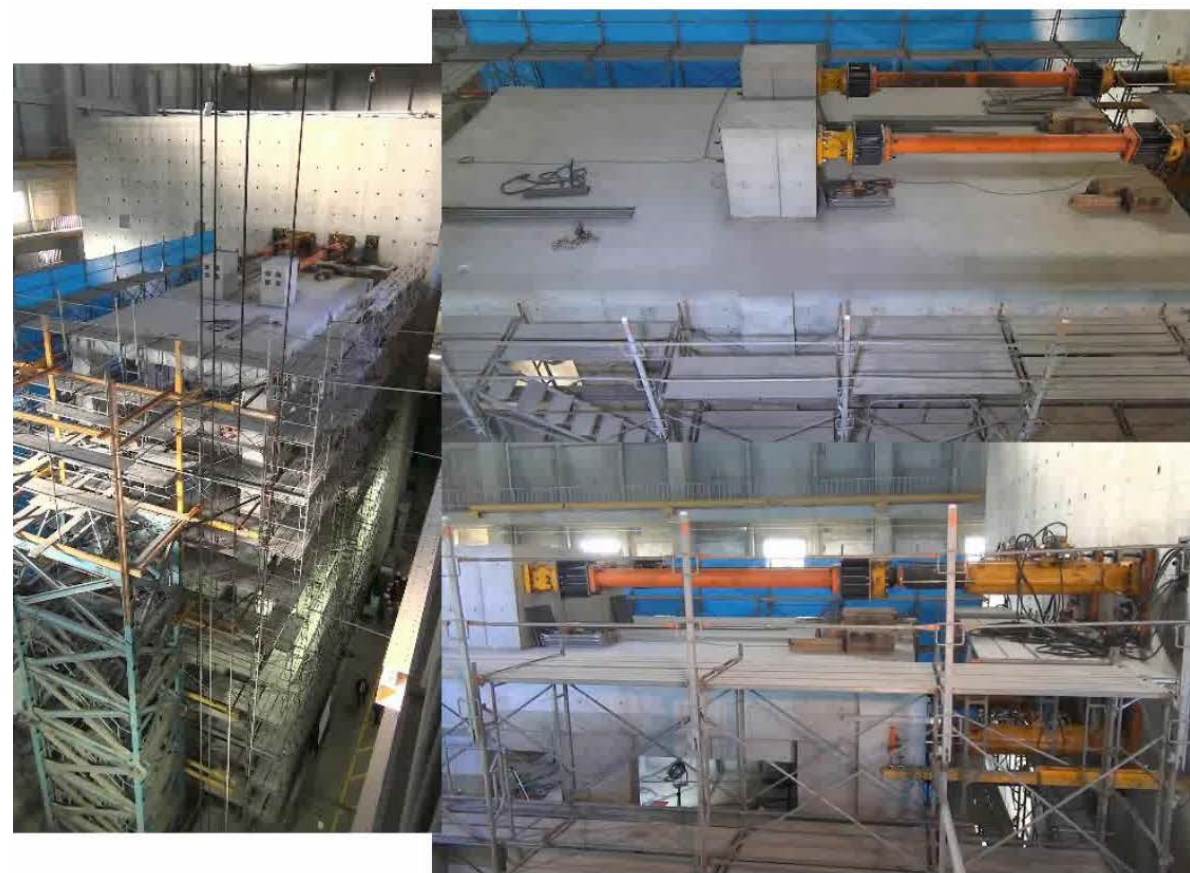
形状	2×1スパン, 5階建て
スパン	6.0 m
階高	3.5 m
コンクリート	30 N/mm ²
柱断面	700×700 mm
柱主筋	16-D25 (SD345)
はり断面	500×700 mm
はり主筋	6-D25 (SD345) (5F, RF)
	8-D25 (SD345) (2~4F)
壁厚	200 mm
壁縦横筋	D10@200ダブル (SD295)
端部補強筋	4-D16 (SD345)
スラブ厚	200 mm
スラブ配筋	D10@150ダブル (S295)
そで壁長さ	700 mm
開口1	2000×1800 mm
開口2	1000×1800 mm



加力方法

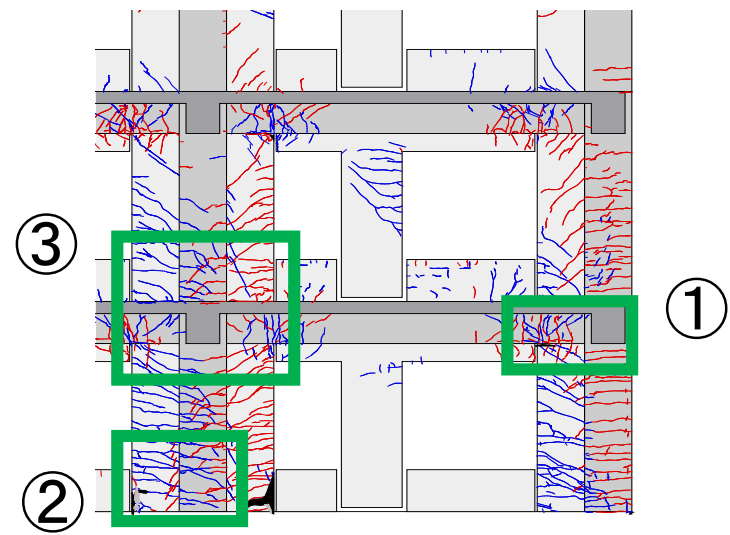
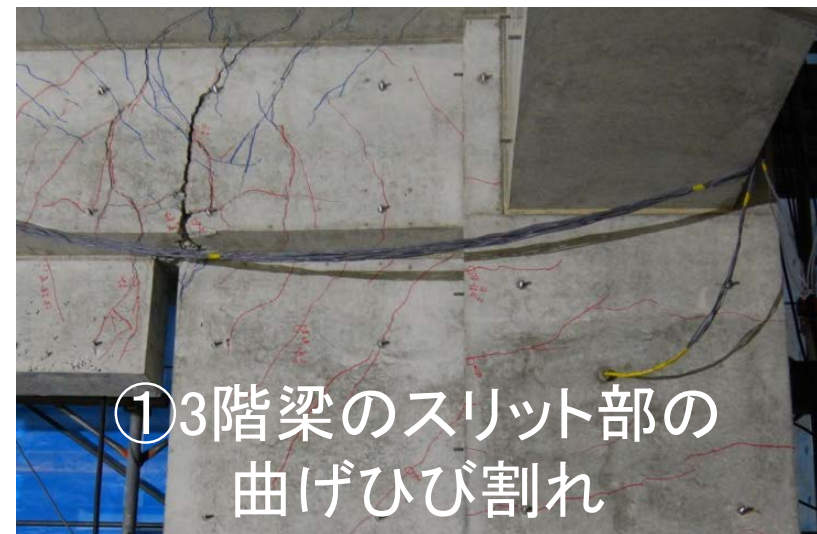
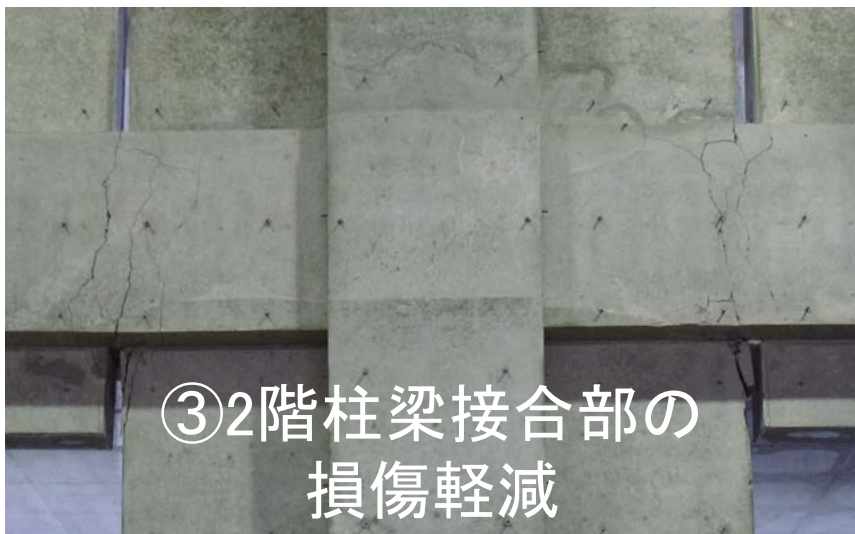


荷重変形角関係 1階層せん断力-代表変形角(R_r)



国立研究開発法人建築研究所

損傷状況(代表変形角 $R_r=1/50$)



地震後の継続使用性に関する検討

実験で計測した各部材の損傷状態から、地震後の継続使用性の判定を行った。

- ・部材実験で定めたRC壁の損傷限界状態（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）を適用
⇒ 他の構造部材の損傷状態との関係を確認
- ・架構の目標ランク（S，A，B）の算定
⇒ 代表変形角との関係から、本構造形式で実現可能な目標ランクを確認

構造上の分類		構造部材	非構造部材（RC壁）
Ⅰ	大地震後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない。	例えば、残留ひび割れ幅が0.2mm未満	例えば、ひび割れ幅0.3mm未満、剥落率0.0%未満
Ⅱ	大地震後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。	例えば、残留ひび割れ幅が1.0mm未満（損傷度Ⅱ程度）	例えば、ひび割れ幅2.0mm未満、剥落率1.0%未満
Ⅲ	大地震後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する。	例えば、残留ひび割れ幅が2.0mm未満（損傷度Ⅲ程度）	例えば、剥落率5.0%未満、脆性破壊（曲げ圧縮、せん断破壊）しない

継続使用性の判定結果

- ・梁のスリット部に生じたひび割れが床スラブまで進展したため、梁や床スラブの損傷の進展が早かった。
- ・構造部材(柱・梁)と非構造部材(袖壁・腰壁・垂れ壁)の損傷状態の分類に大きな差は生じなかった。



代表 変形角	各部材の損傷状態の分類									
	両側袖壁付き柱		片側袖壁付き柱		腰壁, 垂れ壁付き梁		床スラブ			
	柱	袖壁	柱	袖壁	梁	腰壁, 垂れ壁				
1/1600	I	I	I	I	I	I	I			
1/800		II					II	II	II	II
1/400										
1/200	II	II	II	II	II	II				
1/100	III						III	III	III	III
1/50	定義なし	III	定義なし	II	III	III				

代表変形角と架構の目標ランクの関係

実験の 代表変形角	実験の損傷状況	該当する目標ランク
1/1600rad	全部材の残留ひび割れ幅が 0.2mm未満(損傷状態 S_R -I)	S相当 全体を使用制限する ことなく継続使用
1/800rad 1/400rad	残留ひび割れ幅が0.2mm以上 (損傷状態 S_R -II)となる部材が 一部存在したが限定的	A相当 活動上重要なエリアは 使用制限することなく 継続使用
1/200rad	1~3階の損傷状態 S_R -III	B相当 一定の措置後, 継続使用
1/100rad~	過大な幅の残留ひび割れ, 圧壊	なし

研究内容

サブテーマ3:H25-27

25年度

- ・ 現行基準の建築物の耐震性能把握と問題点の抽出

26-27年度

- ・ サブテーマ1や2で得られる成果を活用し、地震後の**継続使用性を確保できる新築建築物の耐震性能評価事例**
および耐震設計事例、既存建築物の耐震性能評価および耐震改修事例の作成

連携：構造設計者

- ・ 日本建築構造技術者協会JSCA

はじめに

サブテーマ3では、サブテーマ1で示される要求性能とサブテーマ2による耐震性評価方法を用いて、継続使用性のランクに応じた建物の**設計事例を作成**する。

サブテーマ1

- ・阻害要因分析
- ・要求性能

サブテーマ2

- ・構造実験
- ・部位の耐震性評価

サブテーマ3

新築建物および既存建物(耐震改修)を想定して、継続使用性を考慮した試設計を行う。

【検討対象建物(部位)】

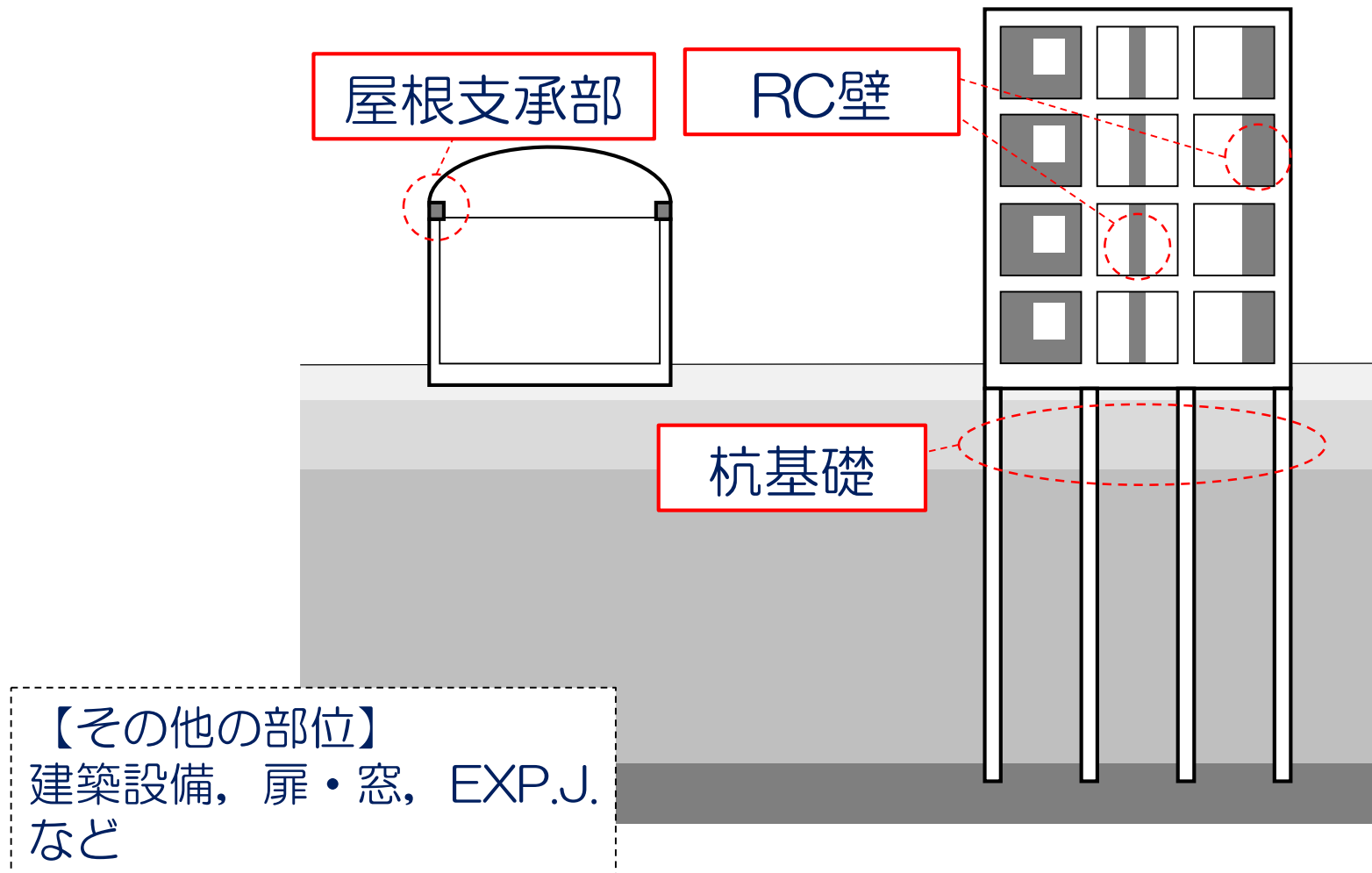
RC造体育館(鉄骨造置き屋根支承部)
庁舎、共同住宅(RC壁)
学校、共同住宅(杭基礎)

【設計手法】

静的解析、動的解析

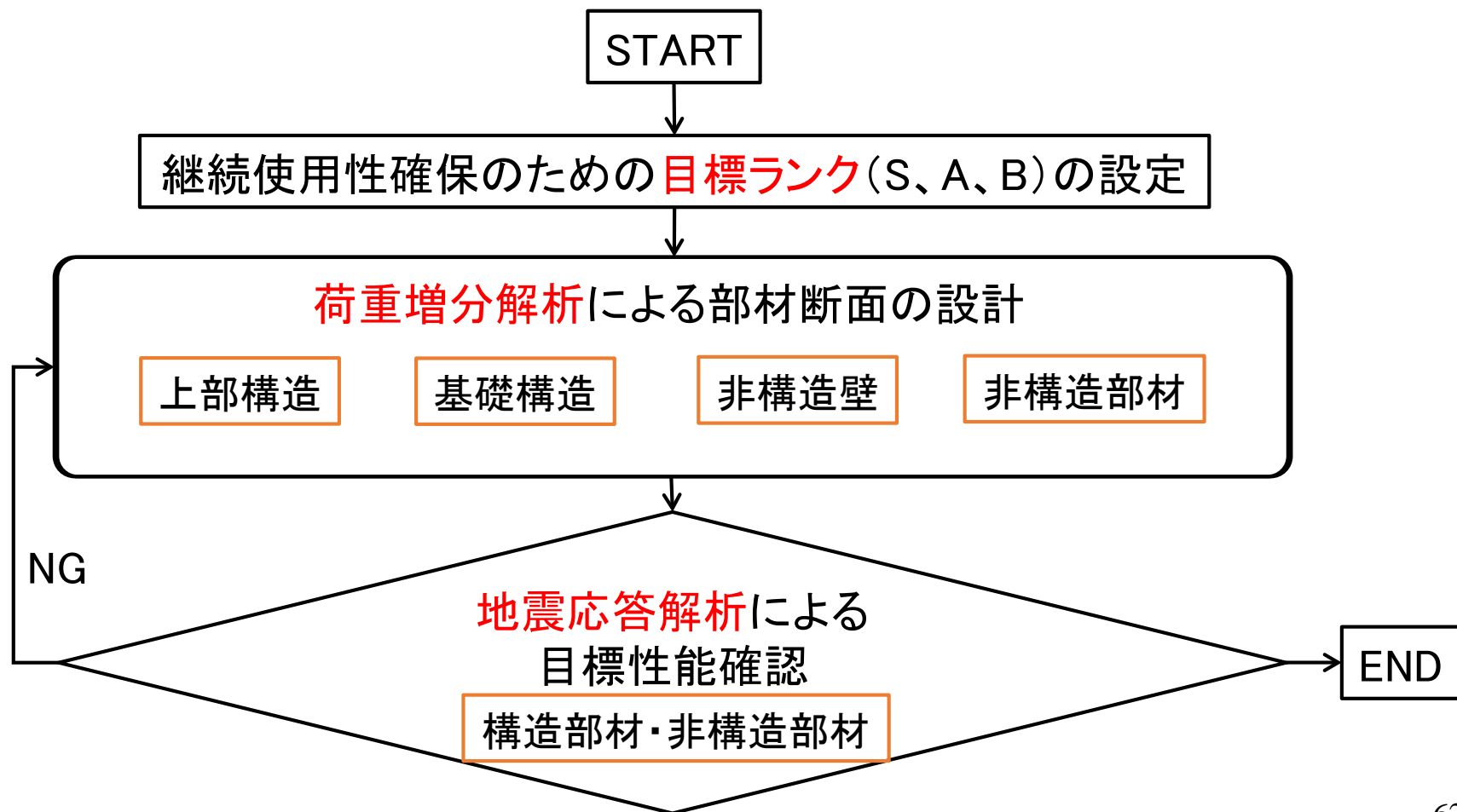
本検討で対象とする建物部位

東日本大震災において継続使用性の阻害要因となった鉄骨造置き屋根支承部、RC壁、杭基礎を中心に検討する。



設計手順・評価フロー

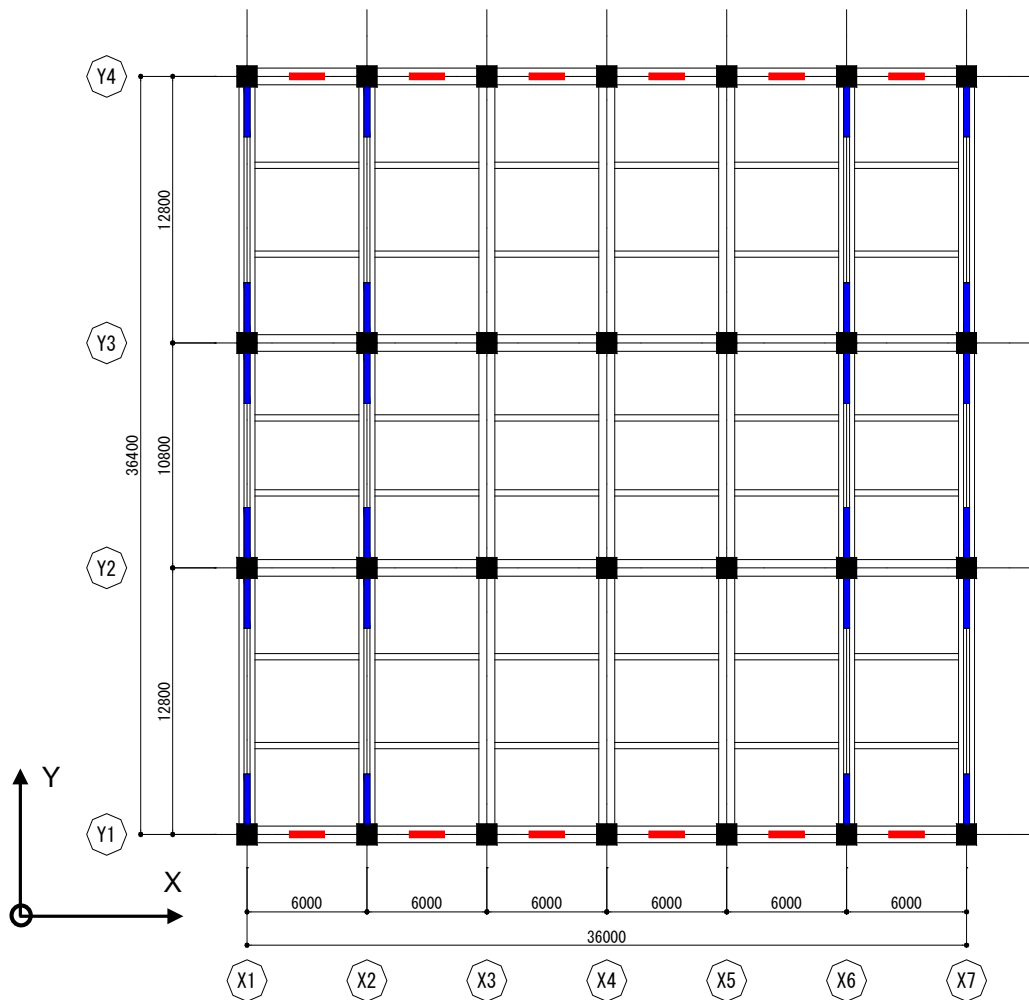
想定される地震動(大地震動等)に対して建物の目標ランクを定め、荷重増分解析により部材設計を行う。設計された建物について地震応答解析等を行い、各部位の損傷状態を確認する。



庁舎の検討事例

建物概要

用途	庁舎
建物規模	地上7階、塔屋なし
建物高さ	約30.0m (階高 4.20m)
構造種別	鉄筋コンクリート造
延床面積	約11,200m ²
使用材料	普通コンクリート Fc30-36 異形鉄筋 ~D16:SD295 D19~D29:SD345 D32~:SD390

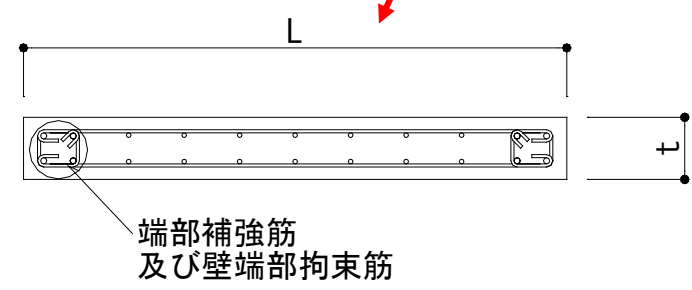
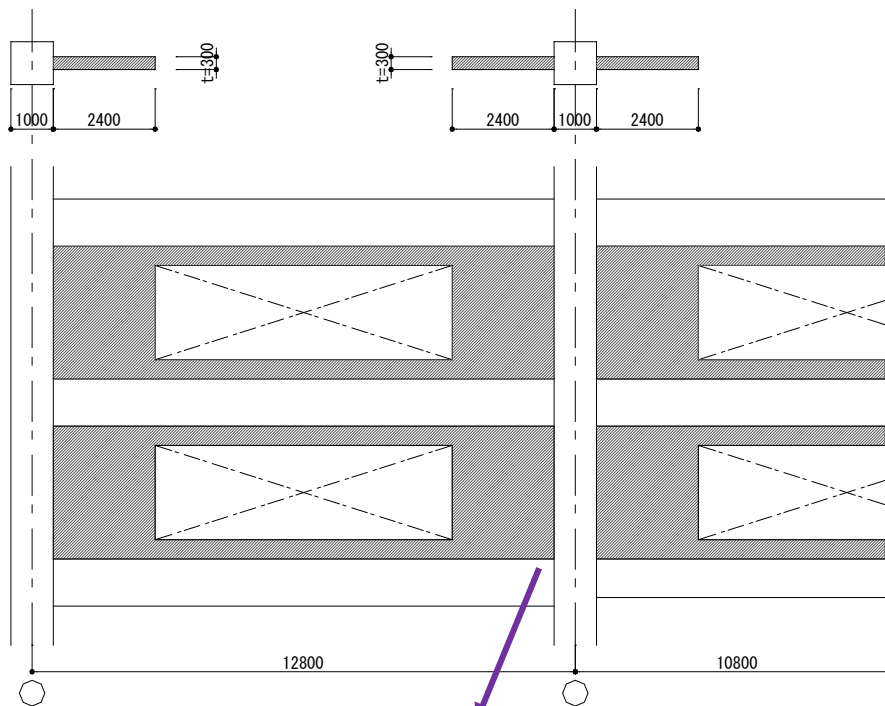
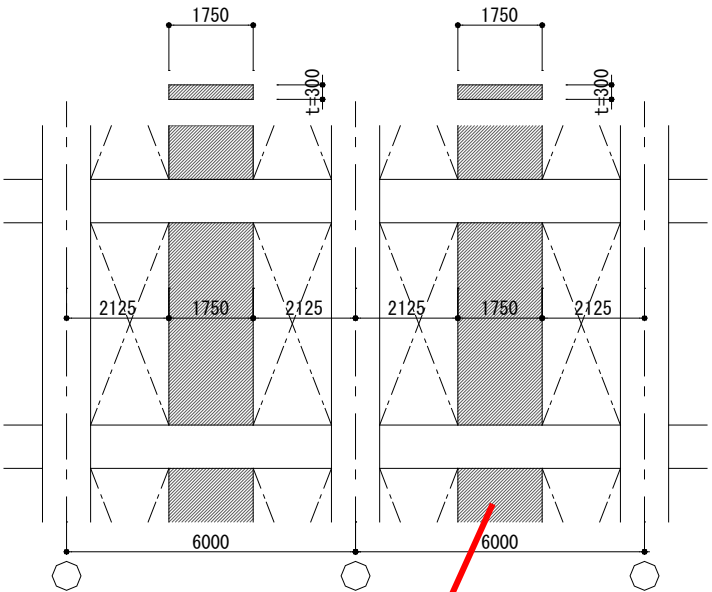


方立壁と袖壁を、積極的に耐震要素として使用する

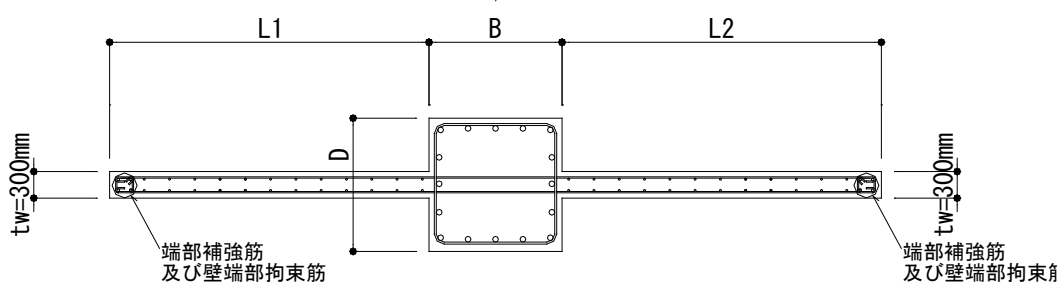


庁舎の検討事例

壁部材の有効利用



X方向 方立壁

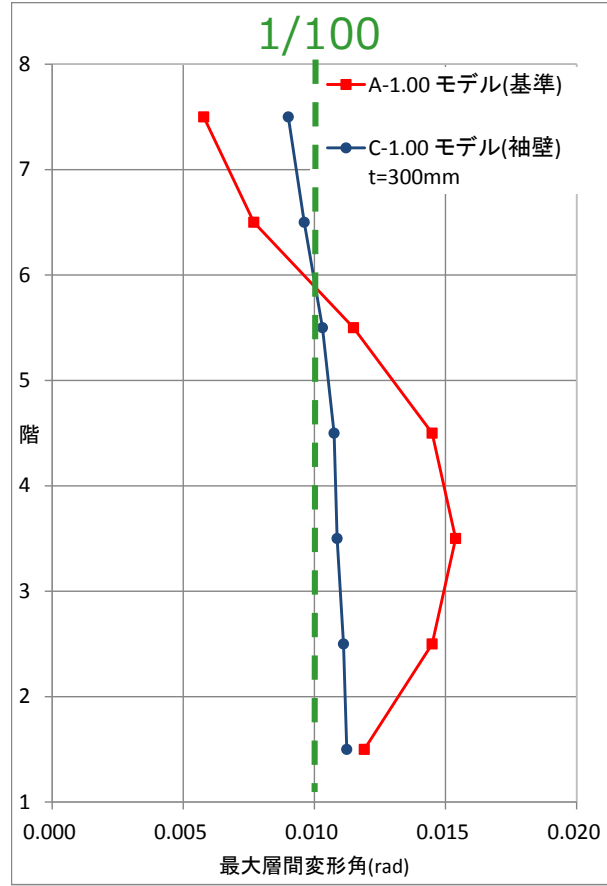


Y方向 袖壁

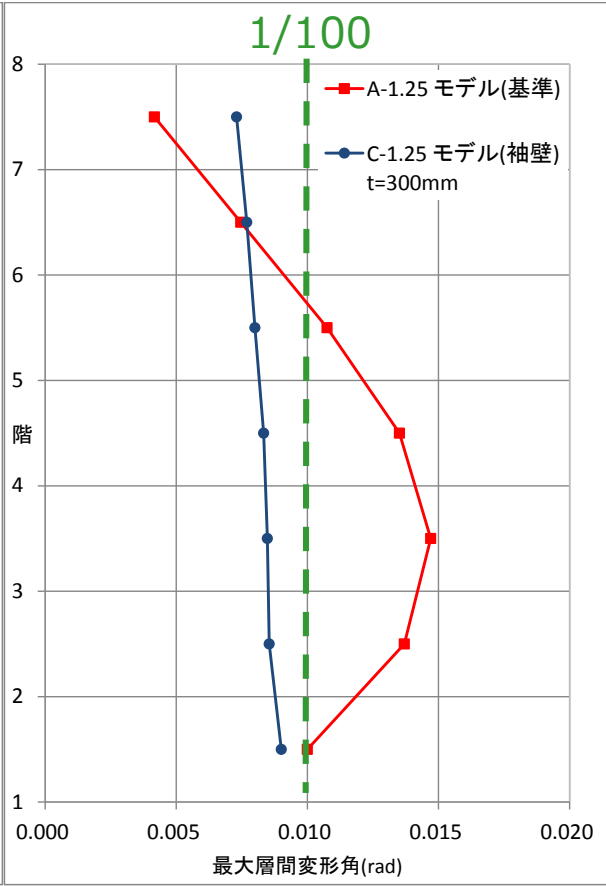
方向	モデル	耐震等級	解析検討モデル	目的
X	A-モデル(基準)	1.00	A-1.00 モデル_X (基準)	基準となる建物性能を把握
		1.25	A-1.25 モデル_X (基準)	
		1.50	A-1.50 モデル_X (基準)	
	B-モデル(方立壁)t=300mm	1.00	B-1.00 モデル (方立壁)t=300mm	基準となるモデルに対し方立壁を付加し影響を確認
		1.25	B-1.25 モデル (方立壁)t=300mm	
		1.50	B-1.50 モデル (方立壁)t=300mm	
Y	A-モデル(基準)	1.00	A-1.00 モデル_Y (基準)	基準となる建物性能を把握
		1.25	A-1.25 モデル_Y (基準)	
		1.50	A-1.50 モデル_Y (基準)	
	C-モデル (袖壁)t=300mm	1.00	C-1.00 モデル (袖壁)t=300mm	基準となるモデルに対し袖壁を付加し影響を確認
		1.25	C-1.25 モデル (袖壁)t=300mm	
		1.50	C-1.50 モデル (袖壁)t=300mm	
		1.50	C-1.50 モデル (袖壁)t=300mm_袖壁4構面	上記モデルに対し袖壁の構面を2構面から4構面にしたときの影響を確認

耐震性能評価の結果

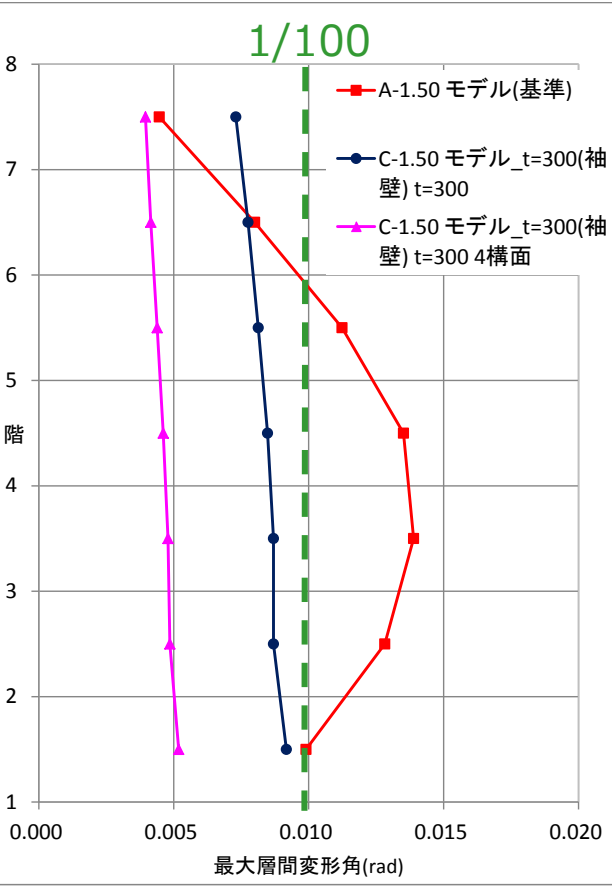
Y方向 袖壁付き柱モデルの比較



1.00倍モデル



1.25倍モデル



1.50倍モデル

地震後継続使用性ランクの評価結果

X方向 B (方立壁モデル)

耐震等級	構造部材 (矩形柱)	RC造壁		建築設備		仕上げ等 玄関扉 ガラス窓 等	性能ラン ク
		活動上重 要なエリ ア	左記以外	エレ ベータ 設備	給排水設 備		
1.00	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	ランク外
1.25	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	ランク外
1.50	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	A

Y方向 C (袖壁モデル)

耐震等級	構造部材 (矩形柱)	RC造壁		建築設備		仕上げ等 玄関扉 ガラス窓 等	性能ラン ク
		活動上重 要なエリ ア	左記以外	エレ ベータ 設備	給排水設 備		
1.00	Ⅱ	ランク外	ランク外	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	ランク外
1.25	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	B
1.50	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	B

設計例作成検討から得られた結論

- 袖壁を4構面配置することで最大層間変形角を大きく低減できることが確認され、耐震性能評価ランクを改善することが確認された。(1/60→1/200rad)
- 東日本大震災で大きく損傷したRC壁を有効利用することで、**地震後の継続使用性を確保した設計が可能**である事を示した。

全体まとめ：今後の課題

- 新築の継続使用性を確保した設計**：部材断面を要求性能に応じて設計できるため、その設計過程や実現可能性は示された
- 既存建築物（新耐震以降）の地震後継続使用性評価**：以下の技術的な課題が残されている

課題1. 一般用途の建築物（住宅や事務所ビル等）にも適用できる評価体系の構築が必要

課題2. 時刻歴応答解析を用いない応答・損傷評価技術が必要

課題3. 地震後の損傷を低減できる耐震性向上技術が必要

上記以外に、地震後の継続使用性を迅速に判定する技術も併せて必要。

→次期課題で検討予定

謝辞

本研究課題へご協力賜りました皆様へ深く感謝申し上げます

サブテーマ1：

UR都市機構・東京理科大学

サブテーマ2：

RC壁関係：国総研・東京工業大学・東京理科大学・東北大学・京都大学・名古屋大学・東京大学・安藤ハザマ・熊谷組・佐藤工業・戸田建設・西松建設・前田建設

体育館定着部関係：東京工業大学・横浜国立大学・大阪工業大学・千葉大学

コンクリート杭基礎関係：千葉大学・芝浦工業大学・山口大学・戸田建設(株)・COPITA・東京ソイルリサーチ・フジタ

サブテーマ3：

日本建築構造技術者協会