

平成23年度建築基準整備促進事業

27-2. 長周期地震動に対する鉄骨造建築物の 安全性検証方法に関する検討

事業報告

2012年4月11日

鹿島建設株式会社
株式会社 大林組
清水建設株式会社
大成建設株式会社
株式会社 竹中工務店
株式会社 小堀鐸二研究所

27-2. 長周期地震動に対する鉄骨造建築物の安全性検証方法に関する検討 本検討の背景

長周期地震動入力時には骨組を構成する部材は、多数回の繰り返し変形を受けるが、繰り返し数が部材および接合部に及ぼす影響については、不明な点が多い。

⇒ (イ) 多数回繰り返し荷重を受ける鉄骨造建築物の構造実験の実施

⇒ 部材、接合部、部分架構および実大レベルの骨組の限界性能を把握。

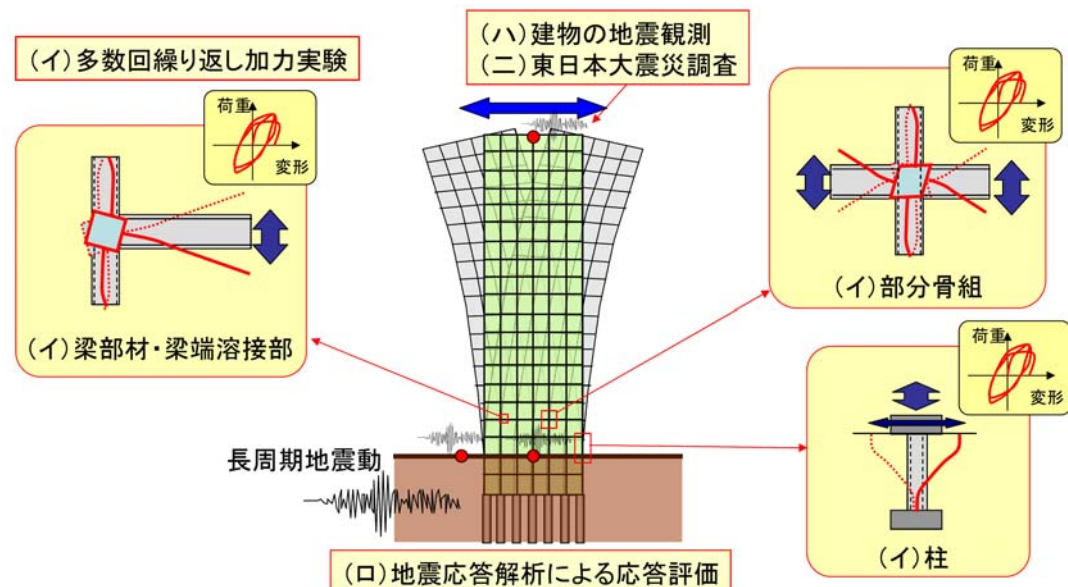
建物の構造特性は建物強度、架構形式の違いによる影響が大きいため、応答解析で長周期地震動下の耐震性能を検討する必要あり。実建物の地震観測も重要。

⇒ (ロ) 長周期地震動に対する鉄骨造の応答評価の実施

⇒ (ハ) 超高層鉄骨造建築物の地震観測の実施

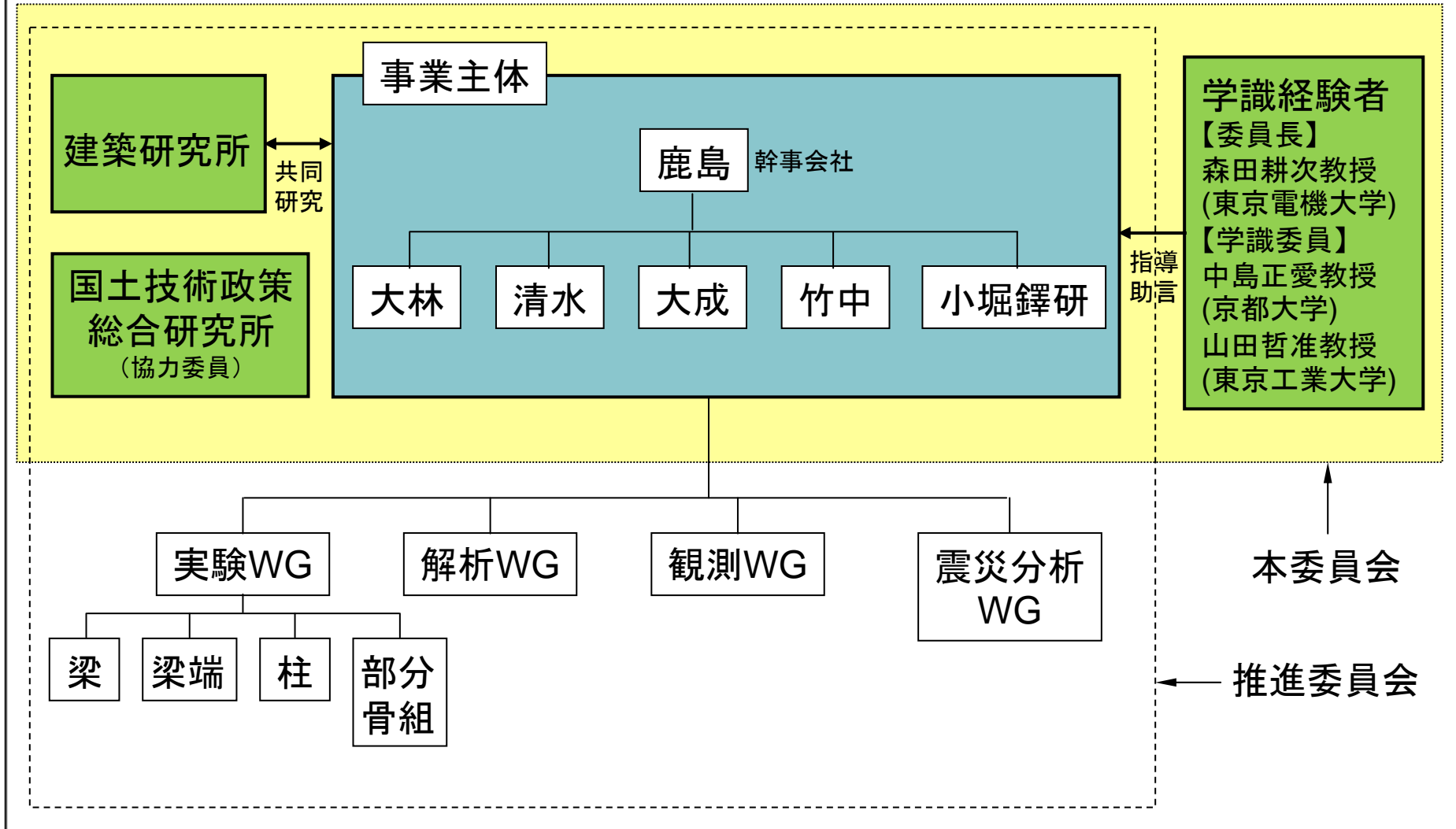
東日本大震災時の応答挙動の調査結果を耐震安全性評価へ反映。

⇒ (ニ) 東日本大震災によるS造高層建築物の挙動調査と反映項目の整理・検討



実施体制

【研究委員会(平成23年度)】



(イ)多数回繰り返し荷重を受ける鉄骨造建築物の構造実験の実施

部材・部分架構実験(梁部材1)

実験概要

H22年度と異なる幅厚比ランクの梁部材を対象とした載荷実験を実施し、多数回繰り返し変位履歴下における梁部材の保有性能を把握。

⇒ H22年度の成果を拡充

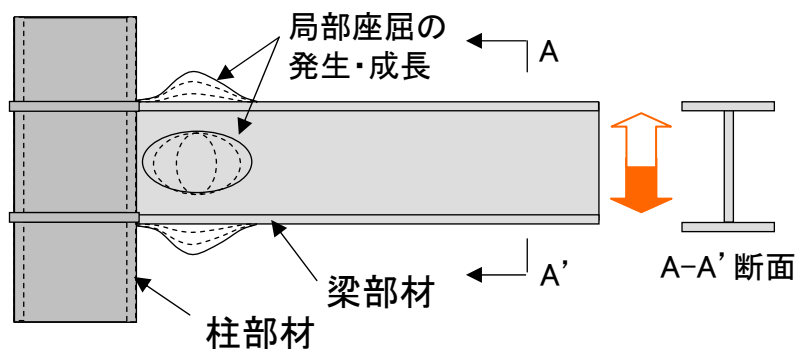
- ・縮尺:実大相当
- ・梁断面形状:H形
- ・梁の幅厚比ランク:フランジFA、ウェブFD
- ・試験体数:6体
- ・実験パラメータ:

- ①変位振幅:一定振幅、変動振幅
- ②スラブの有無

実験パラメータ

試験体名	梁断面(鋼種)	スラブ有無	変位振幅
AD-2	BH-600×200 ×9×16 (SM490A)	なし	±2 δ _p
AD-2.5			±2.5 δ _p
AD-3			±3 δ _p
AD-R1			変動振幅1
AD-R2			変動振幅2
AD-2-S		あり	±2 δ _p

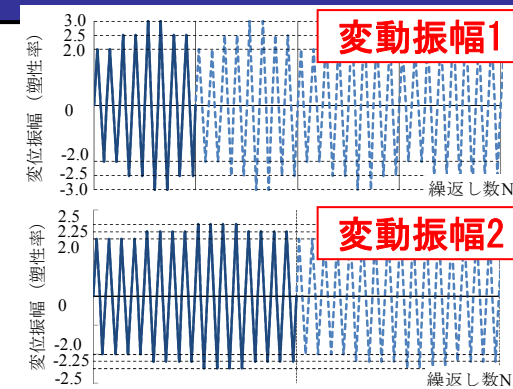
※ δ_p:純鉄骨梁の全塑性耐力に対応する梁弾性変形計算値(21.9mm)



実験イメージ



実験状況

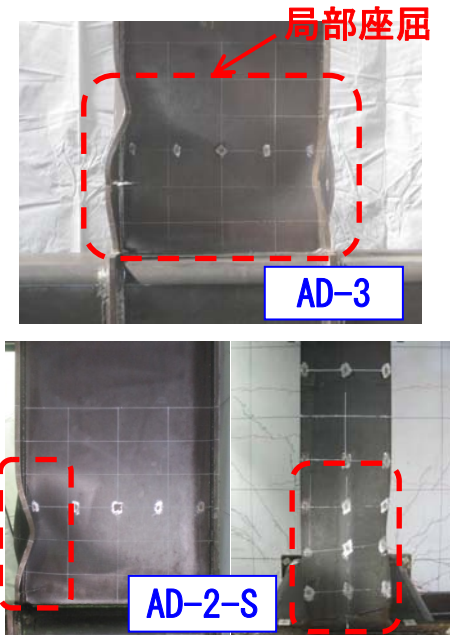


変動振幅パターン

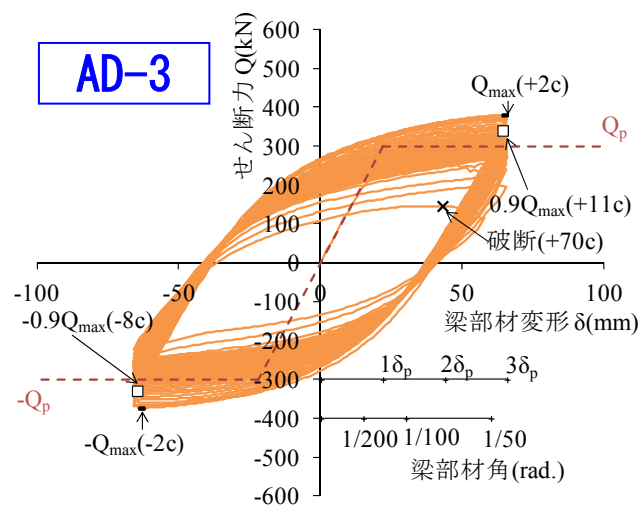
部材・部分架構実験(梁部材2)

実験結果

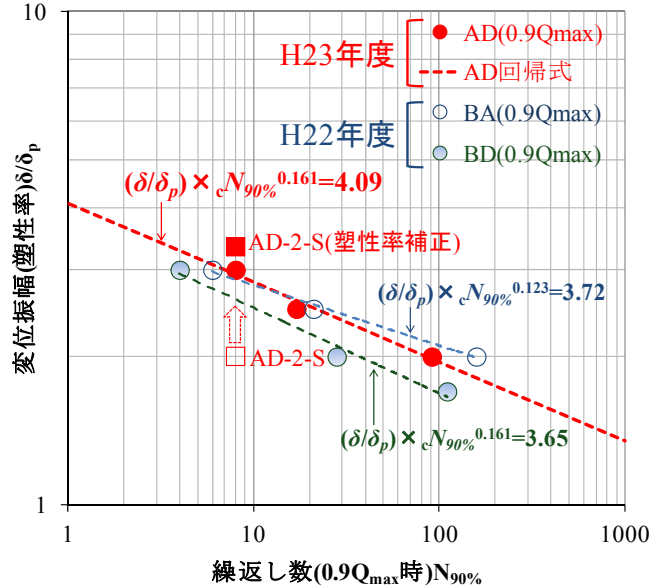
- 1) ウェブ、フランジの順で局部座屈→緩やかに耐力低下→き裂により耐力低下顕著
- 2) 一定振幅载荷: 90%耐力時の「変位振幅(塑性率) - 繰返し数関係」回帰式を提案
- 3) スラブの影響: 純鉄骨梁と比べて局部座屈による耐力低下が顕著。
合成梁の剛性を考慮して塑性率を補正 → 純鉄骨梁と同様に評価
- 4) 変動振幅载荷: 90%耐力時の累積損傷度($D_{90\%}$)を回帰式を用いて評価
→ 変動振幅1: $D_{90\%}=1.018$, 変動振幅2: $D_{90\%}=0.716$



最終破壊状況



荷重-変形関係



変位振幅-繰返し数関係

部材・部分架構実験(柱梁接合部の梁端溶接部1)

実験概要

- (1) 塑性率1以下の小変位振幅における疲労寿命の把握
- (2) 変動振幅履歴下における累積損傷度評価法の妥当性検証
- (3) 床スラブの存在, 梁断面寸法の相違が疲労寿命に与える影響評価

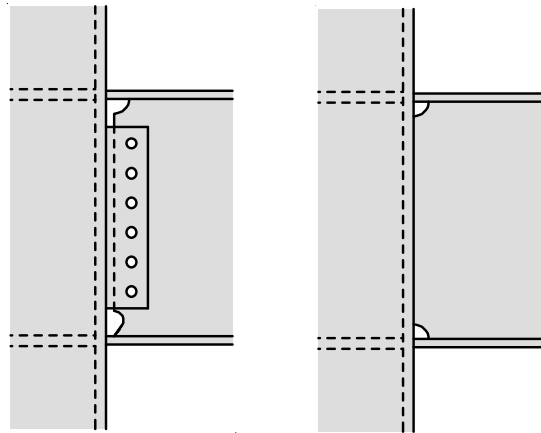
・試験体数 : 8体 ・縮尺 : 実大相当

・梁断面 : BH-600×200×12×19 / BH-800×300×16×32

・実験パラメータ : [梁端接合形式] 現場溶接形式 / 工場溶接形式

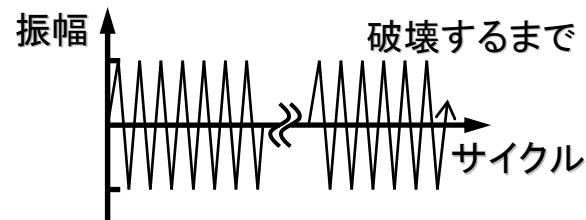
[载荷パターン] 一定振幅(塑性率0.9~3.0) / 変動振幅

[スラブの有・無] 鉄骨梁 / 合成梁

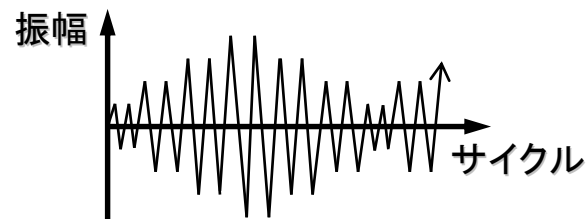


(現場溶接形式) (工場溶接形式)

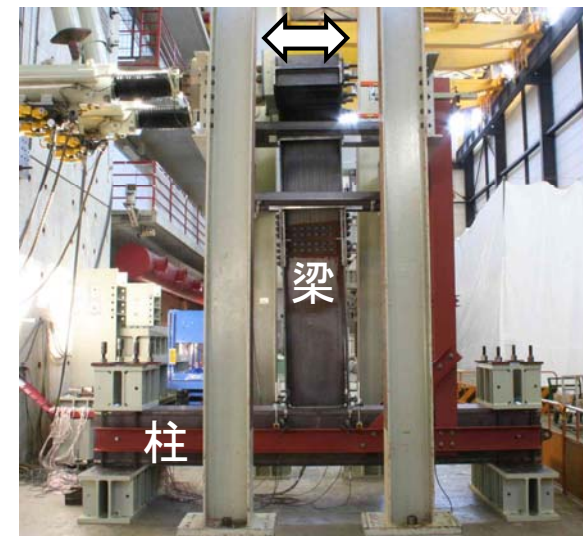
梁端接合形式



一定振幅载荷例



変動振幅载荷例



加力装置

部材・部分架構実験(柱梁接合部の梁端溶接部2)

実験結果

(1) 変位振幅と90%耐力時繰返し数の関係および変位振幅とフランジ破断時繰返し数の関係

⇒ 梁端接合形式別の実験回帰式

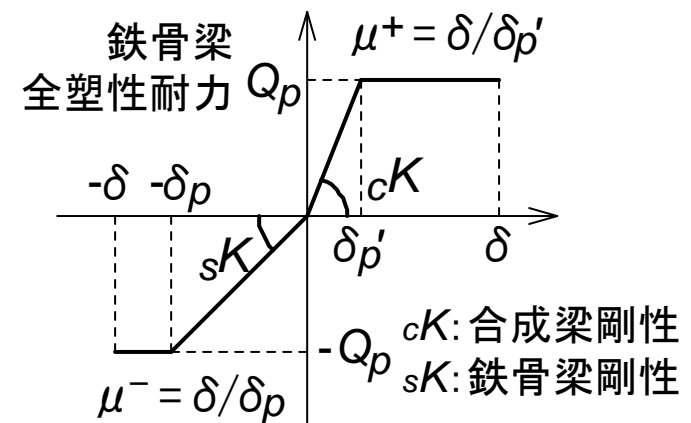
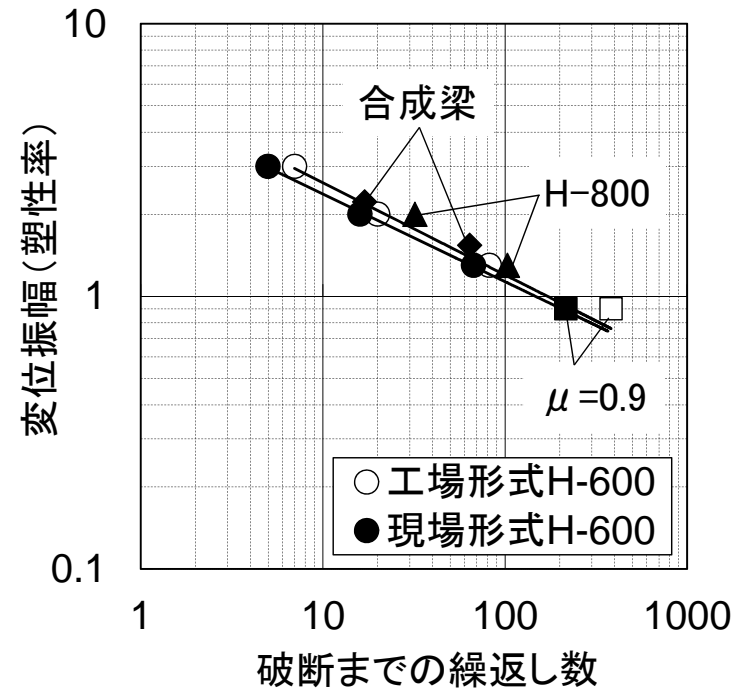
[実験範囲] 梁せい 600, 800 mm

塑性率 0.9 ~ 3.0

(2) 合成梁の塑性率 μ' として、正曲げ側塑性率 μ^+ と負曲げ側塑性率 μ^- の平均を用いることで、合成梁の疲労寿命は鉄骨梁と同様の回帰式で評価できる。

(3) 変動振幅载荷実験 (Miner則の検証)

- ・ 90%耐力時に対する累積損傷度 : 0.6
- ・ フランジ破断に対する累積損傷度 : 0.6



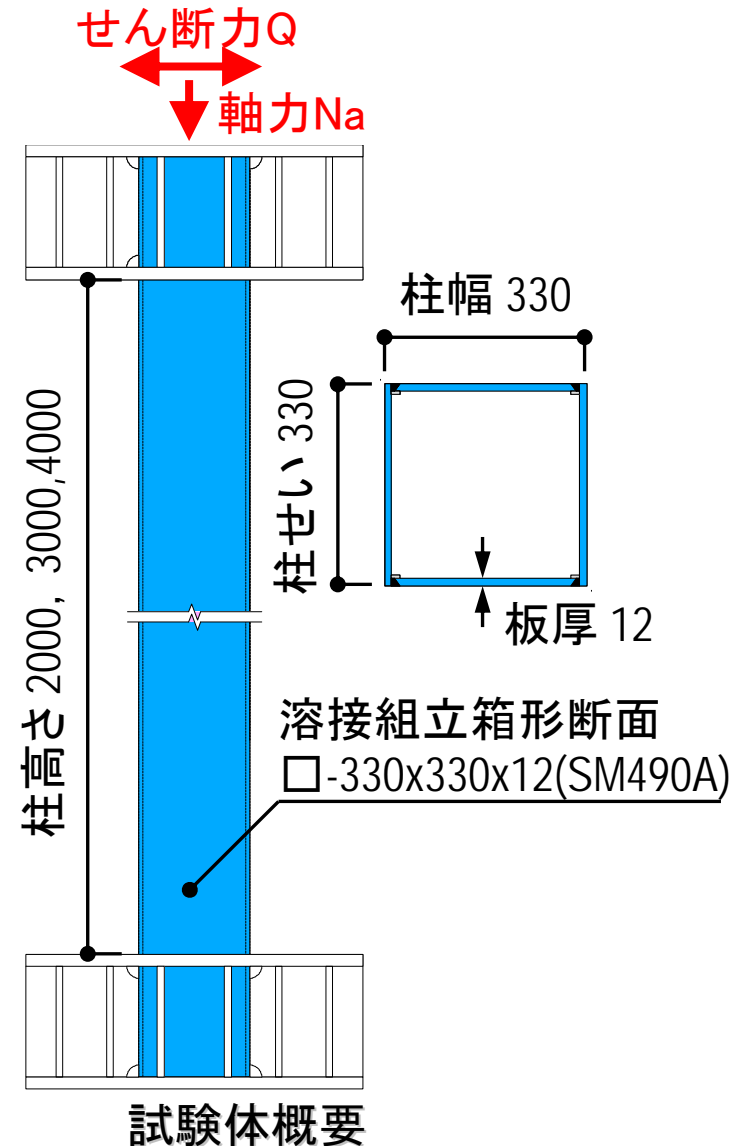
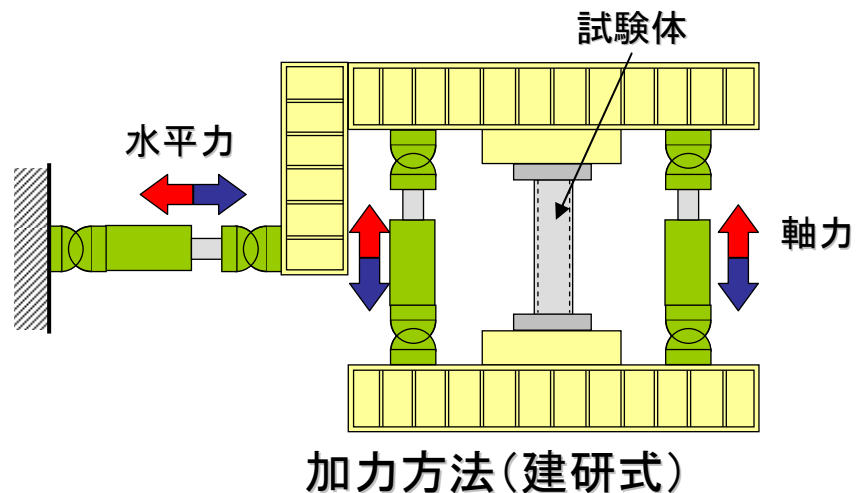
合成梁の塑性率: $\mu' = (\delta / \delta_p' + \delta / \delta_p) / 2$

部材・部分架構実験(柱部材1)

実験概要

①細長比, ②軸力比および③構造種別を実験因子とし, 小振幅領域($1.2\delta_p$)での定振幅多数回繰返し載荷時の柱の保有性能の把握を行った。

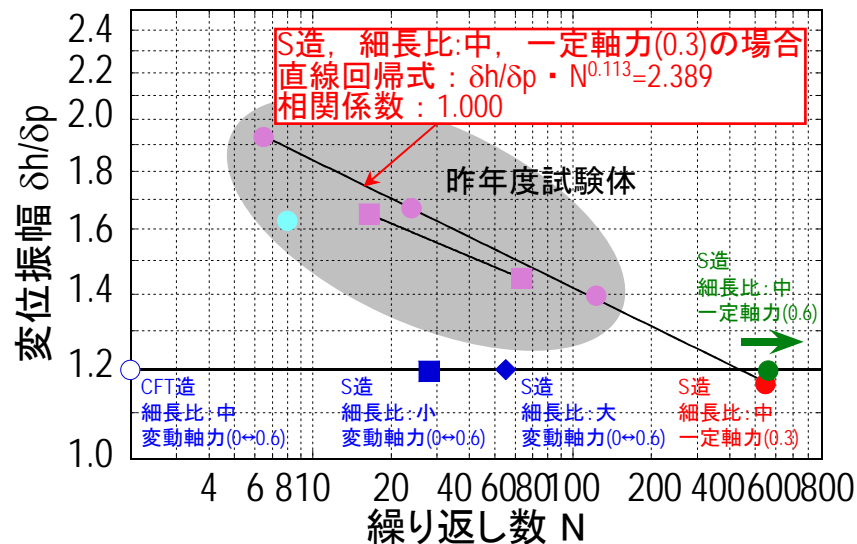
- ・縮尺: 1/2程度
- ・試験体数: 5体
- ・柱断面形状: 溶接組立箱形断面(SM490A)
- ・実験因子
 - ①細長比: 大(30.8), 中(23.1), 小(15.4)
 - ②軸力比: 一定軸力(0.3, 0.6), 変動軸力($0 \leftrightarrow 0.6$)
 - ③構造種別: S造, CFT造



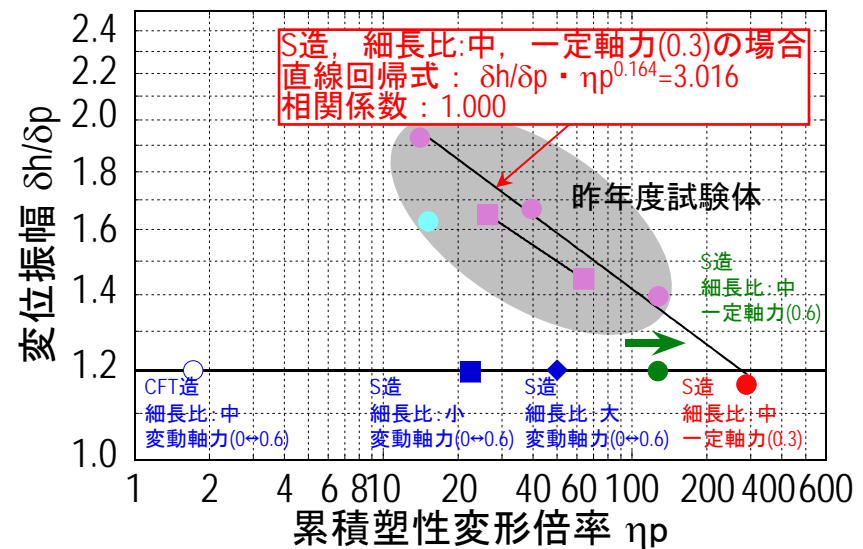
部材・部分架構実験(柱部材2)

実験結果

- ・全てのS造試験体で柱頭・柱脚部の**局部座屈**により**耐力低下**
- ・変位振幅と繰返し数や累積塑性変形倍率の関係は、両対数軸上で概ね直線に分布, 各指標に高い相関性があることを確認
- ・細長比が小さい場合や変動軸力下では, 繰返し数, 累積塑性変形倍率は小さい



変位振幅-繰返し数関係



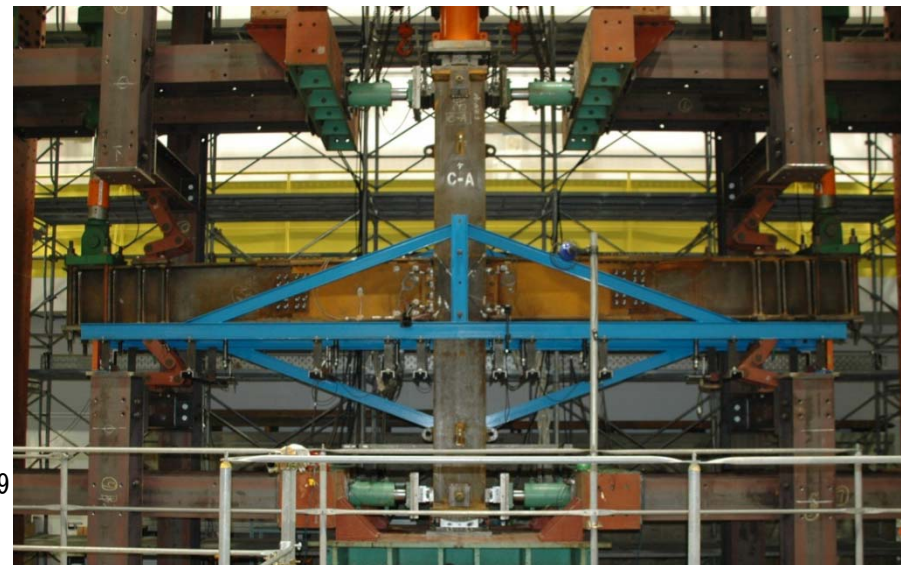
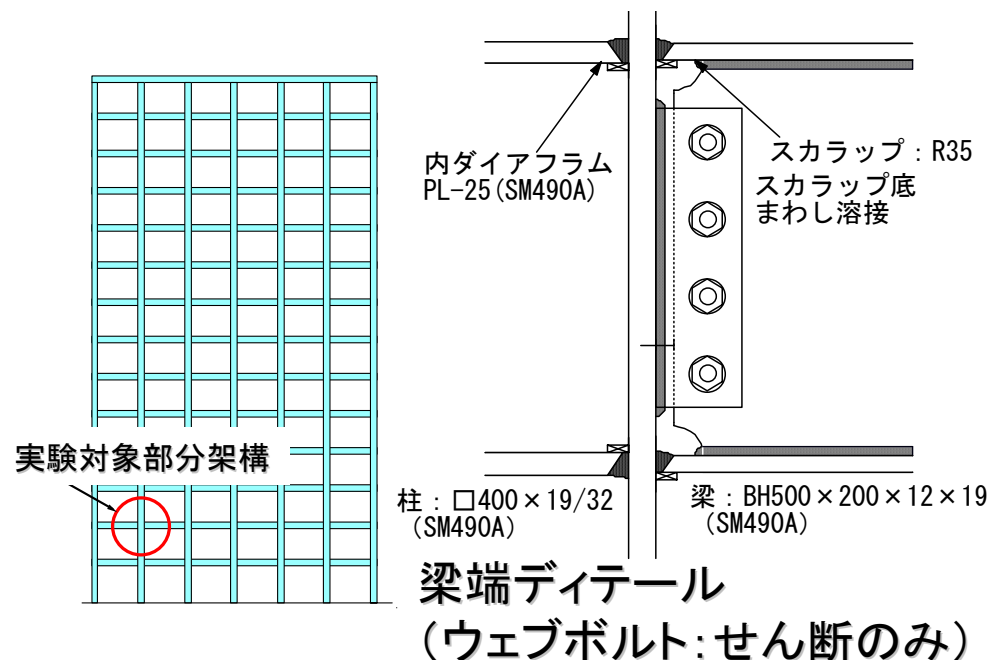
変位振幅-累積塑性変形倍率関係

部材・部分架構実験(柱梁接合部部分架構1)

実験概要

柱梁接合部部分架構を取り出した試験体に対し定変位の多数回繰り返し加力を実施し、各パラメータが及ぼす梁端の破壊性状へ影響を把握する。

- ・縮尺: 2/3程度
- ・試験体: 5体, 柱: $400 \times 19/32$, 梁BH: $500 \times 200 \times 12 \times 19$, 柱軸力比0.3
- ・実験パラメータ:
 - 〔パネル梁耐力比〕 強パネル(1.3)/弱パネル(0.8)
 - 〔载荷パターン〕 塑性率振幅(1.3~3.0)
 - 〔梁端ウェブ高カボルト〕 せん断のみに対し設計/曲げ耐力確保

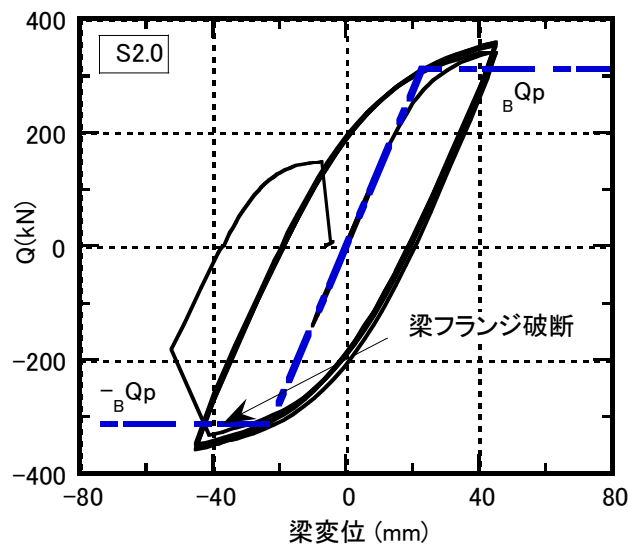


加力状況

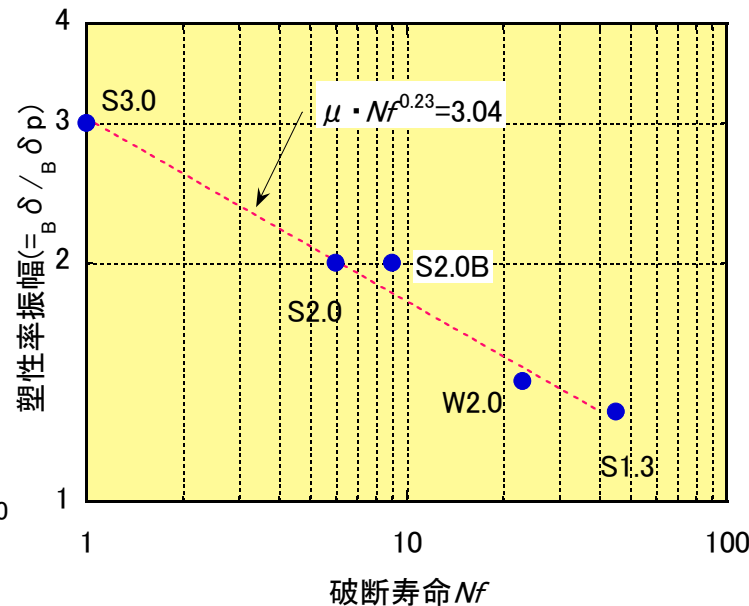
部材・部分架構実験(柱梁接合部部分架構2)

実験結果

- ・破壊は、いずれも35Rスカラップ底(回し溶接)を起点とした梁フランジ母材の破断。
- ・塑性率振幅が大きいほど、破面に占める脆性破面の割合は大きい。
- ・塑性率振幅と破断繰返し回数 N_f の間には、両対数軸上でほぼ線形関係にある。
- ・弱パネル試験体は、同一の塑性率振幅の強パネル試験体よりも N_f は少ない傾向にある。
- ・ウェブ高カボルトに曲げ耐力を付与した試験体は N_f が多くなる傾向にある。



履歴ループ (塑性率振幅 $\mu = 2.0$)



塑性率振幅と破断寿命の関係



フランジ破断状況 ($\mu = 3.0$)

(口)長周期地震動に対する鉄骨造の応答評価1

目的 ・建物耐力の異なる超高層建物の長周期地震時の部材挙動の差異把握

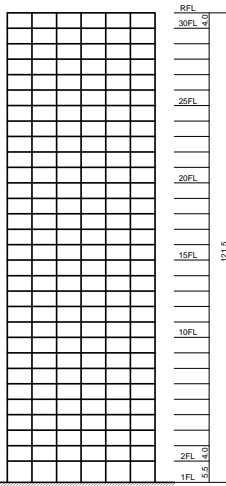
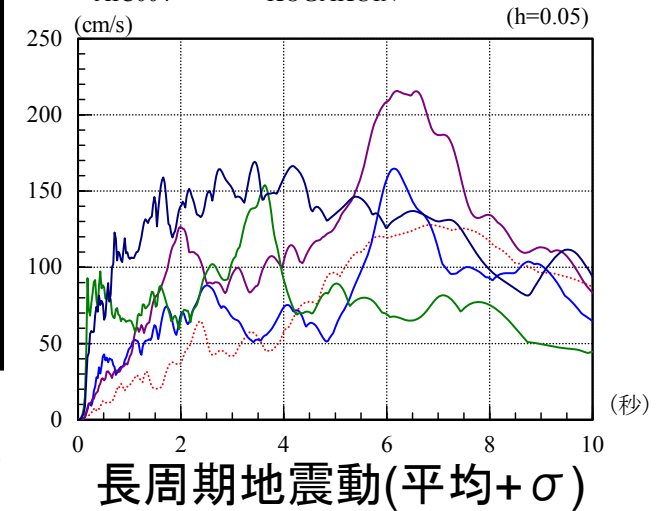
解析対象・モデル

・30階鉄骨造超高層モデル建物(建物耐力の異なる2種)

解析条件等

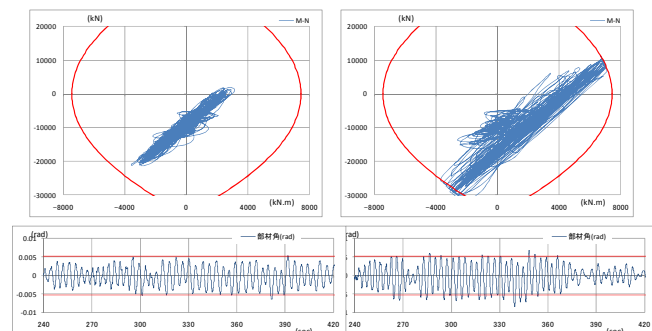
・長周期地震動を入力として時間刻み等調整して解析
 ・柱梁の繰り返し履歴を確認 → 最悪想定し共振

— AIC003 — OSKH02 - - - TOMAKOMAI
 — AIC004 — KOGAKUIN



梁部材塑性化繰り返し回数(愛知津島平均+σ)

モデル	合計	1.0~1.5	1.5~2.5	2.5~4.0	4.0以上
弱	36	12	19	5	0
強	29	14	12	3	0



まとめ ・弱モデル→強モデル
 梁塑性化回数は減少、柱塑性化程度は進展

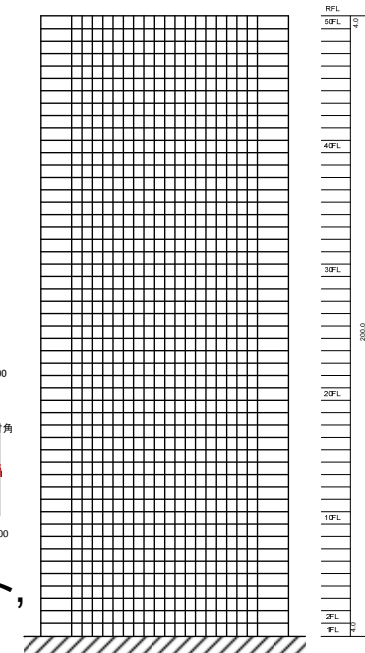
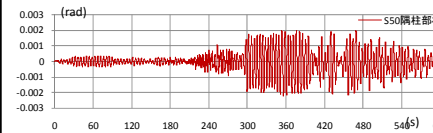
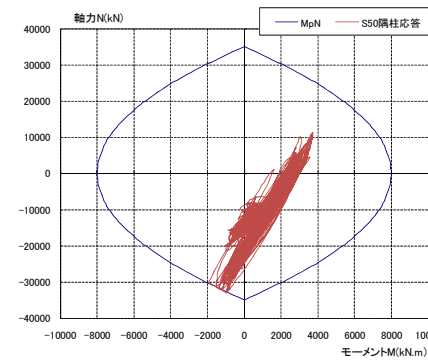
(口)長周期地震動に対する鉄骨造の応答評価2

目的・架構形式の異なる超高層建物の長周期地震時の部材挙動の差異把握

解析対象・モデル ・50階鉄骨造超高層モデル建物(短スパンS50L)

梁部材塑性化繰り返し回数(愛知津島平均+ σ)

モデル	合計	1.0~ 1.5	1.5~ 2.5	2.5~ 4.0	4.0 以上
S50L	32	7	14	10	1



隅柱脚軸力-モーメント,
部材角時刻歴
(愛知津島平均+ σ)

S50L

まとめ

梁塑性化回数は最大32回、塑性率大きめ
柱軸力比は0.9程度の可能性、塑性化回数は数回

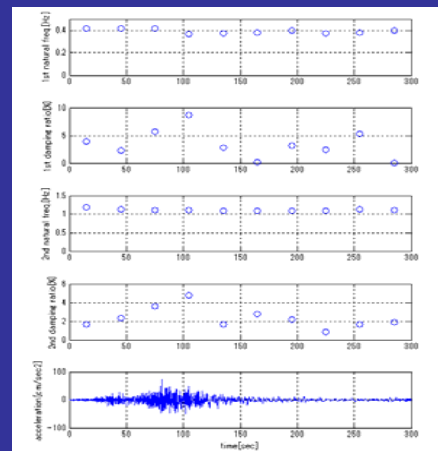
今後の課題 ・梁端破断,局部座屈後の部材及び建物挙動把握
・高軸圧下の柱挙動の確認

(二)(ハ)東日本大震災挙動分析および反映項目整理・検討1

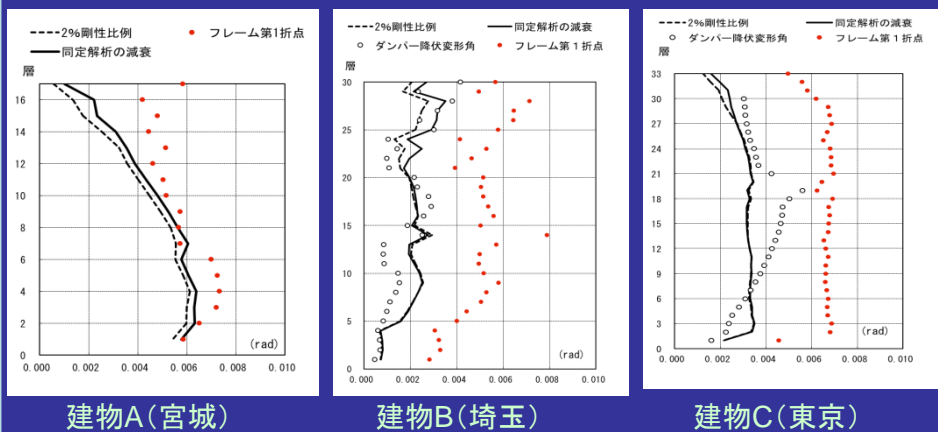
(独)建築研究所で強震観測を行った建物A(宮城県)、建物B(埼玉県)と本事業で観測を行った建物C(東京都)について、せん断質点系の解析モデルを用い、観測記録を入力地震動とした地震応答解析を実施

- ① 同定手法を用いた振動特性の評価(時刻歴での1次,2次の振動数と減衰の推移を分析、評価)
- ② 地震応答解析に基づく各建物の最大層間変形や減衰の影響評価
- ③ 観測された加速度記録と応答解析結果の比較
- ④ 建物Bの履歴型ダンパーの損傷評価(EL Centro NS 50kineとの比較)

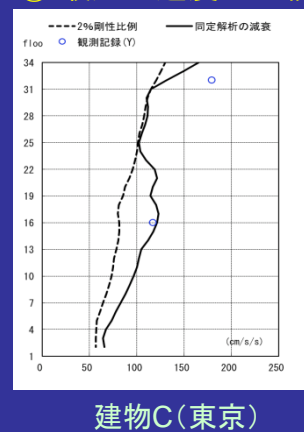
① 建物Bの同定解析結果



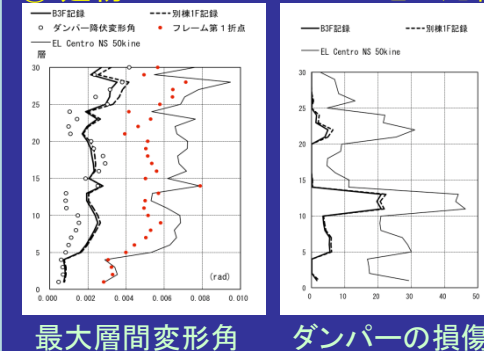
② 各建物の最大層間変形角



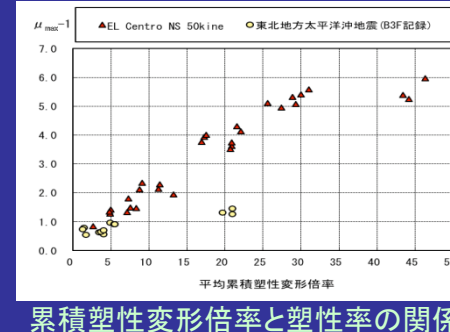
③ 最大加速度の比較



④ 建物BのEL Centro NS との比較



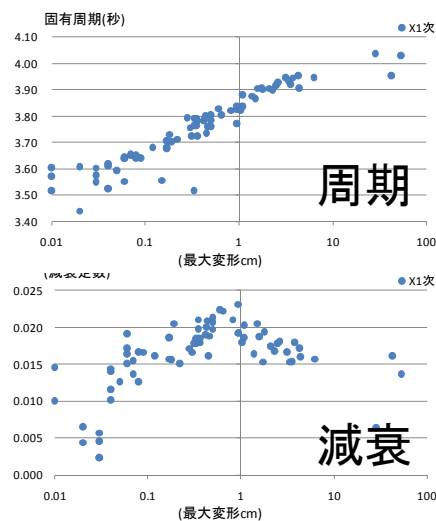
- 1) 建物Aは柱梁がわずかに降伏する応答変形、建物B、Cはダンパーが降伏するレベルの応答変形。
- 2) 加速度応答は、同定解析の減衰を用いるの方が観測記録に近い。
- 3) 建物Bのダンパーの損傷は、EL Centro NSIによる解析の半分程度(ただし、ダンパー保有性能はそれに比べ十分大きい)。
- 4) 今回の地震はEL Centro NSIに比べ、塑性振幅の繰返し回数が多い。



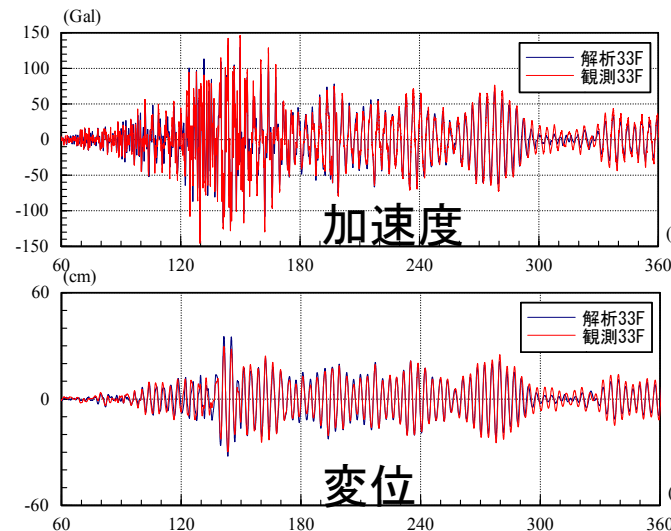
(二)(ハ)東日本大震災挙動分析および反映項目整理・検討2

建物D(東京都)について、

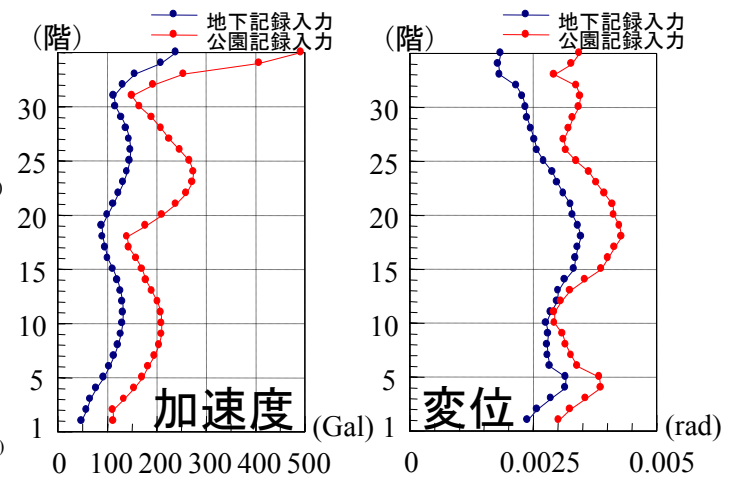
- ① ARXモデルによる動特性(固有周期・減衰)評価
- ② ①の結果を用いた地震応答解析による観測記録のシミュレーション
- ③ 地震応答解析による■表層地盤増幅■入力損失の評価



ARXモデルによる動特性



地震応答解析-観測比較



表層地盤及び入力損失の影響

反映項目

- ① 建物固有周期: 振幅依存性あり、振幅大時長周期化の可能性、耐震性評価に幅を考慮
- ② 建物減衰: 3次までは各次一定に近い、シミュレーションは適切に設定する必要
- ③ 地表面観測記録による解析: 地盤条件や基礎条件を考慮した基礎入力動を用いる必要
- ④ 地震動のエネルギー
- ⑤ 多数の繰り返し変形: 従来の設計用入力地震動を上回り繰り返し多数、累積塑性変形倍率等の判定指標必要

今年度の成果と来期計画

今年度の成果

(イ)多数回繰り返し载荷構造実験

- ・既往データの少ない弱塑性率範囲の多数回繰り返し特性データを4種・24サンプル取得
- ・「変位振幅」と「繰り返し数」の関係把握⇒安全性検証法における疲労寿命の評価指標

(ロ)地震応答評価

- ・耐力・架構形式の異なる解析モデルの地震応答解析
⇒ 部材の塑性化状況を把握(最大塑性率, 塑性率ごとの発生回数など)

(ハ)地震観測 ⇒ 都内の2棟の超高層鉄骨造建築物の観測記録を収集・分析

(ニ)東日本大震災挙動分析および反映項目整理・検討

- ・地震応答解析と観測記録との比較より, 解析による建物の挙動を把握
- ・耐震安全性検証方法の確立のために検討すべき項目を整理

来期計画

(イ)多数回繰り返し载荷構造実験

- ・実大架構実験実施 ⇒ 部分・骨組架構に対する限界保有性能の評価の妥当性検証

(ロ)地震応答評価

- ・建物の要求性能と、構造実験により把握された限界保有性能を比較検討
⇒ 安全性検証のクライテリアの検討のための技術資料を取りまとめ

・骨組架構実験のシミュレーション解析実施

(ハ)地震観測 ⇒ 引き続き地震観測及び観測記録の分析