

平成19年度～21年度

「長周期地震動を受ける既存RC造超高層建築物
の構造部材性能評価・向上技術の開発」

平成23年9月

(独)建築研究所 (株)熊谷組 佐藤工業(株)
戸田建設(株) 西松建設(株) (株)間組 (株)フジタ

1. 背景・目的

近年、十勝沖地震を機に長周期地震動がクローズアップされている。特に超高層建築物の構造部材はこれまで想定していた以上の多数回繰返し振動を受けることが指摘されており、**構造部材の多数回繰返し加力に対する性能を評価・確認・確保することが重要**と日本建築学会の「提言」においても指摘されている。

長周期地震動の影響やその後の修復再利用を考慮すると、超高層建築物、特に超高層集合住宅に使用されている高強度RC造構造部材の**多数回繰返し振動に対する構造性能および累積損傷の評価技術**が必要であり、また必要な構造性能確保のための**既存超高層集合住宅に対する構造性能向上技術**の開発も必要である。

2. 研究開発の概要

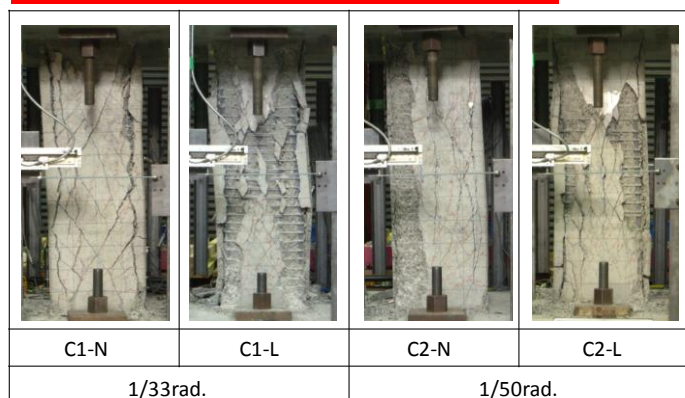
本研究では、長周期地震動により多数回繰返し振動を受けるRC造超高層集合住宅の構造部材の有する構造性能の把握、累積損傷やエネルギー吸収能力の評価、および構造性能の向上を目的に以下の技術開発を行った。

- ① 構造実験による高強度RC造部材(柱、梁、接合部)の累積損傷性能の把握
- ② 地震応答解析による大地震や長周期地震動に対する構造部材の累積損傷の評価
- ③ 長周期地震動に対する累積変形やエネルギー吸収能に基づくRC造超高層建築物の損傷評価手法の開発
- ④ 強度補強による高強度RC造構造部材の対累積損傷性能向上技術の開発

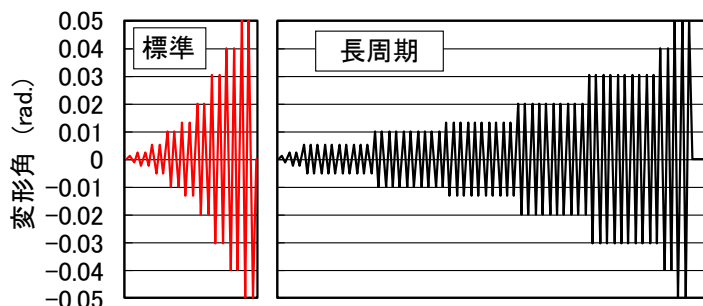
① 構造実験による高強度RC造部材(柱、梁、接合部)の累積損傷性能の把握

設計条件を変えた柱試験体4体、梁試験体4体、柱・梁接合部試験体10体の構造実験を実施し、多数回繰り返し加力に対する部材の累積損傷性状に関わる実験データを得た。

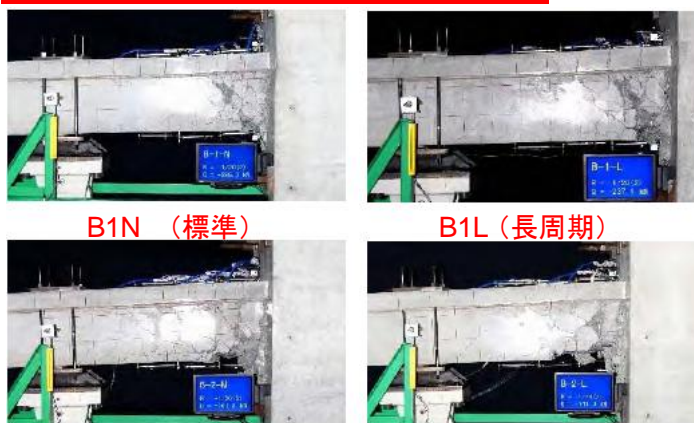
H19 柱試験体 (実験場所: 戸田建設)



標準 長周期 標準 長周期



H19 梁試験体 (実験場所: 熊谷組)



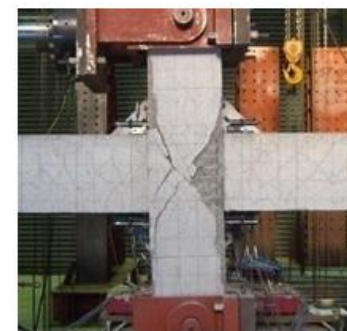
B1N (標準) B1L (長周期)
B2N (標準) B2L (長周期)

H20 柱梁接合部試験体

(実験場所: ハザマ、戸田建設)



標準



長周期

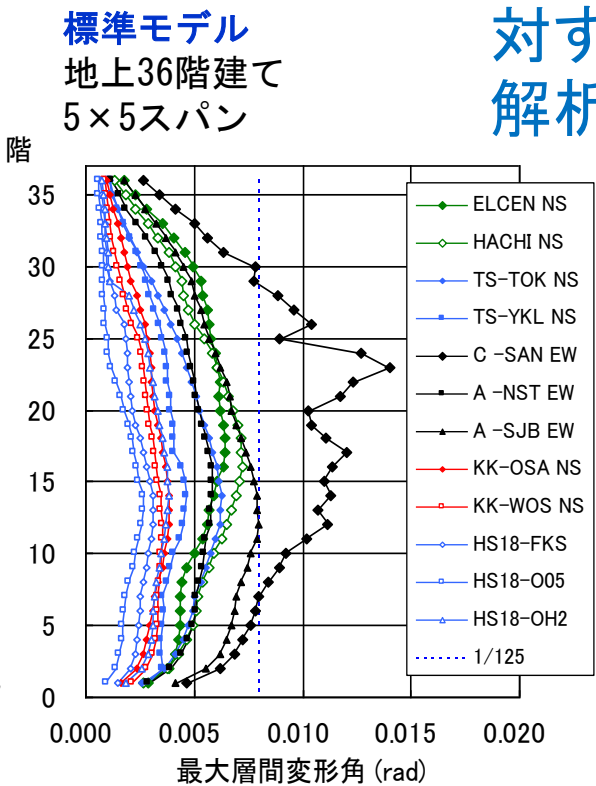
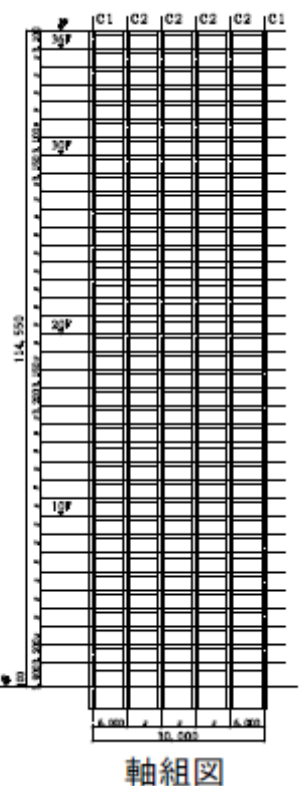
実験結果の共通点

多数繰り返しの復元力特性への影響は、最大耐力に達するまではほとんど無く、最大耐力以降において、端部コンクリートの圧壊の進展とともに耐力低下と変形能力の低下がみられた。

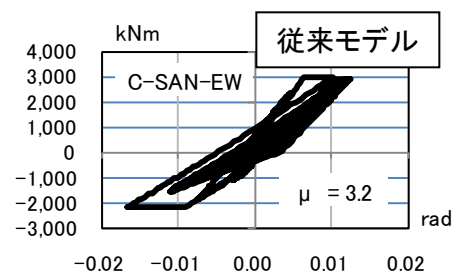
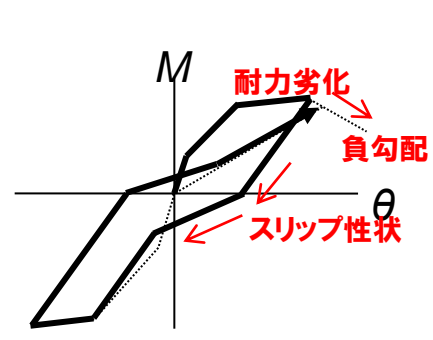
② 地震応答解析による大地震や長周期地震動に対する構造部材の累積損傷の評価

H19 長周期地震動を受ける超高層RC造建築物の応答性状(解析:佐藤工業)

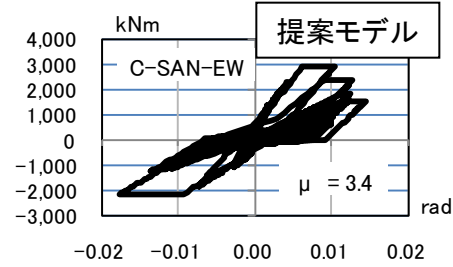
実験結果をもとに累積損傷を組み入れた復元力モデルを開発し、長周期地震動に対するRC造超高層集合住宅の地震応答解析を行い、累積損傷を評価した。



H21 多数回繰り返し変形を受ける累積損傷のモデル化(解析:建築研究所)



荷重変形関係のモデル化
-スリップ性状
-繰り返し耐力劣化
-スケルトンの負勾配



長周期地震動(C-SAN-EW)により最大層間変形角が1/70に達し、部材は非線形領域で10回程度の繰り返し振動となる。
→ 構造実験の繰り返し数(長周期)を10回に設定

③ 長周期地震動に対する累積変形やエネルギー吸収能に基づくRC造超高層建築物の損傷評価手法の開発

耐力低下とエネルギー吸収低下と部材の破壊モードの関係を分析し、破壊モードに応じた耐力劣化率とエネルギー吸収性能(等価粘性減衰定数)の評価式を提案した。

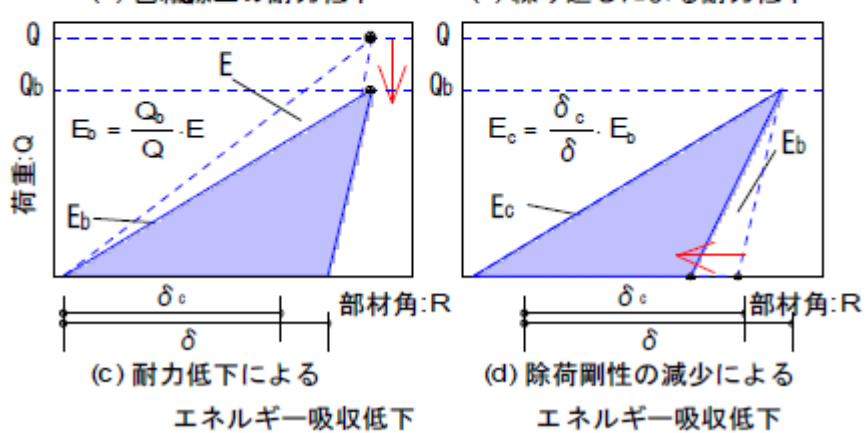
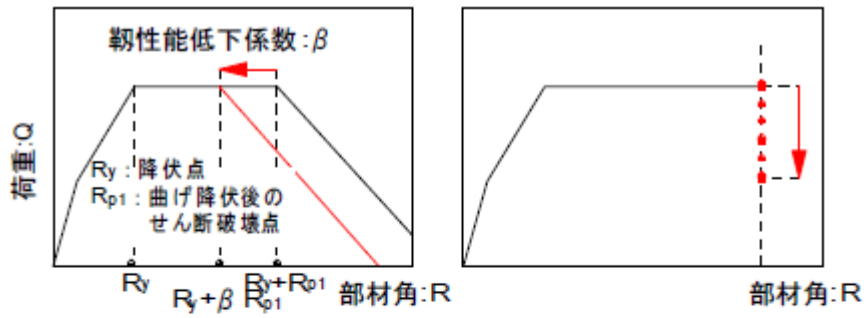
例) 耐力低下率の算定式

曲げ降伏後の付着破壊(破壊モードFB)の場合

$$Q_i / Q_1 = (-0.14\mu + 0.25)(N - 1) + 1 \quad (1 \leq N < 5)$$

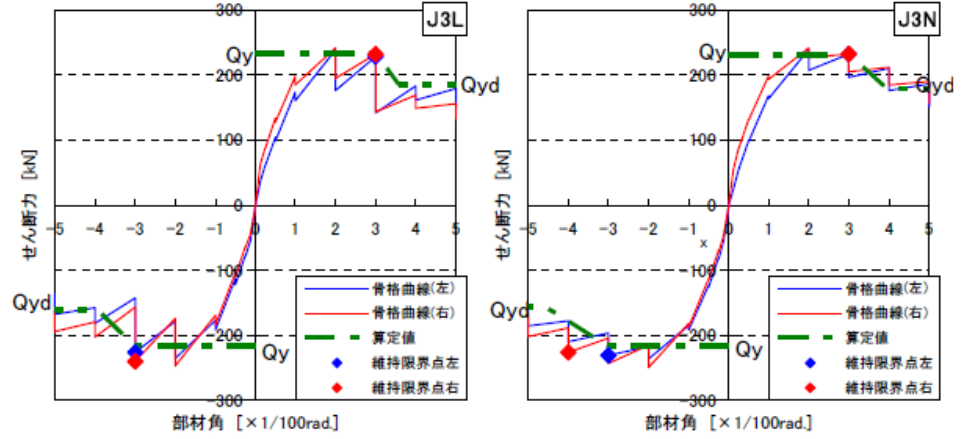
$$Q_i / Q_1 = (-0.025\mu + 0.032)(N - 5) + Q_5 / Q_1 \quad (5 \leq N)$$

ここに、 N : 繰り返し数、 μ : 塑性率



耐力劣化とエネルギー低下の定義

算定式と実験結果(骨格曲線)の比較



④ 強度補強による高強度RC造構造部材の対累積損傷性能向上技術の開発(その1)

H21 梁補強試験体(実験場所:フジタ)



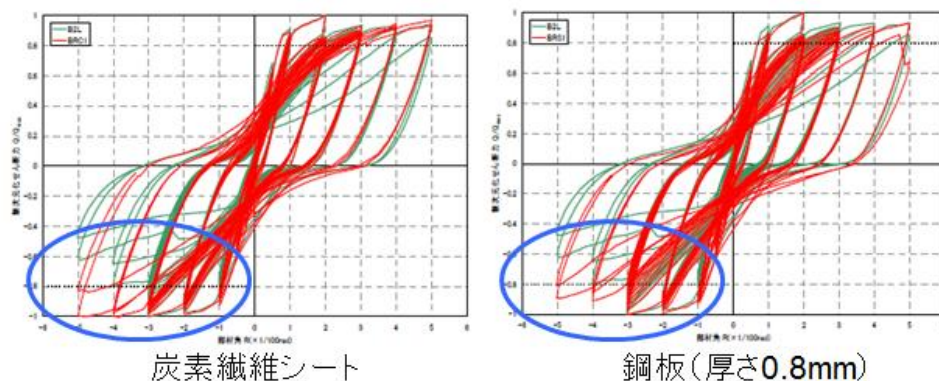
炭素繊維シート



鋼板(厚さ0.8mmおよび3.2mm)

梁端部を炭素繊維シートあるいは鋼板を用いて補強する方法を提案し、構造実験を行った。補強による塑性変形能力の改善効果を確認することができた。

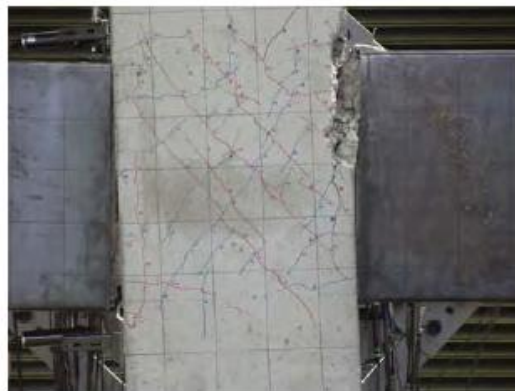
荷重変形関係の比較(緑:補強なし、赤:補強あり)



補強により耐力低下が押さえられて塑性変形能力が改善した。また、鋼板よりも炭素繊維シートの方が耐力低下が少なく、補強効果が優れていた。

④ 強度補強による高強度RC造構造部材の対累積損傷性能向上技術の開発(その2)

H21 柱梁接合部試験体(実験場所: 戸田建設)

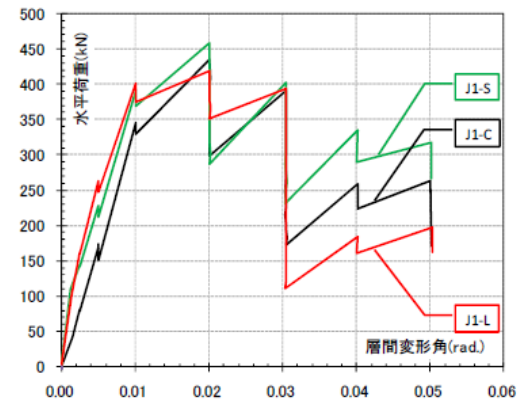


床スラブなしの梁端部補強



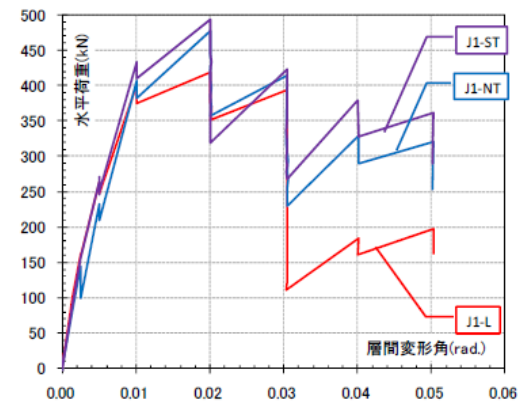
床スラブと直交梁ありの梁端部補強

骨格曲線の比較



鋼板補強
炭素繊維

補強なし



鋼板補強

床スラブ +
直交梁あり

補強なし

床スラブおよび直交梁があることで耐力低下が抑えられる。
さらに鋼板や炭素繊維シートによる補強により性能が向上する。

3. 技術開発成果の先導性

本技術開発は、長周期地震動に対するRC造超高層集合住宅の耐震性の問題にいち早く着目し、それまでほとんど実施されていなかった**多数回繰り返しによる高強度RC造部材の累積損傷性状**を実験的に明らかにし、その評価法や性能向上技術を提案した先駆的な研究である。

4. 実用化・市場化の状況

本技術開発の成果は、**長周期地震動に対する超高層集合住宅の構造性能の確保・向上に必要不可欠の技術**である。参加している建設会社の物件を含む超高層集合住宅の耐震化に適用されることが期待されるとともに、長周期地震動に対するRC造超高層建築物の耐震化の貴重な技術資料となる。

5. 技術開発に関する結果(残された課題)

補強技術に関しては、実用化に向けて、**施工方法や費用**の問題について更に検討が必要である。また、制振ダンパーを利用した補強方法についても解析的にその効果を確認する必要がある。

6. 今後の見通し

平成22年度から国土交通省・建築基準整備促進補助金事業において、個々の部材だけでなく架構としての耐震性能把握のための研究開発が行われている。今後は、設計用長周期地震動に対する超高層建築物の**設計クライテリア**を明らかにすることが必要である。