

平成24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

2013年4月15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

1. 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。

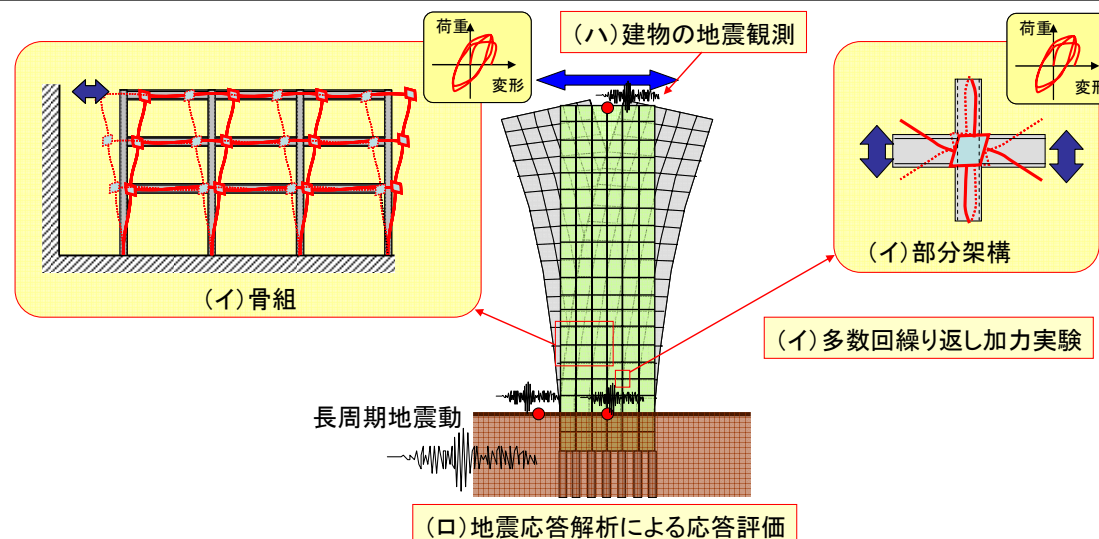
⇒ (イ) 多数回繰り返し荷重を受ける鉄骨造建築物の構造実験の実施

⇒ 実大相当の部分架構および骨組の限界性能を把握

安全性照査のクライテリア検討のための技術資料蓄積には、応答解析から得られた建物の要求性能と構造実験による限界保有性能の比較検討が必要。実建物の地震観測も重要。

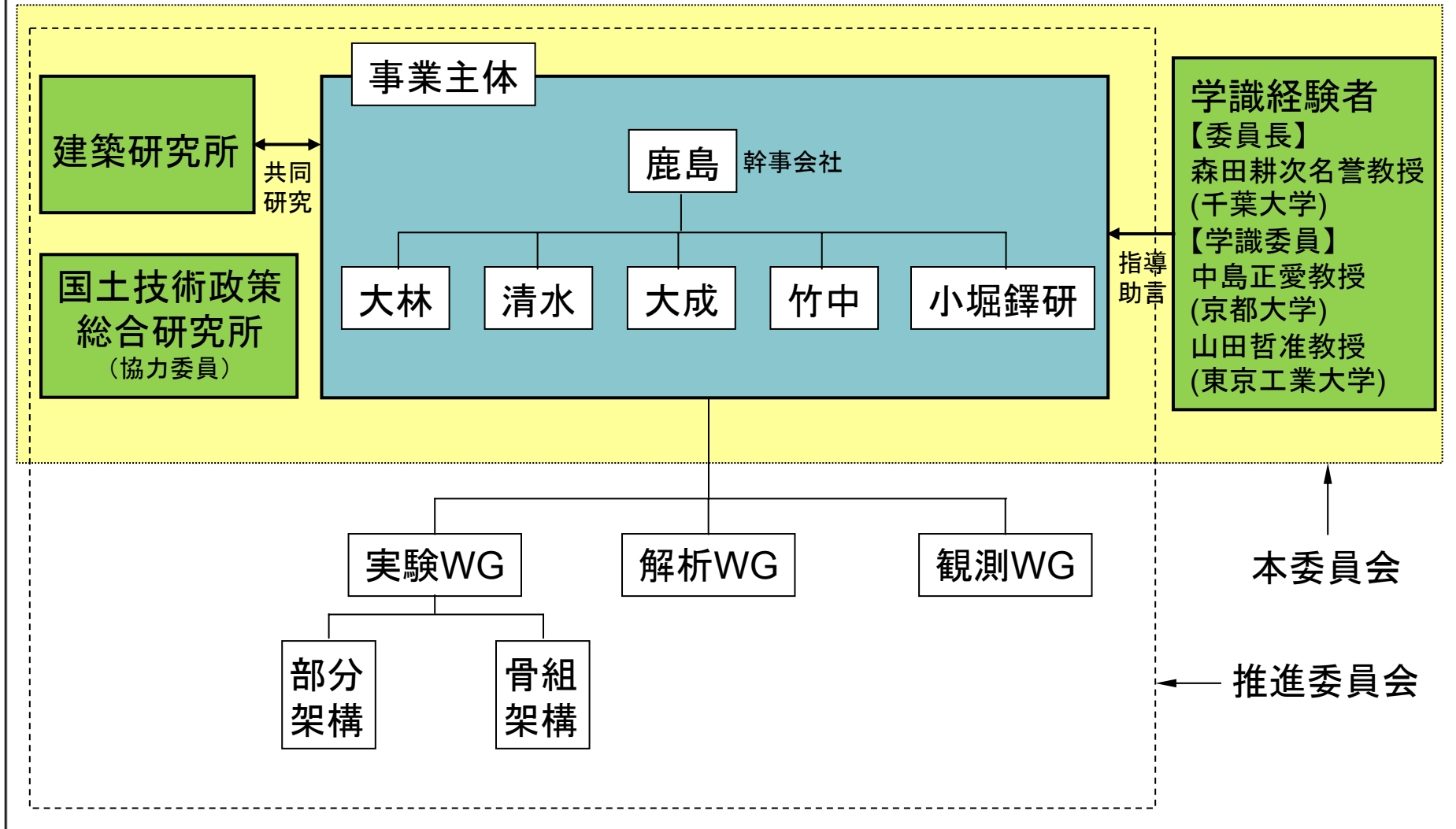
⇒ (ロ) 長周期地震動に対する鉄骨造の応答評価の実施

⇒ (ハ) 超高層鉄骨造建築物の地震観測の実施



1. 実施体制

【研究委員会】



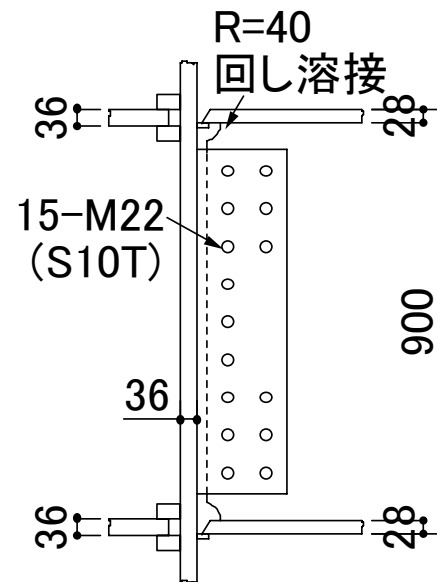
2. 部分骨組実験（超高層ビル実物試験体の構造実験）

実験概要

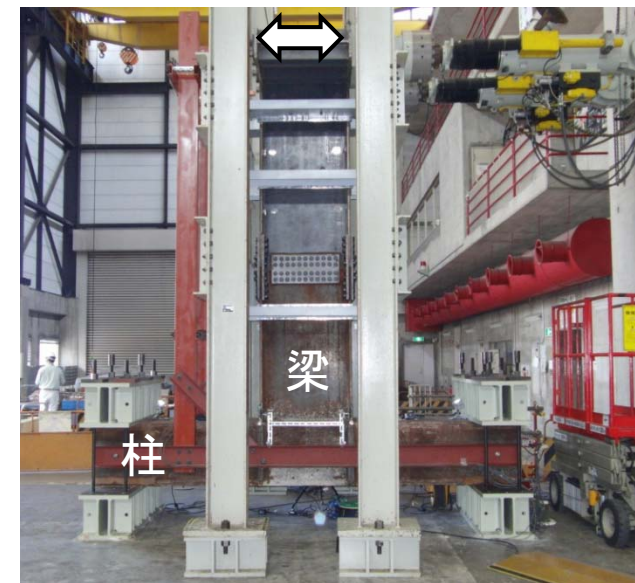
- ・既存鉄骨造超高層建築物
1992年竣工～2011年解体撤去， 建物高さ約100m， 地上24階
- ・実物試験体断面寸法（建物中間階より採取）
梁 BH-900×350×19×28(SM50A)
柱 □-600×700×36×36(SM50A)
- ・実験方法
定常振幅正負交番载荷： 梁の塑性率振幅 ($\mu = 1.3, 2.0$ の2体)



試験体切出状況



柱梁仕口詳細



加力装置

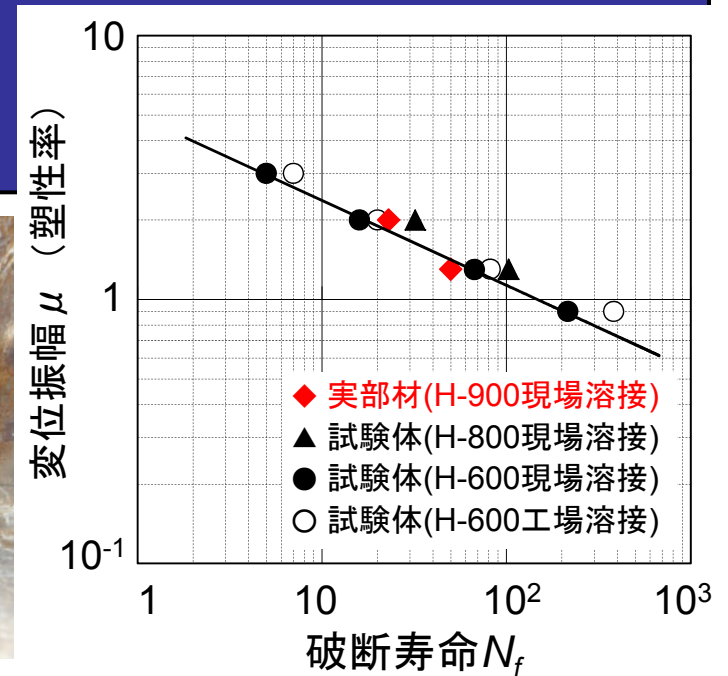
2. 部分骨組実験（超高層ビル実物試験体の構造実験）

実験結果

- (1) 実構造物試験体：昨年度までの模型試験体と同様の破壊性状
- ・加力初期にスカラップ底の回し溶接止端に沿う亀裂が発生
 - ・最終的に梁フランジ母材が破断
- (2) 変位振幅とフランジ破断時繰返し数の関係
- ・H22年度に示した実験回帰式と良い対応
 - ・疲労曲線の妥当性確認



最終破壊状況（塑性率2.0の試験体）



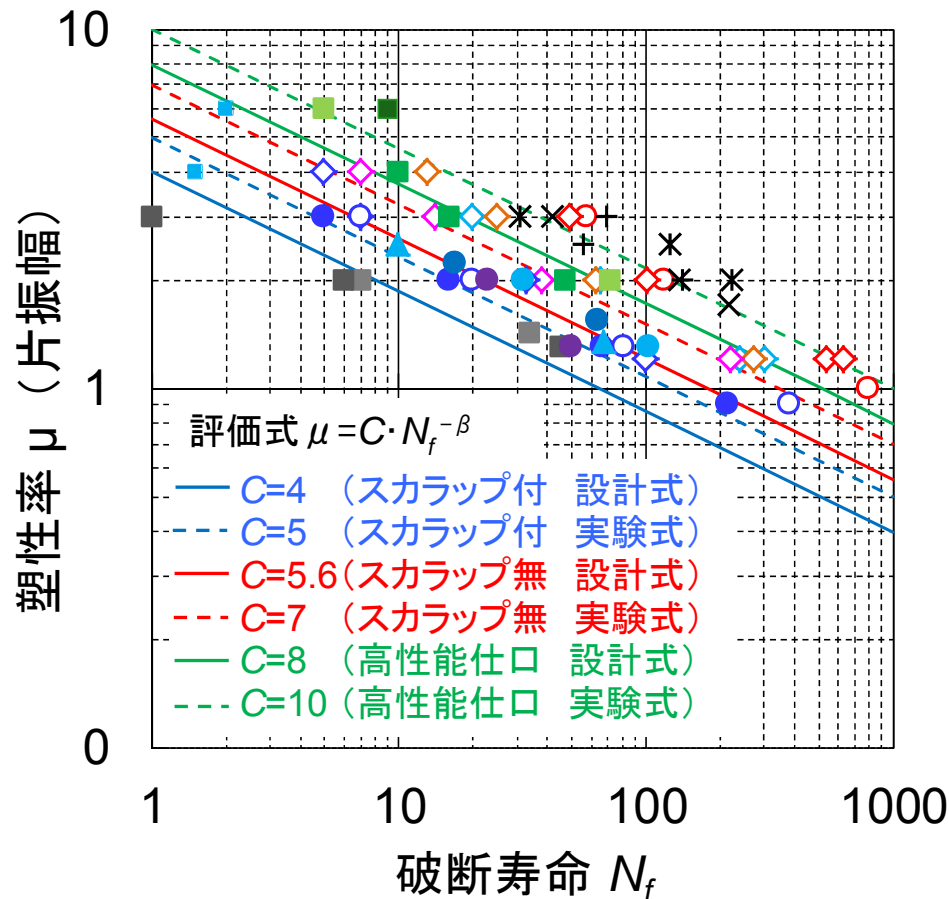
変位振幅－破断寿命関係

3. 安全性検証法に関する検討

3.1 鉄骨部材の性能曲線の提案

多数回繰返し载荷による実験資料の整理・分析(本事業:29体, 既往実験:50体)

【分類】スカラップ付, スカラップ無, 高性能仕口 の3種



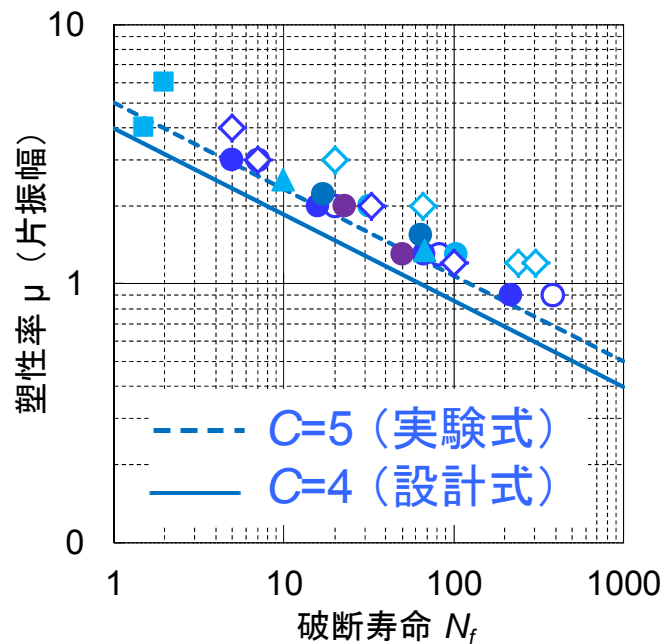
試験体	備考
● G	現場・35R+耳形
○ K	工場・35R
● GL	現場・35R,H800
● G-S	現場・35R,スラブ付
● GC	現場・実部材切出
■ S	現場・35R
× BA	局部座屈
* BD	局部座屈
+ AD	局部座屈
○ NS-L	工場・ノンスカラップ
■ B-SW	現場・20R
■ No.2	現場・耳形
◇ SC	工場・35+10R,SN400
◇ SCS	工場・35+10R
◇ NS	工場・ノンスカラップ,SN400
◇ NSS	工場・ノンスカラップ
◇ NSW	工場・ノンスカラップ
▲ No.1,2	現場・35+10R,HBL385
■ TA	現場・サイドプレート
■ TB	現場・サイドプレート
■ HA	現場・水平ハンチ

3. 安全性検証法に関する検討

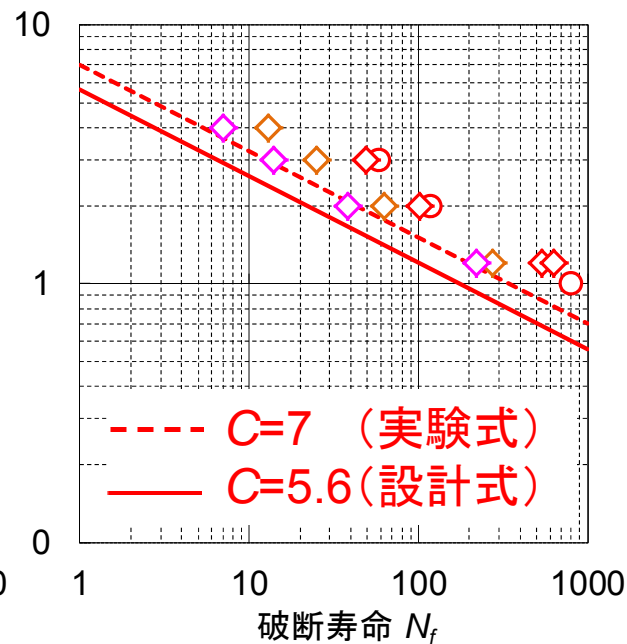
3.1 鉄骨部材の性能曲線の提案

評価式 : $\mu = C \cdot N_f^{-\beta}$, (勾配 $\beta = 1/3$)

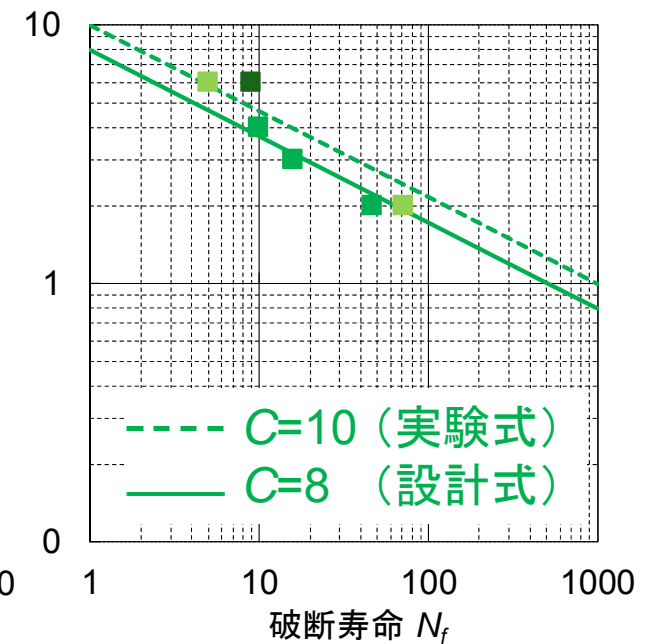
- ・スカラップの有無に関する実験式 : 実験結果の概ね下限として設定
- ・高性能仕口 : 評価式の最上級として設定(水平ハンチは満足する結果もある)
- ・設計式 : 破断寿命 N_f が実験式の約1/2になるように設定(変動振幅など考慮)



(a) スカラップ付



(b) スカラップ無



(c) 高性能仕口

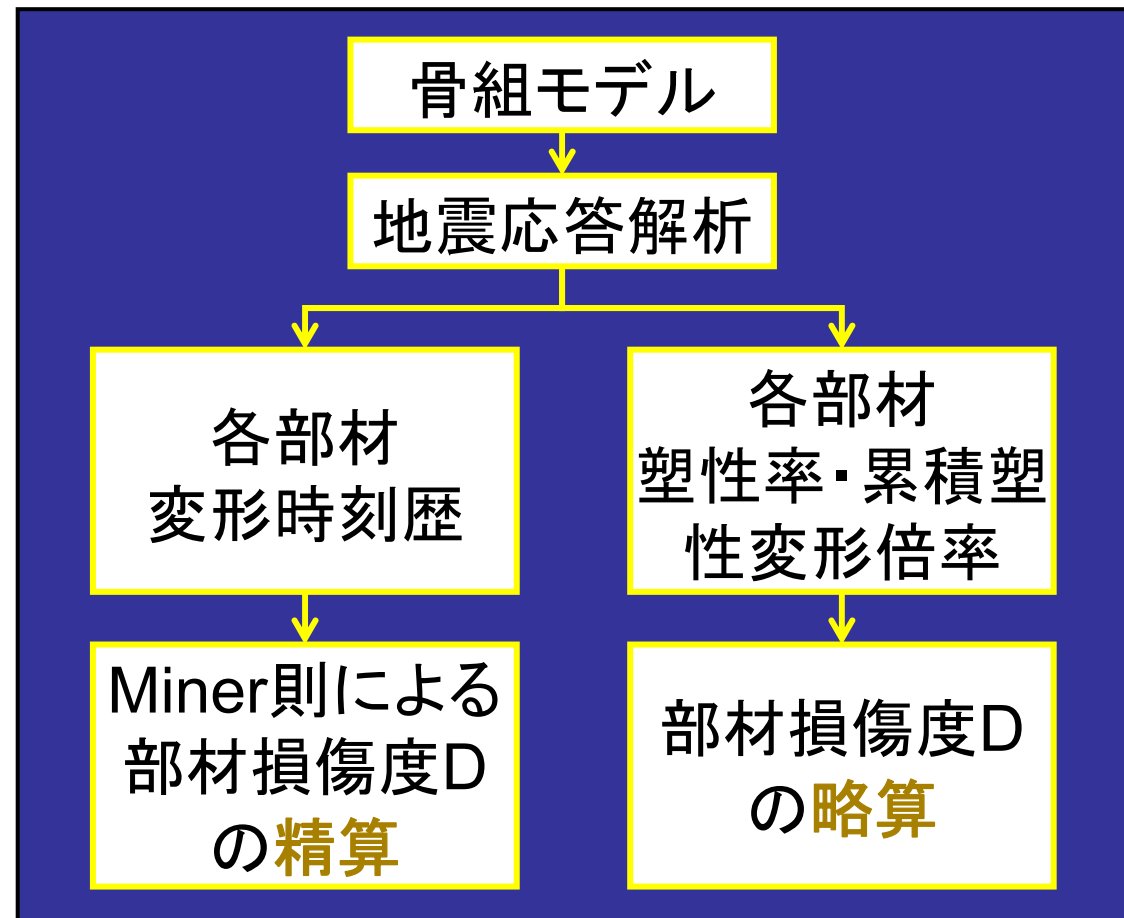
3.2 耐震安全性評価方法の検討

目的 地震応答解析結果に基づき部材実験から得られた性能曲線を適用することにより長周期地震時の各部材損傷度Dを評価

I 骨組モデルを用いた地震応答解析

a) 各梁部材変形時刻歴を用い、Miner則を仮定した**精算**
←疲労設計等の手法を準用

b) 各梁部材塑性率・累積塑性変形倍率を用いた**略算**



3.2 耐震安全性評価方法の検討: 略算法の手順

部材塑性率 μ_{max} , 累積塑性変形倍率 η を用いた損傷度 D の略算

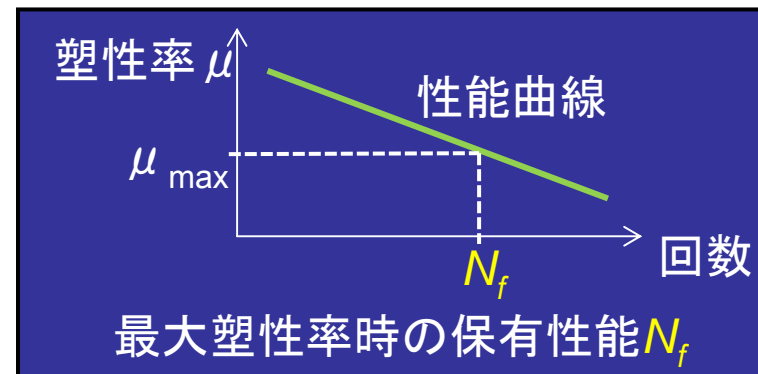
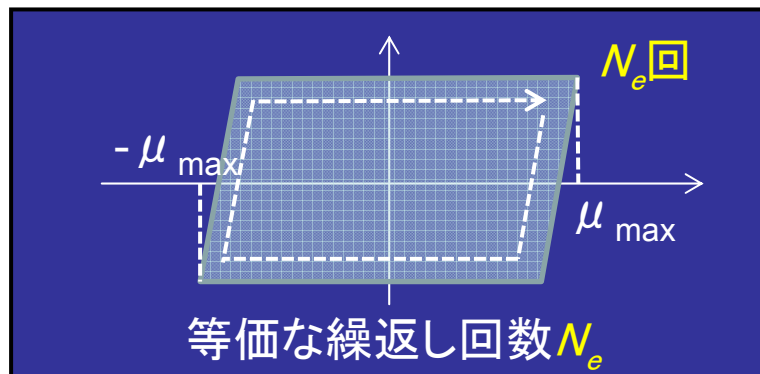
累積塑性変形倍率 η は最大塑性率 μ_{max} 時の繰返しによると仮定
⇒ 等価な繰返し回数 N_e を定義(最大振幅則)

等価な繰返し回数 $N_e = \frac{\text{累積塑性変形倍率 } \eta}{\text{最大塑性率 } \mu_{max} \text{ 時1サイクルの塑性変形倍}}$

最大塑性率 μ_{max} 時の性能(繰返し回数) N_f より部材損傷度 D 算定

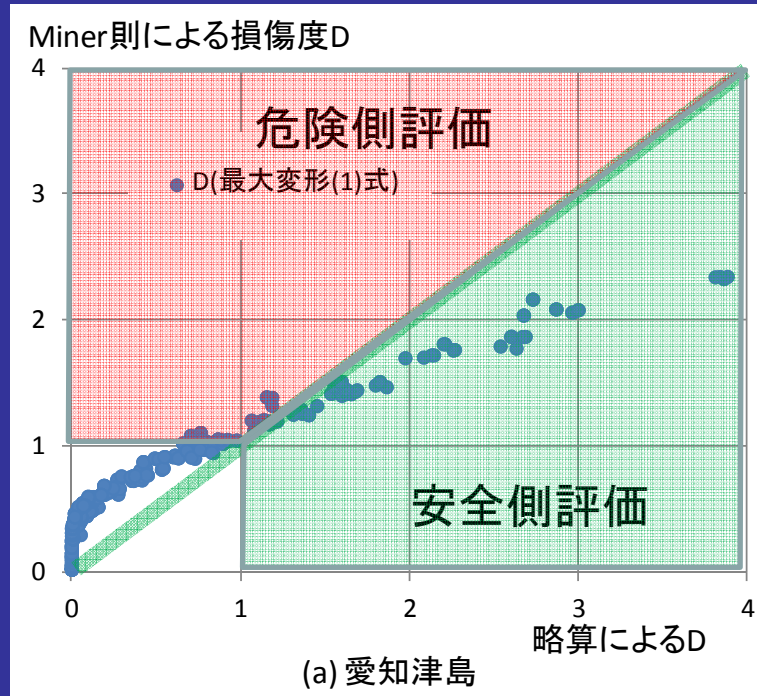
部材損傷度 $D = \frac{\text{等価な繰返し回数 } N_e}{\text{最大塑性率 } \mu_{max} \text{ 時の保有性能 } N_f}$

$D > 1$ で部材損傷と判断

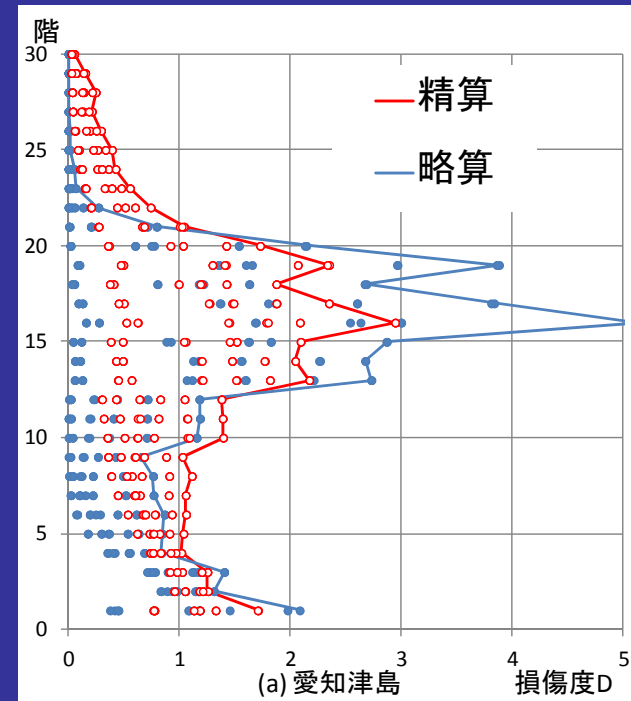


3.2 耐震安全性評価方法の検討:手法の妥当性確認

精算手法—略算手法の比較



部材ごとの精算—略算比較



損傷度Dの階ごとの分布比較

- ・部材損傷度 $D > 1$ の範囲で精算と略算は良い対応
(略算は損傷度大き目(安全側)評価)

骨組モデルによる地震応答解析を行わない場合 (=質点系モデルによる地震応答解析による場合) についても同略算手法の適用性を検討

4. 3層実大架構実験(1)

背景・目的

平成22年度からの実験結果を基に、多数回繰り返し下での鉄骨部材の変形能力評価法(性能曲線等)を提案。

[平成22年度実験]

- ・梁部材、梁端接合部、接合部パネル、柱部材

[平成23年度実験]

- ・梁端接合部、部分骨組、柱部材



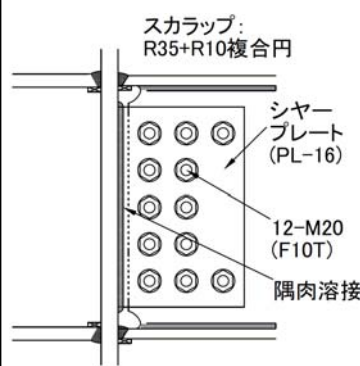
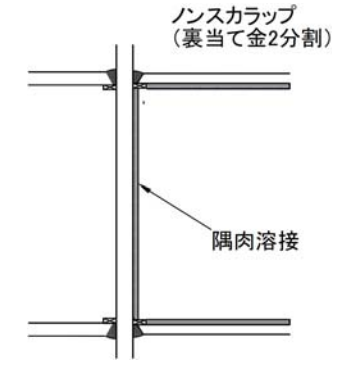
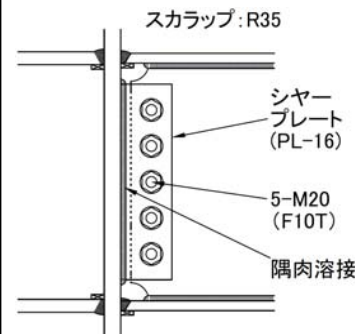
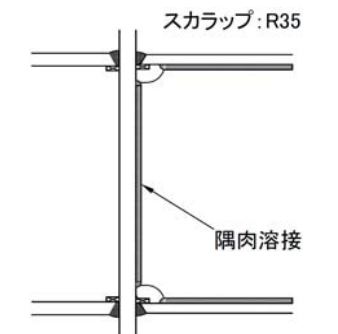
[3層実大架構実験]

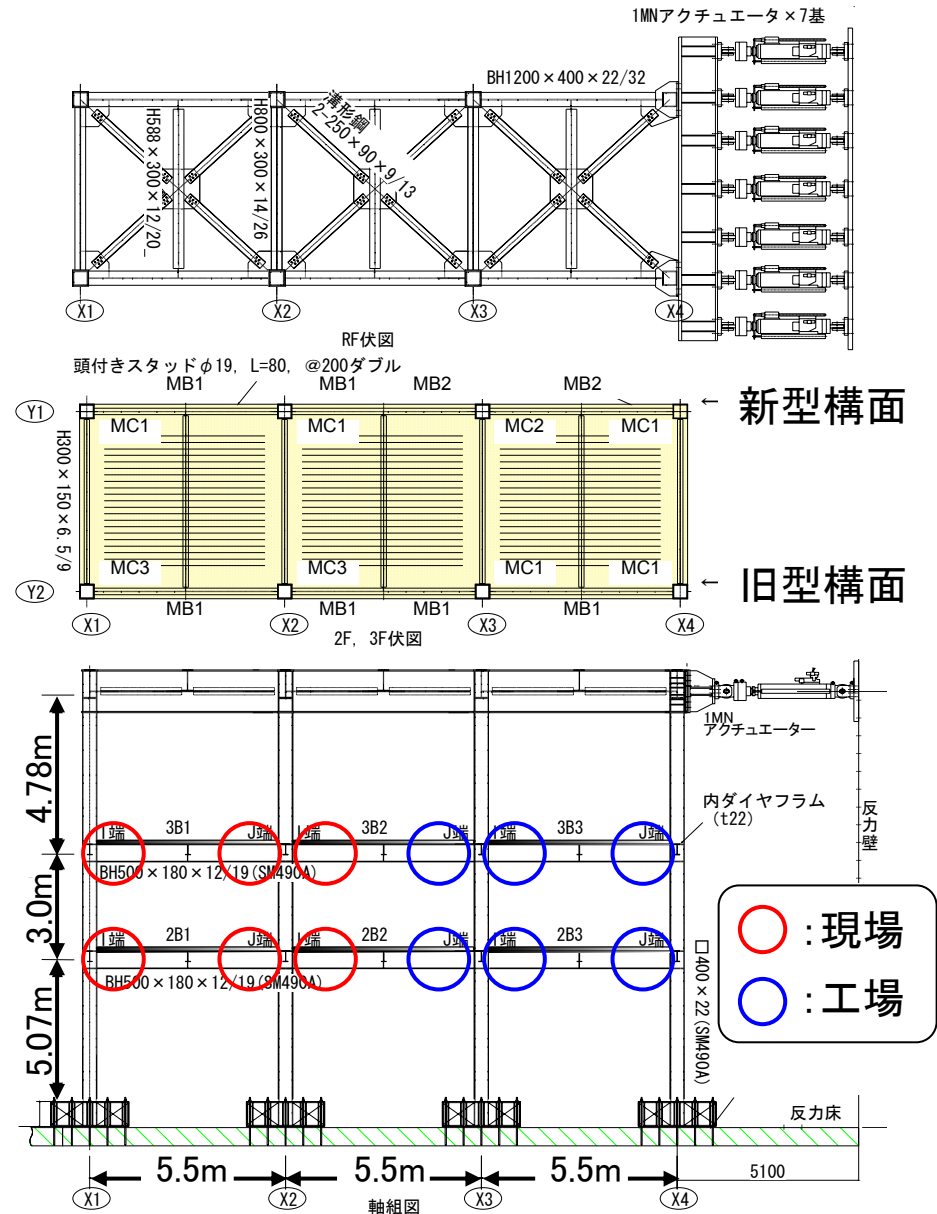
- ・定振幅繰り返し下での鉄骨架構の挙動の把握(梁端破断後の架構挙動)
- ・提案した変形能力評価法(性能曲線)の検証

4. 3層実大架構実験(2)

試験体形状と梁端ディテール

- ・3層3スパン2構面の立体架構
- 梁: BH-500 × 180 × 12 × 19 (SM490A)
- 柱: □-400 × 400 × 22 (SM490A)

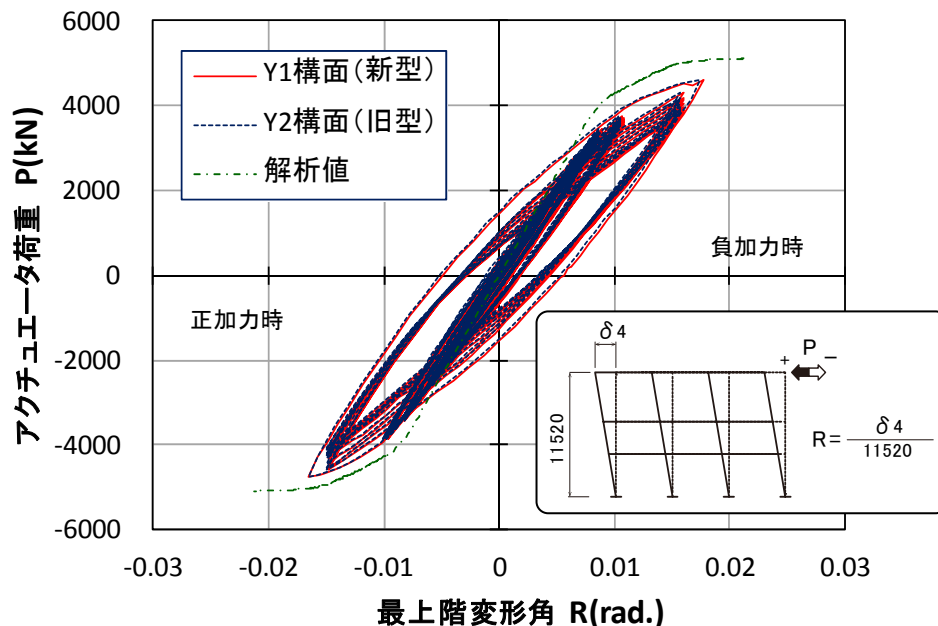
	現場接合タイプ	工場接合タイプ
新型	<p>スカラップ: R35+R10複合円</p>  <p>シヤープレート (PL-16)</p> <p>12-M20 (F10T)</p> <p>隅肉溶接</p>	<p>ノンスカラップ (裏当て金2分割)</p>  <p>隅肉溶接</p>
旧型	<p>スカラップ: R35</p>  <p>シヤープレート (PL-16)</p> <p>5-M20 (F10T)</p> <p>隅肉溶接</p>	<p>スカラップ: R35</p>  <p>隅肉溶接</p>



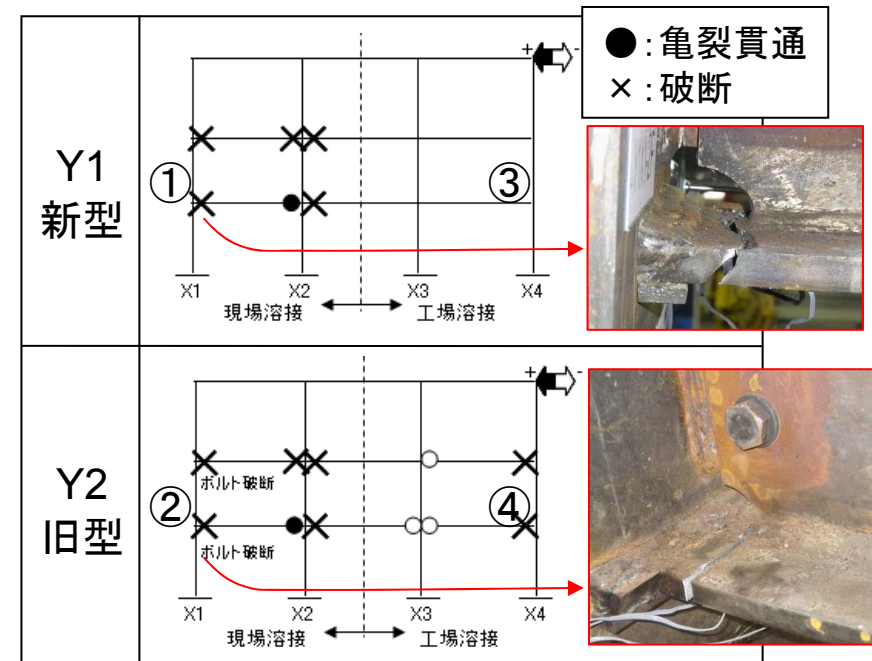
4. 3層実大架構実験(3)

実験経過と荷重・変形関係

- 実験では、最上階の変形角で正負交番繰り返し载荷。
 - ① 1/300 (30回; $\mu = 0.45$)
 - ② 1/150 (60回; $\mu = 0.9$)
 - ③ 1/120 (30回; $\mu = 1.2$)
 - ④ 1/100 (10回; $\mu = 2.0$)
 - ⑤ 1/66 (10回; $\mu = 3.0$)
- 実験終了までに梁端接合部の50%にフランジ破断を生じたが、ピーク変形までの荷重低下(負勾配)は発生せず、安定した履歴性状を示した(全体、層とも)。
- 梁端破断は、旧型現場→新型現場→旧型工場の順、側柱→中柱の順で発生。



架構全体の荷重－全体変形関係

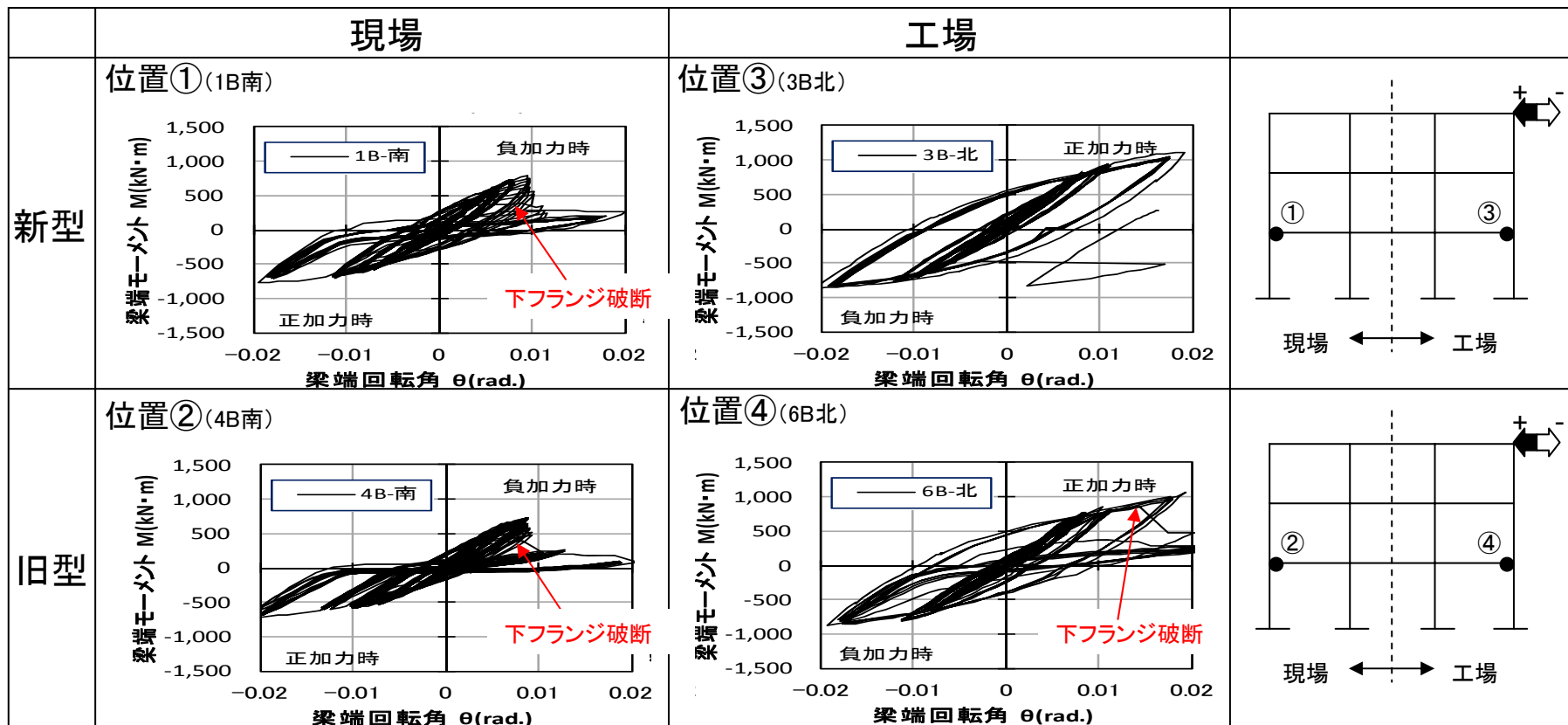


下フランジの損傷状況(実験終了時)

4. 3層実大架構実験(4)

梁端モーメントー梁端回転角関係

- ・現場接合タイプでは、旧型・新型ともに亀裂進展によりピーク変形時の荷重が低下し、破断に至る。工場接合タイプでは、旧型ではピーク変形に至る途中の荷重増加中に脆性的に破断するケースが一部見られた。
- ・下フランジ破断後はウェブ曲げ分担率により抵抗できる曲げモーメント値に差異。

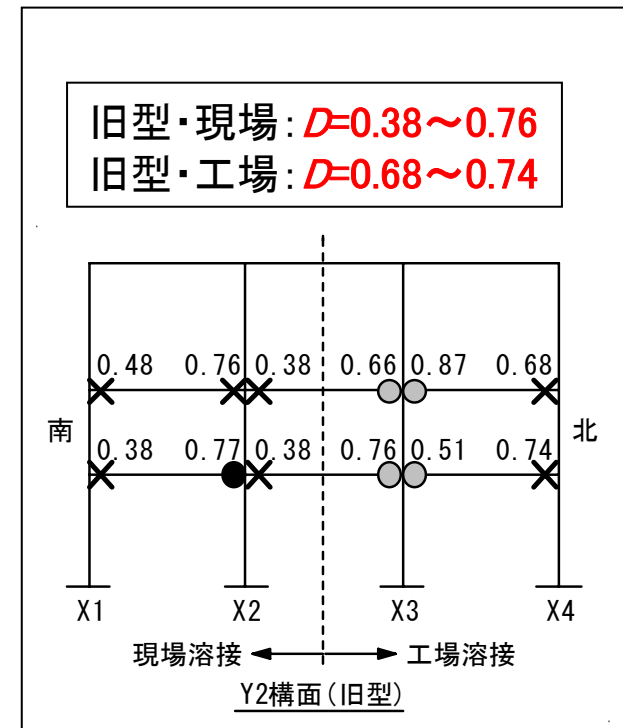
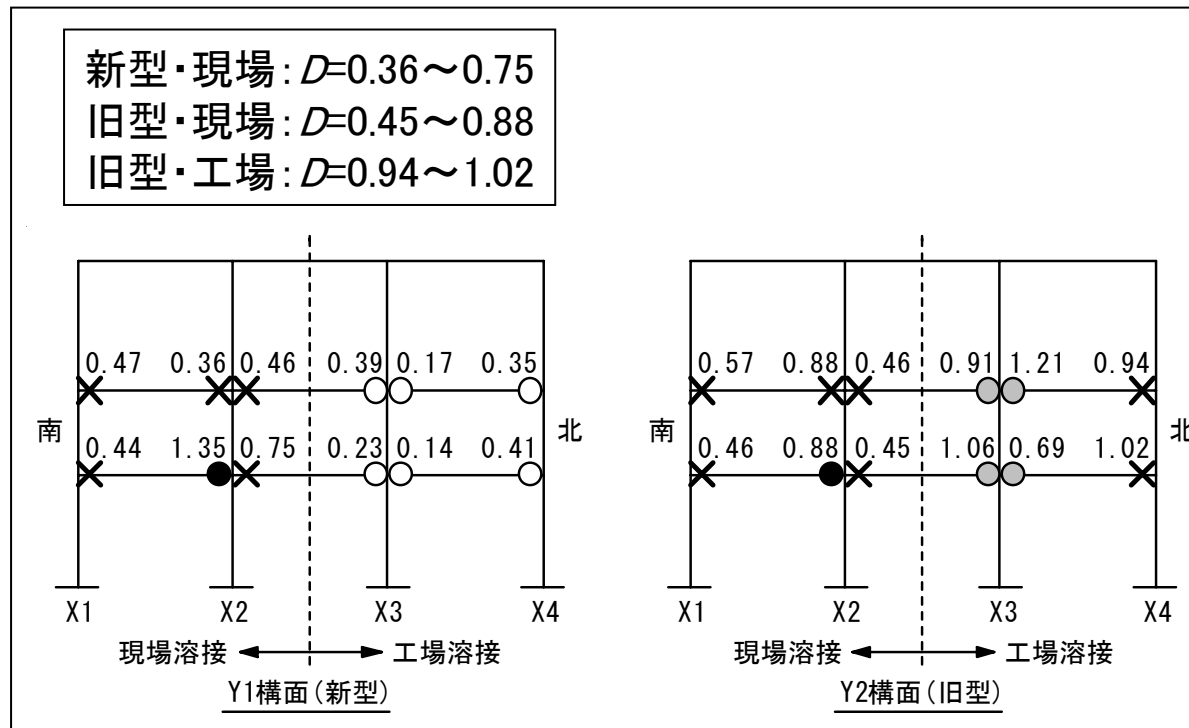


4. 3層実大架構実験(5)

変形能力評価法の検証(既往実験との比較)

- ・ 梁端モーメントー梁端回転角関係の実験値をもとに、疲労曲線式(実験下限式、接合部実験の回帰式)を用いて、Miner則により累積損傷度Dを算出。
- ・ 変動振幅の既往部材実験(旧型・現場)で得られたD値(0.6~0.65)と良く一致。

【凡例】○:き裂なし, ●:き裂発生, ●:き裂貫通, ×:破断



D値(実験下限式を使用)

D値(実験回帰式を使用)

5. 今年度の成果と今後の課題

今年度の成果

(イ)多数回繰り返し载荷構造実験

- ・既存鉄骨造建築物からの切り出し試験体の「変位振幅」と「繰り返し数」の関係把握
⇒疲労性能の評価のための実験データとして適用
- ・3層実大架構実験により定振幅繰り返し下での骨組挙動把握
⇒提案した疲労曲線の妥当性を検証

(ロ)地震応答評価

- ・梁部材および柱部材の塑性率と破壊までの繰り返し回数の評価式(疲労性能曲線)を提案
- ・長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の損傷評価法を提案
- ・梁端溶接接合部の解析により性能評価式の根拠とした実験の信頼性を検証

(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
- ・東日本大震災時に強震記録が観測された超高層鉄骨造建築物の挙動を解析により把握

今後の課題

現在の超高層鉄骨造建築物に一般的に用いられているCFT造柱、ハンチ付き梁やノンスラップ梁の多数回繰り返し変形時の疲労性能は必ずしも明らかにされていないのが現状

⇒疲労性能の評価や安全性検証方法についての検討が必要