

## RC構造物の三次元解析ベンチマーク実験と解析検討

「材料非線形解析を用いた耐震性能照査」に関する拡充概要

小委員会幹事

小松怜史（電力中央研究所） 畑明仁（大成建設）

1

## 拡充した各テキストの該当箇所

■ マニュアル3章: 材料非線形解析を用いた耐震性能照査

■ 照査例IV: 三次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例(2)

■ 技術資料X: RC構造物の三次元解析ベンチマーク実験

■ 技術資料XI: 三次元ベンチマーク実験に係る解析的な検討

■ 技術資料XII: 材料非線形解析を用いた照査に係る諸検討

2

## 拡充のポイント ～検討項目～

(1) 水平二方向力を受ける実規模RC部材の載荷実験と解析

- (a) 三次元解析検証用ベンチマーク実験の実施と分析
- (b) 材料非線形解析による検証・ケーススタディ
- (c) あと施工せん断補強のモデル化に関する諸検討
- (d) 各種限界値指標の適用性検証

(2) 合理的かつ実用的な新たな照査基準

- (e) コンクリートの圧縮破壊挙動に着眼した新たな限界値指標

上記項目ごとにマニュアル、技術資料、照査例の主な拡充内容を紹介

3

## 主な拡充内容①

(a) 三次元解析検証用ベンチマーク実験の実施と分析

■ マニュアル3章

- ✓ 3.3.2(1)a. 解析結果の検証に過程における留意事項  
→ 二次元解析・三次元解析の各検証実験の利用の仕方
- ✓ 3.3.2(3) 三次元解析の検証実験  
→ 代表的な実験結果を抽出。

■ 技術資料X: ベンチマーク実験

- ✓ 実験概要, 実験結果(荷重-変位関係, ひび割れ図, 変形挙動等)を整理。

4

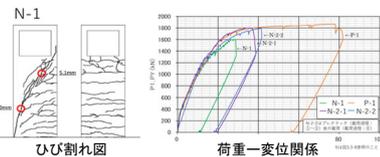
## (a) ベンチマーク実験: マニュアルの拡充概要

pp.140~144

■ 三次元解析の検証実験(水平二方向力下のRC柱実験)

✓ 三次元解析用の検証実験データを追加

- ※ 二次元解析での照査が合理的でない場合に使用
- ※ 二次元での精度確保が必要



■ 二次元解析の検証実験(RC梁の静的載荷実験)

✓ 曲げ破壊する梁実験データを追加で例示

■ その他

✓ 構造物単体もしくは地盤構造物連成での地震応答解析やプッシュオーバー解析を行うための参考資料を例示

5

## 主な拡充内容②

(b) 材料非線形解析による検証・ケーススタディ

■ マニュアル3章

- ✓ 3.2.2(1)b コンクリート  
→ シミュレーション解析等における引張強度の低減について詳述。

■ 技術資料XI: ベンチマーク実験に係る解析的な検討

- ✓ 3.1(2) 引張強度に関する検討  
→ コンクリートの内部応力を解析的に検討。
- ✓ 2.1 シミュレーション解析  
→ モデルの構築例と解析結果を提示。
- ✓ 2.1(2) 矩形載荷に関する検討  
→ 位相差のある地震動を想定した数値実験。
- ✓ 3.2 RC面部材の破壊挙動分析  
→ RC壁における数値実験。

反映

モデル化の留意点

ケーススタディ

6

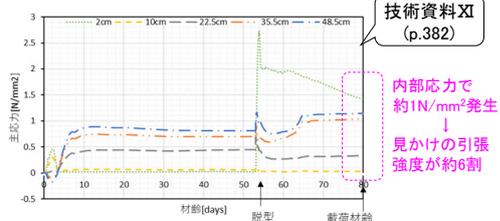
(b) 材料非線形解析：マニュアルの拡充概要

p.124

■ 解析用入力物性

■ コンクリート

試験結果等から取得した引張強度の物性値を40%~60%程度に低減することで解析精度が向上することが知られている。



解析結果：ベンチマーク試験体(N-1)の内部応力の経時変化

主な拡充内容③

(c)あと施工せん断補強に関する諸検討

■ マニュアル3章

- ✓「3.2.2(7) あと施工せん断補強鉄筋のモデル化」  
→モデル化するべき場合や留意点等を記載。

■ 技術資料XI：ベンチマーク実験に係る解析的な検討

- ✓「2.2(1) PHBの詳細モデル化の検討」  
→モデル化の概要と解析結果を紹介。

(c) あと施工せん断補強：マニュアルの拡充概要

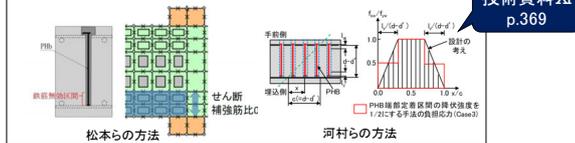
p.128

■ あと施工せん断補強鉄筋のモデル化

- ✓RC部材の耐荷挙動を精度よく評価したい場合やあと施工せん断補強筋を施してもせん断破壊が懸念される場合

↳ あと施工による定着性能の低減を考慮した解析モデルを作成

【あと施工の影響のモデル化の例】



技術資料XI p.369

- ✓RC部材が明らかな曲げ破壊先行型となるような場合

↳ 通常のせん断補強筋と同様にモデル化してよい。

主な拡充内容④

(d) 各種限界値指標の適用性検証

■ マニュアル3章

- ✓「3.3.3(3)b.(d) 水平二方向力下での部材厚増分の評価区間について」  
→評価区間の取り方と照査結果に及ぼす影響を説明。

■ 技術資料XII：材料非線形解析による照査に関する諸検討

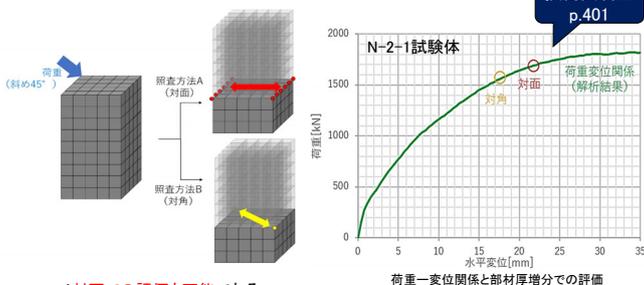
- ✓「3.3 水平二方向力下での適用性と指標の取り方について」  
→評価点の取り方による照査結果の違いを検討。
- ✓「2. 水平二方向力下におけるひずみ限界値指標の諸検討」  
→各種ひずみ指標 ( $\sqrt{J'_p}$ ,  $W_p$ ,  $\epsilon_p$ ,  $|\epsilon_{cl}|$ ,  $|\epsilon_{sh}|$ ) の適用性検証。

反映

(d) 各種限界値指標：マニュアルの拡充概要

pp.151~152

■ 水平二方向力下での部材厚増分の評価区間について



技術資料XII p.401

- ✓対面での評価も可能である。
- ✓部材厚増分が最大となる位置を選択することで安全側の評価となる。

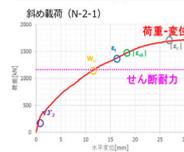
(d) 各種限界値指標：技術資料の拡充概要

pp.388~391

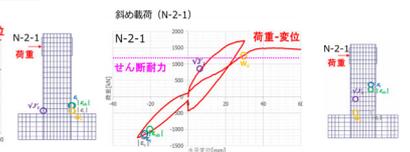
■ 限界値指標

限界値指標	限界値	備考
$\sqrt{J'_2}$	偏差ひずみの第二不変量	1,000 $\mu$
$W_p$	正規化累加ひずみエネルギー	1,500 $\mu$
$\epsilon_t^*$	主引張ひずみ	30,000 $\mu$
$ \epsilon_c ^*$	主圧縮ひずみ	10,000 $\mu$
$ \epsilon_{sh} ^*$	最大せん断ひずみ	20,000 $\mu$

■ 全要素で照査した場合



■ コアコンクリート要素で照査した場合



- ✓水平二方向力下を受けるRC部材にも適用可能である
- ✓特に、コアコンクリートを対象とすることで合理的な評価ができる

### 主な拡充内容⑤

#### (e) コンクリートの圧縮破壊挙動に着眼した新たな限界値指標

##### ■ マニュアル3章

- ✓「3.1 基本的な考え方」
    - 各種照査指標区分における限界値指標を整理。
  - ✓「3.3.1(2) 指標区分Cの安全係数の考え方」
    - 「3.3.2(1) b 限界値係数(部材係数)として考慮する場合」
  - ✓「3.3.3(3)a. 面外曲げ破壊・面内せん断破壊に対する照査」
    - 圧縮縁変位差という名称で定義, 限界値, コンセプトを提示。
- ※指標区分C: 曲げ破壊およびせん断破壊に対し、最大耐力程度、場合によっては最大耐力以後の状態を評価
- 従来の考え方を踏襲し構成を整理
- 反映

##### ■ 照査例IV: 三次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例(2)

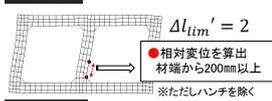
##### ■ 技術資料XII: 材料非線形解析による照査に関する諸検討

- ✓「4. 圧縮縁変位差に関する諸検討」
  - 一軸圧縮, 面載荷における適用性検証結果を提示。

### (e) 新限界値指標: マニュアルの拡充概要

#### ■ 面外曲げ破壊・面内せん断破壊に対する照査 ~ 圧縮縁変位差

##### ■ 定義



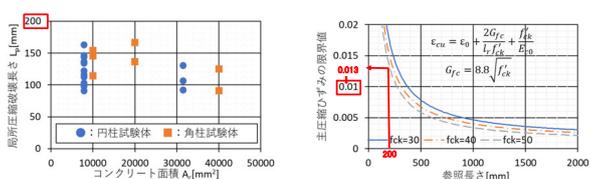
##### ■ 適用条件

- ✓ 面外曲げ破壊や面内せん断破壊の判定指標として有効
- ✓ 平均軸力比0.1以下、局所的に見ても0.2以下、部材厚0.4mを必要条件。
- ✓ 部材耐力はやや低下している可能性はあるものの、**構造物全体としての水平耐力はおおよそ維持されている状態**。⇒部材耐力の低下が構造物全体としての水平耐力の低下に直結する場合への適用は適さない。
- ✓ 「主圧縮ひずみ」より常に安全側で判定。「主圧縮ひずみ」や「層間変形角」による照査を妨げるものではない。
- ✓ 要素寸法依存性が小さい。

### (e) 新限界値指標: マニュアルの拡充概要

#### ■ 面外曲げ破壊・面内せん断破壊に対する照査 ~ 圧縮縁変位差

##### ■ 限界値の設定



- ✓ 一軸圧縮応力下のコンクリートの損傷は局所化(塑性域は200mm以下)
  - ✓ 主圧縮ひずみの限界値と参照長さの関係
- ↓
- 材端から200mm以上離れた節点間相対変位が2mm(200mm×1%)時点

### (e) 新限界値指標: マニュアルの拡充概要

#### ■ 面外曲げ破壊・面内せん断破壊に対する照査 ~ 圧縮縁変位差

##### ■ 限界値の設定

要素寸法 [mm]	主圧縮ひずみの方向[度]	参照長さ [mm]	主圧縮ひずみの限界値	変位 [mm]	圧縮縁(鉛直)変位 [mm]
200×40	90(鉛直)	200	0.017	3.5	3.5
	60	80	0.042	3.3	2.9
	45	56.6	0.058	3.3	2.3
20×20	90(鉛直)	20	0.162	3.2	3.2*
	45	28.3	0.115	3.3	2.3*

※破壊領域は要素寸法より大きいので、さらに安全側

- ✓「2mm」は主圧縮ひずみの方向性により常に安全な評価ができる
- ↓
- 圧縮縁変位差は「面外曲げ」「面内せん断」の両破壊モードに適用できる

### (e) 新限界値指標: マニュアルの拡充概要

#### ■ 指標区分Cの安全係数

安全係数	応答解析入力値	応答値(変形指標)算定	限界値(変形指標)算定
材料係数	コンクリートの強度	$\pm 1.3^{(1)}$	-
	鉄筋の強度	$\pm 1.0$	-
	地震の強度	$\pm 1.0$	-
応答値係数	(3.3.2)でモデルを検証・修正	(部材厚増分, 圧縮縁変位差) ×1.2~	-
限界値係数	-	-	$\pm 1.0$
作用係数	×1.0	-	-
構造物係数	-	×1.0	$\pm 1.0$

※1 既設構造物の場合は本文の記述による

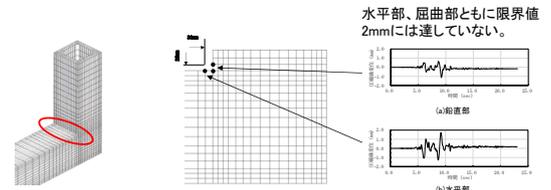
#### ■ 解析結果を安全係数として考量する方法

##### ■ 限界値係数(部材係数)

- ✓「圧縮縁変位差」は他の限界値指標(部材厚増分を除く)と同様, 限界値に係る不確実性を限界値係数(部材係数)として限界値を低減もしくは作用を割り増す。

### (e) 新限界値指標: 照査例の拡充概要

#### ■ 鉛直屈曲部の圧縮縁変位差照査例



- ✓ 鉛直屈曲部は「圧縮縁変位差」と「部材厚増分」による照査を適用

対象	ひび割れタイプ	破壊モード	主な照査項目
面外	せん断	斜め引張破壊	部材厚増分
面内	せん断	せん断圧縮破壊	圧縮縁変位差
面内外	曲げ	曲げ圧縮破壊	圧縮縁変位差

マニュアル3章 p.152

### 技術資料内容説明～該当箇所

#### <技術資料>

- I 鉄筋コンクリート製地中構造物の地震被害事例および再現解析
- II 構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力に関する実験的検討
- III 部材非線形解析を用いた耐震性能照査におけるせん断耐力式についての考察
- IV 三次元RC地中構造物の地震時挙動に関する実験的検討およびその解析
- V 地盤—構造物連成系の三次元非線形地震応答解析
- VI 密な地盤の液状化が構造物に及ぼす影響
- VII 積層シェル要素を用いた三次元非線形解析に関する検討
- VIII 三次元形状を有する地中構造物の静的載荷実験とその解析
- IX コンクリート中の鉄筋の引張限界

#### X RC構造物の三次元解析ベンチマーク実験

#### XI 三次元解析ベンチマーク実験に係る解析的検討

- XII 材料非線形解析を用いた照査に係る諸検討
- XIII 既設発電所の材料物性の収集・整理
- XIV 屋外重要土木構造物に適用可能な耐震補強法と適用事例
- XV 補修または修復されたコンクリートの遮塩性能の評価
- XVI 塩害進展期の腐食進行評価

### X章 1. はじめに

耐震性能評価手法の高度化を目的とし、以下の項目に着目したRC構造物の三次元解析ベンチマーク実験を実施する。

- 実大規模での破壊状況および耐荷性能の把握
- 三次元効果(水平二方向載荷した場合のせん断破壊)の把握
- せん断耐震補強(あと施工プレート定着型)の効果の確認

表 1-1 試験ケース

試験体	着目点	せん断補強鉄筋	破壊形態
N-1	基本ケース	少	せん断破壊先行型
P-1	あと施工せん断補強鉄筋 (PHB) の効果	少+PHB	曲げ破壊先行型
N-2-1	載荷方向 (斜め載荷) の影響	少	せん断破壊先行型
N-2-2	事前載荷によるブレイクラックの影響	少	せん断破壊先行型

### X章 2. 実験概要

pp.327~328

#### 2.1 試験体の仕様

柱断面: 正方形 (1辺1.1m)

柱高さ: 3.1m

N-1, N-2-1, N-2-2:

せん断破壊先行型

P-1: 曲げ破壊先行型

(PHBによるせん断補強)

\*)PHB: あと施工プレート定着型鉄筋

#### 設計耐力算定結果

引張鉄筋比 (4体共通)	0.51% (D32@150)
せん断補強鉄筋比 (4体共通)	0.08% (D13@300)
PHB比 (P-1)	0.36% (6-D16@300)
曲げせん断耐力比 (Nシリーズの曲げせん断耐力比の 違いは、コンクリート強度の違いによる)	N-1 : 0.87 P-1 : 1.74 N-2-1 : 0.88 N-2-2 : 0.88

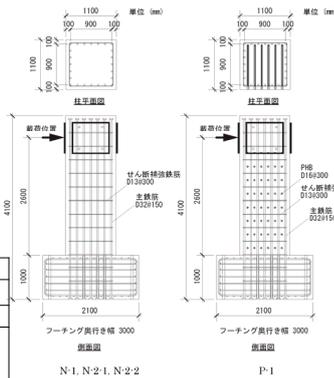


図2-1-1 試験体図面

### X章 2. 実験概要

pp.328~329

#### 2.2 打設・養生状況

コンクリート: 普通24-12-20N

- ・打設は屋内にて実施
- ・柱とフーチングを一体打設
- (フーチングに伏せ型枠使用)
- ・屋内にて養生マットにて養生



写真2.2-2 コンクリート養生状況

写真2.2-1 コンクリート打設状況

- ✓打設日, 脱型日も記載
- ✓N-1試験体については温度情報も記載

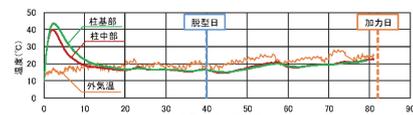


図2-2-2 試験体内部コンクリートの温度変化 (N-1)

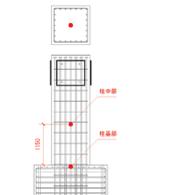


図2-2-1 熱電対設置位置 (N-1)

### X章 2. 実験概要

pp.329~330

#### 2.3 加力方法

加力パターン(図2.3-2, ジャッキ2台使用による2方向加力)

N-1, P-1: 正方向・直交方向・負方向の耐力ピーク確認後, 正方向に押し切り

N-2-1: 45° 方向にN-1と同様の加力

N-2-2: 直交方向に斜めひび割れ導入後, N-1と同様の加力.

ステップ⑦~⑩では,  
斜めひび割れ発生変位  
を保持して加力



写真2.3-1 試験体および加力状況

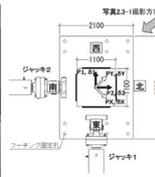
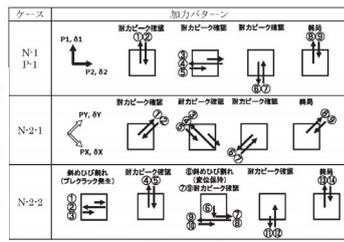


図2.3-1 加力図 (平面図)



※柱を上から見た概略図 向きは図2.3-1と同じ

図2.3-2 加力パターン

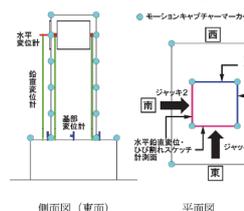
### X章 2. 実験概要

p.331

#### 2.4 計測方法

以下の計測を実施

- (1) 接触式変位計による変位計測 (水平, 鉛直, 基部)
- (2) 画像解析によるひずみ計測 (2面)
- (3) モーションキャプチャーによる変位計測
- (4) 鉄筋のひずみ計測
- (5) ひび割れスケッチ (画像解析を行わない2面, 目視)



側面図 (側面)

平面図

図2.4-1 計測方法の概要

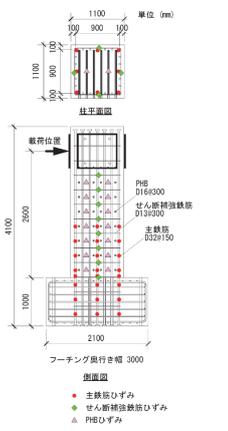


図2.4-2 鉄筋ひずみ計測位置 (P-1)

### X章 3 実験結果および考察

pp.331~338

#### 3.1 初期荷重時の耐力評価

##### ON-1 (基本ケース):

せん断補強鉄筋降伏後、斜めひび割れ貫通によりせん断破壊

##### OP-1 (せん断補強ケース):

あと施工せん断補強 (PHB) により、**曲げ破壊**  
(耐力・変形性能が増加)

##### ON-2-1 (斜め荷重ケース):

基本ケースと比較してせん断耐力が増加

##### ON-2-2 (プレクラック導入ケース):

プレクラックが斜めひび割れ進展を抑制し、せん断耐力が増加

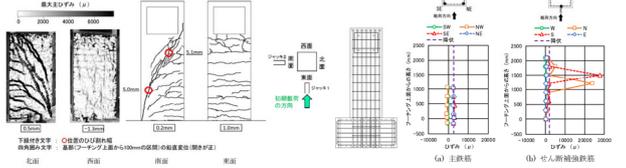


図3-1-2 N-1 せん断耐力ピーク確認時 試験体ひび割れ状況

図3-1-3 N-1 せん断耐力ピーク確認時 鉄筋ひびき分布

### X章 3 実験結果および考察

pp.338~343

#### 3.2 水平二方向荷重履歴が破壊挙動に及ぼす影響 (3.2.1~3.2.4)

##### ON-1 (基本ケース):

直交方向・逆方向荷重時のピーク荷重は、少しずつ低下。最終荷重過程ではピーク荷重は大きく低下。

##### OP-1 (せん断補強ケース):

直交方向加力後の逆方向荷重(⑦)で耐力・変形性能ともに基本ケースより増加。

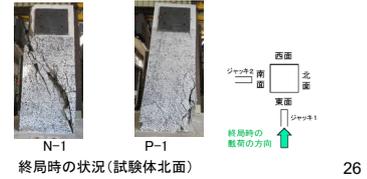
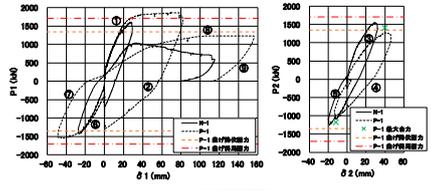


図3-2-3 終局時の状況 (試験体北面)

### X章 3 実験結果および考察

pp.338~343

#### 3.2 水平二方向荷重履歴が破壊挙動に及ぼす影響 (3.2.1~3.2.4)

##### ON-2-1 (斜め荷重ケース):

負方向の荷重過程(⑥)ではせん断耐力が低下

##### ON-2-2 (プレクラック導入ケース):

正方向のせん断耐力増加確認後、負方向の荷重過程(⑦)ではせん断耐力が低下

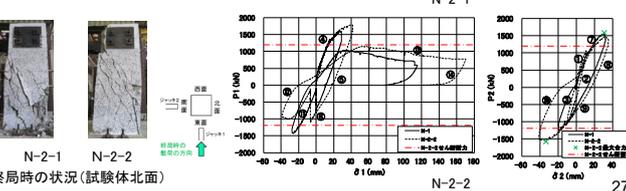


図3-2-1 N-2-1

図3-2-2 N-2-2

### X章 3 実験結果および考察

pp.343~350

#### 3.3 照査基準の適用性検討 (3.3.1~3.3.3)

##### 【対象指標】

- 部材厚増分 (せん断破壊の指標)
- 圧縮線変位差 (曲げ破壊の指標)
- 偏差ひずみ第二不変量 (斜めひび割れ発生指標)

限界値は既往の指針や文献の値と概ね整合しており、その適用性を確認した。

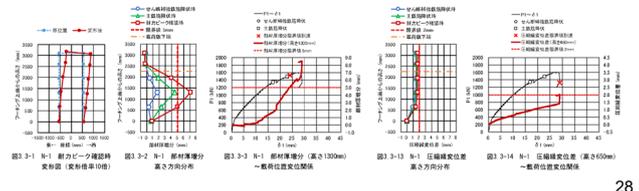


図3-3-1 N-1 耐力ピーク確認時

図3-3-2 N-1 部材厚増分

図3-3-3 N-1 圧縮線変位差

図3-3-4 N-1 偏差ひずみ第二不変量

### X章 3 実験結果および考察

pp.350~352

#### 3.4 その他の試験体挙動

##### (1) 試験体の伸び

試験体伸び~荷重点変位関係は変位ゼロの軸を挟んでU字型を描く  
P-1 (曲げ降伏卓越): 最大約13mm  
N-1, N-2-1, N-2-2: 最大約6mm以下

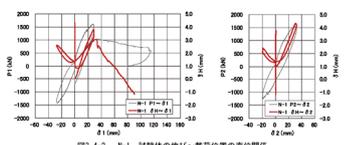


図3-4-2 N-1 試験体の伸び~荷重点位置の変位関係

##### (2) 試験体内部のひび割れ状況

N-1, P-1, N-2-1については、主要なひび割れ位置に沿って主鉄筋を切断して試験体を分離  
N-2-2については、ワイヤーソーにより柱中央部を切断

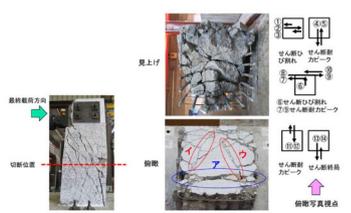


写真3-4-4 N-2-1 切断位置

写真3-4-5 N-2-2 試験体切断後状況

試験体内部のひび割れの進展状況、損傷状況を直接事後確認

### X章 4. まとめ

pp.352~353

#### (1) 初期荷重時の耐力評価

- N-1 (基本ケース): 初期荷重時のせん断破壊後、2方向荷重を行い耐力低下状況を確認
- P-1 (せん断補強ケース): 曲げ破壊先行型となり、基本ケースより耐力・変形性能が増加
- N-2-1 (斜め荷重ケース): せん断耐力が基本ケースと比較して増加
- N-2-2 (プレクラックケース): プレクラックにより、斜めひび割れの進展を妨げる効果があり、せん断耐力が基本ケースよりも増加

#### (2) 水平二方向荷重履歴がせん断破壊挙動に及ぼす影響

- N-1 (基本ケース) および N-2-1 (斜め荷重ケース) では、初期荷重に続く直交方向・逆方向荷重時のピーク荷重は、少しずつ低下し、初期荷重方向への再荷重過程でピーク荷重は大きく低下した。
- P-1 (せん断補強ケース) では、直交方向加力後の逆方向荷重で基本ケースと比較して耐力・変形性能ともに増加した。
- N-2-2 (プレクラックケース) では、プレクラックにより、正方向のせん断耐力増加確認後、負方向の荷重過程では、せん断耐力が低下した。

#### (3) 照査基準の適用性検討

- 部材厚増分・圧縮線変位差・偏差ひずみ第二不変量について実験結果と照らし合わせ、それぞれの実験条件下における各照査基準値の推移と試験体の損傷状況との関連を確認した。
- 限界値は既往の指針や文献の値と概ね整合していることを確認した。

# XI章 説明該当箇所

技術資料 XI 三次元解析ベンチマーク実験に係る解析的な検討  
目次(案)

1. はじめに
2. 解析モデル構築における諸検討
  - 2.1 シミュレーション解析
  - 2.2 各種パラメータ解析
3. 水平二方向加力を受けるRC部材の破壊挙動分析
  - 3.1 シミュレーション解析に基づく解析手法の適用性評価
  - 3.2 各種パラメータ解析
4. まとめ

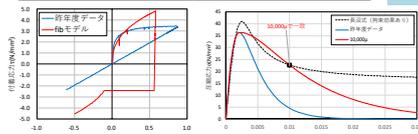
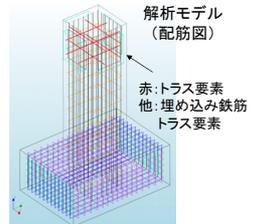
DIANAによる解析  
(離散鉄筋モデル)

# XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

## 2.1 シミュレーション解析

### (1) 解析条件

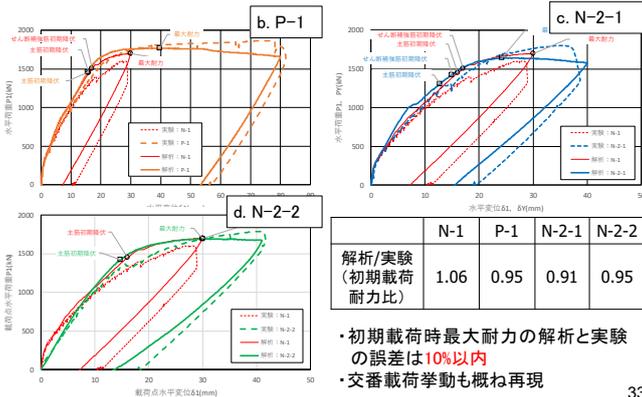
材料特性および解析条件	N-1	P-1	N-2-1	N-2-2
コンクリートの圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	36.9	36.2	39.1	39.0
主鉄筋の降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	508			
せん断補強鉄筋の降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	360			
PHBの降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	377			
せん断特性	せん断伝達係数			
(柱主筋部)	0.4			
(上記以外)	劣化開始ひずみ(μ)			
(柱主筋部)	4,000			
(上記以外)	1,962			
(上記以外)	400			
付着特性(柱主筋部)	fibモデル			
付着特性(上記以外)	付着すべり関係			



主鉄筋: D32@150mm  
せん断補強鉄筋  
D13@300mm  
(左図) 付着特性  
(右図) 圧縮軟化特性

# XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

## 2.1 シミュレーション解析 (2) 解析結果



初期荷重時最大耐力の解析と実験の誤差は10%以内  
交番荷重挙動も概ね再現

# XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

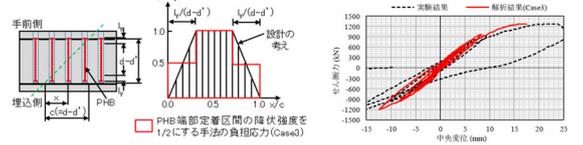
## 2.2 各種パラメータ解析

### (1) PHBのあと施工の影響のモデル化に関する検討

#### a. 既往研究



松本らの方(分散鉄筋、定着区間の鉄筋比を0とする。)



河村らの方(分散鉄筋、定着区間の鉄筋降伏応力を1/2とする。)

# XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

## (1) PHBのあと施工の影響のモデル化に関する検討(離散鉄筋モデル)

b. 解析条件

- 定着区間の降伏強度を1/2に低減(河村らの方法を離散鉄筋に適用)

c. 解析結果

- 定着性能により部材厚増分に差異あり
- ただし、妥当性評価には追加検討が必要
- ⇒別途実施した検討は地震工学研究発表会に投稿(端部境界条件を自由端とし、付着応力を低減させた検討)

荷重-変位-部材厚増分関係(P-1, PHB×6本)

最大変位時(80mm)の最大主ひずみ(P-1, PHB×6本)

# XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

## (2) 矩形荷重に関する検討

矩形荷重パターン

ケース名称

十字方向荷重(N-1)

矩形荷重

載荷経路依存性を数値的に検討

構成則パラメータの感度解析も併せて実施

⇒構成則の違いが経路依存性に与える影響を確認

十字荷重と矩形荷重の解析結果の比較(点線: 十字荷重, 実線: 矩形荷重)

## XI章 2. 解析モデル構築における諸検討

### 4. まとめ

#### 【2.1 シミュレーション解析】

- 解析結果は実験の荷重変位関係を概ね再現。(初期載荷時最大耐力の計算精度は±10%以内)
- N-1: 初期載荷において、実験で確認された斜めひび割れを概ね再現。
- P-1: あと施工鉄筋によるせん断補強効果を再現。
- N-2-1: 初期載荷において、主鉄筋降伏が早まる傾向や、斜めひび割れの進展状況を再現。
- N-2-2: 載荷時にプレクラックが開くことで、斜めひび割れと曲げひび割れの進展が抑制されることが数値解析においても確認。

#### 【2.2 各種パラメータ解析】

- PHBのモデル化手法の適用性(離散鉄筋モデル):  
端部定着のモデル化が部材厚増分に影響を与えることを確認。
- 矩形載荷の解析検討:  
十字載荷に比べ、耐力及び剛性の低下傾向が見られ、既往の実験と同様の傾向が見られた。  
⇒しかしながら、解析結果の妥当性、適切性を確認するためには、今後も別途検討が必要である。

37

## まとめ ～今回の主な拡充点～

※荷重箇所…マ:マニュアル, 照:照査例, 技:技術資料

### (1) 水平二方向力を受ける実規模RC部材の載荷実験と解析

- ✓ 三次元解析検証用ベンチマーク実験を追記した。(マ+技)
- ✓ 解析モデルの構築に関する留意点や具体例を示し、実験では確認できなかった実規模RC部材の破壊挙動を示した。(マ+技)
- ✓ あと施工せん断補強鉄筋のモデル化の留意点、具体例を示した。(マ+技)
- ✓ 水平二方向力を受ける実規模RC部材に対して既存の限界値指標の適用性を確認した。(マ+技)

### (2) 合理的かつ実用的な新たな照査基準

- ✓ 「圧縮縁変位差」という新たな限界値指標を提案し、有用性を確認した。(マ+照+技)

38

ご清聴ありがとうございました。

研究成果はまとめるにあたり、地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会メンバーをはじめ、多くの方からご指導、ご協力を賜りました。感謝の意を表します。

39