



## 被災建物の概要

- 用途 : 都江堰市の集合住宅
- 建設年 : 2008年(建設中・躯体は完成)
- 構造種別 : 鉄筋コンクリート構造
- 構造形式 : 鉄筋コンクリートラーメン造  
2F~6Fのみレンガ造壁有り
- 各階面積 : 約1,000m<sup>2</sup>(X=50.4m,Y=20.2m)
- 階数 : 地上6階、地下無
- 階高 : 2.85m





## 側柱柱頭の被害(損傷度 V)

- コアコンクリート圧壊
- 主筋座屈
- フープ外れ



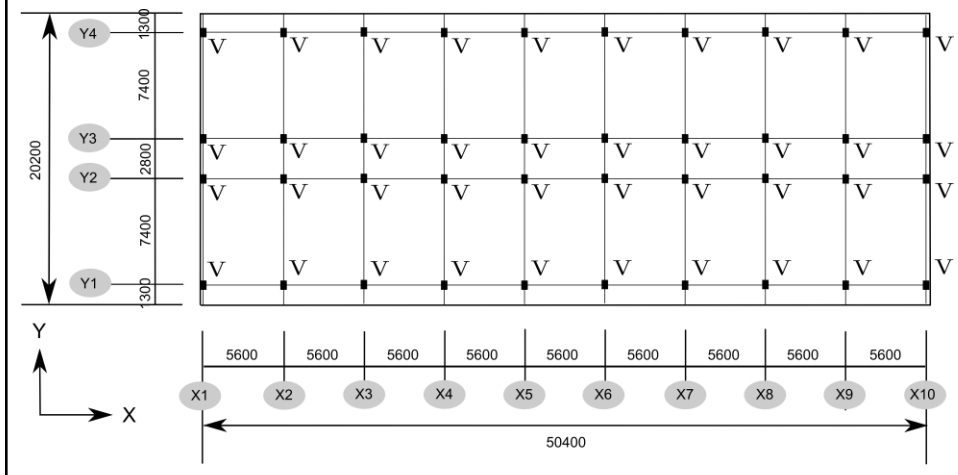
## 中柱柱頭の被害





## 被災度区分判定

耐震性能残存率 $R=0$ 【大破・倒壊】 → 応急復旧

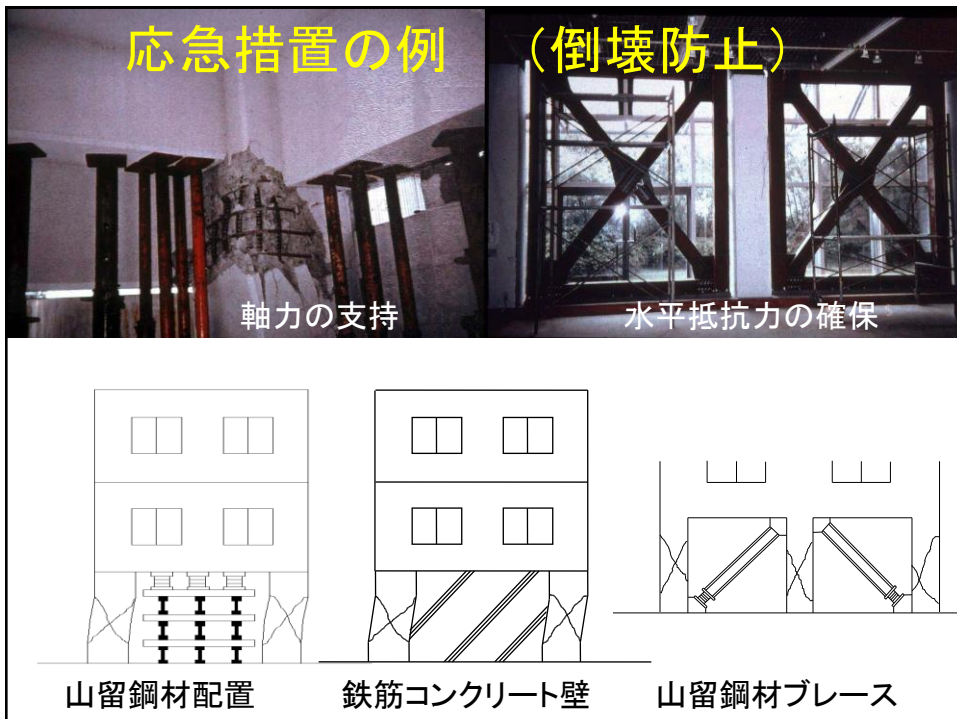


## 応急復旧の要否判定

被災度 震度	軽微 $R \geq 95$	小破 $95 > R \geq 80$	中破 $80 > R \geq 60$	大破・倒壊 $60 > R$
V弱以下 (7)	×	×	×	×
V強 (8)	◎	△	△	△
VI弱 (9)	◎	○(△)	△	△
VI強以上 (10~)	◎	◎(○)	○(△)	△

- ◎: 軽微な補修 → 継続使用  
 ○: 応急復旧(補修) → 継続使用  
 △: 応急措置、応急復旧 → 原則、使用禁止  
 ×: 耐震診断を行い恒久復旧  
 ( )は'71以前の建物

調査建物



# 日本の耐震診断方法の適用例

## 被災前の構造耐震指標 $I_s$

建物の現地調査(2008.6.22 都江塚市)

図面作成

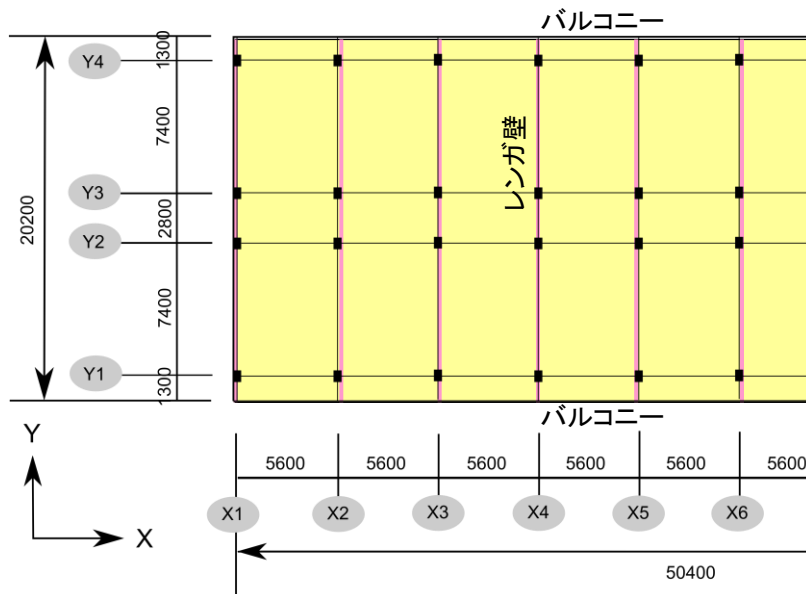
荷重算定

強度指標 $C$ と靱性指標 $F$ の算定

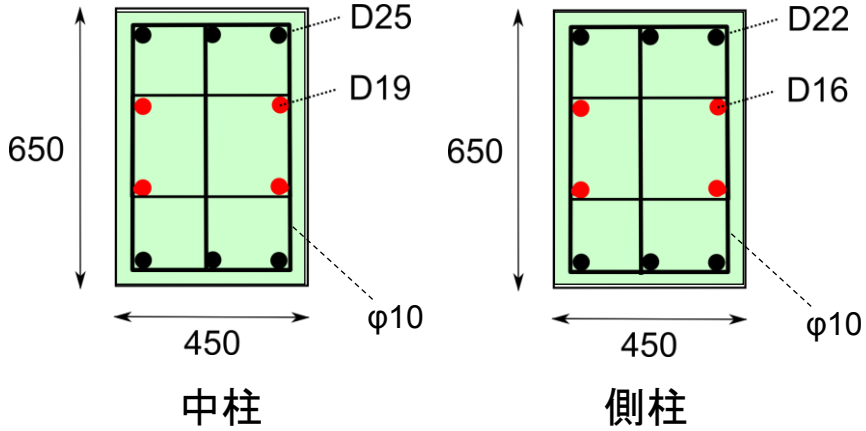
$$I_s = C \cdot F \cdot S_D \cdot T > 0.6 \text{ (日本の基準値 } I_{s0} \text{)}$$

$$C_T \cdot S_D > 0.3$$

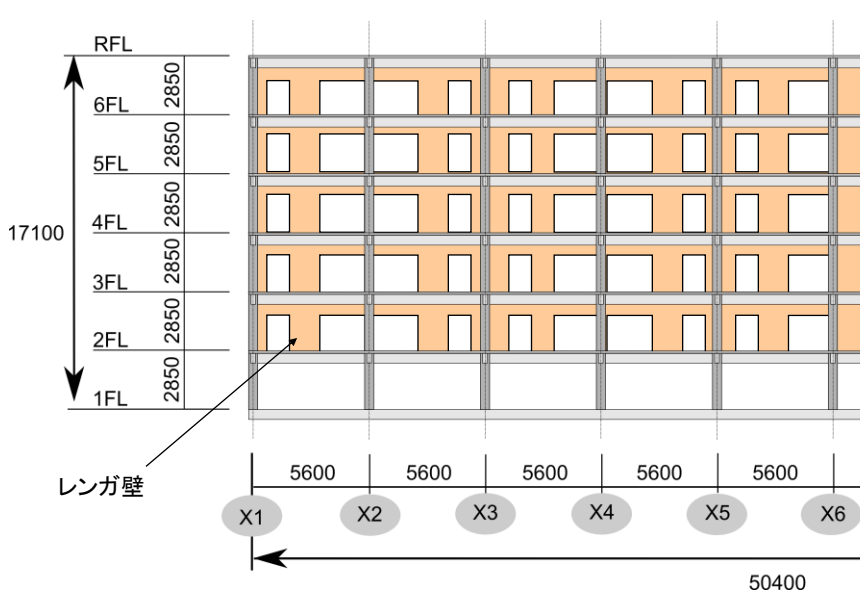
## 建物調査(基準階平面図)



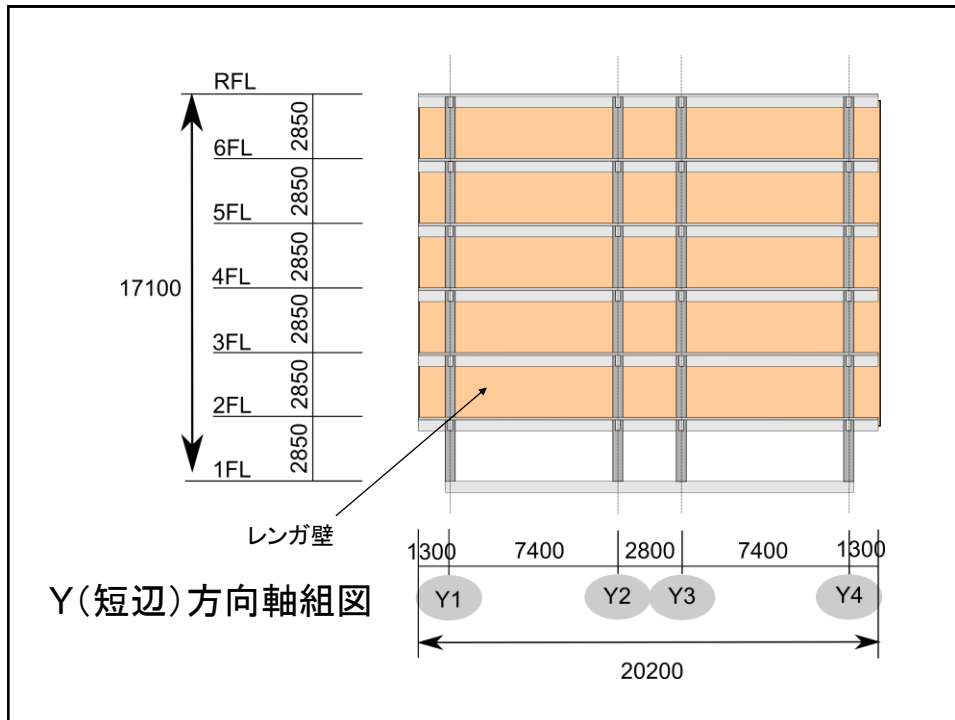
### 柱断面リスト



### X(長辺)方向軸組図







## 準備計算(荷重算定)

- 単位面積床重量(実際の荷重に基づく)

スラブ 120mm  $24\text{kN/m}^3$   $2.9\text{kN/m}^2$

床仕上 80mm  $24\text{kN/m}^3$   $1.9\text{kN/m}^2$

レンガ(空隙率0.5)  $20\text{kN/m}^3$

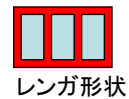
壁仕上 50mm  $20\text{kN/m}^3$   $3.2\text{kN/m}^2$ (見付)

階高3m, 2枚/スパン5.6m  $3.4\text{kN/m}^2$

積載荷重  $0.8\text{kN/m}^2$

柱自重  $0.8\text{kN/m}^2$

合計  $9.8\text{kN/m}^2 \rightarrow 10\text{kN/m}^2$



レンガ形状

## 建物重量

階	単位重量 (kN/m <sup>2</sup> )	床面積 (m <sup>2</sup> )	Wi (kN)	ΣWi (kN)
6	10	1018	10180	10180
5	10	1018	10180	20360
4	10	1018	10180	30540
3	10	1018	10180	40720
2	10	1018	10180	50900
1	10	1018	10180	61080

1階の層せん断力係数 $C_B=0.3$ とすると $Q_1=18324\text{kN}$

## 1階柱の軸力

柱断面:BXD=450X650

コンクリート圧縮強度: $\sigma_B=30\text{N/mm}^2$

柱	単位重量 (kN/m <sup>2</sup> )	床面積 (m <sup>2</sup> )	層数	軸力 (kN)	軸 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	軸 力比
中柱	10	28.6	6	1714	5.9	0.2
側柱	10	28.0	6	1680	5.7	0.2

## 強度指標C

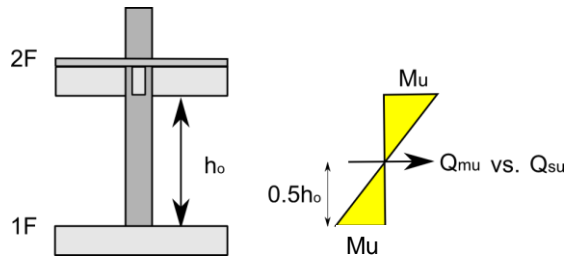
$$M_u = 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5ND \left( 1 - \frac{N}{bDF_c} \right)$$

$$Q_{mu} = M_u / (h_o / 2)$$

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(18 + F_c)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_w \cdot s \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_o \right\} b \cdot (0.8D)$$

$$Q_u = \min(Q_{mu}, Q_{su}) \quad \text{曲げとせん断の比較}$$

$$C = Q_u / \Sigma W$$



## 強度指標Cと靱性指標F

中柱の算定

$$\text{曲げ終局時せん断強度 } Q_{mu} = 457\text{kN}$$

$$\text{せん断終局強度 } Q_{su} = 554\text{kN}$$

$$Q_u = \min(Q_{mu}, Q_{su}) = 457\text{kN}$$

$$Q_{mu} < Q_{su} \text{より } \text{【曲げ柱】}$$

全体の強度指標C

$$C = Q_u / \Sigma W = 0.26 \text{ (1階の層せん断力係数)}$$

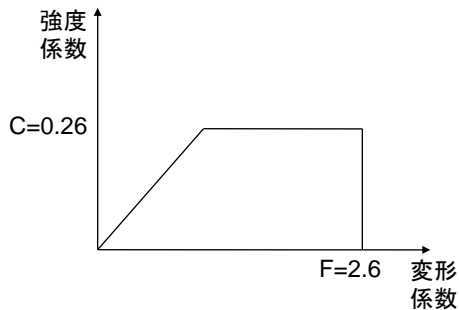
$$\text{靱性指標 } F = 2.6$$

$$\text{降伏変形角 } R_y = 1/150$$

$$\text{終局変形角 } R_u = 1/50$$

## 耐震性能の評価

方向	階	C	F	C・F
X(長辺)	1	0.26	2.60	0.67



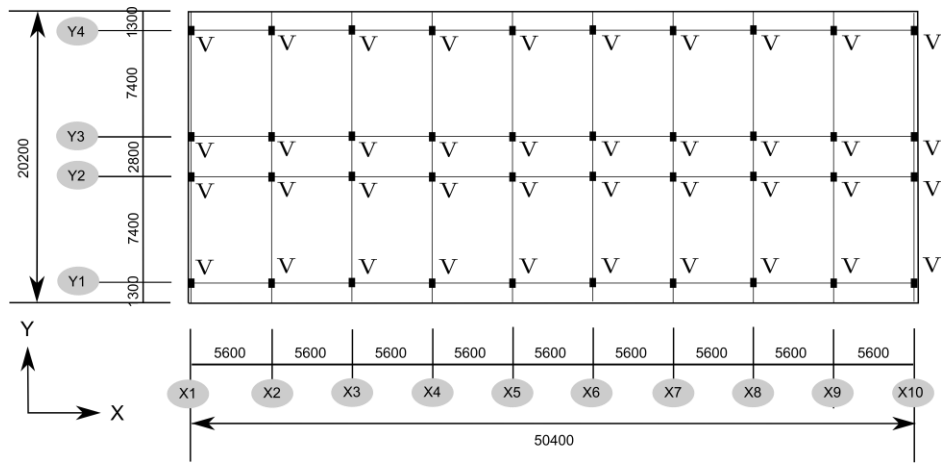
構造耐震指標

$$\begin{aligned}
 I_s &= E_0 \cdot S_D \cdot T \\
 &= 0.67 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \\
 &= 0.67 > 0.6 (\text{日本の} I_{so})
 \end{aligned}$$

$$C_T \cdot S_D = 0.26 < 0.3$$

## 被災後の耐震性能

耐震性能残存率R=0【大破・倒壊】→復旧検討



## 復旧措置後の耐震指標 $R_{Is}$

### 部材の耐力回復係数 $\psi$

損傷度	$\psi$
Ⅱ	0.95～1.0
Ⅲ	0.9～0.95(～1.0)
Ⅳ	0.8～0.9(～1.0)
Ⅴ	0.7～0.8(～0.9)

括弧( )内は、工法の組合せ

※応急措置・復旧技術シートあり

## 復旧例1

### 基本計画

被災前と同じ状態に建築物を復旧する

### 復旧手順

- ①1階柱の損傷により沈下した2階より上をジャッキアップして、水平移動して1階柱の傾斜も修正する
- ②損傷が激しい1階柱柱頭・柱脚は、座屈した主筋は切断して交換する
- ③コアコンクリートの打ち直し、エポキシ樹脂ひび割れ補修
- ④せん断補強筋を交換して、コンクリートを打設

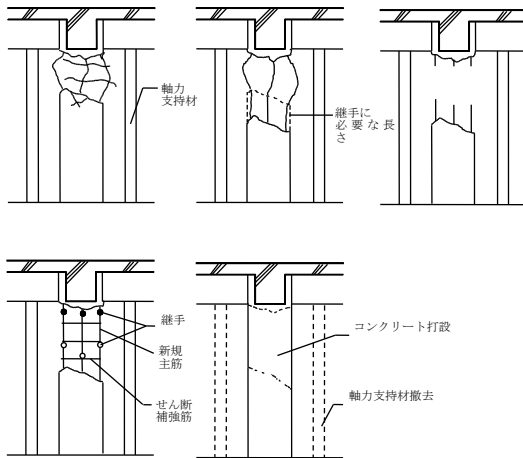
### 問題点

耐力は被災前の70%程度

ジャッキアップなどの難しい施工技術が必須

## 復旧例1 (被災前に戻す)

### 復旧技術シート16



回復係数 $\psi=0.7$

$R_{ls}=0.47$

$C_T \cdot S_D=0.18$

同じ規模の地震



倒壊の可能性

## 復旧例2

### 基本計画

被災前よりも曲げ耐力を上げる

### 復旧手順

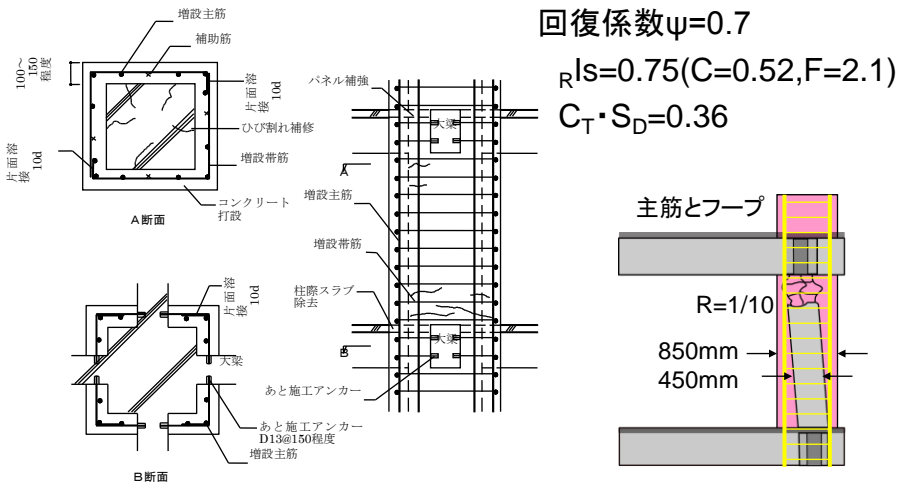
- ① 残留変形を矯正せずに1階柱の外殻に主筋を配筋する。主筋を2階柱まで施工することで定着長を確保する
- ② せん断補強筋を柱周囲に配置する
- ③ 型枠を設置してコンクリートを打設する

### 問題点

残留変形角が大きいいため、柱が太くなる

中子筋を配置できず、せん断破壊が先行する可能性がある

## 復旧例2(恒久補強)



復旧技術シート14

主筋を2階と基礎にアンカー  
内部の耐力予測・中子筋

## 復旧例3

### 基本計画

復旧例1と2を組み合わせることで被災前の耐力を確保し断面は復旧例2ほどは大きくしない

### 復旧手順

- ①復旧例1を用いて2階以上をジャッキにより支持し、水平移動し元の断面を修復する
- ②復旧例2を用いて主筋とせん断補強筋を配置して断面補強する
- ③型枠を設置してコンクリートを打設する

### 問題点

建物を水平移動するという施工が難しい

## 復旧例3(恒久補強)

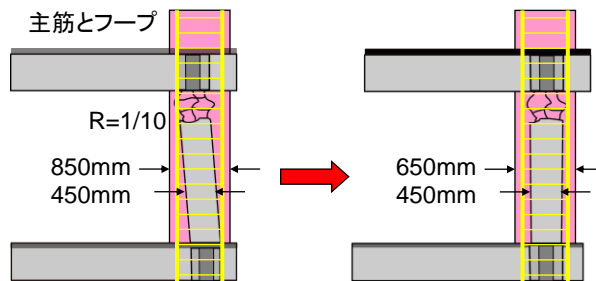
既存柱と同主筋では元の建物相当となる

回復係数 $\psi=0.7$

$R|s=0.49(C=0.39, F=1.8)$

$C_T \cdot S_D=0.27$

復旧例2



主筋を2階と基礎にアンカー  
内部の耐力予測・中子筋

立て起こしが困難  
反力として杭や地盤アンカー  
などが考えられる

## 復旧例4

基本計画

曲げ強度を大きくするとともに、せん断強度も大きくなるように補強し、強度指標Cと靱性指標Fの両者を大きくする

復旧手順

- ①復旧例3の型枠として恒久的な鋼板を用いる
- ②コンクリートを打設する

問題点

復旧コストが高い



## 復旧例4(組合せ恒久補強)

鋼板巻き 回復係数 $\psi=0.8$

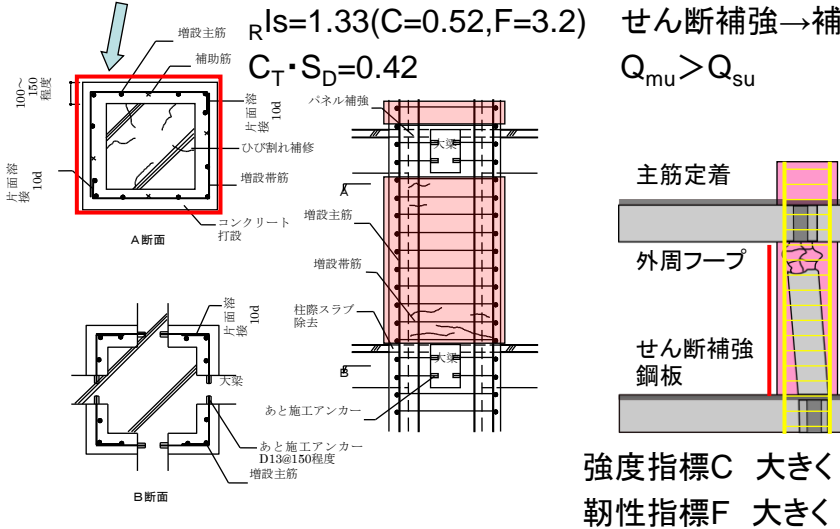
$$R_l s = 1.33 (C = 0.52, F = 3.2)$$

$$C_T \cdot S_D = 0.42$$

主筋量に対応した

せん断補強→補強効果

$$Q_{\mu} > Q_{su}$$



強度指標C 大きく  
靱性指標F 大きく

## 復旧例5

### 基本計画

せん断耐力を大きくするために耐震壁を設置する。

### 復旧手順

- ①柱の復旧補修を行う
- ②柱・梁にあと施工アンカーを打ち、壁筋を配筋する
- ③コンクリートを打設しフレームと壁を一体化する

### 問題点

スペースを区切ることになる

## 復旧例5(恒久補強)

耐震壁 $t=200$   $L=5600$

$Q_{su} \doteq 2240\text{kN}$

6枚設置

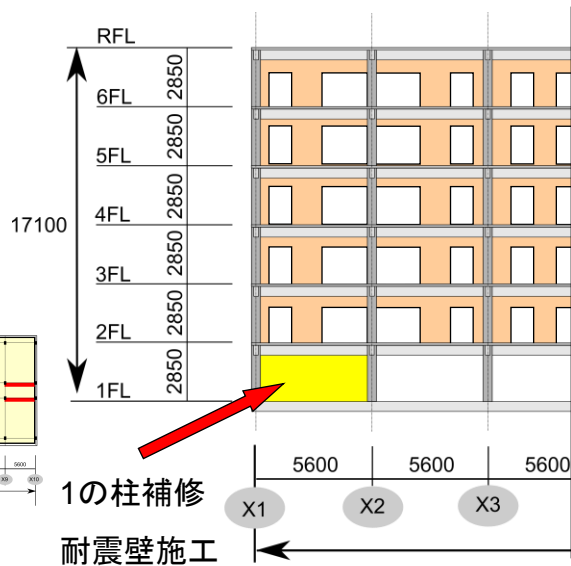
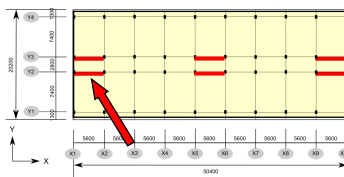
柱の補修と壁補強 $\psi=0.8$

$C_w=0.22$   $F=1.0$

$C_c=0.26$   $F=2.6$

$E_o=\psi(C_w+0.7C_c)F=0.32$

$R_l s=0.32$



1の柱補修

耐震壁施工

## 復旧例6

基本計画

袖壁を設置して柱の強度を大きくする

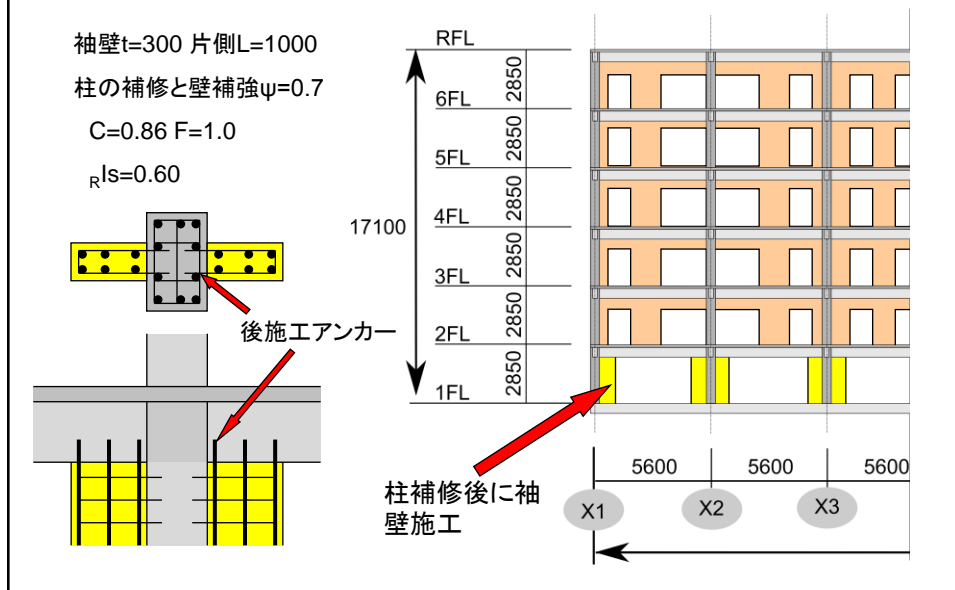
復旧手順

- ①柱の復旧補修(復旧例1)を行う
- ②柱・梁にあと施工アンカーを打ち、壁筋を配筋する
- ③コンクリートを打設しフレームと袖壁を一体化する

問題点

柱と袖壁の一体化とその評価方法が難しい

## 復旧例6(恒久補強)



## まとめ

被災した建物を事例とした日本の応急復旧技術を紹介した。ただし、1階のみを対象としている。

今回の復旧計画は、必ずしも実際の復旧に最適ではないが、四川省(中国)で用いられる材料、地域性、施工性を考慮して意見交換や技術交流を行うことで、より実用的な復旧技術を確立することが可能と思われる