



平成20年度国土交通省建築基準整備促進補助金事業

鉄筋コンクリート造の柱梁接合部の せん断破壊に関する実験

研究代表者： 塩原 等

国立大学法人東京大学工学系研究科建築学専攻

目的

- 幅広い設計因子の耐震実験
- 架構の靱性の判定法の合理化のための実験資料を収集
- 鉄筋コンクリート骨組構造の柱梁接合部の耐震設計の合理化
- 柱梁接合部の耐震補強設計の開発

実験計画

- 1/3スケール 十字形柱梁接合部
- A シリーズ パイロット実験 (A01~A02) 2 体
- B シリーズ 柱せい/梁せい = 1.0 (B01~B11) 11 体
- C シリーズ CFRP 耐震補強 (C01~C04) 4 体
- D シリーズ 柱せい/梁せい = 2.0 (D01~D11) 11 体

1. 梁主筋量

柱梁接合部のせん断余裕度 (0.55 ~ 1.3)

2. 柱・梁曲げ強度比

柱の曲げ終局強度の梁の曲げ終局強度に対する比 (1.0 ~ 2.0)

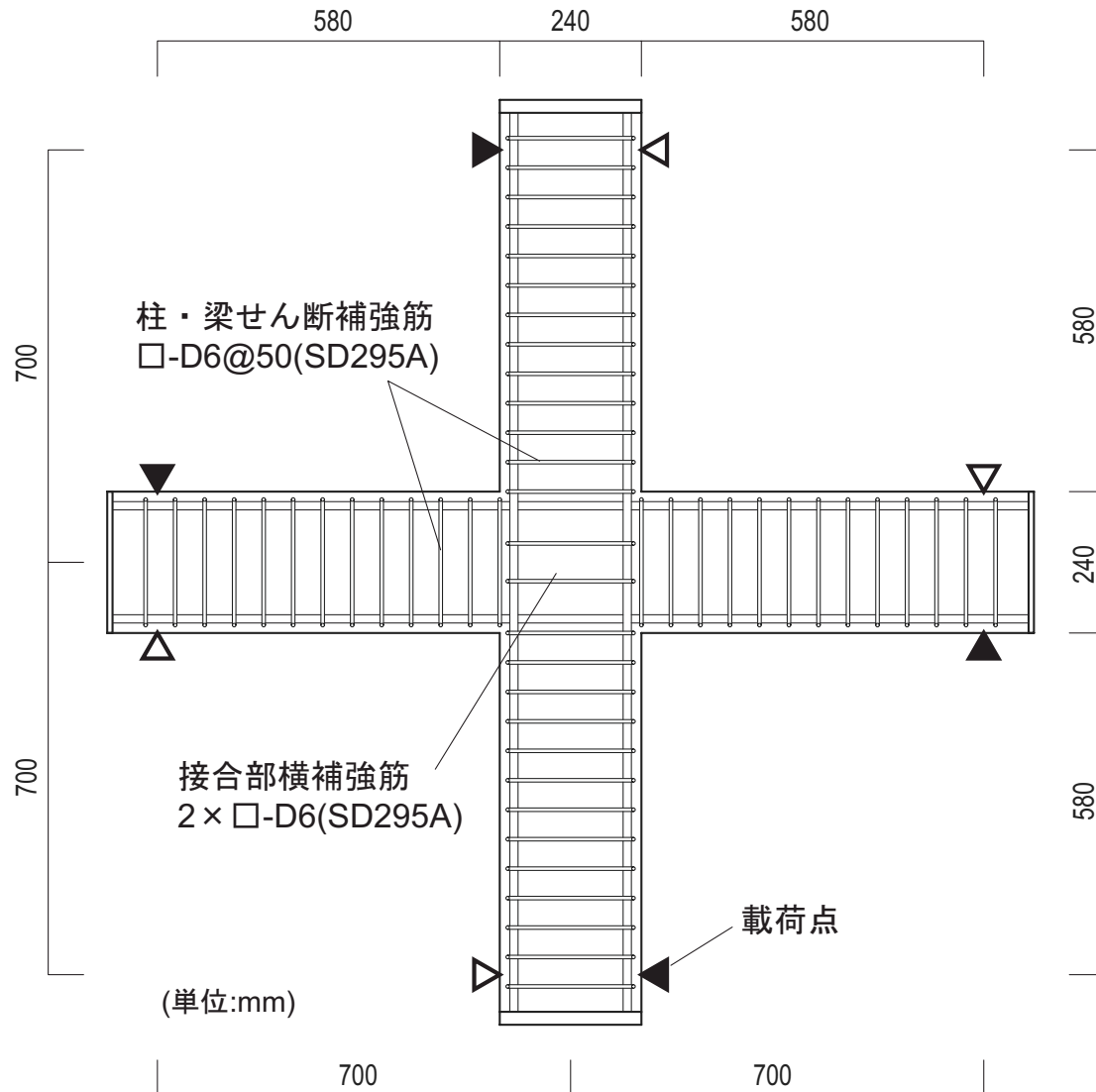
3. 主筋間距離比

部材断面の引張主筋と圧縮主筋の間隔と部材せいの比 (0.5 ~ 0.8)

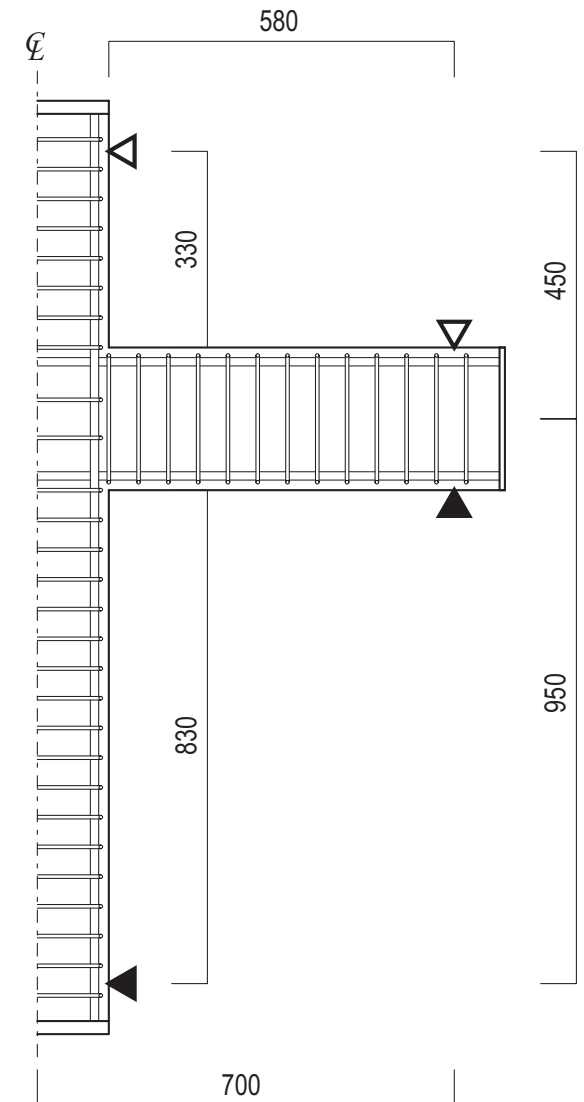
4. 接合部アスペクト比

柱せいと梁せいの比 (1.0 ~ 2.0)

試験体形状 (B シリーズ)

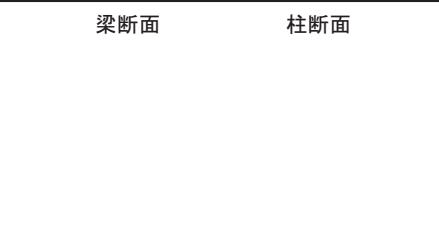
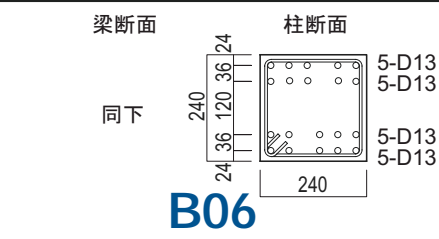
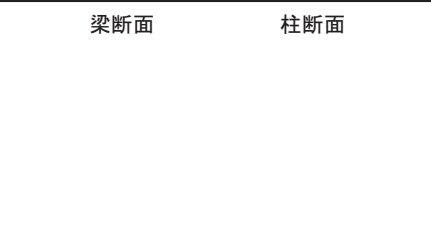
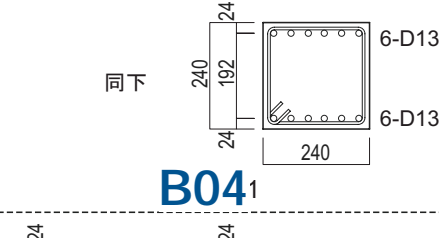
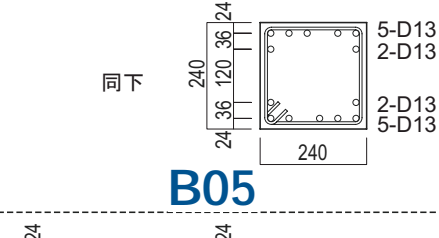
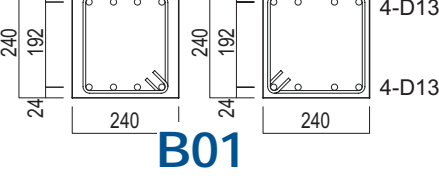
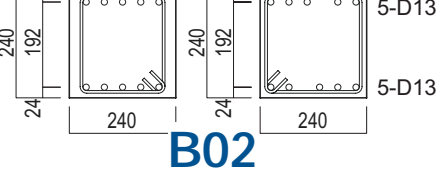
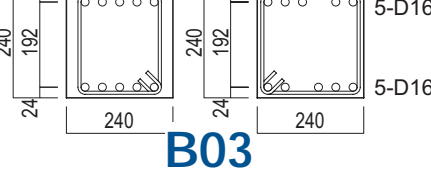
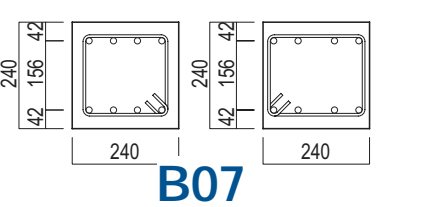
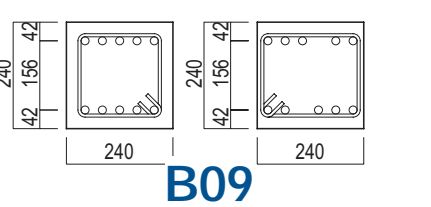
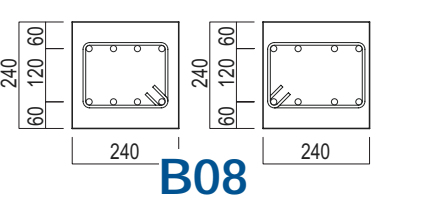
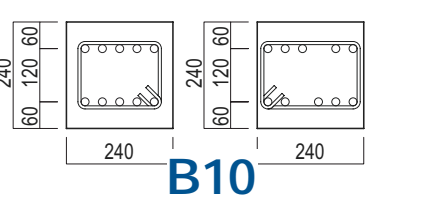


試験体B01~B10

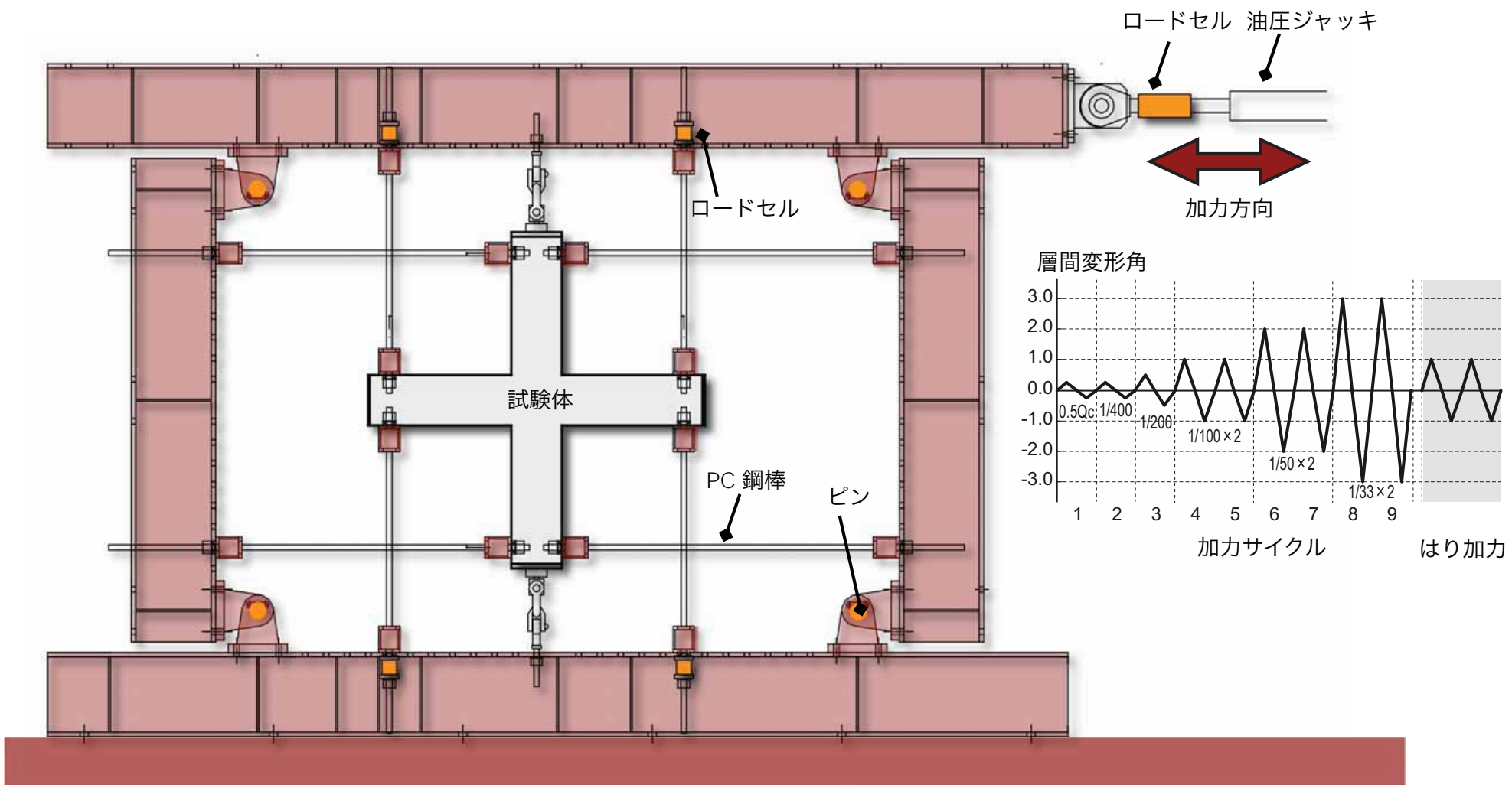


試験体B11

柱と梁の配筋詳細 (B シリーズ)

	梁主筋 4-D13(SD345)	梁主筋 5-D13(SD345)	梁主筋 5-D16(SD390)
柱曲げ耐力比 1.8	<p>梁断面 柱断面</p> 	<p>梁断面 柱断面</p> <p>同下</p>  <p>B06</p>	<p>梁断面 柱断面</p> 
梁主筋間距離比 0.8	<p>同下</p>  <p>B04₁</p>	<p>同下</p>  <p>B05</p>	
柱・梁同配筋	 <p>B01</p>	 <p>B02</p>	 <p>B03</p>
	 <p>B07</p>		 <p>B09</p>
	 <p>B08</p>		 <p>B10</p>

加力装置



試験体の力学特性値 (B シリーズ)



試験体	B01	B04 B11	B07	B08	B02	B05	B06	B03	B09	B10	
梁主筋	4-D13			5-D13			5-D16				
主筋間距離比	0.80		0.65	0.50	0.80			0.80	0.65	0.50	
接合部せん断余裕度	1.29		1.26	1.24	1.03			0.57	0.56	0.55	
柱・梁曲げ耐力比	1.00	1.48	1.00		1.00	1.35	1.78	1.00			
梁主筋引張降伏力 kN	192				240			423			
釣合鉄筋量 kN	538	538	428	323	538	538	538	538	428	323	
引張鉄筋量／釣合鉄筋量	0.36	0.36	0.45	0.59	0.45	0.45	0.45	0.79	0.99	1.31	

主筋降伏・最大耐力 (Bシリーズ)

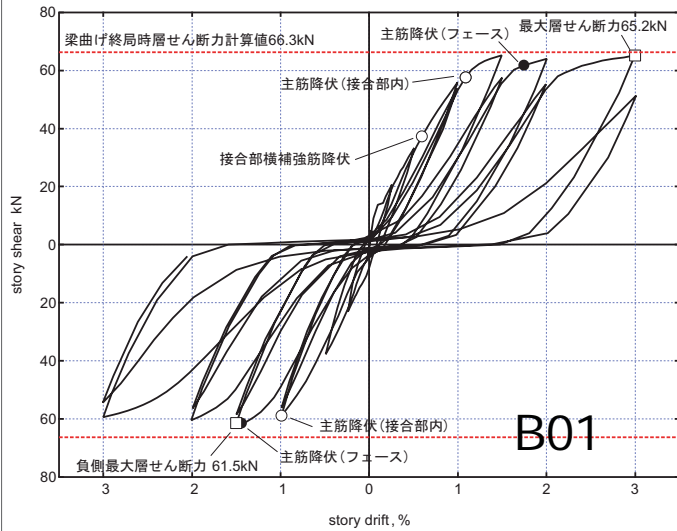
試験体		B01	B04	B11	B07	B08	B02	B05	B06	B03	B09	B10		
梁主筋		4-D13					5-D13			5-D16				
柱主筋		4-D13	6-D13		4-D13		5-D13	5-D13 2-D13	5-D13	5-D16				
梁主筋間距離比		0.80			0.65	0.5	0.80			0.80	0.65	0.50		
梁主筋 降伏	接合部内対角 線位置	正	57.6 1.09	58.8 0.95	57.0 0.95	57.0 1.25	55.7 1.31	69.5 1.20	69.9 1.14	70.9 0.95	107.1 2.20	88.8 2.11	98.5 2.50	
		負	-55.2 -1.14	-60.0 -0.90	-56.2 -0.90	-53.0 -1.19	-55.8 -1.35	-66.7 -1.21	-69.0 -1.00	-74.4 -1.20	-96.6 -1.81	-89.5 -1.73	-87.9 -2.32	
	柱フェース	正	61.8 1.74	N/A			63.1 2.80	66.4 2.80	N/A			未降伏	未降伏	未降伏
		負	-43.3 -2.00	N/A			-57.8 -2.91	未降伏	N/A			-85.0 -2.41	未降伏	未降伏
柱主筋 降伏	接合部内 対角線位置	正	57.6 1.09	62.6 2.21	60.8 1.10	55.2 1.20	59.5 1.45	69.5 1.20	75.8 2.44	未降伏	101.5 2.62	93.6 2.32	98.5 2.50	
		負	-59.0 -0.99	-58.8 -1.62	-53.9 -1.00	-53.0 -1.19	-57.0 -1.40	-66.7 -1.21	-70.5 -1.64	未降伏	-64.8 -1.61	-80.9 -2.21	未降伏	
	梁フェース	正	63.0 1.88	N/A			62.3 2.60	63.3 1.70	N/A			103.3 2.89	未降伏	未降伏
		負	-61.4 -1.44	N/A			-54.7 -2.62	-61.8 -1.91	N/A			-81.2 -2.12	未降伏	未降伏
接合部横補強筋		37.3 0.59	52.0 0.80	45.0 0.70	40.0 0.76	43.5 0.95	34.2 0.44	45.2 0.61	52.5 0.63	63.1 0.70	36.1 0.40	52.1 0.80		
最大層せん断力	正	65.2 3.00	68.6 1.51	68.9 1.50	64.6 2.00	66.7 3.00	76.7 2.00	79.3 2.02	84.0 1.50	107.1 2.00	99.8 3.00	102.6 2.91		
	負	-61.5 -1.50	-64.2 -1.46	-64.9 -1.50	-60.4 -1.50	-63.0 -2.01	-72.3 -1.50	-77.7 -1.52	-80.5 -1.52	-99.4 -2.00	-94.2 -2.01	-95.8 -2.92		

上段：層せん断力(kN)， 下段：層間変形角

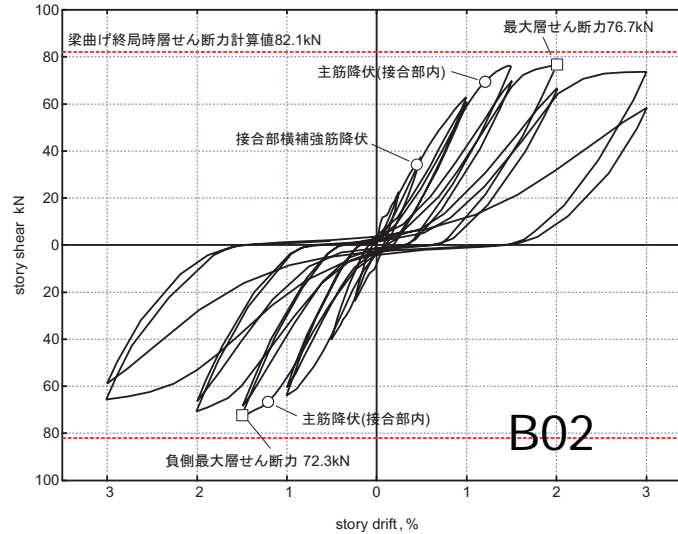
主筋比の影響

		梁主筋 4-D13(SD345)	梁主筋 5-D13(SD345)	梁主筋 5-D16(SD390)
梁主筋間隔比 0.8	柱曲げ耐力比 1.8	梁断面 柱断面 同下	梁断面 柱断面 同下	梁断面 柱断面
	柱曲げ耐力比 1.4	同下 B04, B11	同下 B05	
柱・梁同配筋	柱曲げ耐力比 1.0	B01	B02	B03
	柱曲げ耐力比 0.65	B07		B09
梁主筋間隔比 0.5	柱曲げ耐力比 0.5	B08		B10

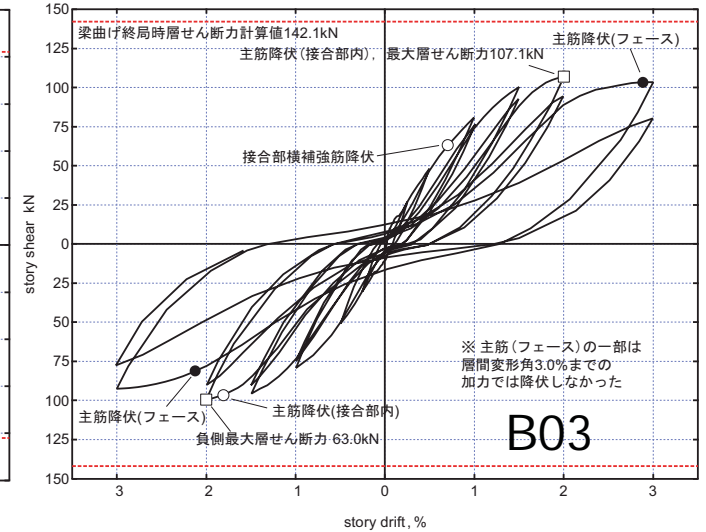
主筋比の影響



接合部せん断余裕度 1.29



接合部せん断余裕度 1.03



接合部せん断余裕度 0.57



層間変形角 3.0%

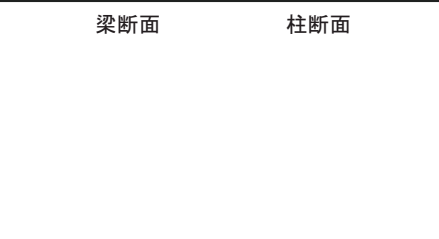
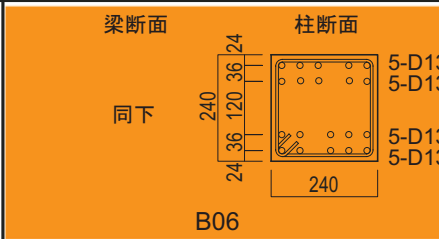
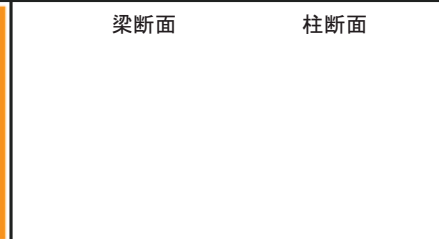
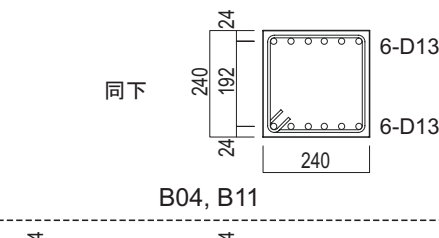
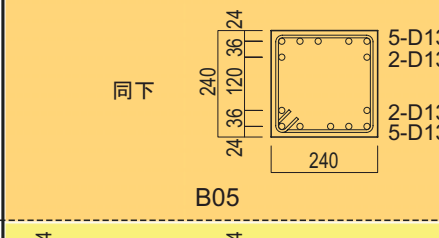
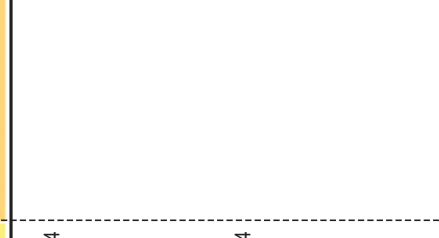
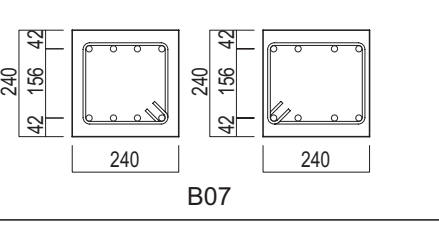
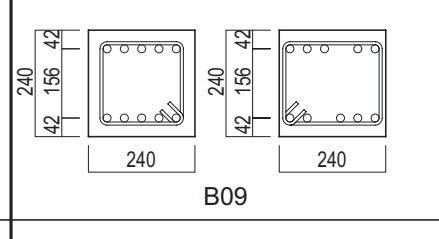
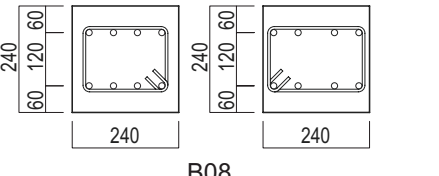
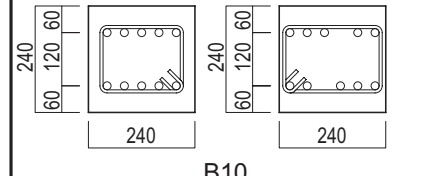


層間変形角 3.0%

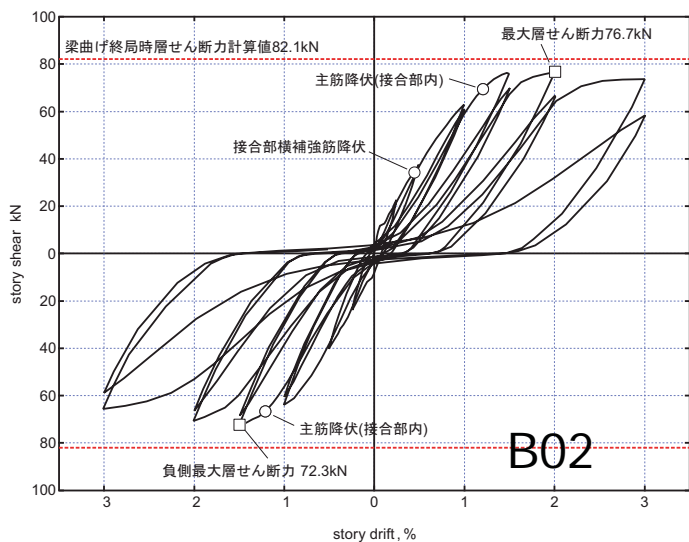


層間変形角 3.0%

柱と梁の曲げ強度比の影響

		梁主筋 4-D13(SD345)	梁主筋 5-D13(SD345)	梁主筋 5-D16(SD390)
梁主筋間隔比 0.8	柱梁曲げ耐力比 1.8	<p>梁断面 柱断面</p>  <p>同下</p> <p>B06</p>	<p>梁断面 柱断面</p>  <p>同下</p> <p>B05</p>	<p>梁断面 柱断面</p>  <p>B03</p>
	柱梁曲げ耐力比 1.4	<p>同下</p>  <p>B04, B11</p>	<p>同下</p>  <p>B02</p>	<p>同下</p>  <p>B03</p>
柱・梁同配筋	梁主筋間隔比 0.65	 <p>B07</p>		 <p>B09</p>
	梁主筋間隔比 0.5	 <p>B08</p>		 <p>B10</p>

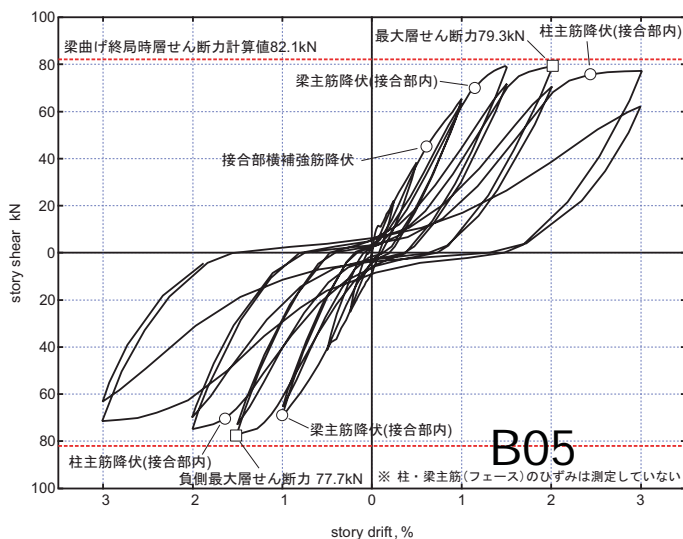
柱と梁の曲げ強度比の影響



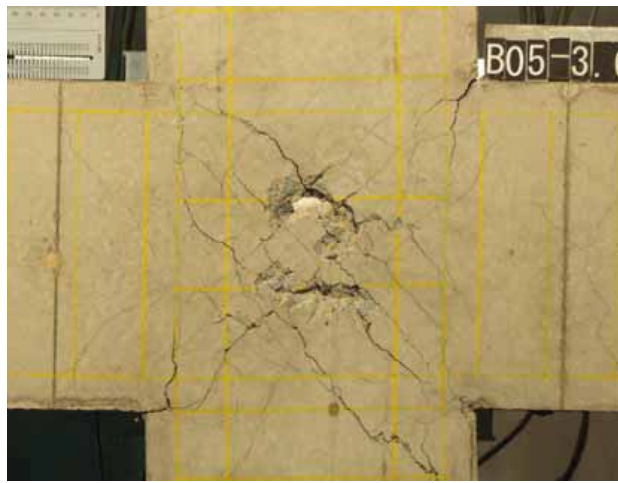
柱梁曲げ強度比 1.0



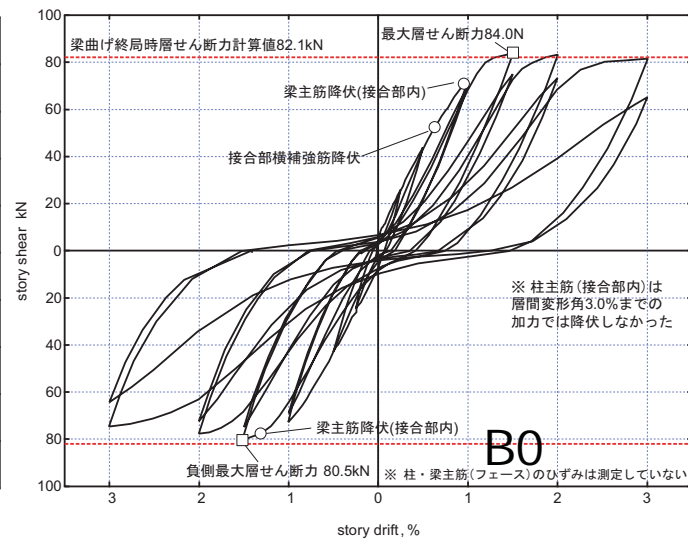
層間変形角 3.0%



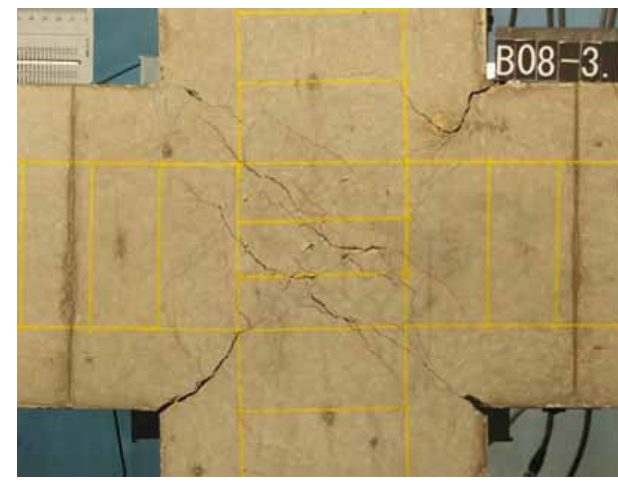
柱梁曲げ強度比 1.



層間変形角 3.0%



柱梁曲げ強度比 1.



層間変形角 3.0%

主筋間距離比の影響

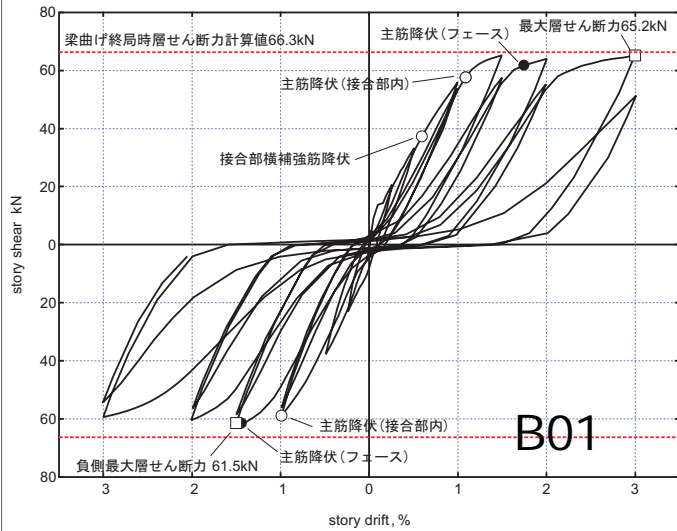
(接合部せん断余裕度 1.0)



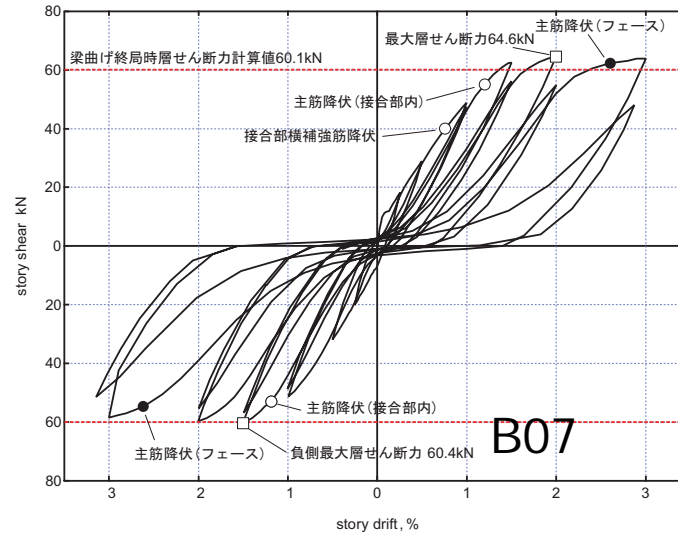
		梁主筋 4-D13(SD345)	梁主筋 5-D13(SD345)	梁主筋 5-D16(SD390)
梁主筋間距離比 柱・梁同配筋	柱曲げ耐力比 1.8	梁断面: 同下 柱断面: 同下	梁断面: 同下 柱断面: 5-D13, 5-D13, 5-D13, 5-D13 B06	梁断面: 同下 柱断面: 同下
	柱曲げ耐力比 1.4	梁断面: 同下 柱断面: 6-D13, 6-D13 B04, B11	梁断面: 同下 柱断面: 5-D13, 2-D13, 2-D13, 5-D13 B05	
	柱・梁同配筋	梁断面: 4-D13, 4-D13 柱断面: 4-D13, 4-D13 B01	梁断面: 5-D13, 5-D13 柱断面: 5-D13, 5-D13 B02	梁断面: 5-D16, 5-D16 柱断面: 5-D16, 5-D16 B03
	梁主筋間距離比 0.65	梁断面: 42, 156, 42 柱断面: 42, 156, 42 B07		梁断面: 42, 156, 42 柱断面: 42, 156, 42 B09
	梁主筋間距離比 0.5	梁断面: 60, 120, 60 柱断面: 60, 120, 60 B08		梁断面: 60, 120, 60 柱断面: 60, 120, 60 B10

主筋間距離比の影響

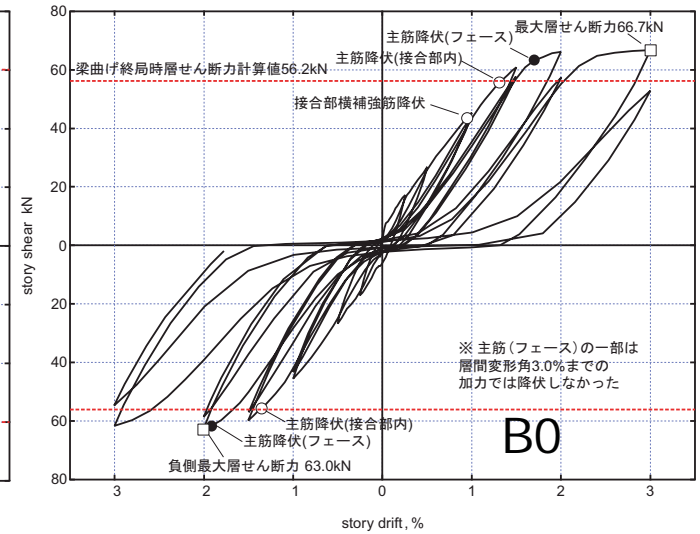
(接合部せん断余裕度 1.0)



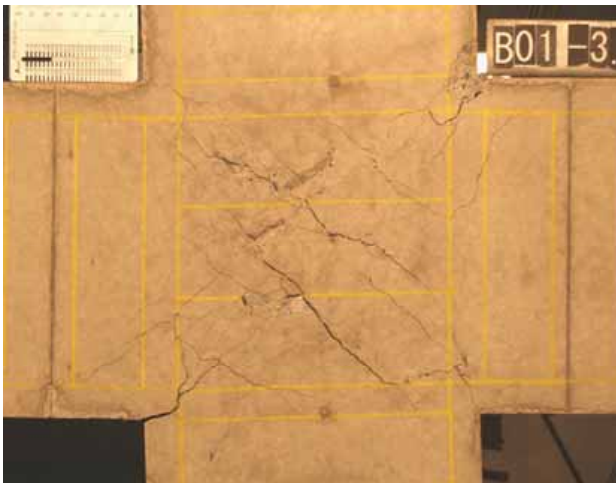
主筋間距離比 0.



主筋間距離比 0.5



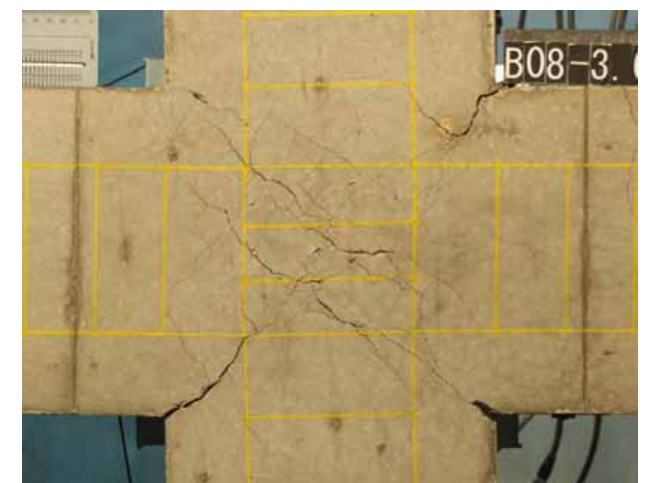
主筋間距離比 0.50



層間変形角 3.0%



層間変形角 3.0%



層間変形角 3.0%

主筋間距離比の影響

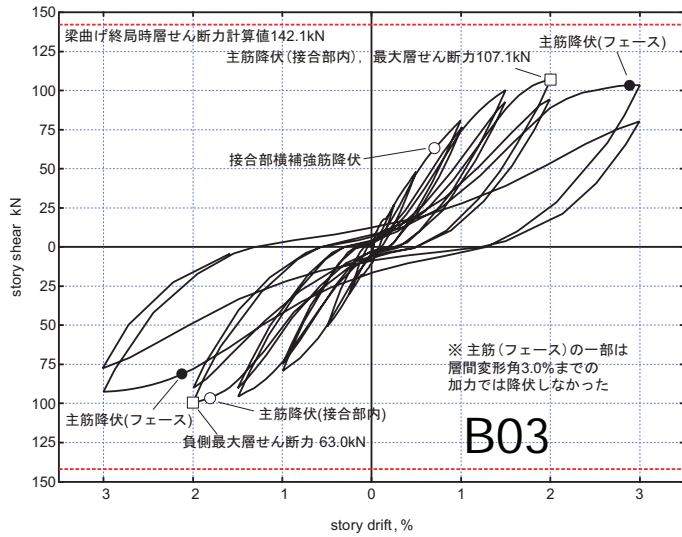
(接合部せん断余裕度 0.55)



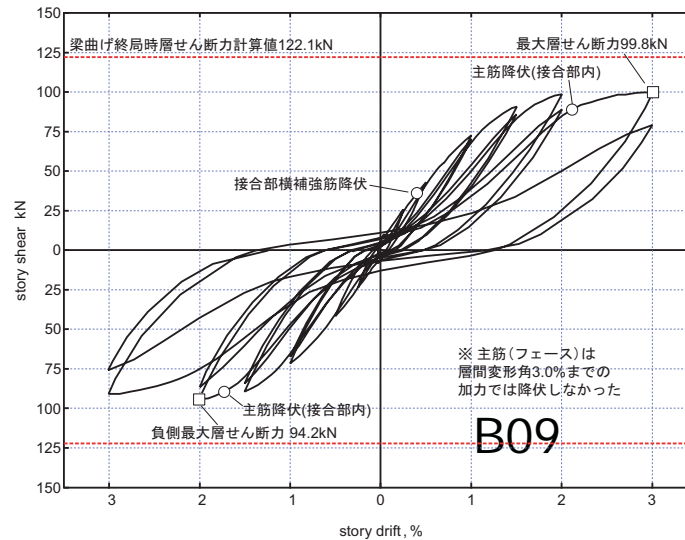
		梁主筋 4-D13(SD345)	梁主筋 5-D13(SD345)	梁主筋 5-D16(SD390)
梁主筋間距離比 0.8	柱梁曲げ耐力比 1.8	<p>梁断面 柱断面</p> <p>同下</p> <p>B06</p>	<p>梁断面 柱断面</p> <p>同下</p> <p>B05</p>	
	柱梁曲げ耐力比 1.4	<p>同下</p> <p>B04, B11</p>	<p>同下</p> <p>B02</p>	
梁主筋間距離比 0.65	柱・梁同配筋	<p>B01</p>	<p>B03</p>	<p>B07</p>
	柱・梁同配筋	<p>B08</p>		<p>B09</p>
		<p>B10</p>		<p>B10</p>

主筋間距離比の影響

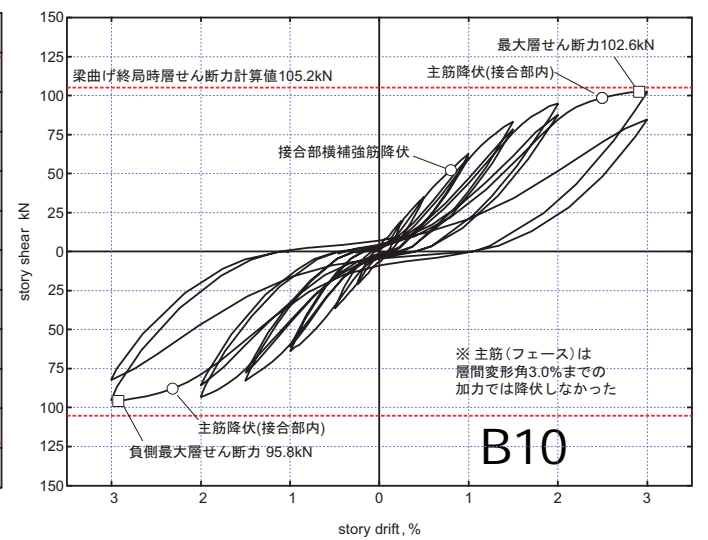
(接合部せん断余裕度 0.55)



主筋間距離比 0.



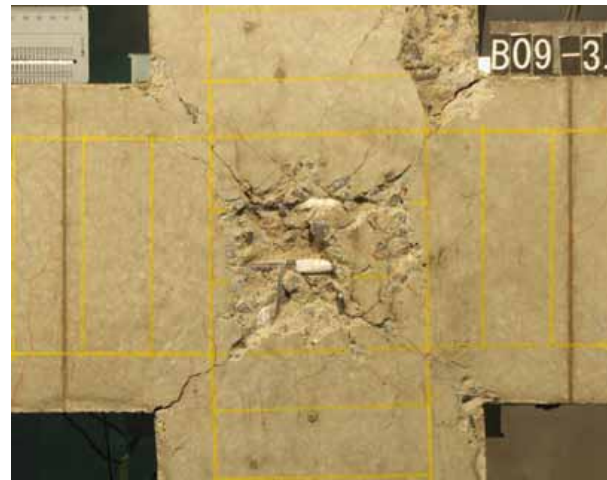
主筋間距離比 0.5



主筋間距離比 0.50



層間変形角 3.0%

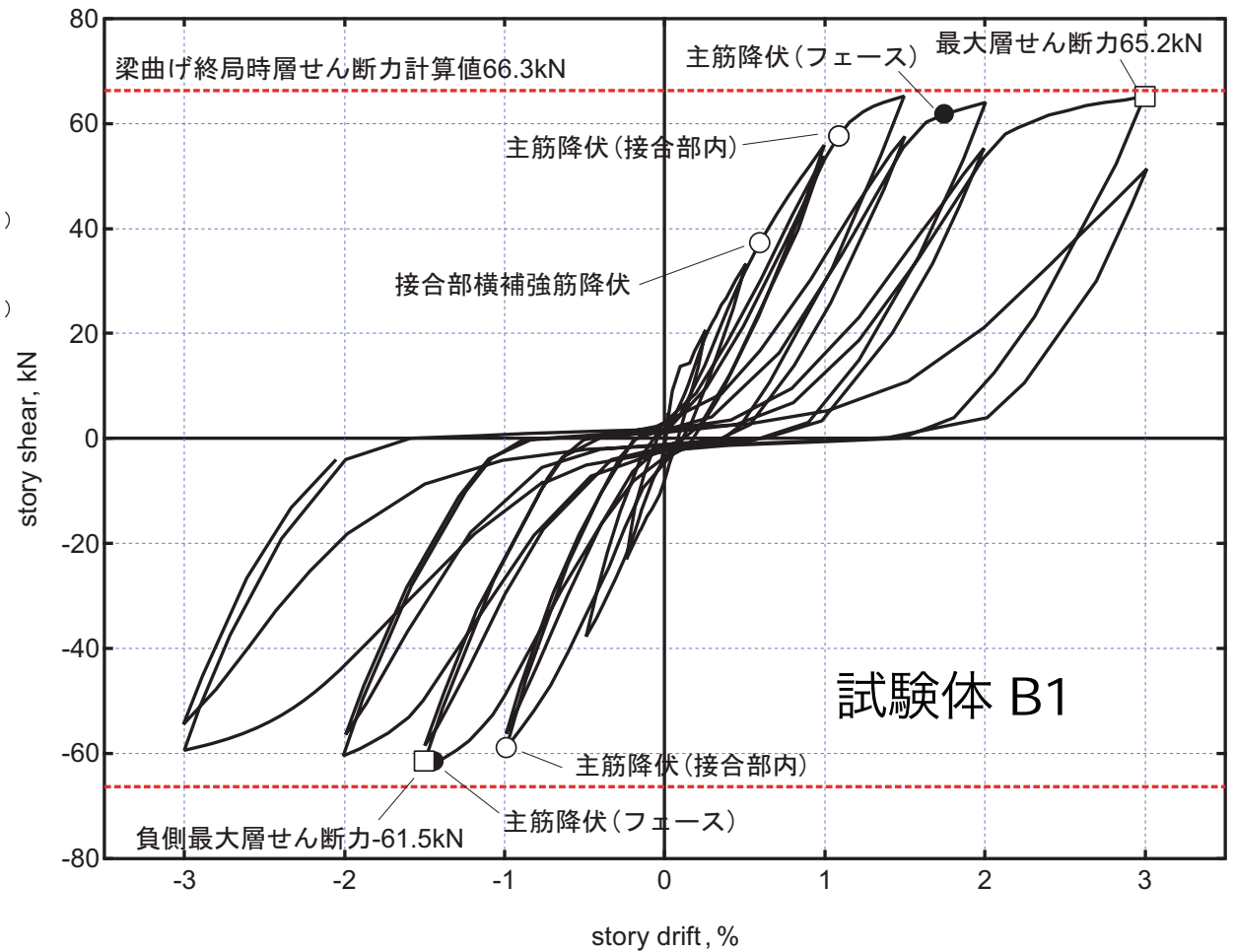
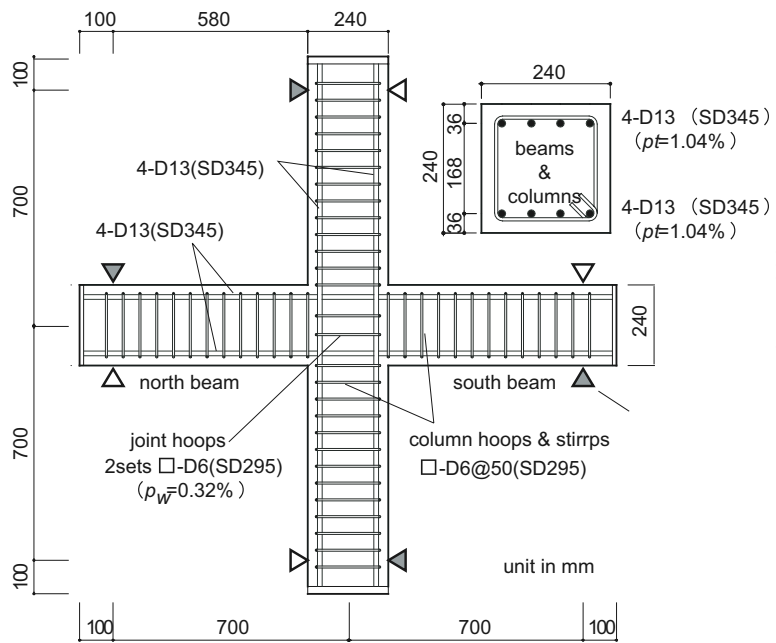


層間変形角 3.0%



層間変形角 3.0%

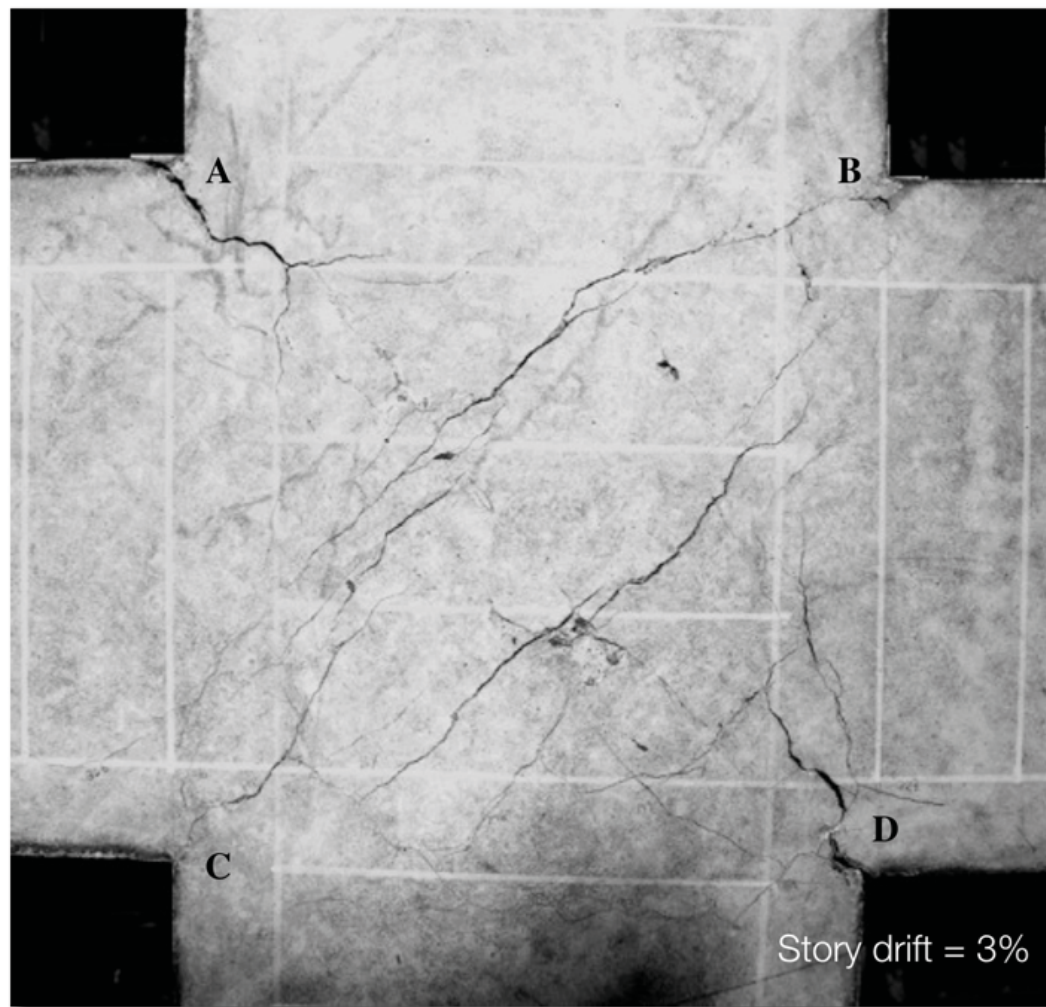
履歴特性



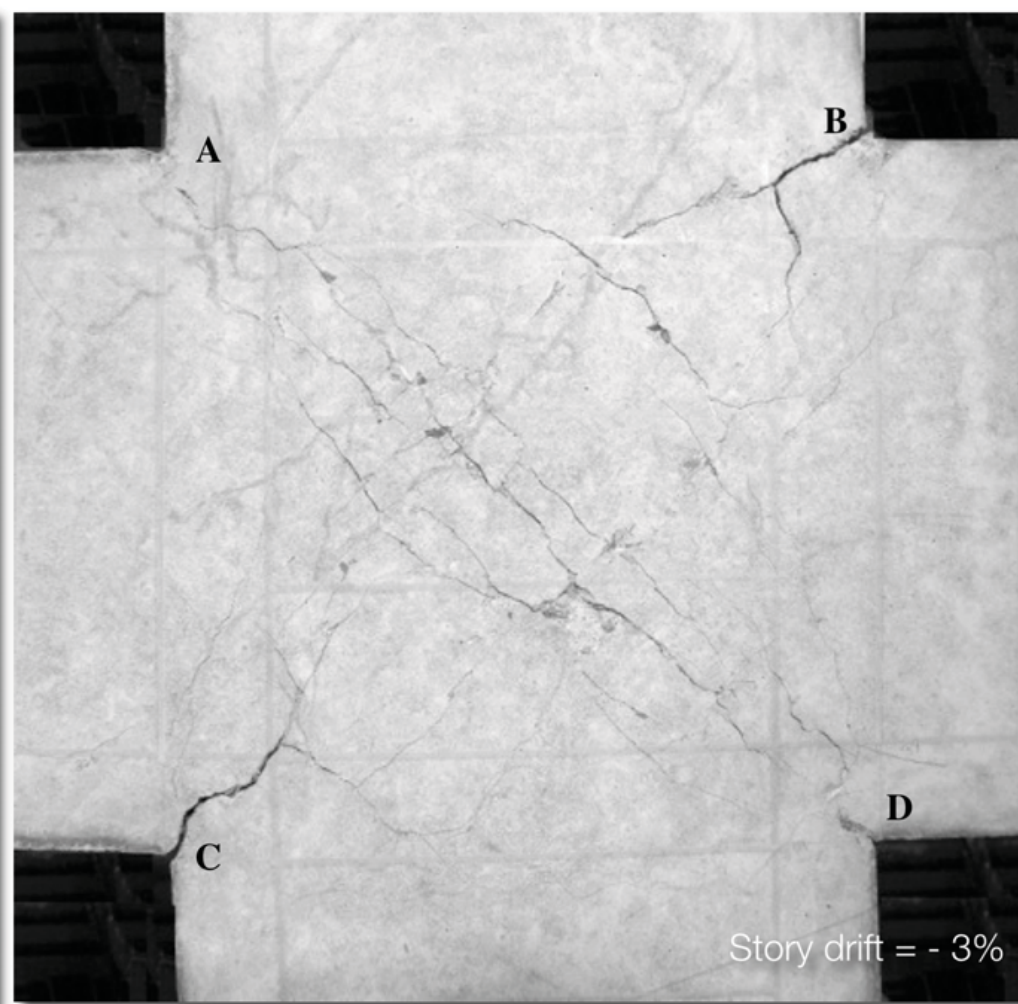
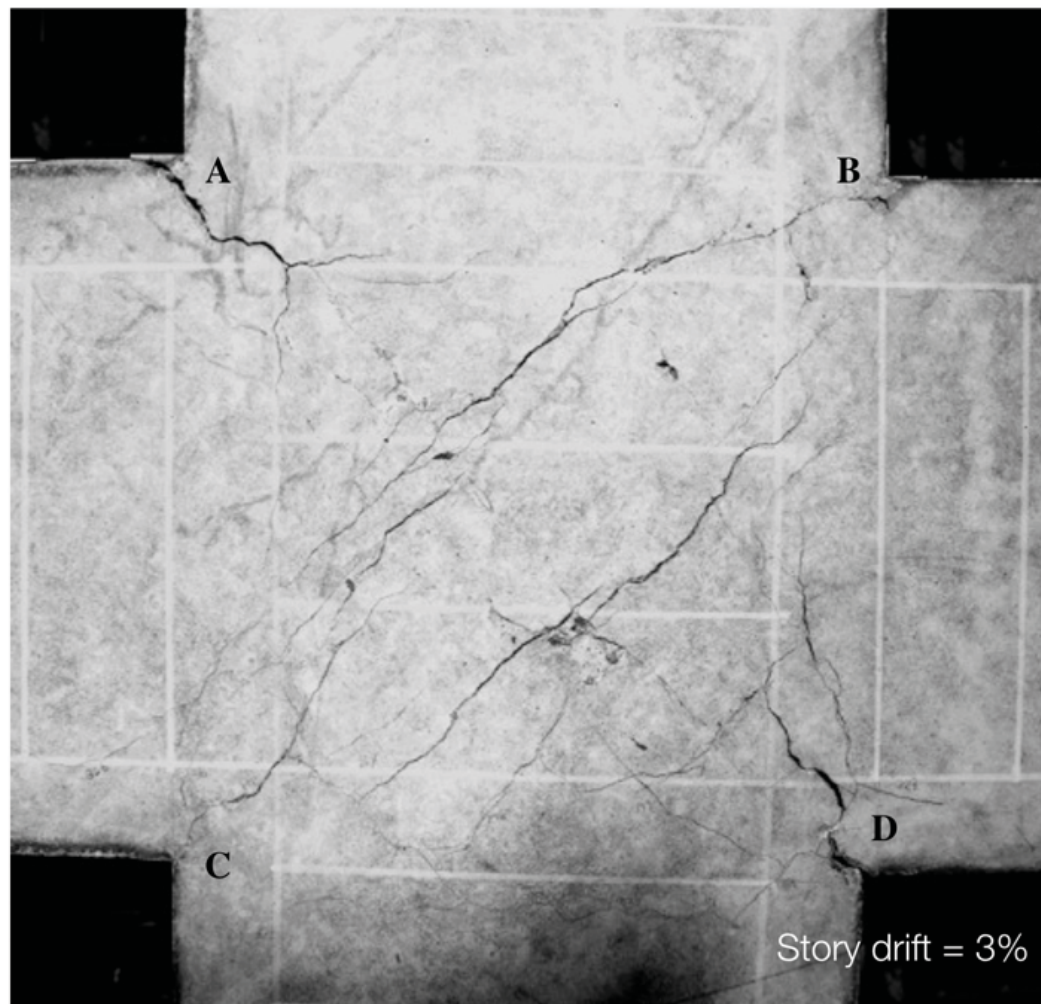
層間変形角 3% 時のひび割れ状況



層間変形角 3% 時のひび割れ状況



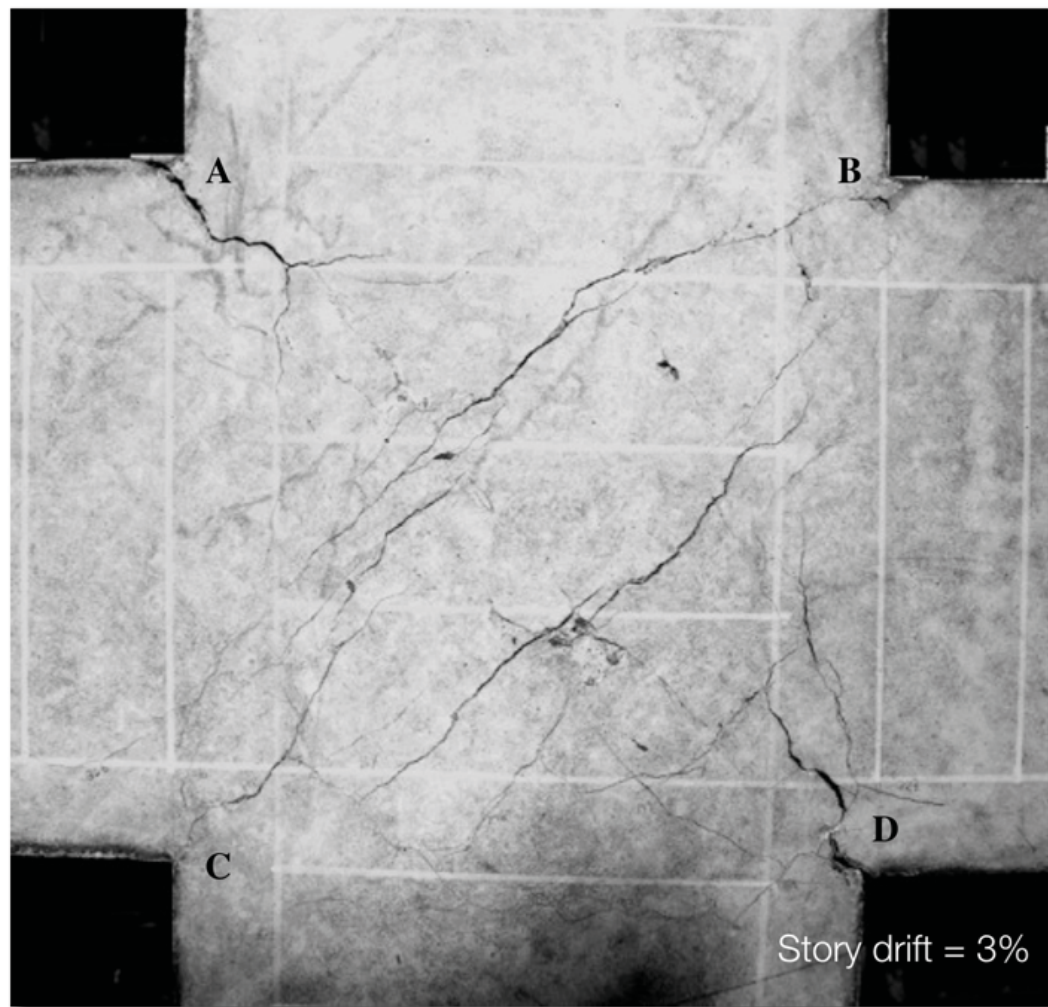
層間変形角 3% 時のひび割れ状況



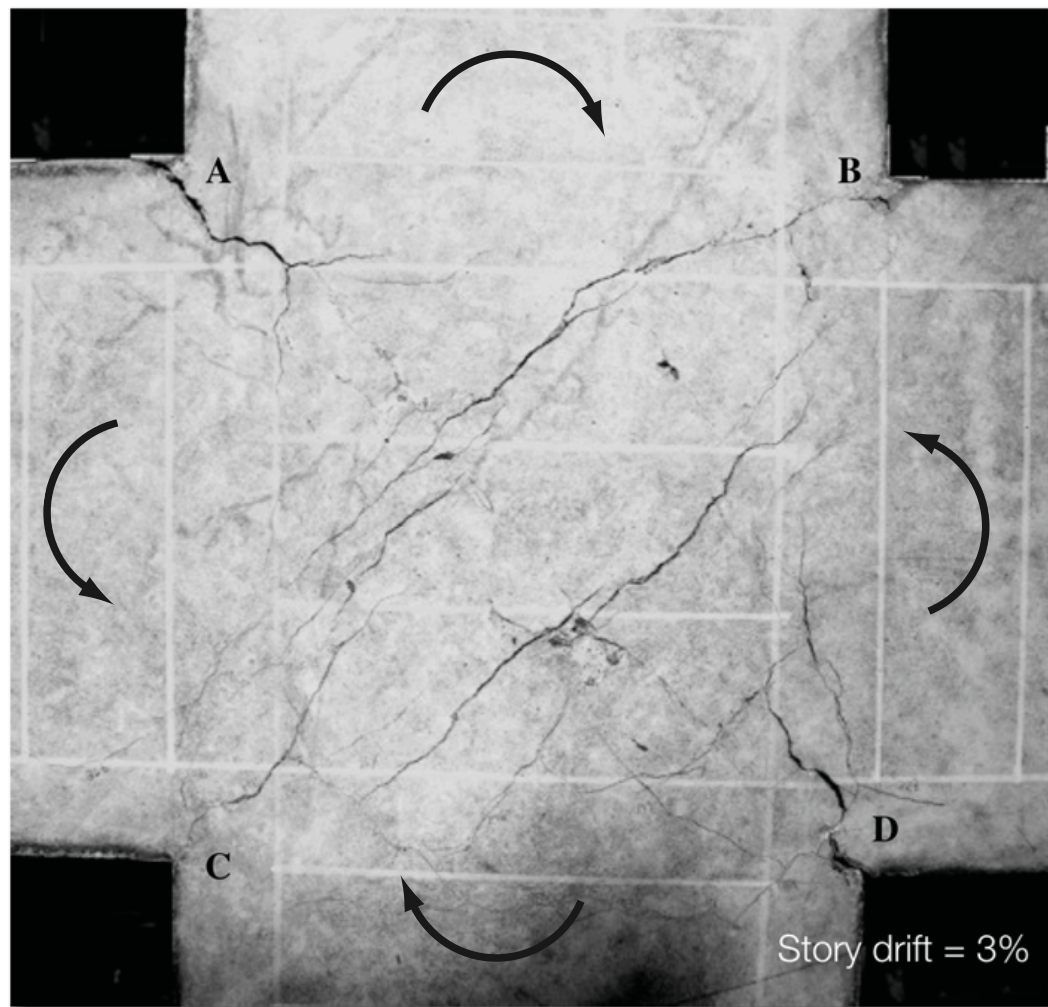
変形機構



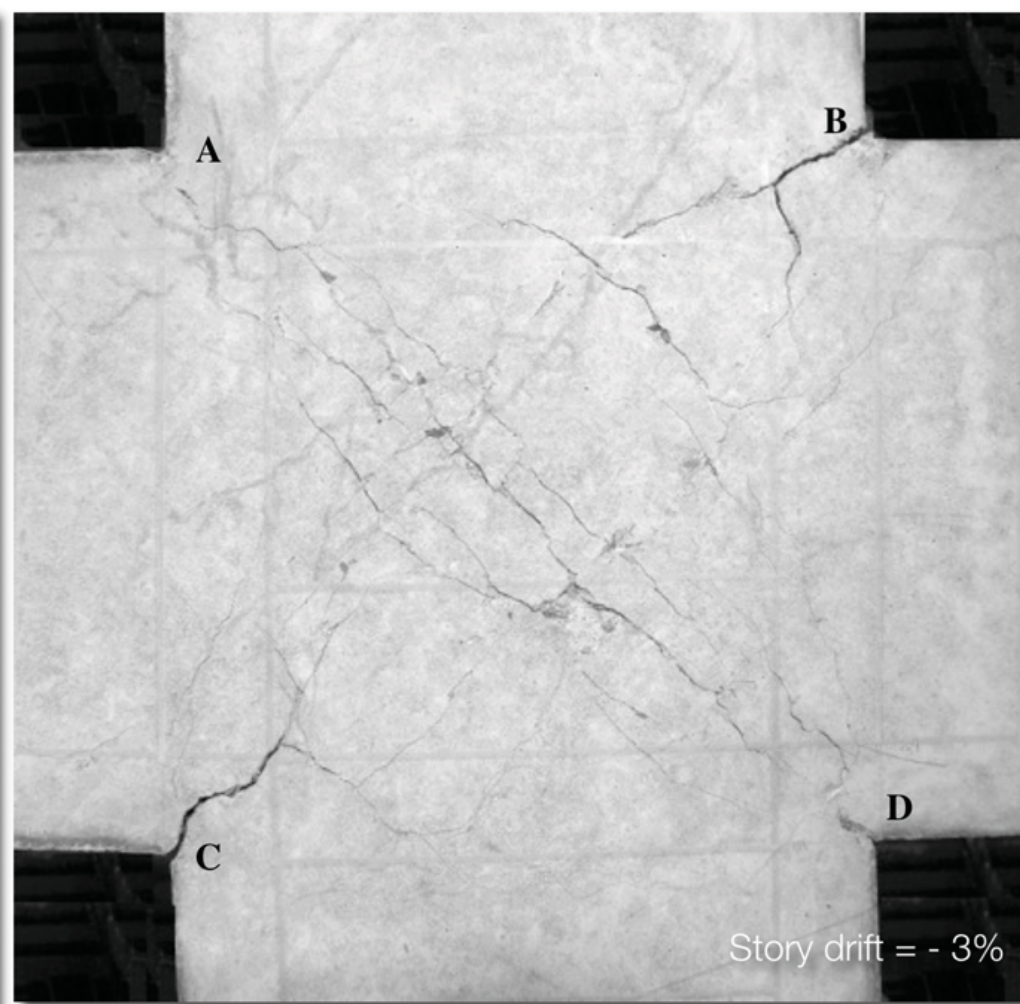
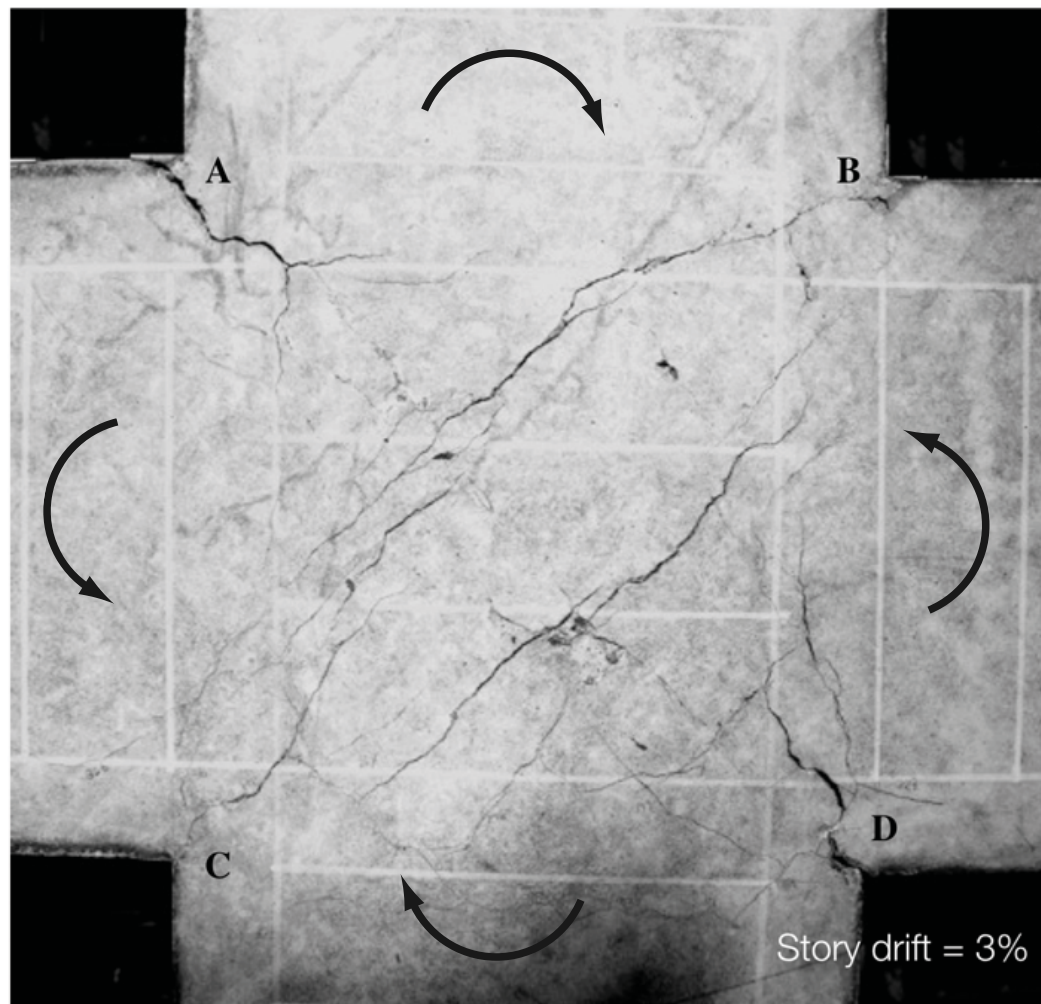
変形機構



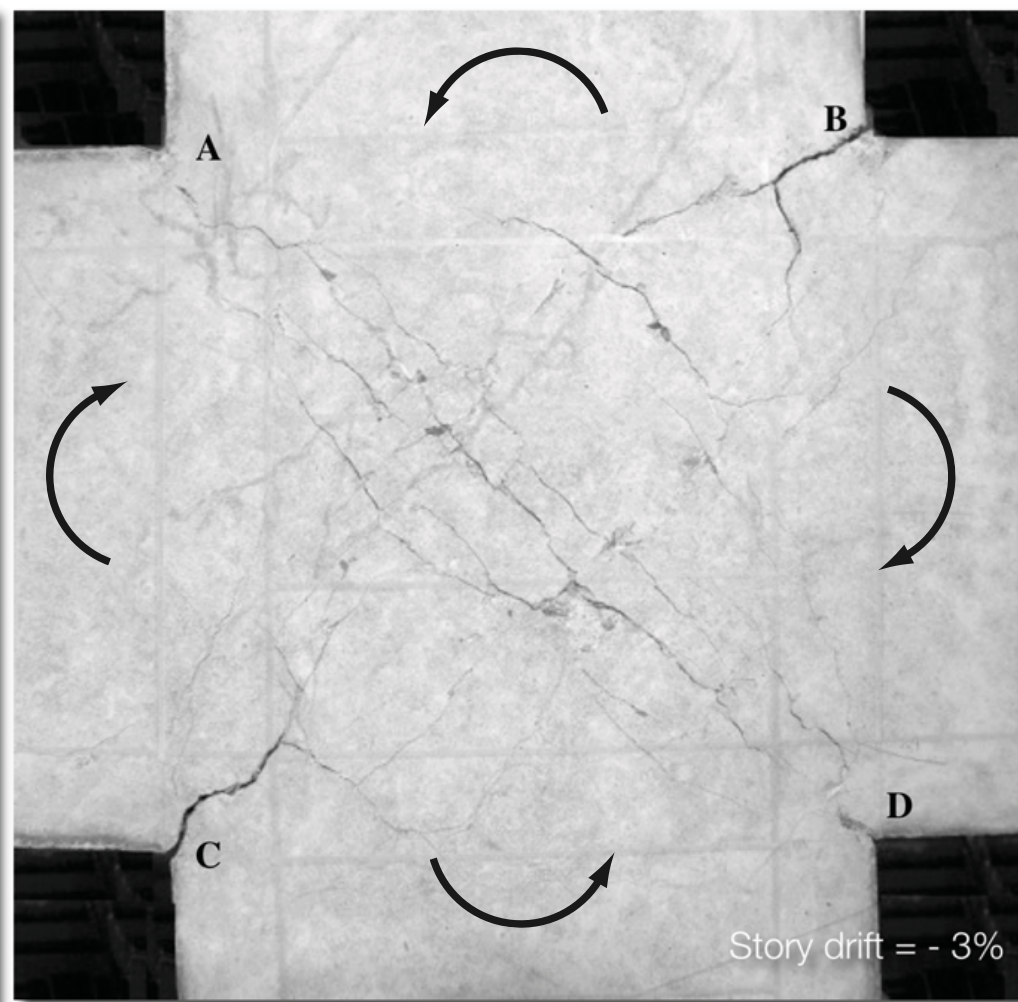
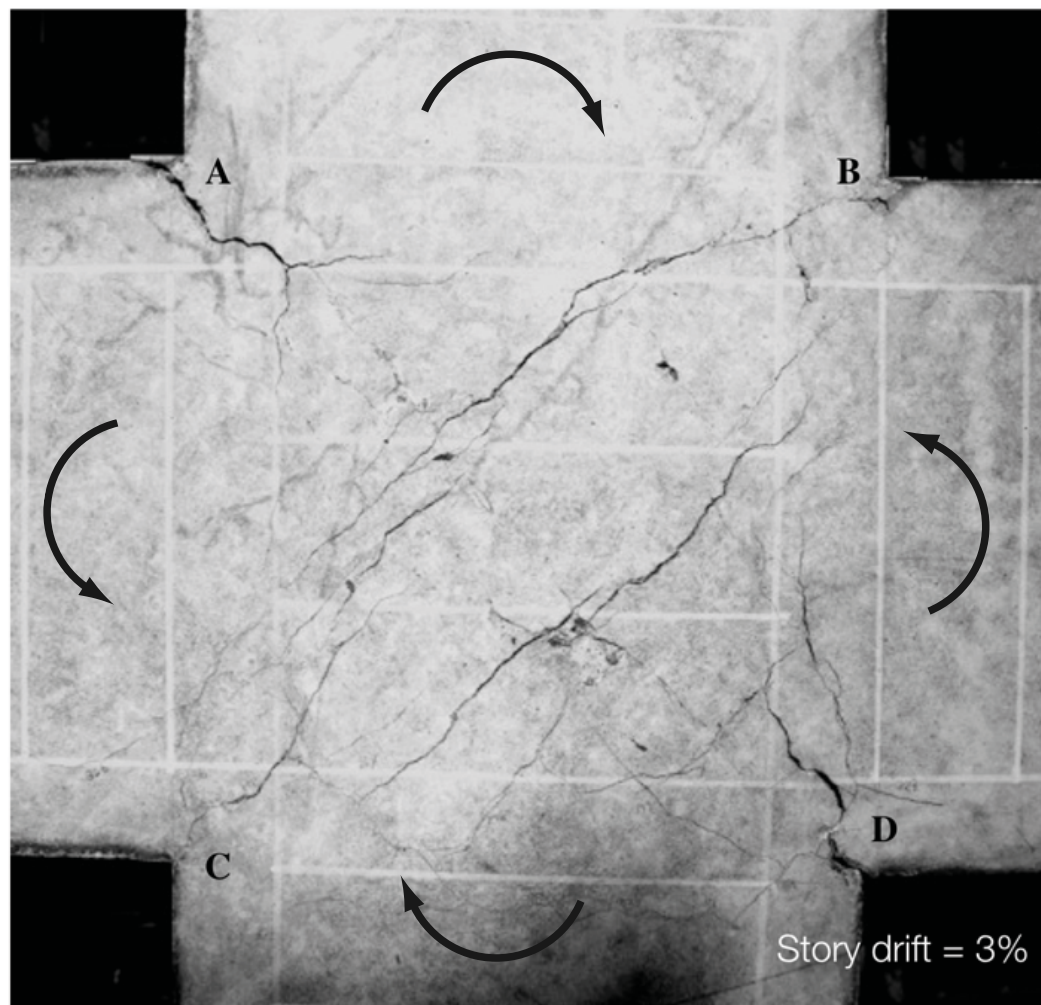
変形機構



変形機構



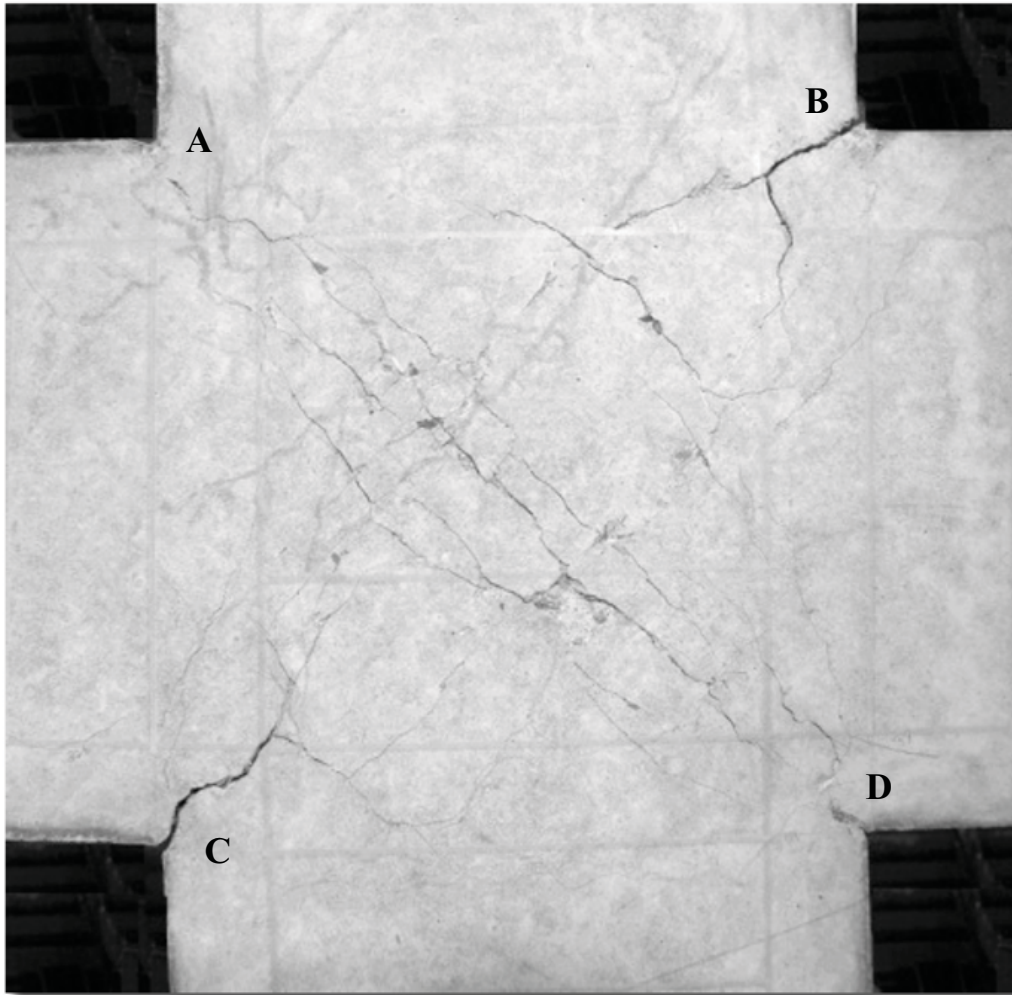
変形機構



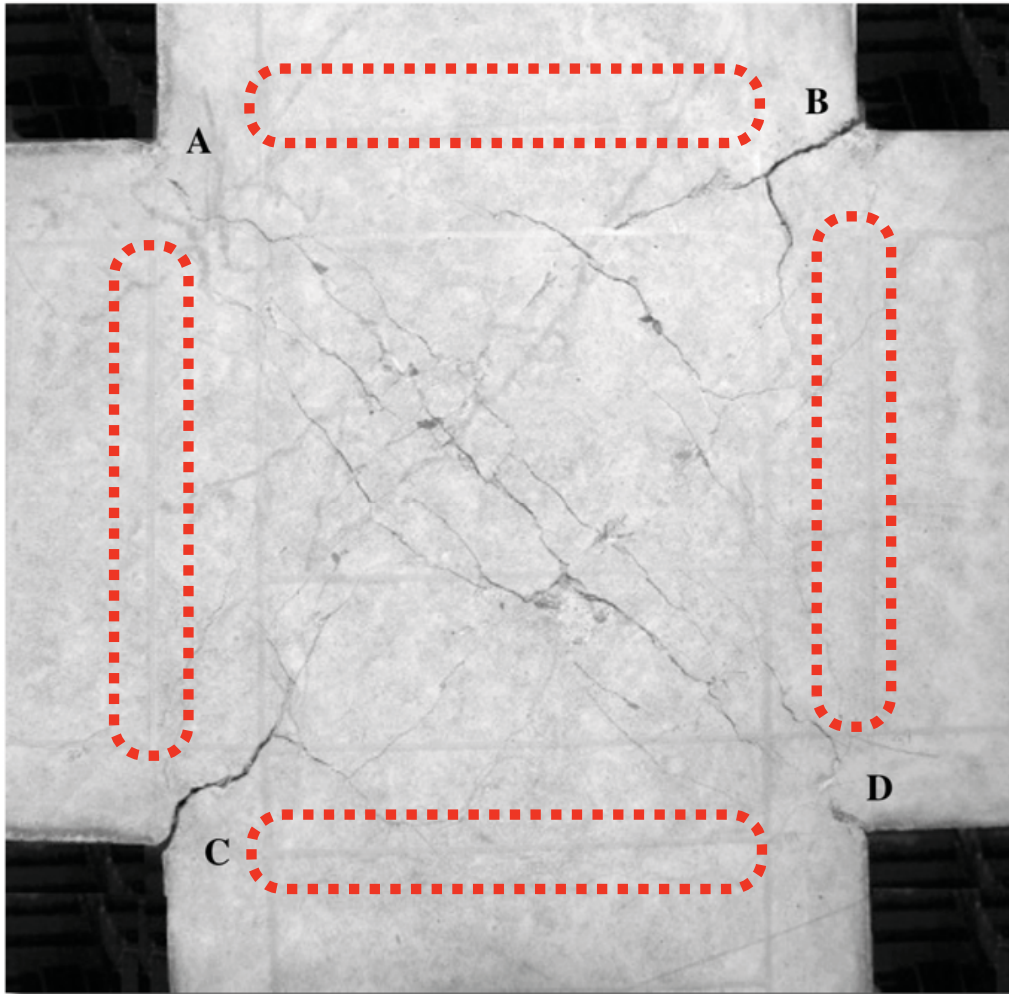
変形機構のモデル化



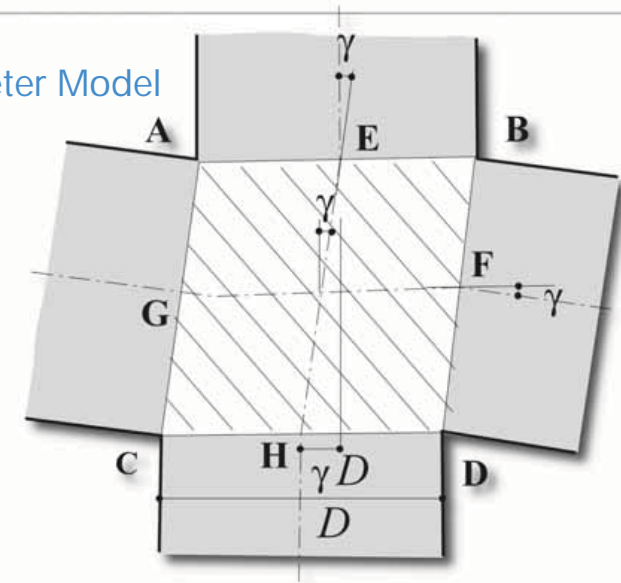
変形機構のモデル化



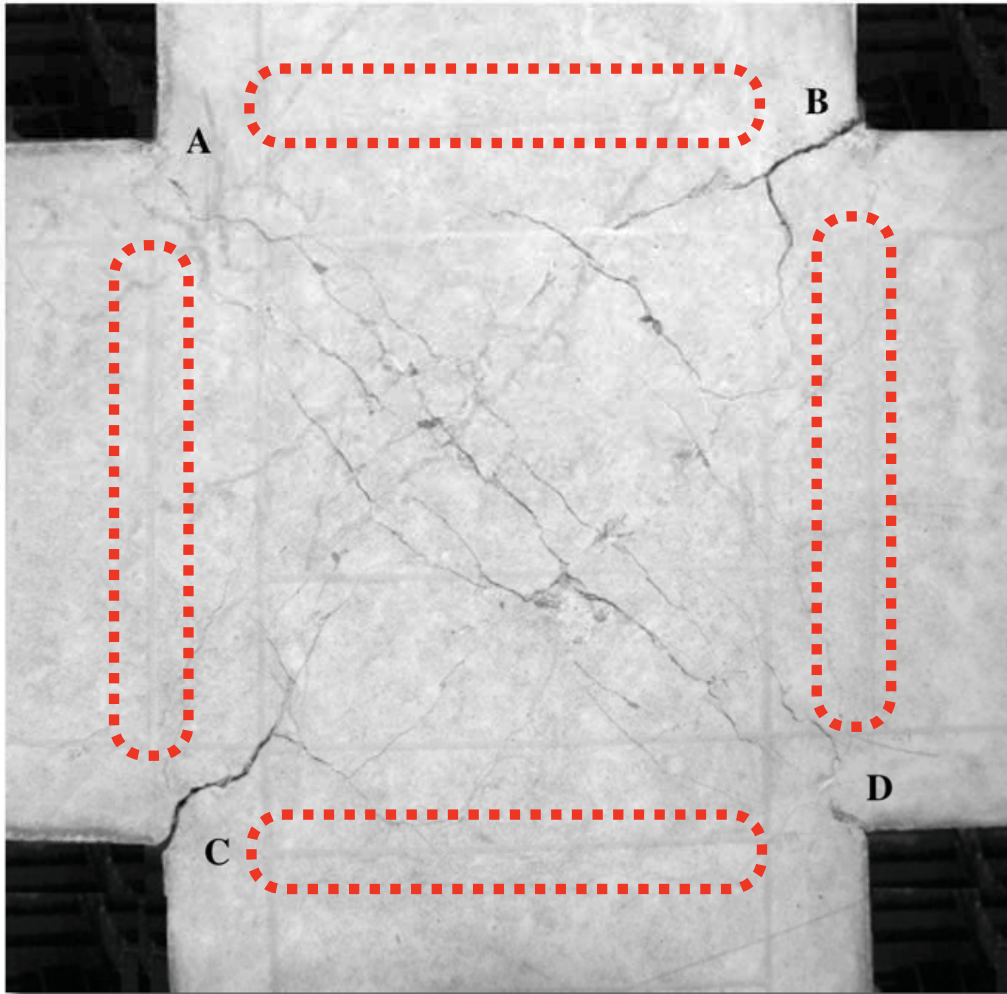
変形機構のモデル化



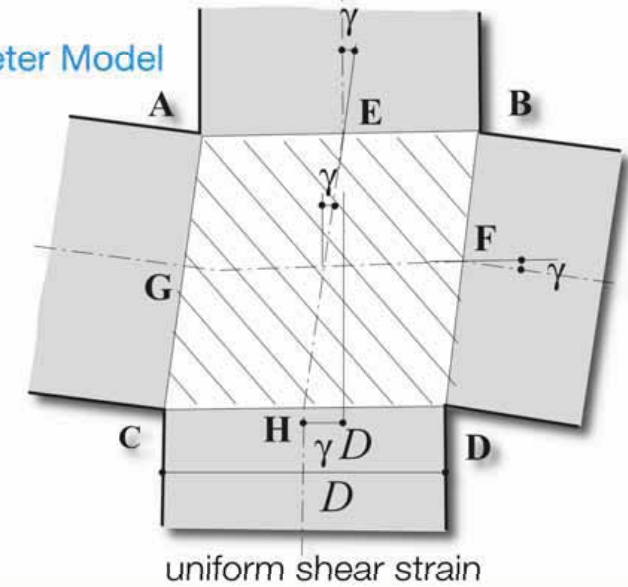
One Parameter Model



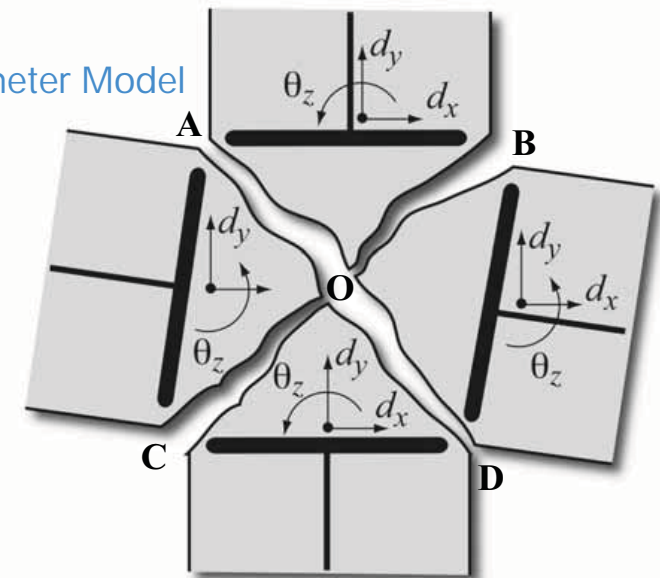
変形機構のモデル化



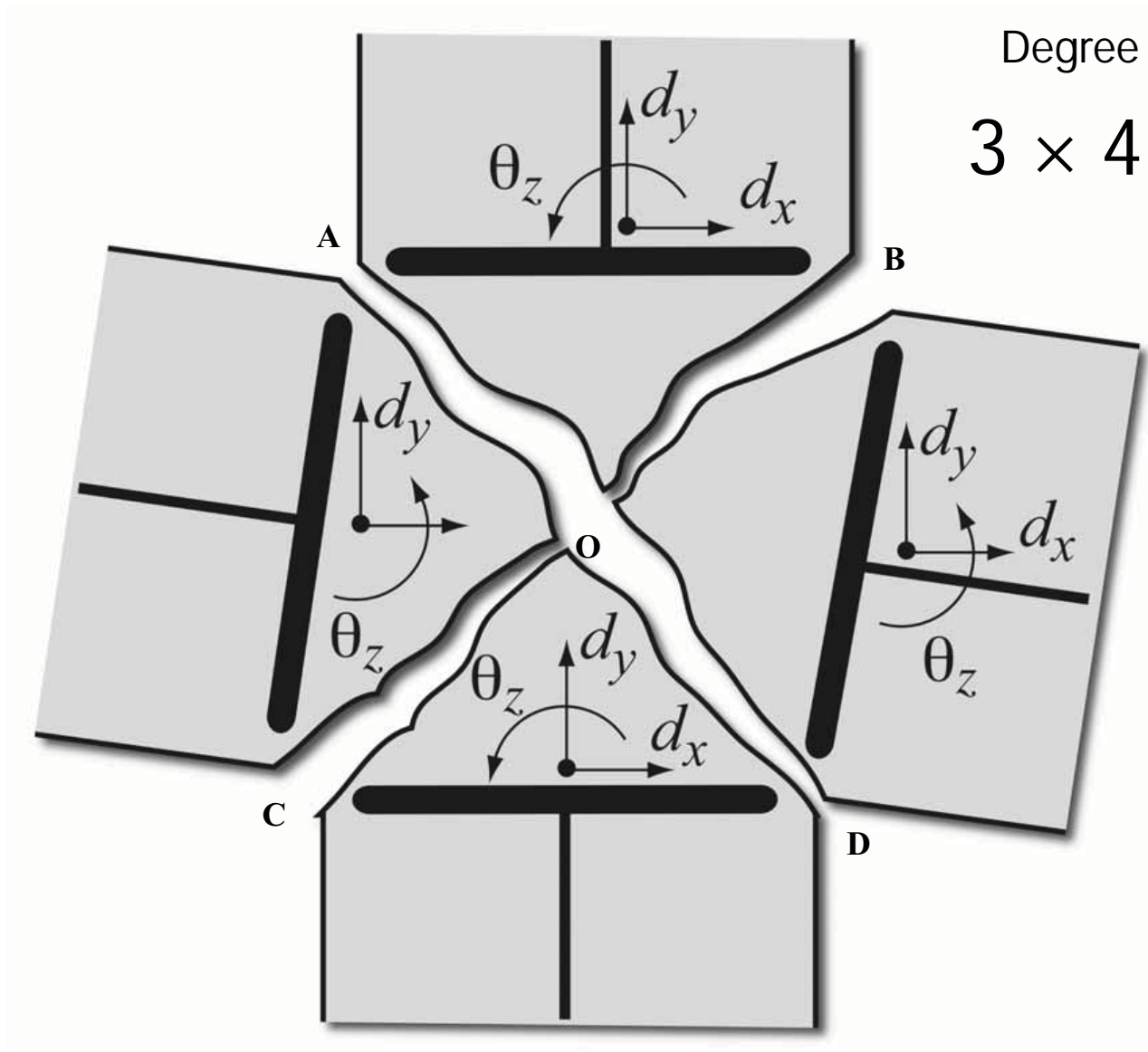
One Parameter Model



Two Parameter Model



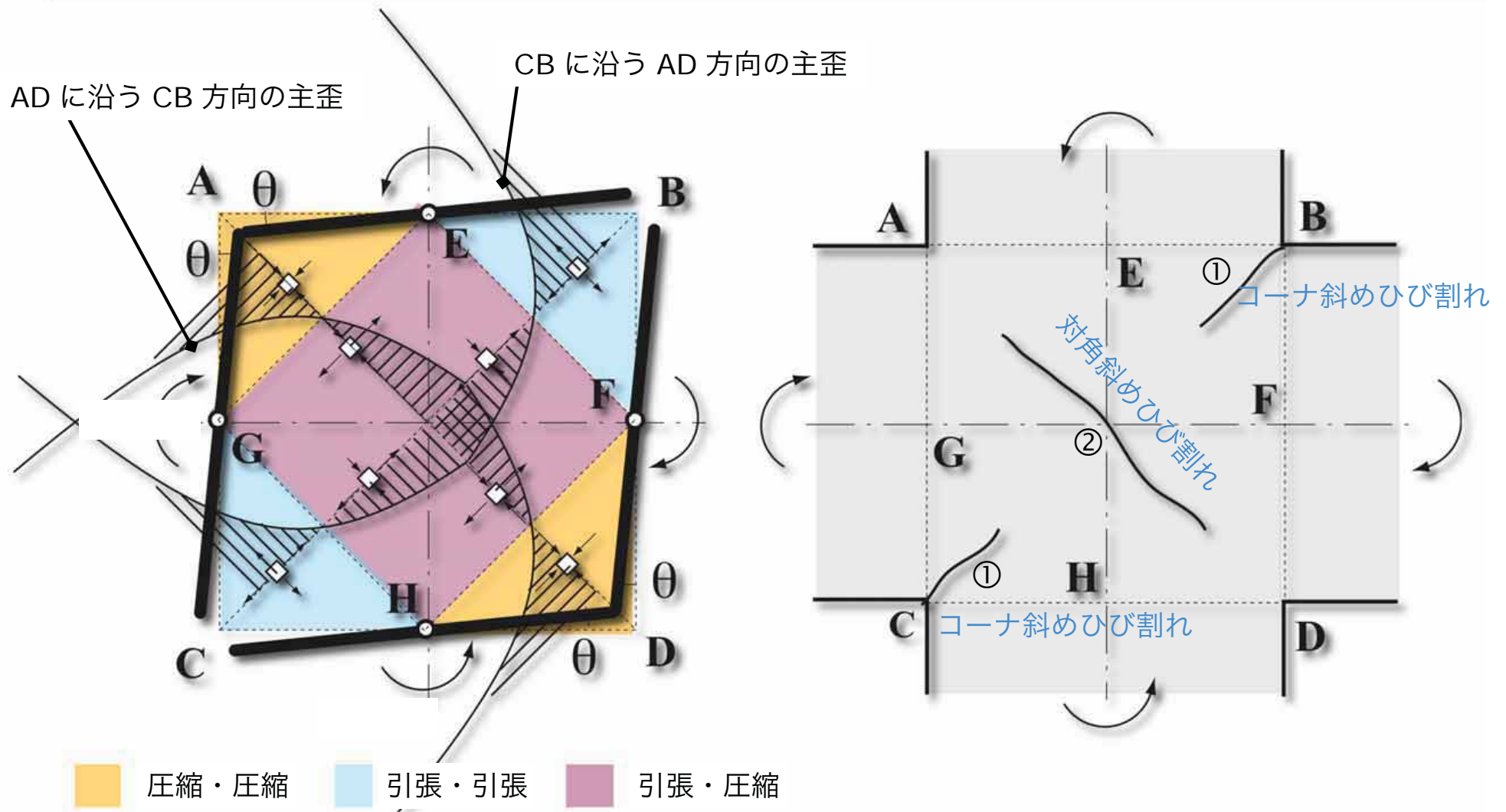
柱梁接合部の 9 自由度モデル



Degree of freedom

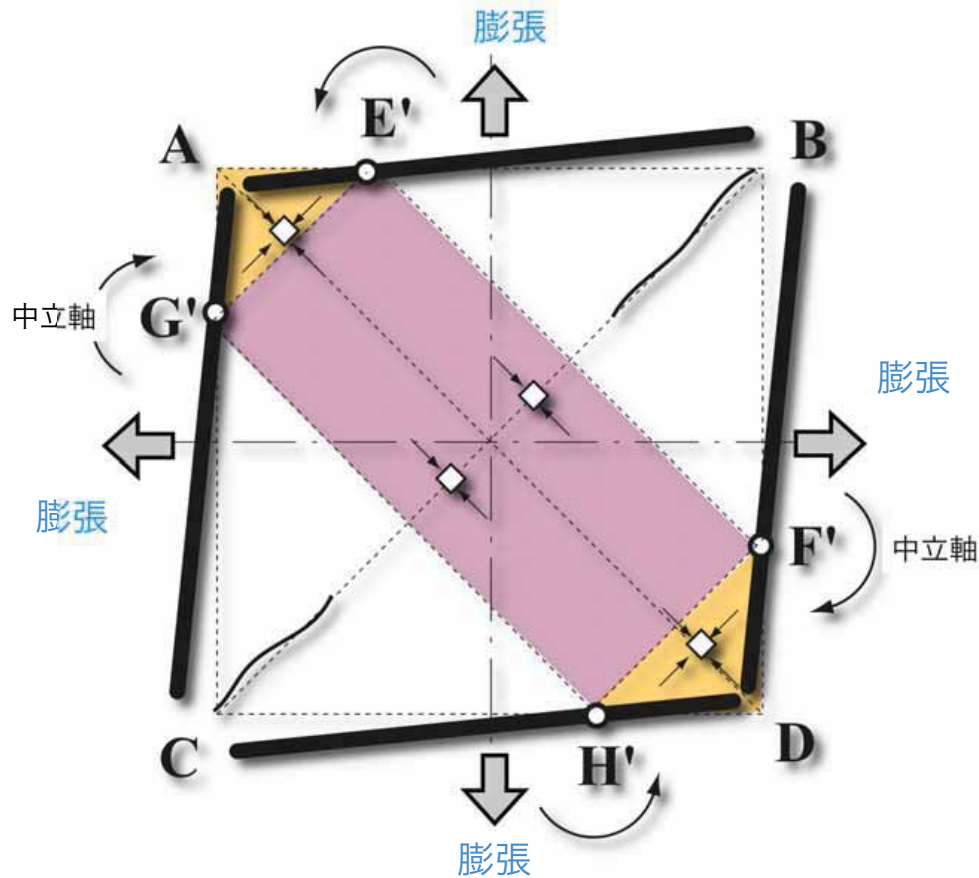
$$3 \times 4 - 3 = 9$$

ひび割れ前の歪と応力度の分布



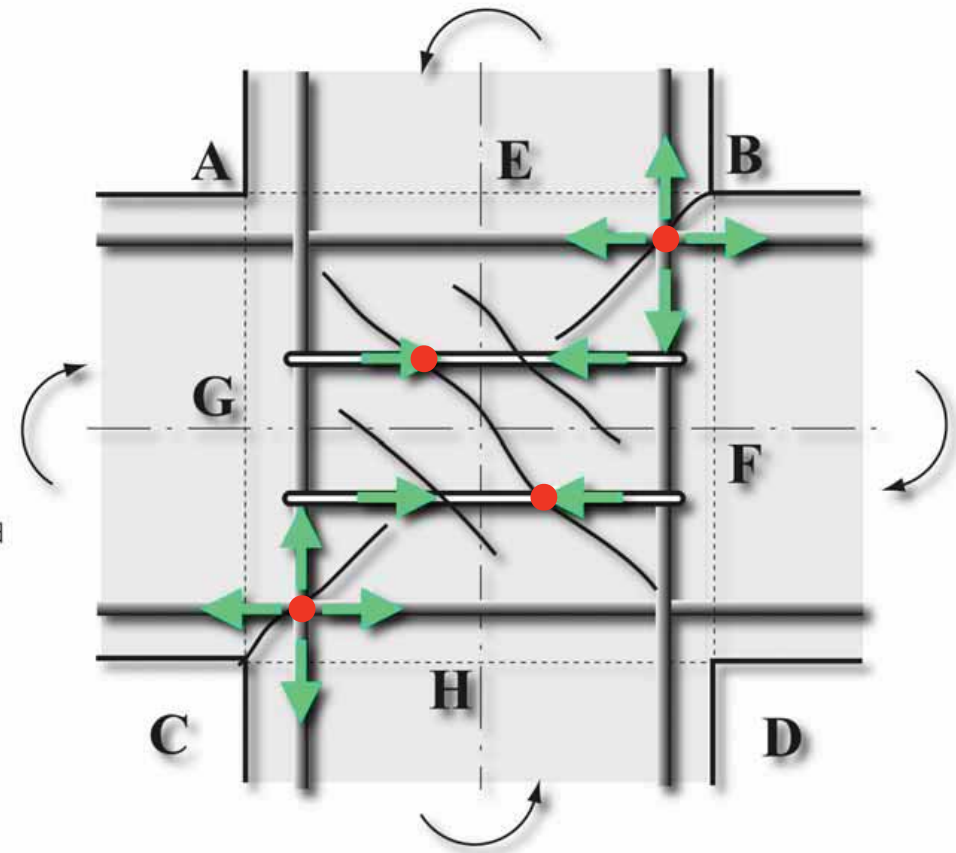
9 自由度モデル

ひび割れ後の歪と応力度



圧縮・圧縮
 引張・圧縮

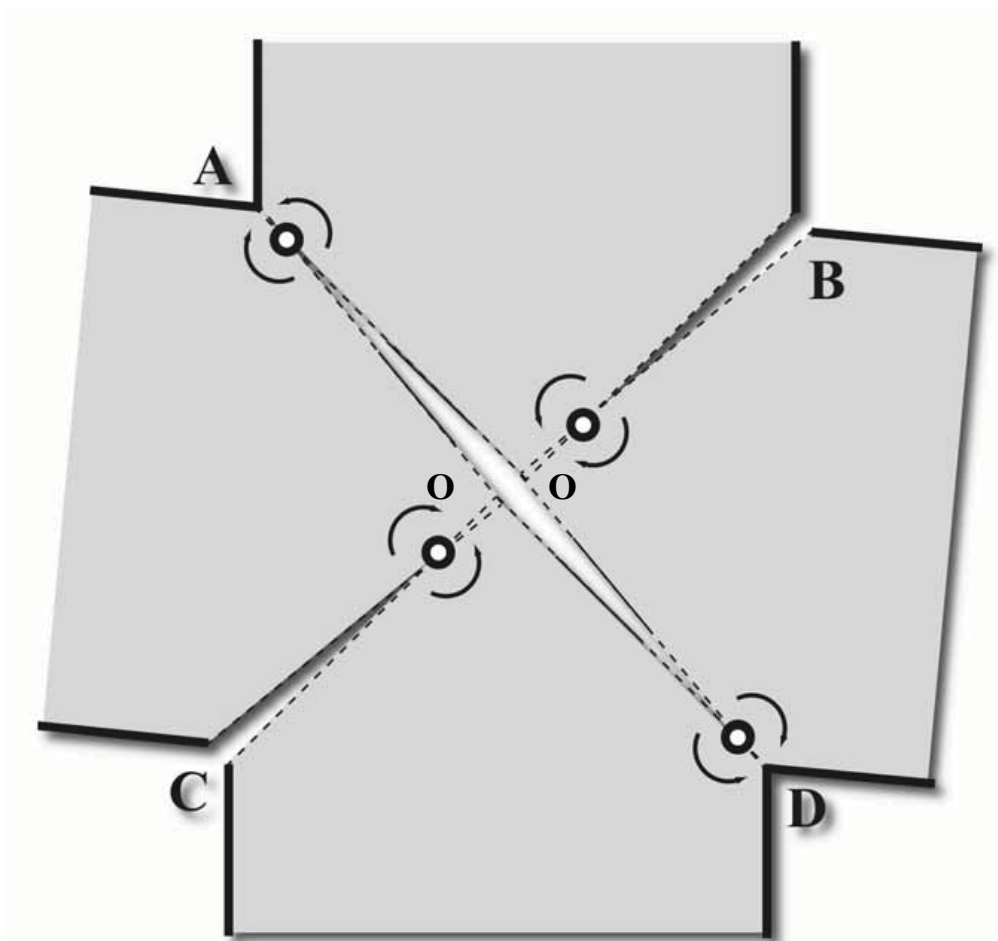
9 自由度モデル



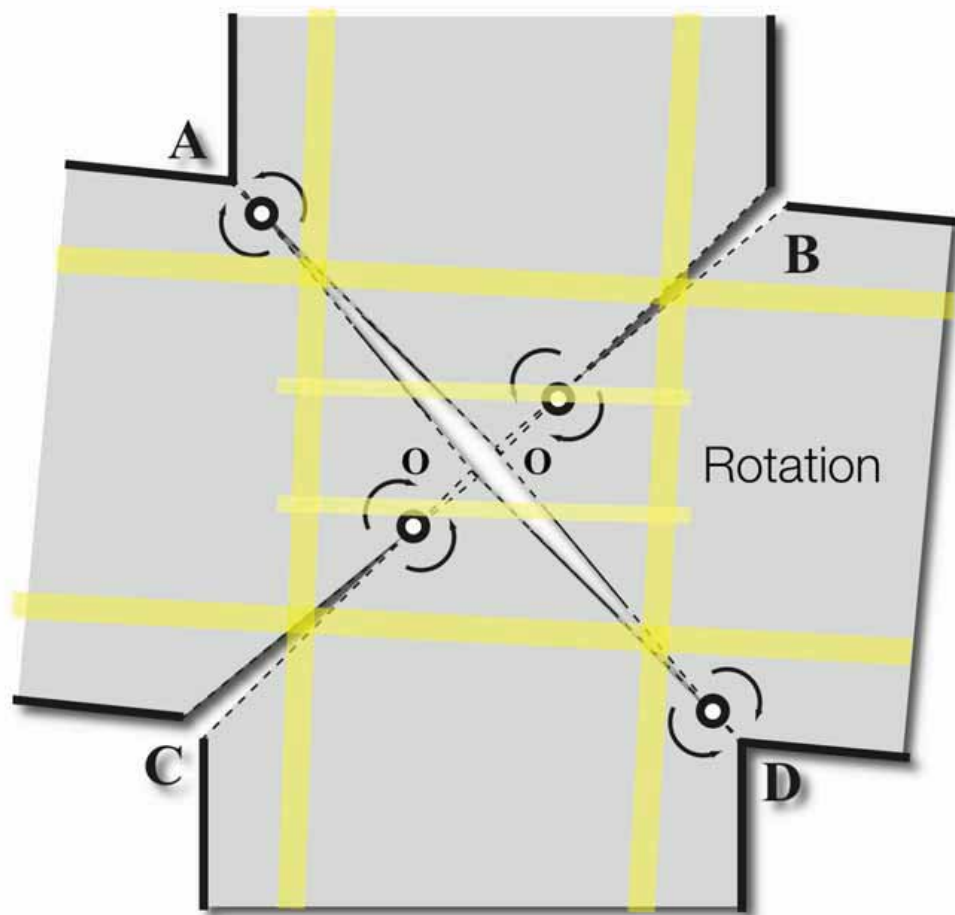
鉄筋への引張り応力の再分配

鉄筋の引張り降伏

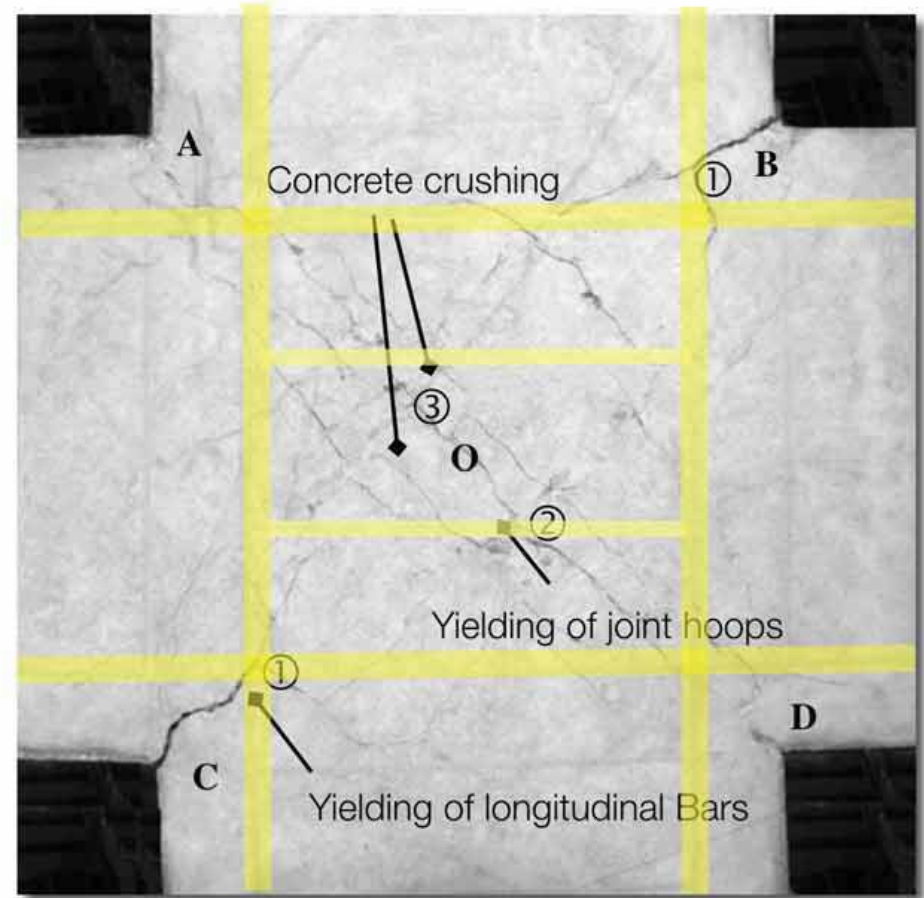
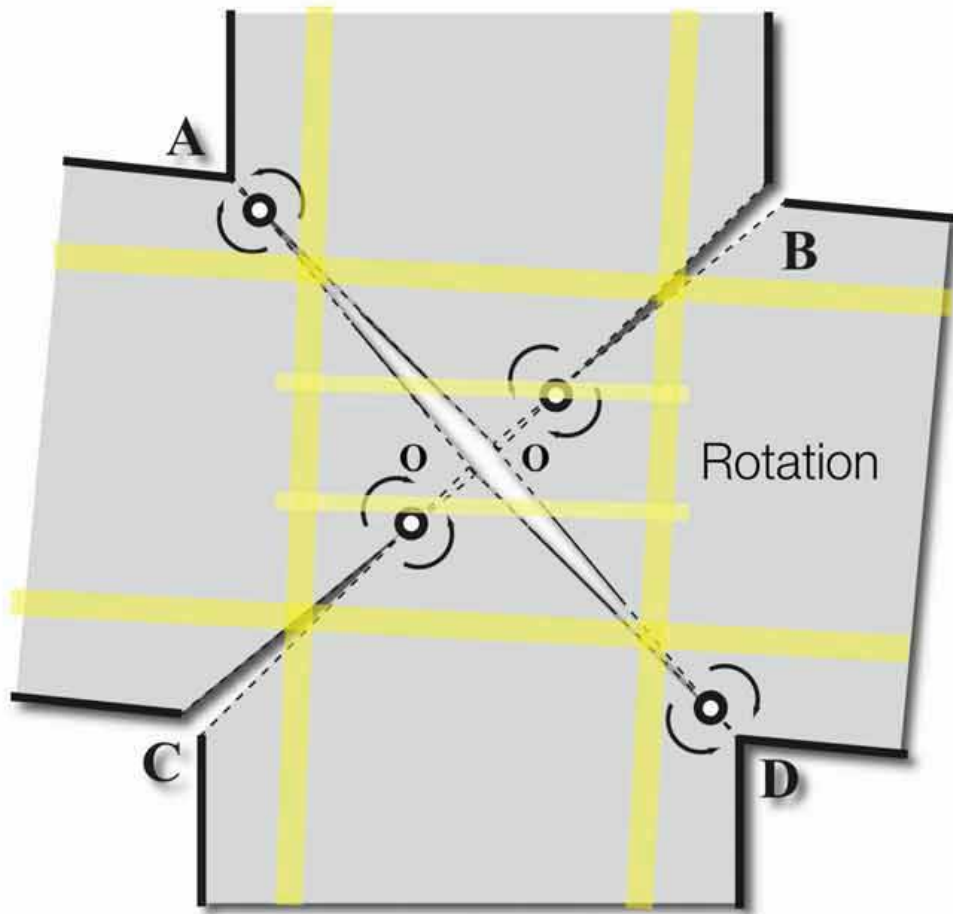
変形の増大と鉄筋の役割



変形の増大と鉄筋の役割



変形の増大と鉄筋の役割

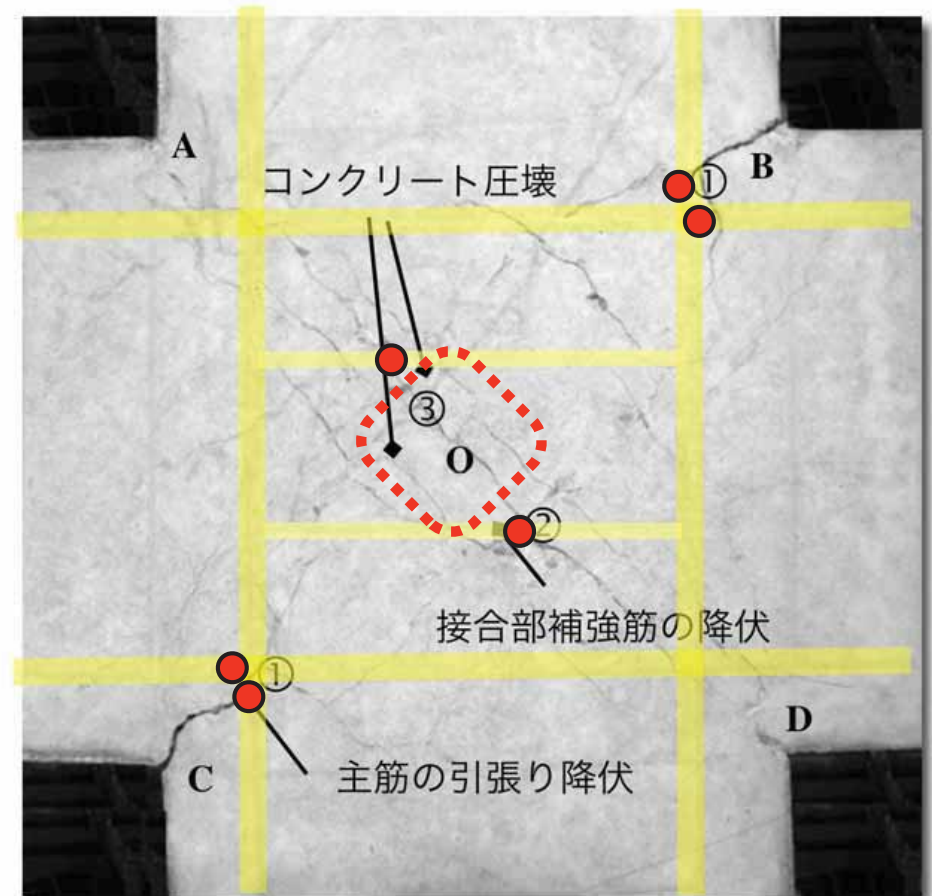


柱梁接合部の終局状態

- 柱梁接合部の終局モーメントの定義

引張り主筋と接合部横補強筋が降伏

コンクリートの回転による部分的な圧壊

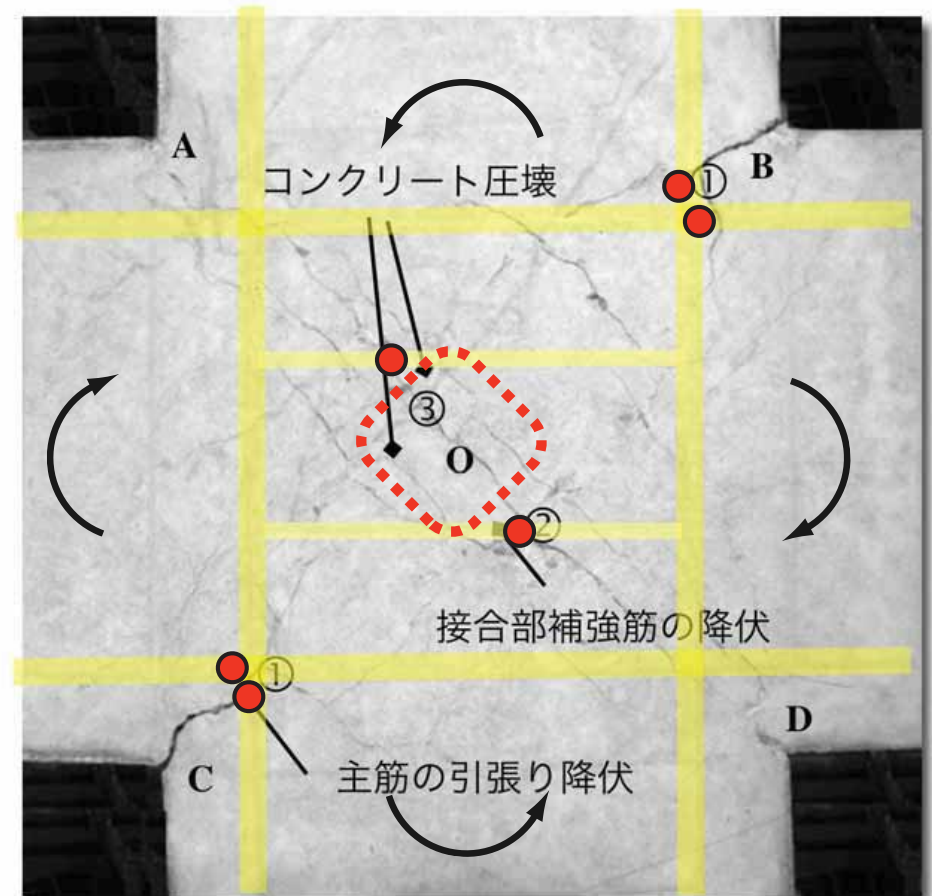


柱梁接合部の終局状態

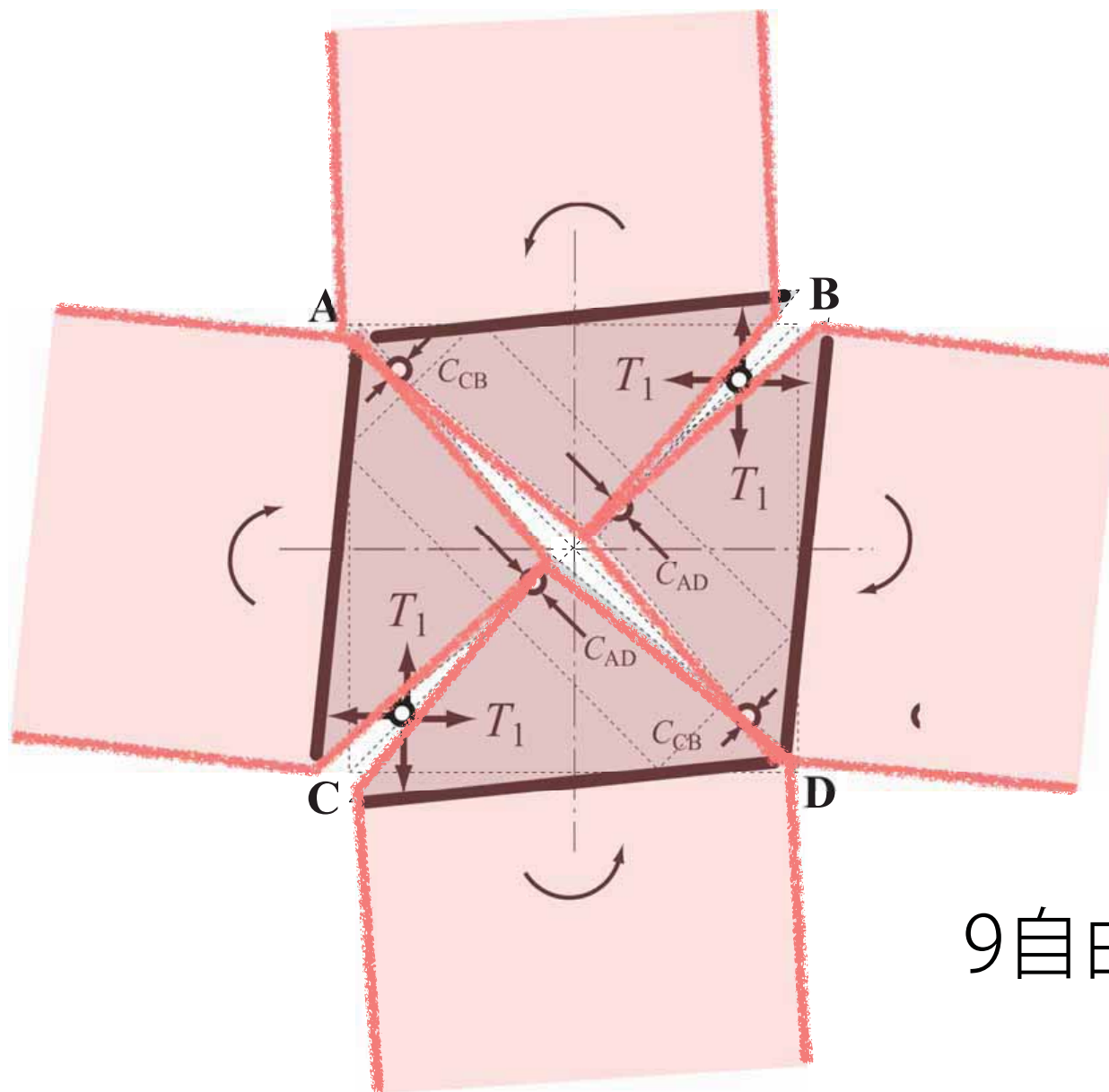
- 柱梁接合部の終局モーメントの定義

引張り主筋と接合部横補強筋が降伏

コンクリートの回転による部分的な圧壊

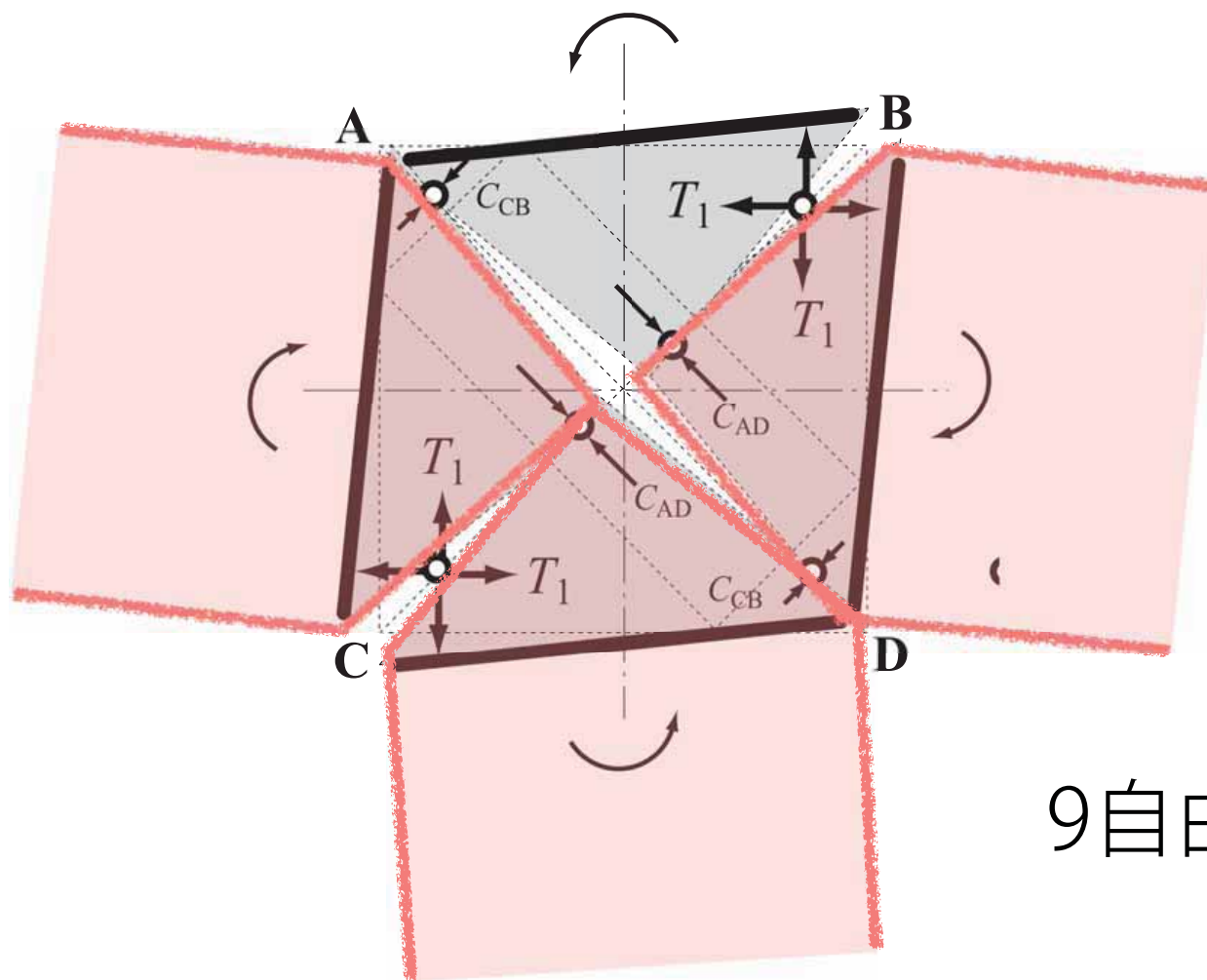


柱梁接合部の終局モーメント



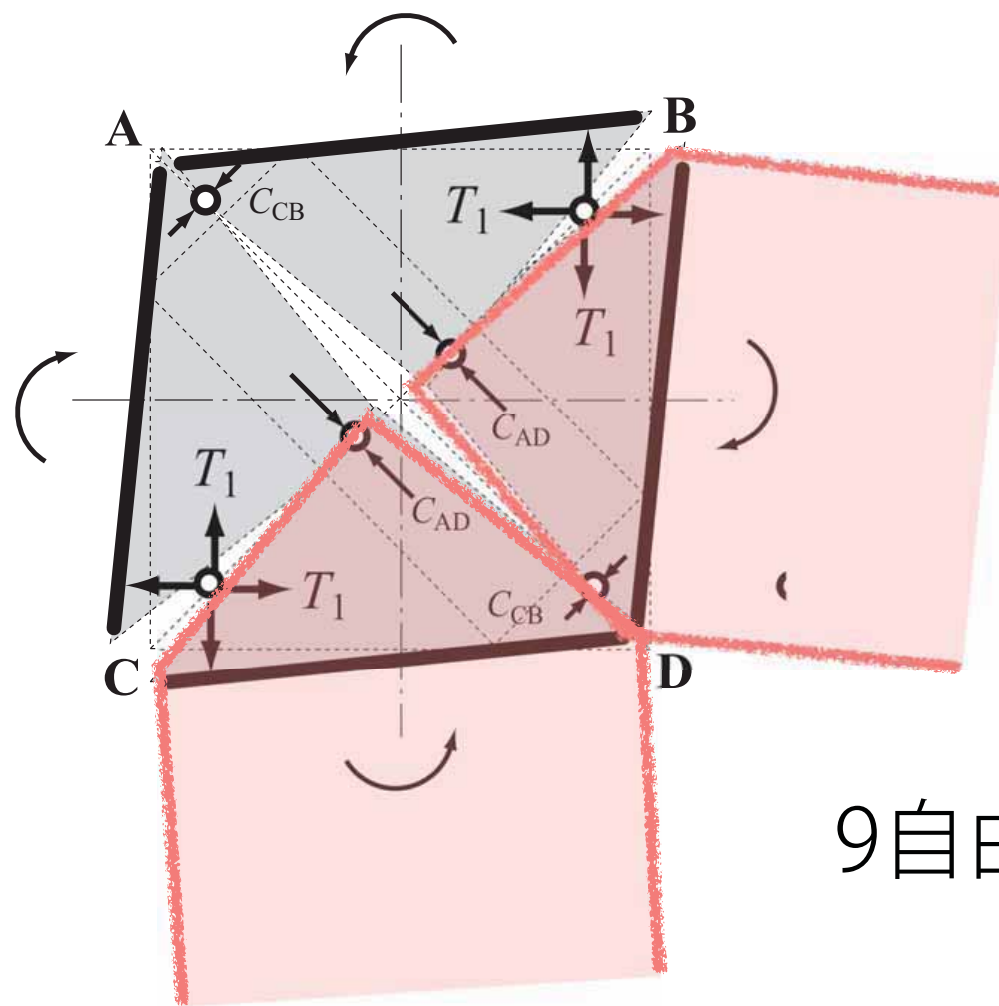
9自由度モデル

柱梁接合部の終局モーメント



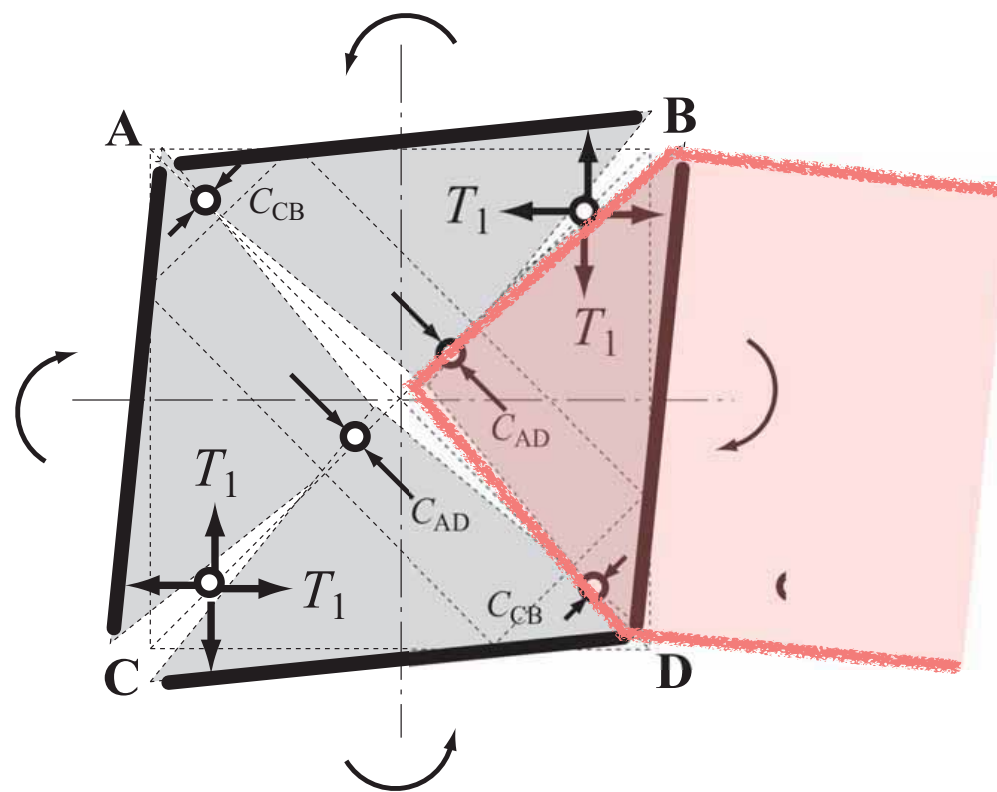
9自由度モデル

柱梁接合部の終局モーメント



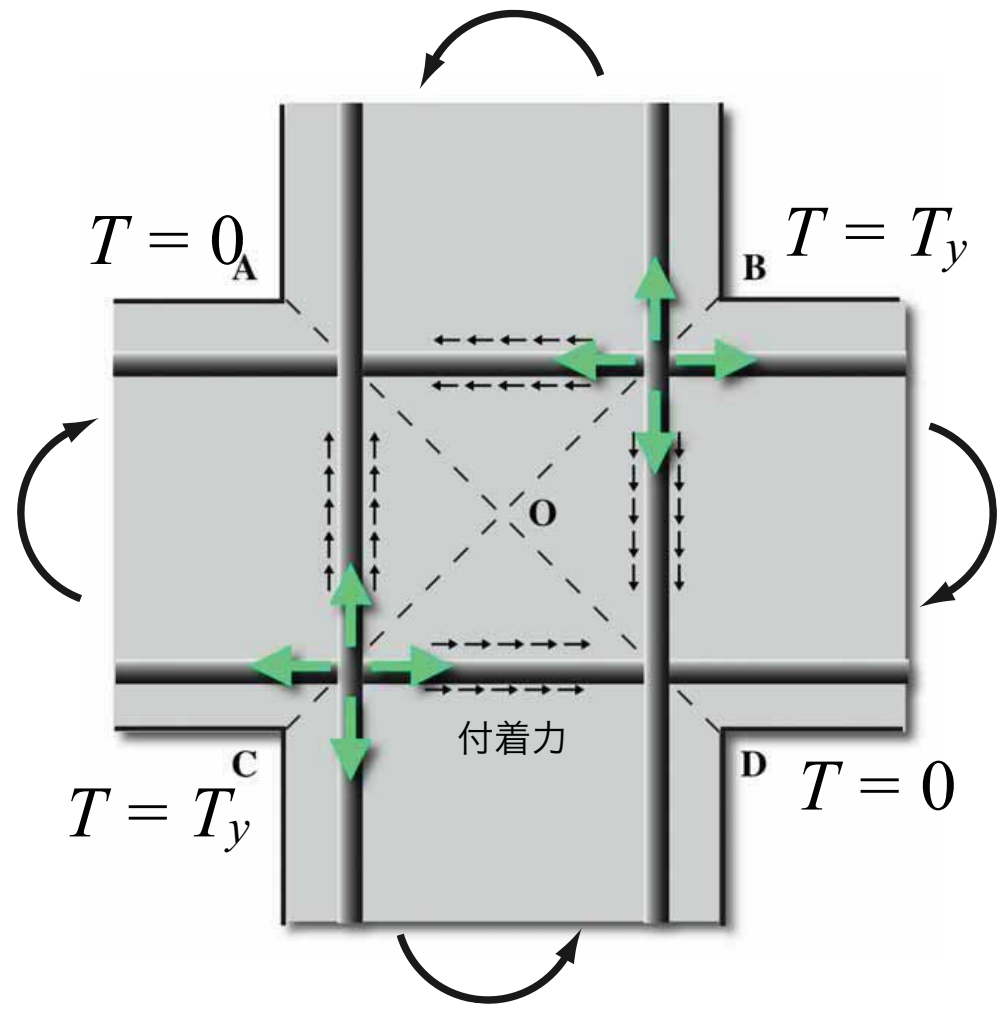
9自由度モデル

柱梁接合部の終局モーメント

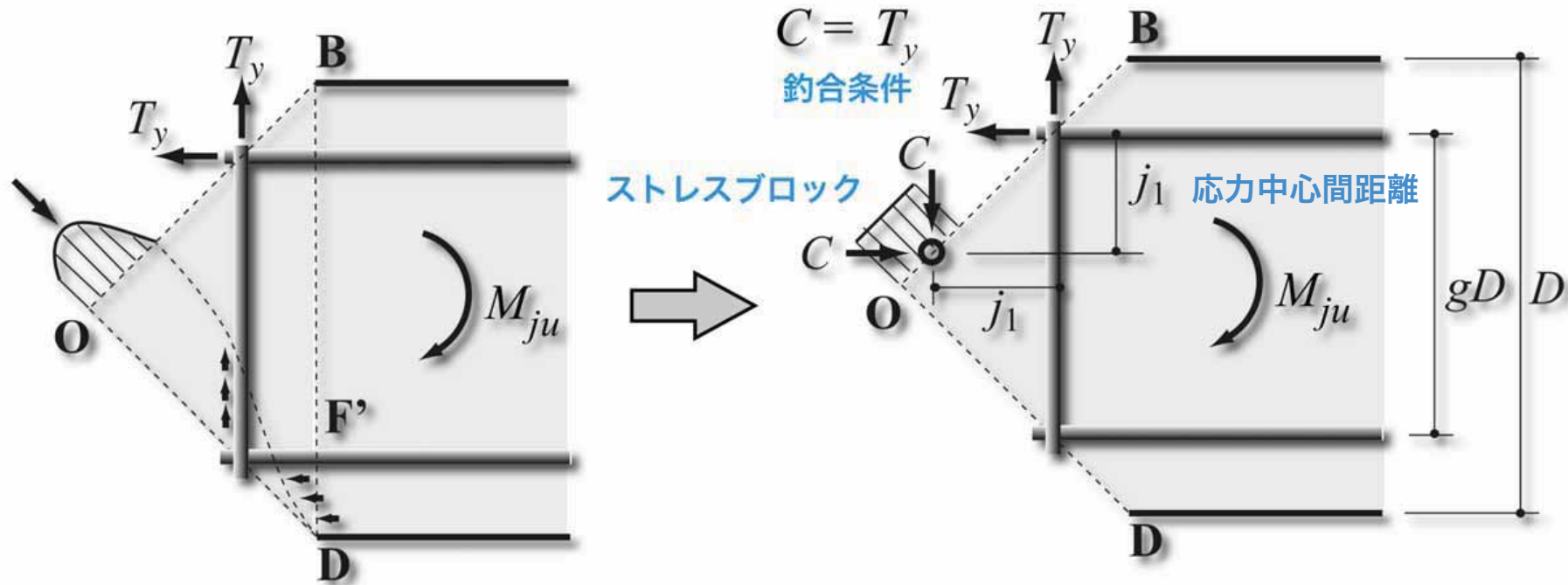


9自由度モデル

典型的な柱梁接合部の主筋の付着の状態



力の釣合・ストレスブロック・応力中心間距離



仮定：
 軸力 = ゼロ
 せん断力 = ゼロ

$$M_{ju} = DT_y \left\{ g - \frac{T_y}{bD\beta_3 f'_c} \right\}$$

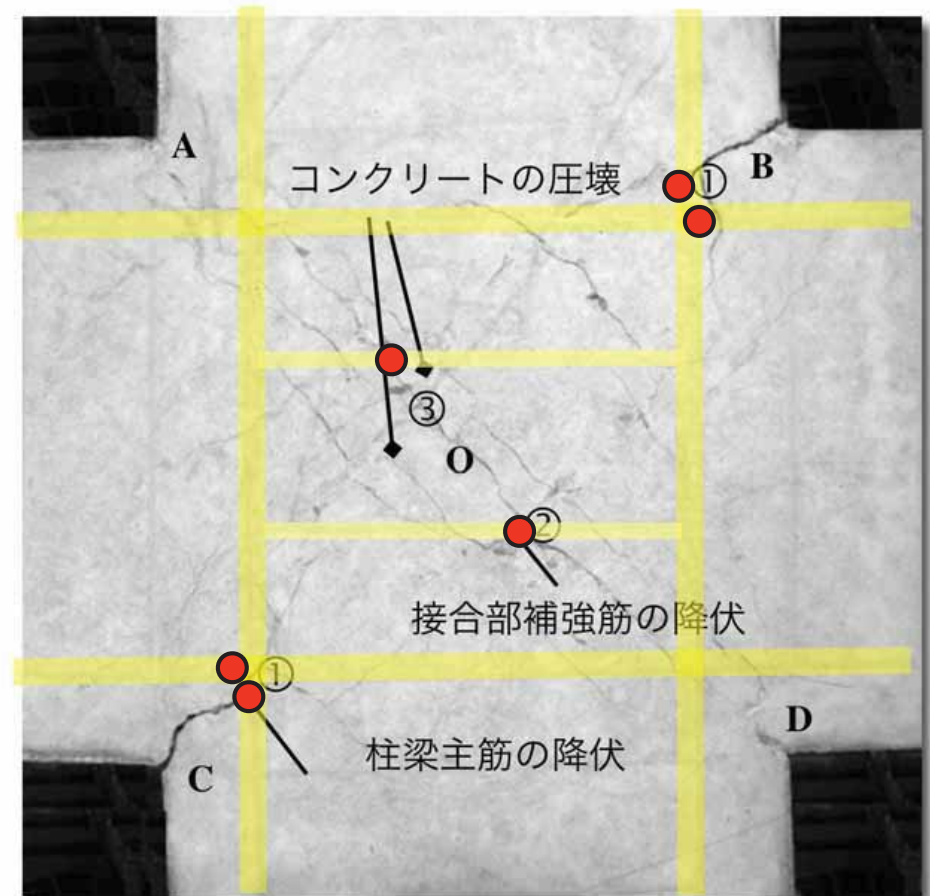
柱梁接合部の終局モーメント

柱梁接合部の釣合破壊

- 柱梁接合部の釣合破壊の定義

主筋量が過大

引張主筋の降伏と同時にコンクリートの圧壊が始まる

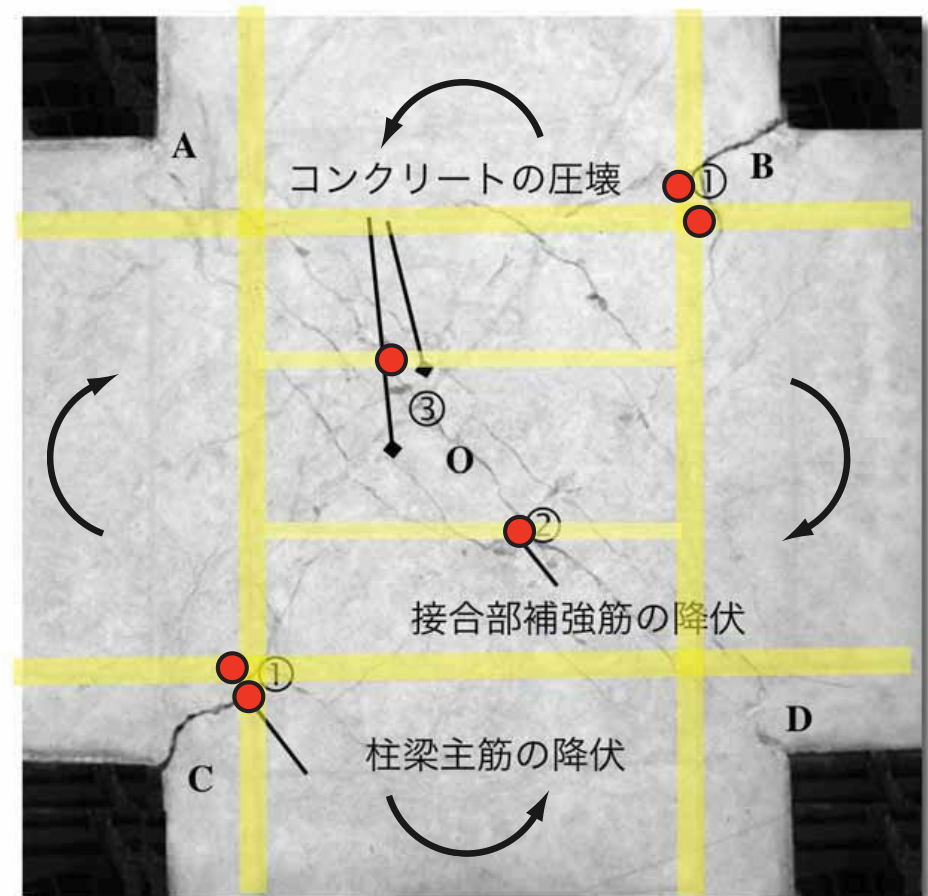


柱梁接合部の釣合破壊

- 柱梁接合部の釣合破壊の定義

主筋量が過大

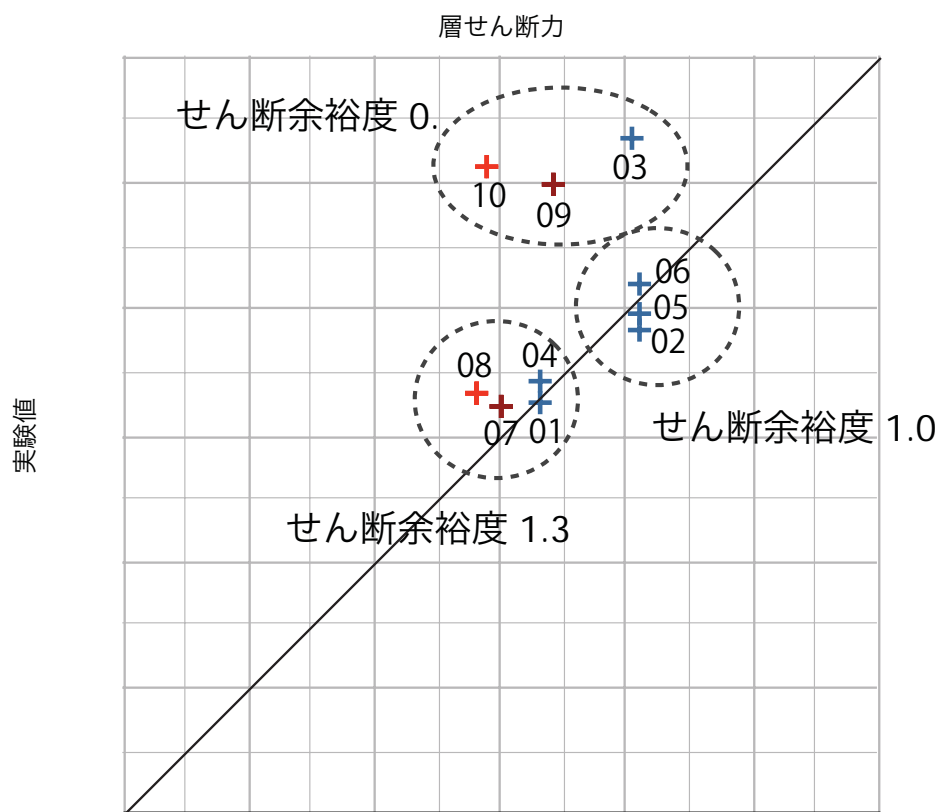
引張主筋の降伏と同時にコンクリートの圧壊が始まる



理論値と実験値の比較 (B シリーズ)

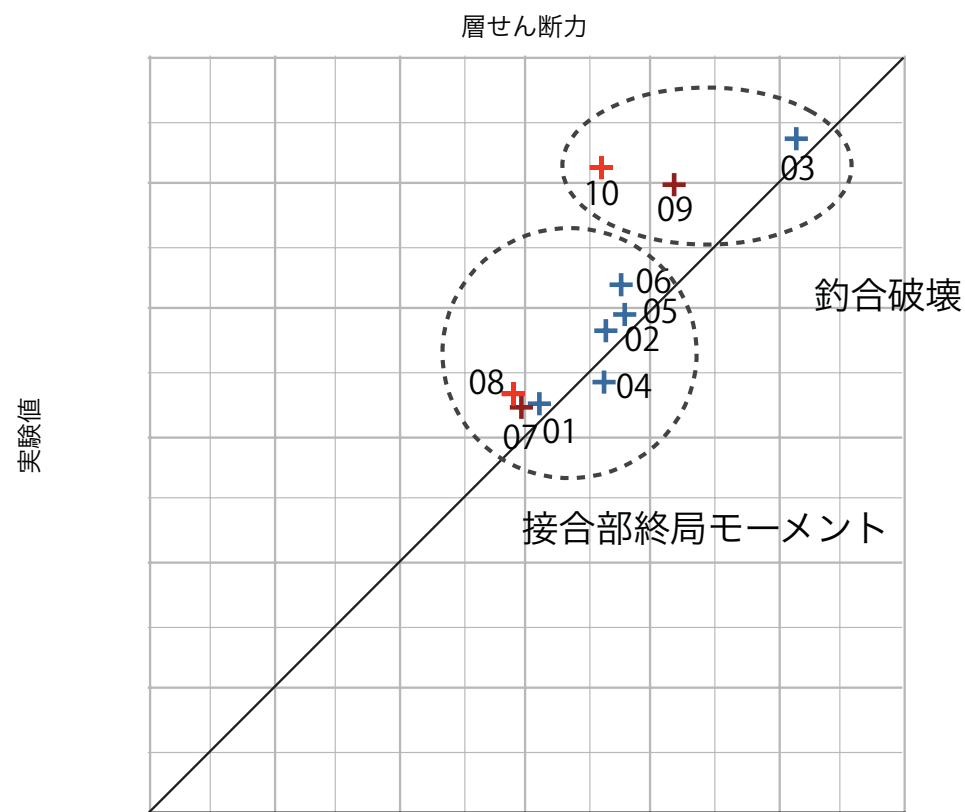


靱性保証指針



計算値 (梁曲げ終局強度時と接合部せん断強度 (靱性指針) の小さい方)

9自由度モデルによる理論値



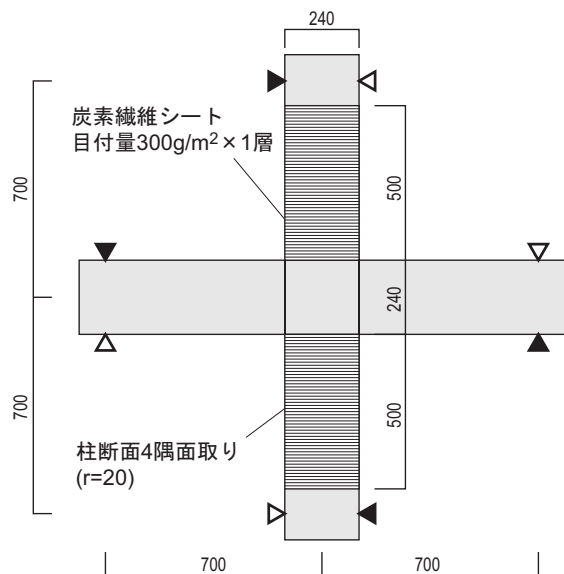
計算値 (柱梁接合部の終局モーメント時の理論値)

柱梁接合部の耐震補強 (Cシリーズ)

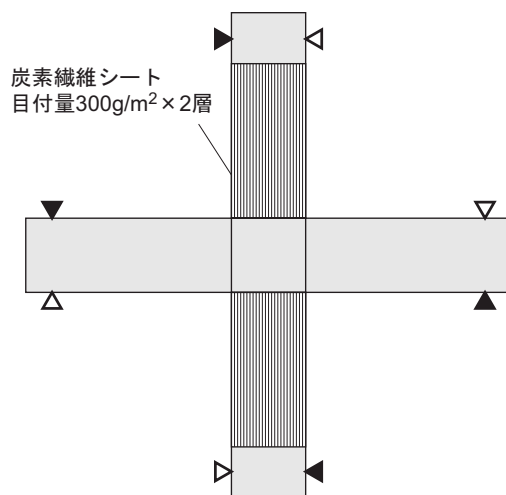


試験体		C01	C02	C03	C04
梁	反曲点間距離 (mm)	1400			
	幅 (mm)	240		120	
	せい (mm)	240			
	引張主筋	3+2-D13 (SD345)			
	引張主筋比 (%)	1.31		2.62	
	せん断補強筋	□-D6(SD295A)@50			
	せん断補強筋比 (%)	0.53			
柱	反曲点間距離 (mm)	1400			
	幅 (mm)	240			
	せい (mm)	240			
	引張主筋	5-D13 (SD345)			
	引張主筋比 (%)	1.22			
	せん断補強筋	□-D6(SD295A)@50			
	せん断補強筋比 (%)	0.53			
	炭素繊維シート (軸方向)	—	300g/m ² ×2層	—	300g/m ² ×2層
	炭素繊維ストランド (鉛直方向)	—	96-24K ストランド ×4箇所	—	96-24K ストランド ×4箇所
接合部	横補強筋	2× □-D6 (SD295A)			
	横断補強筋比 (%)	0.33			
	炭素繊維ストランド (鉛直方向)	—	96-24K ストランド ×4箇所	—	96-24K ストランド ×4箇所

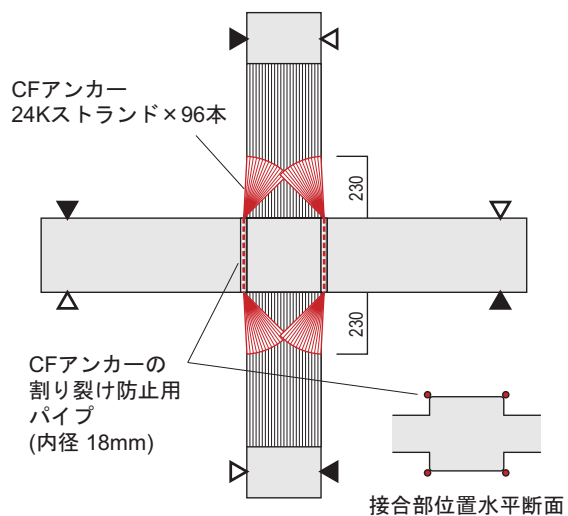
による新耐震補強工法



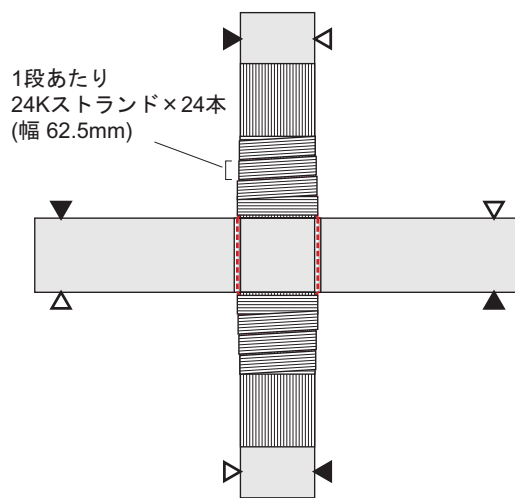
① 柱周方向下貼



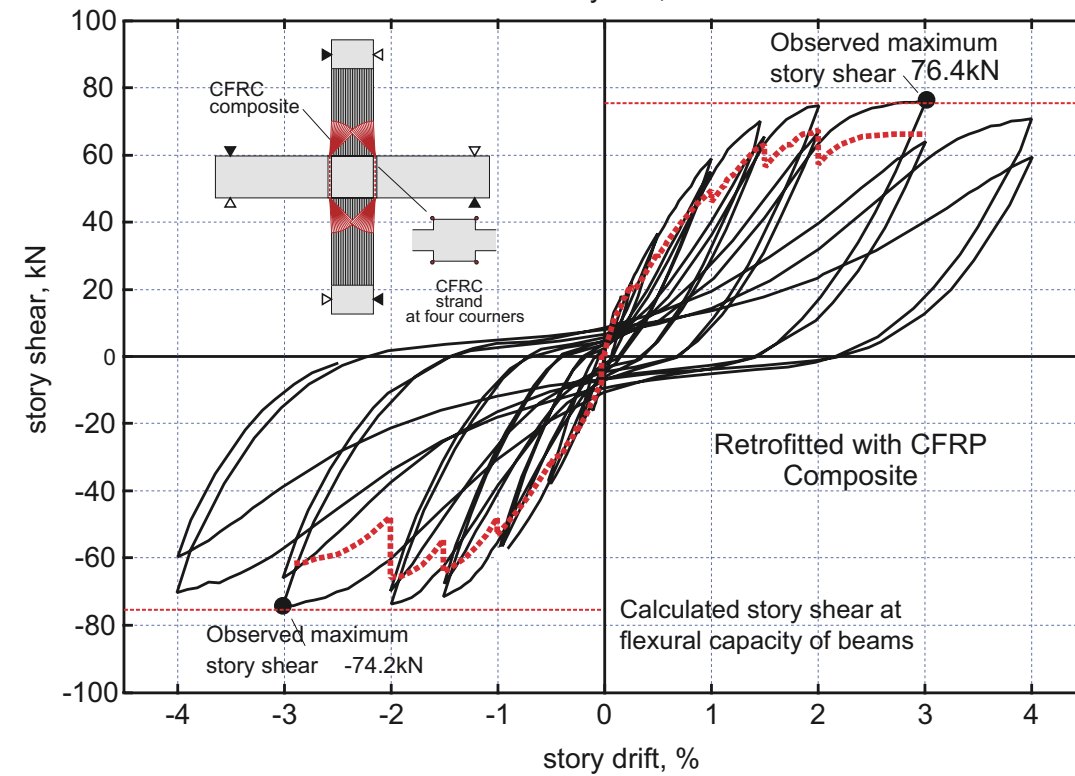
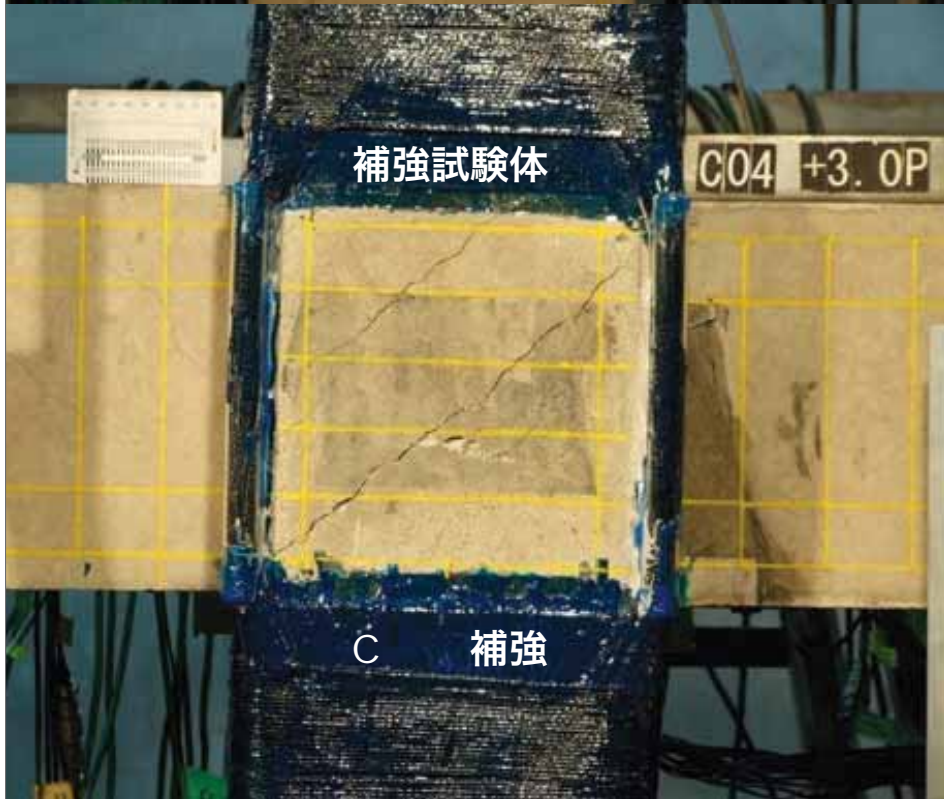
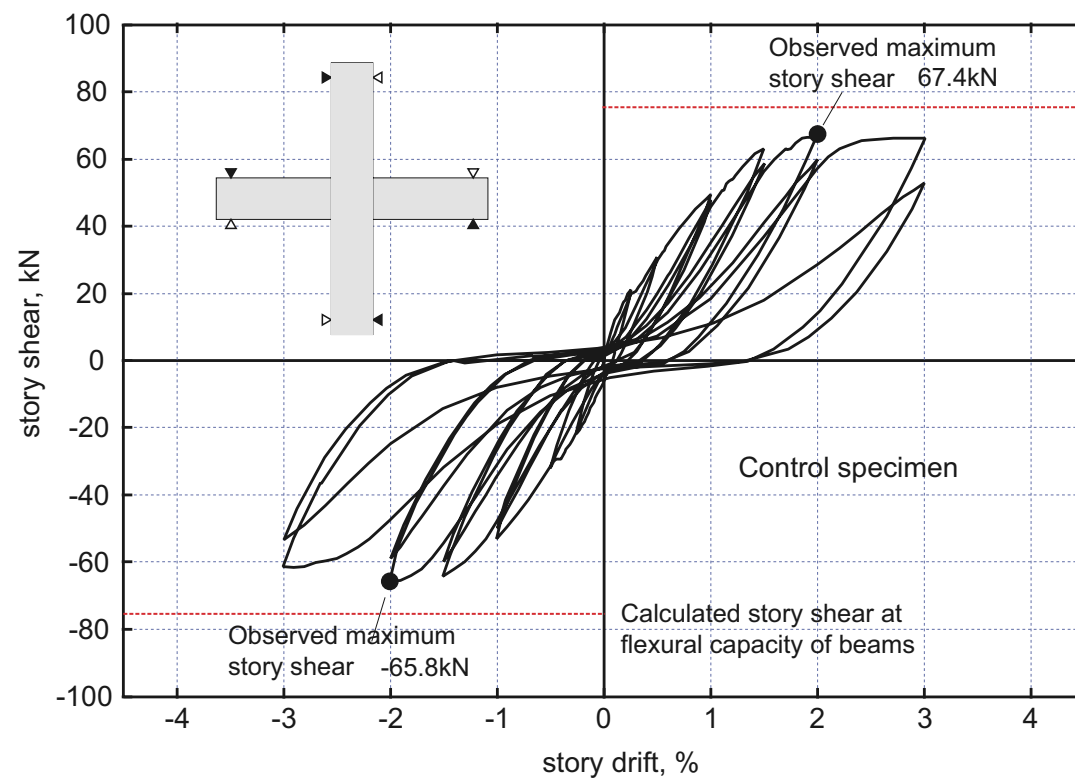
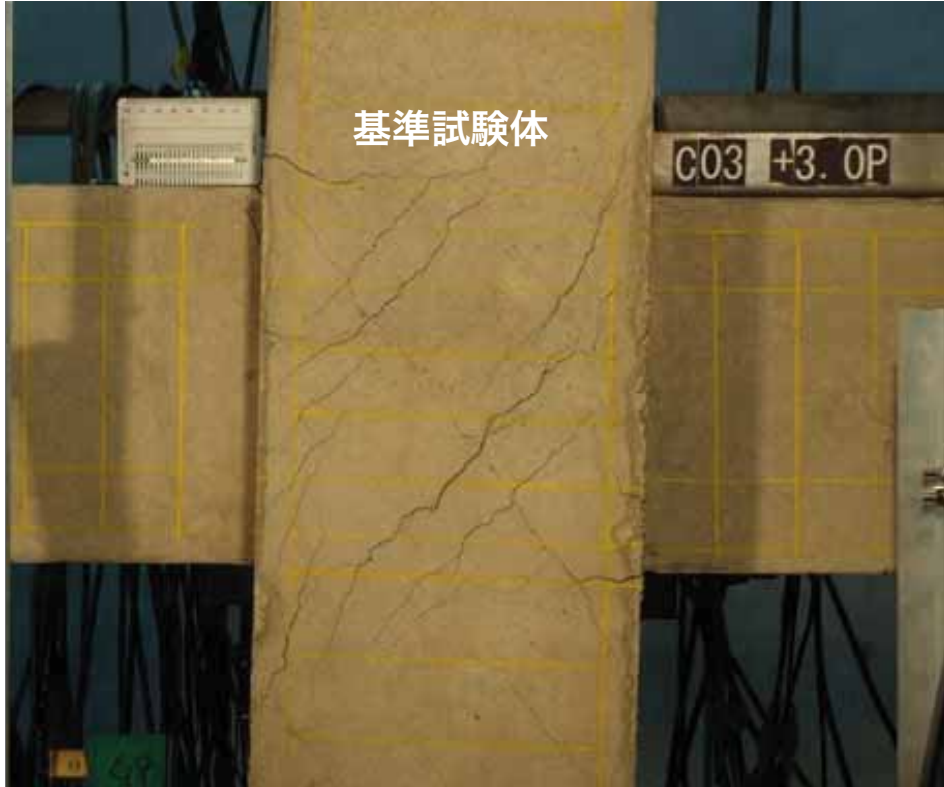
② 柱曲げ補強用シート (柱軸方向, 4面)



③ 接合部位置CFアンカー (柱4隅)



④ CFアンカー剥離防止用ストランド巻きつけ



まとめ

- 十字形柱梁接合部の破壊性状について
- 力学特性の推定モデルの妥当性について
- 十字形柱梁接合部の耐震補強工法の開発について
- 今後の予定（シリーズ）