

3 方向加力される RC 立体部分架構  
試験体のせん断破壊過程に関する研究

正会員 ○森田真司\*1  
同 北山和宏\*2  
同 岸田慎司\*3

3 方向加力, 立体部分架構, せん断破壊  
鉄筋コンクリート, 柱, 柱・梁接合部

1. はじめに

本研究では, 立体部分架構試験体に 3 方向外力を加える実験(図-1)を行い, せん断破壊過程の違いが不静定架構の耐力および変形性状に与える影響を検討した。

2. 実験概要

試験体諸元一覧を表-1 に示す。対象試験体は文献[1]で報告した柱せん断破壊先行型試験体 TDC に加え, 接合部せん断破壊先行型試験体 TDJ である。両試験体の加力履歴は同一である。両試験体とも境界梁中央に分力計を挿入し, 境界梁の軸力およびせん断力を測定した。使用材料の特性を表-2, 3 に示す。柱せん断破壊先行型試験体 TDC はコンクリート設計基準強度を下柱で 18MPa, 上柱および梁で 42MPa とした。試験体 TDJ は接合部せん断破壊を先行させるため, コンクリート設計基準強度を 18MPa とした。

3. 実験結果概要

3.1 層せん断力-層間変形角関係 東西方向の層せん断力  $Q$ -層間変形角  $\theta$  関係を図-2 に示す。層せん断力とは, 内柱部の下柱せん断力  $Q_I$  と外柱部の下柱せん断力  $Q_E$  とを加えたもの, 層間変形角は内柱部と外柱部の平均値である。試験体 TDJ は+7 サイクル ( $\theta=1/50\text{rad}$ ) の加力途中で外柱部柱頭の溶接が切断したため, 耐力低下まで加力できなかった。試験体 TDC の柱主筋, 梁主筋は降伏しなかった。試験体 TDJ の鉄筋は, (i)外柱部の接合部補強筋が降伏, (ii)内柱部の接合部補強筋が降伏, (iii)外柱部の柱脚部主筋降伏, (iv)内柱部の柱脚部主筋および外柱部の柱頭部主筋が降伏, (v)内柱部の柱頭部主筋降伏, という順で発生した。試験体 TDC の最大層せん断力は  $420\text{kN}$  ( $\theta=1/100\text{rad}$ .時) となり, 最終的に下柱せん断破壊した。試験体 TDJ の層せん断力は  $\theta=1/100\text{rad}$ .で  $402\text{kN}$ ,  $\theta=1/50\text{rad}$ .で  $488\text{kN}$  となり, 最終的に下柱柱脚曲げ降伏後に接合部せん断破壊が進行している状態だった。

3.2 ひび割れ状況 加力終了時の試験体 TDJ 北面ひび割れ図を図-3 に示す。試験体 TDC のひび割れ[1]はまず外柱部柱頭に曲げひび割れが発生し, 直後に内柱部接合部にせん断ひび割れが発生し

た。その後, 内柱部と外柱部の下柱にせん断ひび割れがほぼ同時に発生した。外柱部の接合部には, その後もせん断ひび割れは生じなかった。加力が進むにつれて内柱部のせん断ひび割れは柱脚域を中心に発生するようになり, 外柱部のせん断ひび割れは下柱全域に渡って発生した。下柱内柱部の下柱せん断破壊後は, 附着割裂ひび割れが(特に外柱

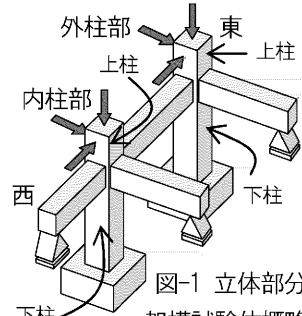


図-1 立体部分架構試験体概略

表-1 試験体諸元一覧

試験体		軸力比*1)	柱主筋	梁主筋	接合部補強筋
TDC	内柱部	下柱:0~0.13, 下柱以外:0~0.071	16-D22	上下端とも4-D25	2-D10を3set 接合部横筋比 $P_{wj}=0.45\%$
	外柱部	下柱:-0.096~0.16, 下柱以外:-0.053~0.089			
TDJ	内柱部	0~0.15			
	外柱部	-0.11~0.19			

\*1):+, 圧縮, -:引張り

表-2 コンクリート材料特性

試験体	圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	圧縮強度時歪み $\epsilon_c$ (%)	引張り強度 $\sigma_t$ (MPa)	ヤング係数 $E_c$ (GPa)
TDC下柱	31.4	0.200	3.01	30.0
TDCその他	56.2	0.244	4.09	35.0
TDJ	26.5	0.186	2.56	26.9

$E_c:1/4\sigma_c$ 時割線剛性

表-3 鉄筋材料特性

径	降伏点 $\sigma_y$ (MPa)	引張り強度 $\sigma_t$ (MPa)	伸び $\epsilon_u$ (%)	ヤング係数 $E_s$ (GPa)
D6	353	436	30.8	187
D10	407	629	17.8	174
D22	540	691	19.9	189
D25	552	712	15.6	200

$E_s$ :引張り試験による見かけの値

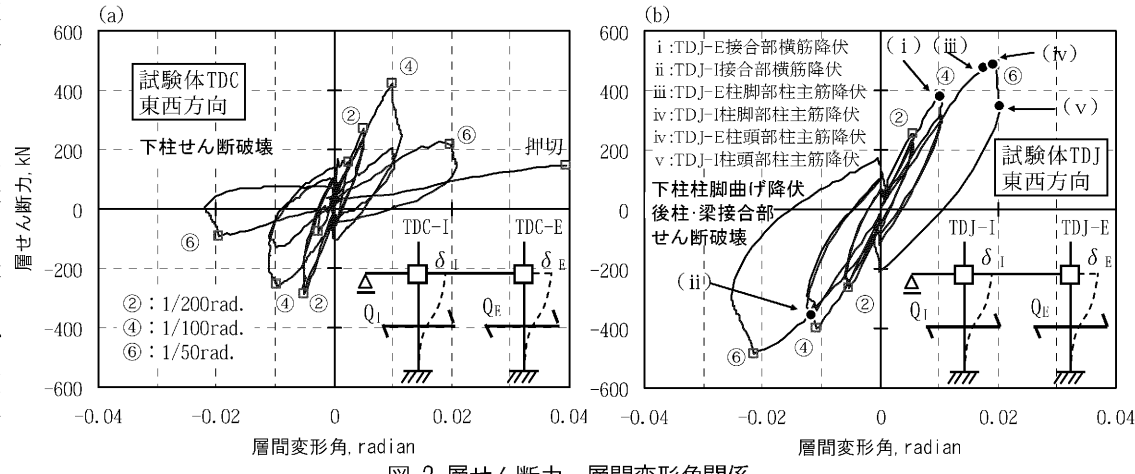


図-2 層せん断力-層間変形角関係

Shear Failure Process in Reinforced Concrete Frame under Three-dimensional Loading

MORITA Shinji, KITAYAMA Kazuhiro and KISHIDA Shinji

部の下柱に) 生じた。試験体 TDJ のひび割れは、+2 サイクル ( $\theta=1/200\text{rad.}$ ) において内柱部、外柱部ともに下柱曲げひび割れおよび接合部せん断ひび割れが発生した。その後、接合部せん断ひび割れと柱脚域曲げひび割れが主に生じたが、+4 サイクルからは接合部せん断ひび割れが目立って発生するようになった。+6 サイクルになると内柱部における接合部せん断ひび割れの発生数の方が多くなった。以上より試験体 TDJ は各鉄筋降伏が全て外柱部から発生したことから、外柱部からせん断破壊の進行が始まり、その後内柱部の破壊が進行すると思われる。また試験体 TDC では、内柱部の下柱せん断破壊による耐力低下が生じると、外柱部における下柱の層せん断力負担分が増加した。その直後に外柱部でも下柱せん断破壊と付着割裂破壊が生じたことで、層せん断力が急激に低下した。

3.3 モーメント分布の推移 上下柱および東西梁せん断力の実測値から求めたモーメント分布の推移を図-4 に示す。また同図には反曲点高さ比  $y$  および  $e$  関数法による曲げ降伏時モーメント計算値も示した。両試験体とも内柱部の反曲点高さ比は 0.537~0.552 となり下柱中央付近に推移した。しかし外柱部の反曲点高さ比は 0.90 以上となり、柱上部域に推移した。試験体 TDC の内柱部は+4 サイクル ( $\theta=1/100\text{rad.}$ ) で最大層せん断力に達した後、下柱のせん断破壊の進行に伴い柱および梁曲げモーメントが急激に低下した。また試験体 TDJ は+6 サイクル ( $\theta=1/50\text{rad.}$ ) で外柱部の上下柱の柱脚が曲げ降伏した。よってこの後の加力では外柱部接合部入力せん断力の増加率は減少する。しかし、内柱部接合部入力せん断力は更に増加するため接合部せん断破壊が進行し、層せん断力が低下すると考えられる。

3.4 層間変形に占める各部材変形割合 両試験体の内柱部における層間変形成分割合を図-5 に示す。層間変形に占める梁と接合部による変形成分は実験値を用いて幾何学的に計算し、層間変形角の実験値からそれらを差し引いた値を下柱の変形成分とした。各計算は反曲点高さに依存するため、図-4 で計算した下柱反曲点高さを使用した。試験体 TDC は下柱による成分が最大層せん断力時以前でも 80%以上存在し、終始、層間変形の大部分を占めた。しかし下柱せん断破壊によって、下柱の変形成分は減少傾向にあることが分かる。また、試験体 TDJ では接合部による変形成分が緩やかに増加し、+6 サイクルでは 10%を占めた。下柱による変形成分は、ほぼ一定で 65%であった。内柱部における接合部のせん断破壊が進行していることが確認できた。

4. まとめ

(1) 試験体 TDJ では、まず外柱部の接合部入力せん断力増加率の低下により破壊の進行が鈍化する。その後内柱部の接合

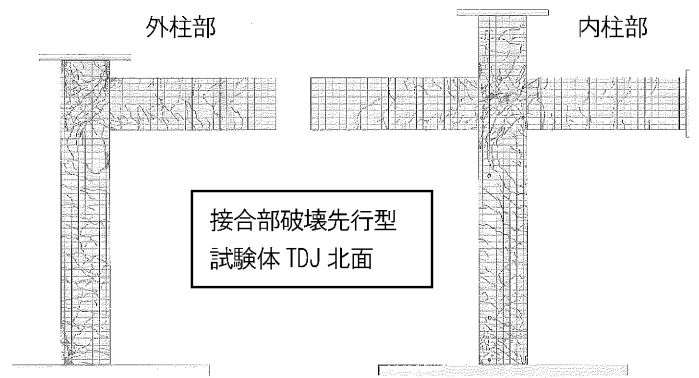


図-3 試験体 TDJ 加力終了時ひび割れ状態

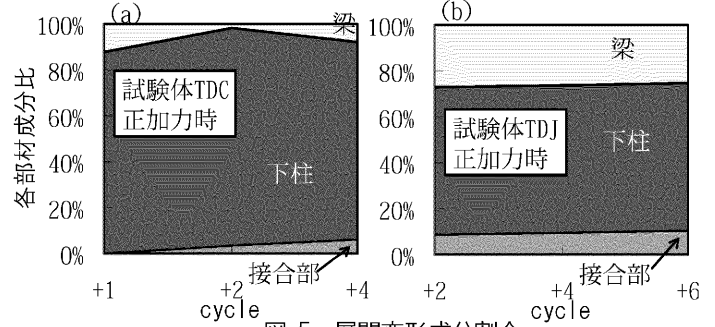


図-5 層間変形成分割合

部がせん断破壊することにより、層せん断力が低下する。  
(2) 試験体 TDC では、内柱部における下柱せん断破壊後に外柱部の層せん断力負担分が増加した。しかし外柱部の下柱でせん断破壊および付着割裂破壊が発生することで、層せん断力が低下した。

【参考文献】

[1] 白山, 石井ほか: 3 方向静的加力を受ける鉄筋コンクリート造立体部分骨組の力学的挙動に関する実験的研究(その 1)(その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.719-722, 2001.9.

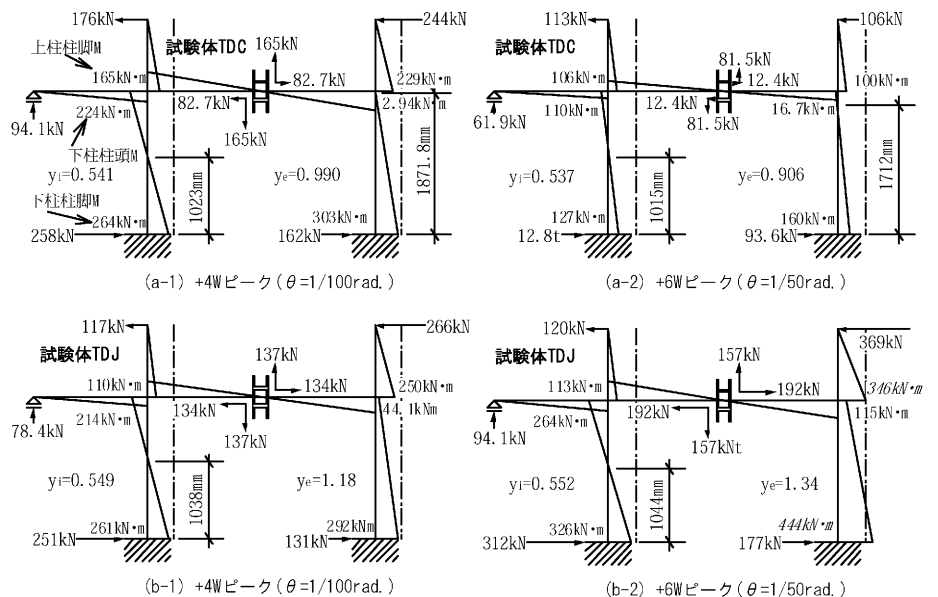


図-4 モーメント分布の推移 (---は柱降伏モーメント  $M_y=345\text{kN}\cdot\text{m}$ )

\*1 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻 博士課程 修士 (工学)  
\*2 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻 助教授・工博  
\*3 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻 助手・博士 (工学)

\*1 Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., M. Eng.  
\*2 Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.  
\*3 Research Assoc., Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.