

超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造の柱部材に関する実験研究



竹中 啓之 *1

菊田 繁美 *1 和泉 信之 *3
 濱田 聡 *2 渡部 幸宏 *2
 清水 隆 *2 千田 啓吾 *2
 太田 行孝 *2 石岡 拓 *1
 傳野 悟史 *1

概 要

著者らはコンクリート圧縮強度が 150N/mm^2 級までの高強度コンクリートを用いた柱の実験を行っている。また既報では $F_c130\text{N/mm}^2$ クラスの1階柱とその柱脚接合部を模擬した試験体の実験を行った。本研究では、さらにコンクリート強度を上げた（実強度で $180 \sim 190\text{N/mm}^2$ ）1階柱とその直下の柱梁接合部の耐震性能を実験的に検討した結果について報告する。

Experimental Study on Reinforced Concrete Column using Ultra High Strength Materials

Hiroiyuki TAKENAKA *1 Shigemi KIKUTA *1
 Nobuyuki IZUMI *3 Satoshi HAMADA *2
 Takahiro WATABE *2 Takashi SHIMIZU *2
 Keigo SENDA *2 Yukitaka OOTA *2
 Taku ISHIOKA *1 Satoshi DENNO *1

The experimental study on the column where compressive strength used the high strength concrete until 150N/mm^2 class has been executed. As previously reported, the test of the first floor column using $F_c130\text{N/mm}^2$ and its bottom beam-column joint using $F_c100\text{N/mm}^2$ concrete was conducted. In this study, the test of the first floor column using higher strength concrete ($F_c180\sim190\text{N/mm}^2$) and its bottom beam-column joint using $F_c150\text{N/mm}^2$ concrete is conducted and its seismic performance is discussed by the experimental results.

*1 戸田建設(株) 技術研究所 *2 戸田建設(株) 構造設計部 *3 千葉大学

*1 Technical Research Institute, Toda Corp. *2 Structural Engineering Dept., Toda Corp.

*3 Department of Architecture Faculty of Engineering Chiba University

超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造の柱部材に関する実験研究

竹中 啓之^{*1} 菊田 繁美^{*1}
 和泉 信之^{*3} 濱田 聡^{*2}
 渡部 幸宏^{*2} 清水 隆^{*2}
 千田 啓吾^{*2} 太田 行孝^{*2}
 石岡 拓^{*1} 傳野 悟史^{*1}

1. はじめに

著者らはコンクリート圧縮強度が150N/mm²級までの高強度コンクリートを用いた柱の実験を行っている¹⁾。また既報²⁾ではFc130N/mm²クラスの1階柱とその柱脚接合部を模擬した試験体の実験を行った。本研究では、さらにコンクリート強度を上げたFc180N/mm²級の1階柱とその直下の柱梁接合部の耐震性能を実験的に検討した結果について報告する。

2. 試験体

試験体の一覧および試験体の配筋を表-1、図-1に示す。試験体は180～190N/mm²レベルの超高強度コンクリートを用いた1階柱と直下の柱梁接合部、基礎梁および下階柱からなる約1/4縮尺の5体である。全試験体ともせん断スパン比が2.0、1階柱断面が250mm×250mm、下階柱断面が315mm×315mm、梁断面が170mm×250mmである。UHRC21は柱せん断補強筋間隔を40mmとし、柱コンクリートにはプレーンコンクリートを用いた基本試験体である。UHRC22、23ではUHRC21の耐震性能向上およびコンクリートの飛散防止を目的として、柱部分コンクリートに体積比で、UHRC22では0.5%、UHRC23では1.0%の鋼繊維（長さ30mm、太さ0.6mm）を混入させている。柱梁接合部については、UHRC22はプレーンコンクリートとし、UHRC23は体積比で1.0%の鋼繊維をコンクリートに混入させている。UHRC24は、

柱部分はプレーンコンクリート柱に厚さ4.5mmの鋼板（SS400）を巻き、直下の柱梁接合部にはUHRC23と同様に1%の鋼繊維を混入させている。UHRC25は、UHRC24試験体を45度回転させた試験体である。全試験体とも下階柱主筋は接合部内で先端に溶接したナットにより定着されており、1階柱主筋は下階柱を通りスタブに定着されている。また、全試験体とも、1階柱下端の柱梁接合部には、コーナー補強として下階柱を内包するハンチを設け、ハンチ内にコーナー補強筋を配筋している。

材料試験結果を表-2に示す。コンクリートの圧縮強度は柱部分がプレーンコンクリート（UHRC21、24、25用）で183～191N/mm²、鋼繊維を0.5%混入させたもの（UHRC22用）で186N/mm²、1.0%混入させたもの（UHRC23用）で189N/mm²となった。また、柱コンクリートについては、試験体柱部分と同一の寸法（250mm×250mm×1000mm）のコンクリートコア抜き用の供試体を製作し、コア抜きテストピースの強度も調べた。コア抜き強度はプレーンコンクリートで186～192N/mm²、鋼繊維を0.5%混入させた物で187N/mm²、1.0%混入させた物で187N/mm²となった。柱梁接合部コンクリートは、プレーンコンクリートで143～153N/mm²、鋼繊維を1.0%混入させたコンクリートで143～152N/mm²であった。また、下階柱は98～108N/mm²、梁は64～71N/mm²であった。柱主筋にはUSD685材、梁主筋にはSD490材を、柱、

表-1 試験体一覧

		UHRC21	UHRC22	UHRC23	UHRC24	UHRC25
柱	B×D(mm)	250×250				
	主筋	16+4-D13(USD685) Pg=3.25%				
	帯筋	4-U6.4@40 (SBPD1275) pw=1.20%		4-U6.4@50 (SBPD1275) pw=0.96%		
	軸力	3575kN (軸力比約0.3%)				
	備考	プレーンコンクリート	鋼繊維混入コンクリート 0.50%	1.00%	プレーンコンクリート PL4.5 (SS400) 鋼板巻き	
接合部	B×D(mm)	下階柱を内包する8角形				
	帯筋	4-U6.4 (SBPD1275) 4セット				
	備考	プレーンコンクリート	鋼繊維混入コンクリート 1.00%		柱梁接合部にコーナー補強筋 D4@50 (SD295) を配筋	
梁	B×D(mm)	170×250				
	主筋	4-D13(SD390)				
	肋筋	4-D6@50(SD295)				
下階柱	B×D(mm)	315×315				
	主筋	12+(16+4)-D13(USD685)				
	帯筋	4-U6.4@40 (SBPD1275) pw=1.90%				

^{*1} 戸田建設(株) 技術研究所 ^{*2} 戸田建設(株) 構造設計部 ^{*3} 千葉大学

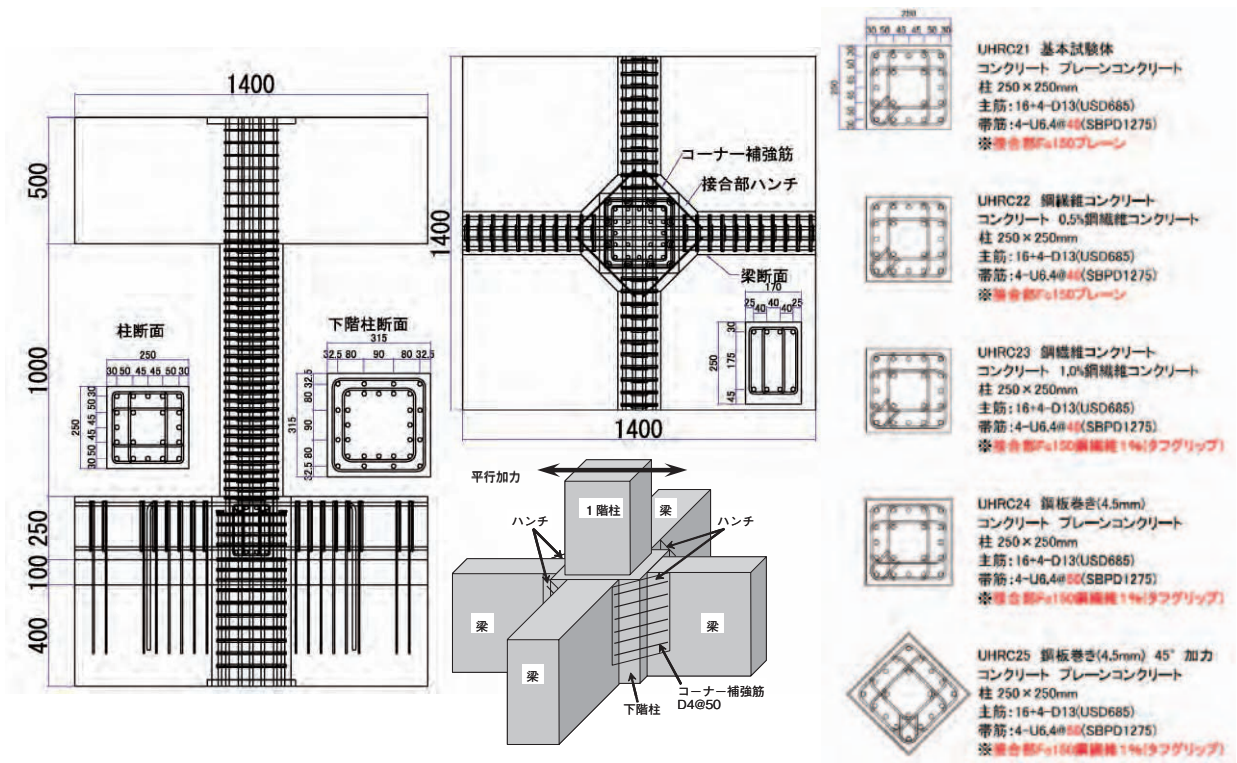


図-1 試験体図

表-2(a) コンクリート材料試験結果

試験体名	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	割線剛性 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
UHRC21	柱(コア)	186	47400	—
	柱	191	45700	6.1
	接合部	143	43200	6.3
	下階柱	98	40700	6.0
	梁・壁	64	36000	4.3
UHRC22	柱(コア)	187	45200	—
	柱	186	46700	7.5
	接合部	153	44500	—
	下階柱	104	40700	6.4
UHRC23	梁・壁	70	36300	4.7
	柱(コア)	187	46500	—
	柱	189	46800	9.1
UHRC24	接合部	143	45400	7.3
	下階柱	105	41300	6.1
	梁・壁	69	35900	4.4
	柱(コア)	192	46700	—
UHRC25	柱	183	48700	7.5
	接合部	152	45800	6.5
	下階柱	107	42300	5.2
	梁・壁	71	36300	4.3
UHRC25	柱(コア)	192	46700	—
	柱	190	47800	7.7
	接合部	152	45800	6.5
	下階柱	108	43100	4.9
梁・壁	69	37500	5.1	



写真-1 加力装置

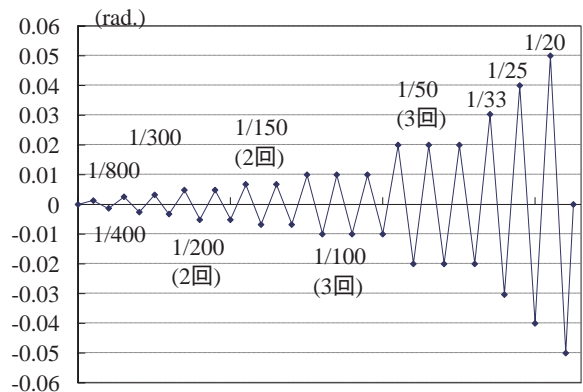


図-2 加力スケジュール

表-2(b) 鉄筋・鋼材材料試験結果

部位	径・厚さ	材種	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
柱主筋	D13	USD685	761	188400	958
梁主筋	D13	SD390	424	187600	600
帯筋	U6.4	SBPD1275	1282	182000	1334
肋筋	D6	SD295	401	185700	526
コーナー補強筋	D4	SD295	310	165400	530
柱鋼板	PL4.5	SS400	306*	206500	453

*0.2%オフセット

柱梁接合部および下階柱のせん断補強筋には SBPD1275 材、梁補強筋には SD295A 材を用いた。

3. 加力

加力装置を写真-1に、加力スケジュールを図-2に示す。加力方法は、すべての試験体でコンクリート強度に柱断面積を乗じた値の約0.3倍の一定軸力を負荷させて、柱の中央が反曲点となるような正負交番繰り返し水平加力とした。

4. 実験結果

4.1 実験経過・荷重変形関係

各試験体の1/100rad.と最終状況を写真-2に、荷重変形関係を図-3に示す。荷重変形関係の図には、P- δ 効果を示す一点鎖線を記す。各試験体とも1/100rad.で柱主筋が圧縮降伏した。1/100rad.から1/50rad.へ向かうときに柱端コーナー部のかぶりコンクリートが大きな音とともに割れ、耐力が一時的に低下した。UHRC21はかぶりコンクリートが飛散し、UHRC22、UHRC23は鋼繊維の効果で圧壊およびわずかな表面のみの飛散にとどまった。鋼板を巻いたUHRC24も同様に1/100rad.~1/50rad.へ向かうときにコンクリートが割れる大きな音がしたがUHRC21~23にみられたような一時的な耐力低下は生じず、安定した履歴を描いた。1/50rad.以降は、両試験体ともに1/20rad.の大変形時まで大きな耐力低下はみられず安定した履歴を描いた。柱直下の接合部には、各試験体ともに1/300rad.~1/200rad.で側面に斜めひび割れが発生した。1/25rad.終了時のUHRC21の接合

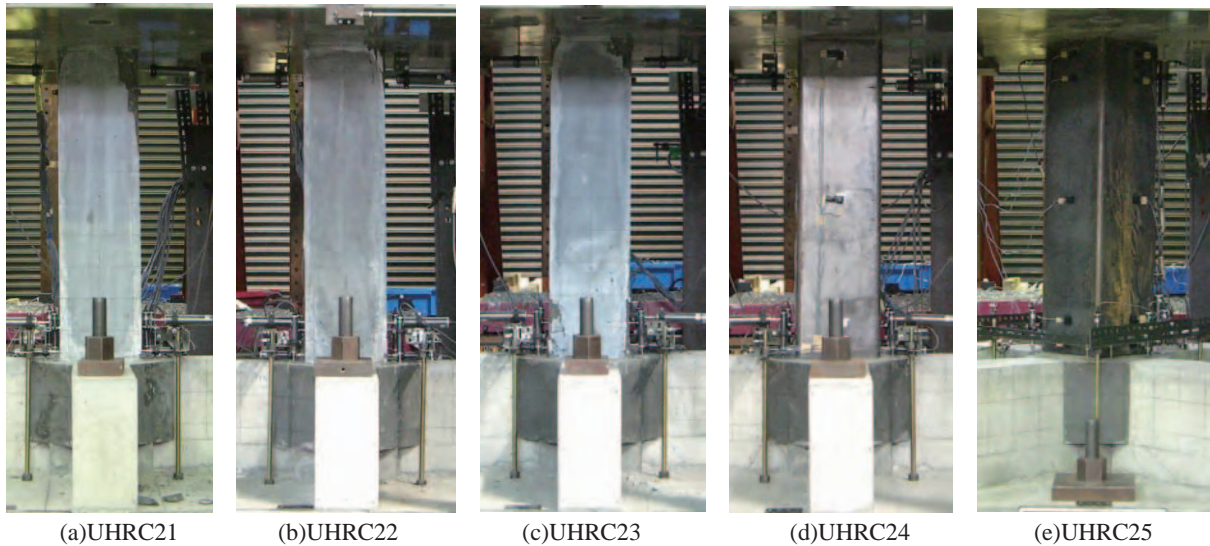


写真-2-1 1/100rad.終了時

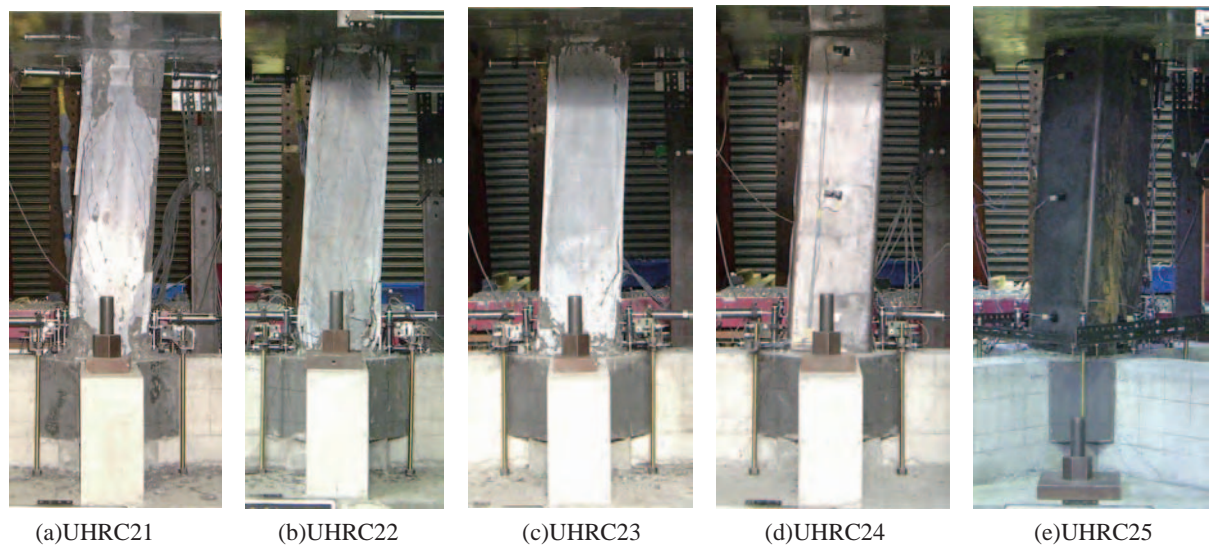
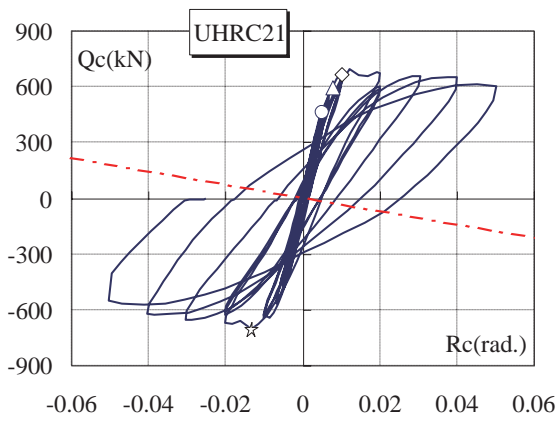
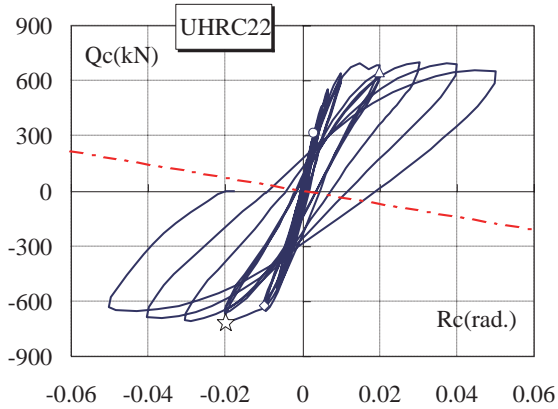


写真-2-2 最終状況

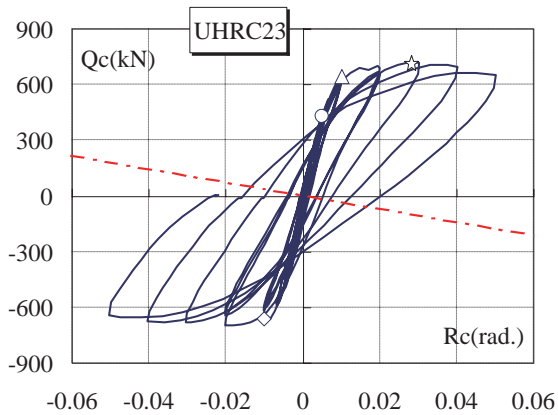
写真-2 試験体状況



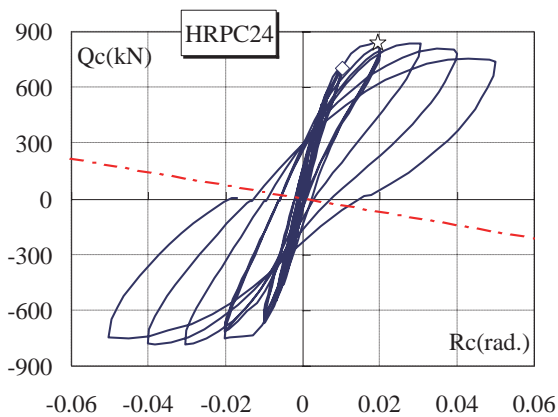
(a)UHRC21



(b)UHRC22

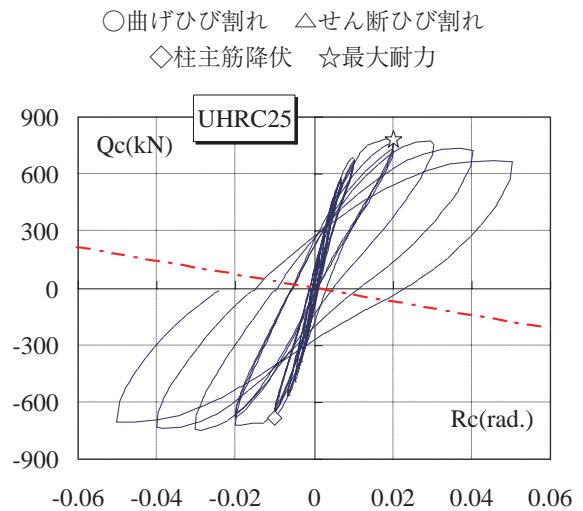


(c)UHRC23



(d)UHRC24

図-3-1 荷重変形関係



(e)UHRC25

図-3-2 荷重変形関係

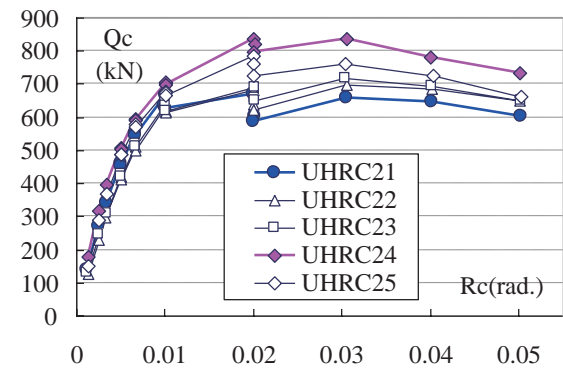


図-4 包絡曲線の比較

表-3 実験時最大耐力の比較

UHRC	21	22	23	24	25
最大耐力 (kN)	703.7	708.4	718.6	843.4	786.5
最大耐力時水平変形角 (rad.)	1/50	1/50	1/33	1/50	1/50

部側面残留ひび割れ幅は0.1～0.15mmとわずかであるのに対し、鋼繊維を混入させたUHRC23、UHRC24の残留ひび割れ幅は0.04～0.08mm程度とUHRC21よりさらに小さかった。このことから、接合部を拡幅させることで柱からの支圧力に対する損傷を抑える効果があり、さらに、鋼繊維によりひび割れ幅をより小さく抑える効果があったと考えられる。

4.2 包絡曲線と実験時最大耐力の比較

各試験体の包絡曲線の比較を図-4に、また実験時最大耐力の比較を表-3に示す。図-4より、柱を鋼板で巻いたもの以外は柱水平変形角1/100rad.から1/50rad.へ向かうサイクルで、かぶりコンクリートの圧壊により柱の耐力が一時的低下した影響で耐力の上

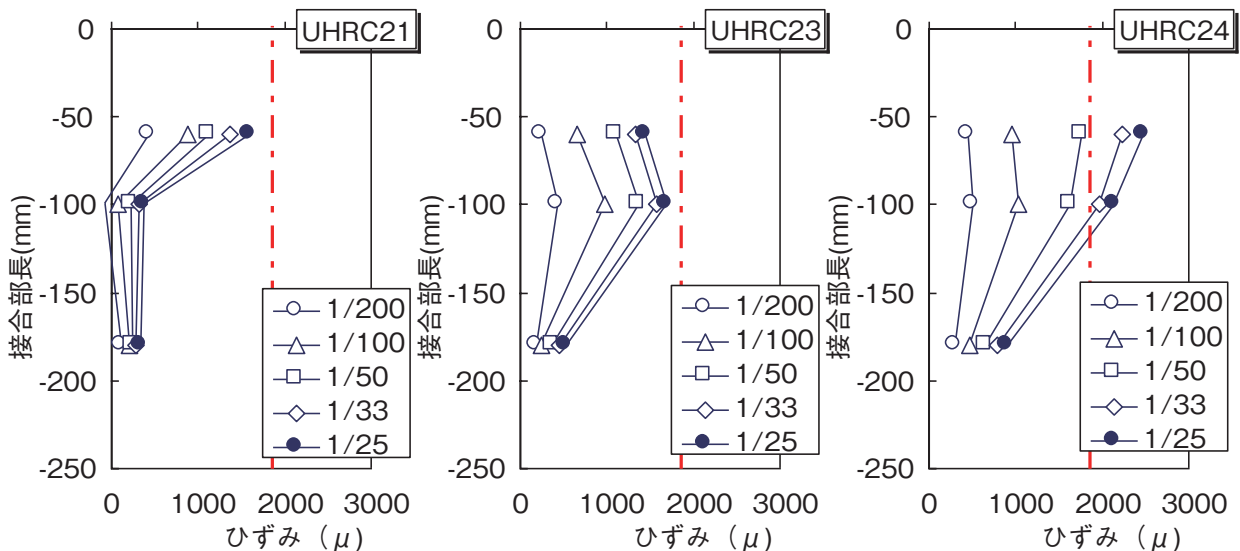


図-5 接合部ハンチのコーナー補強筋のひずみ分布 (UHRC21、23、24)

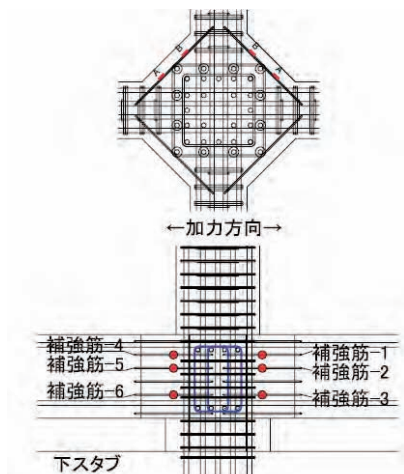


図-6 接合部ハンチのコーナー補強筋のひずみゲージ位置



写真-3 接合部状況

昇割合が小さくなり、耐力が頭打ちとなっていることがわかる。UHRC21は1/50rad.に最大耐力(703.7kN)を示した。UHRC22はUHRC21より1%、UHRC23は2%しか最大耐力は増加しなかったが、UHRC23では最大耐力発生点が1/33rad.となり、また最大耐力以降もUHRC21より高い耐力を維持し、鋼繊維の効果によって柱の靱性が向上したことがわかる。UHRC24はUHRC21と同じく1/50rad.で最大耐力を示したが、その値はUHRC21に比べて約20%向上した。1/50rad.以降もUHRC23以上の耐力を維持しつづけ、鋼板を巻くことによって最大耐力・靱性ともに向上したことがわかる。また、UHRC24とUHRC25を比較すると、45度方向加力になると最大耐力で約7%最大耐力が小さくなった。

4.3 接合部状況

接合部に設けたハンチ部分のコーナー補強筋のひずみ分布をUHRC21、UHRC23、UHRC24について図-5に示す。また、ひずみゲージを貼付した位置を示したものを図-6に示す。3体とも接合部上方のコーナー

補強筋は最大変形時にほぼ降伏ひずみに達しており、コーナー補強筋が接合部ハンチの割裂防止に効果があることが分かる。また、UHRC21、UHRC23、UHRC24の順でコーナー補強筋のひずみが大きくなっているが、これは大変形時において柱脚位置での柱コーナーかぶりコンクリートは、コンクリートに補強をしていないUHRC21では圧壊が進み、柱から接合部に入る圧縮力が減少するためと考えられる。UHRC21よりコーナーかぶりコンクリート部の圧壊の少ないUHRC23、さらには鋼板で柱を補強し、かぶりコンクリートの圧壊が少ないUHRC24の順で接合部に入力される圧縮力が増え、コーナー補強筋のひずみが大きくなっていると考えられる。実験終了時の接合部の状況を写真-3に示す。

4.4 鋼板のひずみ分布

UHRC24、UHRC25の柱に巻いた鋼板の水平方向のひずみ分布を図-7に示す。UHRC24では、加力方向と並行する面では最終サイクルまで鋼板は降伏には至らなかった。加力方向と直交する面の鋼板は1/50rad.

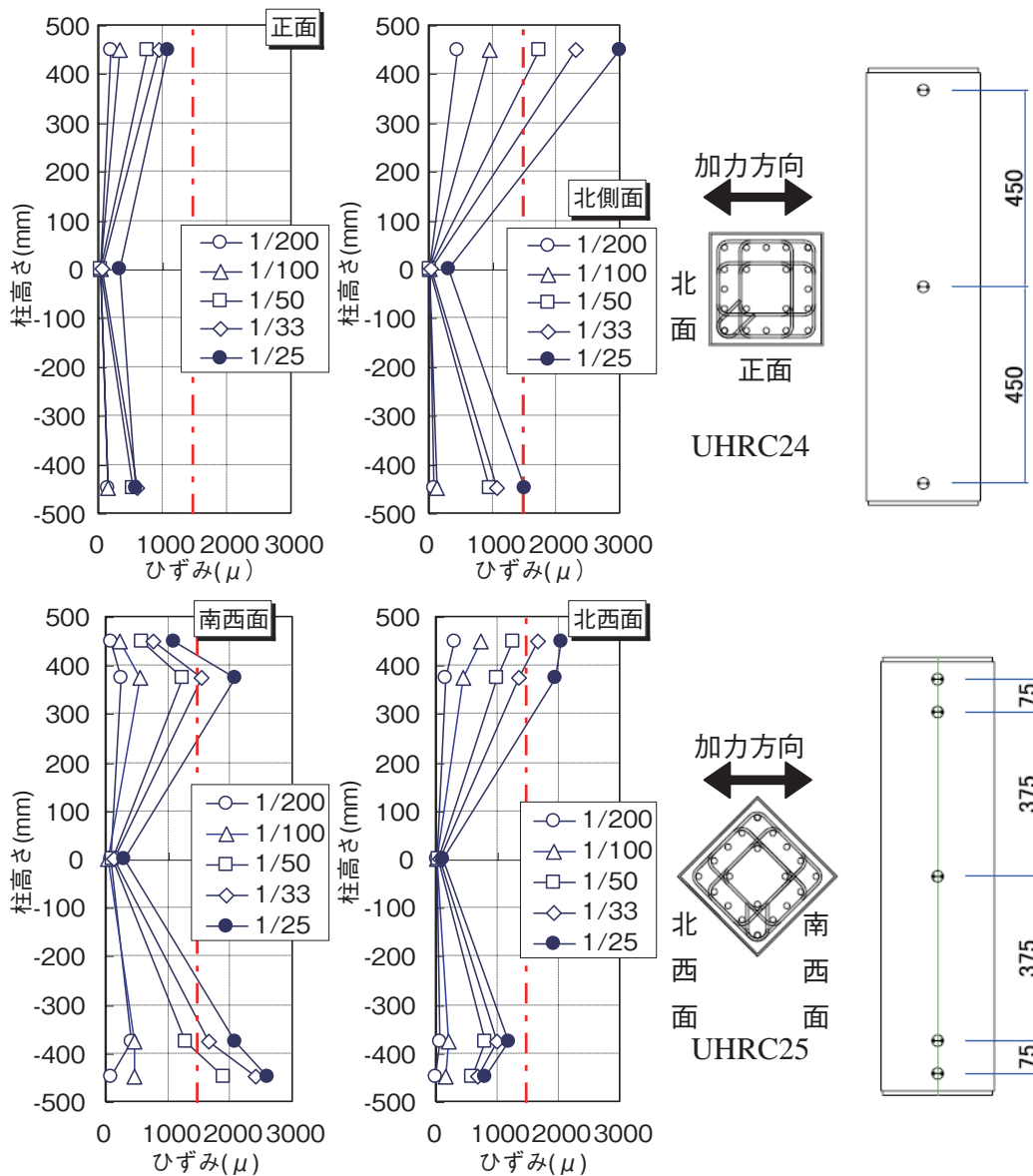


図-7 鋼板のひずみ (UHRC24、UHRC25)

以降で降伏し、そのひずみ分布形状から特に柱の上下で拘束効果を発揮していることがわかる。45度方向加力としたUHRC25の鋼板のひずみ分布についても、柱水平変形角1/50rad.以降で降伏に至ることなど、UHRC24とほぼ同様な傾向を示していることがわかる。

5. まとめ

180～190N/mm²級のコンクリートを用いて、プレーンコンクリート柱・コンクリートに鋼繊維を混入させた柱・鋼板を巻いた柱の載荷実験を行った。その結果、鋼繊維を混入させたものはプレーンコンクリート柱より靱性が向上し、鋼板を巻いたものは耐力・靱性ともに向上することがわかった。また180～190N/mm²級のコンクリート柱直下の接合部は2割程度強度を落とした150N/mm²クラスのコンクリートを用いて、コーナーを拡幅させたり、コンクリートに鋼繊維を混入させることで損傷を小さくできることがわかった。

【参考文献】

- 1) 菊田繁美他：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.2，pp.679 - 684，2004.6
- 2) 菊田繁美他：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造の柱部材に関する実験研究（その11 1階柱とその柱脚接合部），建築学会学術講演梗概集，C - 2分冊，pp.285 - 286，2007.9

