

免震レトロフィット工法の柱仮受け部材に関する 実験的研究

Experimental Study on the Temporary Supporting Method for Seismic Isolation Retrofit

舟木秀尊* 岸本 剛* 床 圭司**

要 旨

免震レトロフィット工事における積層ゴムの設置に必要な柱の仮受け部材として、既設柱の切断箇所上部と下部に増し打ち鉄筋コンクリート柱を構築し、そこに仮受けジャッキを設置する施工方法を考案した。PC 鋼棒で圧着した既存柱と増し打ち鉄筋コンクリート柱について、構造実験により仮受け部材としての荷重支持性能を確認すると共に、施工実験により実工事の安全性を確認した。

キーワード：免震レトロフィット、中間階免震、仮受け、PC 鋼棒、圧着接合

1. まえがき

巨大地震の発生が懸念される中、既存建物を免震化する免震レトロフィット工法が注目されている。これまで免震レトロフィット工法は中低層の建物を対象とすることが多かった。しかしながら、地震時の安全性を高める有効な手段として一般に認知され、普及が進むにつれて、様々な形状・規模や塔状比の大きな建物にも適用される事例が出現し、要求も多様化してきている。

既存建物を免震建物とする場合、柱や耐震壁などの鉛直部材を切断し、免震装置を設置する。一般には、ジャッキ等の仮設支持部材を柱周辺に設置して持ち上げ、柱にかかる荷重を仮受けした後、柱の免震装置設置箇所を切断・除去し、免震装置を設置・固定して仮設支持部材を取り外すという手順になる。

一方、免震レトロフィット工事においては、工事の範囲を免震階のみにすることにより、上層階・下層階とも居ながら（店舗は営業しながら）の施工が可能となる。本研究では、免震レトロフィット工事における積層ゴムの設置工事に必要な柱の仮受け部材として、既存柱に増し打ちした鉄筋コンクリート柱を用いる施工方法の開発を目的とした。

2. 工法の概要

免震化工事の柱仮受けにおける荷重伝達のイメージを図-1に示す。免震装置を設置するにあたって既設柱を切断することから、柱が負担している荷重を一時的に仮受けする必要がある。既設柱の切断箇所上部と下部に増し打ち鉄筋コンクリート柱を構築し、そこに借受けジャッキを設置する。その際、増し打ち部と既設柱の一体性を確保するために、PC 鋼棒によって圧着する。

ここで、既設柱から増し打ち柱への荷重の伝達が課題となる。柱荷重は既存柱から増し打ち柱へと、既存柱と増し打ち柱の接合面の摩擦力によって伝達される。この荷重伝達を向上させるため、接合面の目荒し処理を施工方法、あるいは増し打ち柱側面に PC 鋼棒を配置して緊張力を導入し、接合面に生じる摩擦抵抗を増大させる方法が考えられる。

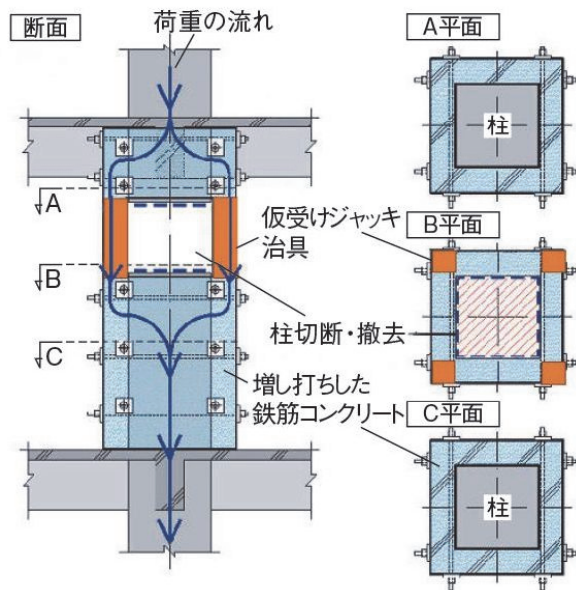


図-1 荷重伝達のイメージ

*技術研究所 **東日本支社建築設計部

3. せん断実験

3.1 実験概要

既存柱と増し打ち柱が PC 鋼棒で圧着された接合部を対象として、接合面のせん断力伝達特性を把握するために、目荒しの面積比やダボ（アングル材、横引き鉄筋、あと施工アンカー）ならびに圧着応力度をパラメータとしたせん断実験を行った。試験体の形状（No.1）を図-2に、接合面の状況を写真-1に示す。既設側と増し打ち側が接合する圧着面積は 360cm²（20×18cm）であり、コンクリート強度は 23.6N/mm² である。接合面の処理方法は、目荒し処理とダボ設置の2種類とした。目荒し処理は深さ 5mm 程度のチップングを施し、ダボは接合面の境界に埋設した。各試験体とも、目荒し処理とダボを設置した後、増し打ち部を打設した。加力方法は、接合面のせん断方向に対する単調載荷とした。

3.2 実験結果

実験結果の一覧を表-1に、目荒しの割合に着目した荷重と変位の関係を図-3に示す。すべり始めの荷重を圧着力で除した値は、目荒しを施してダボがない試験体において 1.83~3.30 を示した。すべりが発生した後、荷重は低下するが、すべりながら動摩擦抵抗力を保持した。接合面における目荒しの面積比と荷重の関係を図-4に示す。目荒しの割合と最大荷重には、ダボの有無に寄らず比例関係が見られた。せん断力伝達は、横引きアングルを設置した場合が最も大きく、次いで横引き鉄筋、ダボなしの順であった。なお、あと施工アンカーの試験体については、最大耐力に殆ど影響はなく、すべり発生後の荷重低下を少なくする効果があった。

既設柱の躯体表面に目荒しやダボを施し、PC 鋼棒により圧着することで、既設柱と増し打ち柱の接合面におけるせん断力の伝達が向上することを確認した。

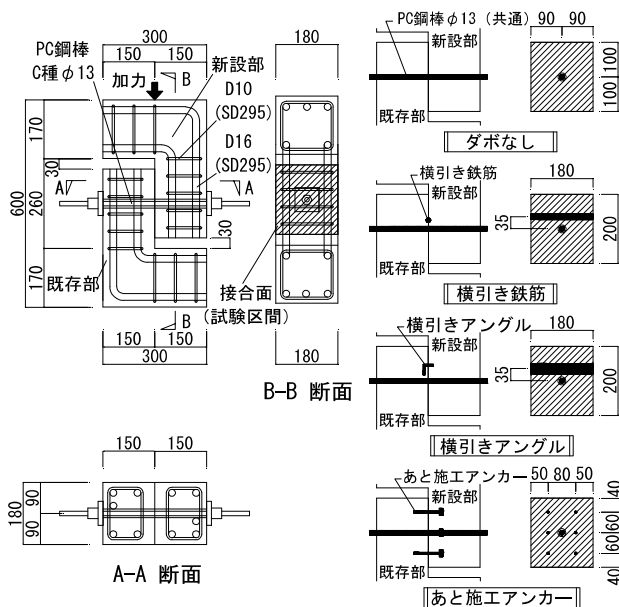


図-2 試験体の形状



写真-1 接合面の状況

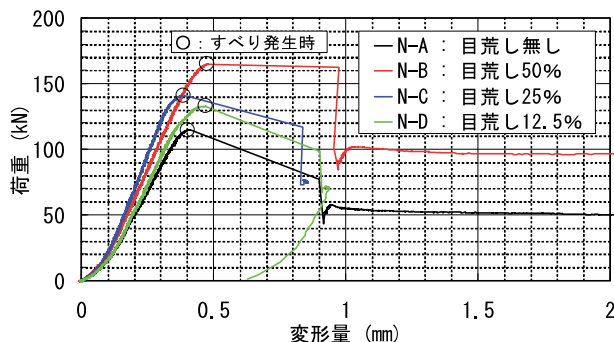


図-3 荷重と変位の関係（ダボなし）

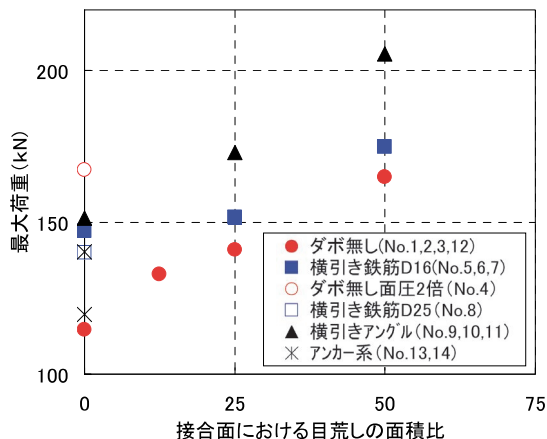


図-4 表面粗度と最大荷重の関係

表-1 実験結果

試験体	接合面(目荒し+ダボ)				配筋量 pa %	PC圧着		実験結果		
	目荒し		ダボ			緊張力 T kN	面圧 σ/A N/mm ²	最大荷重 (すべり始め) Qmax kN	せん断強度 τ N/mm ²	実験時緊張力 Te kN
	0%	50%	25%	12.5%						
N-A	○	-	-	-	-	50	1.39	115	3.19	50.5
N-B	-	○	-	-	-	50	1.39	165	4.58	49.9
N-C	-	-	○	-	-	50	1.39	141	3.92	50.2
N-A-H	○	-	-	-	-	100	2.78	167	4.65	91.5
D16-A	○	-	-	-	-	50	1.39	147	4.09	50.4
D16-B	-	○	-	-	横引き鉄筋	1-D16	-	175	4.86	48.8
D16-C	-	-	○	-	横引き鉄筋	1-D16	-	152	4.22	50.2
D25-A	○	-	-	-	横引き鉄筋	1-D25	-	140	3.89	48.3
L30-A	○	-	-	-	横引きアングル	L-30x3	-	151	4.21	48.3
L30-B	-	○	-	-	横引きアングル	L-30x3	-	206	5.71	51.3
L30-C	-	-	○	-	横引きアングル	L-30x3	-	173	4.81	51.2
N-D	-	-	-	○	無し	-	-	133	3.69	50.3
A6-A	○	-	-	-	あと施工アンカー	6-D6	0.52	120	3.32	49.7
A6D16-A	○	-	-	-	アンカー+横引き鉄筋	6-D6 +1-D16	0.52	140	3.89	50.0

4. 実大載荷試験

4.1 試験体

既設柱と増し打ち柱の接合面における柱荷重伝達を実大規模で確認するために載荷試験を行った。試験体の概要を図-5に示す。試験体は、既存柱と増し打ち柱およびPC鋼棒で構成される。最初に既存柱を製作した後、その周辺に増し打ち柱の鉄筋およびPC鋼棒用シースを配置し、増し打ち部コンクリートを打設した。その後、載荷する前にシース内にPC鋼棒を挿入し、緊張力を与えた。試験体は、実大モデル6体(No.1~4、No.6、No.7)と縮小モデル1体(No.5)の計7体である。実大モデルのうちNo.6とNo.7は、No.3の試験後にワイヤーで水平に切断して圧着面積を減じた試験体である。材料試験結果を表-2に示す。試験体に用いたコンクリートは、既存柱部は軽量コンクリート2種、増し打ち柱部は普通コンクリートである。PC鋼棒はC種1号とし、実大試験体はφ40、縮小試験体はφ23を使用した。実験因子を表-3に示す。PC鋼棒の配置方向、本数および緊張力、既設柱表面の目荒し有無を実験因子とした。No.4とNo.5の目荒し処理は、既設柱部の表面に対して、増し打ち柱との接合面における面積比25%の割合で深さ5~15mm程度の凹凸を設けた。

4.2 試験方法

実大試験体では、圧着面を介して荷重が伝達される仮受けを模擬し、増し打ち柱部の下面に支持板を設置して加力を行った。縮小試験体では、上下の既設柱部が荷重を受ける状態で加力を行った。載荷履歴は、各試験体とも押し抜きの圧縮試験とした。その際、破壊の可能性がある試験体については加力装置の安全を考慮して圧縮力P=6000kN、破壊の可能性がある試験体はP=9000kN(No.4-1100XY)、P=7500kN(No.4-900XY)を上限の載荷荷重とした。測定項目は、圧縮力、軸方向変形量、鉄筋ひずみ、PC鋼棒ひずみ、ひび割れ状況である。

4.3 実験結果

a. 荷重支持性能

実験結果一覧を表-4に示す。実大モデルの最大荷重は、既設柱に目荒しを設けて短辺および長辺の2方向から緊張力1100kNを与えたNo.4-1100XYにおける9018kNであった。目荒しがないNo.1-700X、No.2-200Y、No.3-700XY、No.3-200XYでは、試験機の載荷上限である6000kNにおいても破壊に至らなかった。No.4シリーズとNo.5の荷重-変形関係を図-6に示す。No.4では緊張力を1100→900→200→50→0kNの順に5段階に変化させて載荷したが、剛性低下は見られず、いずれも破壊には至らなかった。縮小モデルのNo.5では、荷重が3500kNを超えたところで上部および下部増し打ち柱の仮設柱近傍においてコンクリートの損傷が始まり、最大耐力3963kNに達した後、緩やかに耐力が低下した。

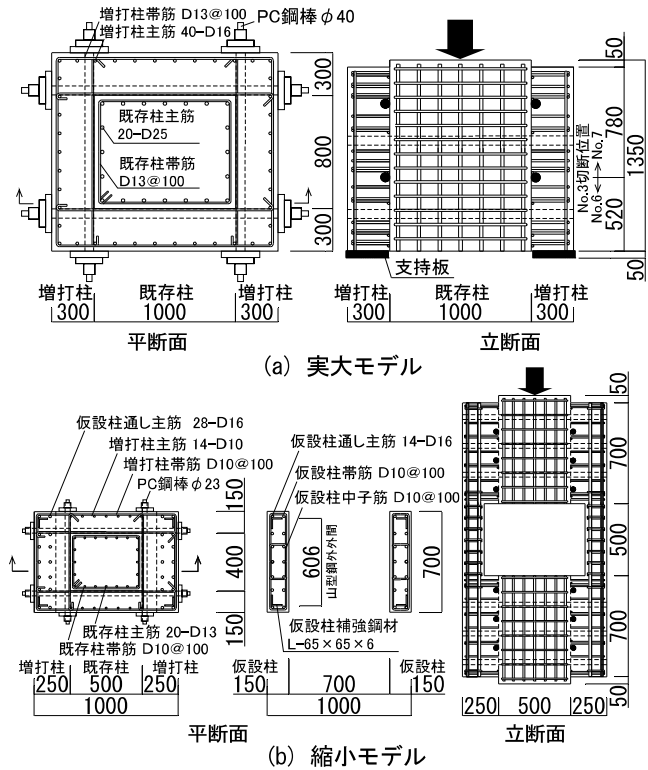


図-5 試験体の概要(No. 3、No. 4、No. 5)

表-2 材料試験結果

(a) コンクリート

打設箇所	使用試験体	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(kN/mm ²)
既存柱 (軽量コン)	No.1~No.5	31.9 ~ 36.2	14.8 ~ 16.1
	No.6, No.7	33.5	15.6
増し打ち柱 (普通コン)	No.1~No.5	33.4 ~ 34.1	29.3 ~ 30.6
	No.6, No.7	38.1	30.1

(b) 鉄筋・鋼材

使用箇所	鉄筋・鋼材(材質)	降伏強度(N/mm ²)
主筋・帯筋・中子筋	D10,D13,D16(SD295A)	340 ~ 381
主筋	D25(SD345)	379
仮設柱補強鋼材	L-65×65×6(SS400)	317

(c) PC鋼棒の規格値

呼び名	種類	記号	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)
φ23	C種1号	SBPR	1080以上	1230以上	5以上
φ40					

表-3 実験因子

系列	試験体	呼称	PC鋼棒配置方向	PC鋼棒本数	既存柱目荒し	PC鋼棒緊張力(kN/1本)
I	No. 1	No. 1-700X	短手(X)	2段×2本 1方向	目荒し 無し	700
		No. 1-700X-T*				700
	No. 2	No. 2-200Y	長手(Y)	2段×2本 1方向		200
		No. 2-0	-	-		-
	No. 3	No. 3-700XY	短手(X)	2段×2本 2方向		700
		No. 3-200XY	長手(Y)	2段×2本 2方向		200
No. 4	No. 4-1100XY	短手(X) 長手(Y)	2段×2本 2方向	目荒し 25%	1100	
	No. 4-900XY				900	
	No. 4-200XY				200	
	No. 4-50XY				50	
	No. 4-0				-	
II	No. 5	No. 5-175XY	短手(X) 長手(Y)	4段×2本 2方向	目荒し 25%	175
		No. 5-75XY	短手(X) 長手(Y)	4段×2本 2方向	目荒し 25%	75
III	No. 6 (No. 3の 切断下部)	No. 6-700Y	長手(Y)	1段×2本 1方向	目荒し 無し	700
		No. 6-360Y				360
		No. 6-200Y				200
	No. 7 (No. 3の 切断上部)	No. 7-200XY	短手(X)	1段×2本 2方向		200
		No. 7-460XY	長手(Y)	1段×2本 2方向		460
No. 7-200X	短手(X)	1段×2本 1方向	200			

※ No. 1-700X-T は支持板と試験機ベッドの間にテフロン板を敷設した

b. ひび割れ状況

既設柱と増打ち柱の圧着面においてすべり破壊が発生しなかった試験体では、1方向に緊張力を与えた No.1 および No.2 において増打ち柱の側面中央に縦方向ひび割れが発生した。No.1 の長手方向における側面ひび割れ状況を写真-2 (a) に示す。PC 鋼棒で緊張力が導入されていない長手方向には増打ち柱の側面に縦ひび割れが発生したが、緊張力を与えた短手方向の側面にはひび割れは発生しなかった。PC 鋼棒による緊張力が、増打ち柱のひび割れ防止に寄与していることがわかる。一方、2方向に緊張力を与えた No.3 および No.4 においては試験体に殆ど損傷がなかった。PC 鋼棒の緊張力を2方向から与えることで、既設柱に圧着した増打ち柱にひび割れを発生させずに仮設支持部材として使用できることが確認できた。縮小モデルの No.5 について実験終了時の破壊状況を図-7 に示す。上下を繋ぐ仮設柱の損傷は殆どなく、既存柱と増打ち柱の接合面ならびに増打ち部の長手方向における損傷が顕著に表れた。

c. 圧着面におけるすべり

圧着面におけるすべりはいずれも目荒しのない試験体で発生した。No.1-700X-T では、最大耐力 5162kN ですべりが発生した。既設柱のすべり状況を写真-2 (b) に示す。すべりが既設柱と増打ち柱の界面で発生していることがわかる。荷重はすべりの発生に伴って急落したが、その後もすべりながら 2500kN 以上の荷重を保持した。No.2-0 (PC 鋼棒を緩めた状態) では、最大耐力 5808kN ですべりが発生した。緊張力を導入していない状態でも接合面の固着によって荷重を伝達できたと考えられる。No.3 を切断 (切断位置は図-5 を参照) して再利用した No.6 と No.7 について、すべり後に再載荷した際の最大耐力と PC 鋼棒の緊張力の関係を図-8 に示す。すべりが発生した後の最大耐力は、1方向緊張 (長手方向) に比べて2方向緊張の方が高く、PC 鋼棒の緊張力の増加に伴って耐力も増加する傾向が見られた。PC 鋼棒の緊張力および緊張方向が、最大耐力に大きく影響することが確認できた。

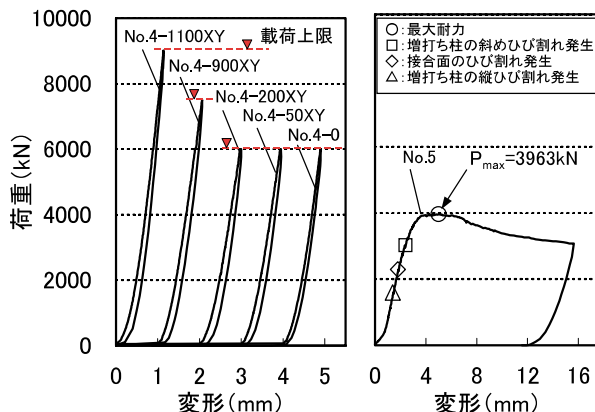


図-6 荷重-変形関係



(a) 長手方向の側面 (b) 既設柱のすべり状況
写真-2 実験後の状況 (No.1-700X, No.1-700X-T)

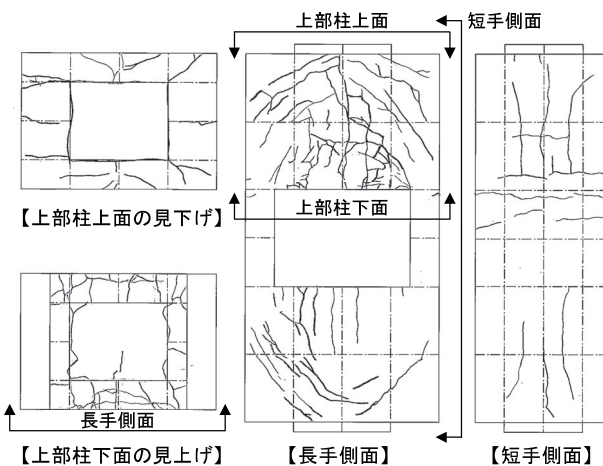


図-7 実験終了時のひび割れ状況 (No.5)

表-4 実験結果一覧

試験体	到達荷重 (kN)	最大耐力 (kN)		破壊状況
		すべり発生時荷重	すべり発生後荷重	
No.1-700X	6010	—	—	破壊なし
No.1-700X-T	—	5162	2969	すべり破壊
No.2-200Y	6009	—	—	破壊なし
No.2-0	—	5808	—	すべり破壊
No.3-700XY	6009	—	—	破壊なし
No.3-200XY	6013	—	—	破壊なし
No.4-1100XY	9018	—	—	破壊なし
No.4-900XY	7507	—	—	破壊なし
No.4-200XY	6009	—	—	破壊なし
No.4-50XY	6007	—	—	破壊なし
No.4-0	6006	—	—	破壊なし
No.5-175XY	3963	—	—	開口部近傍破壊
No.6-700Y	—	2406	1337	すべり破壊
No.6-360Y	—	—	1006	すべり破壊
No.6-200Y	—	—	776	すべり破壊
No.7-200XY	6009	—	2321	すべり破壊
No.7-200X	—	5608	2061	すべり破壊
No.7-460XY	—	—	2675	すべり破壊

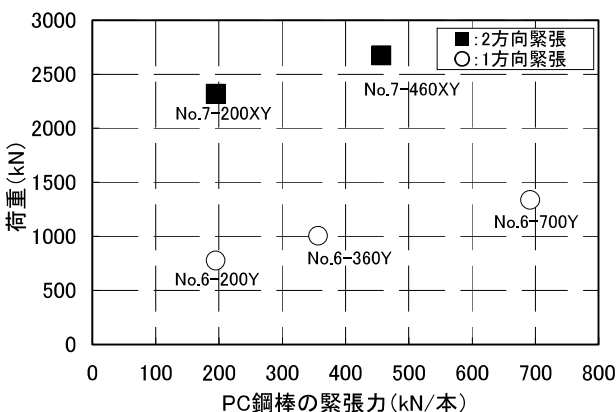


図-8 すべり発生後の最大荷重-PC 鋼棒緊張力の関係

5. 施工実験

5.1 実験概要

施工手順を確認するために、実大規模の試験体を用いて施工実験を行った。試験体の概要を図-9に、使用材料を表-5に示す。想定した長期軸力 5000kN を試験体に載荷した状態で、①PC 鋼棒の緊張、②既設柱の切断、③積層ゴムの設置、④架台構築、⑤荷重開放までの作業工程を約1ヶ月間にわたって実施した。試験体に用いたコンクリートは、既存柱部は軽量コンクリート2種、増し打ち柱部は普通コンクリートである。免震装置を設置する架台には無収縮グラウトを用いた。実大載荷試験の結果を基に、既存柱には目荒し処理を施さず、PC 鋼棒はC種1号φ40を使用して緊張力を与えた。増し打ち柱の側面には引張り抵抗プレートを設置している。これは工事中に地震が発生した際、引抜きに抵抗するための部材である。柱切断時の仮受けには使用せず、柱を切断した後に上下のプレートをボルトで連結する。

実工事における施工手順を図-10に示す。既設柱の切断から積層ゴムに荷重が移行されるまでの間、柱荷重は既設柱の切断区間に設置されるジャッキの仮受けを介して、既存柱と増し打ち柱の圧着面により伝達される。この荷重伝達状態を模擬し、施工実験は試験機による荷重が既設柱のみに載荷される状態で行った。

計測項目は、載荷軸力、鉛直変位、切断区間変位、積層ゴム変位、既設柱と増し打ち柱の各種鉄筋ひずみ、PC 鋼棒のひずみ等である。

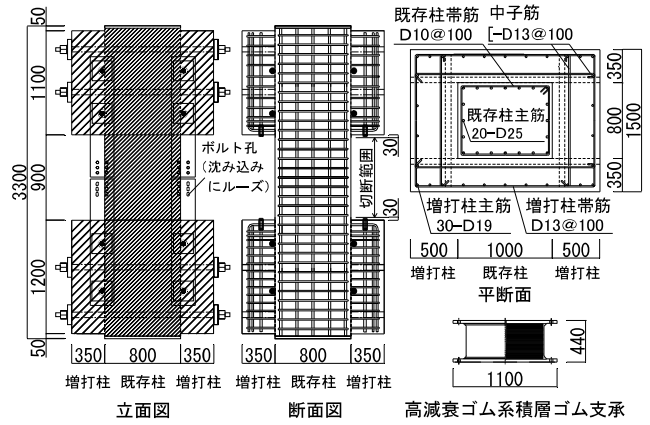


図-9 試験体

表-5 使用材料

(a) コンクリート

打設箇所	試験日状況	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(kN/mm ²)
既存柱 (軽量コン)	柱切断	33.4	16.5
	荷重開放	37.2	16.8
増し打ち柱 (普通コン)	柱切断	38.4	31.8
	荷重開放	41.9	33.3
架台(グラウト)	荷重開放	40.7	18.0

(b) 鉄筋

使用箇所	鉄筋・鋼材(材質)	降伏強度(N/mm ²)
帯筋・中子筋・補強筋	D10,D13,D16 (SD295)	347~356
主筋、架台アンカー筋	D19,D22,D25 (SD345)	375~386

(c) PC 鋼棒の規格値

呼び名	種類	記号	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)
φ40	C種1号	SBPR 1080/1230	1080以上	1230以上	5以上

(d) 高減衰系積層ゴム

呼称	等価剛性(kN/mm)	等価粘性減衰定数(%)	鉛直剛性(kN/mm)
HRB080-20G35I	0.812	17.0	3738

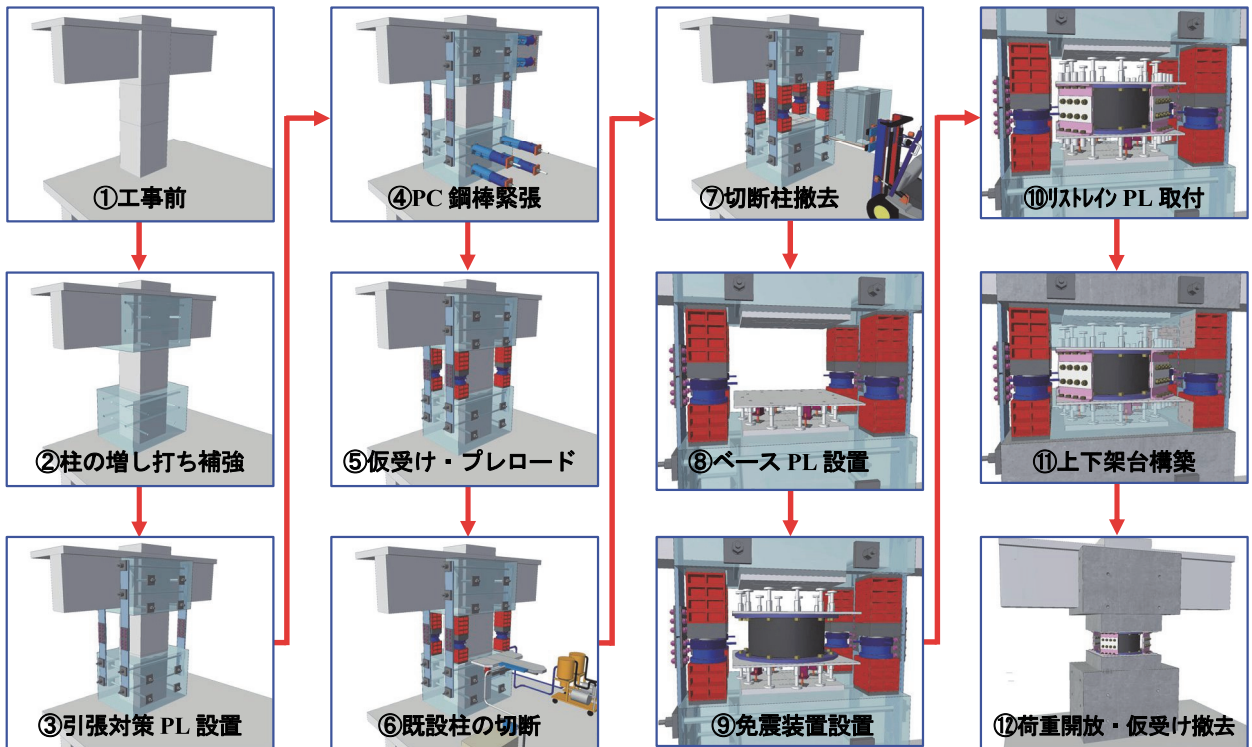


図-10 施工手順

5.2 実験結果

既設柱切断時と完成時の実験状況を写真-3に、各部位における鉛直変形量の推移を図-11に示す。全体変形量に着目すると、既設柱を切断した際に1mm、仮受けジャッキから積層ゴムへ荷重を移行する際（荷重開放）に3mm程度の沈み込みが見られた。この沈み込みは主に積層ゴムの鉛直変形によるものである。実際の工事では、工事後に有害な変形が残らないように、荷重を移行する直前に沈み込み分をジャッキで持ち上げておくことで対策が可能と考える。

既設柱に作用する荷重を把握するために、既設柱の主筋ひずみを測定した。実験期間中の主筋ひずみの推移を図-12に示す。既設柱の下面（SL）から中央（既設柱切断部：SL+1650mm）にかけての変動を表している。既存柱が負担している荷重は、プレロードにより仮受けから増打ち柱へと流れて半分程度に低減される。仮受け時には切断部近傍（SL+1050）では、既存柱は殆ど荷重を負担しないが、下面に近づくにつれて増打ち柱からの荷重



写真-3 実験状況

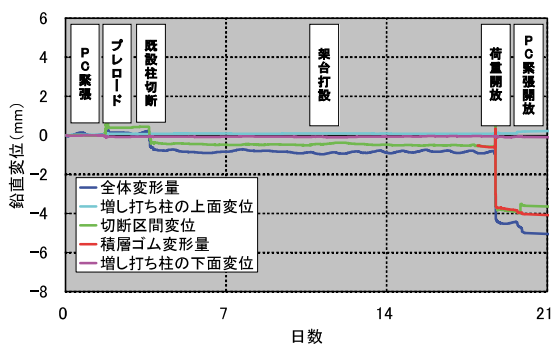


図-11 鉛直変形量の推移

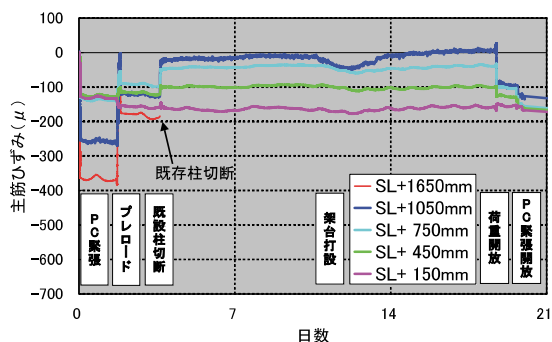


図-12 主筋ひずみの推移（既設柱）

が伝達され、最終的には既存柱のみで荷重を負担していると推察される。今回の施工実験を通じて、一連の作業手順の妥当性を確認した。

6. まとめ

免震レトロフィット工法の柱仮受け部材に関する実験を行い、考案した施工方法が実建物へ適用できることを実証した。主な結果を以下に示す。

- i. PC 鋼棒の緊張力で接合される鉄筋コンクリート躯体同士は、PC 緊張力の約 2 倍に相当する摩擦力を有しており、実大規模においてダボを設けず目荒しの割合を 25%以下とすることが可能である
- ii. 既存柱と増打ち柱の荷重伝達状況を模擬した構造実験により、PC 鋼棒の緊張力で圧着接合された鉄筋コンクリート柱が、免震レトロフィット工事における柱切断時の荷重を仮受けする部材として使用できることを確認した
- iii. 実大試験体に 5000kN を載荷した状態で行った施工実験により、PC 鋼棒の緊張、既設柱の切断、積層ゴムの設置、架台グラウト、荷重開放、引き抜き対策プレートの設置までの安全性を確認した

7. あとがき

今回の実験は柱荷重の受け渡しが 1 本の柱で完結する状態で実施した。一方、実建物においては、隣接する柱・梁・壁ならびに仮設の耐震ブレースなど、複数の要素が存在する状態での工事となる。本工法を適用する際は、施工計画においてそれらの影響を検討すると共に、各柱の鉛直変形量等が想定通りであることを確認するために施工時のモニタリングを計画している。

免震レトロフィット工事は、その建物によって要求も様々である。これらの要求に応じていく中で、今回のような増打ち躯体による仮受け方法だけでなく、鉄骨やプレキャスト躯体といった乾式の仮受け支持部材を用いた施工方法についても検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 山中他、「外付け耐震補強部材の圧着接合に関する実験的研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000.9
- 2) 茂木他、「免震レトロフィット技術—中間階免震工法の適用例—」、奥村組技術研究年報、No.33、pp.77-82、2007.7
- 3) 国土技術政策総合研究所、建築研究所、「2009 年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例」、2009.9