

第 1 章

序論

第1章 はじめに

1.1 はじめに

1.1.1 用語の定義

(1) ピロティ建築物

本研究では、ピロティ形式の建築物を対象に検討を実施する。2020年版技術基準解説書^[1-1]では、明確にピロティ形式の建築物を定義しているわけではないが、下記のようにピロティ形式の建築物を説明している。

例えば、共同住宅の用途に供する建築物の張り間方向のように連層耐力壁が主たる構造において、1階などの特定階を駐車場や店舗等の広い空間が必要とされる用途に供するため、これらの階の耐力壁の全て又は一部が存在しなくなり、その階の水平剛性、水平耐力が急減する可能性が高い階をピロティ階、そのような階を有する建築物はピロティ形式の建築物に該当するであろう。

本研究では、ピロティ形式の建築物を単に「ピロティ建築物」、水平剛性、水平耐力が急減する可能性が高い階を「ピロティ階」、ピロティ階を有する構面を「ピロティ構面」、ピロティ階の単独柱を「ピロティ柱」とそれぞれ呼ぶこととする。また、ピロティ建築物において水平1方向の構面を考える場合、ピロティ階に全く耐力壁がない建築物（すなわち全ての構面がピロティ構面の建築物）を「純ピロティ型建築物」とし、ピロティ階の一部に耐力壁を有する建築物（すなわちピロティ構面と連層耐力壁構面が混在する建築物）を「一部耐力壁付きピロティ型建築物」と呼ぶこととする。

(2) 補修・補強に関する用語

本研究では、補修や補強などを対象に検討を実施するにあたり、以下のように用語を定義する。

損傷	地震被害により建築物の構造性能が被災前より低下すること。
補修	地震被害により低下した建築物の構造性能を被災前とほぼ同じように改善すること。
補強	建築物の構造性能を向上させること。
無補強	補強と区別するための用語であり、補強を実施しないことを示す。
損傷後補強	地震被害により低下した建築物の構造性能を被災前より向上させること。
迅速な補強工法	迅速に損傷後補強することで、次ページより詳しく説明をする。

(3) 建築物に対する迅速な補強工法

大地震が発生すると、震災地域において多くの建築物に様々な被害が発生する。建築物の被害が比較的軽微であれば、損傷後補強を施し恒久復旧することで建築物を継続使用することができる。この時、できるだけ早く復旧するためには、損傷後補強の期間の短い迅速な工法を適用することが求められる。そこで、損傷後補強工法において恒久復旧に必要な日数を「必要復旧期間」とし、表 1.1.1-1 のように地震発生から恒久復旧完了までに必要な日数を計算することとした。必要復旧期間は、表 1.1.1-1 に示すように地震発生→損傷計測→損傷評価及び設計→補修材及び補強材の製作、補修施工及び補強施工→養生期間→恒久復旧完了となる間に必要な日数を全て積み上げて計算する。本研究では、この必要復旧期間が数ヶ月程度以内の工法を迅速な補強工法と位置づけた。

表 1.1.1-1 必要復旧期間のイメージ

イベント		工法A	工法B	工法C
地震発生		0	0	0
損傷計測	3次元レーザー計測などを用いた短期間での損傷評価 ^{*1}	7	7	7
損傷評価・設計	Time A	7	7	7
	A-1) 損傷評価に応じた補修・補強量の計算及び設計	6	6	6
	A-2) 補修材・補強材の設計	1	1	1
補修材・補強材の製作	Time B	29	4	1
	B-1) 材料調達	0	3	0
	B-2) 補修材・補強材の製作期間	28	0	0
	B-3) 補修材・補強材の運搬時間	1	1	1
補修施工・補強施工	Time C	2	12	14
	C-1) 施工現場準備期間	0	5	0
	C-2) 施工時間	2	7	14
養生期間	Time D	1	28	14
	D-1) 施工後養生期間	1	28	14
復旧完了	Total: 1Week+A+B+C+D	46	58	43

*1 PRISM 課題（迅速な被災建築物判定手法及びデータプラットフォームの構築に関する研究）^{[1][2]}において検討されている3次元レーザー計測などを用いることで、短期間での損傷評価が可能である。

【施策②-1】「被災RC造共同住宅の迅速な補修補強工法選定支援データベースの構築に関する研究」

- ・ 被災建築物の特定された損傷箇所に対し、効果が高く迅速な補修補強を実施することで、当該建築物の早期復旧に寄与する。
- ・ 被災度判定に係る専門家の確保が困難となる規模の鉄筋コンクリート造公営住宅を対象に、【施策①】で開発された手法に基づき、部材の損傷程度に応じた補修補強工法とその補強効果の評価手法を開発する。
- ・ 元施策では、東日本大震災において被害が顕著に見られた壁部材に対する迅速で補強効果のある工法を開発中。アドオンでは、熊本地震において被害が顕著化したピロティ形式架構を対象として、迅速な補修補強工法を開発する。

第1章 はじめに

テーマ1：「サイバー上で被災レベルを即時判定するとともに被災建築物の速やかな修復，跡地利用等を支援するシステム（クイックサーベイ）構築のための研究」

【施策①】 迅速な被災建築物判定手法及びデータプラットフォームの構築に関する研究

テーマ2：「改修等による仮設住宅等の早期供給（クイックリペア）支援データベースの整備に関する研究」

【施策②-1】 被災 RC 造共同住宅の迅速な補修補強工法選定支援データベースの構築に関する研究

【施策②-2】 既存住宅の住みながら改修可能判断の判定基準に関する研究

テーマ3：「復興住宅等の資材調達・早期供給（クイックコンストラクション）支援データベース整備に関する研究開発」

【施策③-1】 土地の有効利用に資する木造建築物の高層化技術の開発

【施策③-2】 木質混構造を活用した復興住宅の設計例に関する検討

1.1.2 地震被害とピロティ建築物の設計法の変遷

ピロティ建築物は、ピロティ階が弱点となり過去の地震において深刻な被害の発生が見られている。その一方で、構造計画以外の理由から1階をピロティ階とする設計には現在でもニーズがあることから、ピロティ建築物に関する構造設計法は、既存建築物・新築建築物を問わず検討が行われてきた。本節では、ピロティ建築物の構造設計法の変遷を概説する。表 1.1.2-1 に地震被害とピロティ建築物の設計法の変遷を示す。

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では、ピロティ建築物に甚大な被害が多く見られた。この被害の多くは、ピロティ階のピロティ柱のせん断破壊または柱の両端にヒンジが形成されたことで層崩壊したものである。これは、1981年5月以前の旧耐震基準に基づき設計された建築物だけでなく、1981年5月以後の新耐震基準によって設計された建築物にも被害がみられた。これを受けて、1995年12月に告示（昭和55年建設省告示第1792号）が改正され、剛性率に基づいた設計用地震力の割増係数 F_s の上限値が撤廃された^[1-3]。その2年後に発刊された1997年版建築物の構造規定^[1-4]では、付録1-11「ピロティ形式の建築物に対する耐震設計上の留意点」が追記され、ピロティ建築物の構造設計の方法が示された。ここでは、ピロティ階での層崩壊を許容しない設計方針とした設計法が示されており、そのためには、①全ての構面がピロティ構面とする純ピロティ型建築物ではなく、一部の構面をピロティ階のない連層耐力壁構面とする一部耐力壁付きピロティ型建築物とすること、②ピロティ階の剛性及び強度を十分に強くしピロティ階より上の耐力壁で壁の曲げ降伏とする設計などが示された。その後ピロティ建築物に関する研究成果が蓄積されたことを受けて、2007年版の技術解説書^[1-5]では「ピロティ階の層崩壊形及び全体崩壊形を許容する設計法」が示された。この設計法では、ピロティ柱の軸引張降伏による全体曲げ崩壊形やピロティ柱の両端曲げヒンジによる層崩壊形が示された。

一方、既存の建築物に対しては、1995年10月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が施行され、1981年5月以前の旧耐震基準に基づき設計された建築物については、その耐震診断及び耐震改修が法律上で位置づけられた。この耐震診断及び耐震改修の具体的な方法は、1977年に刊行され、1990年に改訂された耐震診断基準及び耐震改修設計指針などによって実施されていた。その後、2001年にさらに改訂された2001年版の耐震診断基準及び耐震改修設計指針^[1-6]では、付録2.2.3「下階壁抜け柱」が示され、ピロティ柱の評価法が具体的に示された。また、さらに改訂された2017年版の耐震診断基準及び耐震改修設計指針^[1-7]の3.3「形状指標」において、ピロティ建築物の剛性率の評価方法が改訂された。

このような状況下において、2016年熊本地震が発生した。熊本地震の被害調査報告書^[1-8]では、ピロティ建築物における、ピロティ階直上の耐力壁の下の枠梁の破壊やピロティ柱の柱梁接合部の被害が報告されており、1.3節にて詳しく説明を行う。一方で、最近の研究においてこのようなピロティ階直上の耐力壁の下の枠梁やピロティ柱の柱梁接合部に関する研究が報告されており、1.4節にて詳しく説明を行う。ピロティ柱の柱梁接合部に関する研究結果を受けて、2010年RC規準^[1-10]の17条1の解説では、ピロティ柱の柱梁接合部についての留意事項や推奨配筋詳細が示された。2010年RC規準^[1-10]の19条6の解説では、1999年RC規準^[1-9]と比べ枠梁・枠柱の推奨条件の緩和がされていたが、ピロティ階直上の耐力壁の下の枠梁の破壊に関する研究結果を受けて、その後の2018年RC規準^[1-11]の19条6の解説では、ピロティ階直上の耐力壁の枠梁については推奨条件が強化された。また、2018年RC規準^[1-11]19条6の解説に、ピロティ階直上の耐力壁の縦筋について注意喚起が追加された。2020年版の技術基準解説書^[1-1]の付録1-6.2の解説には、以上の研究に関連する注意喚起が追記された。

表 1.1.2-1 地震被害とピロティ建築物の設計法の変遷

西暦	主な出来事	地震発生	法令	技術基準 解説書	RC規準	診断基準
1995	1月：兵庫県南部地震によってピロティ建築物の被害が確認された。 10月：「建築物の耐震改修の促進に関する法律」施行 12月：昭和55年建設省告示第1792号第7「Fesを算出する方法」の改正が実施された。	兵庫県 南部地震	10月： 耐震改修促 進法施行 12月： 告示改正	1995年 版刊行		
1996						
1997	1997年版の技術基準解説書にて、付録1-11「ピロティ形式の建築物に対する耐震設計上の留意点」が追加された。			1997年 版刊行		
1998						
1999					1999年 版刊行	
2000						
2001	2001年診断基準にて、付録2.2.3「下階壁抜け柱」が追加された。			2001年 版刊行		2001年 版刊行
2002						
2003						
2004		新潟県 中越地震				
2005						
2006						
2007	2007年版の技術基準解説書にて、付録1-6.2「ピロティ階の層崩壊形式および全体崩壊形式を許容する設計法」が追加された。			2007年 版刊行		
2008						
2009						
2010	・2010RC規準19条6の解説に、耐力壁の枠梁・枠柱の推奨条件の緩和がされた。 ・2010RC規準17条1の解説に、ピロティ柱の柱梁接合部についての推奨配筋詳細が示された。				2010年 版刊行	
2011		東北地方 太平洋沖 地震				
2012						
2013						
2014						
2015					2015年 版刊行	
2016	熊本地震によってピロティ建築物の被害が確認された。	熊本地震				
2017	2017年診断基準にて、3.3「形状指標」が改訂された。					2017年 版刊行
2018	・2018RC規準19条6の解説に、ピロティ階直上の耐力壁の枠梁については推奨条件が強化された。 ・2018RC規準19条6の解説に、ピロティ階直上の耐力壁の縦筋について注意喚起が追加された。	北海道胆振 東部地震			2018年 版刊行	
2019						
2020	2020年版の技術基準解説書、付録1-6.2の解説に、ピロティ柱の柱梁接合部やピロティ階直上の耐力壁の枠柱や枠梁についての注意喚起が追加された。				2020年 版刊行	

1.1.3 2016年熊本地震での被害状況

(1) ピロティ建築物の被害概要

2016年熊本地震で被害を受けたピロティ建築物について、被害調査報告書^[1-8]から抽出し、その概要を表1.1.3-1に示す。なお、詳細な被害状況は被害調査報告書^[1-8]参照されたい。今回抽出した中では、被害を受けたピロティ建築物17件のうち、5件が旧耐震建築物、6件が1995年告示改正前の新耐震建築物、5件が1995年告示改正後の新耐震建築物、1件が建設年不明の建築物であった。

倒壊と判定された2件の建築物は、旧耐震により設計された建築物であり、新耐震で設計された建築物で倒壊した例はなかった。一方で、1995年告示改正前と改正後の新耐震建築物において、それぞれ2件の建築物で被災度区分判定結果が大破となった。新耐震で設計されたピロティ建築物の被害は兵庫県南部地震でも確認されているものの、兵庫県南部地震の被害を受けて告示改正された後に建設された建築物が大破となった例は、今まで確認されてこなかった。

また、ピロティ階の被害があった建築物では、ピロティ柱の破壊だけでなくピロティ階直上の耐力壁の下の枠梁の損傷や破壊（共同住宅D、I、J、K、店舗BL）や、ピロティ柱の柱梁接合部（共同住宅D）の被害が報告されている。

表1.1.3-1 熊本地震で被害を受けたピロティ建築物一覧

ID	耐震基準	速報建物名	構造種別	階数	被災度区分 判定結果	建設年	被害概要
1	新耐震	共同住宅B	RC造	9	大破	2006	・ピロティ柱の主筋が引張破断
2	新耐震	共同住宅I	RC造	9	中破	2001	・ピロティ階直上の梁端部のせん断破壊 ・ピロティ柱に顕著な損傷無し
3	新耐震	共同住宅G	RC造	6	中破	2000	・ピロティ階に顕著な損傷無し ・2階柱のせん断破壊 ・2階袖壁・方立壁のせん断破壊
4	新耐震	共同住宅A	RC造	4	大破	1998	・ピロティ柱の柱頭部曲げ破壊
5	新耐震	共同住宅U	SRC造	13		1998	・ピロティ階に顕著な損傷無し ・2階以上の方立壁の損傷
6	新耐震	共同住宅J	RC造	6	中破	1992	・ピロティ柱の柱頭部の損傷 ・ピロティ階直上の梁や垂れ壁の損傷
7	新耐震	共同住宅D	RC造	10	大破	1992	・ピロティ柱のせん断破壊 ・ピロティ柱の柱脚部曲げ破壊 ・ピロティ柱の柱梁接合部ひび割れ ・ピロティ階直上の梁の曲げ破壊 ・ピロティ階直上の梁の中央部で鉛直たわみ
8	新耐震	共同住宅K	SRC造	11	小破	1991	・ピロティ柱の損傷 ・ピロティ階直上の梁の損傷 ・非構造壁のせん断破壊
9	新耐震	共同住宅H	RC造	4	中破	1986	・ピロティ柱のせん断破壊
10	新耐震	共同住宅C	RC造	4	大破	1985	・ピロティ柱の付着割裂破壊 ・ピロティ柱の柱頭部曲げ破壊
11	新耐震	共同住宅N	SRC造	14, 11	無被害(構造部) 大破(非構造)	1982	・ピロティ階に顕著な損傷無し ・非ピロティ階の非構造壁のせん断破壊
12	旧耐震	共同住宅BG	SRC造	11		1979	・ピロティ階に顕著な損傷無し ・非構造壁のせん断破壊
13	旧耐震	店舗BL	RC造	4	大破	1976	・ピロティ柱の付着割裂破壊 ・ピロティ柱の柱頭部曲げ破壊 ・ピロティ階直上の梁の曲げ破壊
14	旧耐震	共同住宅兼店舗AX	RC造	9	倒壊	1974	・ピロティ階の層崩壊
15	旧耐震	共同住宅兼店舗BH	RC造	7		1973	・ピロティ柱の軽微な損傷
16	旧耐震	事務所BD	RC造	3	倒壊		・ピロティ階の層崩壊
17	不明	事務所BZ	RC造	4			・ピロティ柱のせん断破壊

第1章 はじめに

(2) 対象建築物の被害概要

2016年熊本地震で被害を受けたピロティ建築物のうち、本研究で対象とする共同住宅D（以下、対象建築物）の被害概要を以下に示す。なお、この被害概要は被害調査報告書^[1-8]に記載した内容と同じである。

対象建築物は桁行方向5スパン、張間方向1スパンの10階建てRC造共同住宅であり、1階は駐車場となっている。また、北側で10階建ての別棟とエキスパンションジョイントで接続されている（図1.1.3-1）。桁行方向のスパン長さは外側で6.0m、内側で6.4m、張間方向のスパン長さは11.7mである（図1.1.3-2）。本詳細調査では、被害の概要を把握するとともに、被害が大きい1階を対象とした被災度区分判定を実施した。

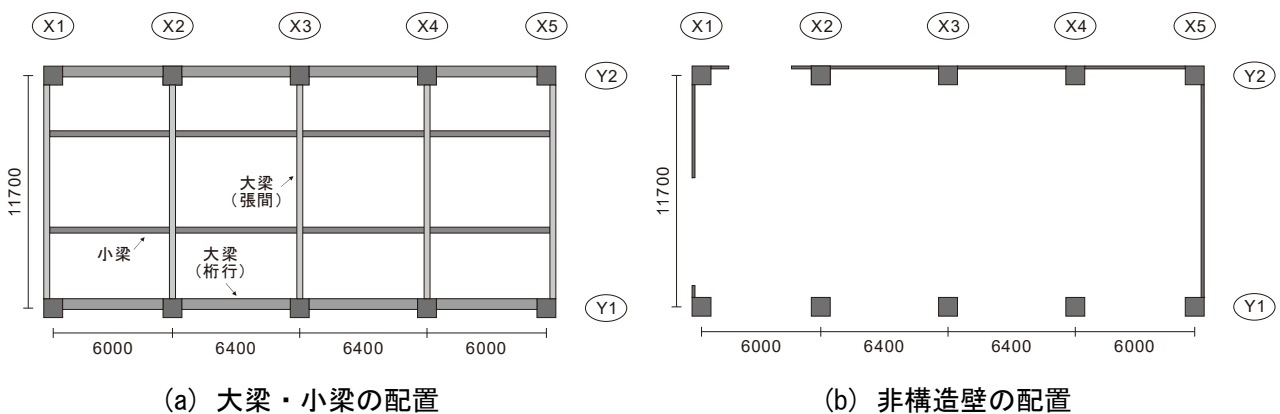


(a) 南側

(b) 北側（写真右側の建築物）

図 1.1.3-1 建築物の外観

現地で計測したところ、1階柱の断面は950mm×950mmで、主筋にはD25が用いられており、せん断補強筋はD13がおよそ75mmピッチ（柱中央高さ付近）で配筋されていた。また、建築物の外周部では2階大梁が1階柱に偏心して取り付けられており、柱側面と大梁側面が揃っていた。張間方向の大梁は、桁行方向の大梁と比較して、せい、幅共に短かった。張間方向の大梁の下端筋にはD25が用いられており、せん断補強筋はD10がおよそ200mmピッチ（梁端部）で配筋されていた（図1.1.3-3）。



(a) 大梁・小梁の配置

(b) 非構造壁の配置

図 1.1.3-2 1階の平面図(単位: mm)



図 1.1.3-3 1階柱主筋, 2階大梁（張間方向）の配筋

1階の外周部には、壁厚 150mm で、柱際に沿って部分スリットが設けられている RC 壁が設けられていた（図 1.1.3-4）。以降、完全スリットを有さない壁を非構造壁と称する。破壊した箇所を見ると、厚さ 50mm 程度の部分スリットが埋め込まれており、壁筋は D10 がおよそ 200mm ピッチで配筋されていた。したがって、張間方向に関しては、2階以上には耐力壁が配置されているが、その直下の1階には耐力壁がなく、柱だけで構成される純ピロティ構造として設計された可能性がある。



図 1.1.3-4 柱際に設けられた非構造壁の部分スリット

被災度区分判定基準^[1・12]に従い、被害が最も大きい 1 階について、部材損傷度の判定を行った。図 1.1.3-6 中に判定した損傷度を示す。柱の損傷度と比較して、大梁や柱梁接合部の損傷度が大きい場合には、これらの損傷度を柱の損傷度に読み替えた。代表的な部材の損傷状況を図 1.1.3-5 に示す。10本の柱のうち、3本の柱の損傷度がVとなった。1本（X4Y2）は中心高さ付近で、1本（X5Y1）は脚部で破壊し、コンクリートが剥落すると共に主筋が座屈した。また、もう1本の柱（X3Y2）では、柱自体の損傷度はIIに留まったが、張間方向の大梁の下端筋が座屈したため、損傷度をVとしている。また、隅角部の柱（X1Y1）では、大梁が偏心して取り付いた柱梁接合部でひび割れ幅が 2.0mm を超えるひび割れが確認されたため、損傷度をIVとしている。

表 1.1.3-1 に被災度区分判定の結果を示す。本建築物は 1982 年以降に建設されており、柱の内法高

第1章 はじめに

さを柱せいで除した値が 3.0 未満となるため、1 階柱を「曲げせん断柱」に分類して、残余性能の評価を行った。桁行方向と比較し、張間方向の方が損傷度 V に分類される部材の数が多いため、耐震性能残存率はやや低く、桁行方向の耐震性能残存率は $R=35$ (%)、張間方向の耐震性能残存率は $R=31$ (%) となった。被災度はいずれの方向についても「大破」となった。



(a) 柱 (X4Y2)



(b) 柱 (X5Y1)



(c) 張間方向大梁 (X3Y2)



(d) 柱梁接合部 (X1Y1)



(e) 非構造壁 (X5 構面)



(f) 非構造壁 (Y2 構面, X3-X4 間)

図 1.1.3-5 各部材の損傷

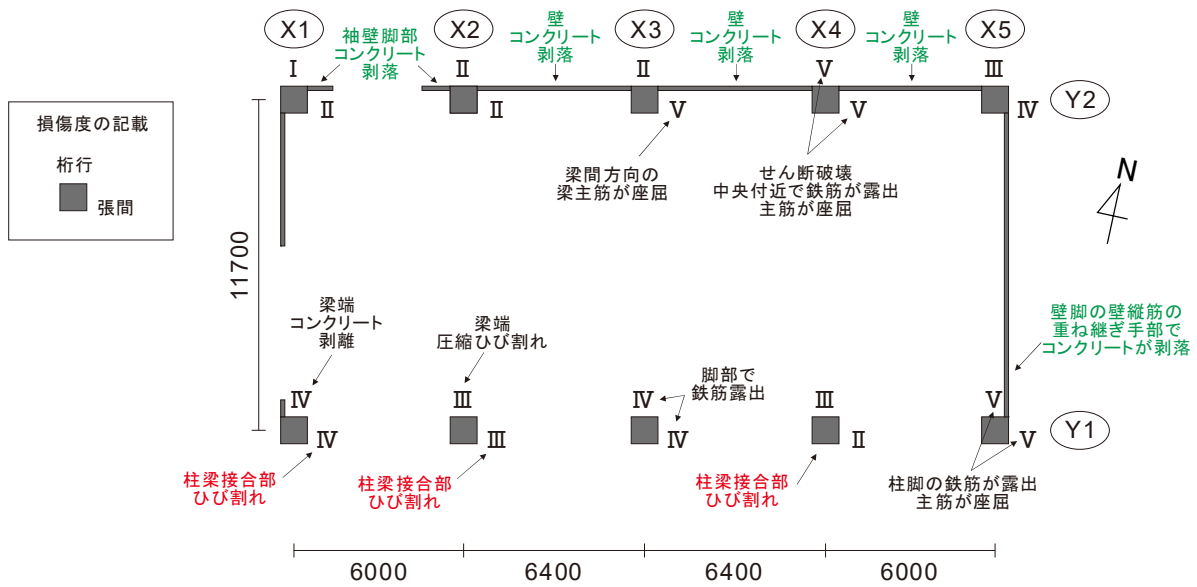


図 1.1.3-6 被災度判定の結果

表 1.1.3-1 被災度判定の結果

(a) 桁行方向

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
V	2	0.00	0.00
IV	3	0.10	0.30
III	2	0.40	0.80
II	2	0.70	1.40
I	1	0.95	0.95
合計	10		3.45
		耐震性能 残存率	35% 大破

(b) 張間方向

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
V	3	0.00	0.00
IV	2	0.10	0.20
III	2	0.40	0.80
II	3	0.70	2.10
I	0	0.95	0.00
合計	10		3.10
		耐震性能 残存率	31% 大破

上階の桁行方向の共用廊下側の構面でも、1階と同様に柱際に部分スリットが設けられていたが、特に2, 3階では、コンクリートの剥落を伴うような袖壁、腰壁、方立壁の被害が見られた(図 1.1.3-7)。また、柱の損傷度がVと判定され、柱や大梁が大きな損傷を受けた張間方向のX3, X4構面では、スパン中央付近で2階大梁に数センチ程度の鉛直たわみが生じていることを確認している。



図 1.1.3-7 2階共用廊下側の方立壁の被害

1.1.4 既往の研究

(1) 建築基準整備促進事業で実施された研究

2010年度及び2011年度に、国土交通省建築基準整備促進事業にて、「31. 最下階で壁抜けを有する連層耐力壁周辺架構の条件設定に関する実験」が実施された。この事業では、ピロティ建築物を対象として、下記の2点を対象として実験が実施された。

- ① ピロティ階と2階で柱断面が大幅に変わる場合、ピロティ柱の柱梁接合部内における応力伝達機構を踏まえた配筋の条件を明確にするための構造実験
- ② ピロティ階直上耐力壁の配筋条件や、その耐力壁下枠梁の梁せいなどが、ピロティ構面の構造性能に及ぼす影響を明確にするための構造実験

これらの実験および、その実験結果を用いた設計法の提案などを以下に概説する。なお、国土交通省建築基準整備促進事業による研究ではないものの、研究内容が関連する研究も併せて紹介する。

1) ピロティ柱の柱梁接合部に関する研究

ピロティ階の水平耐力を確保するためには、ピロティ柱の断面は、その他の柱の断面に比べて大きくなることが多い。そのため、ピロティ柱の柱梁接合部は通常の柱梁接合部とは形状が異なり、その応力状態が複雑となる。そこで花井ら^[1-13]は、1/4スケールの部分架構試験体3体を作成し構造実験を実施した結果、接合部のかき出し破壊が起こったことを報告している。

このような実験を受けて、2010年度及び2011年度の国土交通省建築基準整備促進事業では、ピロティ柱の柱梁接合部は1/3スケールの部分架構試験体4体と1/2スケールの部分架構試験体12体を作成し構造実験を実施した。それらの実験結果が文献[1-14]～[1-19]に報告されている。また、国土交通省建築基準整備促進事業の実験ではないが、関連する実験が文献[1-20]に報告されている。この一連の実験結果に対して、文献[1-21]～[1-31]のようにその評価法についての検討が進められてきた。

2) ピロティ階直上耐力壁の配筋条件や、その耐力壁下枠梁に関する研究

2010年度及び2011年度の国土交通省建築基準整備促進事業では、1/3スケールの架構試験体6体を作成し、文献[1-32]～[1-34]で報告している。この実験の結果、ピロティ階直上耐力壁の壁縦筋やその下の枠梁の断面サイズによる検討が進められ、それらの試験体の破壊モードや設計法に関して、文献[1-35]、[1-36]で報告されている。

(2) 新築のピロティ建築物に関する研究

新築のピロティ建築物を対象とした研究のうち、特に新耐震基準（1981年）以降に建設された建物を対象とした研究を下記のように簡単に紹介する。

1) 構造実験を実施した研究

中塚ら^[1-37]及び春田ら^[1-38]は、それぞれ6層と12層のピロティ建築物を対象としたサブストラクチャー仮動的実験を実施した。両試験体ともに、それぞれのピロティ建築物の下層2層部分の試験体（試験体スケール1/2.5）を作成し実験を行った。それぞれにおいて、事前の予備解析と同じくピロティ層の層崩壊が実験で確認されたことを報告している。春田ら^[1-39]、Arzpeimaら^[1-40]は、これらの実験結果を用いて、建築物の高さや変動軸力の影響についての検討を報告している。

真田ら^[1-59]は、6層の一部耐力壁付きピロティ型建築物をフレームモデルでモデル化し、実験前の事前解析として荷重増分解析を実施した。この解析では、立体解析と平面解析をそれぞれ実施した結果を報告している。この解析により設計した、6層の一部耐力壁付きピロティ型建築物を対象として、1/3スケールの6層立体試験体を作成し、動的載荷実験を実施した結果を報告している^[1-41]。また、その実験結果についての検討結果を文献^[1-42]^[1-43]で、設計法の提案を文献^[1-64]で報告している。

犬飼ら^[1-44]は、ピロティ柱の靱性を向上させるためにRC柱に芯鉄骨を付加した検討を実施した。14階建てのピロティ建築物のピロティ柱を想定して、1/3スケールの試験体3体を作成して実験を実施し、その結果を報告している。

楠ら^[1-45]^[1-46]は、6層の一部耐力壁付きピロティ型建築物を対象として、1/3スケールの6層立体試験体を作成し、仮動的載荷実験を実施した結果を報告している。

郡司ら^[1-47]は、12層のピロティ建築物を対象としたサブストラクチャー擬似動的実験を実施した。ピロティ架構の圧縮と引張のそれぞれのピロティ柱試験体2体を同時に加力し、その結果を報告している。

中村ら^[1-48]は、10層の一部耐力壁付きピロティ型建築物を対象として、1/4スケールの柱および耐力壁試験体を作成し、静的載荷実験を実施した。また、同じ対象建築物に対してピロティ柱にHFRCC（Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites、高強度鋼繊維と合成繊維を混入したハイブリッド型の繊維補強セメント系複合材料）を用いた試験体を作成し、静的載荷実験を実施した結果を報告している^[1-49]。

吉村ら^[1-50]、馮ら^[1-51]、井戸裕ら^[1-52]^[1-53]は、ピロティ階直上の耐力壁脚部で曲げ降伏を計画したピロティ建築物を対象として、スケール30%のピロティ架構試験体を2体製作して実験を実施した結果を報告している。

2) 設計法や解析手法に関する研究

小室ら^[1-54]は、ピロティ建築物を平面フレームモデルと1質点系モデルでモデル化し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した結果を報告している。

張^[1-56]は、ピロティ建築物を1質点2自由度系モデルにモデル化し、地震応答解析を実施した結果を報告している。

Abimanyuら^[1-57]は、15層の一部耐力壁付きピロティ型建築物をフレームモデルでモデル化し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した結果を報告している。また、層せん断余裕率という指標の提案を行い、検討した結果を報告している。

花井ら^[1-58]は、ピロティ建築物を多質点系モデルでモデル化し、地震応答解析を実施した結果を報告

第1章 はじめに

している。

顧ら^[1-60]は、6層・10層・14層のピロティ建築物を平面フレームモデルでモデル化し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した結果を報告している。この結果から、等価剛性比（ピロティ柱の引張降伏時の等価剛性が上部耐力壁の初期剛性の平均値に対する割合）を用いた簡便な評価法の提案を行った。また松本ら^[1-62]は、これらの平面フレームモデルを用いた解析を用いて等価剛性比の略算法の提案を行った。

馬ら^[1-61]は、3層・6層のピロティ建築物を平面フレームモデル及び3次元3質点系でモデル化し、平面フレームモデルでは荷重増分解析を、3質点系モデルでは地震応答解析を実施した結果を報告している。

向井ら^[1-63]は、5層・10層のピロティ建築物の平面フレームモデルを作成し、それを等価な1質点縮約系でモデル化し地震応答解析を実施している。それぞれの解析結果を比較検討した結果を報告している。

長江ら^[1-65]は、ピロティ建築物を対象に基礎構造と上部構造の平面一体解析モデルを作成し、時刻歴応答解析を実施し、基礎梁降伏を許容する設計方法についての報告を行っている。

長江ら^{[1-66][1-67]}は、6層のピロティ建築物を対象として、建築物の耐震性能を確率論的評価する手法の骨子を順序立てて整理した結果を報告している。

近森ら^[1-68]は、一部耐力壁付きピロティ型建築物と純ピロティ型建築物のそれぞれの平面フレームモデルを作成し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した結果を報告している。

平石ら^[1-69]は、5層・7層・10層のピロティ建築物を等価1質点系モデルでモデル化し、地震応答解析を実施した結果を報告している。

松本ら^[1-70]は、6層のピロティ建築物の平面フレームモデルを作成し、荷重増分解析と地震応答解析を実施し、限界変形と累積エネルギーに関する検討について報告している。

内田ら^[1-71]は、10層の純ピロティ型建築物の2次元有限要素モデルを用いて荷重増分解析を実施し、その解析結果からピロティ階直上の耐力壁の枠梁の設計法などについての検討結果を報告している。

朱ら^[1-72]は、10層の純ピロティ型建築物の立体フレームモデルを作成し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した。この解析での地震力を水平2方向より与えることで、特にピロティ柱への変動軸力への影響についての検討結果を報告している。

市之瀬ら^[1-73]は、ピロティ建築物を対象に、実際の設計で用いられるフレーム解析モデルにおいて、ピロティ階直上耐力壁の枠梁のモデル化手法の検討を行い報告している。

板倉ら^[1-74]は、ピロティ階での層崩壊を計画したピロティ建築物を平面フレームモデルでモデル化し、荷重増分解析と地震応答解析を実施した結果を報告している。

3) 地震被害調査に関する研究

芳村ら^[1-55]は、1995年の兵庫県南部地震で被害を受けたピロティ建築物を対象として、平面フレームモデルを作成し地震応答解析を実施した結果を報告している。また、ピロティ階に必要な耐力を2層以上の耐力に対する比とする指標の提案を行った。

島津ら^[1-75]は、2016年熊本地震で倒壊したピロティ建築物を対象に、1部材1要素とする立体FEMモデルを作成し検討を実施した。そのモデルを用いた荷重増分解析を行い、対象建築物の地震被害の再現を実施した結果を報告している。

(3) 既存ピロティ建築物の補強に関する研究

既存のピロティ建築物の補強を対象とした研究を下記のように紹介する。

岩淵ら^{[1-76][1-78][1-79]}、福山ら^[1-77]は、新耐震基準（1981年）以降に建設された既存のピロティ建築物に対して、HPFRCC（高靱性繊維補強セメント系複合材料）を材料とした短スパン柱を応答制御デバイスとして用いる耐震補強工法の提案を行っている。一連の研究の中で、応答制御デバイス単体の静的載荷実験^[1-76]や、応答制御デバイスを架構に組み込んだ場合の部分仮動的実験^{[1-78][1-79]}、地震応答解析を用いた設計法の検討^[1-77]などが実施されている。

塩屋ら^{[1-80][1-87][1-89]}、幸加木ら^{[1-81][1-83]}、増田ら^[1-82]、大川ら^{[1-84][1-85]}、岡元ら^{[1-86][1-88]}は、既存のピロティ建築物に対して、圧縮抵抗型のモルタル充填鋼管ブレースを用いる耐震補強工法の提案を行っている。一連の研究の中で、ブレースの一軸圧縮実験^{[1-80][1-82]}、ブレースを取り付ける既存梁部側の一軸圧縮実験^{[1-80][1-81][1-84]}、平面フレームモデルを用いた荷重増分解析^[1-82]、ブレースを取り付けた2層架構試験体を用いた静的加力実験^{[1-83][1-85][1-87]}、提案した圧縮抵抗型のモルタル充填鋼管ブレースを用いた耐震補強工法の設計手法の提案^{[1-86][1-87][1-88][1-89]}などが実施されている。

前田ら^[1-90]、小林ら^[1-91]は、既存のピロティ建築物に対する耐震補強工法として、ピロティ階に無筋の袖壁または無筋の開口無し耐力壁の増設を行う工法を提案した。この時、柱と増設壁が一体となるように鋼板により巻き建てる工法を採用している。この工法を採用した2層の架構試験体を用いて静的載荷実験を実施した結果を報告している。また小林ら^{[1-91][1-92]}は、同様の実験シリーズにおいて、枠付き鉄骨ブレースをピロティ階に接合する耐震補強工法を提案し、1層の架構試験体を用いて静的載荷実験を実施した結果を報告している。

菅野ら^{[1-93][1-94]}、林ら^[1-95]は、既存のピロティ建築物に対する耐震補強工法として、履歴鋼材ダンパーをピロティ階に設置する工法の提案を行っている。ピロティ階の圧縮側柱と引張側柱、履歴ダンパーの3つの試験体に対して、同時に載荷を行うサブストラクチャ擬似動的実験を実施した結果を報告し^[1-93]、またこの実験について解析を用いた検討結果も報告している^{[1-94][1-95]}。

織裳ら^{[1-96][1-97]}、向井ら^[1-98]は、既存のピロティ建築物の履歴型ダンパーによる耐震補強設計手法に関して、等価な1質点系モデルを用いてダンパーの補強量を決定する設計法を提案しその検討結果を報告している。

1.1.5 建築物の地震後の継続使用性評価に関する研究

建築研究所では、2013年から3カ年実施した研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」において、地震後継続使用性を確保するための構造設計法についての検討を行った。この課題では、東日本大震災により被災した建築物の地震後の継続使用性に関する調査を行い、地震後に継続使用できなかった原因（阻害要因）の分析を行い、地震後の継続使用性に資する防災拠点施設等に対する要求性能の提案を行った。この内容の概略を以下に示す。

(1) 地震後の継続使用性を対象にした要求性能の位置づけ

「官庁施設総合耐震計画基準」では、官庁施設の整備計画の作成に当たり、施設が有すべき大地震動時及び大地震動後の耐震安全性の目標を定め、施設の設計時にその安全性に対する検証が求められている。同基準で定める各部位の耐震安全性の目標設定の考え方は、補修の要否の違いはあるが大地震動後の十分な機能確保が図られるかどうかという視点に基づいており、本研究で目標とする継続使用性の確保と方向性が合致する。したがって、本研究で検討する要求性能では同基準で定める耐震安全性の目標設定の考え方と整合するよう留意するとともに、東日本大震災により被災した建築物の分析結果を踏まえば基礎構造や非構造部材（RC造非耐力壁や天井）の被害も継続使用の阻害要因であったことから、これらの部位については同基準よりきめ細かな性能目標を新たに設定している。

(2) 適用対象施設と活動上重要なエリアの設定

官庁施設に関して、「業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針（平22年）」では非常時の優先業務が確実に実行されるために、耐震安全性に係る機能が確保され、執務空間や活動支援空間が安全な状態で維持されることが重要であること、また、これらの機能を支える基幹設備機能も確保されなければならないことが示されており、活動上重要なエリアを設定する上で参考になる。

ここで執務空間とは非常時優先業務を行う室、活動支援空間とは非常時優先業務を行うに当たり職員の活動を支援するために必要となる移動機能、物品の保管機能等を有する空間である。また、基幹設備とは執務空間や活動支援空間での機能を維持するために必要となる電力、通信・情報、給排水、エレベータ等の建築設備の主要部分及び幹線部分をさしている。

体育館等に関しては、既に建築計画時に地域防災計画で避難所として位置づけられ、又は将来に位置づけられる可能性がある場合に、発災時に被災者の受け入れの室として供されることが考えられる。「官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説」において体育館、講堂、大研修室等是不特定多数の被災者を受け入れ、一時的な生活の場として提供することができる室として定義されており、これらの用途建築物も要求性能の適用対象になり得る。

一方、集合住宅は官庁施設や体育館等と用途の性質が異なるが、被災した棟数が多くなればその結果として、被災住民による避難者数も多くなり、近隣の避難所で想定していた収容人数を超えるおそれもある。その意味で本研究では、集合住宅も庁舎その他の防災拠点施設と同様に地震後の継続使用性確保が求められる建築物に位置づけている。また、各住戸は居住者にとって生活の拠点であるから、全住戸が活動上重要なエリアに該当すると考えられる。

(3) 性能目標ランクの設定

地震後の継続使用性確保のための性能目標ランクは、上位からS, A, Bの3段階を提示している。設計者又は施主はこの中から、設計対象建築物に要求する継続使用性確保のための性能目標を設定する。性

性能目標ランクは表 1.1.5-1 に示すように、対象施設の活動上重要なエリアとそれ以外のエリアにおいて、使用制限の有無に応じた継続使用の区分で分類している。

表 1.1.5-1 性能目標ランクの区分

性能目標ランク	活動上重要なエリア	左記以外のエリア
S	◎	◎
A	◎	○
B	○	○

(凡例) ◎：使用制限することなく継続使用可。○：使用制限した後に継続使用可。

(4) 要求性能の検討例

表 1.1.5-2 に、地震後の継続使用性の性能目標ランクとそれに対応する構造上の分類を示す。この表はマトリクス形式で提示しており、縦軸の各性能目標ランク S, A, B には表 1.1.5-1 に示したように、活動上重要なエリアとそれ以外のエリアの継続使用の可否状況が記述されている。一方、横軸には構造上の分類として基礎構造、上部構造、非構造部材を示している。なお、ここでは提示していないが、構造上以外の分類として設備、非常用電源、代替施設等も今後の検討のなかで提示できるとよい。

設計者は設定された性能目標ランクに応じて、これらの各部位ごとに要求される性能又は状態（上位からⅠ, Ⅱ, Ⅲ）を選択する。非構造部材は活動上重要なエリアとそれ以外のエリアに分けて、性能又は状態を提示している。ここで、例えば上部構造の分類（Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ）は総合耐震計画基準の構造体の分類（Ⅰ類, Ⅱ類, Ⅲ類）に概ね対応している。そのうえで、各部位ごとに選択した性能又は状態に従って、構造計算による性能の検証や仕様の検討が行われる。例えば目標ランク S であれば、すべての部位に対してⅠ類の状態が要求される。一方、目標ランク B であれば、状況に応じてⅠ類からⅢ類までの複数の組み合わせが考えられる。

表 1.1.5-2 地震後の継続使用性の性能目標ランク

目標ランク	活動上重要なエリア	左記以外のエリア	構造上の分類					
			基礎構造	上部構造	非構造部材			
					活動上重要なエリア	左記以外のエリア		
S 建築物の全体を使用制限することなく、継続使用できること。	●	●	F-I	S-I	N-I	N-I		
A 建築物の一部に使用制限が生じるが、活動上重要なエリアは使用制限することなく、継続使用できること。	●	○				F-II	S-II	N-II
B 活動上重要なエリアを含む建築物の一部に使用制限が生じるが、一定の措置後、継続使用できること。	○	○			F-III			S-III

- 使用制限することなく継続使用できる。
- 使用制限した後に継続使用できる。

第1章 はじめに

表 1.1.5-3 に、構造上の分類における基礎構造の性能又は状態を示す。基礎構造以外の上部構造、非構造部材も共通して、構造上の分類のⅠ～Ⅲ類は大地震後に当該部分に被害を許容するか否か、許容する場合にはどの程度の修復工事等を想定するか、という観点で定義している。

表 1.1.5-4 に、構造上の分類における上部構造の性能又は状態を示す。RC 造, S 造に示す損傷度と残留ひび割れ幅の数值は、「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（(財)日本建築防災協会）（2005 年）」に定める損傷度分類の基準に拠っている。

表 1.1.5-5 に、構造上の分類における非構造部材の性能又は状態を示す。ここでは、非構造部材のうち RC 造壁を例にしている。被害状態の目安となるひび割れ幅やはく落率の数值は既往の基準に掲げられていないので、構造実験の結果に基づいて設定した。

表 1.1.5-3 「構造上の分類」における基礎構造の性能又は状態

構造上の分類	基礎構造	
	地盤	基礎部材
Ⅰ 大地震動後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない。	(F_g-Ⅰ) 上部構造の耐久性に影響する沈下・変形が生じない状態。	(F_p-Ⅰ) 修復が不要な状態（例えば、部材は短期許容応力度以内に留まっている、など）。
Ⅱ 大地震動後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。	(F_g-Ⅱ) 上部構造が継続使用不能な沈下・変形に達しない状態で、比較的簡易に恒久復旧できる状態。	(F_p-Ⅱ) 基礎部材の損傷・沈下により、上部構造が継続使用不能とならない状態で、必要に応じて軽微な修復による恒久復旧が必要な状態。（例えば、部材は終局強度以内、かつせん断余裕度を確保できている、など）。
Ⅲ 大地震動後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する。	(F_g-Ⅲ) 上部構造が継続使用不能な沈下・変形に達しない状態で、長期間に渡る恒久復旧作業が必要な状態。	(F_p-Ⅲ) 基礎部材の損傷・沈下により、上部構造が継続使用不能とならない状態で、大規模な修復による恒久復旧が必要な状態。（例えば、一部に修復可能なヒンジ状態を許容する、など）

表 1.1.5-4 「構造上の分類」における上部構造の性能又は状態

構造上の分類	上部構造		
	RC造	S造	屋根支承部
I 大地震動後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない。	(S_R-I) 構造部材に生じる損傷によって修復が不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が0.2mm未満）。	(S_S-I) 構造部材に生じる損傷によって修復が不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（被災度が無被害の状態）。	(S_{RS}-I) 支承部の柱梁部材のコンクリートや支承部モルタルに亀裂がほとんど観察されないほぼ無損傷の状態。
II 大地震動後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。	(S_R-II) 構造部材に生じる損傷によって応急復旧は不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が1.0mm未満で、損傷度II程度）。	(S_S-II) 構造部材に生じる損傷によって応急復旧は不要で、高い残存耐震性能が確保されている状態（被災度が軽微の状態）。	(S_{RS}-II) 支承部の柱梁部材のコンクリートに亀裂が生じ、支承部モルタルにひび割れや一部の剥離、剥落が生じる程度の軽微な被害の状態。
III 大地震動後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する。	(S_R-III) 構造部材に生じる損傷によって計画的な修復を行うことが必要だが、残存耐震性能が確保されている状態（例えば、残留ひび割れ幅が2.0mm未満で、損傷度III程度）。	(S_S-III) 構造部材に生じる損傷によって計画的な修復を行うことが必要だが、高い残存耐震性能が確保されている状態（被災度が小破の状態）。	(S_{RS}-III) 支承部の柱梁部材のコンクリートにわずかなひび割れが生じ、支承部モルタルにひび割れや部分的な破壊が生じる小破程度の状態。

表 1.1.5-5 「構造上の分類」における非構造部材の性能又は状態

構造上の分類	非構造部材	
	RC造壁	
I 大地震動後、当該部分に被害（直ちに応急措置等を要しない軽微な損傷を除く）を許容しない。	(N_w-I) 壁部材に生じる損傷によって修復が不要で、取り付く建具に損傷がなく建具の機能が確保されている健全な状態（例えば、ひび割れ幅0.3mm未満、剥落率0.0%未満）	
II 大地震動後、当該部分の比較的小さな損傷に対して、応急措置又は軽微な修復の実施を許容する。	(N_w-II) 壁部材に生じる損傷によって修復が必要であるが、建具の機能が確保されている健全な状態（例えば、ひび割れ幅2.0mm未満、壁見付け面の剥落率1.0%未満）	
III 大地震動後、当該部分の損傷に対して、応急措置又は修復の実施を許容する。	(N_w-III) 壁部材に生じる損傷によって大規模な修復が必要で、建具の使用が困難な状態（例えば、壁見付け面の剥落率5.0%未満、脆性破壊（曲げ圧縮、せん断破壊）しない）	

1.2 研究目的

1.3 節で示したように、2016年の熊本地震では1981年6月以降に建設された、いわゆる新耐震の建築物において、大破となったピロティ建築物の例が見られた。この対象建築物では、ピロティ柱のせん断破壊、ピロティ階直上の耐力壁の下の枠梁の破壊、ピロティ柱の柱梁接合部の被害などが報告されている。そこで本研究では、このような建築物を対象として大地震後も継続使用するための設計法の提案を目的とした研究を実施する。本研究では、地震発生前に実施する既存ピロティ建築物の補強工法だけでなく、地震発生後に迅速に補強するための施工方法についても検討を行う。これらの補強工法についての構造実験を実施し、その成果をとりまとめ既存ピロティ建築物の迅速な補強工法の設計法に資する技術資料をとりまとめる。

1.3 各章の概要

1.3 節では、各章で実施した試験体の概要を示す。なお、各章で対象とした補強工法と対応する試験体について、表 1.3-1 に一覧表を示す。「○」は対象としたことを表し、「－」は対象としていないことを表している。表 1.3-1 に示すように、補強については3章から6章において実験を行い、7章および8章で耐力評価や試設計を実施した。一方、損傷後補強については、2章から5章で実験を実施し、それぞれの章で、それらの実験結果を基に耐力評価や骨組み解析などを実施した。

表 1.3-1 対象とする補強工法と試験体

	無補強	補強	損傷後補強
2章	○	－	○
3章	○	○	○
4章	○	○	○
5章	○	○	○
6章	－	○	－
7章	○	○	－
8章	○	○	－

第1章 はじめに

1.3.1 2章の概要

2章では、2016年熊本地震で大きな被害を受けた前述の10階建てRC造ピロティ建物の1階ピロティ柱を模擬した1/2スケールのRC柱試験体に対する載荷実験（一次載荷）、および一次載荷により損傷した柱試験体にUFCパネルによる挟込接着補強を実施して載荷実験（二次載荷）を再度行った結果を示す。試験体は、補強前に部材角3%まで載荷したC-C40T75、および最大耐力を発揮した部材角0.5%まで載荷したC-C40T75Mの2体である。実験実施時の様子を図1.3.1-1に示す。

2.1節では、本実験の背景および目的を示す。

2.2節では、実験概要として、試験体概要（補強前の柱試験体、補強方法、材料試験結果、試験体設計）、載荷方法、計測方法を示す。

2.3節では、実験結果として、試験体2体の一次載荷および二次載荷における荷重変形関係、損傷性状、変形性状、鉄筋ひずみ、UFCパネルの負担応力などを示す。

2.4節では、補強効果の評価として、試験体設計に用いた各耐力評価式による算定結果と実験結果の比較を示す。

2.5節では、有限要素解析を用いた検討として、実験結果の追跡およびパラメトリックスタディ（一次載荷での損傷度合いおよびUFCパネルの厚さや形状、目地モルタルの有無などの補強方法の違い）の結果に加え、一次載荷の損傷度合いの影響を考慮した耐力算定方法の検討結果を示す。

2.6節では、2.1節～2.5節の検討により得られたまとめと今後の検討課題を示す。

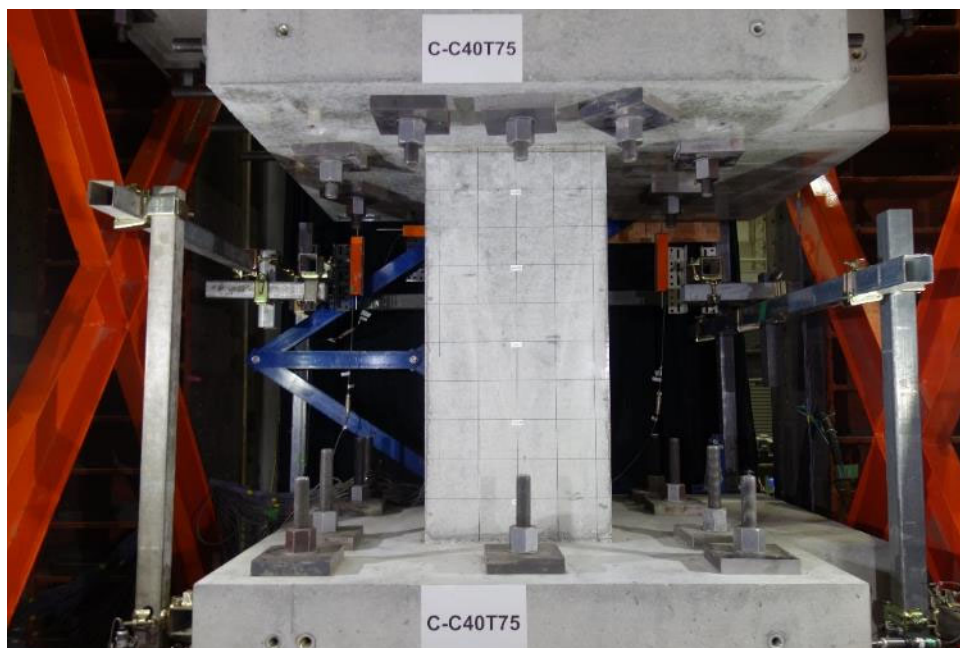


図 1.3.1-1 実験の実施状況

1.3.2 3章の概要

3章では、2章で対象としたRC造ピロティ柱について、迅速に施工できてかつ構造性能も向上させる耐震補強工法の開発を目的に静的加力実験を実施した結果を示す。試験体は、無補強試験体のC1、C1にRC壁を片側袖壁として取り付けたC1-RC1、C1にUFCパネルを片側袖壁として取り付けたC1-UFC1、C1の柱せい面にUFCパネルを貼り付けた補強試験体のC1-UFC2の合計4体を用いて実験を実施した。実験実施時の写真を図1.3.2-1に示す。各節の構成は以下のようになっている。

3.1節では、実験の背景を示す。

3.2節では、実験の概要として、試験体概要、材料特性、载荷方法、計測方法、補強方法を示す。

3.3節では、実験結果として、4体の試験体の実験結果をそれぞれ示す。

3.4節では、3.1節～3.3節の検討により得られたまとめを示す。

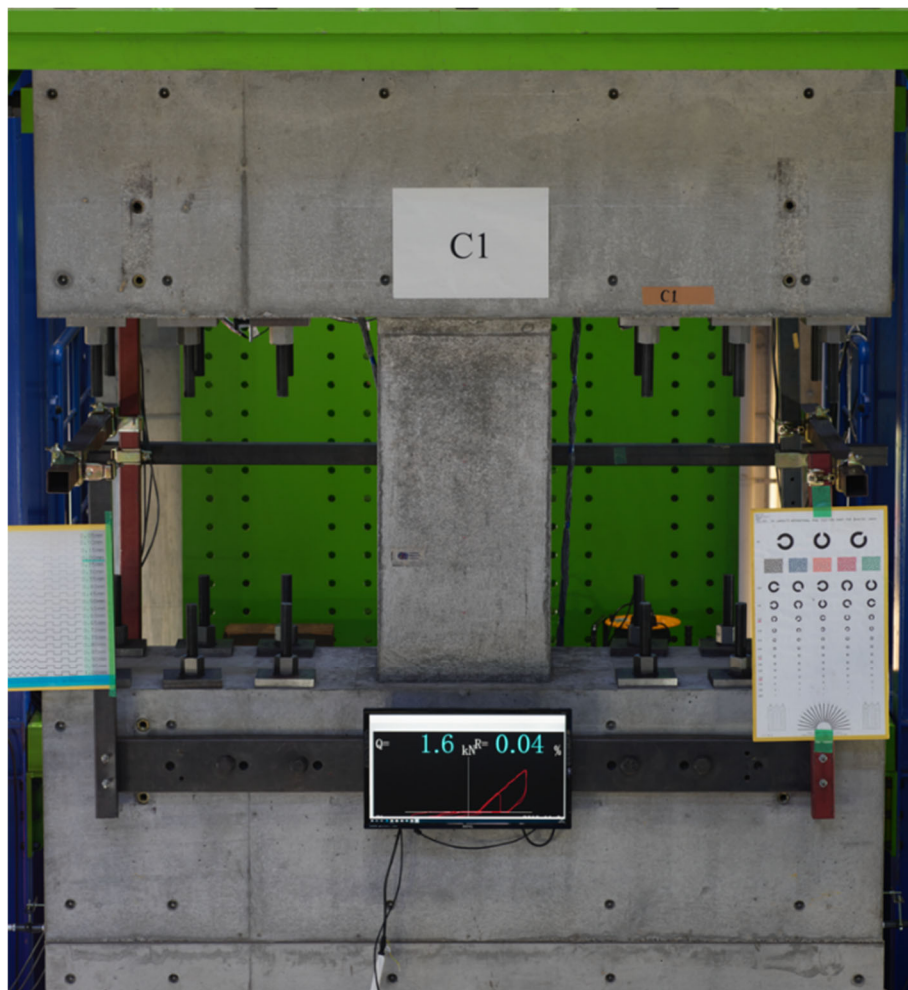


図 1.3.2-1 無補強試験体 C1

第1章 はじめに

1.3.3 4章の概要

4章では、本研究で対象とする1階ピロティ柱を模擬した1/3スケールのRC柱試験体を対象に、UFCパネル、UFC袖壁およびRC袖壁による補強を施して載荷実験を行った結果を示す。補強方法は、2章および3章の実験結果を踏まえ、端部を増厚したUFCパネルによる挟込接着補強、端部に目地を設けずにと施工アンカーを併用したUFCパネルによる挟込接着補強、UFC袖壁またはRC袖壁増設補強である。試験体は、無補強試験体1体、前述の補強を無損傷の状態を実施した試験体4体および部材角0.5%まで載荷した後に補強を施した試験体4体の合計9体である。実験実施時の様子を図1.3.3-1に示す。

4.1節では、本実験の背景および目的を示す。

4.2節では、実験概要として、試験体概要（補強前の柱試験体、補強方法、材料試験結果、試験体設計）、載荷方法、計測方法を示す。

4.3節では、実験結果として、試験体9体の荷重変形関係、損傷性状、変形性状、鉄筋ひずみ、補強部材（UFCパネル、UFC袖壁、RC袖壁）の負担応力などを示す。

4.4節では、有限要素解析を用いた検討として、一次載荷後に端部増厚したUFCパネルによる挟込接着補強を行ったC-USJ-Mを対象とした解析結果を示す。

4.5節では、補強効果の評価として、試験体設計に用いた各耐力評価式による算定結果と実験結果の比較を示す。

4.6節では、4.1節～4.5節の検討により得られたまとめと今後の検討課題を示す。



図 1.3.3-1 実験の実施状況

1.3.4 5章の概要

5章では、2章～4章で実施したピロティ柱の補強工法について、架構内での補強効果の確認を実施することを目的に静的加力実験を実施した結果を示す。試験体は、無補強試験体のF1および補強試験体のF1-R（損傷後補強試験体）、F2-R（補強試験体）の合計3体を用いて実験を実施した。無補強試験体F1は1F層間変形角 $\gamma_{Rx}=1.0\%$ までの載荷を実施した。載荷後、F1試験体に補修補強を施した試験体がF1-Rである。また、F2-Rは事前に載荷せずに補強を施した試験体である。実験実施時の写真を図1.3.4-1に示す。各節の構成は以下のようになっている。

5.1節では、実験の背景を示す。

5.2節では、実験の概要として、試験体諸元、材料特性、試験体の設計、試験体の基規準との適合状況、載荷方法、計測方法、補強方法を示す。

5.3節では、実験結果として、それぞれの3体の試験体の実験結果を示す。

5.4節では、それぞれの3体の試験体について実施した骨組み解析結果を示す。

5.5節では、それぞれの3体の試験体について実施した有限要素解析結果を示す。

5.6節では、5.1節～5.5節の検討により得られたまとめと今後の検討課題を示す。



図 1.3.4-1 無補強試験体 F1

第1章 はじめに

1.3.5 6章の概要

6章では、UFCパネル貼り付け時の施工性の向上を目的として、UFCパネルを複数に分割して既存RC柱に貼り付けた試験体を用いた静的加力実験の結果を示す。実験は、非分割のUFCパネルを貼り付けたC2-UFC1と、UFCパネルの分割方法を実験変数としたC2-UFC2、C2-UFC3の合計3体の試験体を用いて実施した。C2-UFC1は前章までの試験体と同様に、非分割のUFCパネルを貼り付けた試験体である。C2-UFC2はUFCパネルを縦方向に7分割して貼り付けた試験体である。C2-UFC3はC2-UFC2の分割方法に加え、横方向にも分割を施し、縦方向に7分割、横方向に4分割してUFCパネルを貼り付けた試験体である。実験実施時の状況を図1.3.5-1に示す。各節の構成は以下のようになっている。

6.1節では、実験の背景を示す。

6.2節では、実験の概要として、試験体諸元、材料特性、载荷計画、計測計画を示す。

6.3節では、試験体3体のそれぞれの実験結果を示す。

6.4節では、考察として、3体の試験体の実験結果の比較を通じた、UFCパネルを分割することによる補強効果への影響を示す。

6.5節では、6.1節～6.5節の検討により得られた結論を示す。

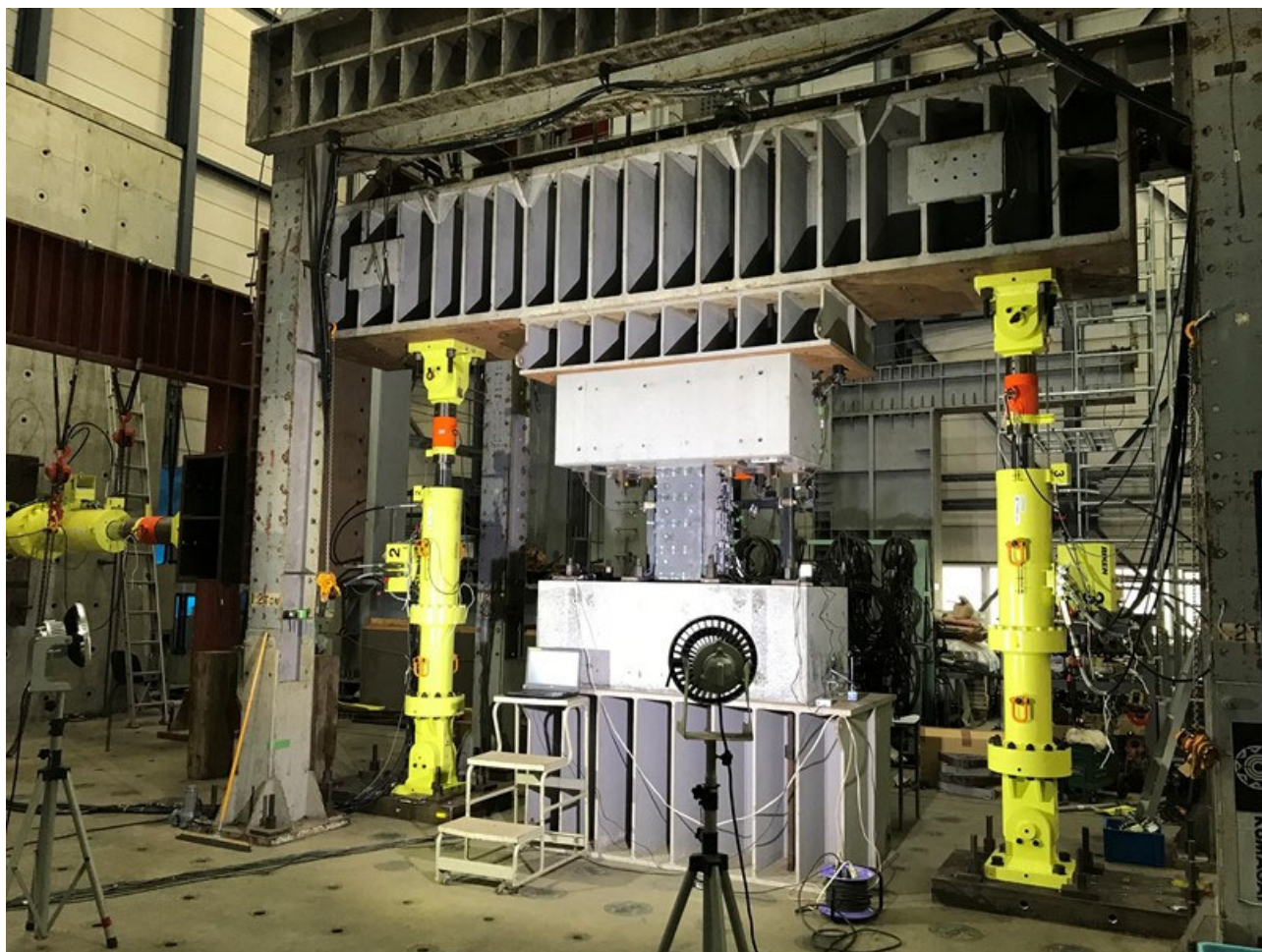


図 1.3.5-1 実験の実施状況

1.3.6 7章の概要

7章では、補強を施したRC造ピロティ柱部材の復元力特性評価について検討を実施した。対象としたのは補強を施したRC造ピロティ柱部材のみであり、損傷後補強した試験体は対象外とした。対象とした試験体は7体で、柱をUFC挟込パネルで補強した試験体や袖壁補強した試験体、または両方の補強を施した試験体を対象とした。各節の構成は以下のようになっている。

7.1節では、対象とした補強方法について示す。

7.2節では、それぞれの補強方法ごとに復元力特性評価方法を示す。

7.3節では、7.2節で示した復元力特性評価方法と実験結果との比較を示す。

7.4節では、7.1節～7.3節の検討により得られた結論を示す。

1.3.7 8章の概要

8章では、本研究で提案する工法を用いてRC造ピロティ架構の補強を行う際の設計法の検討結果ならびに施工上の注意点についてまとめる。

8.1節では、継続使用性を考慮した設計法と適用範囲として、地震後の建物の継続使用性に関する考え方や継続使用性を考慮した設計法の現状について示す。

8.2節では、試設計検討として、本研究で対象とした被災ピロティ建物をベースとした純ピロティ建物および一部構面の1階柱を片側袖壁付き柱とした建物の2種類のモデルを作成し、UFCパネルによる補強の効果を静的増分解析および時刻歴応答解析により検証した結果とともに、継続使用性を考慮した損傷状態に基づく設計クライテリアの適用可能性について検討した結果を示す。

8.3節では、施工上の注意点として、断面補修、UFCパネルの割付け計画、UFCパネルの製作、UFCパネルの固定用ボルト貫通孔の加工、UFCパネル貼付けおよび目地部への接着材充填、無収縮モルタル打設に関する注意事項を示す。

8.4節では、8.1節～8.3節の検討により得られたまとめと今後の検討課題を示す。

第1章 はじめに

1.3.8 9章の概要

9章では、2章から8章の検討により得られた知見及び今後の検討課題を示し、本資料の結論とする。

1.3.9 付録の概要

付録1では、3章および5章で用いた補修モルタルの構造性能の把握を目的として、単調一軸圧縮実験の結果を示す。

付録2では、損傷したピロティ柱のクイックリペアの用に供する可能性がある既存工法のデータベースを示す。データベースでは主に工法の概要、適用できる躯体の損傷度、損傷したピロティ柱へ適用した場合の必要復旧期間の目安、いながら施工の可否等を掲載している。

付録3では、コンクリートが弱材齢時に損傷を受けた場合、その損傷が時間経過に伴ってコンクリートの強度上昇にどの程度影響するのかについて調査することを目的に、コンクリート材料試験を実施した結果を報告する。

付録4では、UFCパネルのボルト用貫通孔をあと施工で設けることを想定して実施した施工試験の結果を示す。施工試験により、施工に必要な機器や施工精度、および施工可能な条件等について得られた結果を示す。

参考文献

- [1-1] 国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所監修：2020年版建築物の構造関係技術基準解説書，全国官報販売協同組合，2020.11
- [1-2] 国土技術政策総合研究所，建築研究所：デジタルデータを活用した建築物の被災判定による迅速な復旧促進，官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）「革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術領域」，2022.3
<https://www8.cao.go.jp/cstp/prism/seika/kensetu.html>，2022年12月閲覧）
- [1-3] 建設省住宅局建築指導課：昭和55年11月27日建設省告示第1791号（構造計算の基準を定める件），昭和55年11月27日建設省告示第1792号（Ds及びFesを算出する方法を定める件）の一部改正について，ビルディングレター，pp.1-6，No.343，日本建築センター，1996.2
- [1-4] 国土交通省住宅局建築指導課・日本建築主事会議監修：建築物の構造規定1997年版，日本建築センター，1997.12
- [1-5] 国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所・日本建築行政会議監修：2007年版建築物の構造関係技術基準解説書，全国官報販売協同組合，2007.8
- [1-6] 国土交通省住宅局建築指導課監修：2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説，日本建築防災協会，2001.10
- [1-7] 日本建築防災協会：2017年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説，日本建築防災協会，2017.7
- [1-8] 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成28年（2016年）熊本地震建築物被害調査報告（速報），国総研資料No.929，建築研究資料No.173，2016.9
- [1-9] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，日本建築学会，1999.11
- [1-10] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，日本建築学会，2010.2
- [1-11] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，日本建築学会，2018.12
- [1-12] 国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所監修：2015年改訂版 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針，日本建築防災協会，2016.3
- [1-13] 花井 伸明，後藤 康明，市之瀬 敏勝：断面が急変するピロティ柱梁接合部における柱主筋の定着性状，日本建築学会技術報告集，Vol. 15，No.29，pp. 143-146，2009.2
- [1-14] 小川 司，勅使川原 正臣，市之瀬 敏勝，神谷 隆：RCピロティ柱を屋内側に大きくした柱梁接合部の強度と破壊形式，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 33，No.2，pp. 319-324，2011.7
- [1-15] 小谷 剛，高橋 之，福山 洋，市之瀬 敏勝：柱を屋外側に拡張したRCピロティ柱梁接合部の強度と破壊形式，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 33，No.2，pp. 313-318，2011.7
- [1-16] 河合 智訓，高橋 之，福山 洋，市之瀬 敏勝：柱を屋外側に拡張しハンチを有するRCピロティ柱梁接合部の強度と破壊形式，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 34，No.2，pp. 253-258，2012.7
- [1-17] 小川 司，勅使川原 正臣，市之瀬 敏勝，神谷 隆：RCピロティ柱を屋内側に拡張した柱梁接合部のハンチ，引張軸力，定着方法による影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 34，No.2，pp. 259-264，2012.7
- [1-18] 花井 伸明，勅使川原 正臣，中村 聡宏，市之瀬 敏勝，高橋 之，諏訪田 晴彦，壁谷澤 寿一，田口 孝：RCピロティ柱梁接合部の強度と変形性能 その8 柱主筋および梁主筋の定着に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp. 461-462，2012.9

第1章 はじめに

- [1-19] 花井 伸明, 市之瀬 敏勝, 勅使川原 正臣, 白川 敏夫: 上下階で柱断面が異なる RC ピロティ柱梁接合部における柱主筋および梁主筋の定着, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 35, No.2, pp. 217-222, 2013.7
- [1-20] 高橋 之, 清原 俊彦, 勅使川原 正臣, 市之瀬 敏勝: 機械式定着を用いた RC ピロティ柱梁接合部の破壊性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 34, No.2, pp. 529-534, 2012.7
- [1-21] 市之瀬 敏勝, 河合 智訓, 高橋 之, 勅使川原 正臣: 柱断面が急変する RC ピロティ柱梁接合部の第 2 剛性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 35, No.2, pp. 265-270, 2013.7
- [1-22] Sefatullah HALIM , Susumu TAKAHASHI , Toshikatsu ICHINOSE , Masaomi TESHIGAWARA : Strength of RC Beam-Column Joint in Soft-First Story Where First-Story Columns are Extended Outside, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 35, No.2, pp. 307-312, 2013.7
- [1-23] Susumu TAKAHASHI , Sefatullah HALIM , Toshikatsu ICHINOSE , Masaomi TESHIGAWARA : Strength of RC Beam-Column Joint in Soft-First Story Where First-Story Column Extended Inside, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 35, No.2, pp. 313-318, 2013.7
- [1-24] Susumu Takahashi, Sefatullah Halim, Toshikatsu Ichinose, Go Kotani, Masaomi Tanigawa, Takashi Kamiya, Hiroshi Fukushima : Strength of Beam-column Joint in Soft First Story of RC Buildings Part 1: Experiment, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 12, pp.138-145, 2014.5
- [1-25] Sefatullah Halim, Susumu Takahashi, Toshikatsu Ichinose, Masaomi Tanigawa, Takashi Kamiya, Hiroshi Fukuyama : Strength of Beam-column Joint in Soft First Story of RC Buildings Part 2: Design Equations, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 12, pp.146-157, 2014.5
- [1-26] 小川 司, 中村 聡宏, 勅使川原 正臣, 市之瀬 敏勝: 鉄筋コンクリート造ピロティ柱梁接合部の柱が開く方向での終局強度に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 79, No. 695, pp.121-128, 2014.1
- [1-27] 宇野 芳奈美, 鈴木 貴也, 三宅 眞理子, 高橋 之, 市之瀬 敏勝, 星 龍典, 八木 茂治: 1階柱を屋内側に拡張した RC ピロティ柱梁接合部の解析モデル 接合部が開く方向に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 81, No. 721, pp.607-617, 2016.3
- [1-28] 宇野 芳奈美, 鈴木 貴也, 高橋 之, 市之瀬 敏勝: 1階柱を屋内側に拡張した RC ピロティ柱梁接合部の解析モデル 接合部が閉じる方向に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 81, No. 728, pp.1703-1712, 2016.10
- [1-29] 宇野 芳奈美, 鈴木 貴也, 三宅 眞理子, 市之瀬 敏勝, 星 龍典, 八木 茂治: 1階柱を屋外側に拡張した RC ピロティ柱梁接合部の解析モデル 接合部が開く方向に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 82, No. 734, pp.567-577, 2017.04
- [1-30] 三宅 眞理子, 鈴木 貴也, 宇野 芳奈美, 森長 和也, 星 龍典, 楠原 文雄, 市之瀬 敏勝: 1階柱を屋外側に拡張した RC ピロティ柱梁接合部の終局耐力評価 接合部が閉じる方向に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 83, No. 754, pp.1845-1853, 2018.12
- [1-31] 星 龍典, 森長 和也, 市之瀬 敏勝, 楠原 文雄, 八木 茂治: 仕様規定を用いたピロティ接合部設計方法 一階柱を屋内側に拡張する場合, 構造工学論文集, Vol. 65B, pp. 301-314, 2019.3
- [1-32] 生部 宏幸, 勅使川原 正臣, 市之瀬 敏勝, 神谷 隆: 長スパンピロティ架構における耐震壁

- の壁縦筋が耐震壁のせん断強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 33, No.2, pp. 445-450, 2011.7
- [1-33] 松本 健規, 勅使川原 正臣, 市之瀬 敏勝, 神谷 隆: ピロティ架構における耐震壁下梁の断面形状が耐震壁のせん断強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 33, No.2, pp. 451-456, 2011.7
- [1-34] 生部 宏幸, 中村 聡宏, 市之瀬 敏勝, 勅使川原 正臣: 長スパンピロティ架構における耐震壁のスリップ破壊性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 34, No.2, pp. 349-354, 2012.7
- [1-35] 泉 徳秀, 松本 健規, 市之瀬 敏勝, 勅使川原 正臣: ピロティ架構を有する連層耐震壁の耐力と破壊モード, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 34, No.2, pp. 385-390, 2012.7
- [1-36] 泉 徳秀, 高橋 之, 市之瀬 敏勝, 勅使川原 正臣, 神谷 隆, 福山 洋: ピロティ階直上の耐震壁のせん断耐力, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 78, No. 691, pp.1585-1592, 2013.9
- [1-37] 中塚善博, 倉本洋, 顧建華, 壁谷澤寿海: 6層鉄筋コンクリート造ピロティ建築物のサブストラクチャー仮動的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No.2, pp. 31-36, 2000
- [1-38] 春田孝浩, 倉本洋, 松本和行, 楠浩一: 12層鉄筋コンクリート造ピロティ建築物のサブストラクチャー仮動的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No.2, pp. 1087-1092, 2002
- [1-39] 春田孝浩, 倉本洋, 松本和行: 鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の地震応答性状に及ぼす建築物高さの影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, No.2, pp. 1303-1308, 2003
- [1-40] Arzpeima Samaneh, 倉本洋, 松本和行: 鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の地震応答性状に及ぼす柱の変動軸力の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, No.2, pp. 1309-1314, 2003
- [1-41] 真田 靖士, 壁谷澤 寿海, 倉本 洋, 福田 俊文, 松本 和行, 奈良岡 誠也, 平田 昌宏, 加藤 敦, 小川 信行: 耐震壁を有する鉄筋コンクリート造ピロティ建物の動的実験, 構造工学論文集, Vol. 47B, pp. 511-520, 2001.3
- [1-42] 真田靖士, 壁谷澤寿海, 倉本洋: 耐震壁を有する RC 造ピロティ構造の動的実験に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.37-42, 2001.6
- [1-43] 真田靖士, 壁谷澤寿海, 倉本洋, 中埜良昭: 鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断軟化がピロティ建物の応答に与える影響, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.183-188, 2002.3
- [1-44] 犬飼 瑞郎, 野口 和也: 芯鉄骨入りピロティ柱の構造性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 26, No.2, pp. 1399-1404, 2004
- [1-45] 楠 浩一, 向井 智久, 勅使川原 正臣, 福山 洋, 加藤 博人, 斎藤 大樹: 連層耐震壁構面を有する 6 階建 RC 建物の地震時挙動に関する実験的研究 — 柱と耐震壁が負担する軸力変動分の分担率について —, 日本建築学会構造系論文集, No. 603, pp. 107-113, 2006.5
- [1-46] 楠 浩一, 向井 智久, 勅使川原 正臣, 福山 洋, 加藤 博人, 斎藤 大樹: 連層耐震壁構面を有する 6 階建 RC 建物の地震時挙動に関する実験的研究 — 1 層の柱と耐震壁の負担する水平力の分担率について —, 日本建築学会構造系論文集, No. 609, pp. 173-180, 2006.11
- [1-47] 郡司 康浩, 寺本 尚史, 西田 哲也, 小林 淳: 12 層 RC 造ピロティ建築物の 1 階側柱を対象としたサブストラクチャー擬似動的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 30, No.3, pp. 181-186, 2008
- [1-48] 中村 匠, 田邊 裕介, 迫田 丈志, 前田 匡樹: 鉄筋コンクリート造ピロティ建物の地震応答変形と損傷評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 30, No.3, pp. 1045-1050, 2008

第1章 はじめに

- [1-49] 中村 匠, 迫田 丈志, 前田 匡樹, 三橋 博三: HFRCC 柱による損傷低減型ピロティ構造に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 31, No.2, pp. 1297-1302, 2009
- [1-50] 吉村 純哉, 馮 曉山, 井戸 裕 勇樹, 坂下 雅信, 西山 峰広: ピロティ階を有する曲げ降伏型連層耐震壁架構の地震時抵抗機構に関する研究 その 1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 93-94, 2013.8
- [1-51] 馮 曉山, 吉村 純哉, 井戸 裕 勇樹, 坂下 雅信, 西山 峰広: ピロティ階を有する曲げ降伏型連層耐震壁架構の地震時抵抗機構に関する研究 その 2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 95-96, 2013.8
- [1-52] 井戸 裕 勇樹, 吉村 純哉, 馮 曉山, 坂下 雅信, 西山 峰広: ピロティ階を有する曲げ降伏型連層耐震壁架構の地震時抵抗機構に関する研究 その 3 ピロティ階柱の応力計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 97-98, 2013.8
- [1-53] 井戸 裕 勇樹, 坂下 雅信, 西山 峰広: ピロティ構面の曲げ壁を支持する枠梁の負担応力評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 303-304, 2015.9
- [1-54] 小室 努, 川端 一三, 小谷 俊介: 2 階以上に連層耐力壁を有するピロティ建物の地震応答性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No.2, pp. 755-760, 1996
- [1-55] 芳村 学, 木原 祥智: ピロティを有する鉄筋コンクリート建物の地震時変形制御法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No.2, pp. 81-86, 1997
- [1-56] 張 富明: 水平動と上下動を受けるピロティ建物の地震応答及び崩壊性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No.2, pp. 495-500, 1997
- [1-57] R. D. Abimanyu, 市之瀬 敏勝, 山田 陽一郎, 山添 寿基: ピロティを有する RC 構造物の崩壊機構に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No.2, pp. 501-506, 1997
- [1-58] 花井 伸明, 市之瀬 敏勝, 神林 宏之: 層降伏型 RC ピロティ建物の応答変位予測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No.3, pp. 1153-1158, 1999
- [1-59] 真田 靖士, 壁谷 澤寿海, 倉本 洋: ピロティ構造における柱と壁のせん断力負担に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No.3, pp. 19-24, 2000
- [1-60] 顧 建華, 倉本 洋, 松本 和行, 福田 俊文: 鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の地震応答性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No.3, pp. 25-30, 2000
- [1-61] 馬 華, 李 振宝, 鈴木 計夫, 勝丸 文彦: ピロティをソフトストーリーとした RC 建物の耐震性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No.3, pp. 1333-1338, 2000
- [1-62] 松本 和行, 倉本 洋, 顧 建華: 鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の地震応答変形の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 23, No.3, pp. 43-48, 2001
- [1-63] 向井 智久, 衣笠 秀行, 野村 設郎: エネルギー入力速度概念に基づく RC 造ピロティ建物の設計手法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No.2, pp. 25-30, 2002
- [1-64] 真田 靖士, 壁谷 澤寿海, 倉本 洋, 中埜 良昭: 耐震壁を有する RC 造ピロティ建物の入力と終局限界性能の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No.2, pp. 31-36, 2002
- [1-65] 長江 拓也, 林 静雄: 基礎降伏を利用したピロティ階の地震応答抑制に関する解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, No.2, pp. 1165-1170, 2003
- [1-66] 長江 拓也, 林 静雄, Helmut KRAWINKLER, 中島 正愛: 層降伏するピロティ階の確率論的地震応答評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 27, No.2, pp. 43-48, 2005
- [1-67] 長江 拓也, 吹田 啓一郎, 中島 正愛: 層降伏する鉄筋コンクリート造ピロティ建物の耐震性能

確率論的評価を通して、日本建築学会構造系論文集, No. 610, pp. 123-130, 2006.12

- [1-68] 近森俊宏, 芳村学, 保木和明: ピロティ階にせん断破壊型耐震壁を有する建物の地震応答変形に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 27, No.2, pp. 991-996, 2005
- [1-69] 平石 久廣, 安西 健, 福島 徹, 金子 雅之: ピロティ建物を含めた鉄筋コンクリート造層崩壊建物の耐震性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 54B, pp. 451-456, 2008.3
- [1-70] 松本和行, 三宅辰哉, 倉本洋: 最大応答と累積エネルギーをパラメータとした鉄筋コンクリート造ピロティ建築物の終局耐震性能評価について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 31, No.2, pp. 835-840, 2009
- [1-71] 内田和弘, 花井伸明, 白川敏夫: 純ピロティ建築物の弾塑性性状に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 37, No.2, pp. 31-36, 2015
- [1-72] 朱彤, 小島菜奈, 毎田悠承, 和泉信之: 斜め方向地震力に対する RC 造 10 階建ピロティ構造の保有水平耐力と柱の変動軸力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 40, No.2, pp. 871-876, 2018
- [1-73] 市之瀬敏勝, 森長和也, 楠原文雄, 星龍典: 柱を屋内側に拡張した RC ピロティ建物の枠梁の曲げ剛性の算定法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 41, No.2, pp. 25-30, 2019.7
- [1-74] 板倉航大, 滝澤光, 和泉信之: 中高層 RC 造ピロティ構造の保有水平耐力と地震応答, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 42, No.2, pp. 13-18, 2020
- [1-75] 島津勝, 田中佑季, 林美貴: 平成 28 年熊本地震によるピロティ形式 RC 造建物の被害調査と解析的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 40, No.2, pp. 1033-1038, 2018
- [1-76] 岩渕 一徳, 福山 洋, 諏訪田 晴彦: 高靱性セメント複合材料を用いた付加柱によるピロティ建築物の応答制御, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, No.2, pp. 1327-1332, 2003
- [1-77] 福山 洋, 岩渕 一徳: 空間の確保と損傷の防止を目的とした既存ピロティ建築物の地震応答制御, 日本建築学会構造系論文集, No. 580, pp.105-112, 2004.6
- [1-78] 岩渕 一徳, 福山 洋, 諏訪田 晴彦: 応答制御用付加柱を用いたピロティ架構の部分仮動的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 26, No.2, pp. 1087-1092, 2004
- [1-79] 岩渕 一徳, 福山 洋, 諏訪田 晴彦, 芳村 学: 応答制御用付加柱を組み込んだ既存ピロティ建築物の部分仮動的実験, 日本建築学会構造系論文集, No. 596, pp.79-86, 2005.10
- [1-80] 塩屋晋一, 上荒磯崇, 高江洲義人, 堀之内茂: 圧縮抵抗型ブレースを用いる RC 造ピロティ架構の耐震補強, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 25, No.2, pp. 1561-1566, 2003
- [1-81] 幸加木宏亮, 塩屋晋一, 河野圭悟, 原田喜実: 圧縮抵抗型ブレースを用いる既存 RC 造ピロティ架構の耐震補強における既存梁部分の支圧耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 27, No.2, pp. 1105-1110, 2005
- [1-82] 増田祐一郎, 塩屋晋一, 木宮玄喜, 河野圭悟: 圧縮抵抗型ブレースを用いる RC 造ピロティ架構の耐震補強におけるブレースの座屈耐力と補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 27, No.2, pp. 1111-1116, 2005
- [1-83] 幸加木宏亮, 塩屋晋一, 江頭裕介, 大川光雄: 5 階建て既存 RC ピロティ架構の耐震補強を想定した部分架構の加力破壊実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 28, No.2, pp. 1131-1236, 2006
- [1-84] 大川光雄, 塩屋晋一, 幸加木宏亮, 江頭裕介: 圧縮抵抗型ブレースを用いる既存 RC ピロティ架構の耐震補強における梁の支圧実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 28, No.2, pp. 1141-1146, 2006

第1章 はじめに

- [1-85] 大川光雄, 塩屋晋一, 幸加木宏亮, 岡元夕弥: 圧縮抵抗型ブレースを用いるRC造ピロティ架構の部分架構の加力破壊実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 29, No.3, pp. 1165-1170, 2007
- [1-86] 岡元夕弥, 塩屋晋一, 大川光雄: 圧縮抵抗型ブレースを用いて耐震補強されるRCピロティ架構の剛性・強度・変形の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 29, No.3, pp. 1171-1176, 2007
- [1-87] 塩屋晋一, 大川光雄, 幸加木宏亮: 圧縮ブレースを用いる既存RC造ピロティ架構の耐震補強に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 72, No. 621, pp.127-134, 2007.11
- [1-88] 岡元夕弥, 塩屋晋一, 大川光雄: 圧縮抵抗型ブレースを用いて耐震補強するピロティ架構の荷重-変形関係の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 30, No.3, pp. 1273-1278, 2008
- [1-89] 塩屋晋一, 大川光雄, 岡元夕弥: 圧縮ブレースを用いて耐震補強する既存RC造ピロティ架構の耐震性能の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 73, No. 632, pp.1823-1832, 2008.10
- [1-90] 前田 興輝, 山川 哲雄, Md. Nafiur RAHMAN, Pasha JAVADI: 1スパン2層ピロティフレームを合成極厚無筋壁で耐震補強した加力実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 29, No.3, pp. 289-294, 2007
- [1-91] 小林 慎, 山川 哲雄, 前田 興輝, Pasha JAVADI: 極厚無筋壁で耐震補強した1スパン2層ピロティフレームの耐震性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 30, No.3, pp. 415-420, 2008
- [1-92] 小林 慎, 山川 哲雄, 中田 幸造, 山城 浩二: 枠付き鉄骨ブレースを合成接合した1スパン1層ピロティフレームの水平加力実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 31, No.2, pp. 1189-1194, 2009
- [1-93] 菅野 秀人, 寺本 尚史, 西田 哲也, 小林 淳: 鋼材ダンパーを設置した6層鉄筋コンクリート造ピロティ架構のサブストラクチャ擬似動的実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 34, No.2, pp. 763-768, 2012
- [1-94] 菅野 秀人, 寺本 尚史, 西田 哲也, 小林 淳: 鉄筋コンクリート造ピロティ架構を対象とした瞬間最大入力エネルギーに基づく地震応答推定に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 36, No.2, pp. 691-696, 2014
- [1-95] 林 敬祐, 菅野 秀人: 鋼材ダンパーを柱軸方向に内蔵した高層RC造ピロティ架構の地震応答性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 40, No.2, pp. 943-948, 2018
- [1-96] 織裳慎一郎, 向井智久, 衣笠秀行, 野村設郎: 等価1質点系モデルを用いたRC造ピロティ建物の制振補強設計手法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No.2, pp. 1183-1188, 2002
- [1-97] 織裳慎一郎, 向井智久, 衣笠秀行, 野村設郎: RC造ピロティ建物の制振補強手法に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 48B, pp. 569-580, 2002.3
- [1-98] 向井智久, 織裳慎一郎, 衣笠秀行, 野村設郎: RC造ピロティ形式建物の制振補強手法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 563, pp.161-168, 2003.1