

技術特集 2. 制震ブレース工法の適用事例 —「柿の木坂パレス」耐震補強工事—
 Application to Seismic Retrofit Method by Means of Damping Braces
 -The Retrofit Design and Work at “KAKINOKIZAKA PALACE”-

*齋藤富士雄 **小林隆将 ***滝口純一 ***松島稔

—背景—

2023年2月14日(火)に、一般財団法人日本建築防災協会主催の「令和4年度(第12回)耐震改修優秀建築・貢献者表彰」の表彰式が開催され、当社が設計および施工を実施した「柿の木坂パレス」が耐震改修優秀建築賞を受賞した。「柿の木坂パレス」は、地上13階建ての総戸数146戸の共同住宅である。本建物は、東京都特定緊急輸送道路(環状7号線)に面しており、耐震診断の義務化と耐震改修の積極的な実施が求められていた。当社技術研究所で開発した制震ブレース工法を採用し、バルコニー先端に補強材を設置することで、居住者が引越しをせずに住みながら工事を実施した。

—技術的な特長—

付録の論文では、「柿の木坂パレス」の耐震補強工事の概要ならびに区分所有者の合意形成を得るために管理組合執行部と協同して取り組んだ内容の一部を抜粋して示している。なお、今回、紹介する改修事例は、最新の技術を駆使したものではなく、20年以上前に開発した技術を1つずつ案件毎のニーズに適するよう設計および施工を工夫してきた経験を活かしたものである。

146戸の区分所有者の合意形成を得ることができたのは、地道な対話によるものであると考えている。計画段階から工事完了まで熱意ある管理組合運営を行われた理事の方々、施工段階での騒音や振動の発生等も受忍、御理解して頂いた全住民の方々、その他関係者の皆様に深く御礼申し上げます。



写真1 柿の木坂パレス外観



写真2 授与された賞状と賞牌

*東京建築本店 営業第二部 **東京建築本店 設計部 ***建築技術本部 施工技術部

※付録の論文は「建築防災 2023年3月号(日本建築防災協会)」に寄稿した記事に加筆修正をしたものである。

制震ブレース工法の適用事例
- 「柿の木坂パレス」耐震補強工事-
Application to Seismic Retrofit Method by Means of Damping Braces
-The Retrofit Design and Work at “KAKINOKIZAKA PALACE”-

○齋藤富士雄* 小林隆将* 滝口純一** 松島稔***
 Fujio SAITO Takamasa KOBAYASHI Junichi TAKIGUCHI Minoru MATSUSHIMA

ABSTRACT This paper has the retrofit on seismic retrofitting by means of exterior brace absorbing seismic energy. Existing apartment buildings were retrofitted with the brace installing friction damper. This paper described abstract of the retrofit design and work in “KAKINOKIZAKA PALACE”.

Keywords :集合住宅, 制震補強, 制震ブレース, 摩擦ダンパー
Apartment Building, Response Control Retrofit, Damping Brace, Friction Damper

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震は、多くの建物が倒壊・崩壊するなど多数の死傷者を出す未曾有の大災害となった。国としては新たに、建築物の耐震改修の促進に関する法律(耐震改修促進法)を制定し、被害の抑制へ動きだした。民間では、建設関係各社が耐震補強に関する研究を行い、様々な工法が開発された。

当社では、技術研究所が主体となり、日本大学理工学部海洋建築工学科 安達・中西研究室(当時、現：北嶋研究室)と共同で、建物の外壁面に摩擦ダンパー¹⁾を組込んだ鋼管ブレースを取付けることにより、建物の耐震性能を向上させる制震ブレース工法を開発した²⁾。制震ブレースの建物への設置状況を写真1に示す。本工法における補強工事のほとんどは建物の外部で行われるため、居住者の移転を伴わない工事を実現しており、1998年の初適用から現在までに100件以上の適用実績を有している。

開発当初に耐震改修を必要とされたのは、地震後の避難施設にもなる学校建築が主であった。その後、防災拠点となる行政庁舎や病院について耐

震化が求められ、現在では、共同住宅の耐震改修が多くなっている。特に区分所有となり、権利関係が複雑な分譲マンションの耐震改修を実現させるには機能面や資金面、各区分所有住戸への影響具合など様々な面から検討し、課題を克服していく必要がある。

本報では、当社独自の制震ブレース工法を適用した事例として、区分所有マンションである「柿の木坂パレス」の耐震補強工事概要ならびに区分所有者の合意形成を得るために管理組合執行部と協同して取り組んだ内容について、一部を抜粋して示している。



写真1 制震ブレース設置状況

*東京建築本店 営業第二部 **東京建築本店 設計部 ***建築技術本部 施工技術部
 ※本報は「建築防災 2023年3月号(日本建築防災協会)」に寄稿した記事に加筆修正したものである。

2. 建物概要

補強建物の外観写真と概要を以下に示す。



写真2 補強建物外観（南面）

【補強建物概要】

- ・名称 柿の木坂パレス
- ・建設地 東京都世田谷区
- ・用途 共同住宅、店舗、事務所
- ・総戸数 146戸(うち7戸は店舗・事務所)
- ・建物竣工 1972年
- ・敷地面積 2,351m²
- ・建築面積 814m²
- ・延床面積 8,951m²
- ・構造種別 鉄骨鉄筋コンクリート造
- ・階数・高さ 地上13階、38.25m

既存建物の基準階平面図を図1に示す。既存建物の平面はT字を横にした形状で、1階は共用施設と事務所および店舗からなり、2階以上は共同住宅となっている。南面と東面にバルコニーを配置し、北面は共用廊下となっている。

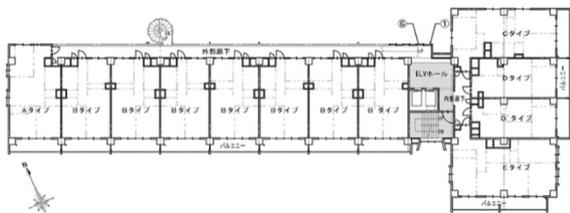


図1 基準階平面図（補強前）

また、敷地の南側は東京都特定緊急輸送道路（環状7号線）に面しているため、耐震診断の義務化と耐震改修の積極的な実施が求められてい

た。補強建物と敷地南側の幹線道路との関係を写真3に示す。



写真3 補強建物と前面幹線道路との関係

3. 耐震診断

補強設計に先立ち実施した耐震診断では、全階にわたって、構造耐震指標(Is)が0.6を下回り、耐震性に疑問ありとの判定であった。補強前の耐震診断結果を表1に示す。この要因としては、建物全体の耐力が不足していること、1階の事務所および店舗部分がピロティ形式となっていることなどが挙げられた。

表1 耐震診断結果（補強前）

階	X方向						Y方向(ソーンB)(塔屋は全体モデル)					
	E ₀	S ₀	F	I _s	C ₀₁ ・S ₀	判定	E ₀	S ₀	F	I _s	C ₀₁ ・S ₀	判定
PH2	0.971	1.00	1.27	0.951	0.76	OK	2.061	1.00	1.27	2.020	1.62	OK
PH1	0.568	1.00	1.27	0.556	0.44	NG	1.041	1.00	1.27	1.021	0.82	OK
13(SRC)	0.469	0.95	1.00	0.437	0.44	NG	0.445	0.68	1.27	0.297	0.23	NG
12(SRC)	0.481	0.95	1.00	0.448	0.45	NG	0.527	0.64	1.27	0.330	0.26	NG
11(SRC)	0.622	0.95	1.27	0.580	0.46	NG	0.662	0.95	1.27	0.616	0.49	OK
10(SRC)	0.502	0.95	1.27	0.468	0.37	NG	0.537	0.95	1.27	0.500	0.40	NG
9(SRC)	0.493	0.95	1.27	0.459	0.36	NG	0.484	0.95	1.27	0.451	0.35	NG
8(SRC)	0.379	0.95	1.27	0.353	0.28	NG	0.418	0.95	1.27	0.390	0.31	NG
7(SRC)	0.383	0.95	1.27	0.356	0.28	NG	0.322	0.95	1.00	0.300	0.30	NG
6(SRC)	0.375	0.95	1.27	0.349	0.27	NG	0.286	0.95	1.00	0.266	0.27	NG
5(SRC)	0.326	0.95	1.27	0.303	0.24	NG	0.257	0.95	1.27	0.239	0.18	NG
4(SRC)	0.542	0.95	1.27	0.505	0.40	NG	0.376	0.95	1.27	0.350	0.28	NG
3(SRC)	0.512	0.95	1.27	0.477	0.38	NG	0.350	0.95	1.27	0.325	0.26	NG
2(SRC)	0.440	0.95	1.27	0.410	0.32	NG	0.197	0.95	1.27	0.184	0.14	NG
1(SRC)	0.397	0.95	1.27	0.370	0.29	NG	0.311	0.95	1.00	0.288	0.29	NG

4. 補強計画

本建物が区分所有マンションであることを考慮し、引越することなく住生活が継続できるようバルコニー先端部に摩擦ダンパーを組み込んだ制震ブレースを設置する本工法を採用した。本工法を採用することにより、従来の強度型補強と比較して補強量の合理化を図るとともに、助成金の増額も可能となるためコスト面にも配慮した

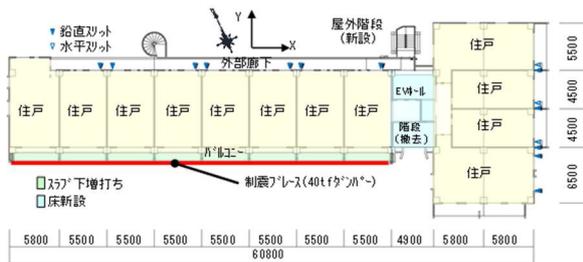
計画を実現できた。

なお、本補強工事では、建物全体を時刻歴応答解析で設計しつつ、弱点となる部分には、柱のRC巻立補強、RC増打壁、部分スリット等の在来補強も併用している。階層毎の制震ブレース設置数および在来補強による補強量の一覧を表2に示す。また、制震ブレースおよび在来補強箇所の配置について、基準階平面図(8階)を図2(a)に、1階平面図を図2(b)に示す。

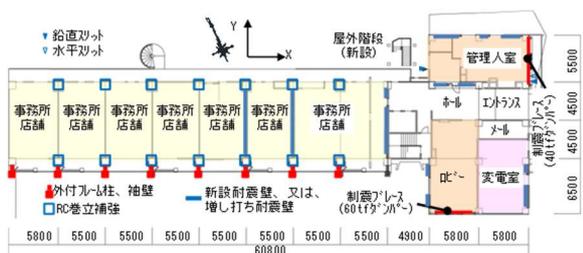
表2 補強量一覧

階	X方向		Y方向	
	制震ブレース ¹ [セット]	在来補強 ² [ヵ所]	制震ブレース ¹ [セット]	在来補強 ² [ヵ所]
13	0	スリット:6	0	0
12	0	スリット:6	0	0
11	0	スリット:7	0	スリット:8
10	0	〃	0	〃
9	0	〃	0	〃
8	8	〃	0	〃
7	8	〃	0	〃
6	8	〃	0	〃
5	8	〃	0	〃
4	6	〃	0	〃
3	6	〃	4	〃
2	4	スリット:7	4	スリット:8
1	1	新設壁:1 壁増打:1	1	新設壁:4 壁増打:2 スリット:3
計	49		9	

*1制震ブレース1セットはブレース2本使用。X方向1階は60tfダンパーを、その他は40tfダンパーを使用
*2在来補強は、上記の他、1階の柱巻立14ヵ所、8階~屋上階の床スラブ補強を各1ヵ所施す



(a) 基準階平面図(8階)



(b) 1階平面図

図2 制震ブレースおよび在来補強箇所の配置

2階以上の共同住宅部に対しては、建物外部のバルコニー先端部に鉄骨フレームを取り付け、この中に摩擦ダンパー(設定荷重:392kN(40tf))と鋼管ブレースを接合した制震ブレースを組み込んだ他、各階の柱には、せん断破壊を防止し、変形性能を向上させるためにスリットを設けている。鉄骨フレームと既存建物の取付部は、「既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル³⁾」に準拠し設計を行った。なお、地震時に建物全体が一体となって挙動するように、8階から屋上階までの屋内階段を撤去し床スラブを新設するとともに、エレベーター周辺の床スラブに増打ち補強を施している。当該箇所の改修イメージを図3に示す。

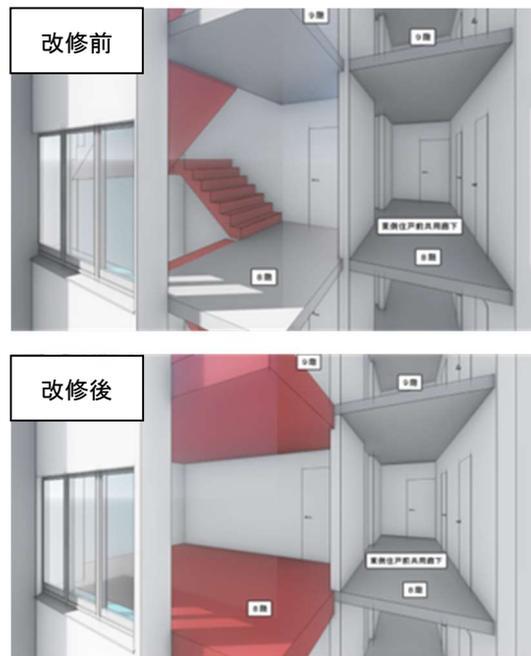


図3 屋内階段部の改修イメージ

既存の屋内階段を撤去することから、直通階段を整備する必要が生じた。そこで、所管行政庁の世田谷区と協議を行い、建物外部に鉄骨階段を新設することとし、既存外部階段と合わせ2つの直通階段を整備した。補強後の建物北面の外観を写真4に示す。写真中に赤丸で示した折り返し鉄骨階段が新設した鉄骨階段である。

工事期間中は、居住者の動線が変更となるため、共用部分の工事範囲を小さく区分して動線を

確保する施工計画とすることで、居住者の引越しは一切なく、耐震補強を実現させた。



写真4 補強建物外観（北面）

一方、1階の事務所および店舗の専有部分の境界はコンクリートブロック造となっており、柱はピロティ柱となる。ピロティ柱の改善は、室内を利用しながらの補強工事は実施できないため、利用者の仮移転の課題があった。耐震補強計画としては、ピロティ柱にRC巻立補強を施し、耐力および靱性を確保するとともに、上階共同住宅部分の連層耐震壁の強度改善を図ることとした。また、管理人室や一部の店舗内に耐震壁の新設や既存耐震壁の増打補強を行うこととした。さらに、共用ロビーの南面に大容量型の摩擦ダンパー（設定荷重：588kN（60tf））を用いた制震ブレースを設置し、強度の向上および地震時の揺れを低減する計画とした。大容量型制震ブレースの設置状況を写真5に示す。



写真5 大容量型制震ブレース

5. 補強設計

本工法による補強効果は、時刻歴応答解析により評価した。解析に用いた立体フレームモデル図を図4に示す。目標変形は地震時の最大層間変形角を1/125以下と設定した。告示波3波の応答値を図5に、既往観測波3波の応答値を図6に示す。なお、本補強設計は第三者機関による耐震判定を取得し、耐震補強設計および耐震改修工事に対する助成金を得ている。

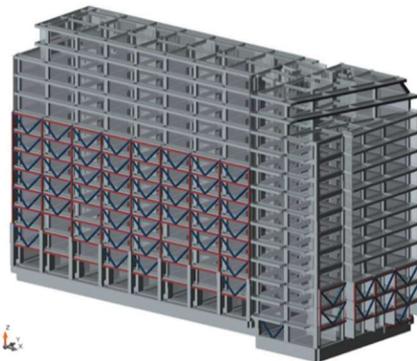


図4 解析モデル図(立体フレームモデル)

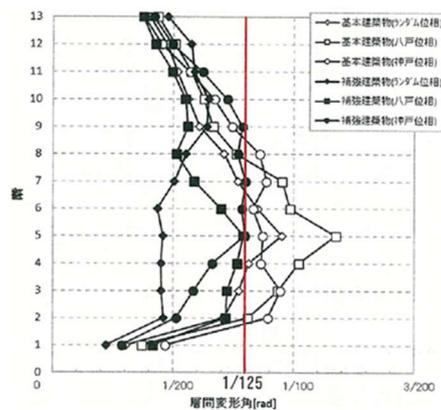


図5 制震補強前後の最大層間変形角(告示波)

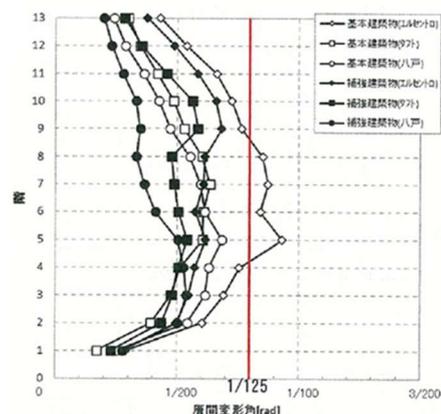


図6 制震補強前後の最大層間変形角(観測波)

6. 補強設計から耐震改修工事実施まで

本事例は、区分所有の分譲マンションである。耐震補強設計、耐震改修工事を実施するには、区分所有法に基づき、マンション管理組合の合意がなされなければならない。補強設計は共用部分の変更がないため、普通決議になるが、耐震改修工事の場合は、共用部分の変更に該当し、特別決議となるため、4分の3以上の賛成が得られなければ実施することはできない。また、本事例では、1階の専有部分内(店舗等)での工事が伴うため、各々の専有部立入に関する同意が必要であった。

本件は、管理組合執行部の強いリーダーシップにより、耐震改修計画が進められた。設計前の概算検討段階から耐震補強による影響具合を把握しており、影響具合が具体化する設計業務後半からは、1階区分所有者および入居者と個別の協議を開始した。当社は設計施工を請け負う立場から、管理組合と一体となり、個別協議に対応した。店舗によっては、テナントが入居しているため、オーナーへの説明も直接面談で回数を重ね、耐震改修への理解を得るよう地道な活動を行った。

具体的な対処策としては、マンション駐車場を全台一時移転の協力を得て、管理組合より提供いただいたスペースに仮設店舗を設置し、近くで営業を継続する必要がある店舗が利用できるように対応した。仮設店舗は不特定多数の来訪者がある形態でもあり、建築確認を要したため、世田谷区に申請を行い、法に則った上で設置した。また、

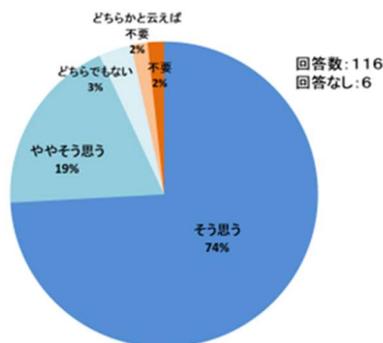
敷地内では騒音が発生することから、静かな環境が必要である事務所は、徒歩圏内で仮事務所を設けることで対応した。なお、1戸分は空室であったため、工事期間中は進捗に応じ、現場事務所や作業員休憩所に利用させていただいた。そのほか、完全休業として協力いただいた店舗等は、社会通念上相応の範囲による営業補償を準備した。その他、引越しができない共同住宅部分の所有者および入居者には毎月の理事会報の発行など情報周知とともに住民の意識改革を図るようにした。

補強設計後には、耐震改修工事の実現に向けた区分所有者の合意形成を得るための課題を1つずつ解決していくため、管理組合と設計・施工者で週1回定例会議を開催し、耐震改修による物理的な影響のほか、助成金や融資に関する資金計画も課題として検討を重ねた。

耐震改修の実現には、修繕積立金の増額も検討もせねばならず、耐震化の必要性意識確認や積立金増額の妥当範囲確認を目的に全区分所有者を対象としたアンケートを実施した。アンケートは全員回答を目標に未回答者への連絡を何度も行い、回答率は95%超となった。管理組合としては、集計結果を整理、グラフ化し状況を分かりやすく説明するとともに、より意見を聞きやすいように住民説明会を2フロアずつ、計7回に分けて行った。集計では90%を上回る区分所有者から耐震改修が必要であると考えていることが明らかになった。この結果を区分所有者全員にフィー

柿の木坂パレス耐震補強工事アンケート調査結果

④ 耐震工事は必要だと思いますか？



柿の木坂パレス耐震補強工事アンケート調査結果

⑬ 耐震工事は優先して修繕積立金などの資金を投入すべきだと思いますか？

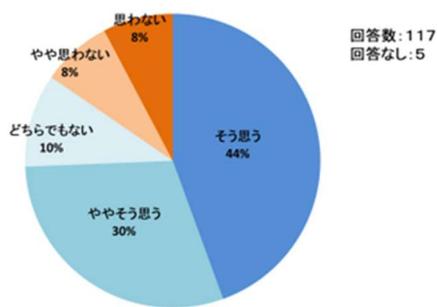


図7 住民アンケート集計結果(一部抜粋)

ドバックすることでマンション管理組合が進むべき方向が明確になった。

定例会議開始から約半年に渡り、区分所有者への周知、区分所有者からの意見徴収、回答を丁寧に行ったことで管理組合の意識が醸成され、一体的な意識を共有できた段階で住民総会を開催し、耐震改修工事の承認を得ることができた。工事承認後も定例会議は、継続して行い、工事完了までに、100回以上の会議体が開催されていた。

7. おわりに

紹介した改修事例は、最新の技術を駆使したものではない。20年以上前に開発した技術を1つずつ案件毎のニーズに適するよう設計および施工を工夫してきた経験を活かした。146戸の区分所有者の合意形成を得ることができたのは、地道な対話によるものであると考えている。耐震改修の実現には技術だけではなく、人と人との関わりが大変重要であることを強く実感した。計画段階から工事完了まで熱意ある管理組合運営を行われた理事の方々、施工段階での騒音や振動の発生等も受忍、ご理解いただいた全住民の方々、その他関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

また、本制震補強工法の開発および適用に関し、ご指導いただいた日本大学理工学部海洋建築工学科 北嶋圭二教授に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 上田英明ほか:既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, pp.1273-1283, 2023.08
- 2) 北嶋圭二、安達洋ほか:ダンパーを用いた既存RC造建物の耐震補強法に関する研究(その1~21), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2, 1996~1999
- 3) 日本建築防災協会:既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル, 2009.10

8. 写真

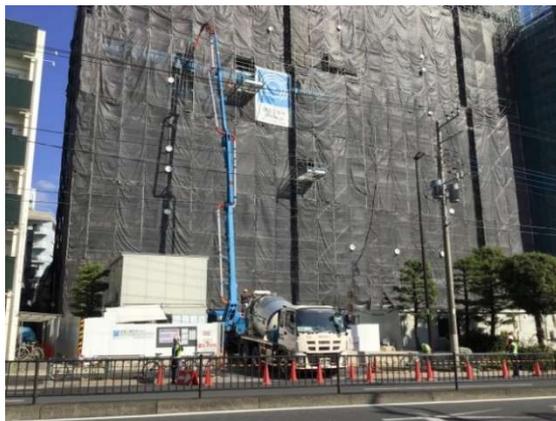


写真6 耐震改修施工状況写真



写真7 耐震改修の啓発



(a) 改修工事前



(b) 改修工事後

写真8 建物外観写真(1階店舗・事務所)