

被害地震の経験から立ち上がり進化し続ける 建築構造技術と建築構造設計

東京理科大学 工学部 建築学科 教授 **高橋 治** たかはし おさむ

はじめに

2008年1月号(通巻283号)の「理大 科学フォーラム」誌に、取得学位に関する内容「減衰特性および各種依存性を考慮したブレース型オイルダンパーの開発と解析モデルに関する研究」として執筆させていただいて以来となる(写真1)。2008年当時の筆者は、建築構造計算プログラムも開発・販売している構造設計事務所で構造設計者として働いていた。構造設計をしている中で、自ら考案お

よび開発して実物大実験などの裏付けで実用性を確認し、実建物に世界で初めて装着したのが、ブレース型オイルダンパーとなる。

兵庫県南部地震(1995年)を経験 機械分野に学んだ⇒オイルダンパーによる振動制御

兵庫県南部地震を経験し、世の中では新しい構造システム(免震・制振構造)の建物が市民やエンジニアなどによるリベンジへの期待を込めて爆発的に建設されていた。そんな折に関わったのが、1995年に構造設計した「渋谷セルリアンタワー」(写真2)と「関東郵政局等庁舎」である。前者はHMD(ハイブリッドマスダンパー)を、後者は粘性制振壁を100m超えの超高層建物で初めて採用した(写真3)。

1996年12月、所属していた構造設計事務所で「本社ビル建設委員会」が発足し、全所員が参加の自社ビルイメージコンペが実施された。建築に関係ない所員も参加できるように、表現方法は自由、図面だけでなく文章でも標語でも良かった。要求は、ただ一つ「爽やかな5月の風が吹き抜けたあのような雰囲気のある建物」



写真1 構造計画研究所本所新館とブレース型オイルダンパー



写真2 渋谷セルリアンタワーとHMD

であった。

結果、20代の筆者が優秀提案賞を受賞し構造設計リーダーを任された。まず、取り掛かったのは建物の設計外乱（荷重）と設計クライテリア（目標）の設定および新たな制振システムの模索であった。これまでの構造設計経験で感じていた不満があった。マスダンパーは定常波にしか効果がなく、粘性制振壁は温度依存性が激しいため設計時バラツキ検討のために3倍以上の手間がかかる（構造計算書も厚くなる）。そこで、オイルダンパーに注目し、ちょうど筆者の上の子が電車小僧で毎週のように秋葉原にあった鉄道博物館に通っていた時期である。新幹線車両のオイルダンパーを設計、製造していたカヤバ工業(株)の担当者に建物へオイルダンパーを採用したいとの思いをぶつけ、毎日のように機構や理論を学び、いろいろと雑談をさせてもらった。

オイルダンパー研究で先行していた（株）小堀鐸二研究所の坂本さん（東京理科大学工学部建築学科平野研究室OB）にも教えを請い、現場や実験を見学させてもらった。懐かしい財産である。先行していたオイルダンパーが武骨な感があったので、美しさにこだわってブレース型オイルダンパーをデザインした（写真1）。その後、引き続いて超高層ビル（図1）や庁舎補強（写真4）に本システムを採用した。

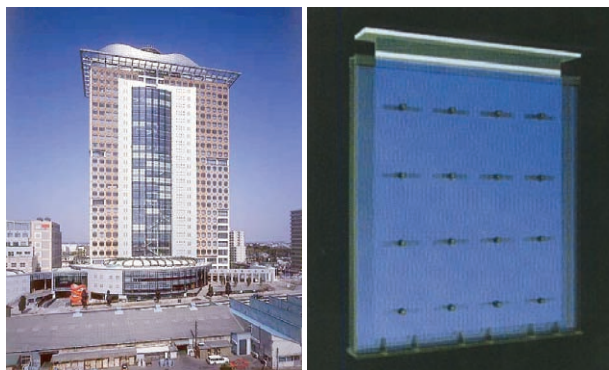


写真3 関東郵政局等庁舎と粘性制振壁

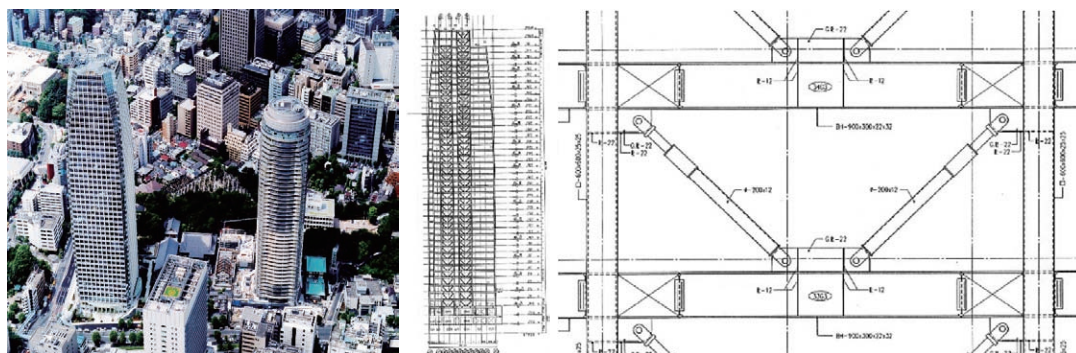


図1 ブレース型オイルダンパーを採用した建物 愛宕グリーンヒルズ



補強前

補強後

写真4 ブレース型オイルダンパーを採用した建物 会津田島庁舎

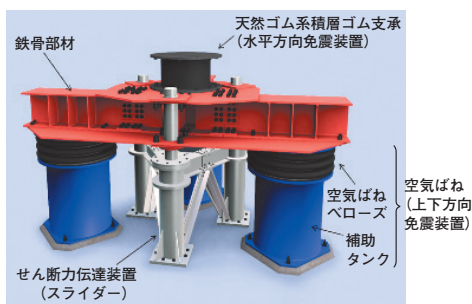


図2 3次元免震装置を採用した建物 阿佐ヶ谷「知幹館」

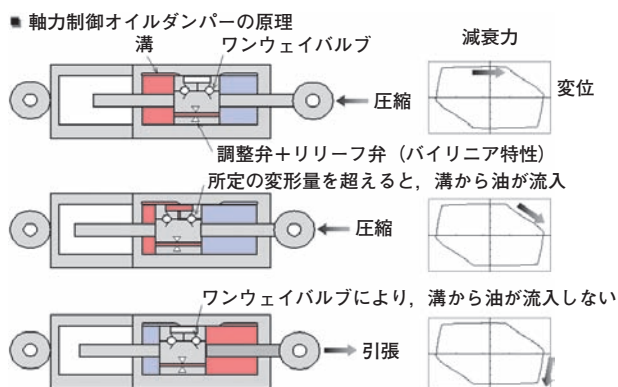


図3 長周期地震動対策用オイルダンパーの減衰特性 T-RESPO構法

新潟県中越地震（2004年）を経験

鉄道車両分野に学んだ⇒空気バネによる上下動対策

2005年に東京大学生産技術研究所の藤田隆史教授（機械）を訪問した際に、ひとつの挑戦を勧められた。それは、その後の世界初3次元免震の実現につながるものであった。その挑戦は、新潟県中越地震による被害での警鐘を踏まえたものであった。

この地震では、日本の新幹線で営業運転中の初めての脱線事故が起きている。震央に近い上越新幹線の浦佐駅－長岡駅間の滝谷トンネル北側坑口付近を走行中だった東京発新潟行き「とき325号」が脱線している。この地域一帯は^{かえん}火焰土器と呼ばれる貴重な縄文土器が発見される重要な地域である。縄文時代中期を代表する縄文式土器の一種で、燃え上がる炎を象ったかのような形状の土器を指す通

称名である。装飾的な縄文土器の中でも特に装飾性豊かな土器である。十日町市博物館では国宝の縄文土器が大事だからと2次元（水平）免震機器上に展示されていた。しかし、上下動の激しい揺れで免震機器から転倒し破損している。直下型地震の上下動の激しい揺れには、今までの2次元（水平）免震では大切な国宝を守ることができなかった。新幹線の脱線も国宝の破損も多くの命を奪ったのも、上下動に起因している直下型地震で、この地震の被害を大きくしたのは2,215galを記録し

た上下動の影響である。

そして、実験や検証を踏まえた構造設計を実施して、2011年3月、世界初3次元免震建物は竣工した（図2）。竣工後に藤田教授からは、『「国家プロジェクトで携わって開発した3次元免震システムがあって、それをやらないか？」と勧めたら、「それをやりましょう！」と直ぐに意気投合したのがそもそもの始まりで「新しいことを実現する」という強い意欲がありました。これは並大抵の意欲ではないですよね』、とのコメントをいただいた。

東北地方太平洋沖地震（2011年）を経験 オイルダンパーをカスタマイズした

⇒長周期地震動対策

新宿の超高層ビルが長時間大きく揺れる映像ではさまざまな場所からの動画が撮影され

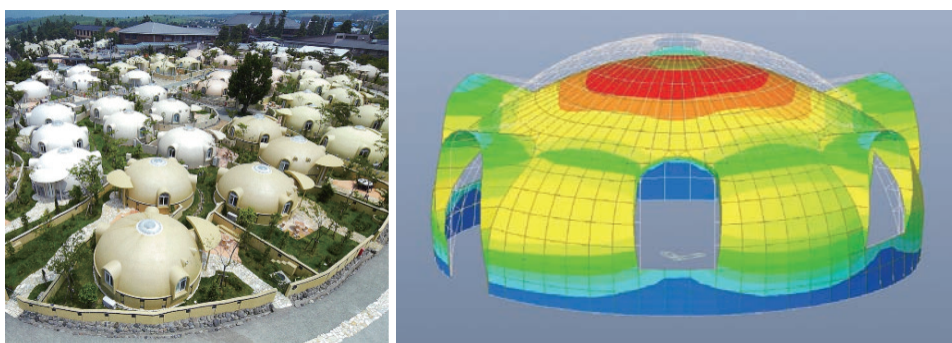


写真5 ドームハウスの外観と構造解析結果

ていた。揺れた理由は、超高層建物の長周期の固有周期と地震動の長周期成分が共振したためだ。建物の減衰性能が地面よりも小さいことも起因している。この長周期地震動対策の有効打として、オイルダンパーの減衰特性をカスタマイズしたものを開発し、「新宿センタービル」に採用している（図3）。減衰性は高めているが、周辺の柱、梁への影響が小さくなるように考案している。自らが働いている本社ビルの制振補強に採用したいとの大手ゼネコンの申し出を受けて、アイデアを提供した。

熊本地震（2016年）を経験

化学分野に学んだ⇒新素材による新構造技術

熊本地域を震度7の激震が間髪入れずに二度も襲った。4月14日21時26分の地震では、熊本県益城町が震度7、阿蘇市は震度5弱であった。続いて発生した4月16日1時25分の地震では熊本県西原村と益城町が震度7、南阿蘇村が震度6強、阿蘇市が震度6弱であった。

阿蘇神社では、重要文化財の楼門と拝殿が全壊した。大規模な斜面崩壊や土石流、地滑りが発生している。阿蘇大橋は崩落し、国道も複数個所で寸断された。熊本県南阿蘇村には「阿蘇ファームランド」が運営している宿泊施設「ドームハウス」（約450棟）がある。温泉棟が付随するこの施設は被災が圧倒的に少なかったために、南阿蘇村の要請を受け、

震災1ヵ月後から、高齢者や子供のいる家族らを受け入れる避難所となり、大活躍した。

半球型のドームハウスは直径約7m、広さ約40m²。構造材は鉄でも木でもなく、厚み約20cmの発泡スチロールである。施工は、RC布基礎を打設後に、12分割した壁部材を接着剤で組み立てていく構造である。各棟にトイレや風呂、冷暖房もあり防災機能としても優れ、軽く柱がないが壁全体で構成される壁構造で耐震性が高く揺れに強い。

何年前だろうか、熊本市の行政機関から紹介を受けたと言って、一人の営業マンの訪問を受けた。どこの建設会社や設計事務所に行っても、このドームハウスの実現は不可能と相手にしてもらえなかった、と言って、肩を落としていた。その頃、ハウスメーカーの制振型式認定を何件か経験していた筆者は、型式認定（国土交通大臣認定）を取得しませんか、と伝えた。ただし、何種類かの構造実験（特に振動台実験）は、付き合ってもらいますよ、として、雪荷重を想定しての鉛直実験に振動台実験、クリープ実験などを実施した。型式認定は、（一般財団法人）日本建築センターの構造評定委員会（木質系）で取得した。晴れて、夢を実現できることになったのである（写真5）。

熊本地震の1ヵ月後に、国道を山側に迂回して「阿蘇ファームランド」を訪れた。すでに、被災所帯を受け入れていたが、どの家族も大浴場を使用して笑顔もこぼれていた。新

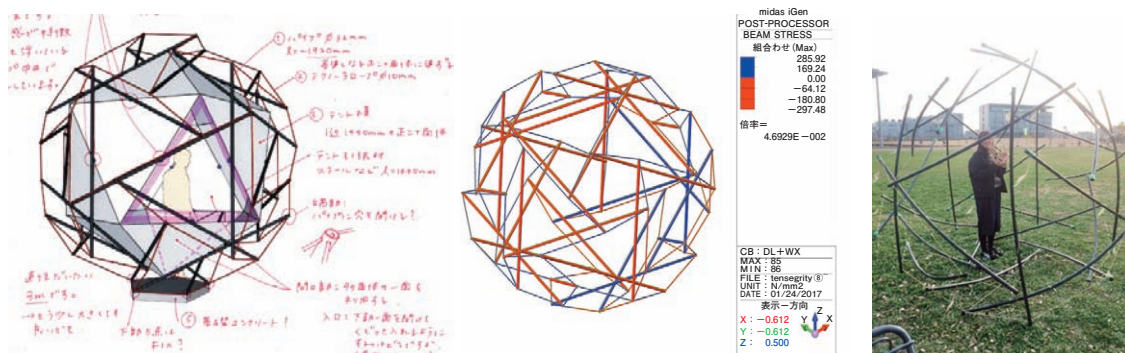


図4 高強度アラミド繊維を応用したドームの構造設計

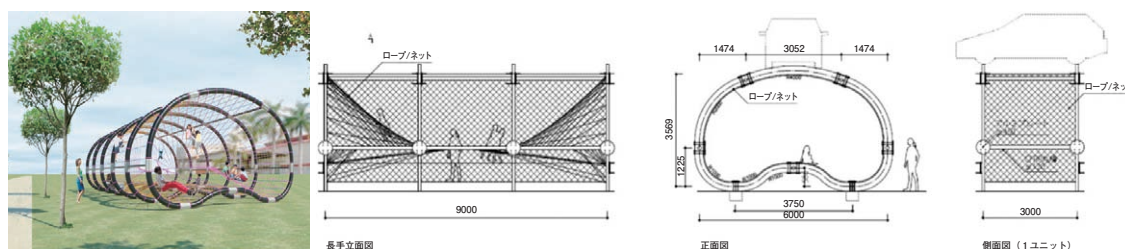


図5 CFRPを活用したコンパクト住宅の構造設計

素材が建築構造として安心を提供した瞬間である。

これらの新素材の建築構造としての成功体験から、最近では、図4、5のような新素材についての実践的研究を進めている。

多くの地震を経験して 新たな問題とその解決に向けて ➡(ボランティアと応急判定)

2016年度の開始早々に熊本地震が発生。高橋研究室の学生の心に何かが点火された。ある学生から相談を受けた。

「居ても立っても居られない。熊本地震のボランティア活動へ行きたい」と。時期的には、GW後、ちょうど、ボランティア活動の人数が減少することを聞きつけたのも動機らしい。研究室から参加した学生たちは、6月～9月の間に3度(毎月2日～5日)の活動に参加。最初は益城町に行き、コンクリートブロック塀の撤去、倒壊した建物内部からの家具の運搬などを行った。次に赴いた南阿蘇村(阿蘇大橋が落橋し、交通も不便)では、地

震後に降った豪雨の影響で浸水した建物の土掻き、土に塗れた生活用品の清掃、今後の台風到来に備えての土嚢積みを実施している。

最近では、建設用重機車両(ユンボ)の免許も取得し、大々的に活動を実施してきたとのことである。当然、被災者に迷惑はかけられない。寝る場所、食べる場所はもちろん、トイレも自分で持ち込み、設置し、撤収してくるとのことである。ボランティア活動から帰ってきた学生のコメントを紹介したい。「与えに行くわけではないんだよね、受けて帰ってきました。はじめは私語をせず、ひたすら一生懸命活動するイメージ。引率してくれた人も、それが一般的なイメージで、ボランティアが毛嫌いされるのも事実と話していた。実際は、もちろん一生懸命活動するが、元気に声を出して、時に笑いもあり、その雰囲気づくりがとても大事。それは自分たちが安全に活動することで、元気な誰かの姿が被災地の人々の励ましにもなること。厳かな雰囲気も、やっぱり当然に必要な時はあるが、ずっとそれではない。活動後に思うことは、



写真6 応急危険度判定とボランティア活動



写真7 平成28年度木造耐力壁ジャパンカップ決勝と構造解析結果

ボランティアは、不謹慎ながら、本当に申し訳ないけど、楽しいんだよ、と思えました」と語る。経験を積んだ者でしか語れない言葉である。そして、問いかけてきた、「応急危険度判定って意味あるんですか？」と。

被災した建築物を調査し、余震などによる倒壊などの危険性を判定し、人命にかかわる災害防止をすることが応急危険度判定の目的である(写真6)。その結果は、見やすい場所に掲示され、居住者や付近を通行する歩行者らに危険度を情報提供することとしている。しかし、赤紙・黄紙の家にはボランティアを派遣できないし入ってはいけない。安全のために出入禁止が原則であるためだ。卒業論文でその学生が提案している。「ボランティアチームに構造設計者が加われば、赤紙・黄紙の住宅に入ることができるシステムを提案したい。可能なら応急的な補強をして、家財の運搬などの活動を行うことができれば、

安全に安心して多くの建物でボランティア活動ができる!」。それが彼らの卒業論文での提案である。

おわりに

ここでは紹介できていないが、「天井にオイルダンパーを利用して落下を防ぐシステム」「大地震時に落下の可能性があるエスカレーターの法整備に関する実験と構造設計」「想定外地震に負けない新型免震・制振装置の開発」など、多くの研究が建築業界だけでなく、さまざまな理学、工学の分野をブリッジしながら産学官連携での共同研究が同時に動いている。それぞれが、整理でき次第に、また報告できればと思う。

最後に、今後も参加して優勝を目指す「木造耐力壁ジャパンカップ」の結果写真(写真7)を載せておく。構造技術で未来を築くことを葛飾キャンパスから発信していきたい。