

特集「防災・減災」

解説

防災・減災

Technologies of Disaster Prevention & Disaster Reduction

野 畑 有 秀

Arihide Nobata

1. はじめに

日本は、その地理的および気象的な特性から、美しい景観や四季に恵まれ、豊富な降水による森林の形成や農作物の収穫、火山周辺の温泉など豊かな自然の恵みがもたらされている。その恩恵の裏で、多くの自然災害により想像を超えるような悲惨な被害がもたらされてきた。建設業は、古くから社会インフラを支え、人々のくらしを守る企業としてこのような災害対策に力を注いできている。過去、大林組技術研究所報でも、2007年に発刊された所報 No.71 で「自然災害にそなえる」を特集し、

「地震」「津波」「大雨」「強風」にスポットを当て、当時の社会の動向や、大林組の取り組みなどを紹介している。当時は BCP（Business Continuity Plan 事業継続計画）的な観点から、民間企業として様々なリスクに対して事業を継続、または早期復旧させるべく、リスクを予測し事前対策や行動計画を構築することが求められ始めた時期である。事業継続上、考慮すべき種々のリスクの中でも自然災害リスク対策は我々建設業にとって切実な問題であった。所報 No.71 より後の 2008 年～2014 年の災害を防災白書¹⁾に基づき Table 1 に示す。自然災害に対しての被害は継続的に発生し、地震のみならず雪・雨等で毎年多くの方々が被災されている。2015 年に入っても、各地で火山の噴火が立て続けに発生し、「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」による鬼怒川の決壊でも長期に渡って多くの避難者を出すなど災害は途切れることはない。

Table 1 に示される災害の中でも改めて自然の猛威を思い知らされ、防災・減災に対する根本的な考え方を覆されたのが 2011 年東日本大震災である。阪神・淡路大震災以降から高まった災害を完全に防御する「防災」意識から災害を可能な限り減らす「減災」意識へと思考の変化²⁾が決定的なものとなった震災である。「防災」という立場で、事前対策を完全に行うためには、リスクを事前に完全に認知する必要がある。しかし、災害に対する事前予測には限界があり、それをを超えるものに対して「想定外」の事象が生じてしまう。また不確実性を伴う「想定」に対し莫大な費用を掛ける経済的合理性の判断の難しさもある。そこで「減災」という概念により、被害を許容したうえでその災害の最小化を目指すというより現実的な考え方が一般

Table 1 2008 年～2014 年の災害
Disasters in 2008～2014

年 月	災 害	対 象	被害の概要
2008年6月	岩手・宮城内陸地震	地震	死者・行方不明者23名 住家全壊30棟
2008年7月	岩手県沿岸北部地震	地震	死者・行方不明者1名 住家全壊1棟
2008年7月	兵庫県を中心とした大雨	雨	死者・行方不明者6名 住家全壊6棟
2008年8月	関東・東海・中部地方の豪雨	雨	死者・行方不明者2名 住家全壊6棟
2009年7月	中国・九州北部豪雨	雨	死者・行方不明者35名 住家全壊52棟
2009年8月	台風9号	雨・風	死者・行方不明者27名 住家全壊183棟
2009年8月	駿河湾を震源とする地震	地震	死者・行方不明者1名
2009年10月	台風18号	雨・風	死者・行方不明者5名 住家全壊8棟
2010年6～7月	梅雨前線による大雨	雨	死者・行方不明者21名 住家全壊42棟
2010年10月	奄美地方における大雨	雨	死者・行方不明者3名 住家全壊10棟
2010年11月～	北日本～西日本の大雪	雪	死者・行方不明者128名 住家全壊9棟
2011年1月	霧島山(新燃岳)の噴火	火山	負傷者42名
2011年3月	東日本大震災	地震	死者・行方不明者21839名 住家全壊127830棟
2011年7月	台風6号(近畿・四国)	雨・風	死者・行方不明者3名
2011年7月	新潟・福島における豪雨	雨・風	死者・行方不明者6名 住家全壊73棟
2011年8～9月	台風12号(近畿・中国・四国)	雨・風	死者・行方不明者98名 住家全壊379棟
2011年9月	台風15号(関東・中部・近畿)	雨・風	死者・行方不明者19名 住家全壊33棟
2011年11月～	北日本～西日本の大雪	雪	死者・行方不明者133名 住家全壊13棟
2012年5月	関東及び北陸の突風(つくば)	風	死者・行方不明者3名 住家全壊89棟
2012年6月	台風4号	雨・風	死者・行方不明者1名 住家全壊1棟
2012年6～7月	梅雨前線による大雨	雨	死者・行方不明者2名 住家全壊36棟
2012年7月	九州北部の豪雨	雨	死者・行方不明者32名 住家全壊363棟
2012年11月～	北日本～西日本の大雪	雪	死者・行方不明者103名 住家全壊5棟
2012年12月	笹子トンネル天井板落下事故	事故	死者9名
2013年4月	淡路島付近を震源とする地震	地震	住家全壊6棟
2013年6～8月	梅雨前線による大雨	雨	死者・行方不明者17名 住家全壊73棟
2013年8月	北日本から西日本(特に中国地方)の大雨	雨	死者・行方不明者2名 住家全壊8棟
2013年9月	関東地方の竜巻等	風	住家全壊13棟
2013年9月	台風18号	雨・風	死者・行方不明者7名 住家全壊483棟
2013年10月	台風26号(伊豆大島土砂災害を含む)、 台風27号	雨・土砂災害	死者・行方不明者43名 住家全壊86棟
2013年11月～	北日本～西日本の大雪	雪	死者・行方不明者95名 住家全壊28棟
2014年7月	台風8号	雨	死者・行方不明者3名 住家全壊14棟
2014年7～8月	平成26年8月豪雨(除大島土砂災害) 台風11号、台風12号	雨	死者・行方不明者14名 住家全壊49棟
2014年8月	平成26年8月 広島土砂災害	土砂災害	死者・行方不明者74名 住家全壊174棟
2014年9月	御嶽山噴火	火山	死者・行方不明者63名
2014年11月	長野県北部を震源とする地震	地震	住家全壊50棟

社会に浸透し始め、国においても災害対策基本法を 2013 年に一部改正し、減災の概念を中心に施策が考えられるようになった³⁾。大林組でも、東日本大震災での教訓を建設業にも生かすべく、2012 年発行の大林組技術研究所報 No.76「巨大地震にそなえる」では、地震・津波に対する被害の予測から各種の対策までの技術を紹介している。東日本大震災以降も、豪雨による土砂災害や竜巻被害、さらには活発化する火山活動により、自然災害の脅威が増しており、それらに対する事前準備・事後対策技術は、社会にとって喫緊の課題である。このため、国は防災・減災に資する「国土強靱化」を掲げ⁴⁾、自然災害のみならずあらゆる災害を減らし、つよくしなやかな社会を築くことを謳っている。

今回の特集では「防災・減災」と題して、各災害に対して大林組が社会に貢献できる技術を、特集論文・技術報告で紹介する。この解説では、社会がもつめる防災・減災技術の方向性と、大林組が開発している技術の位置づけを述べる。

2. 国土強靱化に向けた対策技術

2.1 社会の動向と法整備

国の防災に関する基本的な取り組みを規定する災害対策基本法は、1959 年伊勢湾台風を機に制定されており、1995 年阪神・淡路大震災、2011 年東日本大震災をうけ改正が行なわれてきている。その内容は、総合的な防災体制の確立を目指し、国や地方の責任分担また対策の推進や激甚災害に対する援助を規定したものである。建設業に関わる法規定も、災害のたび見直しが行われてきている。1968 年十勝沖地震の短柱のせん断破壊による被害を契機に「建築基準法」が見直しされ、1981 年に現行の「新耐震」の枠組みが制定されている。1995 年阪神・淡路大震災の後「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が制定され、2011 年東日本大震災を経て 2013 年に改正が行われている。2000 年東海豪雨の後では「水防法」が一部改正され、浸水想定区域の指定対象河川の拡大が示されている。2014 年の広島土砂災害では、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が一部改正され、土砂災害の危険性のある区域の明示、円滑な退避勧告等の発令に資する情報の提供が示されている。その他、防災に関わる様々な法が、災害の教訓をうけ改正や新たに制定されている。

2.2 国土強靱化への流れ

防災のための技術の方向性を示す施行の一つとして、2013 年 12 月に「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法」が公布・施行された。基本法の前文では、東日本大震災の教訓および南海トラフ地震、首都直下地震、火山噴火等の大規模自然災害等の発生のおそれを指摘している。その上で「今すぐにも発生し得る大規模自然災害等に備えて早急に事前防災および減災に係る施策を進めるためには、大規模自然災害等に対する脆弱性を評価し、優先順位を定め、事前に的確な施策を実施して大規模自然災害等に強い国土および地域を作るとともに、自らの生命および生活を守ることができるよう地域住民の力を向上させることが必要である。」としている。また、「国土強靱化」を実現するためには、自然災害のみならず、2012 年笹子トンネルの天井落下に代表される社会資本の老朽化による災害対策も重要である。実際に高度成長期時代に作られたインフラの老朽化問題が顕在化しており、その診断法を含め対策は喫緊の課題である。これら国民生活の安全を守る「国土強靱化」の考え方は「ナショナル・レジリエンス」と訳されている。「レジリエンス(resilience)」とは基本的には「回復力」、「抵抗力」、「復元力」「耐久力」などの意味を持ち、心理学では「折れない心」、「打たれ強い心」という意味である。予防と回復力を合わせた言葉として、災害後の復興をいかに早くできるかという時間軸の次元を併せ持った BCP の発想と同様な概念として多用されている。復旧時間を素早くする概念から、日本語訳として「縮災」という言葉も適切ではないかという提案もある。一方、レジリエンスエンジニアリングという安全学の体系があり⁵⁾、ここ数年急速に発展し続けている。社会・技術システムは時間と共に変化し、

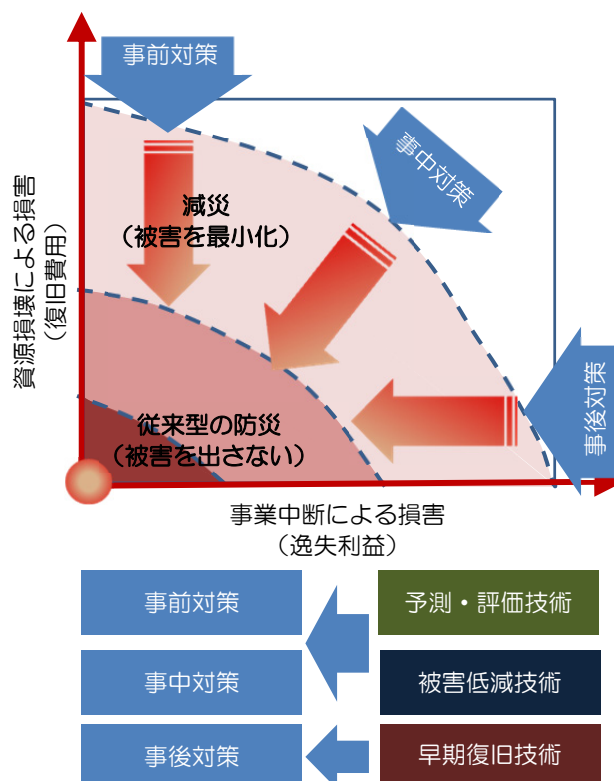


Fig. 1 防災・減災とその対策技術
Technologies of Disaster Prevention
& Disaster Reduction

そこで行われる意思決定は不完全な情報しかない状態でなされることが多い。さらに、利益や効率を目指す経済社会において冗長な安全施策は削られる方向にあることも一般的である。レジリエンスエンジニアリングでは、安全という概念は、このような環境下でもシステムが健全に動作することと捉え、安全に対する方策は、事前の対策のみならず、事中の臨機応変な対応に重きをおいた体系となっている。実際、防災関連においても、防災から減災に考え方が移行し、人の行動による被害低減や、如何に復興を早めるかに意識は変わってきている。これが強靱化の位置づけとなっており、予防のみではなく事中事後の対応の重要性が災害に対する対抗力としての重要な役割を担ってきている。

このようなレジリエンスという思考の流れの中で、建設業は事前対策を考えるための予測技術とそれに対応する被害低減技術、事後早期復旧のための対応技術等に関して重要な役割を担っている (Fig. 1)。次章では、これら社会のニーズに対して建設業にもとめられるものと大林組の取り組みについて概説する。

3. 災害別にみた社会のニーズと大林組の取組み

3.1 地震・津波

平成 25 年 3 月に国土交通省から発表された南海トラフ巨大地震の被害想定 (第二次報告)⁶⁾においては、防災・減災対策の被害軽減効果が試算されており、施設・設備の耐震化やインフラ・ライフラインの早期復旧のための対策の必要性が示されている。同年 7 月には特定天井の構造に関する建築基準法施行令の改正⁷⁾により、脱落により重大な危害を生ずるおそれのある天井の構造安全性の強化や腐食・腐朽に対する防止措置が求められた。また、11 月には建築物の耐震改修の促進に関する法律等の改正⁸⁾により、不特定多数の方が利用、又は、避難に配慮を要する方が利用する大規模な建物等の耐震診断の義務化や結果の公表が規定された。一方、津波に関しては、平成 25 年 9 月には港湾施設としての防波堤を対象とした耐津波設計の基本的な考え方を取り纏めた「防波堤の耐津波設計ガイドライン」の改訂が発表⁹⁾され、発生頻度の高い津波と最大クラスの津波という二つのレベルの津波が定義され、それぞれの防護目標として防災と減災が掲げられた。このような社会動向に対して、大林組は地震対策技術の研究開発を継続的に実施している。

(1) 予測・評価技術

適切な被害対策を行うためには、構造物に入力される地震動や津波荷重の予測や、正確な構造物の挙動の予測が必要不可欠である。大林組においても、差分法を用いた長周期地震動の評価や津波の遡上予測により設計用の入力地震動評価や津波避難行動の有効性評価を行った。また、地盤の液状化解析技術「O-EFFECT[®]」やコンクリート系構造の解析技術「FINAL[®]」を発展させ、地盤と構造物の連成系を対象として開発した「FINAL-GEO」により様々なシミュレーション (Fig. 2) にも取り組み、その高い精度が評価されている。

(2) 被害低減技術

・主要構造物

地震による構造物被害を低減させる仕組みは「耐震構造」「免震構造」「制震構造」の 3 種類に大きく分けられる。「耐震構造」は構造物の架構自身で地震エネルギーに抵抗する構造であり、特別な装置を用いる必要がなく、既存の構造物に広く適用されている一般的な手法である。「免震構造」は積層ゴム (ゴムと鋼板を交互に貼り合わせて、構造物の重さを支える方向には硬く、地面に平行な方向には軟らかい特性を持つ材料) 等を利用して、地震動のエネルギーを構造物に伝わる前に低減する構造であり、1995 年阪神・淡路大震災以降、急激に普及し始めた構造である。近年の免震建物は、直径 1,400mm 以上の大径積層ゴムや CLB (直動転がり支承) など免震周期の長周期化に寄与するデバイス開発が進んだため、10 年以上前には免震化が避けられていた超高層建物や鉄骨造建物など、上部構造が 2~3 秒のやや長周期の建物にも適用範囲が広がっている。また、大林組技術研究所本館テクノロジーで採用しているスーパーアクティブ制震「ラピュタ 2D[®]」は、積層ゴムを設置した免震層にアクチュエータ (加力装置) を併設した、免震と制震を組み合わせた技術である。建物自身をすばやく動かして地震の揺れを打ち消し、建物の揺れを地面の揺

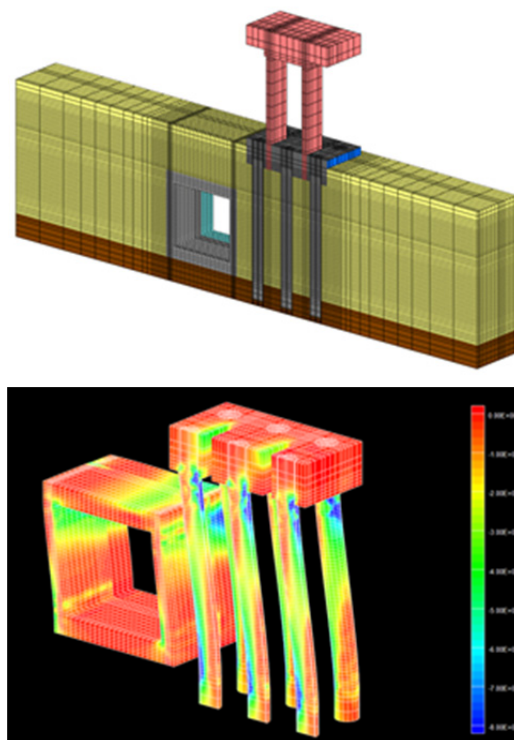


Fig. 2 FINAL-GEO による地中構造物の地震応答計算
Seismic Response of Underground Structure Calculated by FINAL-GEO
※本図は近接する杭とカルバートの FEM モデル図と地震時の応力分布を示している。

れの1/50～1/30にまで低減する。大林組技術研究所本館は本技術を建物全体に適用して“揺れない建物”としているが、建物内の一部に適用して、アクティブ制震床を構築することもできる。

「制震構造」は構造物に組み込んだ制震装置によって、地面から構造物に伝わった地震エネルギーを吸収、又は、打ち消すことで構造物の損傷を低減する構造である。構造物に加わった地震エネルギーを吸収する装置として、粘性が高い材料（オイル、ゴム等）を用いたダンパーや、鋼材の塑性変形でエネルギー吸収を行うダンパーがある。鋼材ダンパーは比較的安価であり、広く用いられるが、地震により変形した後にメンテナンスが必要である。大林組では、繰り返し使用してもメンテナンスや交換が不要な「ブレーキダンパー[®]」を開発した（Photo 1）。構造物に最適な減衰力を得られるように研究を重ね、現在では、設置する構造物の負荷を軽減する可変型、様々な規模の地震に対応する多段階型、風揺れから地震まで幅広くエネルギーを吸収するハイブリッド型等、多くのバリエーションを有している。更に、橋梁で使用することも可能である。また、建物外周に設置したおもりを高減衰ゴムで接続し、おもりの動きで揺れを打ち消す効果を得る「フラマスダンパー」は、室内空間への影響が少なく、外観や眺望も損なわない、中層～高層建物に適した制振技術として開発された。超高層建物の制振技術としては、一つの建物の中に二つの構造体をオイルダンパーで連結する「DFS[®]（デュアル・フレーム・システム）」¹⁰⁾が現在までに多くの超高層集合住宅物件に適用されている。さらに、DFSの原理を応用して、立体自動倉庫の耐震性を高め、ラックからの荷物の落下を防止する「連結制振技術」を確立した。

・天井の耐震対策

東日本大震災では、ホール（九段会館）や博物館、空港ロビーなどの多くの人が集まる大空間で、天井が落下し死傷者を出した。また、オフィスビルや研究施設などで採用されているシステム天井でも、想定を超えた地震力により多くの事故が発生した。このような事態を受け、国土交通省は天井脱落対策として特定天井（日常人が立ち入る場所で、高さが6m以上、面積が200㎡を超える天井）は、国土交通大臣が定める基準（脱落の恐れがないもの）への適合を告示で義務付けた¹¹⁾。大林組のシステム天井「O-GRID」に関しては、この告示に規定される地震力にも対応可能な高耐震仕様を開発した。また、天井落下防止構法「フェイルセーフシーリング[®]」は既存の吊天井の天井板下面にネット等を設置して、天井落下による人的被害の低減を図る落下防止措置のための技術である。

・耐震補強

耐震改修に関連する技術として、既存RC造建物を使いながら耐震補強することができる「3Q-Wall[®]工法（Photo 2）」「3Q-Brace[®]工法」「3Q-Column[®]工法」に関しては、小型のウォータージェットによる目粗しを併用する「3Q-Joint[®]工法」を新たに開発し、既存躯体と補強部材の一体性を確保するためのあと施工アンカーによる振動・騒音を低減することを可能とした。また、大容量TMD（チューンドマスダンパー）による既存超高層建物補強も期待される¹²⁾。

・インフラ施設の地震対策

インフラ施設の地震対策としては、地盤の液状化を生じさせない、あるいは万が一液状化を生じても施設の機能を維持できる技術が求められる。一般的な液状化対策技術としてはサンドコンパクションパイル工法による地盤の締固めやセメント系材料を用いた固化工法や薬液注入等により地盤を改良する手法がとられる。大林組においても、過去の所報で取り上げた「側方流動抑止杭工法」「2段タイ工法」「タフロード[®]」「TOFT工法」のような地盤液状化対策や、「マルチプルナットバー[®]」のような既存構造物の



Photo 1 ブレーキダンパー
Brake Damper



Photo 2 3Q-Wall (FRPブロックタイプ)
3Q-Wall (FRP Block Type)

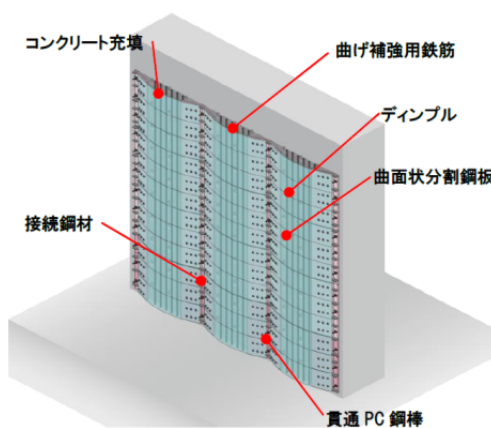


Fig. 3 フープパネル工法
Hoop Panel Construction Method

耐震補強技術がある。また、地上部分の RC 造橋脚等の補強には、シート状に成形した連続繊維を巻き付けて硬化させる補強工法や、橋脚の周囲に鋼板や RC を巻き立てて耐震性能を高める方法が広く用いられる。壁式橋脚の耐震補強工法として大林組が開発した「フープパネル工法[®] (Fig. 3)」は、壁式橋脚の両面に設置した曲面状の鋼板を PC 鋼棒で固定する補強法であり、大規模な重機や溶接を必要としない工法である。

・津波対策

津波対策としては、前述のガイドラインの改訂に際して、防波堤は最低限人命を守ることを目標として、変形しつつも倒壊しない“粘り強い構造”であることが求められている。大林組では付加価値を有する防波堤の開発に取り組んでおり、平常時は海底に格納され船舶の航行を妨げない「直立浮上式防波堤」を開発し、試験工事に至った。また、火力発電所から発生する廃棄物である石炭灰を利用した防潮堤の開発に取り組み、施工性や緑化の実証実験を実施している。

3.2 風害（竜巻、台風）

風害には、建物の屋根や壁などの破損、倒木や枝折れ、人の転倒といった日常生活に影響することや、建築部材の飛散、鉄道の脱線や電線の切断、飛来物による太陽光パネルの破損、風力発電の羽根の破損など産業活動への影響による社会的な被害がある。強風被害は風以外の他の起災現象と複合して発生することが少なくない。台風などでは多量の降雨による水害・土砂災害、吹雪では多量の雪による雪害、突風では雷雲による急激な豪雨や落雷など、風が他の災害と複合して、人的・経済的な被害が拡大することも特徴である。

日本は台風の常襲地域でもあることから、古来から風の問題に取り組み、風を生活に活かすこともしてきた。今日のような風に関する本格的な技術開発は、経済発展と共に始まった。高層ビルが多数建設されるようになり、都市構造の高密度化が進むにつれ、超高層建築物の耐風性の高精度な検証、さらにその周辺の温熱環境を含めた風の制御が必要となった。最近では、温暖化のような気候変動もそれらの増加の一因と考えられる竜巻やダウンバーストなどの極端に強い風への備え、さらには太陽光発電・風力発電など地域開発への対応も求められるようになった。風害では、構造物に被害が発生すると、その飛散物による二次的な被害も拡大する危険性があるため、災害の発生を抑制するための事前の検討が重要となる。そのため、建物の縮尺模型を用いる風洞実験や高精度かつ迅速に風環境を予測するソフト技術の開発等を積極的に推進し、最新の予測技術を活かしてハード技術の開発を進めることが望まれる。

(1) 予測・評価技術

大林組では、高層ビル建設に際し、ビル自身が風から受ける外力、あるいはビルが周囲に及ぼす影響を調べ、かつ建物を強風から守る「耐風設計」に必要な検討を迅速に行うため、常に最先端の技術開発を行って業界をリードしてきた。1988年に建設業界で初めてスーパーコンピュータ（NEC SX-1E）を導入、数値解析技術を活用した予測技術に取り組んだ。そして、1992年には測定部に 3m×3m の内空断面、最大風速 40m/秒の業界最大級の風洞を有する実験施設を設けた。その成果は、構造物の構造骨組み設計用風荷重、外装材設計用風荷重、居住性能評価、都市の風環境評価に利用され、構造物の安全性確保や数々の大型都市再開発に貢献している。

コンピュータの性能向上に伴い、革新的なシミュレーション技術の開発も進めている。2001年に開発した風環境シミュレータ「Zephyrus[®]（ゼフィルス）」(Fig. 4)は、GIS 電子地図情報を利用して、流体計算を含めた 3 次元の風環境をパソコン上で予測可能にした。2011年には建物への風の外力の評価に対し、将来の風洞模型の代替ともなり得る「数値風洞エアロダイナ[®]」(Fig. 5)を開発した。自然風の乱れを考慮し、構造物まわりの不規則な風の流れとそれが建物に及ぼす作用を高精度に予測することに成功した。また、長期間にわたる都市再開発計画では、経済事情などの影響で計画変更が繰り返されるため、それに伴う迅速なシミュレーションは必須である。そこで、2015年5月には、技術研究所にベ

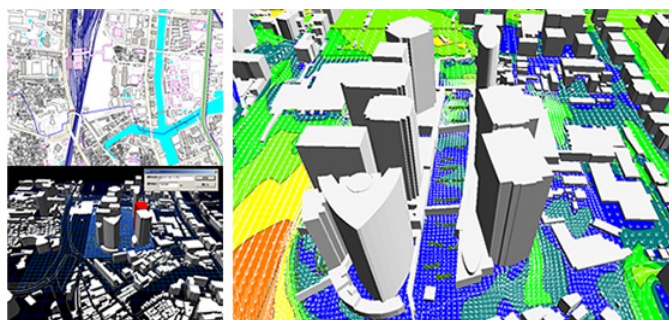


Fig. 4 風環境シミュレータ Zephyrus[®] (ゼフィルス) による
3次元モデル化と地上付近の風速比分布
©2015 ZENRIN CO., LTD. (Z09KA 第039号)
Wind Environment Simulator “Zephyrus[®]”

3D Modeling and Distribution of Wind Speed Ratio Near the Ground

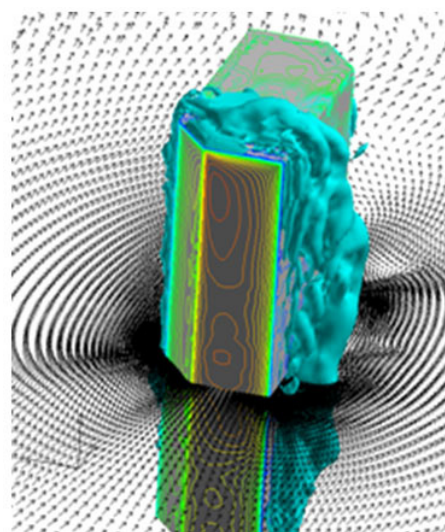


Fig. 5 エアロダイナ[®]による
建物まわりの風外力シミュレーション
Numerical Wind Tunnel. “Aero Dyna[®]”
Wind Force on Building Simulation
※本図は、建物にかかる風速の向きをベクトル
で示し、地下街で風圧力を示している。

クトル型スーパーコンピュータ (NEC SX-ACE, 32 ノード, 最大性能 8.21TFLOPS)を導入し、風洞模型実験による検証の 1/3 以下の迅速な対応を可能にした。なお、竜巻等の突風などは、通常の台風より強い風をもたらすが、これらの現象は台風などと比べるとはるかに小規模で、発現時間や移動距離もはるかに短い。そのため、一般的な気象の解析手法では数値シミュレーションが非常に難しいとされる。しかし、大林組はこれまでに培った解析技術を活用することで、突風や地形性強風のような規模は小さいが、ときに大きな被害をもたらす現象のシミュレーションを可能にした。さらにはそうした技術を自然エネルギーの開発にも活かすなど、それらの技術は特集論文において紹介している。

(2) 被害低減技術

一方、ハード技術の分野でも最先端の開発を進めている。2012 年に竣工した東京スカイツリー[®]では、独自の風観測と気象庁などのデータを利用して強風時のクレーンの挙動を予測し、姿勢を安定する方法などを開発し、建設資材をつり上げるタワー・クレーンなどの大型建設機械を、地上 500m を超える高さで安全に稼働させることに成功している。都市部のヒートアイランド抑制には、風が有効であり、風の通り道を考慮したビル風対策が必要である。また、ビル周囲に発生する風対策には、都市景観を向上させるデザイン性が求められるため、モニュメント型防風装置「Flowps (フロープス)[®]」(Photo 3)を開発し、晴海トリトンスクエアなどの再開発事業で採用されている。鉄道での強風対策では、既設の鉄道高架橋コンクリート製高欄に取り付け可能な軽量のコンクリート表面を保護する工法が求められるため、高強度ビニロン繊維を混入したセメントボード「スリムクリート[®]」(Photo 4)を開発・実用化している。ユニークな技術では、2013 年に開発した全てコンクリートで造る「スリムクリート[®]製防風柵」がある。60%遮蔽の有孔板と H 形断面の支柱には、鋼材が使われていないため、腐食の恐れがなく、潮風を受ける沿岸や融雪剤を散布する地域での活用が期待される。



Photo 3 モニュメント型防風装置 Flowps[®]
Monument Type Wind Protection Device “Flowps[®]”



Photo 4 「スリムクリート[®]」による強風対策
Strong Wind Countermeasure by a Method of
“Slim-Crete[®]” Construction

3.3 水害

水害の中でも特に都市部を中心として発生する都市型水害の特徴は、豪雨がなくても洪水が発生して交通や下水道などの都市機能が麻痺することで経済活動への被害が大きいこと、短時間豪雨があると洪水に至る氾濫がなくても地下街の浸水や道路の冠水などにより人的・物的被害が生じることである。日本の都市は、水運が便利な平野の低地に発達し、河川の氾濫の影響を受けやすい場所にあるため、近代以降のダム建設、河道整備、築堤、排水ポンプなど河川を中心とした治水事業が実施され、洪水の発生を減らしてきた。しかし、1960 年代以降の経済成長期の都市開発により、低地の人口の増加や工場の地下水くみ上げによる広域な地盤沈下などの影響で、災害リスクが高まると共に経済活動への損失も大きくなった。被害拡大の主な要因は、コンクリートやアスファルト舗装の増加による不透透域の拡大に伴う地下浸透の減少と地下街などの地下空間の利用が進んでいることである。前者には、雨水を地下に浸透させたり、貯留した雨水を徐々に流す対策が必要となる。後者には、浸水経路を遮断する施設を設ける対策が必要となる。しかし、気候変動の影響とされるゲリラ豪雨など、短時間の激しい雨により下水道や排水ポンプで処理しきれない場合も予想される。都市型水害は、ハード技術の対策には限界があるため、浸水予測に基づく避難計画などのソフト技術も重要になっている。

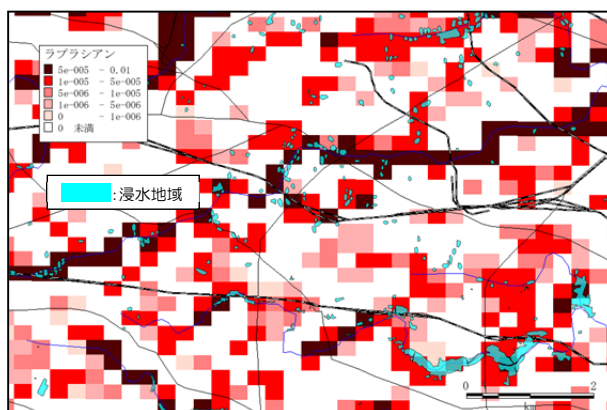


Fig. 6 浸水地域とラプラシアンとの比較
Relationship of Inundation Area and Laplacian of
Ground Elevation

※本図は、標高のラプラシアンの高い地域（凹地形）が過去の浸水被害にあった地域を比較的良く説明することを示している。

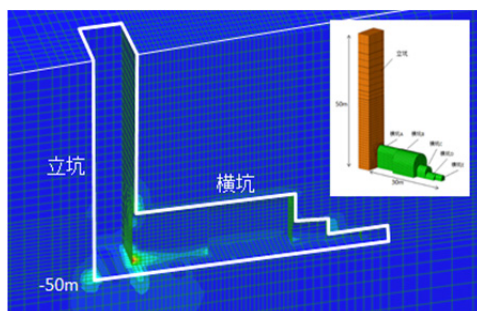


Fig. 7 GRASP-3Dによる
大深度地盤の施工時挙動(応力図)評価
Evaluation of Deep Ground Behaviors during
Excavation by Numerical Analysis Program
“GRASP-3D”



Photo 5 首都圏外郭放水路
The Metropolitan Area Outer
Underground Discharge
Channel



Photo 6 URUP 工法による
大断面トンネル施工
Construction of Large Cross Section Tunnel
by “URUP Method”

2005 年米国ハリケーン・カトリナの高潮災害を契機に、日本においても中央防災会議で、大規模水害対策に関する専門調査会が設置され、2012 年には利根川や荒川等の堤防が決壊した場合や東京湾において大規模な高潮が発生した場合における氾濫状況のシミュレーションを行い被害様相の想定と首都圏において講ずべき大規模水害対策等の検討が行われた。被害としては、広大な浸水領域、深い浸水深、地下街地下鉄による浸水域の拡大や、電力等のライフラインの途絶等都市水害として新たに考えなくてはならない事象が浮き上がってきた。その後、東日本大震災を経て 2012 年 9 月には、首都圏大規模水害対策大綱が作成された¹³⁾。その中には的確な避難の実現や治水対策等氾濫の抑制などが謳われている。

また、2011 年のタイ国における水害は、豪雨により上流のダムの許容貯水量が限界を超え、大量の放水が行われたため、下流の河川堤防の決壊を招いたことで発生し、日本企業が進出する工業団地に浸水して多くの企業が操業を停止した。また、道路や鉄道などの輸送経路の寸断が起きたため、直接被害を受けていない工場でも部品の調達が困難になるなど、経済的な被害はアジア全域にも広がった。企業の BCP において海外の自然災害リスクをも適切に判断する必要があることを認識させられた災害であった。

(1) 予測・評価技術

一方、2007 年に大林組がその対策方針として作成した「**建物の水害に対する設計ガイドライン**」は、洪水のハザードマップや国交省が 2001 年に策定した「**地下空間における浸水対策ガイドライン**」等の資料を基に、設計者が具体的な浸水対策を建物の設計に活用するシステムである。これは、再開発計画や建物の設計に活用され、局所的な集中豪雨に適応した安全空間の設計に貢献している。なお、ハザードマップは、公開する自治体間で基準雨量や浸水深の表示などが統一されていないため、複数の自治体にまたがる開発地点に対する危険度を同一基準で比較することが困難な場合があった。この対応として 2014 年に開発した「**GIS を用いた水害の簡易危険度評価**」技術(Fig. 6)は、微地形の凹凸データをラプラシアンで計算してポテンシャル指標として、自治体をまたぐ地点の危険度を評価できる。しかし、気候変動の影響とされるゲリラ豪雨など、短時間の激しい雨により下水道や排水ポンプの処理能力を超える内水氾濫も予想される。細心の注意を払ってインフラ整備を進めても、予測のできない被害が想定されるため、人的被害を無くすための避難方法の予測技術は重要である。そこで、マルチエージェントシステムを利用した「**地下街浸水避難シミュレーション**」の事例を特集論文において紹介している。本手法は地下空間の浸水状況や避難者達の相互作用等の動的に変化する状況の影響を表現できるため、建物ユーザー等が避難安全性能を直感的に理解できる。特に、避難行動余裕時間を長く見込めない集中豪雨では、止水板の設置等の迅速な浸水抑止行動や避難誘導、情報伝達的重要性の理解に役立つと考えられる。

(2) 被害低減技術

大林組では、浸水被害を解消または軽減し、より安全で良好な生活環境を創出するために、高度な技術力に基づく先進的な技術開発をハードとソフトの両面で進めている。1995 年に開発した地盤・地下水連成解析ソフト「**GRASP-3D**(Fig. 7)」は、3 次元有限要素法に基づく構造シミュレーションができる。これにより、地下水の止水対策や地下構造物の安定性の検討に活用され、大深度地下利用等のインフラ建設の安全性向上に貢献にしている。2001 年に竣工した「首都圏外郭放水

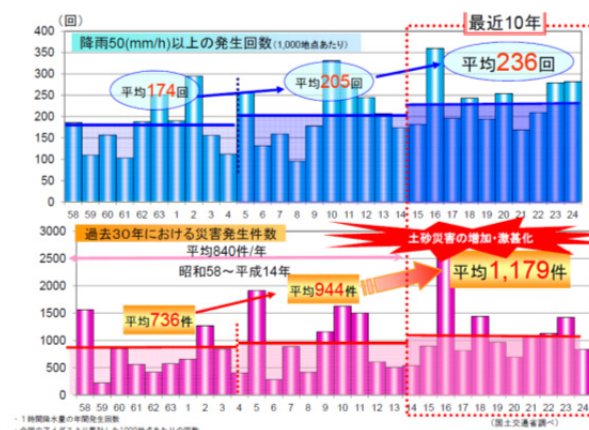


Fig. 8 雨の降り方と土砂災害¹³⁾
Comparison of the Amount of
Rainfall and Landslide Disaster

路（第一工区トンネル）（Photo 5）」は、地下 50 メートルに設けた総延長 6.3 キロメートルのトンネルで、あふれそうになった中小河川の水を江戸川に流して下流にある都市の洪水を防ぐものである。優れたシールド工法の施工技術により、施工時に最大水圧約 0.6 メガパスカルという高水圧を受けるなか、最大内径 10.9 メートルの巨大トンネルを建設した。この関連技術の URUP（ユーラップ）工法（Photo 6）は、交差点の下に地上発進・到達シールド工法により、直接トンネルを造ることができるため、地域の生活・経済活動を維持しながら災害を減らすインフラ再整備が可能である。局地的な集中豪雨から洪水を防ぐためには、街の地下に貯留水槽を設けるのが有効である。2010 年から建設が始まった「千住関屋ポンプ所建設工事」では、作業空間に地下水の浸水を防ぐための圧縮空気を送入するニューマチックケーソン工法を採用し、川に隣接する場所で、掘削面積 4903m²、ケーソン沈下深度 50m の国内随一の巨大水槽の建設を進めている。2008 年に開発した「打ち水グラスパーク」は、車両通行が可能な透水性舗装でありながら植物も生育できる多様な機能があるため、雨水浸透により河川などへの雨水の流出を抑制することで浸水被害を抑制すると共に、緑地率を高めてヒートアイランド対策の効果も期待できる。

3.4 土砂災害

日本列島は約 70%を山地・丘陵地で占めており、地質的にも脆弱な地層が多いため、豪雨や台風により毎年多くの土砂災害が発生している。特に近年は地球温暖化に伴う気候変動により、熱帯低気圧の強度が大きくなる傾向にあり、ゲリラ豪雨などの大雨が増加している。Fig. 8 に、過去 30 年間における 50mm 以上の発生回数と土砂災害の発生件数の比較を示すが¹⁴⁾、50mm 以上は 10 年ごとに 15%増加しており、それに伴って災害発生件数は 25%ずつ増加している。豪雨に伴う土砂災害としては平成 23 年台風 12 号紀伊半島土砂災害、平成 25 年台風 26 号伊豆大島の土砂災害、平成 26 年豪雨による広島災害が記憶に新しい。

一方、地震に伴う土砂災害も近年多く発生している。地震に伴う大規模崩壊としては岩手・宮城内陸地震での荒砥沢ダム地すべりが記憶に新しい。また、新潟中越地震では多数の地すべりや斜面崩壊が発生しただけでなく、河道閉塞による湛水という新たな 2 次災害も発生している。

(1) 国の動き

最近の土砂災害の特徴として国土交通省および気象庁では以下のようにまとめている¹⁵⁾。

①大規模な土砂災害の発生

深層崩壊等による大量の土砂流出

②地震後の土砂災害

強震による土砂移動、積雪と複合した土砂災害

③融雪時の土砂災害

豪雪後の融雪による土砂の移動や雪崩による土砂災害

今後これらの現象に対して減災を図るためのソフト対策およびハード対策の実施が求められていくことは必須と考えられる。

また、国も平成 26 年 8 月広島で発生した土石流災害を受け、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」に対して以下の改訂を行った¹⁶⁾。

- ・土砂災害の危険性のある区域の明示
- ・安全な避難場所の確保等、避難体制の充実・強化
- ・土砂災害警戒情報を法律上に明記

市町村に対する通知と一般への周知を義務付け

これらソフト面の対策についても、斜面のモニタリング技術等を含め強化していくことにより、被害を最小限に抑えていく必要がある。

(2) 対策技術

大林組はこれまで土砂災害に関する研究およびハード対策を中

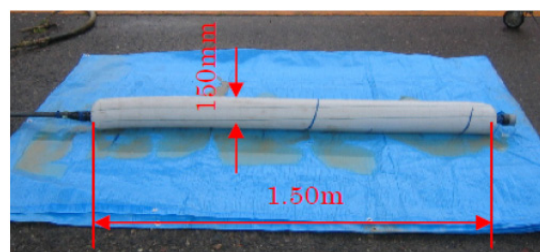


Photo 7 ハイスペックネイリング®の概要
View of “High Spec Nailing”

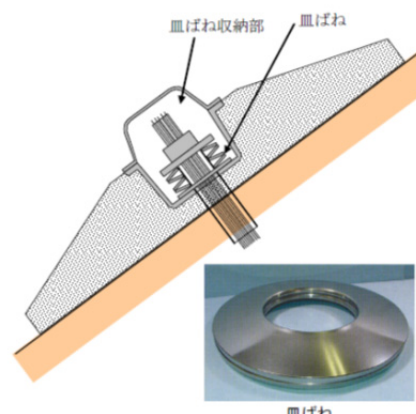


Fig. 9 皿ばねアンカー
Coned Disk Spring



Fig. 10 ポータブルサイフォンの概要
Outline of “Portable Siphon”

心とした技術開発を積極的に取り組む^{17), 18)}とともに、多くの災害復旧に貢献してきた。

斜面防災の開発技術としては、セメントミルクのジェット噴流で切削を行う地山補強土工法「アースネイリング工法」¹⁹⁾、芯材（鉄筋等）の先端に袋体を装着してその袋体にグラウト材を加圧注入することで引抜抵抗力の増加を図る「**ハイスpekクネイリング®工法**（Photo 7）」、およびアンカーの頭部に皿ばね（Fig. 9）を設置することにより、地盤の変位を吸収してアンカーの引張り力が変化するのを抑制する「**皿ばね（D&S）アンカー工法**」がある。「アースネイリング工法」¹⁹⁾と「ハイスpekクネイリング®工法」は、斜面の安定対策や鉄道盛土の耐震化技術として多くの実績を有している。

「皿ばね（D&S）アンカー工法」は、時間の経過に伴うグラウンドアンカー緊張力低下の抑制効果、地震時に伴うグラウンドアンカーの損傷防止効果、凍上に伴うグラウンドアンカーの損傷防止効果が期待できる。

災害復旧への取り組みの代表事例として、駿河湾を震源とする地震に係る牧之原地区盛土のり面崩壊対策²⁰⁾や岩手・宮城内陸地震に係る荒砥沢地すべり対策等があり、これらの経験を踏まえさらに減災・復旧に向けた技術開発を行っている。たとえば、災害時の対策技術として豪雨や地震によって山間部で土砂災害による天然ダムが形成された場合、湛水による二次災害を回避するための緊急排水技術「**ポータブルサイフォン**（Fig. 10）」²¹⁾を開発している。特に、豪雨等に伴って斜面崩壊した土砂により河川に天然ダムが形成された場合、天然ダムの決壊によって河川下流域の住宅地が二次災害を受ける可能性があり、このような二次災害を回避する上で緊急排水技術が必要となる。

3.5 火災

平成 26 年度の消防白書²²⁾によれば、平成 25 年度中の出火件数は 4 万 8,095 件、火災による死者数は 1,657 人と報告されている。出火件数、死者数は、ここ 10 年間で徐々に減少しており、それぞれ 10 年前の 85.4%（出火件数）、72.3%（死者数）となっている。消防白書では火災種別として建物火災、車両火災、林野火災、船舶火災、航空機火災、その他と分類しているが、出火件数で最も比率が高いのが建物火災（全火災の 52.1%）である。建物火災による死者の 87.7%が住宅で発生しており、死に至った経過の発生状況別にみると逃げ遅れが全体の 56.4%と最も多い。また、火災による死者数（放火自殺者を除く）を年齢別にみると、65 歳以上の高齢者が全体の 68.6%を占めており、高齢者の火災安全対策をどのように考えるかが重要な課題となっている。

上述の問題は不特定多数用途、ならびに高層の建築物における火災安全上の問題にも関連しており、高齢者を含む災害弱者の避難の問題について様々なアプローチからの検討が進められている。例えば、東京消防庁は平成 25 年に特別避難階段の設置が義務づけられる高層建築物を対象に、車椅子利用者を含む歩行困難者の避難安全対策を推し進めるための指導基準を制定した。具体的な対策としては従来病院の防災計画で用いられてきた水平避難の考え方を基本として、歩行困難者を対象とした一時避難エリアの設置、一時避難エリアに至る避難経路上のバリアフリー化、および避難誘導用エレベータの設置等がある。

一方、地震後の建築物における火災安全性能確保についても阪神淡路大震災以降、検討が進められており、地震後の防火関連設備の不作動率（被害率）を基に、火災安全性能に関するリスク評価を行う手法や、スプリンクラー等の消火設備の耐震性向上の取り組みが検討されている。また、東日本大震災では震源から遠くはなれた関東地方の鉄骨造建築物や都心部の超高層建築物で防火設備の脱落等の被害が確認されているが、これらの被害は

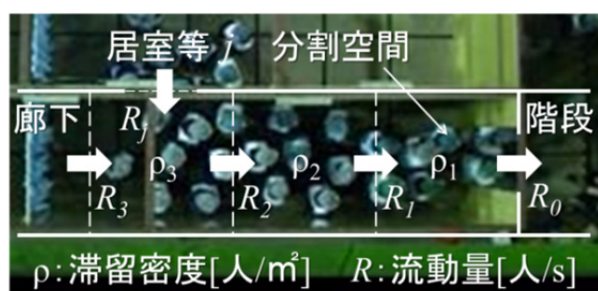


Fig. 11 避難行動予測手法 ゾーンモデル（廊下避難）
Zone Model to Estimate Evacuation Behavior
(Corridor Evacuation)



Photo 8 煙流動性状予測のための実験
Experiment on Smoke Diffusion

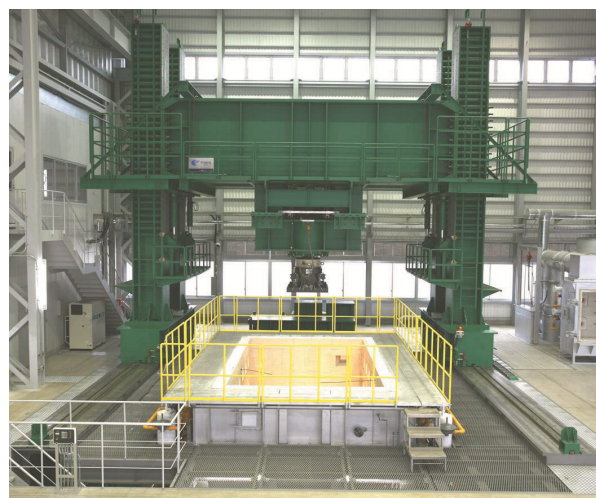


Photo 9 耐火実験装置／火災工学実験棟
Fire Resistance Experimental Equipment /
Fire Protection Engineering Laboratory



Photo 10 ポリプロピレン短繊維
Polypropylene Short Fiber

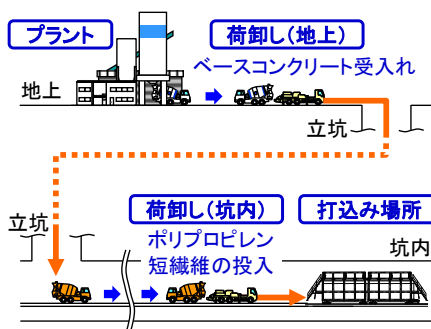


Fig. 12 現場打ち耐火コンクリートの運搬の流れ
Transportation Flow of
Cast in Place Fire Resistance Concrete



Photo 11 耐火型高機能
SFRCセグメントの適用例
High Functional Fire Resistance
Segment

長周期の地震動により発生した可能性が考えられる。

市街地火災に関しては地震後の公設消防力による消火活動が期待できない状況において被害の拡大が懸念されており、東京都が平成22年にまとめた防災都市づくり推進計画²³⁾では、方針の1つとして延焼遮断帯の整備を掲げている。延焼遮断帯は幅員27m以上の道路、鉄道、河川が性能を有しているが、幅員27m未満の道路では幅員に応じて沿道の不燃化率に設定することで幅員27m以上の道路と同等の延焼遮断性能を確保するようにしている。この他、緊急輸送道路の機能確保のため、沿道の建築物の耐震化が進められている。さらに、東日本大震災では津波による被害が甚大であったが、津波に起因する火災も津波被災地域で数多く発生しており、中には大規模な市街地火災に発展している事例も数件ある。津波火災では津波により道路に集積しがれきや車両が延焼媒体になると共に、公設消防の消火活動を阻害することにより被害が拡大したことが判明している。

土木分野においては、建築分野に比べて火災事例の件数が少ないため、火災の対策に関して十分な検討が行われていなかったが、1979年に発生した日本坂トンネルの自動車火災や1972年に発生した北陸トンネルの列車火災を契機に、シールドトンネルや沈埋函トンネル等のトンネル構造物を中心に耐火工について検討が進められてきた。トンネル構造物に適用する耐火工には、トンネルが崩壊に至らず機能を維持することや避難経路や消火活動の環境を確保することなどが求められている²⁴⁾。トンネル内で火災が発生した場合、閉鎖された空間で可燃性の物質が燃焼し、急速に高温下にさらされる。そのため、耐火試験などの耐火性能評価・検討では、5分で1200℃まで昇温するドイツ規格のRABT曲線が用いられることが多く、厳しい条件下でも耐える構造とする必要がある。耐火工の種類として、耐火板や耐火吹付けなどの耐火被覆をコンクリート表面に施す方法が取られてきたが、近年、コンクリート自身に耐火性を期待する方法についての研究が進められ、施工実績が増えつつある。

(1) 予測・評価技術

避難安全性評価の分野においては、建築基準法の改正により導入された避難安全検証法に基づく性能評価を行うことにより、排煙設備（排煙風量、防煙垂れ壁）、防火設備（防火シャッター等）、避難施設（避難階段）等の合理化や一部省略を行うことができるようになったため、大林組は避難行動予測（Fig. 11）、および煙流動性状予測（Photo 8）に関する技術開発を押し進めている。これらの予測技術に関しては、高精度に短時間で計算可能であると共に、市販の表計算ソフト（EXCEL）を使用しているために、一般ユーザーでも取り扱いが可能で、計算内容がブラックボックス化していないツールを開発しており、避難安全性能に関する大臣認定（ルートC）における性能評価に活用されている。また、避難安全検証に係わる「あらかじめの検討」²⁵⁾の運用開始に伴い、大林組は避難シナリオを想定した避難開始時間の計算法や煙拡散性状予測モデルの開発を行い、複雑な空間形状や多様な室用途に応じた「あらかじめの検討」評価技術の高度化を進めている。これらの評価技術を駆使することにより、避難関連規定の減免が可能となり、防火関連設備の合理化が可能となっている。

(2) 被害低減技術

建築物の火災安全に関わる規定については建築基準法および消防法が代表的なものであり、これらの規定は適用可能な材料・構造・設備、ならびに空間用途や規模を指定した仕様書的な規定で運用されていたが、1980年代後半より、旧建築基準法第38条に基づく大臣認定制度を利用して、建物個別に性能設計を行うことにより、法と同等な性能を確認すれば必ずしも法律に適合していなくても新しい材料や工法、防災システムを採用できるようになった。大林組においても旧38条の大臣認定制度を利用して、仕様規定では成立しないようなオープンなアトリウム空間を有する大規模複合施設やドーム球場などの大空間建築を性能設計により次々と実現した。その後、建築基準法の改正（2000年）により防火規定の一部が性能規定となった事や、大林組が火災工学実験棟（Photo 9）を新設した事もあり、新たな材料・工法による技術、例えば超高強度CFT柱＋耐火塗料、高強度コンクリートの爆裂抑制技術、屋外鉄骨向けの耐火被覆工法（WFガード）、木造部材による耐火集成材（シグマウッド）および準耐火木造部材（オメガウッド）を開発した。

土木分野では、都市部の道路トンネルを対象として、特殊なポリプロピレン短繊維（Photo 10）を混入することで、コ

ンクリート自身に耐火性を期待できる覆工コンクリートの構築技術(Fig. 12)を開発した^{26), 27)}。本線のシールドセグメント向けとして、耐火型高機能SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete)セグメントを開発した(Photo 11)。また、維持管理を目的とした断面修復技術として、ウォータージェットによる劣化部除去工法、耐火型吹付け工法(耐火型ジョツクリート工法)および耐火型こて仕上げ工法を開発した。これらの技術を組み合わせることにより、道路トンネルの総合的な火害対策の提案が可能となる。

3.6 雪害

雪は、大気中で生成した微細な氷の結晶が地上に降り積もったもので、地面や建物の屋根などの表面が氷の融解温度である摂氏 0℃以下のときに積もる。屋根の積雪の性状には、屋根の形状や周囲の建物なども影響する。気象条件によっては吹き溜まりや雪底の発生の問題もある。雪害では、想定を超える大雪による建物屋根の破損・落下、あるいは鉄道や道路などの除雪が降雪に追いつかないことによる交通への影響などがよく知られている。最近ではまた、雪が少ない地方にある大都市でも、高架橋や高層建物外壁への着雪の落下による被害発生への懸念が指摘されている。わが国では、気候温暖化の影響の可能性もあり得るが、降雪量は長期的に年々漸減の傾向にある。しかし、そうした平均的な傾向はあるものの降雪量が極端に多い大雪事象は定常的に発生している。多雪地域、非多雪地域を問わず、インフラの拡大や建物外壁形状の複雑化などがあり、雪害のリスクはむしろ増えていると見るべきである。

2014 年 2 月には、埼玉県富士見市で、面積が広く屋根勾配の小さい体育館の屋根に、記録的な積雪とその後に降った雨が雪に染み込み、建築基準法の想定を大幅に上回る荷重が屋根に作用して体育館の屋根が崩壊するという事故も発生した。

大林組では従来から、建築基準法などの規基準では想定されていないような建物を含め、実験、シミュレーション解析を通じて雪の問題に取り組んできた。単に荷重としての雪だけでなく、建物周辺での風の影響を考慮した積雪量をシミュレーションで予測し、その結果を扉や換気孔の適切な配置といった建築計画の最適化に役立てている。建物への着雪対策では、「建物外壁への着雪予測手法(Fig. 13)」の開発に取り組んでおり、建物外壁面の着雪範囲の予測や、その結果に基づいた安全性・経済性の高い対策手法の選定等に活用され、積雪が少ない関東以南の地域の雪害対策に貢献している。

3.7 雷害

雷は、大気中で大量の正負の電荷分離が起こり、放電する現象である。落雷による被害は、大電圧と大電流の影響で、機器の故障、火災、感電といった事例がある。また、クレーン作業などを伴う高層建築物の建設現場では、落雷による人的・物的被害も発生していたが、落雷の発生や接近時間の予測が難しく、避難などの安全対策は遅れていた。

大林組では、1990 年代から増加した高層建物に対して等電位化に取り組み、落雷時における情報通信機器などへの被害低減対策を実施している。等電位化とは、雷サージ(過電圧)が侵入しても、電気電子機器が絶縁破壊を起こさないように、また危険となるような箇所に放電が発生しないように、建物内の接地箇所間で電圧(電位)の差が生じないように、電圧(電位)を等しくすることである。2012 年に開発した「O-LiPROS(オーリプロス)(Fig. 14)」は、プレキャストコンクリート工法の柱の主鉄筋を雷電流用導線に利用して建物の等電位化を図るシステムである。

一方、施工現場向けの落雷対策では、2013 年に開発した「カミナリウォッチャー®」により、工事現場の作業員に対して的確な避難誘導が可能になった。徐々に接近する雷に加え、突発的な落雷を予測するため、異なる 2 種類のセンサーを用いて高精度に雷雲の接近状況を計測できるため、東京スカイツリー®で試験適用し、虎ノ門ヒルズなど超高層建築の現場作業の安全管理を向上させた。

3.8 火山

近年、全国各地での火山活動が活発化しているといわれている。実際に、2011 年霧島山(新燃岳)、2013 年西之島海底火山、戦後最大の死者数となった 2014 年御嶽山、2015 年には、口永良部島、箱根山、桜島、阿蘇山が相続いて噴火している。特に、東日本大震災以降は、地殻変動に伴い日本全域での 20 を超える火山直下での地震活動が活発化し、火山

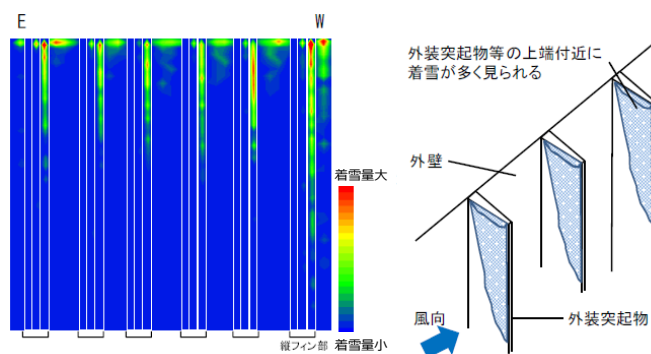


Fig. 13 建物の外装突起物への着雪の特徴
「建物外壁への着雪予測手法」

Estimation Method of Snow Accretion on Building Exterior Prongs
※左図は着雪量の数値解析結果、右図は着雪のイメージ図

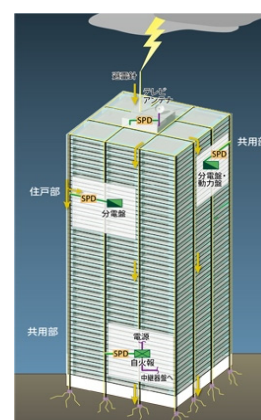


Fig. 14 雷保護システム
O-LiPROS(オーリプロス)
Lightning Protection System
“O-LiPROS”

噴火の危機感が高まっており、内閣府は「大規模火山災害対策への提言」を2013年に公表している²⁸⁾。そこでは、大規模な溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流の対策や、大規模な降灰対策についての国や自治体の取組み方や、ハザードマップの作成や避難計画などの重要性について謳っている。大規模火山災害において最も首都圏に影響を及ぼすものの一つとして富士山がある。富士山火山防災協議会では、宝永噴火をイメージした被害想定を行い、ハザードマップを2004年に公開している²⁹⁾。その資料によると、

火口近傍の溶岩流や火砕流、火山弾による被害も甚大であるが、広域に影響を及ぼす火山灰の影響対策も重要である。火口近隣では降灰量の荷重が構造物設計時に考慮している雪荷重を上回る恐れもあり事前の対応策が重要となっている。一方、広域に影響を及ぼすということで、実際に1707年の宝永噴火では16日間にわたり降灰が降り続き首都圏でも5cm以上堆積している。数cm以上堆積すると、電力を含め交通インフラが途絶して経済活動が停止することとなる。企業においてはバックアップ施設等のBCP的な対応が望まれる。また、建設業としては、火山灰の除去作業やその廃棄への対策が必要である。大林組でも常時の火山灰対策として、灰のたまりにくい屋根の提案等をおこなってきている。

さらに、災害復旧時に作業員が入れない場所や人体に危険を及ぼす環境での作業を確保するために、無線で遠隔操作が可能な「無人化施工技術(Fig. 15)」を導入している。無人化施工技術は、火砕流や土石流、大量の土砂を取り除くことを目的に、雲仙普賢岳噴火の復旧工事で初めて導入されて以来、有珠山の噴火、三宅島でも活用される、噴火対策に不可欠な技術となっている。これら「無人化施工技術」の高度化も、火山のみならず除染を含めた放射線施設等の作業に今後必要とされる技術の一つである。

3.9 老朽化・劣化

土木分野において、1980年代頃より米国では橋梁などの社会インフラの老朽化が顕著となり、大きな社会問題となった。最近では、2007年に起こったミネアポリスの橋梁崩落事故は記憶に新しい。わが国においても、1999年の福岡トンネルの覆工コンクリート落下事故、2012年の笹子トンネルの天井板崩落事故を始めとして、米国に遅れて30年後の現在、50~60年経過した社会インフラの老朽化が社会問題化するに至っている。このような背景を受け、国は2013年6月に道路法を改正し、道路構造物の点検基準を法制化するとともに、同年11月にはインフラ長寿命化基本計画を策定するなど、道路構造物の老朽化対策に本格的に取り組んでいる。

社会インフラの老朽化対策としては、新設構造物に対する長寿命化技術、既設構造物に対する点検・評価・診断、補修・補強技術など、優れた維持管理技術の適用が強く求められている。

一方、建築分野においても、建物外壁の仕上げ材の老朽化に起因して、外壁タイル等のはく落事故が後を絶たない。石材などの重量のある外装材の落下は、人命に関わる第三者災害を引き起こすリスクを抱えている。そのため、2008年に建築基準法第12条の定期報告制度の一部改正により、建築後10年経過した建物外壁の全面打診検査が義務づけられた。建物の長寿命化が求められる今日、常に日射、降雨、強風等にさらされる外装仕上げ材のはく落に対する安全性の確保や耐久性を向上に寄与



Fig. 15 無人化施工技術
Remote-Controlled Machinery System

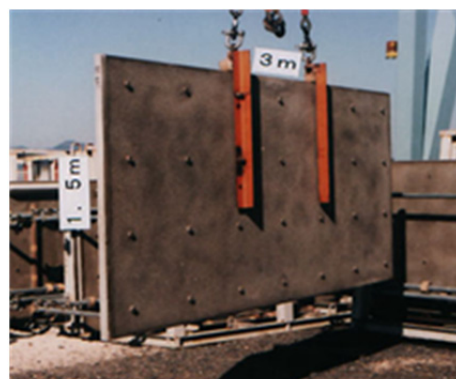


Photo 12 PCA フォームの形状
Shape of PCA Form



Fig. 16 LCC ナビの画面の例
Indication Example of LCC-NAVI



Photo 13 ジョットクリート工法の施工状況
Construction of "JOT's-Crete" Method

する技術への需要はますます高まっている。

以下に土木ならびに建築（仕上げ）分野における大林組の老朽化対策技術を示す。

(1) 耐久性向上技術

コンクリート構造物の老朽化を抑制するには、建設時に耐久性向上（長寿命化）対策を施すことが有効であり、一般に、表面被覆、防食鉄筋、電気防食などが用いられている。高耐久性埋設型枠「**PCA フォーム工法** (Photo 12)」や薄肉軽量の高じん性セメントボード「**スムーズボード工法**（樹脂含浸タイプ）」は、埋込み型枠として用いることにより、鉄筋腐食の原因となる塩分や水分の侵入を防止し、構造物の長寿命化を図ることができ、海洋構造物や河川構造物に適用されている。また、酸に対して抵抗性の高い「**耐酸コンクリート工法**」は、下水道施設や工場施設に長寿命化工法として用いられている。

(2) 点検・評価・診断技術

構造物の劣化を予測し、いち早く劣化の兆候を把握することが老朽化対策として重要である。「**LCC ナビ** (Fig. 16)」は、コンクリート構造物の劣化を予測し、ライフサイクルコストを考慮した適切な補修時期や補修工法を選定できるシステムである。「**RC 耐力診断ナビ**」は、鉄筋腐食による構造物の耐力を予測するシステムである。これらのシステムは、劣化による構造物の性能を予測し、適切な維持管理計画を提案することができる。また、コンクリート構造物の調査においては、「**デジタルカメラによるひび割れ計測システム**」により、ひび割れ調査を短時間に精度良く行うことが可能である。

(3) 補修・補強技術

劣化した構造物の老朽化対策として多様な補修・補強工法を開発している。吹付け工法により 20cm 以上の厚吹きの断面修復ができる繊維補強吹付けモルタルを用いた「**ジョツクリート工法** (Photo 13)」は、トンネル覆工や床版下面の補修に多く用いられる。常温で圧縮強度 180N/mm² 以上が発現する超高強度繊維補強コンクリート「**スリムクリート工法**」は、塩害や磨耗を受ける環境における高耐久性の補修工法として有効である。また、防風対策でも紹介した「**スムーズボード工法**」は、トンネル覆工や高欄のはく落防止対策としても有効である。さらに「**スペースバック工法**」はトンネル覆工背面の空洞充填対策として有効な工法である。道路橋床版の補修工法として、超速硬高じん性モルタルを用いた上面増厚補強工法「**タフスラブ・ラビット工法**」および繊維補強吹付けモルタルを用いた下面補修工法「**タフスラブ・ジョツク工法**」は、道路を供用しながら短時間での補修を可能とする工法である。

(4) 外装材のはく落に対する安全性向上技術

大林組では、様々な有機繊維を利用して外壁タイルのはく落防止対策を行っている。「**ループボンド・タフバインダー工法**」は、ナイロン樹脂製の緊結材とナイロン繊維混入モルタルを組み合わせた技術で、はく落防止技術の中でも安価で施工が容易なことから、大林組の標準工法として広く採用されている。また、「**ウェブフォーム工法**」は、予め型枠にビニロン繊維シートを取り付け、コンクリート表面に繊維シート状のタイル下地を形成する技術で、原則、左官下地が不要となることから、はく離界面が減少するため、はく落防止性能をより高めた工法である。「**インターネット工法**」は、2 種類の有機繊維からなる立体繊維材料とアンカーピンを併用した工法で、はく落防止性能は極めて高く、外壁リニューアルなどの改修工事での適用実績も多い。

一方で、「**リニアートパネル** (Photo 14)」は、タイルを使わずにタイルの質感を表現した新たな仕上げ技術である。押出成形セメント板の表面に特殊なカッターで目地溝を施し、塗装によりタイルの質感を表現することで、はく落のない安全・安心な外壁仕上げを提供できる。



Photo 14 リニアートパネル
“Lineart Panel: Large Tile Finishing of
Exterior Wall®”

4. 施設別にみたリスクと大林組の取組み

前章では、災害毎にその背景とニーズとその対応技術を概説してきた。本章では、施設が抱える複数の災害リスクを概観する。対象とした施設は超高層建物、生産施設、地下施設（地下街、大深度地下施設）および大空間施設である。

4.1 超高層建物

超高層建物に最も影響を及ぼす災害としては、地震、風害、火災が考えられるが、実際には、海外でのテロによる崩壊と何棟かの火災があるだけで他の災害の経験は少ない。しかし、超高層建物は、執務空間が高さ方向に延び居住者が多く、一度災害が起これば周辺地域まで影響を及ぼし、その被害は計り知れないものと考えられる。

地震に関しては、超高層建物が長周期構造物であるため、継続時間の長い長周期地震動によって大きな揺れの発生が

懸念されている。2003 年 9 月に発生した十勝沖地震では、震央から約 250km 離れた苫小牧で石油タンクがスロッシングにより火災を起こした。その後も幾つかの地震において震源から遠く離れた超高層建物が大きく揺れる現象が確認され、南海トラフでの巨大地震などにより都市部で同様の地震動が発生すれば、一部の超高層建物に甚大な被害が生じると指摘されている³⁰⁾。

風害としては、第一に考えられるのが周辺の風環境への影響である。これらのリスクに関する予測や評価に関しては 3.2 で概説したように近年のシミュレーション技術により予測評価が可能になっている。また、長周期地震動と同様、長時間にわたって吹く風によって大きく揺れ、居住者に不快感をもたらしたり、構造物自体に損傷を与えることが予想されている。実際に東京スカイツリー等の非常に長い周期の構造物は地震荷重より風荷重により部材設計が支配される。

超高層建築物における火災の特徴は、火災発生箇所の特定に時間を要すること、避難誘導が広範に及ぶこと、在館者数に対して避難手段（避難階段の数）が極端に少ないこと、および消防隊の消火・救助活動に時間を要することである。例えば、基準階専有部の床面積が 2,000m²、30 階建ての事務所ビルにおいて、在館者全員（約 7,500 人）が避難階段を使用して屋外に避難するためには最短でも 1 時間を要し、十分な避難計画を考える必要がある。

(1) 地震への架構での対策

長周期地震動に対して、構造物の耐震安全性を検討する際は、これまで以上に振幅や継続時間が長い地震動を想定した検討が必要になる。鉄骨造超高層建物においては、長時間の繰り返しに対して、主架構の局部座屈やき裂、破断などの破壊を起こしにくいディテールや、これらを精度よく予測する技術が開発されている。RC 造構造物においても、長周期地震時の挙動に対する研究が進められている。

大林組では、鉄骨超高層建物の柱梁接合工法として、継続時間の長い長周期地震動による塑性変形の繰り返しに対する耐久性の向上を目指した「**新型ウィングビーム工法**」を開発している。また、国土交通省建築基準整備促進事業に参加し、Photo 15 に示す **20 層 RC 造建物の振動台実験**を行い、挙動把握や予測技術の精度向上に努めている。

(2) 地震時の揺れの低減対策

超高層建物の地震対策として、揺れが小さくなるように地震エネルギーを吸収していく制震構造も有効である。特に、継続時間の長い長周期地震動においては、長時間繰返し作動しても性能が低下しない架構内制振ダンパーなどが必要となる。近年は、既存超高層建物の耐震性能を向上させるため、頂部に大型質量を用いた TMD（チューンドマスダンパー）を設置することで、架構内制振ダンパーの設置工事に伴うテナントへの影響などを極力減らそうとする試みもなされている。ただし、頂部 TMD を用いるときは大地震時に建物が損傷し長周期化した場合の制振効果の減少や、TMD の限界性能を上回る地震動に遭遇した場合の安全対策の検討は不可欠である。

大林組では、継続時間の長い長周期地震動などによる繰り返しの揺れにも対応できる耐久性を有し、大地震後も交換不要となる「**ブルーキダンパー®**」を開発している。また、「デュアル・フレーム・システム (DFS) ®¹⁰⁾」は主に新築超高層マンション向けの制振システムで、揺れの異なる 2 つの構造体（連層耐震壁を用いた立体駐車場棟と超高層住宅棟）を制振ダンパー（オイルダンパー）で連結し、地震や風による建物の揺れを効果的に低減する技術である。2 つの構造体間の変形差は、一般的な架構内制振ダンパーが取り付く上下階間の変形差よりも大きく、高い制振効果を得ることができる。

(3) 地震被災度の即時診断

2013 年 4 月に施行された東京都の「帰宅困難者対策条例」³¹⁾とそのガイドラインでは、大地震が発生した場合、発災後 3 時間までに、建物にとどまることが可能かどうかを事業者が判断することを求めている。すなわち、建物管理者あるいは建物所有者は、余震による二次災害を防止するため、建物が被害を受けていないか早急に判断する事を求められている。大林組では、超高層鉄骨造建物を対象と



Photo 15 長周期地震動対策として行われた 20 層 RC 造建物試験体の振動台実験
Shaking Table Test of
20-Stories RC Building
Specimen

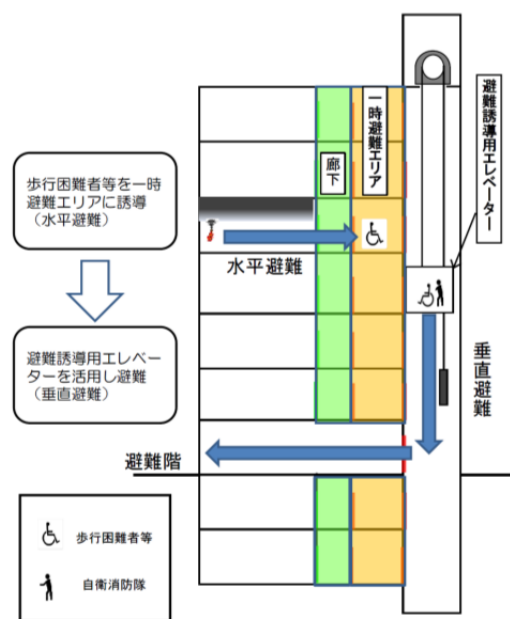


Fig. 17 エレベータ避難イメージ図³⁴⁾
Image of Using Elevator for Occupant Evacuation

して、建物1階などに設置した1台の地震計の観測結果と建物応答計算用の数値モデルから、自動的に建物の被災度を推定し、建物管理者などによる震災時判断を支援する「**建物地震被災度即時推定システム**」を開発している。

(4) 超高層建築物の火災安全と避難計画

超高層建築物における主な火災安全対策は、自動火災報知設備、自動消火設備（スプリンクラー設備等）、内装不燃化、排煙設備、防火区画、特別避難階段（煙が浸入しにくい構造の避難階段）、非常用エレベータ、耐火構造である。一方、前述したように、超高層建築物で火災が発生すると一番の問題は避難の問題である。近年、エレベータによる避難を考える動きが出ている。火災時のエレベータ（以降、EV）の使用は、誤作動や緊急停止への懸念、EVシャフトが煙の伝搬経路となる危険性から一般的に利用しないように指導されている。しかし、実際には火災初期にエレベータが避難に利用された事例がいくつかある。1986年のロサンゼルスファーストインターステート銀行ビル火災では階段室に煙が伝搬したため、常用EVで多数が避難し、停止したEVの中で1名死亡している³²⁾。1996年の広島市営住宅の火災では、死者はなかったものの、住民の約半数が65才以上ということもあって高層階ほど、特に14F以上の75%がEVを利用したと報告されている³³⁾。今年発生した西神田の高層マンション火災では、自治会のアンケート調査によると、回答者64人中23人がEVを利用したという。この例では常用EVはケーブル不良で自動停止しなかったため、消防隊が手動停止するまで動いていたことになり、実際の利用者はもっと多かったと推測される。

世界的には、ブルジュ・ハリファ（UAE）や上海環球金融中心（中国）等の超高層ビル等で火災時の避難に利用できるEVが設置されている。国内では、2013年10月に東京消防庁が各階に一時避難エリアを設ける等一定条件のもとで非常用EVによる避難を可能とする指導基準を出したこと（Fig. 17）³⁴⁾を受け、病院や集合住宅での適用が始まっている。実際の運用に向けては、対象者や一時避難エリアの周知の他、多数の階に避難者がいた場合の優先順位や人数制御等の運行管理、混乱防止等、多くの避難計画上の課題があることから、安全で円滑なEV避難の実現に向けた、新技術の導入や建築計画上の工夫が進められている。

4.2 生産施設

我が国は四方を海に囲まれた島国であることから、主たる生産施設は、原材料の仕入れやそれらを加工した製品の出荷の利便性から臨海部に立地している。このような臨海部生産施設の多くは、地盤が若齢で軟弱な埋立地に立地していることが一般的である。このような特徴を有した臨海部生産施設において考慮すべき災害としては、おもに、地震、津波などの自然災害と、風や塩害による老朽化などがあげられる。

これらの災害に対して、生産施設の構造物は、BCM（事業継続マネジメント）の観点から対策を考えなければならないという特徴がある。これは、生産に与える影響が大きい構造物や復旧に長い時間を要する構造物を優先的に対策することにより事後の復旧時間を早める計画を行うというものである。なお、人命は、生産に与える影響が大きいという面から、最優先とする必要がある。

(1) 地震および津波に対するリスクと取組

自然災害の内、最も臨海部生産施設に被害を及ぼすリスクが高いのは、地震である。地震より想定される災害リスクは、①地震の揺れによる生産施設の損壊、②地盤の液状化に伴い発生する大地盤変状による生産施設の沈下・傾斜や倒壊（Photo 16）、③地震に付随する津波による生産施設や原材料・製品等の損壊・流出や生産施設敷地の長期湛水による機能停止等々が代表的なものである。

生産施設の地震対策を考える時、まず、地震の揺れによりどこが・どのような損傷を受けるかを評価するとともに、対策を施した場合の評価を行う必要がある。「FINAL-GEO」は、揺れによる施設の損傷を、施設と地盤を一体とした3次元モデルで高精度に評価する解析技術である。「O-EFFECT[®]」は、敷地内地盤が液状化した際に、どの程度の地盤変状が発生し、それらがどの程度、施設に影響を及ぼすかを評価する技術である。

液状化に対しては、敷地地盤を格子状に地盤改良することでコストダウンできる「TOFT 地盤改良工法」、自在ボーリングにより遠方地表面からの施工が可能で、施設を稼働しながらの対策が可能である「ジオフレックスビーム工法[®]」、岸壁や護岸の崩壊により液状化した敷地内地盤が海側に流れ出し、それにより敷地内の施設が損傷することを防止する「側方流動抑止杭工法」、敷地内の重要道路等に対して液状化による不同沈下を防止し、地震後の緊急車両等の走行を低コストで可能にする「タフロッド[®]工法」などを開発している。

津波に対しては、一般には、各自治体などが発表しているハザードマップを用いて津波による浸水の可能性を判断し、その



Photo 16 液状化による被害
Damage Caused by Liquefaction

浸水深や浸水する地域を考慮して必要な場合に対策を判断する。対策としては、防波壁や土堰堤などの津波の敷地内侵入を防ぐ対策、防水扉の設置や設備配置の変更などによる生産設備を守る対策、避難タワー築造や避難経路の確認など人命を守る対策があげられる。これらの対策を立てるにあたっては、ハザードマップの情報だけでなく、より精緻な津波シミュレーションの結果を参考にするのが良い。特に防波壁などの施設を構築した場合には、対象とする施設の浸水を防げたとしても、周辺施設の被害を大きくする可能性があるため、注意が必要である。

大林組では、津波浸水深を予測する「津波遡上解析」、生産施設の被害を簡便に予測し取るべき対策を示唆する「建物の機能被害予測システム」、人命を守る対策に用いることができる「避難シミュレーション」を組み合わせて、津波に対する総合計画を行うことが可能である。さらに、石炭灰を利用した防潮堤などのハード技術も備えている。

これらの BCM を考える手法としては、2005 年 3 月に経済産業省から「事業継続計画 (BCP) 策定ガイドライン」が発行されたのを皮切りに、同年 8 月には内閣府の「事業継続ガイドライン 第 1 版」が発表され、以降各省庁や業界からもさまざまなガイドライン類が発行されている³⁵⁾。しかし、具体的な優先度のつけ方など、復旧の手順や項目を重要視しているものの、定量的な復旧所要時間についてはあまり言及されていなかったため、地震時の BCP が実効的でないことが懸念されている。大林組では、古典的なプロジェクト管理手法である PERT/CPM を用いて、復旧時間を指標とした定量化手法を開発し、地震被害予測結果を効果的な BCM につなげることを提案している。

(2) 老朽化に対するリスクと取組

生産施設で考慮すべき老朽化として、臨海部における塩害と平野部を中心とした金属屋根取付部の疲労があげられる。

臨海部においては、コンクリート構造物の塩害が顕著である。護岸、栈橋などの基盤となる施設の老朽化は、事業停止のリスクとなるだけ

でなく、関係者や第三者の人命を損なうリスクまでであることに注意が必要である。コンクリート構造物の一般的な対策は、かぶりコンクリートの除去後、鉄筋の更新を行い、防錆処理を行った後にコンクリートによる断面修復を行う。

大林組では、「ジョツククリート工法」や「スリムクリート工法」を開発し、老朽化対策に役立たせている。「ジョツククリート工法」は、急結剤が鍵となっており、短時間で厚付けできる断面修復工法である。「スリムクリート工法」は現場打設が可能な超高強度繊維補強コンクリートであり、100 年以上の耐久性が土木学会において評価されている³⁶⁾。また、引張における強度や靱性が大きいことから、Photo 17 のように、護岸波返しを無筋で構築することも可能である。

生産施設や倉庫などにおける金属屋根は、コンクリート系屋根に比べて施工性に優れ、その軽さゆえに耐震設計上有利であり、一定の断熱性も確保できることから多用されている。他方、金属屋根を下地に固定する接合部の強度が不足すると、台風などの強風時には屋根が広範囲で飛散する危険性がある (Photo 18)。また、屋根が長い場合には温度伸縮に対する不具合を防止する対策が必要となり、設計・施工にあたって十分な配慮が必要な屋根構法である。

金属屋根においては、「平成 12 年建設省告示 1458 号 (屋根ふき材および屋外に面する張壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件)」が設計基準となる。しかし、本告示制定後の平成 16 年 (2004 年)には多くの台風が日本に上陸し、金属屋根の接合部破断による飛散被害³⁷⁾が頻発した。そのため、屋根の接合部をどのように強度検証して耐風安全性を確保すれば良いのか、告示 1458 号の具体的な活用方法が課題となった。

大林組はこのような状況を踏まえ、①耐風性能を担保する接合部の強度試験方法³⁸⁾、②試験結果を踏まえた設計許容耐力の設定方法を定め、接合部の設計用風荷重に対する判定基準を明確にした。また、③耐力を期待する部位には経年劣化の著しい材料を使用しないこととし、①～③の条件を満たす製品のみを現場で使用して、飛散防止に努めてきた。さらに、温度荷重に対する疲労損傷評価法を提案し、通常の構造計算だけでは検証できない不具合の防止にも配慮してきた。

なお、上記①に示す接合部強度試験方法の成果は「鋼板製屋根構法標準 SSR2007」³⁹⁾に反映された。また、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」⁴⁰⁾では、屋根ふき材の構造計算において SSR2007 を参考資料としている。



Photo 17 スリムクリートによる護岸の更新
Revetment Renovation Using “Slim-Crete®”



Photo 18 二重折板屋根の飛散事例
Scattering of Double Folded-Plate Roof

4.3 大空間施設が抱える課題

日本では2020年の東京五輪に向け、大規模スタジアム等の大空間施設の建造が計画されている。これらの施設は、災害に対しても強い施設として計画される必要がある。

(1) 災害時の避難計画

大規模スタジアム、展示場、劇場等の大空間建築物では、不特定多数の在館者が高密度に存在していることにより、災害時に群衆のパニックが発生しやすいという危険性がある。火災時には、火源の位置が認知しやすいことにより避難方向は明快ではあるが、人数の多さにより避難が困難になることがある。また、可燃物についてはスポーツ等の観覧のみであれば、客席等を考慮すればよいが、コンサート等のイベント時には舞台装置（スピーカー、照明器具等）の他、演出による花火、幕類等、出火源や延焼媒体となりやすい可燃物が多量に存在することになり、出火拡大の危険性が大きくなる。このような大空間は一方で、大震災時の一時避難場所としての活用も期待されているが、大震災時は周辺市街地火災からの飛び火等の影響を受ける場合がある。大規模スタジアムやスポーツ施設等では屋根材料として、軽量で透光率の高いポリカーボネイトが使われる場合が多く、このような材料では自己消火性はあるものの、飛び火による燃え抜けは生じるため、在館者への影響や内部の可燃物への延焼も考慮すべきである。

避難計画においては、避難経路上のネック（客席部の間隔、通路幅、出入口の幅）をなるべく生じさせないことや、出入口の最適配置（1つの出入口に避難者が偏らない計画）が必要である。また、多数の観客が建物外に避難するため、屋外の安全な場所に十分な滞留スペース（人工地盤デッキ等）を確保する必要がある。避難計画の安全性を検証する方法としてはこれまでは防災計画指針の方法に従って、観客席をゾーンに分けて避難計算を行う手法が一般的であったが、近年は避難シミュレーション技術が向上し、マルチエージェントシミュレーションモデル等に代表される個々の避難者特性を考慮した行動予測が可能となった（Fig. 18）。これにより、滞留部の特定、滞留人数、エリア毎の避難完了時間がきめ細やかに予測できる他、避難者個々の動きが「見える化」されることで、避難計算に精通していない建物ユーザー等が避難安全性能を直感的に理解できるようになった。

一方、避難安全性能を正しく評価するためには、火災時の煙流動を予測する必要がある。一般的な建築空間における煙流動の予測手法としては煙層と空気層に分けた簡易なモデルが使われるが、その適用限界を超えるような大空間建築物では数値流体力学(CFD)による数値解析を併用して安全性を評価するケースが多くなっている。近年ではCPUの演算能力向上によりパソコンレベルでもCFDによる煙流動解析が可能となっており、火源の位置、大きさ、外部開口の有無等の条件を変えて複数ケースでの解析を行い、避難計算結果との比較により安全性を検証できるようになった。さらに、FDS(Fire Dynamic Simulator)などの火災シミュレーションモデルや、煙拡散性状予測モデルなども開発され、火災の進展に応じて避難者が避難経路を変えるような連成シミュレーションも行うことが可能となっている。

なお、大規模スタジアム等に代表される大空間興行場ではアリーナとコンコース間の堅穴区画、面積区画、排煙設備、直通階段、屋外への出口までの歩行距離、非常用進入口の構造等の規定を適用除外とする必要があり、2000年の建築基準法改正以前においては建築基準法第38条に基づく大臣認定、それ以降は全館避難安全検証法、耐火性能検証法などの性能規定を活用して大臣認定（ルートC）を取得するケースがほとんどである。但し、現状の性能規定では旧38条認定における法抵触項目のすべてを適用除外することができないため、旧38条認定建築物のほとんどは既存不適格建築物となっており、大規模改修等により既存適及が発生した場合に現行法に適合することが困難となっている。

(2) 天井の地震対策

大林組は、3.1節でも述べたように、水平の既存吊天井を対象とした天井落下防止の技術として、「フェイルセーフシーリング®（Photo 19）」を開発している。既存天井の耐震化には、施工が困難で多大な費用がかかるなど多くの制約があるが、フェイルセーフシーリングは短工期・ローコストで既存天井を解体せず、建物を使いながら天井脱落対策を実現する。「フラットバー+ネットタイプ」と「ストリングタイプ」があり前者は構成部材の質量が60kg/m²以下、後者は30kg/m²以下の範囲に適用でき、天井落下に対して必要な耐力を有する技術として日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得している。一方、段差等があり地震時に複雑な挙動をする特殊な天井は、力学的性

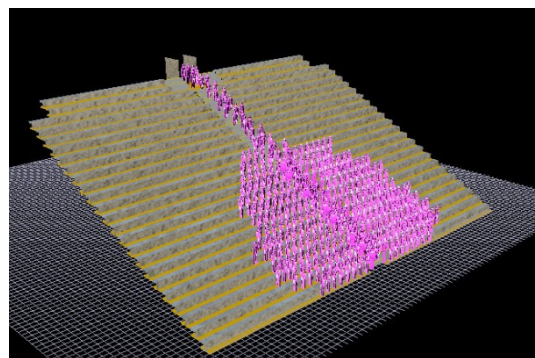


Fig. 18 マルチエージェント避難シミュレーション
Multi-Agent-Model Based Evacuation Simulation



Photo 19 フェイルセーフシーリング®
（フラットバー+ネットタイプ）
Fail-Safe Ceiling® (Flat Bar + Net Type)

状が一つ一つ異なり、効果的な脱落防止対策を施すことは容易でない。東日本大震災で特殊な形状をした天井が崩落した日本科学未来館では、「崩壊部分を貼り直し、より頑丈な補強を行う頑丈な補強を行う」のではなく、「たとえ落ちたとしても、大事に至らない新発想の軽量天井」を採用している。力学的に安全性が検証しきれない天井は作らない、作る場合は、落ちてでも大事に至らない重さや、素材で作る、といった判断も必要と考える。



Photo 20

阪神大震災における地下鉄駅の被害
Severely Damaged Underground Subway Station

4.4 地下施設が抱える課題

国内には現在、大都市を中心として合計面積が 100 万 m^2 を超える地下街^{※1}が存在している⁴¹⁾。その大部分は昭和 30 年代から 40 年代に建設されており、開設から 30 年以上経過している地下街は全体の 8 割を超えている⁴¹⁾ことから、老朽化による問題が近年顕在化している。また、古い耐震基準で設計されていることや、そもそも地下街の耐震設計には統一された基準や指針がないことから、耐震性の不足についても懸念されている。地下街の多くはターミナル駅近辺に建設されていることから、隣接するビルと地下通路で連結されるとともに、近隣の大規模ビルの地下階や地下鉄のコンコースとも一体化し、多くの利用者が往来する都市施設の一部となっている。1995 年に発生した兵庫県南部地震では、神戸高速鉄道の大開駅で中柱が圧壊により上床板が崩落する被害 (Photo 20) が生じたが、もし地下街でこのような被害が発生した場合には甚大な人的被害が生じることとなる。また、2013 年に公表された首都直下地震の被害想定⁴²⁾では、天井パネル等の非構造部材の落下による人的被害についても言及されている。さらに、近年多発している地下空間への浸水も課題となっている。2013 年に改正された水防法では、浸水想定区域内の地下街等の事業者に対し、避難確保計画または浸水防止計画の作成が規定された。

このように地震や水害などのさまざまな大規模災害に対して、誰もが安全に利用できる地下街とすることが社会的にも求められている。2014 年には国土交通省から安心避難対策ガイドライン⁴¹⁾が公表され、構造安全性 (耐震性) の確保、非構造部材 (特に天井) の安全性確保、避難安全性の確保という 3 つを主眼とした対策が示された。

大林組では、このうち構造安全性に対しては、「FINAL-GEO」等の地震応答解析を実施することで、想定する地震に対する安全性を確認し、対策部位を特定する等の詳細な検討を行うことが可能である。対策工法も部位に応じてさまざまな技術があるが、例えば柱の場合は「3Q-Column[®]」による利用者の通行および地下街店舗の営業への影響を最小限とした補強が可能である。また、天井の落下防止には天井の耐震化に加え「フェイルセーフシーリング[®]」による既存天井の対策も有効である。

避難安全性については、地震後に発生が懸念される火災からの避難だけでなく、近年多発している地下空間への浸水に対する避難も考慮する必要がある。「避難シミュレーション」は火災・浸水のいずれの事象に対しても適用可能で、避難経路上の課題を把握し、合理的な避難確保計画の策定に活用することができる。

5. おわりに

今回の所報では「防災・減災」を特集し、本解説では、昨今の社会の動向と災害別、施設別にみた社会ニーズと大林組の取り組みを紹介してきた。災害は無くなることはないし、新たなインフラや建造物や社会システムが建造されれば、また新たなリスクが生じてくるものと考えられる。災害を完全に防ぐという防災の立場から、可能な限り災害を小さくするという減災の立場に変化はしていても、災害を低減させるために事前の評価・対策が圧倒的に重要であることに変わりはない。また、防災の根本的な思想として「自助」の意識をどれだけ持つか、過去の教訓をどれだけ真摯に持続して意識できるかという自己防衛力の重要性を、防災教育を通して社会に浸透させることが、減災には重要となってきている。個々の防災意識を高め、レジリエントな社会を目指した時に、社会が建設会社に期待するものに適切に応える必要がある。そのためには、災害に対し、建設会社として常に立ち向かい、対応できる技術を社会に提供することが重要である。大林組は、事前対策の強化と、迅速な復興支援において、建設業の本業であるモノづくりを通じて社会に貢献していくための技術開発を今後も進めていく。Table 2～Table 4 に大林組の対応技術の一部を「予測・評価技術」「被害低減技術」「早期復旧技術」にわけて示す。本所報では、「防災・減災」に関する大林組の最新の技術開発の成果の一部を 18 編の特集論文と 1 編の特集技術紹介で紹介している。是非ご一読いただければ幸いである。

※1：地下街とは「公共の用に供される地下歩道（地下駅の改札口外の通路、コンコース等を含む）と当該地下歩道に面して設けられる店舗、事務所その他これらに類する施設とが一体となった地下施設であって、公共の用に供されている道路又は駅前広場の区域に係るもの」と定義されている。

本解説文は、特集 WG メンバー（高橋晃一郎、石関嘉一、武田篤史、穴吹拓也、杉本英夫、吉野攝津子、稲川雄宣、渡邊康司）の協力により作成したものである。

参考文献

- 1) 内閣府：平成 27 年度版防災白書：<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h27/>, 2015.7.1
- 2) 河田恵昭：これまでの防災から減災の視点へ, Labor Research Library 3 号, 2005.2
- 3) 内閣府：災害対策基本法等の一部を改正する法律案の概要：www.cao.go.jp/houan/doc/183-3gaiyou.pdf, 2012.6.27
- 4) 内閣官房：国土強靱化：http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/, 2015.9.1
- 5) 北村正晴：レジリエンスエンジニアリングが目指す安全 Safety-II とその実現法, IEICE Fundamentals Review Vol.8 No.2, 2016.7
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震に関する津波高, 浸水域, 被害想定公表について
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html, 2013.3.18
- 7) 国土交通省：建築基準法施行令の一部を改正する政令について
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000414.html, 2015.7.9
- 8) 国土交通省：建築物の耐震改修の促進に関する法律等の改正概要（平成 25 年 11 月施行）
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000054.html, 2015.11.25
- 9) 国土交通省：港湾の施設の技術上の基準を定める省令 他の一部改正について
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000052.html, 2015.9.18
- 10) 西村勝尚：超高層建物の揺れを大きく低減する二重構造による連結制振構造：デュアル・フレーム・システム, 建設機械 51(1), 日本工業出版, 2015.1
- 11) 平成 25 年国土交通省告示第 771 号
- 12) 大林組プレスリリース記事：「大地震に備え「（仮称）新南海会館ビル」に大型の TMD 制振装置を設置」,
http://www.obayashi.co.jp/press/news20150904_1, 2015.9.4
- 13) 中央防災会議「首都圏大規模水害対策大綱」<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/pdf/honbun.pdf>, 2015.8.21
- 14) 国土交通省：土砂災害対策の強化に向けた検討会, ハード対策分科会（第 1 回）討議資料
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/dosya_kyouka/140207_hard/140207_hard_shiry01.pdf, 2014.2.7
- 15) 国土交通省：最近の土砂災害の特徴
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/dosya/24part1/24-1-shiry01.pdf>, 2015.7.1
- 16) 国土交通省：土砂災害防止法の改正と今後の取り組みについて
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/kaiseitorikumi.pdf>, 2015.7.1
- 17) 山本彰ほか：ジオメンブレン降雨浸透防止工法に関する研究, 大林組技術研究所報, No.53, 1996
- 18) 山本彰ほか：砂防ダムに作用する土石流の衝撃力に関する研究, 砂防学会誌, Vol.51, No.2, pp22-30, 1998
- 19) 森田晃司ほか：アースネイリング工法の概要と設計・施工, 基礎工, Vol.34, No.5, pp45-47, 2006.5
- 20) 阿部文彦ほか：東名牧之原地区における盛土のり面災害の復旧工事, 第 55 回地盤工学シンポジウム, 平成 22 年度論文集, 2010
- 21) 大林組プレスリリース記事：天然ダムにおける緊急排水技術「ポータブルサイフォン」を開発,
http://www.obayashi.co.jp/press/news20150330_1, 2015.3.30
- 22) 消防庁：平成 26 年度版 消防白書, 2014.12
- 23) 東京都：防止都市づくり推進計画, 2010.1
- 24) 土木学会：トンネル構造物のコンクリートに対する耐火工設計施工指針(案), コンクリートライブラリー143, 2014.6
- 25) 国住指第 3569 号：構造方法等の認定に関わる「あらかじめの検討」について, 平成 19 年 12 月 28 日付け
- 26) 春日清志ほか：シールドトンネルにおける現場打ち耐火コンクリートの適用検討, トンネル工学報告集, Vol.24, II-10, 2014.12
- 27) 川西貴士ほか：ポリプロピレン短繊維を用いた耐火性吹付け工法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, 2007.6
- 28) 内閣府 広域的な火山防災対策に係る検討会：「大規模火山災害対策への提言」2013.5
- 29) 富士山火山防災協議会：<http://www.bousai.go.jp/kazan/fujisan-kyougikai/index.html>, 2005.8.1
- 30) 小鹿紀英, 木村雄一, 勝俣英雄, 佐野剛志：2B 構造被害の想定と事前対策, (6) 耐震性能の向上が急がれる超高層建物, 長周期地震動と超高層建物の対応策—専門家としてしておきたいこと—, p28, 日本建築学会, 2013.10
- 31) 東京都：「帰宅困難者対策条例(2013.4)」,
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/kitaku_portal/1000050/1000536.html, 2013.4.1

- 32) 日本建築学会：安全計画シンポジウム「超高層建築物の全館避難を再考する」資料, 2014.03.
- 33) 関沢愛：高層ビル火災におけるエレベータ避難の課題, 予防時報 226, 日本損害保険協会, pp.44-49, 2006.
- 34) 東京消防庁「高層建築物における歩行困難者等に係わる避難安全対策(2013.10)」
- 35) 日本社会に適した BCM 研究委員会 平成 19 年度報告書, 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター(ICUS), 106p, (2008)
- 36) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価 報告書, 技術推進ライブラリー 10, 2012.1
- 37) 日経アーキテクチュア：度重なる台風で屋根被害が多発 耐風基準の甘さが問題を深刻に, pp.24-28, 2004-11-15
- 38) 時野谷浩良：非構造部材の地震・風被害の軽減に向けて メカニズム・実験例(屋根), 2007 年度日本建築学会大会(九州) 特別研究協議会資料, pp.83-101, 2007.8
- 39) 社団法人 日本金属屋根協会他：鋼板製屋根構法標準 SSR2007, 2008.1
- 40) 国土交通省国土技術政策総合研究所他：2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 2015.6
- 41) 国土交通省 都市局 街路交通施設課：地下街の安心避難対策ガイドライン, 2014
- 42) 内閣府 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）, 2013
- 43) 国土交通省 都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室：平成 12 年度大深度地下利用に関する技術開発ビジョンの検討に関する調査, 防災設備, 避難設備, 有人施設の安全対策, 2001.3
- 44) 内閣官房国土強靱化推進室：地震発生時の事業継続への即応性向上に資する総合防災情報システムの構築, 国土強靱化民間事例集, 2015.6

Table 2 予測・評価技術の一覧
Technology List of Prediction & Evaluation

	対象	名称	概要	参考文献
予測・評価技術	地震	地震被害予測システム (QUAKE MAPPER®)	GISを利用して、地盤データベース、任意の震源や断層による地震の震度分布、地盤の液化化危険度を予測し、建物データベースにより建物被害度を予測するシステム	所報No.53
	地震	長周期地震動予測	深部不整形地盤モデルを用いて長周期地震動を予測解析するシミュレーション技術	所報No.78
	地震	コンクリート系構造物の三次元非線形解析技術「FINAL®」	コンクリート系構造物のFEM非線形解析プログラム。部材や構造物が地震力や温度など様々な外力を受けて、破壊に至るまでの挙動を、コンクリートのひびわれや圧壊、鉄筋の降伏等を考慮して、詳細にシミュレートできる。	所報No.71
	地震	コンクリート系構造物の三次元非線形解析技術「FINAL-GEO」	コンクリート系構造物非線形解析プログラム[FINAL]を基に地盤との連成系解析を可能にしたシミュレーション技術	所報No.75
	津波	津波被害簡易予測システム	簡単な建物の概要と津波高さを入力することで、その構造被害や設備被害等を簡便に推定するシステム	所報No.78
	津波	津波の潮上解析	差分法により想定地震による津波高さと潮上高さを解析するシミュレーション技術	所報No.78
	風	風環境シミュレータ「Zephyrus®」	建物周りの風環境（ビル風）を予測するためのソフトウェア。風環境の他に、多雪地域の計画で、敷地内の吹き溜まりや周辺降雪への影響評価、粉塵・汚染物質の拡散、風力発電量評価も行える。	所報No.64
	風	台風シミュレーション	地形影響を考慮した台風シミュレーション。設計風速評価や部材の疲労損傷評価のための累積作用時間を評価する。	所報No.70
	水害	水害に対する設計ガイドライン	大林組の水害に対する設計ガイドラインをまとめたもの。浸水深の予測法から対策法までをまとめたもの	所報No.71
	火災	煙拡散シミュレーション	煙の発生量や拡散状況を予測する技術。火災室から時時刻々と煙が広がり充満していく様子を確認できる。	所報No.73
	火災	避難シミュレーション	火災時の避難行動を動画で予測・再現するシミュレーション技術。現行の避難計算法では評価しづらい階段等の避難施設の数と配置の影響やどこで滞留しやすいか等、建物内の危険な場所を事前に確認できる。	所報No.77
	地震	縮小6層RC造耐震壁フレーム振動台	縮小6層RC造耐震壁フレーム建物の振動台実験	本号
	地震	中RC構造物の地震時復旧性能評価	確率論的リスク評価に基づく中RC構造物の地震時復旧性能評価	
	地震	断層上の地中RC構造物の損傷評価	三次元FEM解析による断層上の地中鉄筋コンクリート構造物の損傷評価	
	地震	液化化地盤における杭基礎	山留め壁の影響を考慮した液化化地盤における杭基礎の地震応答解析	
	風	風の分離過程および下降風突風	雲解像モデルの開発と風の分離過程および下降風突風の数値計算	
	風	竜巻状旋回流がもたらす風力	数値シミュレーションによる竜巻状旋回流がもたらす風力の評価	
	風	複雑形状建物の風荷重予測	数値風洞「エアロダイナ®」による市街地における複雑形状建物の風荷重の予測	
	水害	浸水避難シミュレーション	地下街浸水避難シミュレーション	
	水害	GISによる水害簡易危険度評価	GISデータを用いた都市水害に関する簡易危険度評価の研究	
	雪	着雪シミュレーション	建物外壁着雪分布予測のための数値シミュレーション	
	火災	建築火災時の避難安全評価技術	建築火災時の避難安全に係わる評価技術の開発	

Table 3(continue) 被害低減技術の一覧
Technology List of Damage Reduction

	対象	名称	概要	参考文献
被害低減技術	地震	免震技術	積層ゴムなどで建物を長周期化し、地盤から建物に伝わる力を低減。	所報No.58
	地震	スーパーアクティブ制振「ラピュタ2D®」	積層ゴムに加えて設置されたアクチュエータ（加力装置）で建物自体をすばやく地動と逆へ動き地盤の揺れを打ち消すことにより、建物の揺れを地盤の揺れの、1/50～1/30まで低減することが可能	所報No.74
	地震	ブレーキダンパー®	柱・梁の仕口部やブレース、耐震壁などと架構の接合部にステンレス板と摩擦板を一对にして挟み込み、滑り摩擦によりエネルギーを吸収する制震システム。にる大きな揺れまで建物の様々な揺れを2/3～3/4程度に低減。	所報No.77
	地震	デュアル・フレーム・システム「DFS®」	一つの建物の中に独立した二つの構造体（心棒、超高層住宅棟）を制振装置（ダンパー）で連結する制振構造システム。硬い心棒と超高層の柔かい住宅棟をダンパーでつなぐことで、お互いの揺れを更に小さくすることができる。	文献10)
	地震	ウィングビーム工法	新型ウィングビーム工法は大林組独自の水平ハンチ付き鉄骨梁「ウィングビーム工法」をベースにして、ハンチ先端のひずみ集中を緩和することで変形能力を向上させた工法	所報No.78
	地震	耐震補強工法「3Qシリーズ®」	「3Q-Wall®」：小型のブロックを組積して構築する耐震補強壁、「3Q-Column®」：RC造・SRC造の柱に小型鋼製パネルを巻く柱補強工法、「3Q-Brace®」：分割された角鋼管を既存躯体に設置。	所報No.68,73,77
	地震	道路耐震補強工法「タフロッド®」	液状化する地盤において道路機能を確保する経済的な技術。道路直下に軽量土を用い、路床全体にジオグリッドを敷設し道路に極端な地位化や段差発生を抑制する。	所報No.76
	地震	側方流動抑止杭	護岸近傍域に建設されている構造物・施設の地盤流動による被害の軽減を目的とし、護岸背後の地盤に杭を千鳥状に打設して、護岸の変形に伴う液状化地盤の大きな変形を抑制する手法である。	所報No.76
	地震	マルチプルナットバー®	地下構造物のせん断補強技術。PC鋼棒の採用により少ない本数にでき、マルチプルナットによりしっかりと定着できる。	所報No.76
	津波	直立浮上式防波堤	常時は鋼管を航路部等の海底面下に沈設し、津波・高波来襲時など非常時にのみ上部鋼管を浮上させて港内施設等を守るという全く新しい概念の可動式防波堤防	所報No.76
	地震	液状化防止工法「TOFT」	セメント系地盤改良工法である深層混合処理工法により、緩い砂地盤を格子状に囲うことで地震時のせん断変形を抑えて砂地盤の液状化を防止する技術。	所報No.76
	風	防風装置「Flowps®」	ビル風（強風）を緩和し、地上付近の風環境を改善する装置。また、街や施設のモニュメントとして、設置場所のコンセプトに合わせてデザインできる。	所報No.67
	風	スリムクリート®製防風柵	超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」を利用した防風柵。無鉄筋のコンクリートパネルを使うため、塩害などに対して高い耐久性がある。	所報No.77
	火災	避難ルートの加圧防排煙システム	火災室の排煙と連動して非火災室に給気を行い、火災室の周囲の圧力を高くすることにより、火災室に向かう空気の流れを生じさせて煙の拡散を封じ込めるとともに、火災室からの排煙を効率よく行うシステム。	所報No.78
	火災	耐火型高機能SFRCセグメント	当社開発の高機能SFRCセグメント（鋼繊維補強高流動コンクリートセグメント）にポリプロピレン繊維を混入することで、コンクリートの爆裂を防止し、耐火性能を向上させた。	所報No.74
	水害	打ち水ガラスパーク	給排水システムと緑化舗装用コンクリートブロックによって、道路や駐車場を舗装する技術。蒸発による気化熱で表面温度が下がることに加え雨水も浸透するため、ヒートアイランド対策と雨水流出の抑制が可能。	所報No.74
	土砂災害	皿パネ（D&S）アンカー	変位が変わっても一定の力で制御できる皿パネを使ったアースアンカー	所報No.63
	雷	カミナリウォッチャー®	現場のある場所の状況を常時監視し「落雷の危険性が高い状況」であることを自動的に判定・通知する雷警報システム	所報No.78
	地震	フェイルセーフシーリング®	天井落下防止構法「フェイルセーフシーリング®」	本号
	地震	フープパネル工法®	フープパネル工法®による壁式橋脚の耐震補強	
	津波	水密扉の性能試験	R C造耐震壁に設置した水密扉の性能試験	
	風	Flowps（フロープス）®Ⅱ	「Flowps（フロープス）®Ⅱ」	
	火災	火災総合防災システム	都市部に構築される道路トンネルの火災に対する総合防災システム	
	火災	煙制御システム	火災シナリオに基づく煙制御システムの開発	
	土砂災害	太径ハイスベックネイリング®	太径ハイスベックネイリングの開発	

Table 4 早期復旧技術の一覧
Technology List of Early Restoration

	対象	名称	概要	参考文献
早期復旧技術	地震	建物地震被災度即時推定システム	建物最下階に設置した1台のセンサーで、建物応答を推定し、建物の被災度を地震終了後即時に評価するシステム	所報No.78
	地震	総合防災情報システム	震度4以上の地震が発生した時には自動的に被害シミュレーションを行い、施工済み物件の被害状況を予測。これにより、初動期における顧客の被災状況を把握し、早急に対応可能にするシステム	文献44)
	地震	地盤解析ソフト「GRASP-3D」による復旧斜面の安定性評価技術	地盤の安定性評価で重要な地盤と地下水の連成挙動を3次元で再現できる解析技術。崩壊斜面の復旧工事で生じる地盤補強・盛土等の施工過程を詳細にモデル化でき、復旧工事の安全確保と合理化、完成斜面の安定性評価に活用できる。	所報No.51
	地震	断面増厚・修復工法「ジョッツ・クリート」	コンクリート構造物の補修工事における湿式吹付けによる断面修復技術。既存コンクリートとの一体性に優れ、初期強度が高く、厚付けが可能。	所報No.68,76
	土砂災害 火山 汚染	VR技術を利用した無人化工法	従来の無人化施工技術にバーチャル・リアリティ（VR）を導入。体感装置付き操作席・3D映像・戸外マイクからの作業音により、リアルな操作感を実現する。	所報No.76
	劣化・老朽化	光式AEを利用したモニタリング	光式AEを利用した地下空洞における長期モニタリング技術の開発と適用	本号