

特集 「レジリエンスを高める技術開発」

解説

レジリエンスを高める技術

Obayashi Technologies to Improve Resilience

村岡 宏 Ko Muraoka

1. はじめに

「天災は忘れた頃に来る」というのは物理学者で随筆家の寺田寅彦の名言であるが、平成から令和において頻発する災害を考えると「天災は忘れる前に来る」と言い換える必要があるかもしれない。地震災害を例にとっても2011年3月に発生した東日本大震災以降、2024年8月までの約13年間で震度6弱以上の地震は実に37回発生している。この期間で発生していない年は2012年、2015年、2017年、2020年、2021年のみであり、2011年は9回、熊本地震が発生した2016年は12回、2024年は1月1日に発生した能登半島地震を皮切りに、8月時点で既に4回発生している。また、大雨や短時間強雨の発生回数も長期的に増加しており、日降水量が200mm以上となる年間の日数を「1901年から1930年」と「1990年と2019年」で比較すると、後者の30年間では前者の約1.7倍の日数となっている。

このように、地震災害および地球温暖化に伴う異常気象に起因する風水害等の自然災害は近年、頻発・激甚化の様相を呈している。また、火災・爆発・原子力災害などの人為災害や感染症の蔓延なども含めて考えると、災害は公共サービスや事業経営の他、個人の健康、働き方、教育や余暇の過ごし方にも大きく影響を及ぼすことになる。

大林組が掲げる「ウェルビーイング（安全・安心・快適・健康）」の達成において、安定した持続可能な社会の実現が不可欠であり、その手段として建築物や公共インフラ（都市機能）、事業経営および生態系などの災害に対する適応力、回復力、すなわち、レジリエンスを高める技術開発を継続的に推し進めてきた。

このような背景から、2024年度の大林組技術研究所報では、「レジリエンスを高める技術開発」と題し特集を企画した。

2. レジリエンスを高める対象・技術および状況の変化

2.1 レジリエンスが対象とする事象

レジリエンスという概念が対象とする事象は本来、多岐にわたるものであるが、本解説では災害に限定して考える。災害は自然災害と人為災害に大別されるが、自然災害は風水害（台風、竜巻、豪雨、洪水、高潮、土砂崩れなど）、雪害、山火事などの天候に関するものと、それ以外の地震、津波、火山噴火、感染症などに分類される。また、自然災害に関わる事象としては社会インフラ（橋梁、トンネル、道路等の土木構造物）の損壊や、電気、ガス、水道などのライフラインの損傷による生活機能の喪失が、人為災害には自動車、電車、航空機の交通関係の事故などが挙げられる²⁾。近年ではサイバー攻撃などによるシステム障害なども人為災害に含めてよいと考えられる。本解説では大林組の事業に最も影響を与えると考えられる地震災害や自然災害を対象とする。

2.2 レジリエンスを高める対象

自然災害に対するレジリエンスを高める対象として建築物、社会インフラ、都市機能、事業経営、生態系などが挙げられる。建築物は地震や風水害などの自然災害に対して強靱な構造を持つことが求められると共に災害時の機能維持が重要となる。社会インフラも同様に耐震性や耐風性が求められると同時に、ライフラインと共に被災後の迅速な機能回復が可能な仕組みづくりが求められる。また、都市機能も災害時における避難経路や緊急避難所の整備、情報伝達システムの強化など、都市全体での対策が求められる。事業経営は事業経営計画（BCP）の策定やリスクマネジメントの強化、従業員の安全確保などが重要な要素となる。一方、生態系については自然災害や気候変動に対して柔軟に適応し、持続可能な状態を維持していくには、生物多様性の保全が重要である。

2.3 レジリエンスを高める技術

地震災害に対して建築物や社会インフラのレジリエンスを高めるためには、構造物の耐震性を向上させるだけでなく、建物内部に設置された設備などの機能維持も重要となる。そのため、免震や制震技術が有効である。さらに、既存の対象物の耐震性能を向上させるための補強技術や、被災状況をモニタリングする技術も非常に有用である。また、地盤の液状化現象が注目され始めたのは1964年に発生した新潟地震における液状化被害が契機と言われているが、その後、阪神・

淡路大震災、東日本大震災でも深刻な液状化被害が確認され、2024年1月に発生した能登半島地震においても特徴的な液状化被害が確認されている。従って、液状化対策をはじめとする地盤や基礎の補強技術は極めて重要である。

一方、コンピュータの演算処理能力が近年、飛躍的に向上してきたことにより、地震やその他の災害に対する被害予測技術が大幅に進歩している。地震や洪水などの災害が発生した際に、建築物や社会インフラへの影響を事前に詳細に予測することで、構造物の耐震性や安全性を評価することが可能になる。これにより、災害発生時に適切な対策を講じることができ、レジリエンスを高める対象の被害を最小限に抑えることができる。

3章では、これまで各分野において大林組が開発してきたレジリエンスを高める技術、具体的には耐震・免制震関連技術、地盤・基礎関連技術、震災関連の被害予測技術、その他の災害対策・予測・評価技術を紹介すると共に、新たに開発された技術を解説する。

3. 大林組の技術開発

大林組では自然災害の予測や評価を行うための技術、および自然災害に対するレジリエンスを高めるための設計・施工技術、補強技術、復旧技術を開発している。Table 1 にそれらの一覧を示す。

3.1 耐震・免制震関連技術

3.1.1 耐震・免制震技術

本項では近い将来に発生が懸念される首都直下型地震や、南海トラフ巨大地震時に発生が想定される長周期地震動に対応する耐震・免制震関連技術について紹介する。長周期地震動による長時間の揺れに対しては一般に制震装置（ダンパー）が有効である。大林組はステンレス板とブレーキ材の間に生じる摩擦力で建築物の振動エネルギーを吸収する制震デバイス「ブレーキダンパー[®]」を開発し、これまで多くの建築物に適用してきた。ブレーキダンパーには主に超高層建築物で用いられるブレースに組み込む方法（ブレース型）や、間柱に組み込む方法（間柱型）があるが、他に、ブレーキダンパーと引張ブレースを組み合わせた引張ブレース型、オイルダンパーとブレーキダンパーを交差して組み合わせたクロスダンパー[®]などがある。なお、引張ブレース型については当初、適用範囲が中低層建築物に限定されていたが、超高層建築にも適用可能とするため大荷重に対応できるよう改良された³⁾。また、エネルギー吸収部材にブレーキダンパーを採用したシアリンク型を新たに開発し、その性能を検証している（『[ブレーキダンパー[®] \[シアリンク型\] の開発](#)』：Fig. 1）。

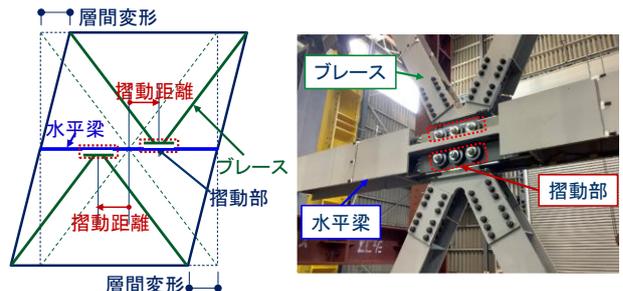


Fig. 1 ブレーキダンパー [シアリンク型] の構成
Composition of Brake Damper

超高層集合住宅向けには、「デュアルフレーム・システム (DFS)」が開発された。DFSは、硬い心棒と柔構造の建物を組み合わせ、オイルダンパーで連結することで地震のエネルギーを吸収し、建築物の揺れを半分に抑えることができる。また、大林組技術研究所本館に採用された「ラピュタ 2D[®]」は積層ゴムとアクチュエータから成るアクティブ制震システムであり、地震時の揺れを在来の耐震構造に比べて 1/100 程度に低減することができる。

超高層建築物では長周期地震動を受けた際に、柱・梁などの構造部材が多数回繰り返し変形を受けることが予想される一方で、直下型地震のように繰り返し数は少ないが大きな振幅の変形が懸念される場合もある。両者を包含する損傷評価技術に取り組む中で開発された構造システムとして「ウィングビーム[®]工法」がある。この工法では梁端部のフランジの両側にウィングプレート（水平ハンチ）を配置し、ウェブを高力ボルトで柱に接合することで、梁端部の破断が生じにくく、高強度・高靱性の柱梁接合部を実現した。さらに水平ハンチ部を有する鉄骨梁を偏心させると外壁や設備配管等との納まりを調整し難い場合があるた

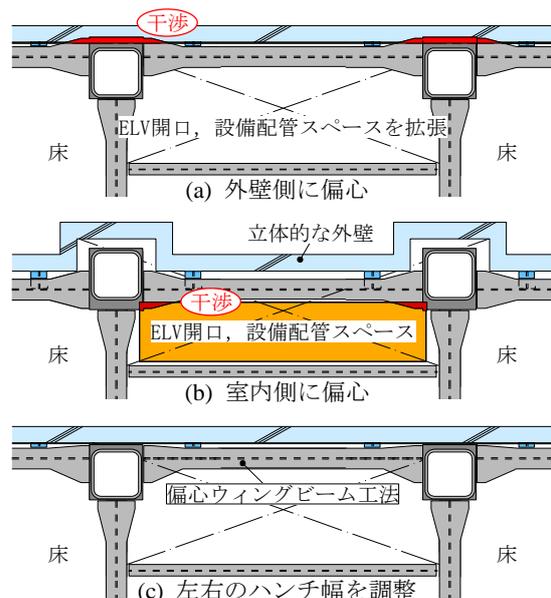


Fig. 2 外壁廻りの納まり例 (平面図)
Example of Exterior Wall Fittings

め、左右のハンチ幅を調整することで意匠・設備計画の自由度を高めた「偏心ウィングビーム®工法」を新たに開発し (Fig. 2 参照), その構造性能を実験と解析で検証した⁴⁾。

RC 構造については耐震性能向上のため、鉄筋を多数配置する場合があります、鉄筋組立の難易度が高くなるとともに、コンクリート打設が困難となる。過密配筋を解消し、鉄筋組立の生産性を向上させるため、高強度せん断補強筋「ナットバー®」を開発した。開発当初、ナットバーの部材軸直交方向の配置間隔の上限は 1m であり、適用可能な案件が限定されていた。その後、配置間隔を 2m にまで拡大するため、梁幅 2m の梁試験体を製作してせん断実験を実施し、せん断耐力評価式の適用性を確認した⁵⁾。一方、建築基準法で規定される地震動レベルを大きく超える地震が発生した場合、免震建築物が擁壁間との免震クリアランスを超過して擁壁に衝突することによる擁壁損傷および上部構造の応答増大が懸念される。この対策として、大林組は基礎の上部と擁壁間に高減衰ゴム製ブロックを用いた「免震フェンダー®」を開発した (『大地震時における免震建物用緩衝材「免震フェンダー®」』: Photo 1)。



Photo 1 免振フェンダー®の設置例
“Menshin Fender” Installation Example

3.1.2 耐震補強技術 都市のレジリエンスを高める上で、既存の建築物および土木構造物の耐震化は重要な課題である。大林組は建物を使いながら耐震補強できる、「Quiet (静か)」、 「Quick (早く)」、 「High-Quality (高品質)」な「3Q 工法® (3Q-Wall, 3Q-Brace, 3Q-Column など)」を開発してきた。この内、3Q-Wall は壁を構築するブロックとして、プレキャストブロック、FRP 製ブロック、鋳鉄製ブロック (3Q ダイアキャスト®) があり、必要な耐力や意匠により最適な耐震補強壁を実現できる。さらに 3Q-Wall に代わる新たな耐震補強技術として、コンクリートの代わりに、モルタルによって耐震補強壁を構築する技術の開発を進めている (『鉄筋-高強度モルタル造耐震補強壁のひび割れ対策と構造性能』: Photo 2)。



Photo 2 鉄筋モルタル造耐震補強壁の最終破壊状況
Final Failure Condition of Reinforced Mortar Retrofit Seismic Wall

土木構造物に対しては、壁式橋脚を耐震補強する際に中間貫通鋼材を省略しても変形性能を確保できる「ザクツレスバー™ 工法」 (『壁式橋脚の耐震補強工法「ザクツレスバー™ 工法」の設計法』: Fig. 3), 橋梁を制震構造にして震動を低減する「橋梁用ブレーキダンパー®」⁶⁾、ボックスカルバート側壁を内面からせん断補強する「マルチプルナットバー®工法」⁷⁾などを開発した。

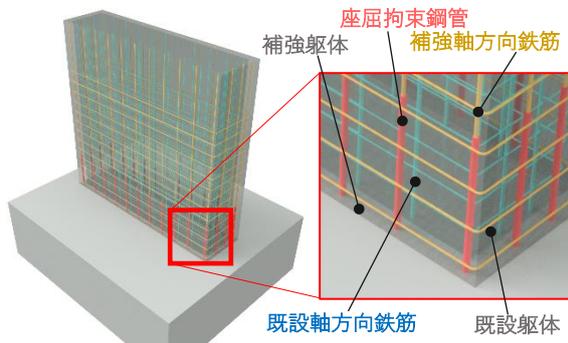


Fig. 3 ザクツレスバー™による耐震補強工法
Seismic Retrofit Method "ZAKUTSU-Res bar"

3.1.3 天井脱落防止技術 東日本大震災による多大な天井脱落被害を受けて、平成 25 年 7 月に建築基準法施行令および施行規則が改正 (平成 26 年 4 月施行) され、天井の脱落対策に係る技術基準⁸⁾に基づき、脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井 (特定天井) には、脱落防止対策を講じることが義務付けられた。大林組は既存天井の落下防止措置として、既存天井の下面にフラットバーとネット、もしくはネット状のストリング (細いロープ) を設置して、大規模地震時に損傷して落下しようとする天井材を一時的に保持し脱落を防止する構法「フェールセーフシーリング®」を開発した。また、天井脱落被害は揺れ方の異なる天井と設備機器の衝突に起因する事例も多数報告されていることから、設備機器の支持フレームと在来工法吊り天井をエネルギー

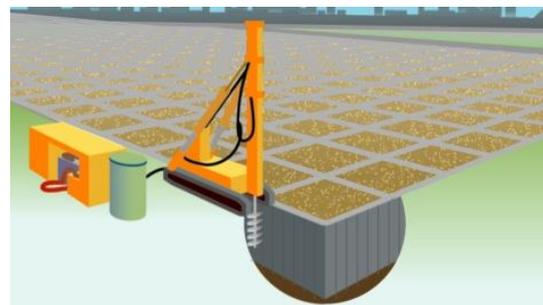


Fig. 4 TOFT 工法
Grid-shaped Soil Improvement "TOFT"

吸収装置（ロータリーダンパー）で接続することで地震の揺れを吸収し、衝突を回避する「ロータリーダンパー天井制振システム」を開発した。さらに、グリッドタイプのシステム天井に組み込まれた設備機器にも対応できるようにシステムの改良を行っている⁹⁾。

3.2 地盤・基礎関連技術

3.2.1 地盤の液状化対策技術 今回の能登半島地震でも多く発生した地盤や路面の液状化およびこれに伴う側方流動の対策について大林組の技術を紹介する。液状化対策の基本は、液状化の発生要件である「地震」、「緩い砂地盤」、「地下水」の3要因の内、1つを取り除くことである。「緩い砂地盤」への対策としては、「サンドコンパクションパイル工法」に代表される締固め工法が主流であったが、阪神・淡路大震災以降の設計地震力の見直しにより、現地土にセメントを混合した改良体を築造する「固化系改良工法」や、恒久グラウトを地盤に浸透注入する「注入工法」等の実績が増えている。

「TOFT工法」は固化系改良工法の1つで、Fig.4に示すように、セメント改良体を格子状に配列し、その上に構造物を建設することで、周辺地盤で液状化が発生しても構造物の沈下や傾斜を防ぐことができる¹⁰⁾。「ジオフレックスドリル®工法」は既存構造物の周辺から制御ボーリングにより削孔して薬液を注入することにより、既存施設の稼働を妨げずに構造物直下地盤を直接液状化しないように改良する工法である (Fig.5 参照)¹¹⁾。また、Fig.6に示すように配管・ラック基礎などの線状構造物の直下のみを地盤改良することで、液状化による地盤の不同沈下／不等沈下に伴う配管設備の被害を防ぐ工法も実適用している¹²⁾。一方、液状化による地盤の不同沈下／不等沈下は、地震後の復旧活動を支える道路の走行性にも影響を与える。「タフロード®工法」はジオグリッド+軽量土、および安定処理土（現地発生土）で構成する路床構造により、液状化による道路の変状を抑制する。本工法により被災後の車両通行が可能となるため¹³⁾、事業所の復旧を含めたBCP対策として有効である。

「側方流動抑止杭工法」は¹⁴⁾、護岸背後地盤が液状化によって海方向に数mオーダーで水平変位する現象（側方流動）を抑える工法である。Fig.7に示すように、液状化の危険性の高い護岸背後の緩い砂地盤に杭を千鳥状に打設することで、液状化した地盤の水平変位量を減少させ、杭よりも陸側の構造物に対する側方流動の影響を軽減する。

3.2.2 基礎の補強技術 基礎の補強工法は、「基礎地盤を強化する方法」と「構造的な要素を付加する方法」に大別される。前者として代表的な「固化系改良工法」や「注入工法」を構造物周囲地盤に適用することで基礎地盤の変形をある程度抑制することはできるが、前述の「ジオフレックスドリル®工法」を適用すれば、既存施設の稼働を妨げずに構造物直下の基礎地盤の液状化強度・支持力増加が可能である。配管・ラック基礎などの線状構造物の直下だけに「固化系改良工法」を適用することで、経済的に液状化による地盤の不同沈下／不等沈下に伴う配管設備の被害を防ぐ工法¹²⁾も実用化している。後者として、既設の構造物基礎周囲にシートパイルを打設し、フーチングとの一体化により基礎の耐震性を高める「シートパイル基礎工法」、小口径の合成鋼管杭を増設することで基礎の耐震性を高める「マイクロパイル工法」がある。杭径が300mm以下の小口径杭工法は、道路橋基礎などの耐震補強対策としての採用が増加しており、硬質な岩盤でも施工可能な高耐力の杭工法が求められている。そこで、コンパクトで軽量の施工機械を活かしつつ、適用可能な鋼管径や鋼管肉厚を拡大し、かつ岩盤でも施工可能な高性能小口径杭工法「ハイスpekマイクロパイル®工法」を開発した¹⁵⁾。なお、本工法は低コストの土留め杭としても活用できるように改良されている。

3.2.3 斜面防災技術 斜面崩壊に対する補強工法について大林組は多くの対策技術を有している。例えば、セメン

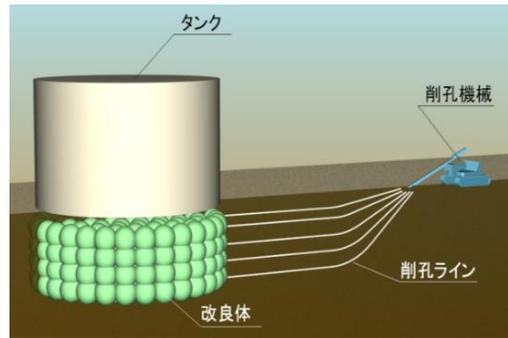


Fig. 5 ジオフレックスドリル®工法
Drilling Control Method "Geo Flex Drill"

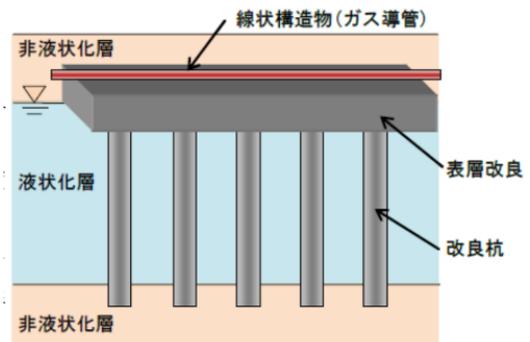


Fig. 6 線状構造物の沈下対策工法
Countermeasure Method to Prevent Settlement of Linear Structures Caused by Liquefaction

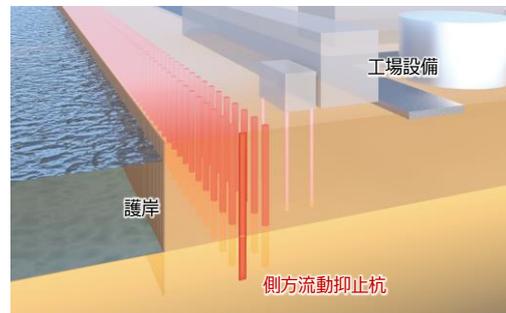


Fig. 7 側方流動抑止杭
Deterrent Pile for Lateral Spreading

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」、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「ハイスぺックネイリング®工法」がある。また、アンカーの頭部に皿ばね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ことを抑制する「皿ばね（D&S）アンカー工法」もある。「ピンナップ®工法」はJR 総合技術研究所と共同開発した石積み擁壁の補強技術であり、石積みを部分固化で補強することにより裏グリ石の有する排水機能を維持しながら耐震補強する工法である。さらに、城郭石垣等の補強工法として、高分子系繊維材を縦材、ステンレス棒鋼を横材とした新型ジオグリッド（補強材）を石垣背面の栗石（ぐりいし）層に敷設することで、築石や栗石の変位を抑え、耐震性を向上させる「グリグリッド®」もある。この工法は熊本城天守閣復旧整備事業における文化財石垣の耐震補強工法として適用されている。

3.3 震災関連の被害予測技術

3.3.1 構造解析技術

震災に対するレジリエンスを向上させ、持続可能な社会を構築するためには、被災した土木・建築構造物の損傷や健全性を精度よく評価でき、即時の復旧に資するデータを得ることが重要である。このため、構造物への入力地震動および正確な構造物の挙動の予測が不可欠となる。大林組はコンクリート系構造物を対象として、独自の材料構成則を導入した FEM 解析ソフト「FINAL®」を開発し、1985 年から現在に至るまで継続的にその解析精度の向上と適用範囲の拡大に取り組んできた。また、近年では、構造物の形状を忠実に再現した詳細なモデルによる非線形解析のニーズに応え、FINAL を基に、演算速度を飛躍的に高速化して大規模解析を可能にした「FINAL-GEO®」を開発した。FINAL-GEO では液状化地盤を対象とした解析機能を追加し、地盤材料構成則も充実させている。このため、今回の能登半島地震でも被害が確認された液状化、側方流動、および断層変位の影響を反映した地盤挙動を予測することができる。また、地盤と構造物の相互作用を動的有効応力解析（2・3 次元）によって再現できるため、地震被害やその対策工を定量的に検証・評価することが可能である。これらの予測技術の妥当性については数々の遠心模型実験と解析結果の V&V（Validation and Verification）により検証を進めてきたが（例えば 16）、近年より複雑化する災害を念頭に、降雨と地震、浸透流と地震が複合的に作用することによる盛土や河川堤防等の被害を再現するためのソフトの改良と V&V に着手した（『土木・建築構造物のレジリエンスを評価する構造解析技術』：Fig. 8）。一方、鉄骨構造物に対しては、主に金属材料分野で発展した汎用構造解析ソフト「Abaqus」を活用し、ユーザーサブルーチンの機能に独自の材料構成則を導入し、鉄骨部材が破壊に至るまでの挙動の再現性を向上させている。

3.3.2 地盤解析技術

本項では設計用途に対して適用し易い汎用 3 次元有限要素ソフト（3D-FEM）による地盤

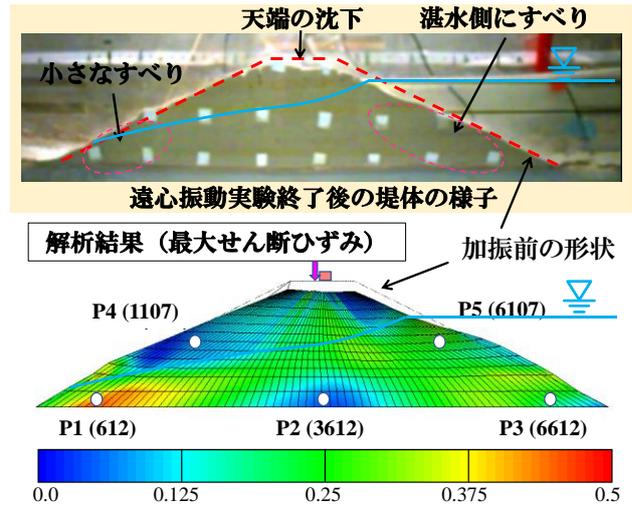


Fig. 8 遠心振動実験終了後の堤体の変形と解析による最大せん断ひずみ分布図

Deformation of Dam after Centrifuge Shake Table Experiments and Analytical Result of the Maximum Shear Strain

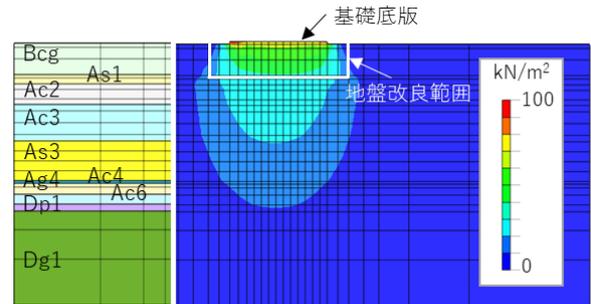


Fig. 9 増加地中応力コンター Increased Ground Stress Contours

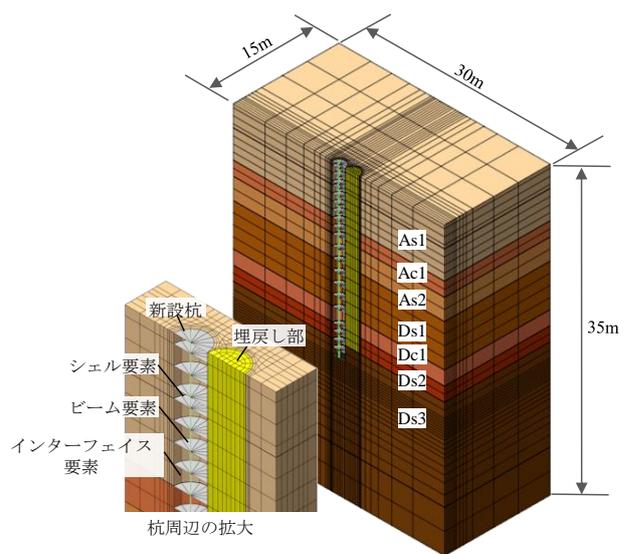


Fig. 10 3D-FEM による埋戻し部を考慮した杭の鉛直支持力評価モデル Vertical Bearing Capacity Evaluation Model of Pile Considering Backfill Section by 3D-FEM

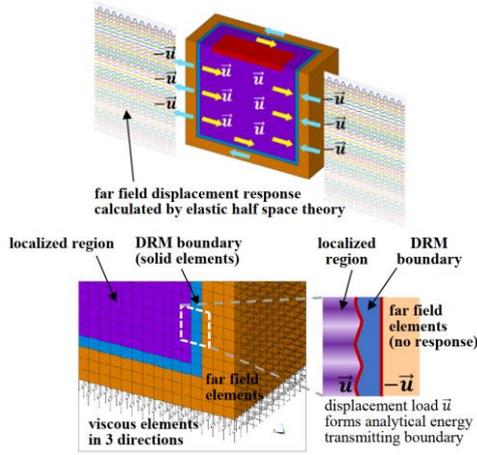


Fig. 11 地震応答解析に用いる領域縮小法 (DRM) モデル¹⁷⁾
Domain Reduction Method (DRM) Model for Seismic Response Analysis

解析を活用した、基礎の合理化設計および杭の鉛直支持性能評価の事例について紹介する。前者は沖積粘性土層が厚く堆積する日本海沿岸の埋立地に建設された火力発電施設の基礎の設計事例で、地盤の沈下計測と土水連成 FEM による再現解析を行い、基礎構造物の合理化を行った (『[先行盛土の沈下計測による重量構造物の基礎の合理化例](#)』: Fig. 9)。建設された発電施設は 2024 年能登半島地震において震度 5 弱の観測地域にあったものの、主要構造物、周辺施設、配管のいずれも無被害であった。一方、後者は既存杭の撤去埋戻し地盤における新設杭の鉛直支持性能を 3D-FEM により評価した事例である (『[既存杭撤去埋戻し地盤における杭の鉛直支持性能評価](#)』: Fig. 10)。

3.3.3 地震動・振動解析技術 大林組は入力地震動評価と建築物と地盤の動的相互作用評価の高度化についても取り組んでいる。入力地震動評価では、2024 年能登半島地震を対象とした地震動特性評価と地震動シミュレーションを行った。地震観測記録の分析により、震源断層近傍で過去の震度 7 相当地点と同等以上の地震動が観測されたこと、関東平野で長周期地震動が増幅し、継続時間が伸張したことが確認された。動的相互作用評価においては、通常の方法では、演算時間が膨大となり、実務設計に用いるのが難しい複雑で大規模な解析モデルについて、精度を維持したまま計算効率を向上できる解析技術 (『[災害レジリエンスに寄与する地震動・振動解析技術の高度化](#)』: Fig. 11)、ならびに地盤と基礎構造の局所をより精密にモデル化した高精度な解析技術が開発されている。

3.3.4 遠心模型実験技術 大林組は 1995 年阪神・淡路大震災での地震被害を契機に、耐震技術のさらなる向上を目的として大型遠心模型実験装置を導入した (Photo 3)。本実験装置では、構造物や地盤の縮小模型に対して重力の数十倍の遠心加速度を作用させたうえで、地震動や構造物に働く力を与えることが可能である。実物と同じ応力ひずみ状態を再現できるため、地震による液状化や軟弱地盤の長期沈下、構造物と地盤の動的相互作用効果を精度よく評価できる^{18), 19)}。

Fig. 12, 13 に、軽量建築物の直下に固化系地盤改良体を構築し、液状化による建物沈下を軽減する対策の効果検証に用いた事例²⁰⁾を紹介する。一方、近年の豪雨災害の激甚化・頻発化に伴い土構造物



Photo 3 遠心模型実験装置
Centrifugal Model Testing Facility

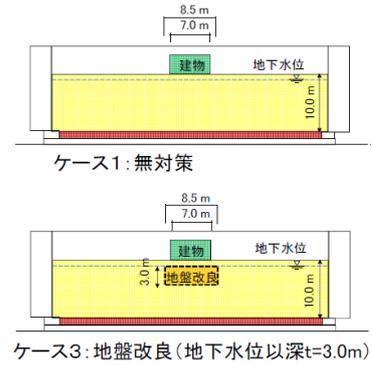


Fig. 12 実験ケース
Test Cases

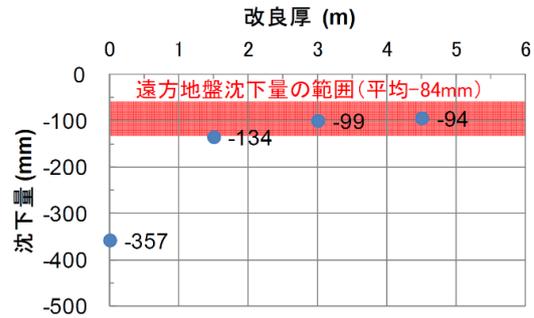


Fig. 13 建物直下の地盤改良厚さと最終沈下量の関係 (1.5m/s²加振)

Relationship between Thickness of Ground Improvement and Final Settlement Amount (1.5m/s² Excitation)

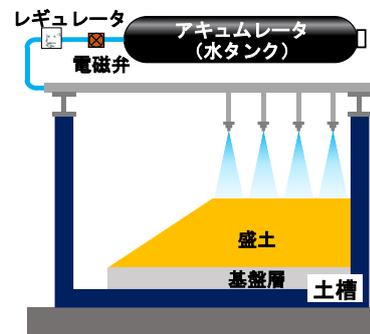


Fig. 14 降雨発生システムの概要
Overview of Centrifuge Rainfall Simulator

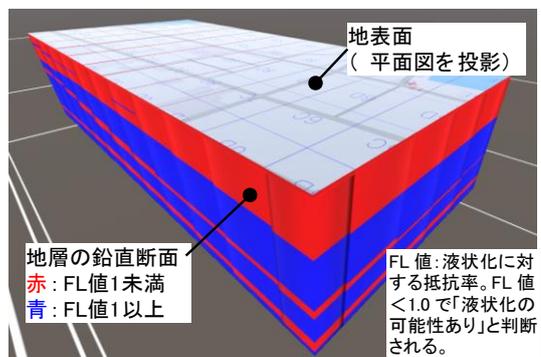


Fig. 15 Quake Ranger® 3D
Quake Ranger® 3D

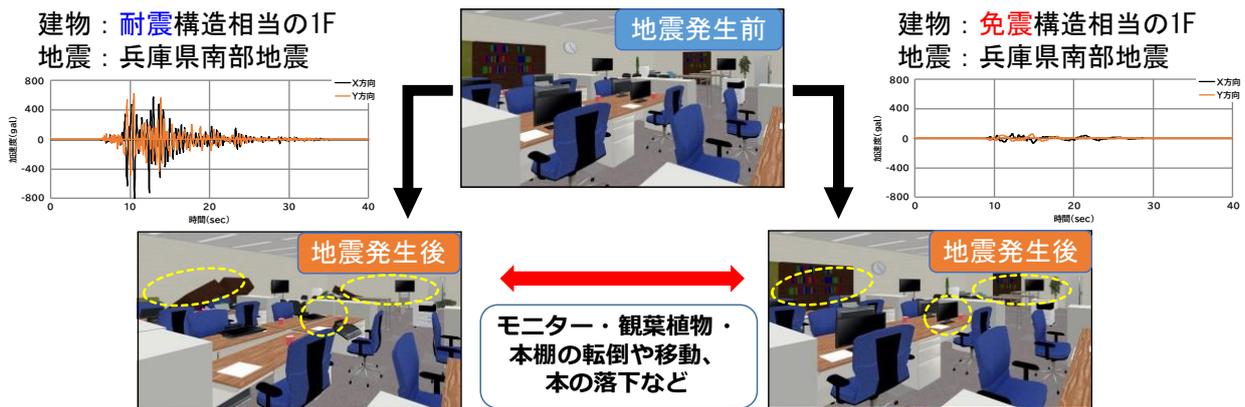


Fig. 16 構造形式の違いを対象とした屋内のシミュレーション結果
Comparing Simulation Results in Seismic Strengthened Building and in Seismic Isolated Building

の災害対策ニーズが高まっている。降雨による浸透挙動を評価し合理的な対策を立案するために、遠心模型実験装置を用いた遠心場降雨発生システムを開発している（『盛土への降雨浸透挙動を再現する遠心模型実験と浸透流解析』：Fig. 14）。

3.3.5 3次元可視化技術 地震被害の効果的な軽減対策の検討では、想定する地震の規模や発生時の被害想定が重要である。FEM解析等によって得られた情報を理解するために、大林組は専門の知識がなくても直感的に地震被害の程度を理解し、共通認識を形成することで対策の意思決定に繋げる可視化技術を開発した（『地震対策の意思決定を支援する3次元可視化技術』：Fig. 15,16）。3次元地盤構造推定システム「ちかなび[®]」²¹⁾と連携した地震被害評価システム「Quake Ranger[®] 3D」では、Fig. 15に示すように敷地内の対策優先度の検討などに役立つ情報が地盤内の危険度を含めて評価される。例えば、液状化危険度の高い地層の情報と各建築物基礎の情報を重ね合わせることで、従来の2Dでは同等と評価された建築物の対策に優先度を付けられる。一方、屋内の地震時挙動再現シミュレーション技術は、地震時に屋内の什器や備品類の転倒や落下、滑動等を可視化する。建築物の構造形式や地震動による屋内の挙動の違いを直感的に示すことで対策効果を実感しながら比較でき、対策選定における意思決定や合意形成をスムーズに行うことができるツールとして開発を進めている（Fig. 16参照）。

3.3.6 構造モニタリングシステム 地震後の余震等による建物倒壊に伴う二次的災害を防止するため、企業等が建物内に留まれるかの判断を迅速に行うことが求められている。大林組は建物地震被災度即時推定システムを開発し、2022年3月に一般財団法人日本建築防災協会から「応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価」を取得した。本システムでは建物基部と建物最上部に加速度センサを設置し、観測記録から地震応答解析を行うことで、設計モデルと実建物の違いを考慮して層間変形角を予測する。これにより構造躯体の被災程度が地震後に数分程度で判定可能となる²²⁾。これまでの判定士の目視調査と比較し、判定結果を得るまでの時間を大幅に短縮することができる。

3.4 その他の災害対策・予測・評価技術

3.4.1 風害（台風・竜巻等） 風害には、建築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を与える事象の他、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、事業継続に深刻な影響を与える事象が少なからずある。また、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、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。特に近年は地球温暖化の影響を受けて、中心気圧が低く、より強風を伴う台風の発生頻度が高くなることや、移動速度の遅い台風の増加により、台風の影響を受ける時間が長引くことが懸念されている。

風による建築物や周辺環境への影響（風環境・風荷重）を評価する手法として、大林組は数値流体力学（CFD）に基づく数値シミュレーションおよび風洞実験の両輪を駆使して取り組んでいる。風環境シミュレータ「Zephyrus（ゼフィルス）[®]」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PC上で予測可能とした。また、風荷重の評価に対しては建築物表面の複雑な形状のモデル化や、地形の影響を受けた風況解析を行うことが可能な、数値風洞「AcroDyna（エアロダイナ）[®]」を開発した。一方、大林組は測定部に3m×3mの内空断面、最大風速40m/sの業界最大級の風洞実験施設を保有しているが、これに加えて、近年多発傾向にある大型台風、竜巻、ダウンバーストなどによる非定常な風圧変動の風荷重への影響を評価する実験装置「マルチファン型非定常気流風洞装置」を導入した。この装置は時間的・空間的に大きな変化を伴う瞬間的な風の再現を可能とした「マルチファン風洞装置」、竜巻状およびダウンバースト状気流を再現する「竜巻発生装置」、「ダウンバースト発生装置」の3種類の装置から構成されている。特に竜巻などの突風に伴う建物被害事例が増加する中で、「竜巻発生装置」を活用し、竜巻の性質、規模、移動速度などが建築物の風荷重に与える

影響について知見を集めている²³⁾。

3.4.2 水害 日本では毎年のように水害が発生しているが、「洪水により相当の家屋が浸水する恐れがある水位（氾濫危険水位）」を超過した河川数も、近年は増加傾向にある。これは、河道掘削や堤防整備などの治水対策の進捗速度に対して、気候変動による影響が顕在化する速度が上回り始めていることの現れであると危惧されている²⁴⁾。大林組は洪水のハザードマップや国土交通省が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築物の設計に活用するための「水害に対する設計ガイドライン」を作成した²⁵⁾。その後、法律・規準等の改定内容の反映や立地地点の潜在的な水害リスクを把握できるように同ガイドラインの改定を行っている。

浸水リスク予測技術としては全国で公開されている標高データから、地形の凸凹の指標として用いられるラプラシアンを計算し、これを水害危険度の簡易的な指標とするGISによる簡易リスク予測手法がある。また、流体の基礎方程式に基づき水の挙動を予測する解析技術を任意地点の浸水状況の経時変化の把握や対策の立案に活用している（『[浸水リスク予測技術と事業継続にむけた浸水対策支援](#)』:Fig.17)。さらに、都市部の豪雨に伴う内水氾濫を抑制する技術として「[ハイドロペイブ ライト®](#)」を開発した²⁶⁾。この技術は透水性舗装と湿潤舗装を組み合わせたもので、雨水の貯留による下水施設への流出抑制効果と、路面からの雨水の蒸発による暑熱緩和効果の両方を期待できる。

一方、豪雨災害の激甚化・頻発化により、全国各地で盛土や切土等の土構造物に被害が出ている。このような被害への対策を検討するに際して、降雨により土構造物の浸透挙動を適切に評価することが重要となる。そこで、前述したように遠心模型実験装置により土構造物の降雨浸透現象を評価できる遠心場降雨発生システム (Fig.14 参照) を開発し、実験結果が FINAL-GEO による解析結果と整合することを確認した。

3.4.3 雪害 地球温暖化に伴い気温が上昇すると、雪が融解しやすくなり、降水が雪から雨に変わることが多くなるため、地球全体としては降雪、積雪は減少すると考えられる。但し、地域や季節、現象によっては例外もあり、気温の上昇に伴って大気中の水蒸気が増加し、極端な降水の頻度・強度の増大が生じる中で、気温が0℃以下となる地域や季節においては、降水量の増加が降積雪の増加として現れる場合があると考えられている²⁴⁾。雪害は、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。また、建物屋根および周囲への影響として、風雪による雪の吹きだまりや、降雪・落雪による被害が想定される。大林組では建物周辺の積雪分布を適切に予測するための数値シミュレーション手法の開発を行い²⁷⁾、雪の対策範囲の絞り込みや対策手法の選定に活用している。

3.4.4 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り、季節的には8月が最も多く冬季（12～2月）の約100倍となっている²⁸⁾。また、地球温暖化に伴う気候変動により、世界的に雷の発生数が増加するという研究結果も示されている。大林組では施工中の現場への落雷の危険性を高精度かつ効果的に判定・通知する雷警報システム「[カミナリウォッチャー®](#)」を開発し、工事現場に導入することで作業員の避難やクレーン等への落雷事故予防のための事前措置判断に活用している²⁹⁾。また、本システムはクラウド対応とすることでタブレット端末等によりどこからでも降雨域、移動方向および落雷位置情報の閲覧が可能となり、近年は風力発電施設などでも導入を進めている。

3.4.5 火山 活火山の多い我が国では、火山噴火により多くの都市が降灰を受ける可能性がある。火山灰が地面に1mm以上堆積すると、交通やインフラに大きな影響が出始めるとされており、国が富士山噴火を対象として行った被害想定では関東地方南部の広い範囲で堆積厚さが1cmを超える降灰量が予想されている。大林組は2016年度より、文部科学

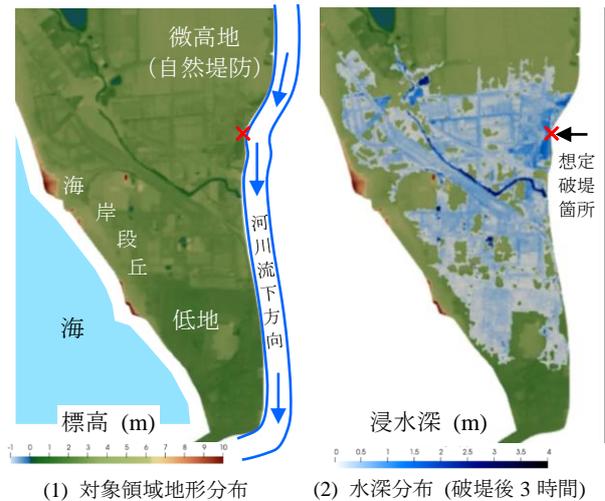


Fig.17 ある河川の河口付近における2次元浸水解析の例
Flood Simulation around a River Estuary

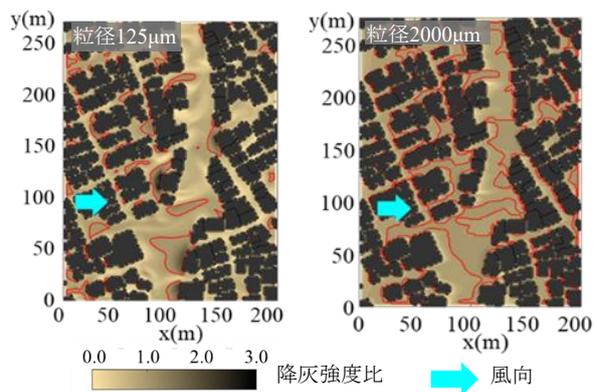


Fig.18 粒径による地上降灰強度の違い
Particle Size Dependence of Ashfall Rate

省の火山研究プロジェクト委託研究に参画し、降灰により建築設備が受ける影響の実験的評価、ならびに都市への降灰数値解析、降灰被害想定・対策立案等に取り組んでいる³⁰⁾。Fig. 18は低層から中層の建築物が密集する街区に対する降灰計算の例である。建築物で乱された気流により、降灰分布が不均一になる現象や、火山灰の粒径が小さい程、不均一性が顕著になることが確認された³¹⁾。

3.4.6 事業継続計画(BCP) 2004年10月に発生した新潟県中越地震を契機に日本では事業継続計画(以降、BCP)策定の機運が高まり、2011年の東日本大震災や2016年の熊本地震、2018年の西日本豪雨などの自然災害を教訓に、BCPの構築が進められている。一方、多様な自然災害が頻発化・激甚化する中で、1つの災害からの復旧過程で別の災害が発生する、あるいは複数の災害が同時多発的に発生するという複合災害の事例も増えつつある。BCP策定を検討している企業は事業継続が困難となるリスクとして、「自然災害」、「取引先の被災」、「サプライチェーンの混乱」を挙げており、特に取引先やサプライチェーンが抱えるリスクへの関心は近年高まってきている。加えて、自社の事業継続にはサプライチェーンとなる直接の取引先だけでなく、ライフラインや道路等のネットワークを構成する事業者や近隣の事業者との連携も必要となってくることから、多様な主体間でマネジメントされたBCPも考える必要がある。

地震災害を例にとると、事業継続の観点から、どこをどの程度補強すれば最も効果的か、あるいは耐震補強以外に有効なソフトの対策がないかを定量的に判断することが重要となる。大林組は重要業務に影響する個々の復旧作業時間から全体の復旧時間を定量的に予測する「BCP対策選定支援システム」を開発した³²⁾。このシステムでは予測される復旧時間が目標復旧時間を満足しない場合、復旧時間短縮のために対策を行うべき箇所を明らかにすることや、対策を行った場合の復旧時間短縮効果を算定し、複数の対策案から適切な対策案を選定することができる。また、対策に関する投資効果について、コスト比較を通して定量的に分析することも可能である(『[広域複合災害に対する事業継続性を高める技術](#)』: Fig. 19)。

3.4.7 感染症 2008年12月に新型インフルエンザの大流行が発生し、医療機関において病床不足が問題となった際に、大林組は感染症対応の緊急仮設病床をプレハブ工法によって迅速に設置する技術として「PEC®(パンデミックエマージェンシーセンター®)」を開発した。その後、2020年の新型コロナウイルス禍において医療機関からの問い合わせが急増したことを受けて、当社は新型コロナウイルス感染症特有のニーズに応える形で「中等症対応型」、「重症対応型」などを新たに開発し、PECシリーズを充実させている。また、ドアノブやテーブル、手すりなどの環境表面の除菌ニーズが高まっている中で、二流体噴霧ノズルを用いた薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」を開発した。この技術は適用対象に合わせて、建築設備として導入する「マルチミスト®ビルトイン」、必要な設備をカートに搭載した「マルチミスト®カート」、医療従事者が簡単に持ち運んで除菌できる「カセットミスト®」の3タイプが用意されている³³⁾。一方、感染予防のために講じられる建築的対策の一つとして居室の換気が挙げられるが、数値シミュレーションを行って、室内の気流分布および換気効率の評価を実施し、どのような換気対策が感染リスク低減に効果があるのか検証を行った³⁴⁾。

3.4.8 生態系 生態系のレジリエンス確保のためには生物多様性の保全が重要であるが、自然災害に対するレジリエンス強化のために進められてきたインフラ整備(例えば、堤防、コンクリート護岸、大型ダムなど)は、生物多様性を損ねる主要な要因とされてきた³⁵⁾。このため、生態系の機能を積極的に活用したグリーンイン

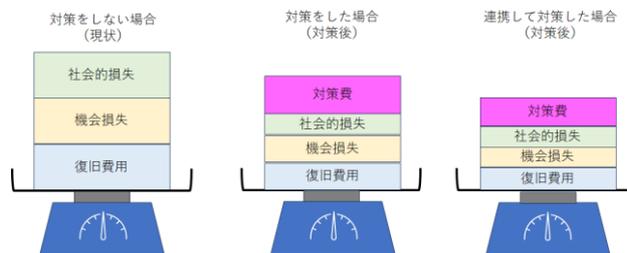


Fig. 19 対策案のコスト比較
Cost Comparison of Proposed Measures

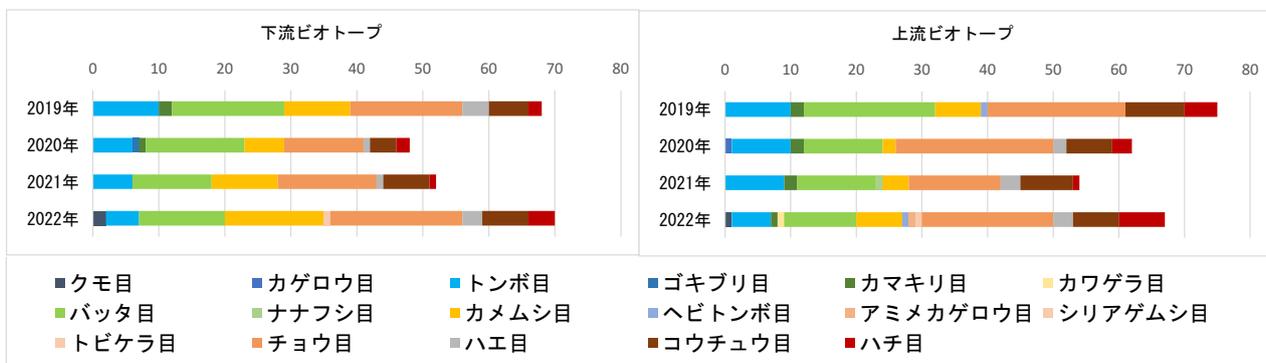


Fig. 20 昆虫類目別種数の変化
Change in the Number of Species by Insect Order

フラに注目し、生物多様性や自然環境を保全しつつ、自然を活用した防災・減災や地域振興など、グリーンインフラに関する様々な技術開発に大林組は取り組んでいる。のり面の緑化工法「チップクリーン®緑化工法」は伐採材チップなどをセメントミルクでコーティングして固結させ、その上に緑化を施す技術である。また、「多機能雨庭ビオトープ」は雨水を貯留浸透して都市型洪水の低減を図る雨庭に、生物多様性を育むビオトープとしての機能と、周辺の落ち葉の集積場としての機能を付加したものである。

一方、生物多様性保全に関する取り組みとして、大林組は各種土木インフラの工事前において、生態系への影響検討、保全対象種の情報提供を行う他、工事後における植栽の生育不良への対応や、ビオトープや里山環境の維持管理等を行っている³⁶⁾。また、2018年11月に完成した一般廃棄物の最終処分場の事業地内に、自然環境保全のために設置したビオトープにおいて、昆虫類の目別種数の調査を行い、定期的な管理によって、事業地周辺の生物多様性が維持されていることを確認している（『[里山生態系の回復と保全に関する指標生物についての考察](#)』：Fig. 20）。

4. おわりに

2024年度の大林組技術研究所報では「レジリエンスを高める技術開発」と題し、その特集を組んだ。日本では、これまで様々な大規模災害を経験し、その都度、甚大な被害を受け、長期間にわたって復旧・復興を図る「事後対策」を余儀なくされてきた。このため、国は災害に対する事前の備えとして、最悪の事態を念頭に置き、人命を最大限に守り、社会経済が致命的な被害を受けず、被害を最小化して迅速に回復する「強さとしなやかさ」、すなわち「レジリエンス」を備えた国土・地域・経済社会を構築することを目指し、2013年12月に国土強靱化基本法を制定した。本解説ではレジリエンスが対象とする事象として自然災害を取り上げたが、国土強靱化を実現するためには自然災害のみならず、社会資本の老朽化による災害対策も重要である。高速道路をはじめとする、高度成長時代に建造されたインフラの老朽化問題が顕在化する中で、大林組も高速道路橋の床版取替工事において、最小限の通行規制による交通渋滞を低減する工法の開発・適用を進めている³⁷⁾。今後30年以内に高い確率で発生することが予想されている南海トラフ地震や首都直下地震などの地震災害、ならびに地球温暖化に伴い急増している風水害等の激甚化災害に対するレジリエンスを高めるために、大林組は今後も技術開発に取り組んでいく所存である。

本所報ではレジリエンスを高める技術に関する大林組の最新の技術開発について、6編の特集論文、4編の特集技術紹介および3編の特集報告を紹介している。また、2024年1月に発災した能登半島地震の被害については特別報告「令和6年能登半島地震 被害調査報告」としてまとめている。ご一読頂ければ幸いです。

本特集解説の3.1～3.4の記事は、次の特集WGメンバーの協力を得て執筆したものである。

3.1～3.4（副島紀代、樋口俊一、佐原守、藤森健史、加藤一紀、勝二理智、渡辺和博、雨宮薫、飯田有未、笠井泰彰、川西貴士、田島孝敏、藤根和弘、樋口匡輝、藤井達、堀居令奈、森拓雄、諸富鉄之助）

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書 2020, p. 50, 2020
- 2) 経済産業省：レジリエンス社会の実現に向けた産業政策研究会（中間整理）、https://www.meti.go.jp/shingikai/economy/resilience_society/index.html（参照 2024-5-21）
- 3) 平田 寛，他：大荷重に対応したブレーキダンパー®〔引張ブレース型〕の開発，大林組技術研究所報，No.86, 2022.12
- 4) 藤根和弘，他：有効空間を生み出す偏心ウィングビーム®工法の開発，大林組技術研究所報，No.87, 2023.12
- 5) 佐々木智大，他：機械式定着を有する高強度せん断補強筋「ナットバー®」の適用範囲拡大に関する研究，大林組技術研究所報，No.86, 2022.12
- 6) 武田篤史，他：「ブレーキダンパー®」を用いた制震型橋梁の開発，大林組技術研究所報，No.75, 2011.12
- 7) 田中浩一，他：面外せん断補強技術「マルチプルナットバー®」（その2），大林組技術研究所報，No.75, 2012.12
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所，一般社団法人新・建築士制度普及協会：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説(平成25年10月版), 2013.10
- 9) 青山優也，他：天井制振構法「ロータリーダンパー天井制振システム」のシステム天井への展開，大林組技術研究所報，No.86, 2022.12
- 10) 佐原守，他：格子状改良壁の実用沈下解析法，大林組技術研究所報，No.71, 2007.12
- 11) 稲川雄宣，他：ジオフレックスドリル®工法，大林組技術研究所報，No.79, 2015.12
- 12) 加藤一紀，他：セメント系固化材による表層改良と改良杭を併用したエネルギー施設の液状化対策と遠心実験による検証，基礎工，vol.49, No.5, pp.77-80, 2021.5
- 13) 伊藤浩二，他：液状化地盤上の地震時道路変状防止対策「タフロード®」，大林組技術研究所報，No.75, 2011.12
- 14) 樋口俊一：液状化側方流動抑止杭工法，大林組技術研究所報，No.76, 2012.12

- 15) 粕谷悠紀, 他: 適用範囲を拡大したハイスペックマイクロパイル®工法の開発, 大林組技術研究所報, No.85, 2021.12
- 16) 樋口俊一, 他: 逆断層変位を受ける箱型地中構造物に作用する土圧特性に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), No.73, Vol.4, pp. I_19-I_31, 2017
- 17) Y. Nitta et al.: A feasibility study on domain reduction method for non-linear seismic response analysis of soil-structure interaction system, SMiRT-25, Division III, Charlotte, North Carolina, USA, 2019.8
- 18) 遠心模型実験グループ: 遠心模型実験装置の活用事例, 大林組技術研究所報, No.66, 2003.11
- 19) 高田祐希, 他: 遠心模型実験装置の活用事例 (その2), 大林組技術研究所報, No.87, 2023.12
- 20) 樋口俊一, 他: 軽量の構造物直下の固化系地盤改良による液状化変状抑止効果—その1—, 土木学会第67回年次学術講演会, pp.391-392, 2012
- 21) 児島理士, 他: 3次元地盤構造推定システム「ちかなび®」, 大林組技術研究所報, No. 86, 2022.12
- 22) 諏訪 仁, 他: 建物地震被災度即時推定システムの開発, 大林組技術研究所報, No.86, 2022.12
- 23) 飯田有未, 他: 竜巻状気流中の建物の風荷重に関する実験的研究, 大林組技術研究所報, No.87, 2023.12
- 24) 文部科学省, 気象庁: 日本の気候変動2020, 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書(詳細版), 2020.12
- 25) 菊地敏男, 他: 建物の水害に対する設計ガイドラインについて, 大林組技術研究所報, No.71, 2007.12
- 26) 長野龍平, 他: 高い貯水性と路面温度低減効果を有する「ハイドロペイブ ライト™」の開発, 大林組技術研究所報, No.86, 2022.12
- 27) 田畑侑一, 他: 建物外壁着雪分布予測のための数値シミュレーション, 大林組技術研究所報, No.79, 2015.12
- 28) 気象庁: 雷検知数の季節的特徴, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/thunder1-3.html> (参照 2024-7-5)
- 29) 笠井泰彰, 他: 施工現場向け雷警報システム「カミナリウォッチャー®」, 大林組技術研究所報, No.78, 2014.12
- 30) 諏訪 仁, 他: 火山噴火の降灰による建物被害評価法, 大林組技術研究所報, No.84, 2020.12
- 31) 大塚清敏, 他: 市街地における火山灰の降灰への建物影響の数値計算, 大林組技術研究所報, No.87, 2023.12
- 32) 副島紀代: 地震被害予測に基づく事業継続影響度の評価方法, 大林組技術研究所報, No.72, 2008.12
- 33) 四本瑞世, 他: マルチミスト®の適用拡大, 大林組技術研究所報, No.87, 2023.12
- 34) 住吉栄作, 他: 窓開け換気による現場詰所の感染リスク低減効果, 大林組技術研究所報, No.86, 2022.12
- 35) 西廣 淳: 生態系のレジリエンスと生物多様性, 「変動の時代」の応用生態工学に向けて, 応用生態工学 20(1), pp.137-142, 2017
- 36) 寺井 学: 建設業における生物多様性保全の取り組みとDNA解析技術がもたらす変化, 大林組技術研究所報, No.85, 2021.12
- 37) 川西貴士, 他: 床版取替工法「DAYFREE®」における「スリムクリート®」の圧送による合理化施工技術, 大林組技術研究所報, No.85, 2021.12

Table 1 自然災害対策技術の一覧
List of Natural Disaster Countermeasure Technologies

自然現象	災害の種類	予測・評価技術・実験装置	設計・施工技術・補強技術・復旧技術
地震	基礎・地下構造の損傷・破壊 液状化（側方流動） 斜面崩壊	群杭基礎地震応答解析 遠心実験を用いた建築基礎の耐震性評価対応技術 杭支持建物の非線形地震応答解析 遠心模型振動実験装置 大型振動台 既存杭撤去埋戻し地盤における杭の鉛直支持性能評価● 地震被害予測システム (Quake Ranger [®] 3D) ● 地震動・振動解析技術の高度化●	ジオフレックスドリル [®] 工法 固化注入工法&鋼矢張り工法 シートパイル基礎工法 2段タイ材地下施工法 TOFT工法 側方流動抑止杭工法● タフロード [®] 工法● アースネイリング [®] 工法 ハイスベックネイリング [®] 工法 石積壁の耐震補強工法（ピンナップ [®] 工法） グリグリッド [®] 皿ばね（D&S）アンカー工法 ハイスベックマイクロパイル工法 線状構造物の沈下対策工法 地盤改良体を用いた大深度自立山留め 地盤改良を併用した直接基礎の合理化● 地下水を低下させる技術（工法）
	建物・インフラ施設の損傷・破壊 火災	生産施設の地震リスク評価システム 地震ハザード解析 地震動予測シミュレーション技術● 長周期地震動の評価技術● コンクリート系構造物の非線形FEM解析技術（FINAL [®] ）● 地盤～構造物系地震応答解析 地震被害予測システム（Quake Mapper [®] ） PML簡易評価ソフト 総合的被害予測に基づく地震対策効果評価法 DEM（個別要素法）解析 FLIP耐震性診断（動的有効応力解析） 3次元振動台 大規模高速解析ソフト FINAL-GEO [®] ● 防振天井の動特性評価 地震後建物火災のリスク評価 上下動地震応答評価法 屋内の地震時挙動再現シミュレーション● 建物地震被災度即時推定システム	免震建物用摩擦皿ばねダンパー ブレイキダンパー [®] （シアリンク型●、引張ブレース型、橋梁用） 並列制震システム（PYOダンパー） ダブルカラム・ダンパー（横型制震装置） 粘弾性カラムダンパー ウォールダンパー（SWA） 連結制震システム（STS） ガラス制振壁 ウイングビーム [®] 工法（S造柱梁接合部） CFRP板による補強工法 低強度鉄筋コンクリート耐震補強工法 スリムクリート [®] による耐震補強 フープパネル工法 [®] 圧縮型鋼製ダンパーブレース マルチプルナットバー工法 [®] タフショットクリート [®] ユニバーサルクリート スムースボード工法 [®] 3Qシリーズ [®] （3Qウォール [®] 、3Qブレース [®] 、3Qダイアキャスト [®] 他） 鉄筋モルタル造耐震補強壁● デュアルブレイムシステム（DFS [®] ） ラピュタ2D ザクツレスパー工法● 免震フェンダー [®] ● 免震建物用ケーブルラック（ニュートラダー [®] ） ロータリーダンパー天井制振システム フェールセーフシーリング [®] （ストリングタイプ、フラットバー+ネットタイプ） ナットバー（機械式定着を有する高強度せん断補強筋） RC扁平梁工法 O-RCS構法 [®] アップサイクルブロック（がれき残渣の有効活用） 解体コンクリート塊の構造材料への再利用
津波	護岸の損傷・破壊	津波・高潮数値シミュレーション	津波避難タワー・津波避難ビル 石炭灰改良剤による防潮堤 木材チップ塩性土壌改良
大雨	斜面崩壊 建物の浸水	地すべり・斜面崩壊予知のための遠隔地自動計測システム リモートセンシング手法を用いた地滑り危険度評価 浸水予測シミュレーション解析 浸水リスク予測技術● 「遠心場降雨発生システム」による盛土内への降雨浸透挙動評価● サクションを考慮した粒子法	水害に対する設計ガイドライン アースネイリング [®] 工法 景観配慮型防水壁 多機能舗装「ハイドロペイブ ライト [®] 」
強風	建物屋根・外装材の飛散・破損	広域風況予測評価技術 地形影響評価型台風シミュレーション 陸屋根の耐風性能に関する確率的評価 強風による外装材被害のリスク評価 風圧特性を予測する数値計算法 風環境シミュレーター「Zephyrus（ゼフィルス） [®] 」 数値風洞「AeroDyna（エアロダイナ） [®] 」 竜巻状気流中の建物への風荷重評価法 マルチファン型非定常気流風洞装置	外装材設計用風荷重の設定 折板屋根の耐風設計 高層建物の耐風性能設計支援システム 防風装置「Flowps（フロープス） [®] II」 スリムクリート [®] 製防風柵
その他全般	雪害 雷害 火山（降灰等） 生態系	BCP対策選定支援システム● 自然災害リスク診断システム BCM達成度診断システム ライフライン被害評価 火山灰の降灰シミュレーション技術 マルチエージェントモデルによる災害時避難シミュレーション	カミナリウォッチャー [®] O-LIPROS（オーリプロス） ローカル5Gを用いた複数重機連携の遠隔操縦技術 降雪対策設計ガイドライン マルチミスト [®] （マルチミストビルトイン、マルチミストカート、カセットミスト） アスベルバスター [®] PEC [®] （バンデミックエマージェンシーセンター） 多機能雨庭ビオトープ チップクリート [®] 緑化工法 ホテルとカエルを指標とした里山生態系の回復技術● 放射能汚染土壌の分級洗浄

※赤字は特集解説で紹介した技術

※●は本号特集論文・特集技術紹介・特集報告で紹介した技術