

特集「巨大地震にそなえる 予測・対策・復旧」

解説

巨大地震にそなえる

Techno-Actions for Next Mega Earthquakes

勝俣英雄 Hideo Katsumata

1. はじめに

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震(マグニチュード9.0、震源域500×200km)が発生した。この「想定外」の規模の地震は津波とともに大きな傷跡を日本の国土と社会とに残した。日本および日本周辺では1年当たり世界で発生する地震の約1/10が発生している¹⁾と言われ、地震への備え・心づもりは十分にできてきたはずである。しかし、この被害を前にしては、1990年以降、世界各地のマグニチュード9超の地震(例:2004年スマトラ沖地震)による警鐘を謙虚に受け止めて備えを改めなければならなかったのは明らかである。今や南海トラフ沿いの巨大地震が想定され、巨大津波と長周期地震動が懸念され、首都圏直下地震や上町断層帯地震などの内陸直下型地震でも南海トラフ地震における陸の下に潜り込んだ震源域でも震源が近い場合、激しい揺れが想定されている。震災から教訓を得ず、避けられたはずの被害を次の地震で受けるならば、それは2重に被災する愚行と言えよう。ただし、今の日本は巨大な災害を気にするあまり、普段の、落ち着いた生活を犠牲にし過ぎているようにも思える。いつもどおりの生活・事業をしながら、次の巨大地震に冷静に備えることが求められている。

今回の所報の特集では「巨大地震にそなえる 予測・対策・復旧」と題し、巨大地震の際に何が起こりうるのか、それへの対策技術としてどんなものがあるか、を示すとともに、対策が間に合わなかった場合や対策の想定を超えていた場合をも考えて、どのような復旧技術があるのかを論文・技術紹介で示している。この解説ではそれらの技術的な位置づけを簡単に紹介する。

2. 東日本大震災の概要

東日本大震災とは2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(Fig. 1)および一連の余震によって引き起こされた災害を指す。

3月9日に前震が宮城県沖で発生していたが、2日後に巨大地震が発生するとは予想されなかった。また、関東～東北の太平洋側ではある範囲ごとに大きな地震が生じるとは考えられていた²⁾が、これらが3月11日の本震のように連動して発生する可能性はほとんど検討されていなかった。まして、巨大津波が生じるとの警鐘は一部で鳴らされていた³⁾が、事実上、無視されていたと言える。

東日本大震災では津波による被害が顕著であった(Photo 1)。巨大津波は集落や都市をまるごと破壊し、多くの人命を奪い去った。元々、三陸地方は近い過去にも大津波に幾度となく襲われてきた地域であり、防潮堤などの備えは持っていたが、これを上回る巨大津波であった。また、仙台平野にも津波が大きく遡上した。地層には巨大津波が遡上した痕跡が残されていた³⁾が、人々の記憶からは消えていたため、被害が拡大したと言えよう。さらに、多くのものが漂流し、陸の建物の上に船が載り、海には建物が流された。漂流する可燃物に引火し、水と火の両方が襲来した街もあった。

また、福島第一原子力発電所が津波により冷却機能を喪失し、最終的

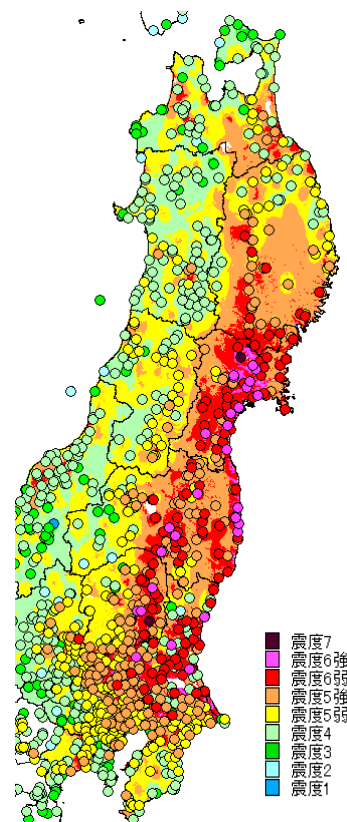


Fig. 1 東北地方太平洋沖地震の震度分布
Seismic Intensity of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake



Photo 1 津波被害
Damage by Tsunami

には大量の放射性物質を外部に放出した。原子力施設に強く求められている「放射性物質の閉じ込め」に地震の際に大失敗した初の事例となった。この結果、福島県北東部を中心に国土が放射性物質で汚染されるとともに、多くの人々が長期間の避難を余儀なくされている。間もなく2年経とうとするが、この問題は日本、特に福島県に暗い影を落とし続けている。

一方、3月11日の本震はマグニチュードが大きかった割には地震力が小さかったと言える。また、阪神淡路大震災以降、着実に進められてきた耐震補強の効果もあって、過去の大地震に比べると橋脚や建物の被害は顕著ではなかった。ただし、耐震補強をしていない古い建物や橋脚ではやはり大きな構造被害が発生するケースが多かった。相対的に影響が大きく見えたのは建物の非構造部材であり、関東地方～東北地方の太平洋側の地域で特に天井の落下が問題となった。天井落下は過去の震災にもよく発生していた⁴⁾。

震源域からやや離れた首都圏でも影響は大きかった。超高層ビルが長時間揺れ続けるのを目撃あるいは体験した人は非常に不安だったに違いない。交通機関は停止し、通信網は機能せず、家族の安否を気にしながら自らが帰宅困難者となる事態を多くの人々が経験した。3月中は広い範囲で計画停電が実施され、燃料の供給は滞り、生活と事業は大混乱した。原子力発電所は安全性の見直しを求められ、多くの発電所で運転を止めざるを得なかった結果、この2011年の夏は節電のため、スケジュールを変更するとともに暑い日々を耐えなければならなかった。

また、東日本大震災で、震源から離れているが、長時間地震動が続いたため、東京湾岸や利根川中下流域など広い範囲で地盤の液状化現象が発生し、数十センチに及ぶ地盤沈下や大量の噴砂が各地で生じた。地盤の液状化により、臨海部の公共施設や堤防等の河川施設に加え、2万棟にも及ぶ多くの住宅が被災した。

なお、多くの客観的な記録がこの大震災では得られている。一般の人々のビデオや携帯電話によって多くの画像が記録され、公開されているのはよく知られている。また、専門的な観測装置でも多くの記録が得られている。これらの記録を科学的に分析して巨大地震への備えを充実させることが我々、技術者・専門家の責務である。

3. 社会の動向

ここでは巨大地震にどのように対処しようとしているのか、予測・対策・復旧の観点から社会全般の動向を分野別・被害別に概観する。

3.1 地震・地震動

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を受けて内閣府では南海トラフで発生が予想される巨大地震の震源モデルの見直しを実施し⁵⁾ (Fig. 2), 2012年3月31日に震度分布と津波高の推計結果を公表した⁶⁾。推計結果は「最大クラス」の震源モデルを対象としたことで従来予測よりも大きくなったため、世間の大きな関心呼び、企業の耐震対策・事業継続対策や自治体等の防災対策実施の動きが活発化している。内閣府からは長周期地震動の公表はまだないが、過去の知見から判断して、南海トラフ地震による東京における長周期地震動は東北地方太平洋沖地震の東京での地震動の2～3倍となるという説が有力である。

一方、巨大な被害が予想される地震として首都圏直下地震も注目されている。文部科学省の首都直下地震防災・減災特別プロジェクトが2012年3月の最終報告⁷⁾にて、中央防災会議が想定する南関東直下のM7クラス地震の震源が10km程度浅くなるため従来想定より地震動が大きくなることを示し、また、東京都防災会議がこの最新知見を反映した被害想定の見直し結果を同年4月に発表した。中央防災会議でも首都圏直下地震の検討が2012年度より開始されている。これらの新しい知見は、建築物の耐震設計や防災対策における地震動想定に取り入れられつつある。

大阪においても上町断層帯地震が生じた場合の地震動予測が公開されている。これによれば、現在の設計用地震力の2倍以上にもなる可能性がある⁸⁾ことから反響が広がっている。

3.2 建物の構造躯体

鉄骨造、RC造を問わず、超高層建物では固有周期が長いため、南海トラフの巨大地震に伴う長周期地震動に共振して揺れが大きく、長く続くこと、およびこれに伴う構造躯体の被害の発生が懸念されている(Fig. 3)。例えば、鉄骨造の場合には梁端部の溶接部にき裂が入る、制振建物の鋼材ダンパーが損傷するなどの被害が想定される。そこで、既存超高層建

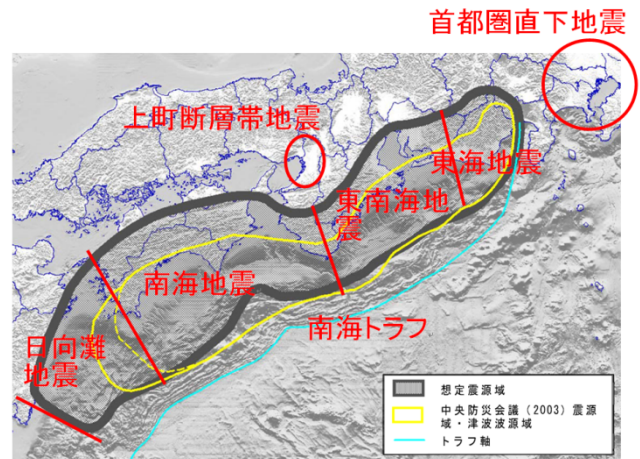


Fig. 2 今後予想される巨大地震の震源
注：文献⁵⁾の図に加筆
Source of Next Mega Earthquakes

物の長周期地震動対策として連続繰返し作動に耐える制振部材を増設することが検討されており、一部で工事が始まっている⁹⁾。また、東日本大震災での首都圏の超高層建物の揺れは構造体に深刻な影響を及ぼすレベルではなかったが、超高層建物の大きな揺れを体験し、恐怖感を感じたという情報発信が数多くなされた¹⁰⁾。「安全」を確保するだけでなく、「安心」を得るために低いレベルから大地震まで揺れの低減効果がある制振手法が注目されている。さらに、長周期地震動によって多数回繰返し変位を受ける場合に構造部材の保有性能を定量化する動きも活発化しており、成果が普及することが待たれている。

阪神淡路大震災や東日本大震災で共通している既存建物の耐震性不足は特に直下型地震に対して大きな問題である。例えば、首都圏直下地震の切迫性が指摘されている中、東京都は緊急輸送道路沿いの建物の耐震化を推進する条例を制定した¹¹⁾。震災時において避難・救急消火活動・緊急支援助物資の輸送等が建物の倒壊により不可能になる恐れがあるためであり、もはや耐震補強は社会的な課題である。なお、巨大地震が発生した場合に、建物内外での施工条件に応じて、迅速かつ効果的に構造躯体の補強・補修を行う技術も必要である。阪神淡路大震災の復旧において種々の復旧技術が適用されたが、これを整理したものが東日本大震災でも適用された。

なお、上町断層帯地震では地震動が非常に大きいため、免震建物が免震装置の変形限界を超える揺れを経験し、擁壁に衝突する可能性が指摘されている⁸⁾。すなわち、免震建物であれば無条件に地震に強いとは言えなくなっている。

3.3 建物の非構造部材・設備

構造躯体に加えて非構造部材に対しても耐震的な配慮や落下防止措置が必要とされている。例えば、高所からタイル張りやALCパネル等の外装材が落下したり、窓ガラスが破損・飛散したり、あるいは建物内部でも天井が落下すると、人命に及ぼす危険性が非常に高い。また、階段室内装ボード壁が損傷すると避難の障害になる。

特に対策が必要となっているのは変形追従性に乏しいパテ止めガラスであり、応急的には飛散防止フィルムを施工するとしても、最終的には枠ごと取り換えるのがよいとされている。また、ALCパネルに関しては、中間梁や間柱等の下地材の強度や剛性も含めた耐震安全性の検討が求められている。エキスパンションジョイントでは設計稼働量まで損傷しないことが、間仕切壁では面内の変形追従性ととも面外方向の変形への対応が、それぞれ必要とされている。

また、事業継続の観点より、地震後における建物の機能維持や早期復旧が求められており、構造躯体に加えて建築設備を含めた総合的耐震性能評価法が必要になっている。ハード的な対策としてはより効果的な機器の耐震固定方法ならびに配管などを対象とした耐震支持材の種類や設置方法が求められている。なお、天井に関しては(Photo 2)その崩落が人命に及ぼす危険性が非常に高い。これを踏まえて建築基準法の規制強化の動きがあり、「建築物における天井脱落対策試案」が国土交通省から出されている¹²⁾。

3.4 橋脚等土木構造物

東日本大震災では多数の橋梁などで被害が見られたものの、その多くは耐震補強の必要性が認識されながらも予算等の制約により手がつけられていなかったものであり、破壊形態は概ね予想の範囲内であった。一方で、設計において想定していた以上の地震動が観測されたのは事実であり、平成24年改定の道路橋示方書¹³⁾では、設計地震動として東北地方太平洋沖地震の観測記録をとりこんでいる。

東日本大震災により耐震補強の必要性に対する認識は高まったものの、現在でも未補強の構造物は技術的・社会的に困

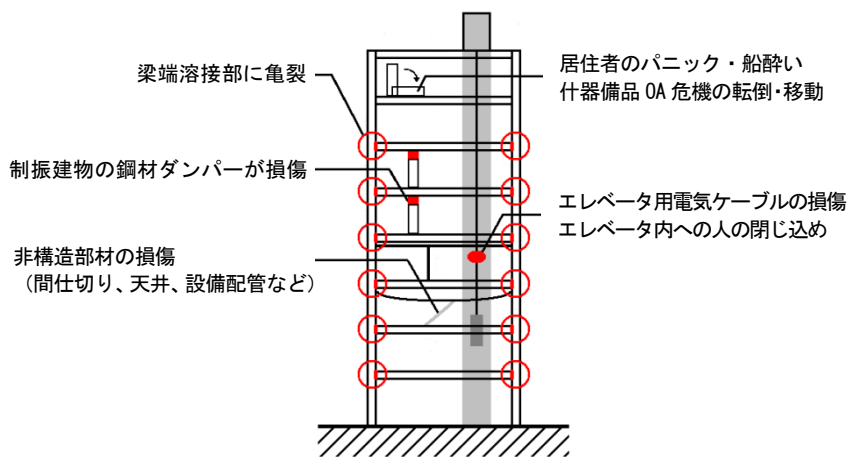


Fig. 3 超高層建物で予想される被害
Predicted Damage in High Rise Buildings

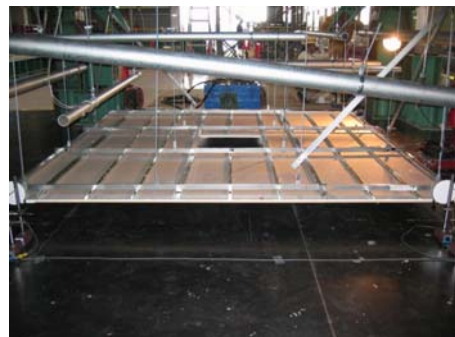


Photo 2 天井の耐震実験例
Dynamic Test of Ceilings

難な構造物が多い。例えば、補強個所へのアプローチが困難な山岳橋梁・橋脚等の杭基礎・地下カルバート・供用を停止できない交通施設・他の構造物と近接しているために補強スペースが不足する構造物、などである。これらを解決する新工法に注目が集まっている。

道路構造物に関しては、救助や復旧の面から、ネットワーク化や高耐震性の重要性が再認識されている。東日本大震災においては多くの海岸沿い道路が不通となり、迅速な救助への障害となった。三陸自動車道をはじめとして、災害時にも十分機能できる道路を整備する機運が高まっている。



Photo 3 液状化被害
Liquefaction

3.5 液状化・斜面・岩盤

東日本大震災では地盤の液状化(Photo 3)により多くの住宅が被災したことから、液状化対策の重要性が広く認識された。これにより、従来の新設構造物を対象とした液状化対策技術のみならず、戸建て住宅をはじめとする被災物の早期復旧技術、既設構造物を対象とする液状化対策技術、施設の継続使用のための出入口・通路等の液状化対策技術、などが必要とされている。また、継続時間の長い地震動や比較的細粒分の多い若齢埋立地に対する液状化判定法の見直しなども技術的な課題として産官学がそれぞれ積極的に取り組んでいる。さらに、各行政機関では公共施設の安全基準や建物被害認定基準等の各種基準類の見直しや住民説明会を実施している。

また、臨海部の液状化リスクも認識されるようになった。そもそも日本の産業施設の多くは臨海部に存在し、港湾施設は物流の重要な役割を担っている。東日本大震災では、東北および関東地域の沿岸部が地震および津波により被害を受けた。阪神淡路大震災においては神戸港において大規模な液状化被害が発生し、港湾機能の喪失に至った¹⁴⁾が、東日本大震災では津波の被害が大きく、液状化などによる地震被害については現段階では十分解明されてはいない。しかし、上述の東京湾岸での住宅地の液状化被害から護岸や港湾施設の被災が大規模な2次災害を引き起こす、経済活動へ大きなインパクトを与える、というリスクが想像されている。また、臨海部に生産設備を有する事業者においては、事業継続の観点から護岸や港湾施設の耐震性を向上させようとする機運が高まっている。特に、南海トラフ地震による影響が懸念される地域においては関心が高い。

一方、斜面が崩壊した場合、通常、その被害は甚大となり、社会的影響も大きい。東北地方太平洋沖地震においても、自然斜面、人工斜面とも被災しており、災害形態も様々であった。被災箇所の要因分析を行うとともに、過去の被災事例も参考に類型化を行う動きがあり、危険箇所を予測する上で貴重な資料になると思われる。また、人工斜面については、被害状況を調査するとともに設計法について基準改訂も視野に入れた検証が行われる予定である。

岩盤構造物は基礎と収容体の二つに大別される。明石海峡大橋基礎では阪神淡路大震災の際に約1mの変位があったが、施工中でもあり構造物への影響はなかった。一方、東北地方太平洋沖地震での基礎の被害については不明である。収容体となるトンネルや地下施設用の地下空洞などでは、新潟県中越地震で上越新幹線のトンネルで覆工コンクリートなどにひび割れが発生した¹⁵⁾。すなわち、岩盤構造物では変位が集中する箇所(断層など)の推定が重要である。例えば、断層などの大規模地質構造は衛星画像による地形解析により、その位置や方向などは弾性波や比抵抗トモグラフィにより、それぞれ特定することが可能である。一方、岩盤の力学的性質は岩盤ブロック等での繰返し载荷試験により評価できる。変位集中箇所が明らかになればロックボルト工やアンカー工による岩盤補強を行うことになる。

3.6 津波

東日本大震災後、自治体の津波ハザードマップ作成が加速されたが、2012年3月内閣府発表の「今後発生しうる最大規模の地震を考慮した海岸における津波高さ」(Fig. 4)⁶⁾により、大きな見直しが迫られている。その後の作業進展に伴う修正¹⁶⁾はあったが、それでも2012年発表の津波高さが2003年に中央防災会議から発表された津波の3倍程度まで大きくなっている地域があり、津波対策も大きく見直さなければならなくなった。なお、津波高さの予測技術としては、大きな進展はないものの、解析格子を小さくして精度を向上させる方向にある。精度向上により沿岸の防潮堤の効果により津波被害を低減しうる可能性が予測され始めており、今後の成果が期待される。

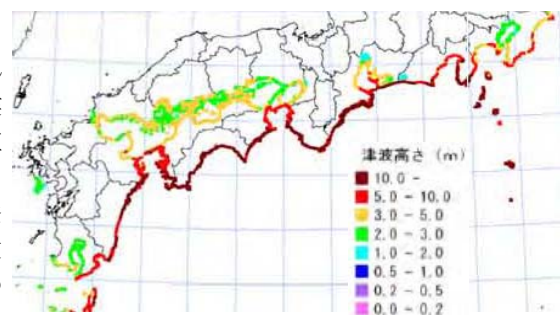


Fig. 4 2012年発表の最悪ケースの津波高さ⁶⁾
注：文献⁶⁾の図を編集
Tsunami Height Predicted in 2012

一方、中央防災会議は東日本大震災後、2段階の津波対策を採ることとした¹⁷⁾。すなわち、発生頻度が極めて低いものの甚大な被害をもたらす最大クラスの津波と、発生頻度が高く津

波高は低いものの大きな被害をもたらす津波に分けて対策をとることとし、国土交通省により発生頻度が高い津波の設計津波水位の設定方法が示されている¹⁸⁾。発生頻度が高い津波への対策は防潮堤などの海岸保全施設の整備が中心であり、東北地方での防潮堤の復旧や南海トラフ地震対象地域における防潮堤嵩上げなどが進められつつある。一方、最大クラスの津波に対しては被害の最小化を主眼とする「減災」の考えに基づき、海岸保全施設等のハード対策だけでなく、避難を中心とするソフト対策を組み合わせることとなった。

最大クラスの津波への対策ハードとしては防潮堤(海岸保全施設等)と避難施設(津波避難ビル等)がある。防潮堤などの構造に関しては、中央防災会議による「粘り強い構造」の考え方が示されたが、具体的な構造に関しては実証されておらず課題となっている。橋梁の流出については、流出するメカニズムも明らかになっておらず、対策を取るレベルまで達していないのが現状である。また、津波避難ビルの構造上の要件が、東日本大震災の分析に基づいて国土交通省より技術的助言で示され¹⁹⁾、条件によっては従来より緩和されることとなった。



Photo 4 防火戸の被害事例
Damage of Fire Doors

3.7 地震火災と避難

地震による出火率はこれまでは建物倒壊率と出火率の関係から推定することが多かったが、東日本大震災では阪神淡路大震災と比較して倒壊率と出火率の相関があまりみられなかった。これは東日本大震災では建物の主要構造体の被害はそれほど大きくなかったことによる。むしろ、非構造部材の損傷に追隨して防火戸や消火設備などの防火関連設備の被害(Photo 4)が多く報告されており、非構造部材等の被害と出火要因の関連性についての分析が求められている。地震後火災に対しては、建物の機能や目的に応じて総合的な判断のもと、バランスの取れた対策をとっていくことが必要である。必要な場所に複数の設備を備えることで、これらの組み合わせで生まれる防災システムの冗長性により信頼性を高めることが可能になる。そして、これらの設備への耐震対策が重要である。すなわち、スプリンクラー設備・排煙ダクト・非常電源設備については建築設備耐震指針²⁰⁾に準じて施工することにより、一定レベルの耐震性能は確保できる。ただし、南海トラフ地震のような長時間の地震動を想定すると、防災設備の耐震対策を見直す必要がある。防火関連設備の復旧については、避難通路や避難経路上の防火設備など、人命確保の観点から優先される設備から応急的に行うといった復旧対応マニュアルを整備する必要が認識されるようになった。

地震後の建物からの避難は、天井や壁等の非構造部材の損傷・脱落、防火戸や消火設備等の防火関連設備の機能不全、物品の散乱等により、避難通路が遮断される、あるいは火災が発生した場合、煙の侵入により避難通路が危険な状態に陥ることを想定する必要がある。また、建物用途ごとに就寝の有無・避難行動能力・空間の熟知度などが異なるため、在館者特性を考慮した避難計画が求められる。最近では避難者ごとに歩行速度や行動特性等の個別のパラメータ値を与えることが可能なマルチエージェントモデルを用いた避難シミュレーションにより施設内の被災状況や避難者特性を考慮した検討が進められ始めている。

3.8 間接被害と事業継続

東日本大震災は広域かつ複合的な災害であったため、建物や生産設備などの直接被害に加えて、ライフラインの長期間停止・サプライチェーン障害・計画停電・燃料不足・大きな余震発生などに伴う間接被害が大きな影響を与えた。このため、地震前にBCP(事業継続計画)を策定してあっても想定しなかった被害が発生して事業や活動の一部または全てが停止した企業・自治体・病院も多かった。このため、内閣府の首都中枢機能検討会では物的被害に加えてサプライチェーンの停止など経済的シナリオを考慮した複合災害への備えの必要性を指摘している²¹⁾。また、首都圏直下地震など想定地震(上流)を設定して被害予測を行いその対応を検討するアプローチに加えて、想定外の被害を極力低減させるため重要業務の被害を想定(下流)して対応を検討するアプローチも必要になっている。

また、東日本大震災における事業中断の長期化を踏まえて、建物や生産設備などの早期復旧戦略に加えて、同時被災しない別工場での生産やデータセンターに代表されるバックアップセンターの準備など代替戦略も重要になっている。さらに、BCPに対するニーズも多様化しており、個別企業のBCPのみならず、街区・エリア単位を対象としたDCP(地域継続計画)、集合住宅など居住者のLCP(生活継続計画)などが注目されている。また、2012年5月にISO22301(事業継続マネジメントシステム—要求事項)が発行され、国際的にもBCPに対するニーズが高まっている。

3.9 被害からの復旧

巨大地震に伴って多量の災害廃棄物が発生することは古くは関東大震災、最近では阪神淡路大震災や東日本大震災で明

らかになっている。これらの廃棄物は処分するのではなく、建設資材として被災地の復興に役立つものとして有効な利用方法の確立が求められている。例えば、横浜の山下公園は関東大震災でのがれきを用いて埋立てて造成されたことはよく知られている^{2,2)}。しかし、東日本大震災のがれきは膨大であり、単純な埋め立て材とするだけでなく、より高度な利用方法も含めて多様に活用する必要がある。また、被災地で行う復旧では、二次災害の発生の危険性が高い場所など作業員の立ち入りが難しい場所での作業が想定される。既に雲仙普賢岳の噴火からの復旧で無人化施工が試みられており、この無人化施工技術を震災復旧にも適用し始めているが、施工効率が良くないことが指摘されている。

津波による農地の塩害からの復旧も課題である。我が国は沿岸地域に農地が広がっているが、時々上陸する台風による高潮や潮風の影響で塩害(灌漑水の塩性化や塩分蓄積)が発生するため、塩害対策は行っていた。しかし、東北地方太平洋沖地震の津波による大規模な塩害農地の発生(Photo 5)は予測されておらず、特に仙台平野では海岸から内陸 5km まで浸水したため、被災農地は 1.5 万ヘクタールにもなった。被害面積が大きい理由は、低地の排水に欠かせない水路やポンプ場など農業施設の破壊や地震による広範囲な地盤沈下のためである。被災地域は塩分を含む海底の泥や破壊された家屋などがれきで覆われており、被災廃棄物の処理を伴う。塩害対策は大量の灌がい水で土壌の塩分を洗い流す方法が一般的であるが、塩害農地が広範囲でポンプ場が破壊されたため灌がいが不足し、復旧作業が長期化している。今後、津波被害を低減させるための堤防や農業施設などのインフラ整備に加え、塩害発生時の食糧生産や農業再開の対策が必要とされている。

福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の除染は今後も大きな課題である。現状では、画期的な除染技術というものは存在しておらず、地道な手法により人海戦術で除染するしかない。政府は 2012 年 1 月 26 日「除染特別地域における除染の方針(除染ロードマップ)」について公表した^{2,3)}が、これを少しでも早めるべく、継続的な技術開発が望まれている。

4. 大林組の取り組み

ここでは巨大地震に対する大林組の取り組みを、予測・対策・復旧の観点から分野別に述べる。

4.1 地震・地震動

地震動予測技術として、理論計算に基づく手法から半経験的、経験的手法までの各種の強震動予測手法により、対象とする地震動周期帯域や検討対象構造物に応じた地震動評価が可能である。巨大地震を対象とした地震動評価として、2011 年東北地方太平洋沖地震による地震動の再現シミュレーション解析や南海トラフ巨大地震(いわゆる二連動、三連動、四連動の地震)による強震動予測を実施し、工場建屋等における耐震性・事業継続性の検討や超高層建物における長周期地震動対策・耐震設計の検討に適用している(Fig. 5)。

4.2 建物の構造躯体

長周期地震動や直下型地震など従来の設計用地震動よりも大きなレベルの地震動を建物の耐震設計に取り入れ始めている。

長周期地震動による長時間の揺れに対しては一般に制振装置(ダンパー)が有効である。ブレーキダンパー(Photo 6)はステンレス板とブレーキ材の間に生じる摩擦力で建物の振動エネルギーを吸収する制振装置である。長時間の作動に対しても性能が安定しており、長周期地震動対策工法として優れている。大林組はブレーキダンパーそれ自体を改良するとともに、種々の機能を付加してきた。例えば、既存建物では既存骨組自体の強度によってダンパー補強量が制限されるケースがあるが、大変形時に摩擦力が減少する可変減衰力ブレーキダンパーを用いればその制限が緩和できる。また、ハイブリッドブレーキダンパーは風揺れから大地震まで幅広い揺れに対して優れた制振効



Photo 5 浸水した仙台平野の水田
Tsunami-Affected Paddy Field
in Sendai Plain

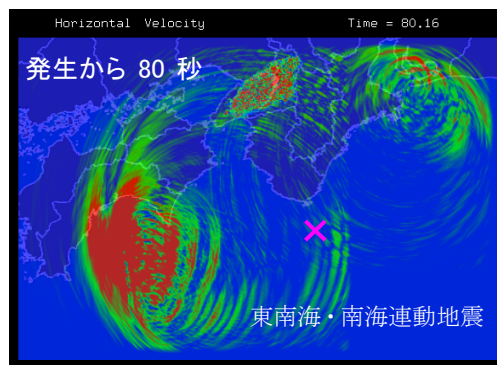


Fig. 5 地震動シミュレーション
Simulation of Earthquake Ground Motion



Photo 6 ブレーキダンパー
Brake Damper

果を発揮する。

超高層集合住宅向けに開発したDFS(デュアルフレーム・システム)は、一つの建物の中に二つの構造体(建物の中央に構築した硬い心棒と、その外周に配置した柔構造の建物)を造り、オイルダンパーで連結するシステムである。地震のエネルギーを効果的に吸収するため、長周期地震動による建物の揺れを半分にすることが可能である。

ラピュタ2Dは積層ゴムにより建物重量を支持し、アクチュエータ(加力装置)で建物自体をすばやく動かして地震の揺れを打ち消し、建物の揺れを在来の耐震構造に比べて1/100程度に低減する。地震エネルギーを遮断するため長周期地震動でも建物ほとんど動かず、損傷することがない。

超高層建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り、両者を包含する損傷評価技術に取り組んでいる。この結果を利用して高い強度と靱性を備える構造システムの開発を行っている。代表例は、鉄骨造の梁端部向けのウィングビーム工法(Fig. 6)であり、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。また、鉄筋コンクリート構造向けのLRV工法においても巨大地震に対して十分な性能を保有することを確認している。

中低層の既存鉄筋コンクリート建物では使いながらの耐震補強をしたい、というニーズが高い。そこで、建物を使いながら補強できる3Q-Wall工法(Photo 7)、3Q-Brace工法、および3Q-Column工法を開発した。また、炭素繊維を用いたCRS工法も、建物を使いながら補強可能な工法である。

4.3 建物の非構造部材・設備

大林組は外壁タイル張りの落下防止対策に積極的に取り組んでおり、接着力に依存するだけでなく、機械的な接合を複合させた外壁タイル剥落防止関連技術として、立体繊維材料張り工法(「ベースネット工法」,「ウェブフォーム工法」,「インターネット工法」)およびコーン状係止部材及び短繊維混入モルタルを併用したタイル張り工法(「ループボンド・タフバインダー工法」)を開発し、既に多くの建物に適用している。これらは、「建築工事監理指針」²⁴⁾で紹介されている。特に、インターネット工法(Photo 8)は最も剥落に対する安全性に優れ、既に多くの外壁改修工事で用いられている。また、集合住宅住戸内の内装壁については地震被害の調査事例も極めて少ないことから、実大内装壁の耐震実験により層間変形角と内装壁の損傷状態の関係を調査し、戸境壁について地震後の耐火性および遮音性の検証も実施した。

建築設備は現在では建築設備耐震指針²⁰⁾に基づき耐震設計されるが、地震時における建築設備の挙動に関しては十分に検討されていないのが現状である。そこで、設備配管の耐震性能評価法を開発し、配管と耐震支持材を含めたシステムとしての地震の揺れを予測可能とした。新築建物では耐震支持材の適切な種類や配置方法の決定に利用するとともに、既存建物では設備配管の耐震補強に活用し始めている。

天井に関してはその保有性能の評価手法に不明な点が多い。このうち、周期や減衰などの天井動特性は、天井への作用

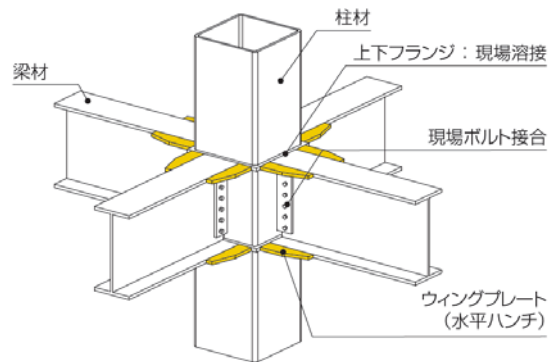


Fig. 6 ウィングビーム
Wing Beam



Photo 7 3Q ウォール
3Q-Wall

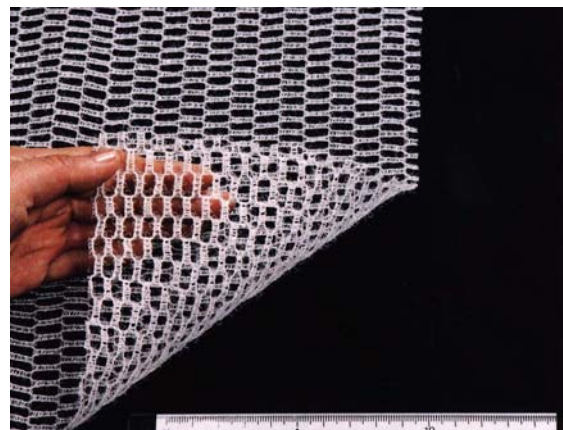


Photo 8 インターネット工法用繊維
Fabric for "Inter Net" Method

荷重にも強く影響する。特に、大規模天井で多用される防振仕様の天井の研究事例はほとんどない。そこで、この防振仕様の動特性を実験で確認し、その評価方法の検討を行っている。

4.4 橋脚等土木構造物

補強が困難な構造物への補強に関して多くの工法を開発している。アプローチが困難な山岳橋梁には、制震技術により振動を低減する「橋梁用ブレーキダンパー」が有効である。4.2 節で述べたブレーキダンパーを改良し、橋梁用に可動範囲を拡大したものである。橋脚等の基礎には、「シートパイル基礎」を用いることで、省スペースで安価に補強が可能である。地下カルバートのせん断補強工法「マルチプルナットバー」(Photo 9)は、カルバート内から施工可能であり、既存工法より安価かつ短工期であることが特長である。機械を持ち込むことが困難なエリアにおいては、建築でも用いられている「3Q-Column」を用いて人力のみで施工する。常温硬化型 UFC を用いた「スリムクリート耐震補強工法」(Fig. 7)は配筋を要せず、また地震により損傷した構造物の復旧に用いることも可能である。新設構造物に対しても、上記の「橋梁用ブレーキダンパー」や「シートパイル基礎」は適用可能であり、コスト低減と耐震性能の向上を両立できる。



Photo 9 マルチプルナットバー
Multiple Nut Bar

構造物の耐震性能評価においては、3次元振動台や構造実験施設を用いた実験と、コンクリート系構造の3次元非線形解析技術「FINAL」や地盤との連成解析が可能な大規模高速 FEM 解析ソフト「FINAL-GEO」(Fig. 8)などを用いた解析が2本柱となっている。

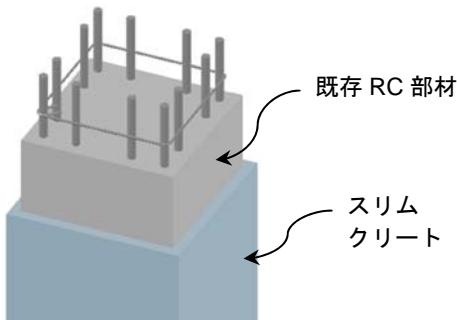


Fig. 7 スリムクリート耐震補強
Column Strengthening by SlimCrete

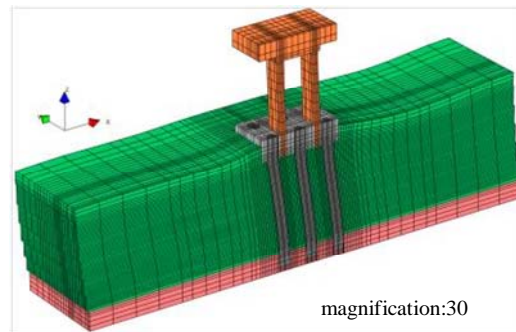


Fig. 8 大規模高速解析ソフト FINAL-GEO
Large-Scale High-Speed Analysis

4.5 液状化・斜面・岩盤

大林組は沿岸地域の生産施設等における液状化対応技術を開発してきた。まず、護岸等の大きな変状は液状化の影響によるものが大きい。工場など事業所全ての施設・設備を対象とした対策は莫大な費用を要する場合が多い。したがって、事業の継続や再開を念頭に、対象施設の絞り込みや順位付けによる重点化が推奨される。広域な地震被害を予測する「Quake Ranger」、複雑な条件下における液状化現象を再現できる「O-EFFECT」などのソフトウェアを開発・保有し、スクリーニングから詳細な耐震診断までが可能である。また、「O-EFFECT」では、耐震対策工法の性能評価および最適化が可能である。また、大型遠心載荷装置を用いて実験的に液状化を把握することも可能である。

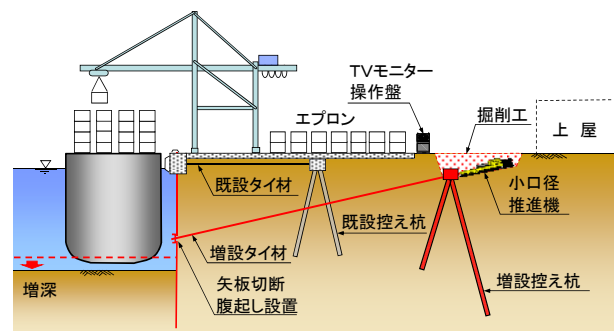


Fig. 9 2段タイ工法
Dual Anchored Sheet Pile Wall

「2段タイ材地下施工法」(Fig. 9)は、荷役機能を阻害することなく岸壁を補強する工法である。仙台港・雷神埠頭に適用されており、東日本大震災では無被害であった。「側方流動抑止杭工法」(Fig. 10)は、護岸背後の地盤に鋼管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り、既設構造物への影響が小さく、また経済性に優れる。「TOFT 工法」は地盤改良を格子状に行って地盤のせん断変形を拘束することにより地震時の液状化の発生を

抑制するものであり、液状化対策のみならず、護岸の補強工法としても合理的である。また、道路下の路床部にジオグリッド・軽量土・安定処理土を適切に設置して液状化時の変状を抑止することにより道路の機能を確保する「タフロード」や、軽量構造物の要求性能を合理的に確保可能な表層改良併用法などがある。これらはO-EFFECTおよび大型遠心載荷装置を用いて性能を検証している。

大林組は地山補強土工法における法面保護工の耐震性について知見を蓄積するとともに、多くの斜面の補強工法を開発してきた。例えば、「ハイスペックネイリング工法」(Fig. 11)は芯材(鉄筋など)に袋体を装着し、その袋体にグラウト材を加圧注入して引き抜き抵抗力の増加を図る工法である。「ピンナップ工法」(Fig. 12)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、石積み部分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。

岩盤構造物の代表例としてトンネルを取り上げてその補強工法を述べる。岩盤の直接復旧には、ひび割れへの注入、地山との一体化を目的にロックボルト工などの一般技術で対応するが、覆工の剥落防止に高じん性セメントボードをアンカーで止め樹脂モルタル等で充填する「スムーズボード工法」、断面欠損箇所をポリマーセメントと補強繊維の吹付コンクリートで元の断面に修復する「ジョックリット工法」などの大林組が開発した工法を用いる。

4.6 津波

想定した地震に対して津波による浸水深や流速などを数値解析により評価し(Fig. 13)、この結果を避難ルート・避難シミュレーション、重要施設の配置、防潮堤や止水板の設置などについての提案へ展開している。

ハード技術として、防波堤の開口部に設置し、常時は船舶の航行に影響を与えない「直立浮上式防波堤」(Fig. 14)を実用化した。また、原子力施設などに用いることのできる高さ10mクラスの防潮壁の検討を大林組の大型遠心載荷装置で実施した。さらに、提案として、①石炭灰や震災がれきなどの廃棄物を有効利用した防潮堤、②津波浸水による建築設備被害の対策、③津波避難施設としての地下壕、があり、実施を待っている。また、津波に対する現状の建物の弱点を把握するため「津波リスク評価システム」を開発し、津波対策の優先順位を提案している。

4.7 火災避難

防火戸、排煙設備、スプリンクラー設備などの防災設備は建築基準法や消防法に規定されているが、これらの多くは通常起こりえる火災に対して設けられたものであり、地震後の火災に対してどの程度有効であるかは明らかになっていない。大林組では、地震火災安全対策や地震時の対応マニュアルの策定に資することを目的とした、防火関連設備の作動信頼性を考慮した地震後の火災リスク定量化を行っている。また、大林組はマルチエージェント避難シミュレーションモデル(避難者ごとに歩行速度や行動特性等の個別のパラメータ値を与えることが可能)を用いて建物や街区を対象とした避難計画の検討を行っている。

4.8 間接被害と事業継続

大林組は直接被害だけでなく、間接被害も考慮して事業継続に資するデータを提供するシステムを開発してきた。「自然災害リスク簡易診断システム」では、地震や台風などに対する建物危険性・人的被害・営業停止・機能低下などを対象

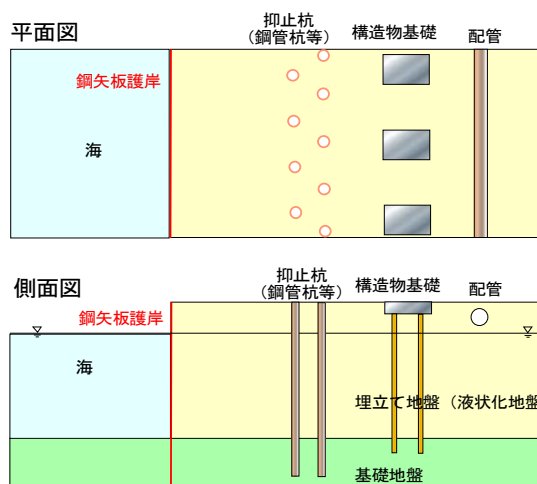


Fig. 10 抑止杭工法
Deterrent Pile Method

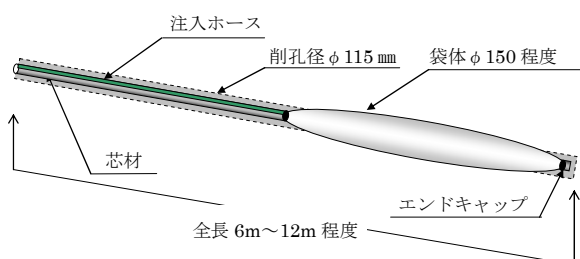


Fig. 11 ハイスペックネイリング
High-Spec Nailing

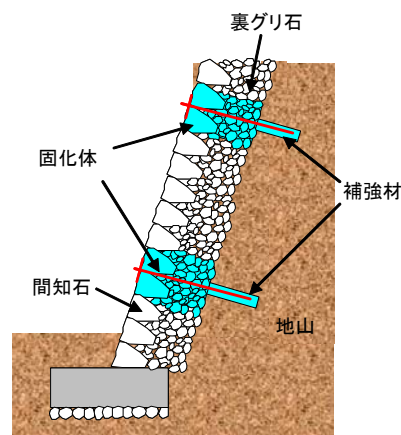


Fig. 12 ピンナップ工法
“Pin-Up” Method for Ashlars Masonry Walls

に簡単なヒアリング結果に基づき概略のリスクを評価し、前述の「津波リスク評価システム」と統合運用して詳細検討の要否を判定する。「建物の地震リスク評価システム」では、直接被害に加えて復旧期間中の事業停止に伴う間接被害を考慮して地震ライフサイクルコストを評価できるため、効果的な地震対策を検討できる。また、「ライフライン被害評価システム」ではネットワーク型ライフラインの地震被害と復旧期間を定量的に評価できる。

また、予測・評価技術、被害低減技術、早期復旧技術により地震リスクを適切に見極め、費用対効果が高く実効性のある地震対策を提案してBCPを総合的に支援している。例えば、「総合防災情報システム」では、地震による揺れ、地盤の液状化危険度および建物危険度を予測し、震災対策本部や復旧拠点スタッフの復旧活動に関わる迅速な意思決定を支援する。「BCP 対策選定支援システム」では個々の要素の特性を基に全体の復旧時間を定量的に予測するとともに、復旧時間短縮のために対策を行うべき箇所を提示する。さらに、地震を受けた建物からの退避の必要性の判断を支援し、早期復旧に貢献するため建物内にセンサーを設置して建物の損傷検出を行う「構造ヘルスマニタリングシステム」を開発した。

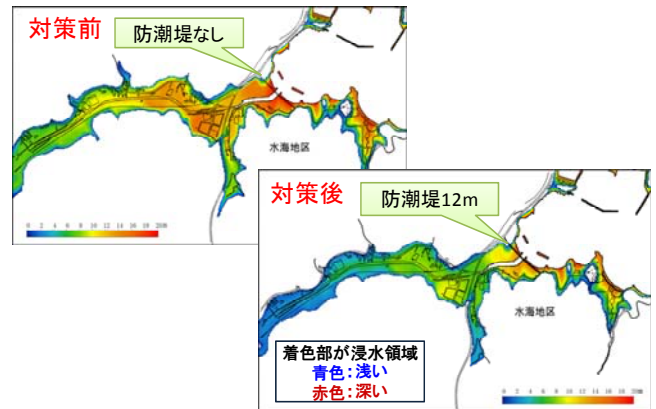


Fig. 13 津波シミュレーション
Simulation of Tsunami

4.9 被害からの復旧

大林組は震災がれきの高度な利用方法を開発している。例えば、震災がれきを選別した後の残さを粗骨材として用いたコンクリートブロックの開発を行っている。また、被災建物等の解体により発生するコンクリート塊から再生骨材を製造し、再生骨材コンクリートとして構造体コンクリートへ利用する技術も確立している。また、無人化施工技術として、実際に建設機械に搭乗している感覚で、がれきの処理などを遠隔操作できるシステムを開発している。このシステムは作業効率が高いことが特長である。

大林組は海面埋立地の「塩分を含む建設発生土」を除塩して緑地を造成する技術や、セメント成分を含む「高塩類濃度の発生土」を緑農地に使う土壌改良技術を開発してきた。さらに、湾岸戦争後のクウェート油田地帯で発生した「塩分を含む油汚染土の浄化」やサウジアラビアの「塩分を含む灌漑水を利用した緑化」、などプロジェクト対応の経験がある。これらを基に、塩害農地を簡易に除塩できる方法「木材チップ塩成土壌改良工法」を提案し、2012年4月から除塩の圃場試験を行っている。この工法は、雨水を活用して除塩が可能であり、農業施設の復旧をまたずに早期の復旧事業に利用できる。また、木材チップの原料は被災木材を利用するとともに作業にはトラクターなどの農業機械を利用できるため、廃棄物の削減が可能で経済性にも優れた対策である。

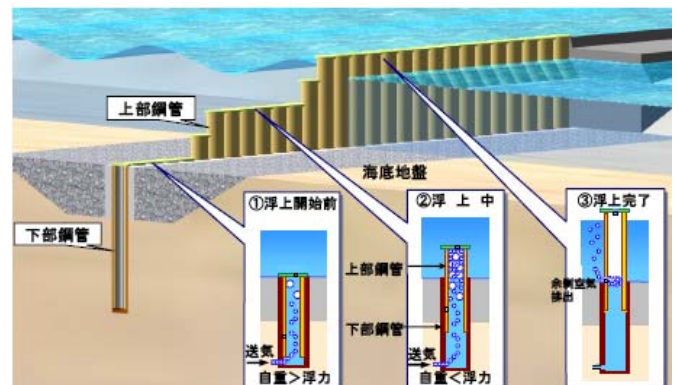


Fig. 14 直立浮上式防波堤
Vertically Telescopic Breakwater

除染作業の効率化に関連して、放射線量のモニタリング・見える化および帳票整理の重要性が指摘されており、大林組がこれまで取り組んできた建設工事のICT技術を活用し、効果的に改良して適用している。また、除染によって大量に発生する廃棄物の処理も課題であり、大きく減容化し、処分場を効率的に活用することが求められている。放射性物質が多量に吸着されている土粒子とそうでないものを分けて放射性物質を効率的に取り去る技術として、既往の分級洗浄技術を改良して適用している。

5. おわりに

今回の所報では「巨大地震」を特集のテーマとして、大林組の取り組みを紹介した。

日本は世界でも有数の地震大国であり、耐震工学の分野でも世界のトップクラスにあると考えられてきた。実際、数々の深刻な地震被害を乗り越え、過去の災害から得た教訓を対策として活かして、経済発展を成し遂げてきたと言える。しかしながら、大きな地震に遭遇するたびに我々が想定していなかった新たな問題が発生し、改めて自然の猛威と、建設分野において我々が学ぶべきことがまだまだ多いことを痛感させられる。

従来、建設における地震対策は「大地震時において建物を倒壊させず、人命を守る」ことに主眼がおかれてきた。こうした意味で構造躯体の耐震性に関しては一定の成果を上げてきた。一方、東日本大震災では、構造躯体の耐震性の確保はもとより、非構造部材の対策、津波や火災への対策、帰宅困難者対策、さらには地震後の事業・生活の継続の観点からの対策等の重要性が再認識された。建設に携わる技術者は地震対策に係る社会のニーズの多様化を十分認識するとともに、想定する地震のレベルと対策効果の範囲を明確にし、社会のコンセンサスを得る必要がある。

建設業においては、東日本大震災の復旧・復興が最優先の課題ではあるが、併せて将来予想される巨大地震への備えに対して総力を挙げて取り組むことが要求されている。大林組は巨大地震に対して防災・減災および復旧に係る技術開発を推進し、安全・安心な社会の実現に貢献していく。

参考文献

- 1) 気象庁：地震について、<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq7.html#9>, 2012.9.18
- 2) 地震調査推進本部：地震に関する評価 過去の長期評価結果一覧 2010年1月1日での算定,
http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran_past/ichiran20100112.pdf
- 3) 宍倉正展ほか：平安の人々が見た巨大津波を再現するー西暦869年貞観津波ー, AFERC ニュース, No.16/2010年8月号
- 4) 国土技術政策総合研究所, 建築研究所：2003年十勝沖地震における空港ターミナルビル等の天井の被害に関する現地調査報告, ビルディングレター, 日本建築センター, 2003.10
- 5) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデルの検討会 中間とりまとめ
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/chukan_matome.pdf, 2011.12.27
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震による最大クラスの津波高(分布地図)<満潮位>,
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/15/kisya_5.pdf, 2012.3.31
- 7) 東京大学地震研究所：首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書 2. II 首都圏周辺でのプレート構造調査, 震源断層モデル等の構築等, <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/shuto/report/soukatsu/1120327.pdf>
- 8) 多賀謙蔵ほか：上町断層帯地震に対する設計用地震動ならびに設計法に関する研究(その1)~(その10), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8.
- 9) ケンプラッツ：大林組が落札, 咲洲庁舎の長周期地震動対策工事(2012.5.02),
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/building/news/20120501/566809/>
- 10) 日本建築学会構造委員長周期建物地震対応小委員会：長周期地震動対策に関する公開研究会, 2012.3.16
- 11) 東京都：東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例,
<http://www.taishin.metro.tokyo.jp/learn/tokyo/05.html>
- 12) 国交省：「建築物における天井脱落対策試案」に関するご意見募集について,
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000332.html
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書平成24年度版(耐震設計編), 2012
- 14) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 3 土木構造物の被害 港湾海岸構造物 河川・砂防関係施設, 1998
- 15) 土木学会トンネル工学委員会新潟県中越地震特別小委員会報告書
- 16) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)津波断層モデル編, 2012.8.29
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/pdf/20120829_2nd_report01.pdf
- 17) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 報告要点
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/index_higashi.html
- 18) 国土交通省：津波浸水想定の設定の手引き ver1.20,
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/tsunami/shinsui_settei.pdf
- 19) 国土技術政策総合研究所：津波避難ビル等の構造上の要件の解説, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0673.htm>
- 20) 国土技術政策総合研究所, 建築研究所：建築設備耐震設計・施工指針 2005年版, 日本建築センター
- 21) 内閣府：首都直下地震に係る首都中枢機能確保検討会報告書, 2012.3
http://www.bousai.go.jp/3oukyutaisaku/syuto_chusu/report.pdf
- 22) 山下公園 - Wikipedia, <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B1%B1%E4%B8%8B%E5%85%AC%E5%9C%92>
- 23) 環境省：「除染特別地域における除染の方針(除染ロードマップ)」の公表について,
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14747>
- 24) 国土交通大臣官房官庁営繕部：建築工事監理指針 平成22年版

Table 1 巨大地震対応技術の一覧(1/2)
Technology List Against Mega Earthquake

適用分野	技術の名称	特徴／概要
予測	巨大地震の強震動評価	巨大地震の発生断層および非常に広域の地盤構造をモデル化し、各地の地震動を長周期成分から短周期成分まで精密に予測する。
予測	FINAL-GEO	RC 構造物と地盤の非線形連成挙動を高精度に解析するソフト。従来よりも広い範囲を取り扱え、しかも高速に解が得られる。
予測	0-EFFECT	液状化地盤を対象とし、液状化の程度や液状化が構造物に及ぼす影響を把握。対策の効果の評価にも活用している。
予測	長周期地震動に対する鉄骨梁の性能評価	鉄骨梁が多数回繰り返し変形を受けた場合に、溶接破断・局部座屈や耐力劣化が何回目で発生するかを算定できる
予測	長周期地震動に対する RC 梁の性能評価	RC 梁が多数回繰り返し変形や過大変形を受けた場合に、耐力劣化が生じるかどうかを評価
予測	防潮堤の効果を考慮した津波解析	防潮堤により津波浸水域が縮小するなどの効果を適切に評価し、津波対策に貢献する。
予測	QuickRanger	広域および地震被害を簡単な手法で評価。BCP に活用。
予測	自然災害リスク簡易診断	簡単な調査項目から建物の地震・台風などの自然災害リスクを評価し、詳細検討の必要性の有無を容易に判断できる。
予測	建物の津波リスク評価	簡単な調査項目から建物の津波リスクを評価し、詳細検討の必要性の有無を容易に判断できる。
予測	建物の地震リスク評価	直接被害、および復旧期間中の事業停止に伴う間接被害を考慮して地震ライフサイクルコストを評価。効果的な地震対策検討に貢献。
予測	建築設備の耐震性能評価	簡単な調査項目から建築設備の耐震性能評価を行う。必要に応じて詳細検討を行い、対策の効果を判断する。
予測	ライフライン被害評価	ライフラインの地震被害と復旧期間を定量的に評価。
予測	防振天井の動特性評価	地震時に落下した事例が多い大規模天井に多用される防振天井の動特性を適切に評価し、天井の最適耐震設計に利用する。
予測	法面保護工の評価	盛土補強工法における法面保護工が盛土の耐震性能に及ぼす影響を評価する。効果的な法面保護工の選定に活用
予測	地震後建物火災のリスク評価	地震による防火関連設備(スプリンクラーなど)の機能低下・停止を考慮して火災リスクを評価。防災マニュアルの策定に貢献可能。
予測	マルチエージェントモデルによる災害時シミュレーション	個々の人間などをモデル化し、全体として災害時にどのような行動をとるかシミュレーションする。火災における避難や災害時の広域参加が適切に行われるか、などの評価に利用する。
予測	BCP 対策選定支援システム	建物や諸施設の耐震性能・復旧性能を基に全体の復旧時間を定量的に評価。また、復旧時間短縮対策を行うべき箇所を提示。
対策	ウイングビーム	従来工法よりも多数回の繰り返し変形を受けても溶接部が破断しない。低コスト。
対策	ブレーキダンパー	摩擦力を利用した制振装置で、長周期地震動に対する耐久性を十分に持つ。低コストタイプ、風揺れ低減装置を組み込んだタイプ、既存建物補強に特化したタイプ、橋脚用に可動範囲を大幅に拡張したタイプなど、バリエーションも豊富。
対策	デュアルフレームシステム(DFS)	振動周期が異なる構造体を連結し、地震の揺れを大幅に低減する制振構造。集合住宅の例：外周部の居住部分と内部の駐車場塔を連結。
対策	ラピュタ 2D	地面と建物の揺れを監視し、建物を地面と反対に動かして地震力を消してしまう。究極の「揺れない建物」を実現する。

Table 1 巨大地震対応技術の一覧(2/2)
Technology List Against Mega Earthquake

適用分野	技術の名称	特徴/概要
対策 復旧	3Qシリーズ(3Qウォール, 3Qブレース, ほか)	既存 RC 建物を対象にした耐震補強技術。静かに早く施工でき、高性能である。壁を構築する 3Qウォール, ブレースを設置する 3Qブレース, などバリエーションが豊富。 ウォータージェットで既存コンクリート面の目荒らしを高品質で行い, あと施工アンカーを半減させる接合法も加わった。
対策	インターネット工法, ループボンドタフバイ ンダー工法, ほか	地震でも剥落しないようにした各種の外壁タイル張り工法。新築, 既存改修, など条件に応じて選択する。
対策 復旧	スリムクリートによる耐震補強	高靱性高強度モルタル「スリムクリート」で既存 RC 柱を巻き立て容易に耐震補強。被災柱を対象にした復旧工事にも適用可能。
対策	マルチプルナットバー	地下カルバートなど地中構造物の面外せん断補強工法。1 本当たりの強度を高めて, 施工効率を向上させ, コストダウン。
対策	シートパイル基礎	橋脚基礎・杭の周囲をシートパイルで囲むことによって耐力を増加させる。
対策	2 段タイ	地盤の液状化による側方流動による護岸の変状を低減する。既存施設と干渉することが少なく, 低コストで施工可能。
対策	抑止杭	液状化により護岸近傍の地盤が側方流動することを実用上問題のない程度までに低減。既存施設を避けて施工でき, 低コスト。
対策	T O F T	格子状に地盤改良することで液状化を防止する。全面的に改良するよりはコストダウンが可能。
対策	タフロード	道路を対象とした安価な液状化対策技術。液状化は許容するが, 顕著な地盤変状はさせない。
対策	表層地盤改良	軽量構造物の基礎を対象とした安価な液状化対策技術。表層のみの地盤改良であっても軽量構造物の液状化被害は軽微であることを利用。
対策	ハイスペックネイリング	盛土の補強工法としても利用可能。
対策	ピンナップ	石積壁の耐震補強工法。
対策 復旧	スムーズボード	トンネル覆工の剥落防止。高じん性セメントボードを覆工表面にアンカーにて設置し, 間隙に樹脂モルタル等を充填して一体化。
対策 復旧	ジョッククリート	コンクリートなどの欠損箇所の修復。ポリマーセメントと補強繊維を吹付ける。
対策	直立浮上式防波堤	常時は海底に格納しておき, 津波・高潮の際に浮上させて防波堤とする。簡単な機構で確実に浮上・格納が可能。
復旧 予測	総合防災情報システム	地震発生と同時に地震の揺れ・地盤の液状化・建物の被災度を推定し, 震災復旧本部の迅速な意思決定を支援する。
復旧	構造ヘルスマモニタリング	RC 建物の地震時の損傷を効率よくセンサーで捉える。地震後の建物外避難の要否判定, 損傷箇所と程度の推定, など早期復旧に寄与。
復旧	次世代無人化施工システム	3D 画像と体感型操縦を用いて, 従来の無人化施工システムより施工効率を 20%アップ
復旧	災害廃棄物を用いたブロック製品	災害廃棄物から骨材となりうるものを取り出し, コンクリートブロックとする。
復旧	解体コンクリート塊の構造材料への再利用	解体建物から発生するコンクリート塊から高品位の骨材を再生し, 構造材料として再利用する。
復旧	木材チップ塩成土壌改良	津波による塩害を受けた農地の除塩。木材チップを土壌に混ぜ込み, かき混ぜることで, 雨水による除塩と地力回復を促進。低コスト。
復旧	放射能汚染土壌の分級洗浄	特定範囲の径の土粒子に放射性物質が多く付着しているの, 粒径で土を分けて洗浄し, 管理すべき汚染土の減容化を図る。

※Table 1 の名称の青文字部分をクリックすると詳細情報がご覧いただけます。