

## JCI 東日本大震災に関する特別委員会からの第二次提言

### A 地震対策について

(既存コンクリート構造物について)

- (1) 耐震性能が不十分な既存コンクリート構造物に対しては、耐震補強の早急な実施を促す。

#### 【解説】

現行の耐震設計法で建造されたコンクリート構造物，ならびに耐震補強されたコンクリート構造物には被害がほとんどなく，免震構造の建築物にもほとんど被害はなかった。ただ，耐震性能が不十分なコンクリート構造物で耐震補強がなされていないものには，従来同様の被害が認められた。したがって，耐震性能が不十分なコンクリート構造物については，適切な耐震補強法を用いて早急に補強を行う必要がある。また，さらに有効で利用しやすい耐震補強技術の開発も望まれる。

(今後の課題について)

- (2) 新たに建造するコンクリート構造物については，設定レベルを超えた地震作用を受けても崩壊はせず，かつ迅速な復旧を可能とする耐震計画・耐震設計法を確立する。

#### 【解説】

鉄筋コンクリート造建築物では，柱やはりなどの構造部材には被害がほとんど見られなかったものの，間仕切り壁や腰壁・垂れ壁などの非構造部材が破壊して継続使用ができなかったものがあり，復旧に時間がかかったものもあった。コンクリート橋梁構造物などでは，本震にはかろうじて耐えたが，強い余震により大きな損傷を生じたものがあった。コンクリート構造物の構造計画および設計においては，設定したレベルを超える地震作用を受けても崩壊はせず復旧が迅速になされるよう，耐震性能の余裕度や非構造部材の挙動等に配慮する必要がある。

### B 津波対策について

(既存コンクリート構造物について)

- (1) 防波堤や防潮堤などのコンクリート構造物に対しては，中央防災会議等で示された方針に基づき，速やかな対策を講じる必要がある。

#### 【解説】

中央防災会議で示された2つのレベルの津波およびそれに対する考え方を要約すると，以下の

通りである。

レベル1津波：100年に1度程度発生する規模で、この津波に対しては、人命、財産、経済活動を守る。

レベル2津波：1000年に1度程度発生する規模で、この津波に対しては、人命を守り、経済的損失をできるだけ軽減する。また、大きな二次災害を引き起こさず、早期復旧を可能とする。

レベル1津波に対しては、防波堤や防潮堤はほとんど損傷せず、津波に乗り越えられることのないように計画・設計する。津波の陸地への遡上は、防潮堤等で防ぐことを原則とする。レベル2津波に対しては、津波の陸地への遡上をある程度許容せざるを得ない。その際、津波に襲われたとしても人命を守るという観点からは、防波堤や防潮堤など複数の構造物による多重防護というハード的な対策に加えて、避難施設・経路の整備や防災教育といったソフト的な対策を併用するリスクマネジメントに基づく防災対策が求められる。

防波堤や防潮堤などの既存コンクリート構造物においては、上記の考え方にに基づき、必要に応じて嵩上げや補強などの対策を講じて、耐津波性能を向上させる必要がある。その結果、津波が陸上に到達するまでの時間を遅らせ、人々が避難する時間的余裕を大きくできるとともに、遡上する津波の速さや高さを抑えて被害を抑制し、早期復旧を実現することが可能となる。

#### (今後の課題について)

(2) 津波避難施設の計画においては、耐津波性能の高いコンクリート構造物の積極的な活用を促す。

#### 【解説】

鉄筋コンクリート造建築物は、一般に津波に対する設計を行っていなかった。しかしながら、浸水深が比較的深い地域でも、木造や鉄骨造など他の構造の建築物と異なり、甚大な被害を免れた鉄筋コンクリート造建築物は数多く見られた。海岸地域においては、高台移転や避難施設の配置など都市計画的な観点も取り入れた津波防災対策が検討されているが、耐津波性能の高い鉄筋コンクリート造建築物を積極的に活用していくことが求められる。そのためには、津波荷重や津波による建築物の破壊メカニズムのより詳細な解明を行うとともに、継続使用・早期復旧など様々な要求性能に対応する設計法の開発が求められる。

(3) 港湾・漁港・海岸構造物においては、津波の引き波による水圧や越流、地震による液状化との複合作用を考慮して、粘り強い構造物とする設計法の確立を目指す。

#### 【解説】

港湾・漁港・海岸構造物は、地震と津波による作用に対して設計されている。東日本大震災では、地震作用に対しては十分な抵抗性を示したが、津波の引き波や越流による作用、地震による液状化と津波との複合作用等により被災した構造物が見られた。今後の港湾・漁港・海岸構造物の設計においては、これらの影響を適切に考慮し、津波による洗堀を防止するとともに、構造物としても粘り強い構造とし、容易には転倒・倒壊しないものとする必要がある。このような粘り

強い構造を実現するためには、①作用する外力と構造物の移動・沈下に関する評価、②巨大な津波の長時間作用の下でのコンクリート構造物の安全性に関する評価、③地震と津波による複合作用下でのコンクリート構造物の耐荷・変形メカニズムの解明、などの技術開発が求められる。

## C 材料生産・施工上の対策について

### (被災時の避難活動について)

- (1) 建設工事現場における仮設の安全性は恒久時よりも低いことを認識し、大地震時には人命保護を第一とする避難・誘導を行うとともに、工事再開は安全性を十分に確認した後とすることが肝要である。

### 【解説】

東日本大震災では、避難を優先して人的被害を最小限にとどめた企業があった。業務中の避難には、現場責任者の率先した声掛けと行動が有効であり、日常の訓練が効果を高めたことが確認された。なお、建設工事現場における避難マニュアルは、完備されているとは言い難い。工事現場の避難マニュアルを整備し、日頃より教育・訓練を行うべきである。

建設工事中の仮設内の作業環境は、工事完成後の環境と比べ安全性に劣る場合が多い。また、コンクリートの打込み工事は時間の制約があり、避難を優先することでコンクリートの凝結・硬化などによる機器・機械などの物的被害が増大する場合もある。しかし、人命保護に基づく十分な安全確認を行うことが最優先である。仮設部材の倒壊などにより第三者に影響を与えない配慮を行うと同時に、安全を確保した上で工事再開を行うことが重要である。また、港湾・海岸工事などでは、津波が複数回押し寄せることを想定し、安易な現場確認は避けなければならない。

### (生産活動について)

- (2) 平常時の法律・法令が復旧・復興の障害とならないように、緊急時対応の法的な緩和措置などをあらかじめ定めておくことが望まれる。また、生産者は、JIS 認証事業などの継続・再建に必要な各種情報について、当該地域外にもバックアップを取っておくことが推奨される。

### 【解説】

レディーミクストコンクリートの生産施設では、津波被害で制御室の復旧に3か月を要しただけでなく、生産情報の流出によりJISの再認証などに遅れが生じた。津波被害からの防御のための制御施設の移動だけでなく、生産情報の保管方法などの検討も必要であることが教訓として得られた。生産活動を早期に復旧させるためには、緊急時の法的緩和措置をあらかじめ定めておくことが必要である。

東日本大震災では、建設資材の生産施設が被災により停止を余儀なくされ、復旧に時間を要した。さらに、通常時に比べて品質や性能が低下したものも少なくなかった。しかし、東日本大震災後の復旧・復興時においては、膨大な量の建設資材が必要となり、通常以上の資材・機材が必要とされた。これらの資材・機材については、平常時とは異なる緊急時対応としての品質・性能・

用途などの技術的検討が不可避である。また、被災地に生産拠点がある材料を用いて許認可を得た被災地以外の建設工事においても、材料の供給不足により、工事に影響を与えた事例が少なからずあった。許認可の取得方法の問題でもあるが、東日本大震災のような甚大な被害を受けた場合には、被災地以外でも特別な措置を講じることができるように、基・規準類の整備が必要である。

## D 福島第一原子力発電所の事故に関わる今後の対策について

### (構造物の残存性能評価)

(1) 外力の推定、遠隔的な調査・測定手法などにより、事故時の爆風荷重・海水・高温の影響を受けた鉄筋コンクリート部材の残存性能を評価する。

#### 【解説】

原子炉建屋は水素爆発による損傷を受けた。また、原子炉圧力容器底部から約2000℃に達する熔融核燃料が原子炉圧力容器を支える部材（以下、ペDESTAL）の底盤（非構造部材）のコンクリート面に落下し、この周辺の鉄筋コンクリート部材、ならびに鋼製格納容器が極めて高温に加熱されたと考えられる。したがって、このことが鉄筋コンクリート部材の強度低下に及ぼした影響を推定する必要がある。また、通常運転時において、ペDESTALや遮蔽壁等は、高温環境下、ならびに放射線の照射環境下に長期間曝されている。それらの影響はまだ十分明らかになっていないが、長期間の中性子照射により、骨材の種類によってはその体積膨張が生じることが海外の文献により指摘されている。今回の事故時の加熱や海水注入が、それまでに熱や放射線の作用を長時間受けたコンクリートに及ぼす影響を推定する必要がある。

以上の鉄筋コンクリート部材の残存性能評価のためには、外力、ならびに環境条件の推定とともに、現状の損傷程度の評価が不可欠である。この評価のために適用可能な非破壊・微破壊・破壊試験方法を検討し、コンクリートの表面ひび割れ・欠損・強度低下・鉄筋腐食等の調査を早急、かつ継続的に実施する必要がある。人が容易に近づけない状況においては、ロボット等を用いた遠隔操作によるビデオ撮影や非・微破壊的な調査手法を確立する。このような調査によって得られた情報に基づいて、コンクリートや鉄筋、さらには鉄筋コンクリート部材としての残存性能を評価することが必要である。

### (構造物の将来における残存性能の推定)

(2) 廃炉までの期間、温度・湿度・放射線・塩化物等の影響を受けるコンクリートや鉄筋、さらには鉄筋コンクリート部材の長期にわたる残存性能の変化を推定するとともに、必要に応じて構造体の補修・補強方法を検討し、提案する。

#### 【解説】

水素爆発や熱的作用による損傷を受けた鉄筋コンクリート部材は、将来の廃炉に至るまでの相当期間、温湿度や放射線などの作用を受け続けながら建屋そのもの、ならびに原子炉圧力容器を

支持し続けなければならない。そのためには、損傷を受けた鉄筋コンクリート部材の変形特性や強度低下などの長期にわたる残存性能の変化に関する知見を集積しなければならない。特に、原子炉の冷却のために海水が注入され、その後40℃前後の環境下において継続的な水の注入が行われたことにより、コンクリート中の鉄筋の腐食が促進される可能性がある。このような状況における鉄筋コンクリート部材に対し、想定される外力や環境条件などを整理し、関連するコンクリートや鉄筋の耐久性に関する知見を踏まえて劣化度の予測手法を提案し、コンクリートや鉄筋さらには鉄筋コンクリート部材の長期にわたる残存性能の変化を推定する必要がある。

#### (放射性物質の漏洩防止)

- (3) 鉄筋コンクリート部材、ならびに機器・配管系の損傷を考慮し、原子力発電所建屋からの放射性物質の拡散防止方法を確立する。

#### 【解説】

継続的に冷却水が注入されている現在、汚染水の一部の外部への漏洩が懸念されており、放射性物質の汚染拡大防止が必要とされている。たとえば、建屋内への地下水流入出の防止方法、原子炉循環注水ラインの小ループ化のための原子炉格納容器周りの止水方法、さらには遮蔽性能の高い地中連壁等の構築による汚染水の周辺土壌中への拡散防止方法などの確立が必要と考えられる。さらに、構造物の損傷の定量化を踏まえ、放射性物質の漏洩を防止するためのコンクリート技術、たとえば高流動コンクリートや水中不分離性コンクリート等による損傷部の遠隔充填技術などの具体的な手法を早急に整備する必要がある。

一方、今後の地震発生により原子炉压力容器や配管系などが破損することで放射性物質がさらに拡散することも避けなければならない。そのためには、損傷・劣化した鉄筋コンクリート部材が機器ならびに配管系の耐震安全性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。建屋の変形と機器の損傷は、構造と設備の境界問題でもある。現在の原子力施設の機器、ならびに配管系に及ぼす支持部材の影響を明らかにし、特に損傷危険度の高い部位を推定するとともに支持部材の残存性能の評価、ならびに必要なならばその補強方法を検討する必要がある。さらに将来的には、地盤・構造体・機器の3つの部分で構成される全体系の応答を算定して、原子力施設がシステムとして頑健であることを確認する技術を、関連分野と連携・協力して構築することが必要である。

## E 復旧・復興に向けて

#### (がれきの処理と利用)

- (1) 地震や津波によって発生したがれきの処理と利用を効果的に行うための基準化、がれきを処理せずにそのまま利用するための技術的判断基準の確立、ならびにがれきに内在する成分の影響を勘案した利用等に役立てるために、現行技術の集積と活用、ならびに新たな技術の開発を促進する。

#### 【解説】

地震や津波により発生したがれきには、コンクリートがらの他、様々なものが含まれている。がれき処理を効率的に行う上で分別が容易なものと困難なものがあるが、その他に考慮すべきものとして津波による塩化物や重金属の溶出、ならびに汚染が危惧されるものもある。問題のレベルに応じた対応をしなければならないことは勿論であるが、これらのがれきの中、特にコンクリートがらは被災地の復旧のための貴重な資源でもある。これらの材料を用途に応じて適材適所で使用できるように、処理と利用を効果的に行うための区分化や基準化、内在する成分の影響を勘案した活用技術の開発と利用方法の整備が必要である。なお、災害ごとに特別な基準を新たに定めなくてもよいように、災害復旧用の基準をあらかじめ定めておき、復旧段階ではそれを運用し、復興段階では平常時の基準に速やかに移行できるような基準の整備が必要である。

#### (放射能汚染への対応)

- (2) 原子力発電所施設から周囲環境に放出された放射性物質の再拡散防止、ならびに放射性物質によって汚染されたコンクリートの除染や廃棄物の処理・処分に、コンクリート工学分野の技術を積極的に活用できるように、有効な技術情報の提供を行う。

#### 【解説】

事故により放出された放射性物質の環境中への再拡散防止のために、水との接触を低減して溶出を抑制したり、飛散を防止するためにはセメント固化（固形化、不溶化）が有効な技術の一つである。

放射性物質によって汚染された原子力発電所施設外のコンクリート構造物の除染とともに、高線量の放射線で汚染された施設内の大量のコンクリートの合理的な除染が不可欠である。浸透した放射性物質の分布状況と空間線量率の関係に加え、放射性物質の可溶性成分の存在割合などの把握が重要である。

放射能汚染物質の中間貯蔵や最終処分において、汚染レベルによっては、コンクリートの活用が求められる。コンクリートに求められる要求性能を明確にするとともに、経済的に合理的な範囲内で関連技術を活用し、良質なコンクリート構造物を構築すべきである。

#### (放射能汚染レベルが十分に低い資材の活用)

- (3) コンクリートの安全性を確保した上で、放射能汚染レベルが十分に低い建設資材の活用を検討するための技術的知見を整備する。

#### 【解説】

まず第一に、放射能汚染の有無を適切に評価し、安全で安心なコンクリートの供給を確実に行う必要がある。その上で、放射能汚染レベルが十分に低いコンクリート用材料については、リスクと便益のバランスを考えた上で、用途を限定した再利用の可能性を検討すべきである。環境評価技術の確立とともに、流通・供用・廃棄におけるトレーサビリティの確保や管理システムの構築、および情報開示体制の整備が不可欠である。

## F 提言の実現と他学協会等との連携・協力について

関連学協会や関係機関などとの連携・協力を引き続き図りながら、提言の実現に取り組む。

### 【解説】

ここに示した第二次提言の内容はコンクリート工学の面からのものではあるが、解決すべき問題の範囲は広く、ここに掲げた提言の多くは日本コンクリート工学会のみで単独に実現できるものではないと認識している。したがって、今後も引き続いて関連する学会や協会、ならびに関係諸機関などとの連携・協力体制の下に提言の実現に取り組む必要がある。