

地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために

—地盤工学からの提言—

この提言は、地震と豪雨・洪水による地盤災害¹⁾を防ぐために、社会基盤施設²⁾と住宅・建物、及び社会に関係がある自然斜面・地盤の地震と豪雨・洪水に対する耐力（すなわち、耐災性）を向上させ、安心・安全な社会を構築するための地盤工学からの提言であり、2007年度会長特別委員会にて取りまとめたものである。

注 1) 地震と豪雨・洪水による地盤災害：地盤構造物と社会に関係した自然斜面・地盤等の被害とそれによる社会基盤施設と住宅・建物の地震と豪雨・洪水による以下のような被害。

(a) 地震と豪雨・洪水による被害

- ・土構造物³⁾と地中構造物・基礎構造物（合わせて地盤構造物⁴⁾）の過大な変形・変位と崩壊や自然斜面・地盤の側方流動・沈下・すべり破壊等
- ・社会に関係した急傾斜地の崩落、落石、山崩れ、岩盤崩落などの崖崩れ、自然斜面の地すべり等とそれらに伴う土石流などの土砂災害
- ・以上に伴う社会基盤施設と住宅・建物の被害

(b) 河川内の橋梁基礎や河川護岸構造物等の洪水による河床洗掘による過大な変位、崩壊、

(c) 地震による地盤の液状化等による地盤の支持力喪失・側方流動・沈下等とそれに伴う上下水道・電気・ガス・電信電話などのライフライン、水路・パイプライン、地中構造物・基礎構造物、上部構造物である社会基盤施設や住宅・建物の被害

注 2) 社会基盤施設：道路・鉄道・港湾・空港等の交通施設、宅地・建築物、海岸・河川堤防・ダム・ため池、水路等の治水・利水施設、電力施設・通信施設・都市ガス・上下水道などのライフライン、石油タンク等のエネルギー施設・産業用パイプライン、生活・産業廃棄物処理、農業用パイプライン等のいわゆる社会の基盤をなす施設（インフラストラクチャー，infra-structure）

注 3) 土構造物：道路・鉄道・宅地などの盛土・擁壁や切土斜面、埋立地等の人工地盤、河川堤防・ため池・フィルダムなど土を用いて建設した構造物や、自然斜面・地盤を掘削し安定化した構造物

注 4) 地盤構造物：土構造物、および地下室・地下埋設パイプライン・上下水道等の地中構造物や橋梁や建築物等の基礎構造物

1. 全体に共通の提言

提言 1.1（地盤災害の重要性の認識）

自然現象である地震と豪雨を誘因とする地盤災害は古来から多数あったが、地盤災害が社会に与える影響は近年ますます重要になっている。この事実は、地盤工学の専門家とともに社会全体が認識する必要がある、地盤工学の専門家とその全国組織である地盤工学会はそのために努力する必要がある。

災害が生じる地震が発生する場所・時・規模を正確に予測することは、現在でもできない。仮に予測できても、構造物の被害は完全に免れることはできない。また、従来ほとんど経験していない時間雨量 50 mm を超えるような集中豪雨が頻繁に発生してきている地域が増えているが、このような局地豪雨の正確な予測は困難である。

日本には、軟弱粘性土・緩い砂層などからなる厚い沖積地盤が広く存在する一方、国土の大部分を山地と丘陵が占め、非常に多くの活断層と火山が存在してシラス地盤や火山灰土壌などの火山性堆積物地盤が多い一方、隆起後風化が進んだ堆積軟岩地盤のように脆弱で不安定な自然斜面、急傾斜地・崖地・地すべり地帯の数も膨大である。このため、地震や豪雨に対して不安定であり、液状化現象が生じやすい地盤、土石流・山崩れ・岩盤崩落・崖崩れなどの土砂災害が発生しやすい箇所が極めて多い。さらに、多くの都市の沖積粘性土地盤ではこれまでに著しい地盤沈下が生じている。また、今後も地球温暖化が継続し、恒常的な海面の上昇と集中豪雨の頻発や巨大台風による高潮の危険性の増大が懸念されている。したがって、これらの要因が複合した地盤災害が生じる可能性が高まってきた（例：東京・名古屋などの人口密度が高いゼロメートル地帯での地震時による堤防沈下とそれに伴う浸水被害）。

一方、社会の発展とともに、道路・鉄道・港湾・宅地等の盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、海岸・湖岸等に沿った埋立地、河川・海岸堤防等の治水・利水のための土構造物や地中構造物等に加えて地盤と基礎構造物に支持された社会基盤施設が整備されてきた。したがって、既設の社会基盤施設と住宅・建物が地震と豪雨を誘因とする地盤災害を受ける可能性が、必然的に増えてきた。また、従来は利用していなかった低平地、急斜面の前面などもより広く利用されるようになってきた。

また、私たちの個人・社会生活と生産活動がこのような社会基盤施設と住宅・建物へ依存する度合いはますます高まってきた。このため、これら社会基盤施設と住宅・建物が被災した場合に社会が受ける影響は極めて大きくなってきた。特に、人口と資本が集中した大都市では、地盤災害による被害が甚大になる場合があると予想される。それにも拘わらず、これらの社会基盤施設と住宅・建物は地盤災害に対して常に万全であると思いきまればちである。

同時に、住宅などの建物の耐震化など防災レベルに対する社会的要求は高まってきた。地震による地盤災害が社会に与える影響とその防止の重要性の社会的認識も、1995 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震などを経て強くなってきている。また、2004 年の台風 23 号の他多数の台風により、全国各地では豪雨による自然斜面や切土・盛土ののり面の崩壊等とそれを原因とする土石

流などの災害と洪水による河川堤防やため池の破堤等を原因とする地盤災害が近年多発しており、これらに適切に対処することも強く要求されてきている。しかしながら、地震や豪雨・洪水による地盤災害の重要性に対する社会の広い認識はまだ不十分である。

また、道路や鉄道などの線状構造物は、鉄筋コンクリート・鋼構造物、トンネルと土構造物、基礎地盤などから構成されている。一般に土構造物は、盛土材が容易に入手できれば経済的な構造物であり、斜面の切土・盛土間の土量バランスやトンネルズリを用いた坑口の盛土の例のように、盛土の建設により無駄な長距離運搬や谷埋め処理などが不要になり環境問題にも対応できる。さらに、盛土内から長期に亘る細粒分の洗い出しがなく、また風化しやすい堆積軟岩の塊を盛土材として用いなければ、建設後時間とともに安定化してゆき、耐用年数は鋼・RC 構造物よりも長い。これらの利点があるが、土構造物の地震や豪雨・洪水による地盤災害に対する耐力（すなわち、地震や豪雨・洪水に対する耐災性）は相対的に低い。また、水路・パイプライン・送電線、電信電話・ガス・下水道等のライフラインの線状構造物も、その一部が地震時に基礎地盤の液状化とそれに伴う側方流動・沈下などや斜面のすべりや地震と豪雨・洪水による斜面のすべり等の影響を受けるなどして破壊・破損すると、システムとしての機能を喪失する。これらの線状構造物がシステムとしての機能を保持するためには、これらの異なる構造物の耐災レベルをできるだけ揃える必要がある。このためには、特に土構造物と社会に関係する自然斜面・地盤の耐災性を高める必要がある。

一方、地盤災害を防ぎ減じるための学問・技術も発展してきた。したがって、地盤工学の専門家とともに、社会全体が地盤災害の重要性を適切に認識すれば、それに対処することが可能になってきた。

以上のことから、地震と豪雨・洪水による土構造物や社会に関係した自然斜面・地盤の崩壊による地盤被害とそれに伴う社会が受ける被害に対して、地盤工学の専門家とその全国的な組織である地盤工学会は、次の方策の実現のために努力する必要がある。

- ・既存の旧技術によって建設され維持・管理されてきた社会基盤施設、住宅・建物、および社会に関係する自然斜面・地盤の地盤災害に対する耐災診断と耐災補強
- ・地盤災害後の本格復旧における構造的に強化した本格復旧
- ・地震と豪雨・洪水による地盤災害に対する総合的対策
- ・異なった管理機関の間の地盤災害対策の調整と整合
- ・地盤災害対策のための地盤工学の発展
- ・防災的な措置とともに減災的な地盤災害対策
- ・地盤防災のための異なる学問・技術分野の協働
- ・社会に地盤災害の重要性を広く認識してもらい、それを防ぐための地盤技術を広める社会的な広報・教育活動

提言 1.2（既存の社会基盤施設、住宅・建物および自然斜面・地盤の地盤災害に対する耐災診断と耐災補強）

既存の様々な旧技術で建設され維持管理されてきた社会基盤施設、住宅・建物および社会に係る自然斜面・地盤の地盤災害に対する耐災診断と耐災補強を、必要に応じて実施すべきである。また、その実施が容易になる条件をできるだけ整えるべきである。

道路・鉄道・港湾・空港等の交通施設、宅地・建築物、海岸・河川堤防・ダム・ため池、水路等の治水・利水施設、電力施設・通信施設・都市ガス・上下水道などのライフライン、石油タンク等のエネルギー施設・産業用パイプライン、生活・産業廃棄物処理、農業用パイプライン等の社会基盤施設、住宅・建物および自然斜面・地盤は、古くからその時々々の社会の必要に応じて、その時々々の社会の経済的・技術的能力に応じて建設され利用されてきた。その大多数は、盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物および地中構造物や基礎構造物（すなわち地盤構造物）で構成されていたり、支持されている。

これらの社会基盤施設、住宅・建物、および社会生活に係る自然斜面・地盤は、一般に建設されると長期に亘って利用される。このため、建設後や利用開始後に他地区での被災から新たに教訓を得たり、時代とともに社会生活レベルが向上することにより、これらの社会基盤施設と住宅・建物と生活空間の拡大に伴って身近になってきた自然斜面・地盤に対して社会が要求する安全性のレベルが高くなってきた（例、既存の宅地造成盛土）。

同時に、新設の社会基盤施設と住宅・建物の設計、建設、維持管理とともに、既設の地盤構造物と自然斜面・地盤の耐災性の評価（耐災診断）と高耐災化のための補強（耐災補強）の技術は、調査・施工の効率化、高機能・高性能化、低コスト化等が進み着実に向上してきた。

以上の結果、多くの既存の旧技術で建設され維持・管理されてきた社会基盤施設と住宅・建物は、今日の技術と社会の要求レベルから見て地盤災害に対する安全性は不十分となっている。また、社会生活に係る多くの既存の自然斜面・地盤の安全性についても同様である。したがって、その耐災診断と耐災補強は必要に応じて実施する必要がある、技術的にも従来よりは可能になってきた。

上記の実現のためには、後に提言 1.6 で示す技術的な目標に対して地盤工学の研究者・技術者などの専門家が技術的な努力すると同時に、後に提言 1.9 で示すように地盤災害を取り巻く条件と環境が変化してきた状況を社会的に広く認識してもらう努力が必要である。また、行政機関等の社会基盤施設管理機関が適切に対処するとともに、社会全体がこの事実を広く認識し必要な協力と費用負担をする必要がある。

さらに、個人所有の住宅の造成地等の耐震診断と耐震補強を促進するためには、地盤技術の専門家による新しい合理的な工法の適用などの技術支援や行政機関による財政的支援などの行政的配慮も必要である。

提言 1.3（地盤災害を受けた土構造物の本格復旧における強化復旧）

地震や豪雨・洪水等で被災して機能を失った土構造物は、できるだけ早急な機能の復旧とともに、必要に応じて構造的に強化して本格復旧することに努める必要がある。

地震や豪雨・洪水等による被害を受けた道路・鉄道・港湾・宅地等の盛土・擁壁・切土斜面等の土構

造物、河川堤防・ため池・フィルダム等の治水・利水施設の土構造物の機能は、緊急性が高い場合は最優先にしてその機能を回復する必要がある。一方、このような被災を受けた土構造物は今日の技術的レベルと社会的な重要性から見ると構造的に耐災性が低い場合が多い。また、近年補強土工法などより合理的な構造形式や地盤改良工法などの新しい地盤技術が開発されてきている。さらに、地震と豪雨・洪水に対する耐力（すなわち耐災性）など、社会的に要求される性能レベルも一般的に向上してきている。事実、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震等で崩壊した多くの盛土と擁壁は、本格復旧する際、構造的に原状に復旧するのではなく、適切な排水処理と十分な締固めを行い、補強土工法・地盤改良工法等の最新の構造形式を採用して、原状よりも構造的に強化して復旧（すなわち強化復旧）している。場合によっては、原状の緩勾配のり面をもつ従来形式の盛土よりも土工量が減り建設期間が短縮でき経済的であるという理由でも、急勾配の補強のり面や補強土擁壁が採用されている。

以上のことから、重要度が高かったり、崩壊により他施設に甚大な影響を与える盛土・擁壁などの土構造物及び自然斜面や、高盛土・フィルダムなど復旧が困難な土構造物は、本格復旧する際には、選択的に、効率的で経済的な工法を採用するなどして構造的に強化して復旧に務める必要がある。

また、民間事業者が管理する鉄道・道路等の社会基盤施設の必要な耐災診断と耐災補強が促進できるように、強化復旧による固定資産増がないようにしたり、強化復旧しても災害補助金が適用できるようにするなどの行政上の配慮も必要と思われる。さらに、個人所有の住宅の造成地等の被災後の本格復旧の際には、地盤技術の専門家による新しい合理的な工法の適用などの強化復旧の技術支援が必要であり、それが実現できるような行政機関による財政的支援などの行政的配慮が望まれる。

提言 1.4（地震と豪雨・洪水による地盤災害に対する総合的対策）

地震と豪雨・洪水による地盤災害に効果的に対処するためには、地震と豪雨・洪水のそれぞれを対象にした対策だけではなく、できるだけ両者を総合的に考慮した対策が必要である。

従来、自然斜面と河川堤防では豪雨・洪水対策を主に行ってきたが、地震対策を十分に行う余裕がなかった。しかし、盛土・擁壁等の土構造物や自然斜面は、一般に地震と豪雨・洪水による被害を受ける可能性がある。さらに、地震対策が豪雨・洪水対策にも有効で、豪雨・洪水対策が地震対策にも有効な場合が多い（例、盛土工における締固めや排水工）。従って、意識的に、地震と豪雨・洪水の両者による地盤災害に対して総合的に対処することに努める必要がある。

また、地震による地すべり・斜面崩壊の誘発⇒自然ダムによる河道閉塞⇒自然ダムの崩壊による洪水、地震による河川堤防の沈下⇒その後の降雨による洪水、地震による斜面の亀裂損傷による不安定化と⇒その後の風化の進展・降雨による崩壊、豪雨による盛土・自然斜面の不安定化⇒その後の地震による崩壊など、地震と豪雨・洪水等による災害は連鎖する場合が多い。

以上のことから、地震と豪雨・洪水の両者に対して効果的な設計法と構造形式を研究開発し、実際に採用する必要がある。また、両者による地盤災害の対策を総合的に考慮して設計・施工・管理すれば、費用に対する効果（費用対効果）が大きくなることから、その対策工法が採用しやすくなる。

この方針は、新設構造物に対して適用するだけでなく、既設構造物に対しても適用し地震と豪雨・洪水の両者に対して耐災診断・耐災補強をすることに努める必要がある。

提言 1.5（異なった管理機関の間の地盤災害対策の調整と整合）

地盤災害の社会に対する影響を総体として減少させるためには、それぞれの社会基盤施設に関係する異なる管理機関の調査・設計・施工・維持管理・復旧等の耐災・減災対策を調整し、長期的に見て整合させる方向に向かう必要がある。

社会基盤施設として単一のものでありながら、複数の機能を要求される場合が近年増えている（例、道路盛土の道路としての機能と、盛土内部に設置された電信電話・ガス・上水道等の施設のライフラインとしての機能）。

しかし、異なる管理機関の間で、地盤災害に対する要求性能、維持管理、設計基準、復旧方針等に関する基本方針が異なっているため、それぞれの施設に期待される複数の機能が必ずしも確保できない場合がある。

これらの場合、異なる施設管理者の間での耐災・減災対策の調整とできるだけの整合が必要であり、そのための体制作りが必要である。

提言 1.6（地盤災害対策のための地盤工学の発展）

地盤災害を防ぎ減少させるために、地盤工学における調査・設計・施工および維持管理等の様々な分野で、技術レベルを向上させる必要がある。

盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、河川堤防・ため池・フィルダム等の治水・利水施設の土構造物、地中構造物、社会基盤施設と住宅・建物の支持地盤と基礎構造物や社会に関係した自然斜面・地盤の耐災化のためには、

- ・地盤災害の実態とその社会的影響度の正確な評価、
- ・対象とする地盤災害のメカニズムの正確な理解、
- ・防災・減災・維持管理・保全の対策を将来に亘って適切に推進するための技術的課題の整理、
- ・必要な技術的開発とその適用

が必要である。地盤工学の専門家と地盤工学会は、上記の項目の発展に貢献する必要がある。

とくに、近年 1995 年兵庫県南部地震をはじめとして被害地震が頻発していることから、鉄筋コンクリート・鋼構造物等の社会基盤施設と住宅・建物の上部構造物と同様に、盛土・擁壁等の土構造物・地中構造物と上部構造の支持地盤と基礎構造物の耐震設計においても、必要度と重要度に応じてレベルⅡ*設計地震動を考慮する必要がある。費用便益比などから見てレベルⅡ設計地震動を考慮できない場合もあるが、その場合に対しては、保険や減災対策などを考慮した適切なリスクマネジメントの手法を開発する必要がある。

注*：“レベル 2”と表現する場合もあるが、本提言では“レベルⅡ”で統一している。

また、近年、降雨強度が増大しさらに豪雨が頻発していることを設計に取り入れていく必要がある。

これらの方策は、新設構造物の設計・施工の場合だけではなく、既設構造物の耐災診断と耐災補強を行う際にも考慮すべきである。

具体的には、以下のように地盤工学における調査・設計・施工・維持管理・保全等の諸技術のレベル

を向上させる必要である。

- a) 地盤災害のメカニズム究明の継続： 地震や豪雨・洪水により流動的に崩壊した盛土や斜面の殆どは崩壊前の状態が失われるなど、土構造物・自然斜面の崩壊のメカニズムの究明は容易ではない場合が多い（例、洪水で流失した河川堤防）。しかし、崩壊のメカニズムの究明への努力は今後も継続し、今後の地盤災害の予測・耐災設計と維持管理、および耐災診断・耐災強化の改善に貢献する必要がある。
- b) 耐災補強すべき個所を抽出するための耐災診断技術の精度の向上： 限られた経済資源をできるだけ有効に耐災補強に活用するためには、優先的に耐災補強すべき場所をできるだけ正確に見つけ出す必要がある。そのためには、以下の技術レベルを向上させる必要がある。
 - ・崩壊した場合に社会的影響が大きい既存の土構造物・地中構造物・上部構造物の支持地盤と基礎構造物と自然斜面の弱部を効率的で高い精度で抽出できる耐災診断法を、最新の知見・設計法に基づいて整備する必要がある。
 - ・道路や鉄道の盛土・擁壁等の土構造物、河川堤防等の治水・利水施設の土構造物と災害の原因となる自然斜面の維持管理は、既にシステムの構築されている。しかし、許容された人員と予算では十分な回数の点検作業を行うことが困難な場合があり、またその方法も目視だけに頼る場合が多い。それを改善するためには、恒常的で有効なリアルタイムのモニタリング手法の開発が必要である。
- c) 耐災診断の精度の向上と耐災強化の効率化のための地盤情報と既設の社会基盤施設と住宅・建物に関する情報のデータベースの整備と公開：
 - ・ボーリング調査と室内試験等の地盤調査によって得た地盤情報を各地域毎に集約・整備してデータベースを構築し、できる限り公開する体制を構築する必要がある。
 - ・既設の社会基盤施設の地盤災害に対する耐災診断・耐災補強を行う際に必要な情報である、建設時の設計・施工・構造及び地盤条件、さらに被災経験がある場合はその記録のデータを整備し、利用できる体制を構築する必要がある。
- d) 新設の社会基盤施設と住宅・建物の地盤災害に関連した耐災設計法・施工法と既設の社会基盤施設と住宅・建物の耐災強化法の技術レベルの向上：
 - ・盛土・擁壁等の土構造物、地中構造物、基礎構造物、自然・人工地盤に対してレベルⅡ設計地震動を考慮した合理的な耐震設計法を開発する必要がある。特に、レベルⅡ地震動に対しても適切に設計・施工すれば被災により変形しても修復に著しい費用と期間が必要となるレベルにまで崩壊はないなど、最低限要求される耐震性能を満足できる保証ができるようになる設計法が必要である。そのためには、土構造物等の地震時安定性を終極的崩壊状態に対する全体安全率だけではなく、一定の条件の下での残留変形・変位を許容することによって評価したり、盛土の締固め状態が向上し排水設備を整備した場合はそれに対応した地盤・盛土の設計せん断強度を設定できるようにしたりする必要がある。これらの方針は、鉄道構造物・道路構造物・ダム構造物等の耐震設計に活かされつつあるが、技術的な内容をより発展させ、より広く採用される必要がある。
 - ・近年の降雨強度の増大と豪雨の頻発を設計に取り入れていくとともに、それに対応した土構造物の設計法と施工法を整備してゆく必要がある。
 - ・盛土の施工管理と設計条件を出来るだけ整合させる必要がある。すなわち、災害防止のために盛土

に要求される性能に基づいて締固め度等の現場管理値を決定し、それを保証するように施工管理するなどして、盛土の施工管理を合理化する必要がある。一方、適切な施工管理によって高い締固め状態が保証できる場合は、それに応じた高い設計せん断強度や低い変形性を反映するなど、設計を合理化する必要がある。

- ・従来の設計法における様々な未解決な技術的諸課題を継続的に検討し、より合理的な設計法を提示する必要がある（例、盛土・自然斜面の極限つり合い法（極限平衡法）によるすべり安定計算における盛土・斜面の設計せん断強度に対する飽和度や排水条件などを考慮する方法、豪雨時や地震時の間隙水圧の取り扱い方、設計震度の設定法）。
- ・崩壊形態や残留変形を求めることができる数値解析法を発展させる必要がある。
- ・土構造物の従来の設計で用いられてきた安定解析法と高度化した数値解析法を整合させる必要がある。
- ・各種の高度な数値解析法の信頼性を向上させ相互の整合性を確認するとともに、数値解析と地盤調査の間で精度のレベルを整合させる必要がある。
- ・現在用いられている多数の地盤の液状化の予測法を、できるだけ整合させる必要がある。
- ・既設の社会基盤施設と住宅・建物の支持地盤の液状化による被害を、より経済的で効果的に防止できる地盤改良工法や基礎構造形式等の技術を開発する必要がある。
- ・地震時の支持地盤の不安定挙動を考慮した基礎構造物の耐震設計法を開発する必要がある。
- ・地盤災害を防ぎ減ずるために必要となる費用を対策効果に対して正当に評価するために、構造物の性能や機能保持を考慮した新しい性能設計と LCC (Life cycle cost)などの概念と手法を確立をする必要がある。
- ・既存の旧技術で建設された盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、地中構造物や基礎構造物（地盤構造物）や崩壊した場合には社会的影響の大きい自然斜面の耐災補強、被災後の機能を原状に速やかに回復するとともに構造的には強化した本格復旧（すなわち強化復旧）、および新設の耐災性が高い構造物の建設のために、施工性と機能性能が高いとともに経済的な技術（補強土工法、地盤改良工法、排水施設など）の開発が、引き続き必要である。
- ・地盤災害に対する対策工法、強化工法は企業の技術的な開発によるところが大きい上に、自然状態で実物大を現地で試験施工して効果を確認する必要がある場合が多い。このため、公の機関による試験施工の場所の提供と第3者による効果の評価システムの確立が期待される。
- ・上部構造物と基礎構造物・土構造物で構成された社会基盤構造物の地震や豪雨・洪水に対する安定性が向上するための技術を開発する必要がある（例、橋桁・橋脚・裏込め盛土を持つ橋台からなる橋梁の耐震性と洪水に対する耐力の向上）。
- ・その他

e) 上記の目的を達成するために、地盤工学会が積極的に関与する必要がある。

- ・必要で可能な範囲で、地盤工学会による地盤災害に関連した設計法の基本の整備と、関係機関による設計基準・指針の整備・見直し・改訂に対する支援などを行うべきである。
- ・地盤工学会が、上記に関する専門的な知見に基づき、その全国的な組織を活かして、地震や豪雨・洪水等による災害の防止とともに被災後の復旧・復興において技術支援を行うことは、果たすべき社会的貢献の一つである。

- ・地盤災害を防止するための技術の伝承と普及に取り組む必要がある。

提言 1.7（防災的な措置とともに減災的な地盤災害対策の実施）

地盤被害を有効に防ぐためには、防災的な措置だけではなく、減災に対する方策の実施が必要である。

地震や豪雨・洪水により被災して社会に甚大な被害をもたらす可能性がある既存の土構造物と崩壊すれば災害の原因となる自然斜面の数量は膨大であり、社会の進展とともに、対策が必要な場所は増加する傾向にある。これらが生じないようにする防災的な措置は出来る限り継続して行う必要があるが、これらの場所のすべてに対して対策を実施することは予算と時間の関係から不可能である。また、1995 年兵庫県南部地震での教訓として、防災的な措置を行っていてもそれだけでは地震災害を十分に防ぐことはできないことも明らかになった。したがって、地盤災害を含めて自然災害の拡大を防止するためには、減災の考え方が必要である。

具体的には、二次災害の拡大の防止のための a)地盤被害の長期的な予測による生活・産業活動・社会基盤構造物の被災可能性地域・地点からの回避の検討と可能な範囲での実施、b)崩壊現象の的確な短期・リアルタイムの予測に基づいたリスクの認知と効果的な避難に移行できる仕組みの構築、c)崩壊した場合の的確な緊急処置と二次災害に対する対応、d)各地域で過去に発生した災害の特徴、崩壊予兆現象や地盤環境・社会環境を考慮するなど災害防止に関する言い伝えの収集と伝承、災害文化に関する教育等の取り組み・啓発システムの構築等、「減災」技術の研究開発と実施・知識の普及などの方策が必要である。

上記の目的を達成するためには、災害が発生する可能性が高い箇所を精度良く予測するとともに、それぞれの箇所において適切で正確なモニタリングを行い、その結果を評価分析することによって、危険な時期を予測することが重要となってきた。さらに、広域に及ぶ自然斜面などに対しては、降雨の状況によって崩壊の可能性の高いところが時々刻々と変化するので、降雨予測に基づく崩壊予測モデルの構築が求められている。とくに、リアルタイムモニタリングの構築とその有効利用によって、命の安全確保のための緊急避難に貢献できるようにすることが必要である。

提言 1.8（地盤防災・減災のための異なる学問・技術分野の協働）

安心・安全な社会の構築を目指した有効な地盤防災・減災を達成するためには、地盤工学以外の異なる学問・技術分野との協働が必要である。

地震と豪雨・洪水等による地盤災害は、地盤工学だけで解決するものではなく、土木工学の他の分野（構造工学、河川工学、水文学等）のみならず他の自然科学分野（機械工学、地震工学や地震学、地質学、気象学等）との協働が必要である。

さらに、経済学、社会学、心理学、法学などの社会科学系の各分野の専門家の叡智を結集して、防災・減災に取り組むことが重要である。

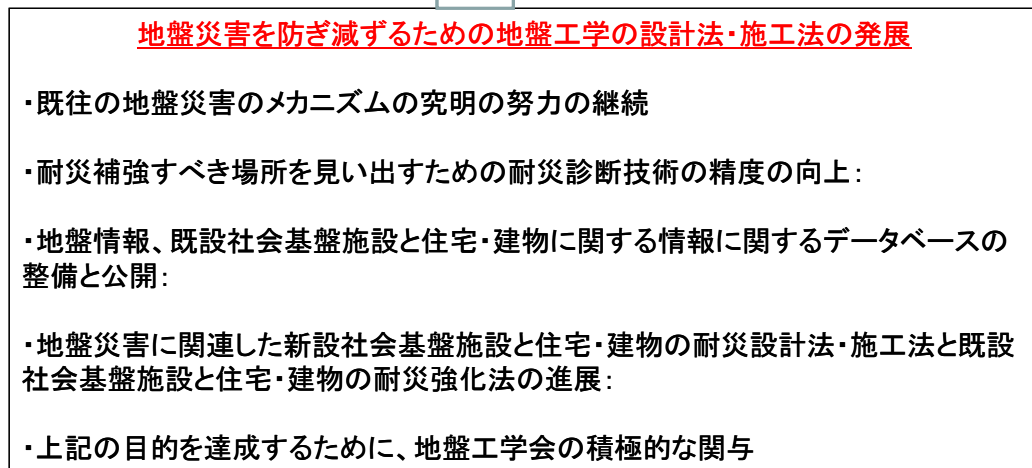
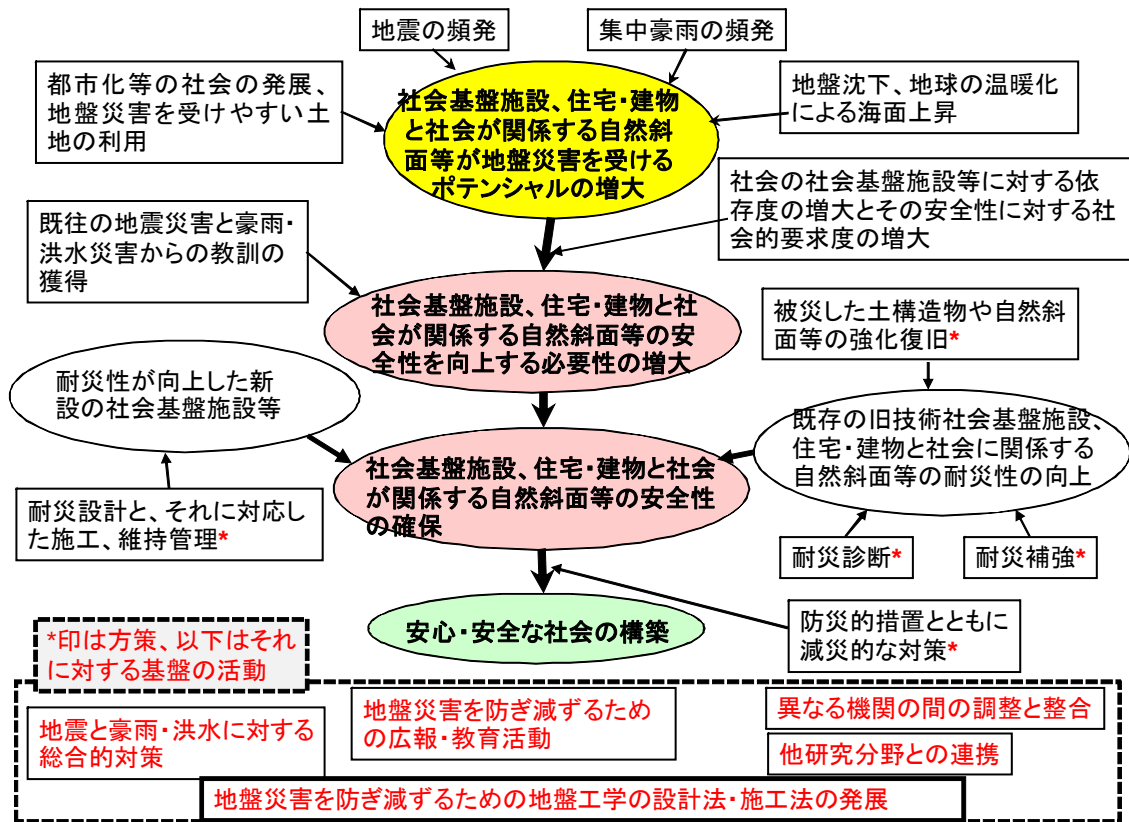
提言 1.9（地盤災害を防ぐための社会的な広報・教育活動）

地盤防災・減災を達成するためには、地盤工学の専門家とその全国的な組織である地盤工学会は、地盤災害の重要性を広く認識してもらい、地盤災害を防ぐための地盤技術を広めるための社会的な広報・教育活動を積極的に行う必要がある。

全国各地で様々な形態で生じる地盤災害を防ぎ減ずるためには、地盤工学者などの専門家と関係機関の努力に加えて、地盤災害の重要性に対する社会全般とそれぞれの地域社会の理解と協力が必要であり、市民自身が防災・減災活動にできるだけ参加する必要がある。そのために、地盤工学の専門家とその全国的な組織である地盤工学会や行政機関は防災の必要性を説く必要がある。さらに、地盤災害を防ぐための地盤技術と知識の普及も必要である。また、防災への必要な投資を行うことが十分に合理的であることを分かりやすく整理し、市民・社会一般に説明する努力が必要である。

これらのために、地盤工学会は、本提言の趣旨を活かして、上記の地盤災害に関係した事項を平易に解説した図書（E-learning 等のデジタル出版物も含む）の出版、シンポジウム、ワークショップ、講習会などの開催を積極的に行う必要がある。

以下の図は、以上の提言の相互関係を概略的に示したものである。



2. 治水利水施設

2.1 「治水利水施設」共通の提言

提言 2.1-1（治水制御性能に関する弱部の正確な同定）

技術者・研究者*

治水施設の治水制御性能に関する弱部を非破壊で正確に見出せる調査法の開発が必要である。

治水制御性能の正確な評価のためには、それに関する弱部を正確に見出し同定する必要がある。しかし、治水利水施設には築造年代・履歴が明らかでない既設構造物が多々ある。施設の内部構造を正確に把握することが適切な対策工の選定に必要な情報であるため、現状を維持しながら非破壊で弱部を見出すことが可能な高精度で効率的かつ汎用性のある調査法の開発が望まれる。

*) それぞれの提言の主な対象の分野を意味する（以下同様）。

提言 2.1-2（新たな技術開発）

行政・技術者・研究者

豪雨・地震に関する広い専門分野からみた新たな課題の発掘と技術開発（戦略）が必要である。

それぞれの施設の技術の発展の経緯は、歴史的・社会的条件の相違などによって異なっている。たとえば、フィルダムでは、施設の個別性と重要性から、これまで多くの設計・施工・管理、耐災工法の技術が他の施設に比べて発展してきた。今後、それぞれの施設において、施設ごとに発展してきた技術を相互に共有していくことと、同時に専門分野にとらわれず広い俯瞰的視野にたって新たな課題を発掘し、技術開発を進めていくことが必要である。

提言 2.1-3（連鎖被災の可能性の評価と予防保全）

行政・技術者・研究者

地山や施設の被災が連鎖的に他に拡大する可能性を評価し、対象とする治水・利水施設ごとに異なる地形等の諸条件を考慮した予防保全に配慮が必要である。

地震や豪雨によって治水・利水施設そのものが直接的に被災する場合だけでなく、周辺の地山や道路等の他の施設の被災を起点として、二次的に大きなダメージを受ける場合がある。このため、対象とする施設本体だけでなく周辺の地山や他の施設についても、災害危険性の評価と影響範囲の把握、防止、保全対策といった一連の耐災技術の開発が危機管理の面からも重要である。これらのことは、対象とする治水・利水施設が隣接する地区にあっては、単純な個別被災だけを想定した危険度評価や対策技術では、必ずしも十分ではない場合もあることを意味しており、いくつかの提言にまとめられている事項を横断的に俯瞰した技術やシステム開発も期待される。

2.2 各施設の提言

2.2.1 ため池

提言 2.2.1-1（現状を把握する調査法の開発）

行政・技術者・研究者

ため池の危険度評価を行うには、築造年や内部構造と支持地盤条件が不明である老朽化したため池の現状を把握する検査手法の開発が必要である。

ため池には、築造年代が不明なものがかなり多く、また現在使用していないものも多い。このため、内部構造と支持地盤条件に関する設計資料もないものが多い。また、過去の補修に関する資料も欠損している場合が多い。このようなため池の地震・洪水に対する抵抗力を推定するためには、内部構造の状況とその劣化程度および支持地盤条件を知るための調査方法の開発が必要である。ため池堤体の高さはあまり高くないが堤長は 100m を超えるようなものもあるので、ボーリングのような局所的（ポイントワイズ）な調査だけでは内部構造と支持地盤の状態を把握することが難しく、効率良く全体の状態を確実に把握できる非破壊手法の開発が望ましい。

ため池の老朽度を把握するためには、堤体そのものの強度や不均一性、透水性、基礎地盤の性状などを総合的に調査する必要がある。このためには、3 次元的な調査技術の開発も重要で、これは精緻な解析に用いることを前提とした危険度評価手法のシステム開発に繋がるものである。一方では、極めて簡便な貫入試験などの情報から、ため池の危険度を分類することも、防災計画を策定する上で重要なことである。後者は、不均一不確定なため池堤体を悉皆的に調査する上では不可欠な技術であるので、調査手法の開発と解析、あるいは評価手法の開発が一体となって展開すべき事項である。

提言 2.2.1-2（経済的かつ迅速な耐災補強工法の開発）

技術者・研究者

対策費用は利用者負担が生じること、工事は非灌漑（かんがい）期に限られることを踏まえ、経済的かつ迅速に施工できる耐災補強工法の開発が必要である。

地震と豪雨・洪水に対する耐災補強工事では、工事期間は非灌漑期に限られるので、短期間で完了させることが必要である。そして、利用者負担が生じる場合には、さらに経済的な制限もある。また、近年では住宅地域が隣接している場合も多く、そのような場合には、2 次災害リスクを考慮した耐災補強工法の開発が必要である。

ため池の被災を軽減、防止するために老朽化の進んだものから順次改修が進められているが、21 万箇所のため池を全面的に高度な耐災補強を実施することは、必ずしも合理的ではない。直面する自然災害に対しては、ため池堤体の置かれている重要度や二次被災などの可能性、規模に応じた耐災補強技術の開発も重要な課題である。一般的に、ため池堤体は土質材料だけによって築造されているが、近年多くの実績を有している補強土工法や各種の補助的な工法についても積極的に導入することが、工期短縮とコスト縮減にも繋がる展開であろう。また、小規模の堤体で下流域の整備が可能であれば、越流を部分的に許容するため池の開発は大きな減災効果を期待できるので、従来の技術を併用しつつも新技術の開発と積極的な導入が期待される。

提言 2.2.1-3（データベースの構築と関係機関の連携）**行政・施設管理者**

過去の補修履歴などの調査、形状の測量調査、地質に関する情報収集、水利用状況、周辺土地利用状況などの把握に努め、他所の機関とも連絡をとりながら全国的に同水準となるデータベース化できるシステムの構築が必要である。

現状のため池データベースの調査の範囲拡大と精度向上が大きな課題である。正確な形状把握、利用状況把握、周辺土地利用把握はリスク評価を行う上で重要なデータであり、水利施設周辺のデータの整備も管理団体および行政が中心となっていく必要がある。地質・地盤・測量情報などは近隣の工事の情報を共有できるシステムの構築により随時精度を向上させることが望ましい。また、データベースは全国的な利用により、高度な劣化予測、リスク予測が可能となるので、全国的に同様の水準を保てるように管理機関間での連携が必要である。上記の作業は、現在使用していないため池も対象にする必要がある。

維持管理も含めてライフサイクルコストを安価で効率的に実現するストックマネジメントは、データベースの精度向上とともに、随時リスク解析を行って更新させることが必要である。特に、公共の施設が近隣に出現した場合には、最適な対策を迅速にとることが管理者の責任である。データベースの内容は時代とともに変化することを理解し、精度は計測しないと向上しないことも念頭に入れ、機会を逃さずに更新するという姿勢を維持することが必要である。

2.2.2 フィルダム

提言 2.2.2-1（管理体制の確立による技術の伝承）**行政・技術者**

ダムの適切な管理体制を確立して平常時および災害時の状態を連続的に監視するとともに、若手技術者の育成と関連知識の継承・普及をはかる必要がある。

近年、ダムサイトの近傍で発生した直下地震により、従来予想されなかった被害が生じている。いわゆるレベルⅡ設計地震動に対するダムの耐震性能の照査や、豪雨・洪水災害の予測や対策を実施する上で、地震や降雨・河川流量などの観測やダムの漏水計測などを適切に行うとともに、ハードとソフトの両面からダムの維持管理体制を整備しておくことが必要である。

フィルダムの設計・施工技術は、地盤工学の分野で最も高度に発達し体系化されている。この技術は、ダムの維持管理や一般的な土構造物の建設にも有用であることから、若手技術者育成への活用を含め、関連技術の継承と普及により高品質な社会資本蓄積への貢献が期待される。

提言 2.2.2-2（広い視野からの課題発掘と技術開発への挑戦）**技術者・研究者**

安全で安心な社会環境づくりに地盤工学の研究者が今後も大きく貢献するためには、関連分野を俯瞰して新たな技術開発に積極的に挑戦するとともに、周辺の境界領域や先端領域へも果敢に進出し活躍の場を拡大する必要がある。

従来、フィルダムの地震時安全性は震度法と極限つり合い法によるすべり安定解析を適用して評価さ

れてきたが、近年の地震被害事例によれば、強震動によるダムの弾性変形に加えて非弾性変形を高精度で評価する手法を早期に確立する必要性が高い。そのためには、大粒径の地盤材料の非排水条件や排水条件での繰返し載荷の下での変形強度特性を詳細に研究する必要がある。また、ダムに inputs する強震動や貯水池周辺山腹における地すべりなども、フィルダムの地震時安全性と密接に関連しており、それらの予測も地盤工学上の重要な課題である。

本来、地盤工学は極めて実践的な学問であり、早急に究明・解決すべき研究課題は伝統的専門分野以外にも非常に多い。近年の地盤工学は、専門分野の細分化と深化が進む一方で、実践的な技術の進歩が相対的に遅れ、偏った発達を遂げている側面があるので、広い視野から重要課題を発掘し、果敢に研究開発することが必要である。

提言 2.2.2-3（規準・指針の見直しと改訂に向けた支援）

行政

最新の知識や技術を踏まえ、フィルダムの設計・施工に関わる現行の規準・指針類の見直しと合理的な改訂に向けた、多方面での支援が必要である。

設計震度と材料の静的載荷条件でのせん断強度を用いてすべり安全率を評価する耐震設計法が従来使われてきた。一方、近年、レベルⅡ設計地震動と繰返し載荷など動的載荷条件での物性値に基づいてダムの変形量を評価する耐震性能照査が試行されている。後者は地震時のダムの挙動を現実 に即してより合理的に評価しようとする流れに沿うものである。

また、コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム（CFRD）は、堤体積の減少や工期の短縮が可能であり建設面で有利と言われているが、現行の規準・指針類ではこの利点が活かされない。また、従来の中央コア型フィルダムにしても、地震被害の状況が現行の規準・指針類で想定されている変形様式と異なることが指摘されている。多年にわたり蓄積されたダム技術と最新の知識などを踏まえ、現行の規準・指針類の見直しと改訂に向けた多面的な支援が必要である。

2.3 河川堤防

提言 2.2.3-1（耐震性能の評価）

行政・技術者・研究者

従来型の安定計算手法の土台になっている土の力学の持つ限界（枠組み）と真摯に向き合うとともに、盛土変形に及ぼす初期条件・境界条件の影響の解明に向けた努力が望まれる。

現在の堤防の耐震性は地震後の天端高さで評価されている。これは地震時変形を計量する簡単な指標ではあるが、堤体内に生じるひずみや亀裂、地震後の洪水防御機能を適切に評価できる指標にはなっていない。このためには、河川堤防の洪水による崩壊のメカニズムを解明し理解する必要があるが、実際は崩壊した盛土は流失してしまうため、この解明は通常非常に困難である。しかし、これを過去の事例の検討などにより調査・研究する努力は継続する必要がある。

地震後の洪水防御機能の評価のためには、堤体各部のひずみ分布を含めた変形の予測精度向上が必要であり、そのためには飽和した液状化しやすい土の非排水条件下での繰返し載荷時および単調載荷時の変形特性のみならず、不飽和土の体積ひずみを伴う場合の繰返し載荷時および単調載荷時のせん断変形

特性などのこれまであまり知られていない、新たな土の力学についての知見を集積することが必要である。また、堤体内の含水状態や応力などの初期条件・境界条件が変形におよぼす影響を明らかにし、その影響をも吟味できる設計計算体系の構築が不可欠である。こうした新たな知識に基づき、合理的な堤防の強化を推進することが必要である。

提言 2.2.3-2（洪水制御性能の評価）

行政・技術者・研究者

洪水制御という機能を果たすべき堤防に必要な性能設計は、破壊規模（モード）と共に破壊の進行性に応じた解析が可能な連成数値計算法を活用する努力をすべきで、ライフサイクルコストの縮減を実現し、維持可能な部分的破壊と区別すべき決定的な全般破壊に対する対策工法の合理的な究明に連動させていくべきである。

設計手法として有用されてきたすべり面に基づく極限釣合い（極限平衡）安定計算法の精度的向上が必要である。すなわち、洪水制御性能の維持から破壊の有無だけではなくその規模にも着目する必要がある。そのためには、土質条件に依存したせん断破壊時に発生する体積変化に対応した「変形－強度」評価法の樹立、侵食現象にも強い盛土材としての土質定数の適切な試験法とそれらを締固め施工管理等により制御する指針との対応といった安定性評価法の改善が望まれる。

さらには、適切な原位置での地盤調査と室内での物性試験の結果に基づけば高い精度が期待される構成式の連成数値計算法の設計法への展開、それに必要な技術の公開と技術者養成、データベースの整備、その数値計算法の予測精度の検証、地震・豪雨の両外力条件下での総合的な設計指針の整備、性能設計の慎重な吟味とそれに必要な局部破壊から全般破壊への進行性の究明とそれに基づく安全性評価法の整備が必要である。

提言 2.2.3-3（付帯構造物との接合部を含めた弱部発見法の高度化）

技術者・研究者

初期の施工不良のほかに付帯構造物との接触部、把握しきれない縦横断的なものや構造的な弱部を非破壊で効率的に見出す調査・評価法が必要不可欠である。

堤防は線状構造としての性能評価されるべきことから、延長方向をも含めた堤防と基礎地盤の3次元縦横断土質構成を考慮し付帯構造物との接合部に注目して弱部を効率良く発見できる方法が必要である。そのために、既存の堤防と建設経緯を取り巻く環境を把握する治水地形分類図等を利用した推定精度の向上が望まれる。また、高精度な既往地盤情報から砂層と粘土層の層序や旧河道地形など堤防の支持地盤と周辺地盤の土質構成は一般に不明瞭であるが堤防の安定性の判断には重要な情報であり、この情報を推定する理論と調査手法の開発が望まれる。とくに、非破壊で土質構成を推定できる効率的な原位置調査・推定手法の開発が望まれる。

また、地震時や豪雨時の堤防モニタリング技術（時期、要因、留意する箇所の特特定など）も、空間的、時間的に弱部を特定化する有効な一手段として期待される。

提言 2.2.3-4（地震と豪雨の総合評価と対策工法）**行政・技術者・研究者**

地震と豪雨に対して総合的に評価し、適正な対策工法を吟味する必要がある。

現存する堤防の性能や強化工法の評価に当たっては、浸水被害の軽減という第一義的到達目標に向けて総合的な視点から吟味すべきである。従来の河川堤防の技術検討は、侵食、浸透、地震など堤防の安定性を損なう外力種別とその作用形態（破壊メカニズム）に応じたそれぞれの場合に対する照査に留まっている。専門分化の壁にとらわれず、強化工法の適切性を合理的に総合的に評価する姿勢に転ずることが望まれる。

耐震工法の主要なものは、基礎地盤の液状化防止工法である。しかし、今後は既往の対策工法の枠にとらわれずに、対策効果や適用性の異なる工法の選択肢を増やすことが必要であり、豪雨時の浸透に強い築造技術と共に土工技術の確立とその向上を図ることが期待される。そのポイントは安全性評価法で指摘される土質の力学要因の制御であり、制御し易い締固め度と制御すべき力学要因との関係を究明する必要がある。耐震性と耐浸透性に対しては、締固めは共通な対策工になるのに対して、ドレーンやシートパイルなどの対策工法は効果が相反することもある。したがって、それぞれの対策工の両者に対する効果を総合して判断する技術能力が要請される。また、段階的に強化できる最善の技術手法であるかどうかを常に吟味する姿勢が必要である。

河川堤防の災害に対する対策工法、強化工法は、企業の技術開発によるところが大きい上に、自然状態での実物大の現地試験施工により効果を確認する必要があることから、開発工法の効果を確認することは大変困難である。このため、公の機関による開発工法の試験施工が可能な場所の提供と第3者による効果の評価システムの確立が期待される。

提言 2.2.3-5（災害リスクに基づく堤防管理体制）**行政**

自然環境変化や地域社会の発展と共に増大する災害リスクを把握し国民に周知するとともに、河川堤防が必要な施設機能を果たし得るように、堤防管理体制の整備を図る必要がある。

河川堤防は、古い時代の河川の作用によって形成された基礎地盤の上を、実際に発生した被災などの経験に基づいて、長い歴史の中で順次拡築されてできた構造物であることから、堤体及び基礎地盤が不均質であり、通常の構造物で行われるような構造物の耐力と外力を比較するという設計は困難であった。平成14年の「河川堤防設計指針」策定以降は、工学的な性能照査手法が導入されたが、要対策箇所は膨大であることから、堤防に必要な施設性能の管理目標には、①地域的な外力特性に呼応した機能と②社会経済的な災害リスク軽減に向けた方針が不可欠である。

背後地の土地利用の変化や、地下利用の進展、水防活動に携わる住民の年齢・職業などの社会構造の変化につれて、起こり得る災害リスクもまた変化する。限られた資源の制約のもとで災害リスクを軽減するためには、堤防の点検区間の適切な設定と常時の堤防管理により、時とともに変化する背後地の変化や社会的要請の変化を常に掌握し、評価しうる指標を組み立てて、対策を優先する個所の合理的な選定を行うことが必要である。

また、地震や豪雨後の浸水リスクに関する国民の理解の推進を図り、現存の堤防の強化を支持する世論形成を図ることは極めて重要であり、この目的に対する技術界からの貢献を推進する必要がある。そ

のためには、堤防の防災性能の評価への新たな知見の活用が必要となる。これこそが住み良い安全な国土の形成に向けた行動となる。さらには、官民がリスクの存在を共有することで、官民の負担度と「共助と自助」の認識を共有することができ、歴史的に変遷してきた結果として現状があることを踏まえて、地域的に異なる役割・分担の合意形成に基づく役割の遂行により種々の要因を総合して決める戦略に対する合意形成が可能となる。

3. 切土・盛土および自然斜面

3.1 全般

3.1.1 基本理念

提言 3.1-1（人の命を守る防災・減災）

地震や豪雨に対して安全な切土・盛土の構築・維持管理を行うとともに、既存の切土・盛土および自然斜面の安定性を評価し、対策や仕組みを構築することにより崩壊現象による人命の損失ゼロを目指す。

3.1.2 全般的な提言

提言 3.1.2-1（崩壊危険度判定手法の高度化と効果的な対策工） 行政，技術者，研究者，学会

増大する外力に対して既存の切土・盛土のり面と自然斜面の崩壊危険度判定手法の高度化と効果的な崩壊防止対策を検討，開発していく必要がある。

既存の切土や自然斜面は経年的な劣化・風化により斜面崩壊が発生する可能性が高くなる。一方，既存の盛土でも透水性が経年的に目詰まり等で悪くなっていくことがあり，その場合は崩壊の可能性が高くなる。加えて，1995 年兵庫県南部地震以降，各地で大きな地震が頻発するとともに，降雨も時間雨量 50 mm を超える集中豪雨の年間出現頻度が多くなっており，誘因の面から見ても最近では切土・盛土のり面および自然斜面の崩壊が発生しやすい状況にある。

このような背景の下で，切土・盛土のり面と災害の原因となる可能性を有する自然斜面の崩壊危険度を精度良く判定する必要に迫られている。このためには，現地調査手法の高精度化，モニタリング技術の高度化を図り，崩壊危険度の高い切土・盛土のり面や自然斜面の抽出と，それらが危険になる時期の判定の高精度化が必要になる。これによって得られる情報は，対策工の施工のみならず，住民の避難行動や通行規制のための情報としての活用が期待される。また，崩壊防止対策は，増大している地震や豪雨などの誘因に対応することが必要であるが，コスト縮減のために一定の変形を許容する崩壊防止対策工の開発も今後必要となる。

提言 3.1.2-2（適切な維持管理）

行政

崩壊後に直すのではなく，できるだけ崩壊する前に改善していく方針で維持管理を行っていく必要がある。

従来は，切土・盛土（のり面保護工，擁壁，アンカーや補強土工等の付帯設備を含む）や災害の原因となる可能性を有する自然斜面は，数が膨大であることから維持管理によってその全ての崩壊を防ぐこ

とはできず、壊れてから直すことがしばしば行われてきた。しかし、切土・盛土のり面や人家の背後の急傾斜の自然斜面の崩壊は人命の損失にかかわる現象であり、これをできる限り少なくすることが望まれる。このためには、必要な維持管理をできる限り行い、事前に危険な斜面を把握し、改善することが必要である。一般に斜面の崩壊は突発的に発生することは稀で、ほとんどの場合は事前に亀裂や変形等の前兆現象が現れる。維持管理を通して、この現象を事前に把握する仕組みの構築が期待される。そこでは定性的な危険情報の把握ではなく、定量的な把握を今後行うことが望まれる。この値は、前兆現象の把握のみならず、切土のり面では劣化進行の把握にも活用できる。維持管理により得られるこれらの値を活用することにより、壊れる前に保全・修理することが可能となり、ひいては崩壊した場合には切土・盛土と災害の原因となる可能性を有する自然斜面の安定に関するライフサイクルコストの縮小を図ることができる。なお、これらの維持管理の作業時に、排水溝などの機能確保の維持管理を行えば、崩壊原因の現象に大きく寄与できる。

提言 3.1.2-3（耐震、耐豪雨対策）

行政、技術者、研究者、学会

新設の切土・盛土の設計・施工・維持管理に、耐震、耐豪雨対策を取り入れていく必要がある。また、地震や豪雨に対して効果的で、かつ経済的な切土・盛土の安定化工法を開発していく必要がある。

従来、切土や盛土の設計では常時の静的安定に対して地下水を考慮した設計が行われ、のり面の安全が図られてきた。しかし、このような静的安定が保たれていても、そこに地震が発生すれば切土・盛土は崩壊する場合がある。

一般に、地下水が十分に排水されておれば、大きな正の間隙水圧も出現せず、切土・盛土は降雨時にも地震時にも安全を保つことができる。また、盛土の場合は締固め密度が大きければ、大きな土のせん断強度を発揮でき、降雨時と地震時の安定性が向上する。1995年兵庫県南部地震で得られた新たな教訓として、宅地の谷埋め盛土が大きな被害を受けたことが上げられている。これは、道路や鉄道の盛土と比較すると、宅地の盛土は一般に上載荷重が大きくないために十分な締固めが行われず、N値も10以下が圧倒的に多いことや、古い盛土では旧表土の除去も十分でなかったことに加えて、排水設備が不十分であったため地下水位が高かったことによると考えられている。このようなことから、今後は、十分な締固めや地下水排水対策が今まで以上に重要視される必要がある。しかし、このような対策が行われていても、大地震が発生した場合には強震による盛土と切土のり面の破壊も皆無ではないと予想される。今後、このような現象に対する対策の研究も発展させる必要がある。

また、地震と豪雨に対して安定な新設の切土・盛土を実現するためには、耐震・耐豪雨に対して効果的で経済的な切土・盛土や擁壁の安定化工法を開発していく必要がある。

提言 3.1.2-4（リアルタイム防災システム）

社会，行政，技術者，研究者，学会

減災に寄与できるリアルタイム防災システムの構築を図っていく必要がある。

近年、豪雨記録や降雨予報は気象庁により高度化が図られ、レーダアメダス降雨記録は、1kmメッシュで、短時間降雨予報は1, 2, 3, 6時間先までの降雨量が予報されている。このような降雨情報を受けて、土壌雨量指数や土砂災害警戒情報が発信されているが、これらは過去の経験を基にして崩壊危険度を判定したものであり、集中豪雨が頻発している現在のように、降雨状況が変化した場合には、過去の経験が活用できない場合がある。また、これらの土砂災害警戒情報を基にして、行政では行政区画単位で避難勧告や避難指示が発令されている。しかし、行政区画が広い場合は、その対応に苦慮する場合があります、危険と予想される区域を絞り込むことが要望されている。このため、地形を数値化し、このモデルにレーダアメダス降雨量や短時間降雨予報を入力して経験情報に頼らず、力学的に崩壊危険度を判定するリアルタイムハザードマップシステムが開発されつつある。このシステムにより得られる情報は雨域の移動に伴い、危険な自然斜面が変化する状況が把握でき、災害の原因となる自然斜面崩壊やこれに起因する土石流発生の危険渓流の絞込みが可能となる。加えて、この情報は行政・住民にとっては逼迫する崩壊リスクの認知にも大いに活用でき、ひいては住民の避難行動への移行の契機にもなり、人の命を守る減災にも貢献できる。今後、このようなリアルタイムでの防災システムが早急に構築されることが望まれる。

一方、地震に関しては緊急地震速報が平成19年から気象庁から発信されている。しかし、情報の発信から地震によるユレの発生までの時間が短いこともあり、現在では鉄道関係で活用され、緊急停止などの対応が取られているに過ぎない。また、直下型地震の場合は、予報からユレの発生までの時間が短いこともあり、その活用は身の回りに限られる。自然斜面や切土・盛土では、主に地震中に強振動による斜面・のり面の崩壊の発生や支持地盤や盛土の液状化による崩壊や変状が起きる。しかし、本震では崩壊しなかった自然斜面や切土・盛土でも、余震により崩壊する場合や、地震後の降雨により崩壊する場合があるので、本震後にも注意を要する情報の発信がリアルタイム防災として必要である。

提言 3.1.2-5（斜面地盤データベース）

行政

自然斜面を含めた地盤のデータベースの構築を図っていく必要がある。

自然斜面を含めた地盤のデータベースを構築し、防災、建設、維持管理に活用する必要がある。地盤データベースの構築は従来から行われてきているが、近年、デジタル情報による構築が行われつつあり、その利活用が容易になってきている。従来、データベースは限定的な利活用であったが、平成20年、国土交通省が、いつでも、誰でも活用できる kunijiban の提供を開始し、構築の仕組みが大きく変わりつつある。また、地盤工学会の各支部でも地盤情報データベースを構築し、一般に公開を始めている。今後は、共通の仕様で多くの利活用ができる仕組みの構築を行う必要がある。そこでは、単に地盤のみならず、切土・盛土・擁壁および自然斜面の災害や、その施工・維持管理記録も合わせてデータベース化すれば、技術の伝承や技術者の育成にもその活用が大きく期待できる。

3.2 対象別提言

3.2.1 道路

提言 3.2.1-1（通行規制等の緩和・解消）

施設管理者

道路の防災対策は事前通行規制区間の解消，災害発生による復旧時間の短縮など，道路ネットワーク全体の通行止め時間が，効果的に縮減していくように，対応策の選択及び対策事業の計画を立ててゆく必要がある。

防災対策事業全体の計画立案は，道路ネットワークの通行止め時間を短縮するために必要な対策事業費などを考えて行われる必要がある。

事前通行規制区間においては，基準雨量に達しても災害が発生しない規制の空振りによる通行止めとともに，基準雨量に達する前に災害が発生してしまう未捕捉災害による通行止めの双方の問題を抱えている。もはや基準雨量の設定をさらに引き下げて強化するだけでは，事前通行規制区間における災害の回避に限界がみえてきており，①降雨での規制が難しい災害に対する効果的な対策工の実施，②個別監視モニタリングによる規制，③災害復旧時間の短縮化などの方法を適切に選び，事前通行規制区間の短縮を図っていく必要がある。

また，事前通行規制区間外においても，路面を直撃する危険性がある箇所，崩壊した場合に復旧に長期を要するタイプの災害や立地条件の箇所などに対して，優先的に対策事業を行うことが必要である。

提言 3.2.1-2（情報の整理・管理）

施設管理者

何年か一度行われる一斉総点検，日常管理，土構造物の耐震性の検証などにおいては，災害発生時や施工時の写真，締固め施工管理データなどの情報が極めて有効であり，設計，施工，災害時の情報を一連のものとして蓄積し，管理に生かすようにしなければならない。

膨大な数量の切土・盛土ののり面と崩壊した場合には道路通行機能に大きな影響を及ぼす自然斜面を見逃しなく管理するには，施工当時や災害発生時の写真，防災点検等で得られたデータを蓄積し，有効利用していくことが必要である。そうした情報を面的に表示し，災害危険箇所とその影響域を予測した図がハザードマップであり，さらに，「危険箇所への対応履歴（災害復旧対策など）」を加えて「道路防災マップ」とすることで，通行規制区間の解除・緩和や，住民・道路利用者等への防災の説明等に説得力のある基礎資料ともなる。このような観点から，道路管理者は少なくとも事前通行規制区間においては，道路防災マップの整備を進めていく必要がある。

また，築造年代が古い盛土・擁壁についても，基礎地盤や盛土材料の土質情報や擁壁構造などの基礎資料が存在していないことが多く，耐震性を定量的に信頼できる診断結果を得るには至っていない。地震や豪雨に対する盛土・擁壁の性能照査を行うためにも，施工管理データの蓄積保存などが不可欠となっている。

提言 3.2.1-3（ハザードマップの整備と減災）**施設管理者**

高速道路等の緊急交通路および緊急輸送路においては、近年の局地的な集中豪雨に対して重大な災害にまで至らないことを目標にして、定期的な点検により崩壊の危険性のある切土と盛土ののり面・擁壁と自然斜面を抽出し、ハザードマップの整備や選択的予防保全などを実施することにより「減災」に努める必要がある。

より災害に強い道路が求められているが、とくに高速道路と一般道主要幹線道路の中の緊急交通路および緊急輸送路においてはその要求は強い。一方、切土・盛土ののり面・擁壁などの土構造物や崩壊した場合に影響を受ける自然斜面は、材料や地質の不確実性や不均質性などにより、近年頻発する局地的な集中豪雨や地震などに対して、すべての箇所において安定を図ることは難しい面が強い。そのため、定期的に点検を実施することで、崩壊に至る素因をできる限り早く把握し、必要に応じて対策することが重要である。また、それら点検結果よりのり面の危険性を判断し、ハザードマップを整備することにより豪雨・地震時などに危険度の高い切土・盛土ののり面・擁壁などの土構造物や自然斜面を優先的に確認することで、早期通行止めの実施や周辺住民の避難など、道路内外の人命の安全を確保するソフト対策としての「減災」に努める必要がある。また、変状に対し単に補修するのではなく、その原因を追及し機能強化する“予防保全”の方針を積極的に導入し相対的に安全性を高めていくことで、より災害に強い道路となるものと思われる。

提言 3.2.1-4（緊急輸送路の確保・早期復旧）**施設管理者**

高速道路は緊急交通路および緊急輸送路として指定されており、災害時における高速道路の社会的役割は大きい。したがって、災害発生後においても社会的役割を果たすため、速やかに緊急車両等の通行機能を確保するよう、対応策の計画及び対策事業の計画を立ててゆく必要がある。

近年の社会資本の整備に伴い、道路・鉄道などの交通機関および電気、通信、ガス、上下水道などのライフラインが寸断されると、社会生活が維持できない状況にある。特に首都圏においてはその影響が甚大であることから、首都直下地震大綱により、首都中枢機能は、特に発災後3日程度の応急対策活動期においても、途絶することなく、継続性が確保することが求められている。また、道路においては、1日以内の緊急車両等の通行機能を確保することが明記されている。

高速道路は、地震などの災害時直後において、広域的な被災者の避難および救出・救助、消火活動等のための緊急交通路や、生活物資や復興のための資材などの緊急輸送路として重要な役割を担っている。高速道路管理者は、その社会的役割を果たすために、災害時においても首都圏と同様に早急に緊急交通路を確保する必要がある。そのためには、最低限の緊急交通路を確保する必要があり、災害に強い道路とすべきである。

一方、降雨や地震など、いかなる外力に対しても、すべての箇所において安定を確保することはむずかしい面がある。このことより、いかにして災害に対して脆弱になりやすい箇所をあらかじめ抽出し、選択的、効率的に対策を実施していくかが重要である。また、高速道路は線状の構造物であり路線全体としての評価も必要となる。中越地震や中越沖地震において、広域ネットワークとしてのリダンダンシ

一の確保や道路の土構造物の修復性は高速道路では実証されている。しかし、崩壊した場合に復旧に長期間かかる場合もありうるので、緊急時の対応として修復性を考慮し、橋梁・トンネルなどの他の構造物とあわせて、一連の構造物として評価をしていく必要がある。計画にあたっては広域道路ネットワークの整備も含めた、事業継続計画（BCP）などを活用し、社会的役割を果たす必要がある。

提言 3.2.1-5（対策工の開発）

施設管理者，技術者，研究者，学会

現在の技術基準に照らし合わせて、耐災性向上などを図る必要性のある既存の道路施設（例えば、締固めや排水工が十分でない盛土構造物など）を調査、評価、抽出する手法の開発とあわせて、耐災性が高くない施設に対して、施設を供用しながら施工可能な対策工法を幅広く開発していく必要がある。

古い時代に作られた盛土・擁壁等の土構造物は、現在の技術基準に照らし合わせて見ると、地震や豪雨に対して、必要とされる耐災性を有していないものもある。このことは、これまで地震時と豪雨時に盛土構造物が被災していることから、明らかなことである。数多くある道路施設の中で、どの施設が耐災性を有していないかを判定する調査・評価手法の開発とあわせて、施設を供用しながら施工が可能な耐災性を効果的にかつ経済的に向上できる強化手法（たとえば、排水工、地山補強土工法、地盤改良工法等）についても開発していく必要がある。

提言 3.2.1-6（耐災設計法の合理化）

施設管理者，技術者，研究者，学会

新たに建設する道路施設の耐災性を合理的に向上させるための設計法の合理化と新しい工法を幅広く開発していく必要がある。

新たに建設される道路の盛土・擁壁・切土などの土構造物の設計法と施工法は、地盤工学の新しい知見を積極的に取り入れてより合理的にしてゆく努力を継続する必要がある（たとえば、盛土の締固め管理法の合理化とそれに対応した設計せん断強度の採用や、すべり変位に基づいた安定性の判定など）。また、新設構造物の耐災性を効果的に向上できる工法（たとえば、排水工、盛土・地山補強土工法、地盤改良工法等）についても開発していく必要がある。

提言 3.2.1-7（専門的知識の提供、支援）

技術者，研究者，学会

地盤工学の専門家ならびに地盤工学会は、事前通行規制の解消の検討、防災点検、日常点検、耐災設計・対策などにおいて、専門的知識を道路管理者に提供し、災害危険性や対策に関する判断を支援していく必要がある。

事前通行規制区間の解消が進まない理由の一つに、対策した上流側の自然斜面の災害危険性及び、発生した場合の道路に対する影響（到達範囲、ダメージ）などの判断が、現場事務所の事前通行規制区間検討委員会などで、高度な専門的知見に基づいて慎重に行わなければならないことが挙げられる。また、日常点検においても、対策に進まなければならない重大な変状とそうでないものの判別は、専門的知見なくしては迅速に行うことは困難と考えられる。地盤工学の専門家とその全国組織である地盤工学会は、

要請に応え、道路防災ドクターあるいは検討委員会の事務局やメンバーとして、これらの道路管理者の判断根拠となる専門的知識を提供していかなければならない。

提言 3.2.1-8（社会への貢献）

技術者，研究者，学会

地盤工学の専門家ならびに地盤工学会は、切土・盛土のり面・擁壁や道路の通行機能に大きな影響を及ぼす自然斜面の健全度を合理的に点検・判定できる手法を開発し、社会資本の維持に貢献していく必要がある。

社会資本の整備に伴い人々の生活が向上したこととともに、維持管理していくべき自然の斜面や切土・盛土のり面・擁壁の数量も増加し、それに対応して対策工などの維持管理コストも増大している。これら膨大な土構造物の健全度評価は、経験を積んだ技術者と言う人的資源の判断に頼っていることが現実である。例えば、盛土のり面においては、現在の段階ではのり面の表面でしか健全性を把握するしか方法はなく、近年の豪雨や地震災害においても盛土内への浸透水の影響が大きいことが指摘されているものの、盛土内部の健全性を評価する実務的な手法はまだ、研究途上といってよい。

今後の健全性評価は、施工や点検データおよび災害データの蓄積に基づいた数値による客観的な評価手法の開発や、一次評価としてのIT技術を利用した点検機器の開発と活用により、崩壊した場合には社会に対する影響が大きな自然の斜面や切土・盛土のり面・擁壁の健全性の客観的な評価と目視点検による評価に基づいて総合的に検討し健全性を判定していくべきと思われる。健全性を判断するにあたっては、専門家による診断が重要であり、そのためには、点検に対する専門技術者の育成が早急な課題である。

3.2.2 鉄道

提言 3.2.2-1（新設土構造物の耐災性能向上の推進）

施設管理者，技術者，学会

性能設計における作用力を十分吟味し、より耐災性が高い土構造物の建設の推進に努める必要がある。

鉄道の土構造物の設計では、既に自然外力として地震、降雨を作用力とした性能設計法が導入されている。しかし、設計作用力は将来の気候変動も考慮した上で十分吟味し、建設される土構造物はより耐災性の高いものとする必要がある。このためには、地盤技術者がより合理的な設計方法の開発を継続して進めることも必要である。特に、地盤・盛土の物性の設計値次第によって、要求される性能を実現するための構造物の設計の内容が大きく左右されるため、高い精度の設計用の物性値の設定のための原位置での地盤調査法および室内での試験法の開発を進めることも必要である。

また、高架橋などのコンクリート構造物、橋梁などの鋼構造物、トンネルの他に土構造物などの様々な構造物が線状に存在する鉄道構造物の特殊性から、土構造物を含めたすべての構造物の耐災性をほぼ同一のものとする設計手法の導入も必要である。

提言 3.2.2-2（維持管理技術の高度化および効果的な事前防護対策技術の導入）

施設管理者、技術者、研究者、学会

定期的な検査手法の高度化を進め、盛土、切土、関係する自然斜面に対して計画的な防護対策を推進するとともに、コストパフォーマンスの高い対策技術の開発を進める必要がある。特に、線区全体の耐災性向上のためにリスクアセスメント手法の導入を積極的に推進する必要がある。

鉄道では、安全な輸送確保のために構造物の定期的な検査が行われ、健全度が低下している箇所に対して必要な箇所から順次防護対策を行うことが一般的である。検査では目視による調査結果に基づいて判定するケースが多いが、より効率的な検査とするために、モニタリング手法（たとえば重要監視箇所でのヘルスマモニタリングの導入）の技術開発を進め、検査の効率化、高精度化によって維持管理技術の高度化に努める必要がある。特に、経年とともに劣化が進行する切土のり面や吹付コンクリート等ののり面保護工の劣化の進行度を予測し、どの時点で補修・補強することが最も効果的かを判断するライフサイクルコストの導入に向けた技術開発も、今後の維持管理技術の高度化に必要である。

一方、健全度が低いと判定された箇所には、その健全度や線区の重要度に応じて計画的に事前防護対策が行われてきた。今後も継続してこれを進めることが防災・減災にとって重要である。しかし、単に健全度のみならず、輸送量等の線区の重要性や対象箇所の被災確率、被災時の損失などを考慮して危険度を評価するリスクアセスメントの導入も必要である。

さらに、コンクリート構造物、鋼構造物、トンネルのみならず土構造物など多くの土木構造物全体を俯瞰して、最も効率的な災害防止対策を決定する意思決定手法の開発の推進も必要である。このためには、対策前（現状）の耐災性、対策後の効果を定量的に評価する手法の開発が不可欠である。自然斜面の耐災性は、地山の構造、土質などの不均質もあり、未だに耐震・耐雨性の評価結果の精度に課題が残されており、これを精度良く評価するための地盤調査の高精度化や地山物性値のバラツキの定量的評価方法も必要である。

提言 3.2.2-3（災害時における強化復旧の定着と高速復旧方法の技術開発）

行政、施設管理者、技術者、研究者、学会

被災した盛土や切土等の土構造物及びのり面構造物は、可能な限り早期の復旧と必要に応じた構造的に強化した復旧の考え方を定着させるとともに、そのための環境整備を推進することが必要である。

被災した土構造物の復旧においては、従来は、早期に鉄道の輸送空間を確保する目的から機能的と同時に構造的にも原形復旧されるケースが多く、被災前よりも強い構造物に復旧する強化復旧が行われることが少なかったといえる。構造的に原形に復旧する場合は、復旧以後に被災したとほぼ同様な外力が作用した場合には再度崩壊に到ることを意味している。このことから、防災上の観点からいえば、より強度の高い構造物をより高速に復旧することが望ましいといえる。したがって、重要度の高い線区等では、被災後の復旧に際しては効率的で経済的な方法で構造的に強化して復旧に努めることが必要であると同時に、短期間でこれを実現する高速復旧方法の開発が必要である。

一方、強化復旧による固定資産増に対する減免措置や災害補助金の原形復旧の原則の変更など、強化復旧し易い環境を整える行政的な措置が望まれる。

提言 3.2.2-4（リアルタイムハザードマップの整備と減災）

施設管理者

地震時、豪雨時に多種多様な形態の被害がみられる鉄道では、危険度をよりの確に評価する技術開発と地震直後、降雨中の被災危険度を示すリアルタイムハザードマップの整備を推進する必要がある。

材料、構造形式などが様々である構造物の集合体である鉄道では、地震時、豪雨時には、多種多様な形態の被害がみられる場合が多い。こうした被害に対する危険度をよりの確に評価する技術開発を進めることが必要であると同時に、多くの形態を網羅した地震直後の被災状況、降雨中に時々刻々、場所的に変化する被災危険度を的確に示すリアルタイムハザードマップの整備の推進が必要である。

提言 3.2.2-5（広域災害に対応した運転規制方法の導入と他機関との連携）

行政、施設管理者、技術者、学会

鉄道に被害をもたらす外力は、道路、高速道路、生活空間に被害をもたらす外力と同じであることから、統一した規制方法の導入とそれぞれの機関における危険度に応じたより合理的な避難空間の確保に努めることが必要である。

豪雨時には、一般的に危険雨量に達した場合には列車の運転が抑止され、旅客の安全が確保される。同様に道路などでは通行規制が行われ、住民に対しては警戒避難の勧告・指示が自治体から出される。警戒すべき外力は、対象施設が異なっても一般的には同じであり、災害をもたらすと推定されるポテンシャル（降雨量）を統一した基準とすることは、総合的な避難経路の確保やその後の物資などの輸送路確保のために有効である。

将来予測される地球温暖化に伴う気候変動によって被災形態が現在と変化してくることも十分に視野に入れ、発災ポテンシャルの定量的評価技術の推進をはかるとともに、提言 3.2.2-4 で述べたリアルタイムハザードマップとも連携をとり、鉄道も他機関と連携をとることで、より安心・安全な輸送体系とすることが必要である。

3.2.3 砂防

提言 3.2.3-1（地盤内調査手法の開発と普及）

行政、技術者、研究者、学会

自然斜面の崩壊等に起因する土砂災害による被害を軽減する手法の更なる高度化を図るために、地盤の内部の物理的な状態を効果的で効率的な調査ができる手法の開発を進める必要がある。また、改良が進んでいる簡易貫入試験機等により、表層土壌の物理的な状況を十分に把握し、合理的な対策計画を策定することを心がける必要がある。

これまで、自然斜面の崩壊等による土砂災害の発生の予測は、誘因としての「降雨」の積算値や強度

を指標として判定されてきた。その成果としての「土砂災害警戒情報」も全国的に運用され、一定の目標を達成したと言って良い。しかし、「降雨」のみに基づいた判定では統計的な危険度評価に留まらざるを得ない。そのため、今後さらに土砂災害の発生予測の精度向上を図るためには、地盤の内部構造、土質、土壤水分等の物理特性の状態を把握し、斜面・のり面の安定計算に活用できるようなデータを取得をする必要がある。

しかしながら、地中のデータを取得するには多大な手間と費用が掛かる。箇所毎の代表値を把握するためにも、多数の観測点を設ける必要がある。したがって、土砂災害危険度判定に物理的評価の手法を活用するためには、効果的ではあるが効率が良い簡易な地盤内調査手法を開発する必要があり、そのための機器開発が望まれる。

一方で、表層土のN値等を計測する簡易貫入試験装置には最近改良が進んだものもあり、比較的簡便に効率良く多数のデータを取得することが可能になってきた。これらの地盤情報に基づいて想定した外力に対して崩壊の規模を判断することにより、自然斜面の崩壊の対策において施設の配置計画等の合理的な設計が可能になることから、これらの地盤調査手法を標準化し、普及させることが重要である。

提言 3.2.3-2（土砂災害警戒情報の高度化と活用）

行政、技術者、学会

土砂災害警戒情報による被害軽減の実効性を高めるために、地域・箇所等の特性を反映できる手法を開発する必要がある。また、住民の避難行動が円滑に進められるように、情報の意義を住民・防災担当者に周知徹底するなど事前の基盤作りを行う必要がある。

土砂災害の警戒情報は、現在までに全ての都道府県で運用がなされており、土砂災害による被害を軽減するためのソフト対策の重要な柱となっている。

しかしながら、危険度判定の精度の向上や住民避難の実効性向上のためには、まだ多くの課題がある。例えば、多くの都道府県で判定に用いている土壤雨量指数の算定式（タンクモデル）の係数は、全国一律の値が使われているなど地域や箇所の特性を必ずしも十分に反映しているわけではない。土壤雨量指数の算定に使われるタンクモデルの係数に地質、地形等を反映させるなどして適正化した手法の開発が望まれる。

また、この情報が住民の適切な避難行動につながるようにするための啓発・教育活動にも力を入れる必要がある。

提言 3.2.3-3（効果的な災害対策）

行政、技術者、研究者、学会

限られた予算の中で、土砂災害による被害をより効率的に軽減するためには、箇所ごと、あるいは計画全体の対策費用を低減する必要がある。そのためには、異なる条件の個所に対して効果的な様々な工法の開発、ハード対策・ソフト対策の合理的配分、初期変状の把握など、多面的な対応を検討して行く必要がある。

土砂災害防止のためのハード対策としては、効果に対してコストが低い、すなわち効果的な工法・工夫が種々行われてきた。例えば、透過型砂防設備の開発、砂防ソイルセメントの開発、鉄筋挿入による地山補強土工法やジオテスタイルを用いた盛土補強土工法による斜面安定化手法の開発などが挙げられ

る。他にも、砂防えん堤堆砂敷での除石工や斜面对策における詳細な表層土厚調査などにより計画論を含めた対策効果の向上も行われている。対象個所の条件が多様であることから、これらの様々な技術開発は、今後も続けられる必要がある。特に、一定の変形を許容できる構造物を活用したのり面・斜面の安定化工法の開発とその適用方法の検討が当面の課題と考えられる。

一方で、ハード対策とソフト対策とのバランスをとることが重要であり、そのためには、これら質の違うものを組み合わせた場合のリスク軽減効果を評価する手法を開発することが重要である。

また、全ての危険箇所ですべて事前対策を行うことは現実には困難であることから、斜面・のり面の変形を初期段階で検出するセンサの開発や、崩壊等の前兆現象に関する調査・研究も引き続き進める必要がある。さらに、人工衛星からのリモートセンシングによる広範囲での危険斜面を抽出する技術の開発も望まれる。

提言 3.2.3-4（地震時の自然斜面等の崩壊危険度評価の高度化）

技術者，研究者，学会

大規模地震による災害が懸念されており、地震による自然斜面等の崩壊の危険度を適切に評価することは被害軽減に必要と考えられる。そのため、既往の評価手法の精度を向上させるための調査を進める必要がある。

我が国では、近い将来に大規模な地震によって様々な形態の被害を被る懸念が指摘されているが、これまで地震時の土砂災害については、発生箇所の想定が困難であることから、事後対応が殆どであった。しかしながら、土砂災害の危険箇所において急傾斜地崩壊防止施設や砂防設備の防災効果が既往の地震時に認められていることなどから、危険箇所における優先度を決定することが可能になれば、耐震対策も考慮した事前対策が可能になると考えられる。

地震時の斜面の崩壊危険度を評価する手法として、地震加速度・斜面勾配・斜面曲率を用いた判別式なども提唱されているが、これらに地質条件等を加えるなど、さらに精度向上を図ることが望まれる。

提言 3.2.3-5（地球温暖化の影響予測と対策手法の検討）

行政，技術者，研究者，学会

地球温暖化による気候変化の可能性が指摘されており、降雨等の外力の変化が土砂災害の発生状況に与える影響を予測し、長期的に必要な対策を検討しておく必要がある。

地球温暖化による気候変化が土砂災害の発生に及ぼす影響としては、降水量の時間的、空間的变化があり、その結果として土石流、地すべり等の土砂災害の誘因となる短時間雨量や総雨量の増加、土砂災害の発生頻度の増加、発生タイミングの変化、発生規模の増大などが考えられる。発生頻度の増加の結果としては、崩壊発生分布域の拡大や土砂災害危険箇所以外での発生や同時多発的な土砂災害の増加も考えられる。特に、これまで大雨が少なかった地域で想定を超える降雨が発生した場合は、激甚な土砂災害が発生する恐れがある。発生タイミングの変化の結果としては、降雨の降り始めから崩壊発生までの時間が短縮し、避難に充てられる時間が短くなることが考えられる。発生規模の増大の結果としては、深層崩壊の発生頻度の増加による土砂流出量の増大や、土石流等の到達範囲の拡大が想定される。これらの状況変化をもたらすメカニズムの研究を進めることが望まれる。

気候変化に関しては不明確な部分も多くあり、状況の変化もゆっくりと進んで行くものと考えられる。

しかしながら、変化をもたらす営力自体に対抗することは困難だと思われ、どんなことが起こり得るのかを想定し、壊滅的な危機を回避する方法を考えておくことは重要であろう。土砂災害現象の変化を予測するためには、より詳細なデータ分析等を行う必要があり、今後も精力的な研究が進められることが期待される。

3.2.4 宅地

提言 3.2.4-1（現地調査手法と対策方法の開発）

技術者，研究者，学会

盛土造成宅地の危険度評価を実施するうえでは、不均質な材料からなる盛土地盤の現地調査手法や、切土と盛土の境界を正確に判別できる現地調査手法の開発が必要である。また、対策費用の負担は住民であることを考慮し、説明責任が果たせる確実に経済的な対策方法の開発が必要である。

既設の盛土造成宅地は、宅地造成等規制法制定前の昭和 36 年以前に造成されたものが多く、盛土の締固めや排水設備が不十分である場合が多い。さらに、安定性が低い擁壁に隣接して不適切な基礎構造で建物が建設されている場合がある。また、岩塊混じり土や粘性土、廃棄物の混入等、不均質な地盤を形成している場合が多いため、危険度評価を実施するための有効な現地調査手法が存在しないのが実情である。簡便で精度の良い調査法の整備が急がれる。あわせて、地盤あるいは盛土の液状化やのり面崩壊及び盛土全体の滑動崩落に対する経済的な対策方法を開発することが急務である。また、対策工法については、新設の耐震性が高い盛土を建設する場合に比べて、既設の造成宅地の本体・のり面・擁壁に耐震強化の対策を施すことは難しく、この面における技術開発が遅れているので、今後早急に開発していく必要がある。

また、対策工事費は住民が負担することから、盛土の範囲及び対策工事の対象となる範囲を正確に把握できる現地調査手法の開発や、行政と住民の責任範囲の明確化及び住民との合意形成手法の確立が求められている。

一方、道路、河川、鉄道及び宅地等、それぞれの施設により耐震設計及び対策の考え方や基準が異なる。宅地においては、「宅地造成等規制法」（平成 18 年 4 月改正）を適用することとなるが、大規模な盛土造成地においては、複合的に様々な施設が含まれるため、いずれの基準を適用するか、もしくは優先するかで対策やその費用負担割合が大きく異なると言う問題が生じる可能性がある。このため、危険度評価手法の共通化または、関連付けが必要である。

提言 3.2.4-2（耐震補強のための施策と資料の保存）

行政

既設の盛土造成宅地や擁壁等については、耐震補強の公的助成の拡大や損害保険適用の対象施設への組み入れ拡大などの諸施策の対策が望まれる。また、宅地造成に関する図書は、宅地売買等に伴う所有権等の移動の際、引継ぎ書類として、継承の義務化等を図り、永年保存とする必要がある。

戸建て住宅等の小規模な宅地所有者は、盛土と擁壁を対象とした危険度評価に関する知識・関心が希

薄であるため、積極的な地震対策には限界がある。今後、地震対策の実効を上げるためには、既存構造物の耐震診断と耐震補強や新設構造物の耐震対策の必要性とその方法に関し、広く周知すると共に、宅地耐震化推進事業の対象以外にも拡大した公的助成や損害保険適用の対象施設への組み入れ拡大などを検討する必要がある。

また、過去に造成された宅地については、地盤データの保存状況が悪く造成前の地図すら残っていない所も多い。現在は平坦な宅地となっても、原地形での谷を埋め立てた谷埋め盛土である宅地は全国に多く存在し、強地震動による滑り崩壊や沈下を起こす可能性がある。宅地造成に関する図書（造成平面図、構造・安定計算書、地盤調査報告書等）は、宅地売買等に伴う所有権等の移動の際、引継ぎ書類として継承することを義務化し、また、過去に許認可申請があったものや、新たに大規模盛土造成地の変動予測調査を実施したものについては、情報を入手できるように公共機関においてデータベース化しておく必要がある。

提言 3.2.4-3（情報の公開）

社会、行政

行政が実施する盛土造成宅地の危険度評価（ハザードマップ等）は、広く住民に公開し、住民が災害リスクを認識できるようにする必要がある。あわせて、調査内容や耐震対策の重要性に関する情報も公開し、住民が対策の必要性を認識できるようにする必要がある。また、新規宅地購入者に対しても、地盤情報を広く公開し、当該宅地の災害等に関するリスク情報を容易に知ることが出来るようにする必要がある。

全国には無数の造成宅地があるが、その大半が民間主体で古い時代に造成され、耐震設計がされていないケースが多い。それらの造成宅地は、地震による地盤あるいは盛土の液状化や盛土の本体・のり面・擁壁および宅地背後の切土のり面や自然斜面の崩壊、または谷埋め盛土の滑動崩落などや豪雨による盛土・擁壁の崩壊によって住宅やライフライン等に大規模な被害が生じることが危惧される。

災害等に関するリスク情報については、その公表の仕方に細心の注意が必要である。災害等に関するリスク情報と共に調査や対策に関する情報もあわせて公表し、住民の恐怖心を煽るだけでなく、有効な手段を講じることでリスクを回避することは可能であるとの安心感も同時に共有化しなければ、地域一体となつての宅地の耐震化等の耐災化、の推進事業は困難である。

提言 3.2.4-4（施主への説明責任）

社会

住宅建設業者は、住宅を建築する際は、建物の安全に加え、その基礎地盤である宅地に関する安全性についても、施主に説明することが必要である。

近年、建物については耐震診断や耐震補強が行われることが多くなってきているが、診断にあたって、説明者は施主に地盤や基礎構造の重要性を十分理解してもらうように努める必要がある。あわせて、安全性の高い擁壁と適切な締固めと排水工の設置により安定な盛土を建設する必要がある、またその健全性を把握し、良好な宅地及び建物の供給に努める必要がある。

住宅建設業者は与えられた敷地に建物を建築するものであるが、宅地全体の安全性についても広い視野に立った評価能力が求められる。過去の裁判事例で、「造成地盤が原因で建物に被害が出たことが明らか

な場合でも、地盤状況を勘案して基礎を設計すべきものである」とした判例がある。建物を建設する会社は、その基礎地盤を調査し、地盤状況を勘案して基礎構造を設計する責任があるので、宅地を支える盛土や擁壁についても、その健全性について評価を施し、施主に説明して対処方法などを勘案していく必要がある。また、必要によって、宅地背後の切土・盛土と自然斜面の地震時・豪雨時の安定性も確認する必要がある。

既設建物等の評価にあたっては、想定される外力に対して所定の機能を保持し、住民の生命を守れるか、維持管理をどのように行っていくかなど、きめ細かい対応が求められる。

提言 3.2.4-5（宅地売買に際しての地盤情報の継承）

社会

宅地の売買においては、販売者から購入者へ対して地盤情報を継承する制度の確立が望まれる。

宅地の売買においては、購入契約時に地盤情報を確認できないことが多い。このため、宅地の売買条件として、切土工事や盛土造成の履歴など、地盤調査データ等の地盤情報を開示し、それらの情報を引継ぎ書類として継承していくことを契約事項として義務化する制度を確立し、宅地所有者や住民等が自ら地盤のリスク管理できる社会の構築が望まれる。

4. その他社会基盤施設等

ここで対象とするのは、2.治水・利水施設と3.切土・盛土および自然斜面で触れなかった各種社会基盤施設と建築施設である。

4.1 各種社会基盤施設に対する共通の提言

提言 4.1.1 （耐震診断技術・耐震補強技術の確立）

地震時における地盤や施設の耐震診断技術および耐震補強技術を確立する必要がある。
また、これらの技術については、施設を供用しながら実施可能であるものが望ましい。

施設ごとに異なる耐震診断技術・耐震補強技術について、それぞれの施設の特徴を考慮した技術の開発が必要である。補強すべき箇所を実用的精度で見出すことの可能な診断技術や地震に対する安全余裕度の小さい基礎の耐震補強技術、施設を供用しながら実施可能な耐震補強技術等を確立することが重要である。また、施設台帳、地形情報、地盤情報等の整備とデータベース化を行い、施設の補強履歴や耐震性能が常に認識可能な体制を構築する必要がある。耐震化促進に向けた行政的配慮も必要である。

提言 4.1.2 （性能設計法の導入推進と施設間の設計法の整合性確保）

耐震性に対する性能設計において、異なる施設間で共通の事柄、基本的事柄については整合性が得られるようにする必要がある、そのための設計基準類の統一、ガイドラインの作成が望まれる。

現行の耐震設計では、設計基準を定める機関ごとに個々の条件を勘案して設計法が定められている。しかしながら、例えば、設計地震動や地震時土圧などの基本的な作用や作用係数の考え方などは、構造物の種別を問わずに共通で取り扱われるべきである。設計地震動の設定には、施設ごとの技術的・歴史的背景があることは事実であるものの、同一場所で設定される地震動が、明確な理由なしに異なるということは好ましいことではない。地震観測技術、地震解析技術等が進歩した現在、施設ごとに異なっている設計地震動の統一へ向けた検討を開始する必要がある。地震基盤、工学基盤の取り扱いについても統一したほうが望ましい。また、設計に用いる地盤・土質材料の物性の諸数値や応答値の算定法、材料係数など、抵抗側に関する事柄についても共通で取り扱われるべき事項が多い。

さらに、例えば、共同溝などの埋設構造物に着目した場合、カルバート、開削トンネル、シールドトンネル、発電所における冷却水ダクトなどは、類似の構造物であることから、照査手法を各々個別に検討するだけでなく、基本的な情報・知見を相互に共有することが望まれる。

以上の点を鑑みながら、土構造物をはじめ各種施設の設計法の性能規定化に関するガイドラインを早急に整備し、異なる施設間の設計に整合性が得られるようにする必要がある。

提言 4.1.3（地盤情報の公開と共有）

地盤情報は国民共有の公共的情報である。国民の自由な活用を図るため公開することを原則とすべきである。

地盤情報は、地理、地形情報と同じく、防災対策を推進する上で基本的な情報のひとつである。地盤情報が広く公開され有効に活用されることによって地震対策が大きく進展するのであって、地盤情報が囲い込まれるようなことがあってはならない。官民を問わず、所有する地盤情報は広く公開し提供され共有すべきである。広範なエリアに施設を保有する各種ライフライン施設管理者間での地盤情報の共有も同様である。

提言 4.1.4（施設管理者間の連携）

道路や通信施設、共同溝など、異なる施設が同一空間に存在する場合の施設管理者間の連携をさらに進める必要がある。

各種の社会基盤施設の高度利用が進むなか、道路施設に重要な通信施設が敷設されるなど、同一施設内に複数の施設管理者が関与する付帯施設が併設される場合が増えている。このような場合、個々の施設の要求性能や機能、重要度を横断的に考慮しながら施設全体としての耐災性を設定する必要がある。そのためには、各施設管理者間における情報の共有、連携をさらに推し進める必要がある。

提言 4.1.5（耐震設計における簡便法や高度数値解析法の精度検証）

簡便法や高度数値解析手法の妥当性検証のためのデータを蓄積し、性能設計の精度を向上させる必要がある。

数値解析技術を駆使して構造物や地盤の挙動解析を行うことがごく普通になってきたが、それをどのように設計に活用するかは別問題である。適用した解析モデルと設定された照査値(許容値)が、施設や構造物の性能をどのように担保しているのかが説明されなければならない。すなわち、数値解析モデルおよび結果の妥当性を検証するための現場データ等の蓄積と分析が不可欠である。このことは、構造物の設計が性能照査型に向かっていくほど重要な課題となっている。

たとえば、土構造物の地震時の具体的な応答値（変位、変形、破壊安全度など）を算定するためには、詳細な動的解析などが必要となる。しかしながら、RCや鋼などの材料と比べて、土の応力・ひずみ関係（構成則）には可変、多様、複雑という特徴がある。また、土構造が持つ簡便性という特徴から考えると設計が複雑となることは現実的ではない。鉄道の耐震基準を例にとった場合、盛土の地震時変形量はNewmark（ニューマーク）法で、擁壁の安定性は静的非線形解析で、地盤変形は応答変位法で、比較的簡便に応答値を算定しているが、解析精度や入力パラメータの設定に関わる課題が残っていることも事実である。これら簡便法による解析事例の蓄積や高精度化についても、研究を推進する必要がある。

山岳トンネルの設計においては地震時の検討は基本的には行っていないが、シールドトンネルでは、軟弱地盤、立坑との接合部、複合地盤、土被り厚が急変等の場合には必要に応じて地震の影響を検討することとなっている。地震時の検討は一般には応答変位法により行われており、応答速度スペクトル法

や地盤応答解析等により求めた地震時の地盤変位を、ばねを介して骨組解析モデルに入力することによりトンネルの構造計算を行うことが多い。また、都市部山岳工法トンネル（都市 NATM）においても、地質が特にやわらかい場合、地盤の剛性が急変する場合等では、応答変位法や動的 FEM によって地震の検討が行われる場合がある。性能設計における解析事例の蓄積、解析の簡便化、解析精度の向上に取り組まなければならない。

提言 4.1.6 （旧基準適合施設の耐震診断・耐震補強とそのための行政的配慮）

既存の旧基準で設計された施設に対する耐震診断と耐震補強を推進する必要がある。耐震化促進のためのシステムを構築し、行政も含めた施策を整備する必要がある。

【道路】既に検討が進められており、緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラムが平成 19 年度に完了した。現在、特に優先度の高いルートにおける一層の耐震性の向上が目標とされ、具体的な補強プログラムが検討されている。また、将来の道路橋基礎の耐震補強プログラムの策定を念頭に、旧基準で設計された既存の橋梁基礎に対して、耐震補強の必要性の有無や優先度を判定する耐震診断のための脆弱度簡易判定法の開発が行われている。

【鉄道】民間企業である鉄道事業者は、経営上の制約から、短期間で集中的に対策を施すことはほとんど不可能である。したがって耐震対策を施す際には、被害想定を適切に行い、復旧が長期に及ぶ箇所、重要度が高い箇所から順に継続的に行うことになる。また、耐震強化した施設の固定資産税が増加することがないように固定資産税の減免や補助金の適用など行政上の配慮も必要と思われる。

【電力施設】我が国の電力流通設備は、日本経済の高度成長期に大量の設備が導入された。近年、この時期に導入された設備が高経年期を迎える時期を迎え、設備更新を含む維持管理の合理化・効率化がアセットマネジメントの観点から必要となっている。これに対して、経年リスクと地震リスクは、同時に考慮されることはこれまでほとんどなかった。たとえば、変電設備については、「剛構造化」を主とした耐震対策を実施しているものの、1980 年以前に設置された変電機器の多くは基準改定後も運用されており、1995 年兵庫県南部地震では、改定以前に設置された変電機器に被害が集中した。また、このような背景を踏まえ、今後は、対策すべき変電機器を合理的に選定するなど実務者のアセットマネジメントを支援する観点からの検討がますます必要となっている。

【通信施設】通信事業が民営化されておよそ四半世紀が経過するが、日本の通信施設における土木設備の多くは民営化前の電電公社時代に建設された設備である。このため、古くて耐震性能に劣る設備により最新の通信ネットワークサービスが支えられているのが現状である。維持管理技術に重点を置いて技術開発が進められているが、すべての老朽設備や耐震上十分でない設備に対応するのは困難であり、効率的な経年設備の維持管理技術と耐震化対策の確立が望まれる。

【共同溝】耐震補強工法として、「鋼矢板締切工法」であるが、他の構造物と交差する地点では適用しがたいという課題があり、あるいはより経済的な対策工法の開発も求められている。併せて、対策工の設計精度を高めることは、耐震対策事業のコスト縮減の観点からも重要である。

【農業用パイプライン】高度成長期に布設された施設の性能低下が顕在化し始めており、明らかに耐震性能は低下してきている。幹線の大口径パイプラインの耐震対策については、維持管理や老朽度調査技術に重点を置いて技術開発が進んでいるが、路線全体を改修するには経済的にも技術的にも合理的な

耐災対策ではない。過去の地震被害が、パイプラインの曲部や地形・地質の変化する境界部に集中していること、あるいは地盤の液状化の危険性の高い路線に甚大な被害が顕在化しやすいことを踏まえた、具体的な対策技術の開発とその有効性の評価が重要である。さらに、具体的なパイプラインの拔出し量などの被害の程度を定量的に評価できる手法開発とその信頼性の確認が期待される。

4.2 施設別提言

4.2.1 建築施設

提言 4.2.1-1（建築基礎の設計における大地震の考慮）

社会，行政

建築物基礎の設計において大地震時（レベルⅡ設計地震動時）への対応を図る必要がある。

建築物基礎の設計方法は建築基準法によって規定されており、一般的には、短期荷重（レベルⅠ設計地震動に対応）に対する許容応力度法によって設計が行われている。これまでの地震による被害経験などから、大地震時における基礎の破壊や損傷が、直接的に人命の損失につながっていないことを第一義の理由として、地震時の検討は短期の荷重に留まっている。

しかし、基礎構造の損傷は、傾斜等の発生による建築物全体の使用性の損失に直結し、被災後の再使用を阻む大きな要因になっていることは周知の通りである。また、住宅の長期使用や既存建築物のストックの有効利用を図る等の社会的要求は、政治的課題にもなりつつあり、大地震時（レベルⅡ設計地震動時）に人命の確保に加えて、財産の保全を図ることは、我が国の急務であり、新たに基礎構造の耐震化を義務化することや基礎構造の耐震補強を推進することを提案する。

提言 4.2.1-2（建築分野における基礎・地盤技術者の育成と資格制度の整備）

行政，学会

建築分野における基礎・地盤技術の普及と地盤技術者の活躍を促進する必要があり、そのための制度が整備される必要がある。

建築物の設計に関連して、建築物の安全性を担保する上で地盤工学や基礎工学の分野が寄与するところが多い。特に建築物の立地条件、敷地の地盤条件については、地すべり、土砂崩れ、土石流などの土砂災害、地盤の液状化や宅地盛土の滑動崩落、擁壁の崩壊、あるいは、軟弱地盤上の宅地の沈下や基礎構造の選定などの以前からの検討対象である地盤工学上の諸問題に加えて、新たに地盤の汚染や交通による地盤震動など住環境整備の観点からも地盤技術者の必要性が増しつつある。

しかし、建築分野における当該技術の普及・実践は、学校教育におけるカリキュラムが不十分であることなどにも起因して、建築生産を担っている一級建築士、建築主事を始めとして、一般建築技術者においても、地盤工学関連技術の習得は、不十分であると言わざるを得ない。建築施設における耐震化の遅れも、地盤技術者の不足が一因として考えられる。したがって、建築分野における基礎・地盤の安全性の向上及び地盤技術の普及を推進する観点から、建築分野に置ける「地盤・基礎構造士」制度（仮称）が整備される必要がある。

4.2.2 道路橋

提言 4.2.2-1 （動的解析の設計体系への取り込み）

技術者、学会

高度なモデルを用いた動的解析の設計体系への合理的取り込みが必要である。

地盤の応力ひずみ関係の非線形化や変位、部材の損傷の進展が基礎の変位や復元力に与える影響を考慮することが可能な高度なモデルを用いた動的解析が求められている。既に、様々なモデルの開発が多く、機関で行われており、地盤調査に注力し適切なモデル化を行えば単純な構造については残留変位までも追跡することが可能な状況になりつつある。今後は、技術の高度化（モデルの精度向上）に加えて、今までに開発されてきた基礎の動的解析を、どのように構造物の設計体系に取り込んでいくのかが課題になる。

提言 4.2.2-2 （耐震補強技術の確立）

技術者、学会

大地震に対する安全余裕度の小さい基礎の耐震補強技術を確立する必要がある。

大地震に対する安全余裕度が相対的に小さいと考えられる基礎は、①多くは過去の基礎の施工能力に起因しているものであるが、②良質な支持層に根入れされていない基礎、③過去の既製杭など、横拘束鉄筋の量が少なく、部材のじん性およびせん断耐力が劣る基礎、および④地震の影響により不安定になり、過大な残留変位が生じるような地盤にある基礎（たとえば、斜面上にあり地震時に斜面が安定しないことが想定される場合や、水際線近傍にあり液状化に伴う地盤の側方流動の影響を受ける場合）などである。これらの基礎を耐震補強する技術を確立する必要がある。

提言 4.2.2-3 （地盤改良における管理技術精度の向上）

技術者、学会

構造物の基礎となる支持地盤の改良にさいして、施工管理技術および品質管理技術の精度向上を図っていく必要がある。

構造物の支持地盤を改良する場合は、支持される構造物の性能を担保するために、地盤工学特有の地盤改良技術であっても、構造設計的な観点から管理技術の精度向上を図っていく必要がある。たとえば、改良地盤の強度の最低値を保証するだけでなく、平均値やばらつきも提示するなど、通常の構造物と同等の管理水準にまで引き上げていくことが望ましい。

4.2.3 鉄道施設

提言 4.2.3-1 （性能設計法の提案）

技術者、学会

地山特性の影響が大きな構造物（トンネル、斜面など）の性能設計手法を、学会が中心となって提案する必要がある。

鉄道のように高架橋や橋梁、トンネル、盛土、擁壁、切土など、異種の構造物が連なる線状構造物においては、一ヶ所の崩壊がシステム全体の機能不全につながるため、それぞれが違った性能を有するこ

とは基本的には好ましくない。例えば、同じ地震動であっても、盛土と高架橋では、動的な応答や破壊形態が異なるが、列車の安全性に関しては構造物の形式が異なっても等価な性能であることが重要となる。その意味において、基礎構造物や土構造物といった地盤構造物といえども、他の構造物と同一のルールによって性能が評価できるように技術基準を整備する意義は大きい。本体の安定性が相対的に低かったり支持地盤や地山の特性の影響が大きい地盤構造物に対する性能設計について、地盤工学会での提案が待たれる。

提言 4.2.3-2 （効率的・経済的耐震補強法の開発と適用）

技術者，学会

耐震補強の適用にあたっては、従来の技術の延長上で補強を考えるのではなく、より効率的で経済的な補強を開発し適用する必要がある。

基礎構造物の補強法としては、①基礎本体の補強と②周辺地盤の改良に分類される。基礎本体の補強には基礎の拡張（フーチング拡大や増し杭）、地中連壁系の基礎による補強（シートパイル基礎など）などの施工実績がある。しかし、基礎構造物の補強は、施工条件や環境条件によって高額なものとなるため、適用に当たっては新設工事以上に注意が必要となる。したがって、従来の延長上で補強を考えるのではなく、より効率的で経済的な補強を開発する必要がある。

提言 4.2.3-3 （地震増幅度の高精度評価）

行政，技術者，学会

大深度地盤での地震増幅度の高精度評価を検討すべきである。

鉄道の場合、設計地震動としてレベルⅡ地震動スペクトルⅡを用いて耐震評価を行うことで都市部直下地震に対する対応は可能と考えられる。しかし、中央防災会議では、一連のシナリオ地震に対して1 kmメッシュで地盤データと基盤位置（ $V_s=700\text{m/s}$ ）での地震波形が提供されるため、詳細に検討を行う場合には1 kmメッシュの基盤地震波と地盤データを用いて動的解析を実施することが必要となる。

ここで、中央防災会議での基盤の定義が $V_s>700\text{m/s}$ であるのに対して、設計で用いている工学的基盤面は通常 $V_s>400\text{m/s}$ 程度である。既に港湾施設では検討が推進されているが、これまで設計で扱っていない400～700m/sの地盤のモデル化（地層構成の想定や、深い地盤の動的非線形特性）の精度を向上させる必要がある。

提言 4.2.3-4 （地盤調査法の高度化）

技術者，学会

地盤の変形・強度特性をより正確に把握するために、高精度で効率的な地盤調査法を開発を推進すべきである。

鉄道では、地震時の土構造物や自然斜面の安定性と残留変位の比較的簡便な計算法が提案されているが、地盤・盛土を構成する土質材料の性状は複雑であるため、設計で用いる土質諸数値を定めることに関しても多くの課題がある。例えば、盛土や斜面の安定性を評価する際には円弧すべり法が用いられるが、これまでは残留強度（ ϕ_{res} ）に近いせん断強度を用い、強度がひずみの増加に対して一定であるとの仮定のもとに計算が行われてきた。しかし、実際は、すべり面内のせん断強度（ ϕ_{res} ）は、未破壊領域で

のせん断強度（ ϕ_{peak} ）とは異なってくる。良く締固たまった地盤や盛土では、この差は大きくなることから、地震に対する安定性を合理的に評価するためには、これらの強度を適切に設定する必要がある。

また、2004年新潟県中越地震では、地震前の台風23号が地盤災害に与えた影響が指摘されているが、降雨の土質諸数値に対する影響（飽和度・排水条件とせん断強度の関係など）も十分には解明されていない。さらには、変形係数や残留変形の累積特性に関しては、地震や列車走行による動的せん断応力に加えて、土の自重による初期せん断応力の影響が大きいことが知られている。しかし、これらに着目した現場および室内模型実験や要素試験のデータの蓄積が少ないために定式化が難しい状況にある。

このように、性能設計を行う際には、土質材料の変形・強度特性をより正確に見極める必要がある。これまでの標準的な設計では、盛土や地盤のバラツキが大きいことを隠れ蓑として、過度に安全側に割り切られ簡略化された土質定数が設計に用いられてきたが、今後は、各種のデータを収集し、設計で用いられるべき妥当な値を地盤工学会が中心となって提示することが望まれる。そのための一手段として、高精度で効率的な地盤調査法の開発を推進すべきである。

4.2.4 洗掘の影響を受ける河川内構造物

提言 4.2.4-1（総合的な対策）

技術者、学会

橋脚の洗掘問題と河川の護岸構造物の側方侵食・洗掘問題の解決のためには、

- 1) 橋脚の洗掘・護岸構造物の側方侵食・洗掘の予測とそれらの効果的な対策工法の開発、
- 2) 洪水時の橋脚などの安定性評価の改善、
- 3) リアルタイムの洪水時橋梁防災システムと列車や自動車の運転規制システムの構築が必要である。

河川内の橋脚の洗掘や護岸構造物の側方侵食・洗掘は、橋脚や橋台などの基礎構造物自体の安全性と耐久性に大きく影響するだけでなく、車両の走行安全性を低下させ、あるいは、河川に沿った道路・鉄道・住宅の居住者の安全性を阻害することなど、社会に与えるインパクトは大きい。

橋脚の洗掘問題と河川の護岸構造物の側方侵食・洗掘問題の解決のためには3つの課題がある。

第一の課題は、橋脚の洗掘・護岸構造物の側方侵食・洗掘の予測と、それらに対する有効な対策工法の開発である。そのためには、洗掘・側方侵食と防護工の安定性に関する流体・構造物・地盤の相互作用解析の深度化をはかり、洗掘防護工の効果も考慮した実用的な洗掘深さ、あるいは、側方侵食・洗掘深さなどの推定式の提案、実用的な洗掘検知システムの開発が必要である。また、橋梁周辺の洗掘現象あるいは洗掘による橋梁被害を効果的に減少させる工法の開発、橋梁の根入れ確保のための洗掘対策工の開発、ならびに、シートパイル基礎などをはじめとする新たな補強工法の開発、河川の護岸構造物の側方侵食対策工の開発、河川の護岸構造物の洗掘現象あるいは洗掘による地盤・盛土被害を効果的に減少させるための、たとえば、ジオシンセティックス補強土擁壁などを応用したような積極的な新工法の開発が必要である。

第二の課題である洪水時の鉄道・道路の橋脚などの安定性評価については、弱小橋梁の根入れ長さ（たとえば、杭など）、支持層確認などのための非破壊探査法の開発、橋脚振動測定システムの無人化と振動測定情報伝送システムの構築、砂礫地盤と粘性土地盤における小ひずみから大ひずみを包含した地盤定数の推定と、流体・構造物・地盤の相互作用を考慮した橋脚安定度判定システムの構築などが、急務で

ある。

さらに、第三の課題であるリアルタイムの洪水時橋梁防災システムと運転規制システムに対しては、気象情報システム－河川情報システム－橋脚維持管理システムなどを包含したリアルタイム橋梁防災システムの構築、運転規制システム・交通規制システムと連動させた、旅客・貨物や道路のユーザーに対する総合交通情報システムの構築や住民に対する警報システムなど産学官が一体となったシステム開発が必要である。

4.2.5 港湾・海岸・空港施設

提言 4.2.5-1（性能設計における課題の克服）

行政、技術者、学会

現行の性能設計における各種の課題の克服に取り組む必要がある。

港湾施設では平成 19 年 4 月から、空港施設では平成 20 年 7 月から性能設計が導入されている。平成 16 年施行の海岸保全施設でも耐震設計部分は現行の港湾の規準を実質的に先取りしている。

性能設計へ移行し、性能照査のためのツールとして有効応力に基づく地震応答解析が用いられているが、以下に示す課題がある。

- ① 解析方法がかなり高度で複雑であるため、一般技術者に対しては敷居が高い、
- ② 計算結果の妥当性について、評価が難しい、
- ③ 同種の解析プログラムを用いても、入力パラメータの設定の違いによって、複数の技術者の解析結果が異なる場合がある。

また、性能設計を実施する場合の設計者が抱える問題点として、

- ① 要求性能の設定が設計者に課せられているが、合理的な根拠を設定することが難しい、
 - ② 性能照査に基づく体系であり、最適断面の追い込みのために解析ケース数が多くなる、
- などがあげられる。

さらに、設計の適合性確認業務として、確認業務の範囲および責任の範囲が曖昧という課題がある。

提言 4.2.5-2（被災程度の評価手法の確立）

行政

災害時の被災程度の評価に有用な手法の確立が必要である。

GSP、地盤データベース等の先端技術の活用による被災程度把握や目視不可能な地中部の被災程度評価法の技術開発、また、施設のヘルスマonitoringシステム構築（新規および既存施設への適用）など、災害時の被災程度評価に有用な手法の確立が求められている。

提言 4.2.5-3（地盤調査技術の開発）

技術者、学会

地盤情報の空間分解能を密にする地盤調査技術の開発が必要である。

施設の設計手法が性能設計へ移行していることに関連して、より精密な設計が求められている。現状では、ボーリングデータの空間分解能が、通常鉛直方向に 1 m ピッチであるのに対して、平面的には数

百メートルピッチと粗であることから、既存の地盤情報や新規ボーリングデータを非破壊試験や簡易貫入試験等を用いて補間することによって地盤情報の空間分解能を密にする技術の開発が必要である。

提言 4.2.5-4（港湾施設の耐震性の強化）

行政

耐震強化施設の整備を加速すべきである。

近年、わが国では毎年のように大地震が発生している。耐震性を強化した岸壁等の有効性は1995年兵庫県南部でも実証されており、港湾施設の耐震化は、約30%の施設を耐震強化施設とすべく着実に整備が進められている。しかしながら、港湾施設の被害は、わが国の産業・経済・社会・国民生活等に多大な損害をもたらす。地震多発の昨今の状況に鑑み、耐震強化施設の整備を加速する必要がある。

提言 4.2.5-5（空港施設の地盤の液状化対策の推進）

行政、技術者、学会

空港施設の地盤の液状化対策を推進するにあたり、より経済的、実用的な対策技術、工法の開発に取り組む必要がある。

空港施設の耐震化と地盤の液状化対策は、空港を運用しながら行われるのが普通である。したがって、舗装等の機能を維持したままの施工を余儀なくされる。また、滑走路延長が長く、液状化対策する地盤の範囲が著しく広い場合が多い。このような、空港特有の条件を考慮したより経済的、実用的な対策技術、工法の開発に取り組む必要がある。

提言 4.2.5-6（海岸保全施設の耐震性の強化）

行政

海岸保全施設の耐震化を推進するために、管理者のおかれた状況に応じて、必要な手段を講じる必要がある。

海岸の背後にある人命や財産を災害から守り、また、国土の保全を図るため海岸整備が進められてきた。これらの施設は、高潮や津波といった自然災害から背後の都市を防護することなどを目的に、伊勢湾台風などを契機に建設されたものであり、現存する施設はその多くが昭和40年代までに建設された。このため、現在これらの施設が老朽化し機能が低下してきているのではないかという懸念が生じている。海岸保全施設は既存ストック量が多く、また施設の性能の低下が直ちに背後の都市の危険を増大させることから、効率的に施設を維持管理するシステムを整備していかなければ、今後老朽化がさらに進んで要対策施設が増加した場合、背後の人口や資産を十分に防護することができなくなる恐れもある。

また、海岸保全施設は主務官庁が農水省水産庁、同省農業振興局、国交省河川局、同省港湾局にまたがり、維持管理は主に国直轄及び自治体によって実施されているが、民間事業者が管理する部分もある。民間事業者の管理部分では、国や自治体とは異なり維持・補強等の予算を捻出することが困難な場合がある。また、民間事業者の業種が多様であり、土木・耐震分野の専門家が事業者内に少ない可能性が大きい。このため、中立的立場の専門家による現状評価・耐震対策立案・設計・施工といったコンサルティングが重要である。

4.2.6 電力施設

提言 4.2.6-1（間接被害を考慮した地震対策）

施設管理者、技術者、学会

強震動域における周辺地盤からの間接被害を考慮した地震対策の立案が必要である。

送配電設備は、耐震性区分 II に属し、一般的な地震動に際し個々の設備の機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動に際しても著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じることのないよう、代替性の確保や多重化等により総合的にシステム機能を確保した対策がなされている。ただし、架空配電設備に関しては、自社設備以外の周辺施設、周辺地盤被害など二次的要因による間接被害により地震被害が発生している例が多く、特に、強地震動域では間接被害の影響を無視できない。このため、周辺施設の地震被害が電力流通設備にどのように影響するのかの力学的なメカニズムを解明するとともに、地盤災害など間接被害を設計等にどのように考慮するのか、および電力流通設備の被災による供給停止を最小限に止めて、周辺施設への影響を局限化する対策の検討が急務である。

提言 4.2.6-2（災害情報の効果的活用）

施設管理者、技術者、学会

災害情報を効果的に活用する事後対応に関する研究の推進が望まれる。

電力流通設備はあらゆる地域に膨大な数設置されているため、大規模地震に対してある程度の設備被害を想定した復旧対策が重要となっている。これに対応して、電力の場合には、一般企業や地方自治体に比べ、BCP（事業継続計画）的な観点からの検討は古くから実施されている。特に、電力流通設備においては、ある程度の被害が生じることを前提とした復旧対策がマニュアル化されている。

しかしながら、さらなる早期復旧を実現するためには、地震後の復旧作業を効率よく支援する高精度な被害推定技術が求められている。電力流通設備の被害推定を精度良く実施するためには、広域防災情報と電力のオンライン・オフライン情報を有機的に活用した実践的な「防災情報システムの相互運用」の考え方が必要であり、リアルタイムに現況値を把握して、その都度、被害推定精度を向上させるような技術開発が求められている。

提言 4.2.6-3（地域の総合的な防災力の向上）

社会、施設管理者

地中線設備と架空線設備およびハード対策とソフト対策のバランス（適切な組み合わせ）を総合的に勘案し、経済性と安全性の両者を同時に満足し、かつ地域全体の防災力を高める地震対策を実施することが必要である。

架空線設備と比べて、地中線設備は既往地震の例を見ると被害が少ない。一方で、地中線設備が被災すると、その復旧には多大な時間と復旧費用を要する。このため、地中線設備と架空線設備の協調（架空線と地中線の適切な組み合わせ）、重要ルートにおける供給管共同溝等の耐震性の高い収容設備の計画的な整備、全面地中化地域ではより耐震性の高い設備構造（可とう性構造）の採用、および被災時の効果的な復旧対応方策などについて検討し、総合的に電力流通設備の地震対策を実施していくことが必要である。

しかしながら、共同溝の設置をはじめとして、電力地中化の推進は、各地域の都市計画と密接に絡んでいる。また、電力は需要と供給のバランスを保ちながら供給されている関係からやみくもに電力施設の耐震化だけを進めても、地震時の電力供給信頼は向上するわけではない。このため、地域全体の防災力を高めるための検討が、電力を含めて、地域全体で検討できる枠組みが必要である。

4.2.7 通信施設

提言 4.2.7-1 （信頼性設計の推進と設計の体系化）

施設管理者、技術者、学会

性能設計の推進と通信インフラの設計体系の再構築が必要である。

通信インフラの場合、保護物は被害を受けても収容ケーブルが安全ならば、終局の性能上の問題は生じない。しかしながら現状は性能規定が明確でなく、主流である光ファイバーケーブルの被災特性に合わせた防護物の性能設計を確立する必要がある。最近では NTT 設備以外に電線共同溝や情報ボックスの建設が進められ、通信インフラが多様化してきているが、これらの施設を統一する耐震設計基準はなく、要求する性能を明確にして、設計を標準化することが望まれる。

提言 4.2.7-2 （ライフラインの相互依存の解明）

施設管理者、技術者、学会

各種ライフラインの相互依存の解明と被害予測・復旧対策の検討の場を設ける必要がある。

最近ではライフラインの相互依存の問題が取り上げられることが多く、通信においても停電の影響、交通渋滞の影響などが懸念されている。逆に通信途絶が他のライフラインに及ぶ影響も大きく、被害予測を高精度化するとともに、相互依存の問題を定量的に分析し、影響を回避する対策や早期復旧対策を講じておく必要がある。個々の事業者では課題が見つけにくいいため、学会が検討の場を作ることが望まれる。

4.2.8 都市ガス施設

提言 4.2.8-1 （情報の共有とデータベースの構築）

施設管理者

都市ガス供給区域周辺における SI 値*等の把握が可能となる防災データベースの構築を推進する必要がある。国、気象庁、自治体、公共機関等が保有する地震に関わる計器情報の共有を推進する必要がある。

各ガス事業者が所有・管理する地震計は、より正確な SI 値等を把握するためにも、地盤状況等を十分に確認の上、供給地域の特性等を反映した適切な位置に設置することが求められる。また、ガス導管網の面的な広がりを考慮すれば、地盤状況等を十分に勘案した上で、必要に応じて、異なる箇所に複数の地震計を設置することが望ましい。しかしながら、事業者によっては、地形的な制約や設置にかかるコストの面から、必ずしも十分な地盤状況の確認や複数の地震計を設置することができない場合も想定される。

*SI(Spectrum Intensity)値： 様々な周波数が含まれる地震の揺れのうち、一般的な建物の揺れに大きな影響を与える周期が 0.1～2.5 秒の波形について、速度応答解析を行い、平均値を求めたもの。

提言 4.2.8-2 （導管の座屈メカニズムの解明とその対応策の研究）

技術者，学会

小口径で長い直線状配管の長柱座屈メカニズムの解明と対応策に関する研究開発を進める必要がある。

過去の被害事例でみられたガス導管の長柱座屈は、地形・地盤条件に加え、導管の口径が小さく、かつ、長い直線状の配管であることが、主な発生要因となったとみられる。そのため、過去の被災地域の地形・地盤条件下における口径と延長の関連や変形メカニズム等の調査研究を行う必要がある。また、導管の一定延長ごとに非直線部分を設けるなど、長柱座屈を容易に起こさないような敷設方法についても検討し、ガス事業法に基づく技術基準や国又は業界によるガイドライン等の適切な形にまとめる必要がある。その際、長柱座屈の防止策が他の地震等の事態に際しての新たな脆弱性を生まないように配慮するとともに、その実施段階においては経年管の入替等の日頃の安全対策との適切なバランスを保ちながら進めることが必要である。

提言 4.2.8-3 （低圧ガス導管の耐震化の促進）

施設管理者

低圧ガス導管における耐震性向上を推進する必要がある。

既往の地震における低圧ガス導管の被害の大半は、ねじ鋼管の継手部からの漏えいであった。一方、ポリエチレン管の被害は皆無である。そのため、これまでと同様、各ガス事業者による、低圧ガス導管のポリエチレン管化を推進していくことが必要である。

4.2.9 高圧ガス施設

提言 4.2.9-1 （地盤の変状算出手法の高精度化）

技術者，学会

液状化による地盤沈下量および流動による地盤の水平移動量の算定など、解析精度を上げる必要がある。

高圧ガス施設の設計における地盤の移動に係る評価においては、地盤の液状化および流動による地盤の沈下量や水平移動量を算出し、基礎の応答塑性率を評価するとともに、配管系の耐震性能評価のための基礎の移動量を算定する。

地盤の移動に係る評価は、杭基礎と直接基礎とで検討方法が異なる。杭基礎の場合は、基礎の応答解析を行い、応答塑性率を算定し、その値が基礎の許容塑性率を超えるかどうか確認する。応答塑性率が基礎の許容塑性率を超える場合は、地盤変状に係る基礎の相対移動量を算定する。直接基礎の場合は、必要に応じ配管系の耐震性能評価のための基礎の移動量を算定する。いずれも必要に応じて移動量を求めるわけであるが、液状化による地盤沈下量および流動による地盤の水平移動量の算定など、解析精度

を上げる必要がある。

4.2.10 石油タンク

提言 4.2.10-1 (石油タンク直下地盤の液状化対策)

技術者，学会

石油タンク直下地盤の液状化対策として，さらに経済的で実用的な工法の開発が望まれる。

旧法タンクのうち，支持地盤の耐震性のレベルが新基準に適合しないものは改修する必要があるため，その対策として支持地盤の液状化対策工事が施工されている。主な対策工法としては，注入固化工法，鋼矢板リング工法があるが，さらに経済的で実用的な工法の開発が望まれる。

4.2.11 上水施設

提言 4.2.11-1 (埋設管路の耐震化の促進)

行政

耐用年数を超えた耐震性能の劣る管路を積極的に耐震管路に更新していく必要がある。

全国の基幹管路（導水管，送水管及び配水本管）の耐震化率（耐震管延長を管路総延長距離で除した百分率）は 13%程度であり，かなり低い。一方で，高度成長期の水道拡張期に埋設された管路が耐用年数を超えるようになる。これらの経年管路の更新に当たり，必ず耐震管路を採用することにより，耐震化率の向上を目指すべきである。

水道事業ガイドライン(JWWA Q 100:2005)によれば，離脱防止機構付継手を有するダクタイル鋳鉄管，溶接継手の鋼管，融着継手の水道配水用ポリエチレン管（高密度）を耐震管路と称している。ただし，水道配水用ポリエチレン管の使用実績は少なく，十分に耐震性能が検証されるにはまだ時間を要すると考えられている。

提言 4.2.11-2 (ハード，ソフト両面からの耐震化の推進)

社会，行政

個々の施設の耐震化だけに限らず，バックアップシステムの整備，強化を並行して行うなど，ハード，ソフト両面からの水道システム全体としての耐震性向上に努めるとともに，影響の最小化に努める必要がある。

管路システムの耐震化とは，個々の管路の耐震性を向上させるとともに，下記のような管路機能のバックアップの充実等により被害の影響を最小化する対策をとる必要がある。

- 1) 広域水道の整備，隣接水道との連絡間の整備による広域的バックアップの強化
- 2) 浄水場間の相互融通や配水池のストックによるバックアップの確保
- 3) 送水管，配水本管などにおけるループシステムの採用
- 4) 施設の複数化，バイパスの整備，貯留設備の大容量化，複数系統化など，システムとしてのバックアップの確保
- 5) 配水区域が広い，高低差が大きいなどの場合の配水管網のブロックシステムの整備

提言 4.2.11-3（空管状態で漏水箇所を発見する技術の実用化）**技術者，学会**

管路内に水を張らなくても漏水箇所を発見できる技術の実用化が望まれる。

埋設管路は上流から導水，送水，配水および給水管からなっており，上流ほど重要度は高いが敷設延長は短く，下流は敷設延長が長いので，下流の方が地震時の被害箇所が多くなる。現在は，管路内に水を張って漏水箇所を発見する方法が取られているので，上流から順次復旧していくしか手段がなく，復旧の遅れにつながることもある。管路内に水を張らなくても漏水箇所を発見できる技術は既に開発が進められているが，もし実用化されれば，上流，下流同時に復旧作業を進めることが出来るようになり，全域通水までの期間が飛躍的に短くなることが期待される。

提言 4.2.11-4（簡易で精度の高い地盤変状予測手法の開発）**技術者，学会**

地盤破壊に対する対策は事前に講じることになるため，簡易でより精度の高い地盤変状の予測手法の開発が望まれる。

水道施設の中でも埋設管路は，地表面断層変位，斜面崩壊，液状化，不等沈下などの地盤破壊による破損事例が極めて多い。地盤破壊の発生が予め精度よく予測される場合には耐震性能の高い管路を採用したり，場合によっては埋設ルートを変更したりするなどして地震被害の発生を防ぐことができる。したがって，簡易でより精度の高い地盤変状の予測手法の開発が望まれる。

提言 4.2.11-5（安価な耐震性能管路の開発）**技術者，学会**

非耐震管路と同等あるいはそれ以下の材料費，施工費で新設できる耐震管路の開発が強く望まれる。

耐震化率が極めて低い背景には，各水道事業体の財政的事情がある。耐震化事業は地震が起こらないそとの効果が明らかとならないので，水道料金による独立採算制を展開している水道事業体にとっては耐震事業の優先順位をどうしても高くできないという背景がある。現在の耐震管路は材料費，施工費ともに，非耐震管路よりも若干高くなっており，それが，積極的に耐震管路を採用することの阻害要因になっている場合が多い。非耐震管路と同等あるいはそれ以下の材料費，施工費で新設できる耐震管路の開発が強く望まれる。

提言 4.2.11-6（性能評価手法の高度化）**技術者，学会**

現在の耐震管路は仕様規定型である。管路に求められる耐震性能を定量的に表現し，それを満足したものが耐震管路であると規定できるような研究開発が必要である。

提言 4.2.11-1 で述べたように，現在耐震管路といわれているものは，離脱防止機構付継手を有するダクタイル鋳鉄管，溶接継手の鋼管，融着継手の水道配水用ポリエチレン管（高密度）である。管路の材質の種類が多くないことに起因していると思われるが，このような記述は仕様規定型である。もし，耐震性能を有する新しい材料の管路が開発されたとき，どのように耐震性能を証明して耐震管路と呼ばれ

るようになるのか明らかではない。したがって、管路に求められる耐震性能を定量的に表現し、それを満足したものが耐震管路であるといえるような研究開発が必要である。

提言 4.2.11-7 （リスクコミュニケーションによる耐震化の促進）

社会，行政

耐震化事業を限られた予算の中で推進していくためには、需要者である市民の理解が第一である。そのためには、事業者と需要者が正しい情報を共有して、意思の疎通を図るためのリスクコミュニケーションが必要である。

地震が起こらないとその効果が明らかにならない耐震化事業を限られた予算の中で推進していくためには、需要者である市民の理解が第一である。そのためには、事業者と需要者が正しい情報を共有して、意思の疎通を図るためのリスクコミュニケーションが必要である。たとえば、耐震化指標として耐震化率などのほかに、地震時の水道システムの機能を示す、断水率や断水日数など、市民の生活に密着した性能規定型指標を用いることが必要である。また、断水ハザードマップを作成し、公開するなど意識の共有と協力関係の構築が望まれる。

4.2.12 下水道施設

提言 4.2.12-1 （耐震性能評価手法の高度化）

行政，技術者，学会

耐震性能評価手法の高度化を図る必要がある。

下水道管路には、多種多様な材料、構造のものが採用されている。現状では構造形式ごとに照査項目や照査手法が異なっている。このような現状を踏まえ、耐震性能評価技術の高度化を図るとともに、多種多様な工種について、材料の限界状態の考え方に基づいて、照査項目や照査手法を整理し、耐震性能を統一的に評価する手法の開発が必要である。

また、下水処理場は軟弱地盤に建設される場合が多く、地震時に地盤の液状化などにより被害を受け、機能が停止した例がある。

提言 4.2.12-2 （計画・設計段階での留意事項）

行政

下水道管路施設と下水処理場が被害を受けやすい箇所については、それらの計画・設計段階で十分検討する必要がある。

下水道管路と下水処理場の被害は敷設されている周辺の地形、地盤条件に大きく依存する。これらの施設が被害を受けやすい軟弱地盤や地下水位が高い箇所等での敷設を計画する場合には、これらの施設の計画段階において可能な限り避けるとともに、このような箇所では、下水道管路の埋設深度が大きくならないような処置、また下水処理場の基礎地盤の改良などの設計上の配慮等、計画・設計段階で十分検討する必要がある。

提言 4.2.12-3（耐震補強技術・耐震性能評価技術の開発）**行政，技術者，学会**

管路施設が埋設された地盤の液状化対策技術や埋め戻し土の液状化対策技術の開発推進を図るとともに、老朽管更新技術の耐震性能評価手法の合理化を図る必要がある。

管路施設が埋設された地盤や埋め戻し土の液状化対策技術のうち、マンホールの浮き上がり防止対策については、礫質盛土材料の使用・セメント混合・締固め等いくつかの工法が開発されているが、現状では技術的、経済的に確立しているとは言い難い。これらの技術開発の推進を図るとともに、各種工法の耐震性能評価手法の開発を行う必要がある。

また、近年増加しつつある老朽管の更新技術のうち、管渠更生工法の採用が増えつつあるが、更生工法は、既設管と更生材料の複合構造であり、地震時に複雑な挙動を示すと考えられること、また、多種多様な材料・工法が開発されていることなどから、これらを統一的に評価可能なより合理的な耐震性能評価手法の開発が必要である。

提言 4.2.12-4（情報のデータベース化と耐震診断・被害想定手法の開発）**社会，行政**

より精度の高い下水道施設の耐震診断・被害予測手法の開発ならびに精度よく被害予測を行うために、下水道台帳、地形情報、地盤調査データのデータベース化が必要である。

大規模地震に対して下水道施設として最低限の機能を確保し、重大な二次災害を防止するために、可搬式ポンプ、仮設トイレ等の備蓄等、震後対策への備えの充実、管路のネットワーク化等の減災対策を組み合わせる必要がある。これらを効率的に行うために、より精度の高い下水道施設の被害予測手法の開発が求められる。また、下水道管路施設の被害には周辺の地形・地盤条件が大きく影響するが、精度よく被害予測をおこなうために、下水道台帳、地形情報、地盤調査データのデータベース化も必要である。

提言 4.2.12-5（地震後の被災調査技術の開発）**技術者，学会**

被災箇所を迅速に把握するための被災調査技術について開発を進める必要がある。

下水の流下機能の確保および二次災害防止の観点から、地震発生直後の迅速な対応が重要な役割を占めている。下水道管路施設等の地中構造物の被害把握には比較的時間を要するため、支援ルール等の震後の支援体制等について整備されているが、被災箇所を迅速に把握するための被災調査技術についても開発を進める必要がある。また、補足的に必要な簡易な地盤調査法の開発が望まれる。

4.2.13 共同溝

提言 4.2.13-1（躯体の安定照査法）

行政

共同溝の躯体の安定性について、事例に基づいた検証を行うと共に、地盤の液状化の影響についても検討する必要がある。

従来の共同溝は横断面の設計において地震の影響は考慮されていなかったにも拘らず、1995 年兵庫県南部地震においても軽微な損傷にとどまった。他方、レベルⅡ設計地震動を考慮した横断面の照査手法も提案されてきているので、これら新たな設計手法が、兵庫県南部地震においてもごく軽微な被害にとどまったという事実を適切に説明できているかの検証をさらに積み重ねる必要がある。

縦断方向の躯体の照査手法については、注目すべき被災履歴が少ないためか、研究開発の取り組みも少ないようである。共同溝以外の地中構造物においても利用されている応答変位法がレベルⅡ設計地震動においても妥当であるのか、さらには地盤が液状化したときにはどのように考慮すればよいのか、が課題として残されている。

提言 4.2.13-2（「浮き上がり量」予測手法の改良）

技術者、学会

原地盤の土層構成をより適切に考慮した「浮き上がり量」予測手法の改良が望まれる。

原地盤は表土層や砂質土層、粘性土層などが互層状態になっているのが一般である。地盤の液状化による地中構造物の浮き上がり現象においては、液状化層厚、深さ、表土層の土質・力学特性などが少なからず影響を及ぼす。これらの影響をより適切に考慮できるような簡易手法の開発や有効応力解析等の適用性の検証および実務的なパラメータ設定手法の検討が適切な耐震対策の実施につながる。

4.2.14 農業用パイプライン

提言 4.2.14-1（ウィークポイントに着目した地震対策）

技術者、学会

パイプラインの構造と地盤状況から整理されるウィークポイントの特性に応じた耐震設計と対策・復旧技術の開発が重要である。

農業用の幹線パイプラインは、直径が 3m に及び水圧も数百 kPa の内圧を利用した長大な線状構造物となる場合がある。さらには、中山間地の急峻な地区から沖積低地にいたる地形の変化に富んだ地域を縦断するため、その地震時挙動は地盤特性や地質構造に大きな影響を受ける。なかでも、農業用の幹線パイプラインの地震時被害は、地形や地質の変化点などの明確なウィークポイントに集中している。たとえば、1983 年日本海中部地震や 1993 年北海道南西沖地震などにおいて、幹線パイプラインの被害は、山間部から低地に変化する斜面法先部や曲がり部に設けられたスラストブロック周辺に集中している。これらのウィークポイントでの被害の多くは、パイプ継ぎ手部の抜け出しによる漏水や破壊である。構造物周辺のパイプラインの挙動は、地盤特性とともに配管構造の影響も大きく、地震時のパイプの移動量（抜け出し量）を正確に評価できていないのが現状である。

地盤条件や地形的な変化、パイプラインの曲がり角度、水圧などの要因を取り入れた耐震設計手法の

確立が望まれる。また、パイプラインのウィークポイントに着目して、地形や構造物周辺などの地点毎の重要度（影響度）に応じた対応を適切に講じることによって、地震被害を大きく減じることが可能である。このような、施工面での対策技術の有効性を再評価し、適正な基準を策定することが望まれる。

幹線パイプラインの被災事例からパイプの破損や拔出し防止、あるいは軽減するために、施工や配管構造の面からの対策方法が設計基準に明示されている。地震時の安全性を高めるためにパイプ側部に用いられる埋め戻し材料は碎石を用いることが推奨され、砂を用いた埋戻しの場合でも締固め度は 95%の採用を誘導している。また、流動化処理土や固化処理土の有効性、あるいはコンクリートスラストブロックの地震時移動抑制としての補強土工法の採用なども提示されている。さらには、大口径パイプラインの浮上防止としての碎石とジオグリッドを組み合わせる手法などの取り組みもなされているが、定量的な耐震性評価は十分ではない。これらのパイプの地震時応答を軽減し減災に繋げる経験的な技術については、その有効性の検証とともに適切な耐震対策としての評価が望まれる。

提言 4.2.14-3 （定量的耐震性評価手法の開発と信頼性の確認）

技術者、学会

被害の実態を定量的に評価できる予測手法の開発が望まれる。

農業用の幹線パイプラインは、地盤の液状化や地形や地質の変化点での地盤変状による破損事例が多い。このような地震時の被災状況を定量的に予測するためには、地盤変状とパイプラインの動的相互作用を適切に表現できる手法の開発が不可欠である。すなわち、地盤の破壊現象やパイプと地盤接触面でのすべり、パイプ継ぎ手部の抜けだしなど、不連続面での扱いをも含めた変位量予測が重要課題となる。

パイプラインの地震時挙動をパイプに発生している応力としてだけでなく、パイプの抜け出しや圧壊などの被災状況を定量的に予測することができれば、本来の意味での既設のパイプラインの耐震性評価が可能となり、耐震対策としての配管構造、たとえば伸縮可撓管の選定や地盤の補強対策の実施などを適正に選択する道が開ける。

このような、高度な評価手法の開発を進めるためには、予測能力の検証も不可欠で、多くの事例を適正に収集し検証することが重要である。

提言 4.2.14-4 （既設管路の耐震化技術の開発）

技術者、学会

既設のパイプラインの補強等による耐震化技術の開発とその有効性の検証が必要である。

既設の管路は、すでに施工から多年を経過し一部には性能低下している箇所も存在する。管体そのものの強度低下や継ぎ手部の止水能力の低下、あるいは構造物周辺での不同沈下起因した変状などを受けている管路の耐震性の評価とともに、その耐震対策技術については、全面的な改修以外に効果的なものがない。現在、耐震管路として扱われている鋼管や離脱防止機能付ダクタイル鋳鉄管があるが、その埋設環境下での耐震性能についての定量的な検証についても課題が残されている。継ぎ手を有する既設の管路の耐震化を進める上で埋設状態のままで実施できる管路構造の開発や地盤補強技術の開発とこれらの有効性の検証が重要である。さらに、地盤の耐震対策の面からパイプラインの地震時挙動を抑制する技術も重要で、地下水位が高く液状化の可能性が高い地盤に建設された施設については、配管構造と地盤改良等の両面からの耐震補強技術が望まれる。