

序論

1. 今回の提言の社会的・歴史的背景

地盤工学会の基本的活動は、

- 国民生活・産業活動のための社会基盤施設と住宅・建物（建築施設）の整備とその維持管理、および
 - 生活環境と自然環境の維持・改善、
- のために「工学・技術体系としての地盤工学の発展と社会への普及と定着の課題」と取り組むことである。同時に、以下の諸課題に取り組むことに関連した地盤工学の発展に取り組むことも重要である。
- 地球環境の維持・改善、および
 - 社会と自然の各種の災害から防御。

最後の課題に関しては、近年は、「地震と豪雨・洪水および地滑り・火山活動等による自然災害に対する防災・減災の課題」が重要になってきている。この中で、「地震と豪雨・洪水に対する防災・減災の課題」が最近特に重要になっており、近い将来でもそうであると考えられる。このことは、本報告書に掲載された地盤工学会各支部からの地震と豪雨・洪水による地盤被害の報告¹⁾を参照すれば明白である。これには、主に四つの社会的・歴史的背景があると思われる。

第一に、地球環境の変化、とりわけ温暖化傾向によって、地盤災害が様々な要因が複合して生じる可能性が高まってきた²⁾。自然斜面は、近年に無い大雨を受けると崩壊しやすくなり、風化が進んでいるとその傾向が強くなると言われている³⁾。台風の大規模化、豪雨の局地集中性と降雨強度の増加に伴い、盛土・擁壁等の崩壊や自然斜面の崩壊、その結果としての土石流などの土砂災害や、洪水による河川の堤防や擁壁等の護岸構造物の崩壊の可能性も高まってきた。同時に、盛土・地盤内部の飽和度の増加と地下水位の上昇に伴うサクシジョンの減少と正の間隙水圧の上昇により、地震による崩壊の可能性も高まる。1968年十勝沖地震や2004年新潟県中越地震等では、地震前の降雨が自然斜面と盛土等の土構造物の被害を増幅させた¹⁾。さらに、地球温暖化による恒久的な海面上昇により、洪水が生じた場合の浸水深度が大きくなるばかりでなく、海岸が浸食されやすくなり海岸堤防は損傷を受けやすくなる。また、低地では地下水位が恒常的に上昇し、液状化する可能性がある砂層が厚くなる。このようなことから、既に広域に亘り大きく地盤沈下している東京・名古屋・大阪等の沿岸地帯の所謂ゼロメートル地帯では、洪水時や巨大台風による高潮時に海岸・河川堤防が地震によって崩壊すれば、極めて甚大な被害となる。図-1a⁴⁾（巻頭図参照、以下同様）は、昭和22年9月のカスリーン台風の際の利根川本流・栗橋（埼玉県）での堤防決壊による氾濫の実績であり、東京下町の低地で洪

水による大被害が発生した。図-1b⁴⁾は、今日再び同様な洪水が生じた場合の氾濫の予測である。この間地盤沈下が進行するため、洪水の浸水域の大きさが相当拡大し浸水深度もかなり増加している。また、図-2⁵⁾は地球温暖化により海面が恒久的に0.6m上昇している状況の下で、室戸台風級の巨大台風が来襲し、流出物等により水門やゼロメートル地帯の堤防が損傷したと仮定した場合の浸水の想定である。浸水地域は神奈川県、東京都、千葉県に亘っていて、最大浸水面積は27,630haと広大である。

第二に、天災から人災へと、国民の意識の時代的変遷がある。すなわち、地震・豪雨等の自然現象を素因とする様々な自然災害は、かつては制御できない天災と認識されていた。しかし、生活・生産活動の拡大と実質的レベルの向上およびこれらに対する社会の要求レベルの向上と、加えて自然災害に対処する学問・技術の発展と社会システムの整備を背景として、時代とともに多くの自然災害が制御可能であり制御すべき自然現象と考えられるようになってきた。そのため、かつては天災と呼ばれていた多くの自然災害が今日生じれば人災と認識されるようになってきた。それを反映して、降雨量、洪水量、地震荷重等の設計荷重が増加・増大するとともに、許容できる被害の程度も低下してきている。今後もこの傾向は継続するであろう。

第三に、社会の発展によって、同じ地震・豪雨による自然現象であっても、また同じような洪水でも、市民生活・生産活動等（即ち社会）に対して、より厳しい影響を与えてしまう可能性が高くなってきた。また、新しい形の災害も生じるようになってきた。以下は、その例である。

- ・丘陵地帯での自然斜面の切土・盛土工事、谷（たに）地形の埋め立てや旧河道・谷地（やち）地形での軟弱地盤上の盛土等により宅造盛土が建設されるようになってきた。同時に、その規模と範囲は近代機械化施工により拡大してきた。従来は自然地盤と同じ扱いをされて崩壊しないことが前提とされていた宅造盛土も、地震時に大規模に崩壊する例、あるいはその虞がある例が多くなり、その耐震問題も新しい課題となってきた。
- ・急傾斜地の整備率（対策工事実施率）は元々低い（平成14年度末で18%）⁶⁾。それにも拘わらず、山麓や急傾斜地の崖下での開発によって保全対象戸数が増大している。その結果、急傾斜地崩壊防止区域は増大し、対策工事が追いつかない状況になっている。
- ・山間部の道路は、かつては安定した自然地形に沿って小規模な切土・盛土工事によって建設するのが基本であったため、頻繁に曲折し上下勾配を持ってい

た。社会的要求により道路を水平方向にも鉛直方向にもできるだけ直線化することが必要になり、機械化施行によりそれが可能になると、大規模な切土・盛土工事が行われるようになってきた。そのため、地震や豪雨によって崩壊する可能性がある盛土部が増え、崩壊した場合は大規模になる場合が増えてきた（例、2004年新潟県中越地震での国道等）。山間部に直線的な高速道路を建設する場合も大規模な切土・盛土工事が必要となり、被害が生じた場合は規模が拡大する傾向になってきた（例、2007年能登半島地震での能登有料道路）⁷⁾。

- ・ 河川の氾濫原（洪水低地）や堤防裏に迫る場所に、住宅建設が行われるようになった。例えば、東京都山口・村山貯水池のアースダムの前面の地域はかつては人口希薄であった。しかし、現在は人口密集地となっており、仮にアースダムが崩壊した場合の被害の規模は飛躍的に拡大した⁸⁾。
- ・ 大都市でのヒートアイランド現象による短期集中豪雨と地面の舗装化による都市型洪水により、地下室への洪水と言う新しい被害が生じるようになってきた。また、大都市の地下街や地下鉄網は低地の河川水位や海水面より低い位置に建設されているものも多く、河川・海岸堤防が一度決壊すれば、一カ所から浸水が大規模な浸水に発展する虞（おそれ）がある。

第四に、大都市へ人口と資産が集中し地方の過疎化が進行してきた。このため、都市部で一度自然災害が生じると甚大な被害が集中的に起こる可能性が高くなってきた。また、大都市住民は人工的な環境に囲まれて自然環境と自然災害に対する認識度が低下してきている。たとえば、東京の下町は過去最大で5m近く地盤沈下してゼロメートル地帯になってしまったが、水没から河川堤防・海岸堤防等によって人工的に護られている事実を日常生活で認識することは難しい。このため、行政担当者など関係機関の技術者は改めて地震と豪雨・洪水による自然災害の可能性を正確に認識し、必要な対策を取るとともに、地域住民に警鐘を鳴らし、住民自らも対処できるようにする必要がある。一方において、地方の過疎化により、豪雨・洪水による災害を防ぐための河川堤防やため池等の監視・管理を住民が自主的に行うことも難しくなってきた。

一般に、災害の甚大性（被害程度）は、災害因、社会システム、災害準備の三つの要因によって異なると言われている^{9),10)}。上で述べた第一の背景は災害因に関するものであり、災害因の巨大化・深刻化（地球温暖化の影響、地震活動の活発化等）についてである。第二から第四の背景は社会システムと一部災害準備に関するものである。地震と豪雨・洪水による地盤災害を軽減するためにも、これらの災害因に対応した災害準備が必要であり、それは変化してゆく社会システムに対応している必要が

ある。具体的には、次の三つの準備が必要である。

1. 社会基盤設備と住宅・建物および社会に関連する自然斜面・地盤のこれらの災害に対する強化（耐災強化）による防災、
2. 災害が生じた時の緊急対応による減災の準備、
3. 復旧・復興迅速化による減災の準備。

土構造物の災害に対する準備の必要性に関しては、大ダムとして近代的ロックフィルダム以外の道路・鉄道・宅地等の盛土でも耐災性の重要性が、1995年兵庫県南部地震から2004年新潟県中越地震、2007年能登半島沖地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手宮城内陸地震を経て広く認識されるようになってきた。すなわち、これらの盛土は、従来は鉄筋コンクリート(RC)・鋼構造物と比較すると二次的な構造物であり、崩壊しても社会が受ける被害の程度は低く、また復旧も比較的容易であると考えられてきて、高い耐災性を確保する積極的な設計・施工を行ってこなかった。また、切土斜面は耐震設計の対象外とされてきた。しかし、機械化施行が進み盛土・切土工事が大規模になり、一度崩壊した場合の社会的影響は甚大になり、また復旧が非常に困難になる場合が多くなってきた。さらに、高速道路・新幹線などの重要交通路は、限定された箇所でも土構造物が崩壊すれば、他の構造物が健全でも機能を失うことになる。また、道路盛土内に電気・ガス・上下水道・通信設備等のライフラインが配置されていれば、盛土が崩壊するとこれらのライフラインが機能を失う場合も増えてきた。市民生活が近代化してこれらのライフラインに対する依存度が極度に高まっているため、一度これらのライフラインが機能を停止すれば、生活が極度に困難になる。また、個人の住宅では、宅造盛土の崩壊により被害を受けた場合のダメージは大きい。従って、盛土・切土の設計でも、崩壊を許容し崩壊したら復旧する、と言う方針が採りにくい場合が増えてきた。一方、擁壁は抗土圧構造物として古くから構造物の一部と見なされてきた。上記の状況から、従来は鋼・RC構造物とは別のカテゴリーと見なされていた盛土・切土も、積極的に設計すべき構造物と見なされるようになってきた。このようなことから、盛土・切土・擁壁に対して土構造物と言う技術用語も用いられるようになってきた。このような背景から、耐災的かつ経済的な土構造物の構造形式・施工法の開発とそれに対応する合理的な設計法の開発が必要になってきた。

グラビヤに続いて掲載した図-3, 4, 5, 6は、上記の社会的・歴史的な背景を模式的に示したものである。それぞれ、内陸部、沿岸部、低地部、谷地部での、

- a) 近代的開発が行われる前の状態、
- b) 近代的開発後の状態、
- c) 近代的開発後における様々な地盤災害、
- d) 地盤災害を防ぐための地盤工学の技術

を模式的に示している。さらに、図-7は図-3, 図-6を補完するものであり、宅造盛土における諸問題とそれに対

する地盤工学の技術の活用の例を模式的に示している。

2. 地盤工学会の社会的活動としての提言の意義

「道路・鉄道・宅地などの盛土・切土・擁壁、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」を土構造物と言い、「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」を地盤構造物と言う。地盤構造物と社会に関係した自然斜面・地盤の被害とそれによる社会基盤施設と住宅・建物（建築施設）の地震と豪雨・洪水による被害を地盤災害と言い、以下のものが含まれる。

- a) 地震と豪雨・洪水による被害として、
 - ・土構造物を含む地盤構造物の過大な変形・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や崩壊、
- 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。

これらの地盤災害を防ぎ減ずる課題に対する地盤工学会の活動として、「これらの地盤災害の学術的実態調査」は第一歩である。地盤工学会は、この活動では常に先進的役割を果たしてきた。それに引き続く「地盤災害のメカニズムの学術的研究」は、第二歩である。この面での地盤工学会の活動のレベルも非常に高いものである。しかし、地盤工学会の活動はこれらの学術的活動だけに限定できない。第三歩として、「これら地盤災害に対する防災と減災の技術の発展の促進のための具体的提案とそれに伴うさまざまな活動」が重要であり必要である。すなわち、地盤工学会の会員である多くの地盤工学の技術者・研究者・教育者等の専門家は、上記の地震と豪雨・洪水による地盤災害の実態調査とメカニズムの調査・研究だけでなく、地盤災害を受けた地盤構造物の復旧、地盤災害の防止策、既設の地盤構造物（特に土構造物）と既存の社会に関係した自然斜面・地盤の耐災補強を含む維持管理、新設の地盤構造物の耐災設計とそのための工法・施工法の研究、開発、実施に携わっている。したがって、これらの設計・施工等に関連した活動を地盤工学会が重視することは当然である。また、そのことによって地盤災害の学術的な調査と研究の意義も上がり、行政機関等の関係機関や設計・施工会社等、一般国民の間で地盤工学と地盤工学会の価値が認識されるようになる。

翻ると、工学・技術の一分野としての地盤工学とその技術の目的は、「性能が高い製品の製造（すなわち各種社会基盤施設と住宅・建物等の建築施設の建設）とその技術の開発」という単相的なものではない。すなわち、

- 1) 社会的にとって必要性が高いものを実現する（社会的機能の高度化）、
- 2) 出来るだけ高い性能（日常的な機能の継続的で長期的な維持、地震や豪雨・洪水等に対する耐災性、生活・自然環境との高い調和等）を実現する（性能の高度化）、
- 3) 必要な機能・性能を出来るだけ低いコストで実現し、それを維持・管理する（実現性とその持続性の高度化）、

と言う三相問題であり、これらを通じて社会と接している。すなわち、地盤工学は工学であり、社会との直接的・間接的交渉、社会への直接的・間接的貢献が本質的な要素である。社会と関わることで、地盤工学は発展し、地盤工学の専門家は研究者・技術者・教育者等として成長し、地盤工学会も発展しその存在意義を示すことができる。地震と豪雨・洪水による地盤災害に対する防災・減災の課題も典型的なものである。すなわち、地盤工学会の地盤災害を防ぐための以下の活動が有意義であろう。

- 1) 地震と豪雨・洪水による地盤災害の社会にとっての重要性とそれを防ぐ必要性を、地盤工学の専門家として先駆的に示す。
- 2) 地盤構造物とそれに支持された社会基盤設備と住宅・建物と社会に関連した自然斜面・地盤が出来るだけ高い耐災性を持つように建設・維持するための設計法・工法、および地盤災害を効果的に減じる方法を研究・開発し、広く普及し、地盤災害の防止と減少に貢献する。その場合、実際に広く普及できるように、便益に対する費用が低い工法、対策法である必要がある。
- 3) 地盤工学の専門性を生かし、ハザードマップ等による地盤災害からの回避、モニタリング等に基づく警戒的避難、緊急・応急復旧法を開発し普及し、減災に貢献する。

3. ライフサイクルに亘る長期的視野と総合的効果の考慮したコスト評価

既存の地盤構造物の地盤災害に対する診断（耐災診断）を行い必要ならば耐災補強を実施したり、耐災性が高い新設地盤構造物を従来の技術によって設計し建設すれば、これらの処置をしない場合よりも直接コストは増加する。しかし、a)地盤構造と土の変形強度特性等の物性のより正確な調査とそれに基づいて合理化した設計法・施工法と b)補強土工法・地盤改良工法等の新しい構造形式や新しい施工法等の最新の地盤工学・技術を活用すれば、従来工法で耐災補強したり新規に建設する場合よりも低いコストでより高い耐災性を確保することが可能になる

(この点については、5節で触れる)。さらに、耐災補強と耐災設計により耐災性が向上することによって、a)ライフサイクルに亘る長期的視野から見た場合、およびb)対策の地震と豪雨・洪水に対する総合的効果を考慮した場合、コスト(費用)の性能(機能あるいは便益)に対する比(C/P ratio)が低くなる。これらの二つの要因によって、耐災補強と耐災設計によって単純にコストが高くなる、ということにはならない。

3.1 ライフサイクルコスト

地盤構造物を含めた社会基盤諸施設と住宅・建物(建築施設)の従来の設計・建設の過程では、その時代の知見・技術を駆使して安全で経済的に建設されたとしても、直接建設費と長期供用期間に亘る維持管理費を総合したLife cycle costでは評価しない場合が殆どであった。しかし、社会基盤諸施設と住宅・建物は、長期的な「構造的劣化、風化、機能の劣化」を受け、長期的に見れば突発的な自然災害を被る可能性もある。これらを考慮した場合に必要なコストを含めたLife cycle costに基づいて計画・設計することは、災害の事前対策として貢献することになる。また、継続して行う維持管理にも貢献できる。例えば、道路・鉄道・住宅の盛土の建設において、できるだけ良い締固めを実現し排水設備を整備すれば直接建設費は増加するが、交通荷重や降雨等による残留沈下が減少し、長期的構造的劣化の程度は低くなり、また突発的に強地震や豪雨を受けても被害を受ける可能性は低くなる。さらに、計画段階でコストが掛っても地盤工学的な地質・地形等に関する配慮を十分に行えば、長期的な維持管理費が低くなり地震と豪雨・洪水による地盤災害に対する耐力も高くなる。このように、地盤災害による社会的コスト、長期維持管理コスト、復旧コスト等を含めてLife cycle costを正當に評価する手法の研究開発も重要になる。

鋼・RC構造物である住宅建築物は、「耐震設計の偽造」が社会問題になることから分かるように、耐震設計は社会的に認知された常識であり、耐震性を含めてコスト計算をすることが常識である。つまり、より耐震性が高い技術(耐震構造・免震装置など)は、直接建設費が高くても長期的に見た成果に見えれば採用されることになる。

基礎構造物と擁壁は、構造物として早くから耐震設計をおこなってきた。一方、盛土・切土・擁壁等の土構造物と社会に関係した自然斜面・地盤は、耐震設計が制度として採用されていない限り、耐震性が高くなるがそのために直接建設費がより掛かる耐震補強・耐震設計は採用されないことになる。盛土構造物は、重要度が高い順に耐震設計が導入されてきて、現在は耐震設計を行う範囲が次第に拡大している過程と言えよう。すなわち、大ダムとしての近代的ロックフィルダム・アースフィルダムでは耐震設計を当初から行っているが、道路・鉄道の盛土と宅造盛土の耐震設計は現在着手されている段階である。河川堤防は、耐洪水設計を行っているが通常は耐震設計を行っていない。また、切土斜面と社会

に関係する自然斜面も通常は耐震設計を行っていない。しかし、これらの場合でも、適切な耐震設計を行えば長期的に見たコスト(すなわちLife cycle cost)は低くなる可能性は高い。

自然環境の保全の問題も、耐震問題と同様に計画・設計段階で考慮しない限り、直接建設費は高くなっているが自然環境をより保全できて総炭酸ガス発生量が少なくなる工法は採用されないことになる。

3.2 対策の総合的効果

社会基盤施設と住宅・建物のそれぞれの自然災害に対する対策は、それとは異なる自然災害の対策としても効果がある場合が多い。このことは、あまり良く認識されていないようである。たとえば、河川堤防の洪水に対する機能強化のための嵩上げや腹付けによる断面拡大は、適切に施工されれば耐震性能の強化にも効果を持つ。また、浸透対策のための裏法尻ドレインによる堤体内水位の低下は耐震性能の向上に繋がる。河川の護岸擁壁でも、耐震性の向上は洪水に対する抵抗力の向上に繋がる。これらのことから、工法検討にはこれらを総合的に評価する姿勢が必要である。

また、地震と豪雨・洪水等による災害は連鎖する傾向にある。たとえば、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⇒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⇒後の地震による崩壊など、である。このことも、耐震対策が豪雨・洪水対策にもなり、豪雨・洪水対策が耐震対策にもなる場合が多いことを示している。

さらに、道路・鉄道の盛土は、締固め度の向上により長期残留沈下が抑制されて、オーバーレイ舗装や軌道保持等の維持管理費が減少すると同時に耐震性も向上する。また、宅地盛土も含めて、盛土の排水工の整備による豪雨対策も耐震性の強化に効果がある。また、豪雨対策のための自然斜面の排水工、切土斜面での地山補強土工法やのり面安定化工法等は耐震補強にも効果がある。しかし、この効果は通常は設計段階で考慮されていない。

以上のことから、個々の地盤構造物(特に土構造物)のcost/performanceは、直接建設費だけでなく、a)要求性能を長期に亘り発揮するための維持管理費、b)地震と豪雨・洪水に対する耐力を総合的に向上するためのコスト、c)対策b)による維持管理費と自然災害によるコストの減少、d)自然環境を保全するためのコスト、およびe)自然環境を保全することにより社会が受ける利益を総合的に考慮したLife cycle costに基づいて評価する必要がある。そのような総合的な評価を行えば、地震と豪雨・洪水対策と自然環境の保全によるコスト増があっても、多くの場合単純な附加的なコストの増加ということにはならない。さらに、1)最新の地盤工学を駆使した調査法・

設計法・施工法の発展と2)要求性能の長期維持でき耐災性が上がり自然環境の保全にも貢献できるが直接建設費と維持管理費が増加しない工法あるいは軽減できる工法・設計法が開発され採用されれば、このコスト増は軽減され、あるいはコストを減少さえ可能になる。これは、工学としての地盤工学の課題である。

4. 原状復旧から強化復旧へ

既存の道路・鉄道・宅地等の盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、河川堤防等の治水・利水設備の土構造物等が不幸にして地震や豪雨・洪水等により被災した場合は、その機能回復の緊急性が高い場合はそれを最優先にして復旧する必要がある。従来は、本格的に復旧する場合でも、機能だけでなく構造も原状に復旧することを原則としていた。この方針を、原状復旧と呼んでいる。盛土の場合、構造を原状に戻す本格復旧が合理的であると従来考えられてきた主な理由は、盛土にはa)盛土材が容易に手に入れば基本的に経済的な構造物であり、b)崩壊した場合でも復旧が比較的容易であると言う利点があることと、c)対象とする盛土の数量は膨大であるためコスト増となる構造的強化の方針を取りにくいことであろう。切土斜面の場合も、数量が膨大であることから、同様に原状の（すなわち従来の）構造形式に戻すのが基本である。

しかし、被災した場合に社会的影響が大きく復旧が困難で長期に亘る土構造物も多い。また、被災を受ける土構造物の多くは、今日の技術的レベルと社会的な重要性和要求レベルから見ると構造的に耐災性が低い。また、近年に補強土工盛土・擁壁など新しい合理的な構造形式や地盤改良工法などの地盤技術が開発されてきている。さらに、地震・豪雨・洪水に対する耐力など要求される性能のレベル（あるいは性能のランク）も向上してきている。とくに、既存の旧技術で建設された土構造物が地震によって被災した場合に「従来の構造形式に復旧するという原状復旧の方針」を採用すると、「新設の土構造物をレベルII設計地震動を考慮して設計・施工する方針」とは対応しないことになる。

これに対して、機能は迅速に原状に復旧した上で構造的には強化して本格復旧するという方針を取れば、新設の土構造物の設計・施工でレベルII設計地震動を考慮して設計・施工する方針と対応する。実際に、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鉄道と道路の盛土・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・技術を採用して、原状よりも構造的に強化（すなわち強化復旧）している^{7), 11)}。また、2007年能登半島地震等で崩壊した農業用ため池の堤体（堤高約10m）をジオグリッドを用いた補強土工法によって強化復旧したと言う例もある¹²⁾。これらの強化復旧の例で新しい工法を採用している理由は、構造的に

強化されるだけでなく、土工量が減ることなどにより工費と工期の短縮されることである。したがって、構造的に原状の（すなわち、従来形式の）工法を採用する理由がないわけである。

以上要するに、重要度が高い施設、崩壊により他の施設に甚大な影響を与える施設、高盛土など復旧が困難な施設などは、地震と豪雨・洪水等で被災して機能を失った場合、本格復旧する際においては、できるだけ早急な機能の復旧とともに、必要に応じて選択的に、経済的で効果的な新しい工法を採用して、構造的に強化して復旧に務める必要がある。盛土等の土構造物は壊れたら原状の（すなわち、元の）形式の構造に戻すという方針をとると、耐震性を含めて耐災性能を向上するための技術の開発を停滞させることになる。一方、強化復旧の方針をとれば、経済的で効果的な耐災技術の開発とその技術の普及と活用が促進されることになる。

なお、個人所有の住宅等の造成地が被災した場合、本格復旧の際に新しい合理的な工法の適用などによる強化復旧を行うためには、地盤技術専門家による技術支援が必要である。また、それが実現できるような行政的配慮も必要である。

5. 地盤工学における防災と減災の課題

地震と豪雨・洪水による地盤災害に対して、防災と減災の課題は車の両輪である。

5.1 防災

(1) 既存の旧技術で建設された施設

地盤構造物（特に盛土・擁壁等や切土斜面の土構造物）の特徴は、社会の必要性和要求に応じて、その時代の技術の発達レベルと社会的な経済的能力（余裕）等に応じて建設され維持管理されていることである。また、これらの地盤構造物は一般に建設後に長期に亘って利用される。したがって、既存の多くの地盤構造物は、現在よりも技術レベル、社会的要求レベル、社会的な経済的能力（余裕）のレベルが低い段階で最善の成果を上げるべく技術者の努力によって建設・維持管理されてきたものである。また、建設後に他地区での被災から教訓を得ること多い。このため、現在の技術レベル・社会的要求レベルを満たしていない既存の地盤構造物が大量に存在していることは必然であり、事実である。また、かつては災害防止を対象となっていなかったが、今日崩壊した場合には社会に大きな影響を与えるようになってきた自然斜面の数も膨大である。

耐震性に関しては、1995年の阪神淡路地震以降、レベルII設計地震動に対して十分な耐震性を持たない（即ち、耐震性に対して不適格な）既存の社会基盤構造物と住宅・建物を耐震診断によって見つけ出して耐震補強する必要性が社会的に認知され、特に鋼・RC構造物に対してはその対策がなされてきた。

以上の見地からみると、今日の段階で必要なことは、既存の旧技術で建設された地盤構造物の存在を認めない

ことではなくて、既存の旧技術で建設・維持管理されてきた地盤構造物を、被災前に諸条件が許す範囲で出来るだけ耐災診断を行い耐災補修・補強していく努力を行い、それを継続することである。

(2) 防災技術の重要性

上記のような既設の社会基盤施設と住宅・建物の耐災診断と耐災対策、および新設の社会基盤施設と住宅・建物計画・設計・施工における耐災対策での地盤工学の様々な技術的課題は、地盤災害を防ぐ立場から見ると「防災技術の課題」である。これらの技術課題には多くの地盤工学者・技術者が拘わっていることから、地盤工学の技術者・研究者・教育者等の専門家の自主的な団体である地盤工学会がこれらの課題を追求しなければ特徴が生きないし、その存在意義を示すことができない。これら課題は専門的になりやすく、報道機関が対応してくれない面があり、また一般市民には分かりにくい。しかし、これら課題は地盤工学会の活動の基本である。

5.2 減災

(1) 防災に加えて減災の必要性

防災のためのハードな技術の開発と実施は非常に重要である。しかし、現在と近い将来の技術レベルと可能な投資レベルでは、最大限の防災の努力を仮にしたとしても、それだけで既存の旧技術で建設され維持管理されてきた地盤構造物と社会と関係が深い危険度の高い自然斜面・地盤（とくに自然斜面）の地震と豪雨・洪水による地盤災害とそれによる社会的災害の全てを防ぐことは不可能であることも事実である。このことから、実際に同じ崩壊現象が生じるとしても、それによる社会的被害を減じるための方策は社会的に見れば非常に重要である。すなわち、

- a) 長期的な地盤被害の予測による生活・産業活動・社会基盤構造物と住宅・建物の崩壊可能性地域・地点からの回避、
- b) 崩壊現象の的確な短期・リアルタイムの予測に基づく崩壊からの的確な避難、
- c) 崩壊した場合の的確な応急処置等の「減災」技術の研究開発と実施・普及、

は非常に重要である。ここに減災の必要性とそのための様々な技術的課題がある。減災の活動は、地盤工学者・技術者の活動を遙かに超えて、災害を受ける可能性のある市民・企業・自治体等とともに行う活動である。

一方で、防災と減災は独立な課題ではない。すなわち、防災によって地盤災害を全て防ぐことができないが、その一方で防災がなくては減災も有効にならない。例えば、崩壊しにくい自然斜面・盛土・擁壁・切土等の建設と維持の課題は、将来の減災にとって重要である。また、減災の中で重要な崩壊した自然斜面や盛土・擁壁・切土等の土構造物の復旧の課題も、

- ・ 機能を速やかに適切なコストで緊急・応急復旧、
- ・ 強化復旧による恒久復旧

のための防災技術に支えられる。

(2) 市民・企業等の自助活動とハザードマップ

自然災害を減ずるために市民・企業等が自ら行う活動が活発になるために、以下のようないくつかの課題がある。

1. それぞれの土地の地震と豪雨・洪水による災害に対する脆弱性は、土地の高低や河川・海岸の状態等の地勢的な条件と地盤の硬軟・強弱等の地盤条件の良否と密接に関係する。このことは一般論（あるいは観念）としては理解されていても、実際に自宅、工場、商業地あるいは公共施設などの具体的な立地選択に活用されることは少ないと思われる。
2. 自分は自然災害には生きている間には遭遇しないであろうと言う考え（すなわち、正常化の偏見）がある。一方において、自然災害は「天災」とあきらめる傾向も依然としてある。
3. 立地の選択や避難活動等の減災活動に活用できる適切な縮尺の総合的なハザードマップが整備されていない。

すなわち、1, 2の課題を解決するための手段の一つとして、適切なハザードマップの作成に向けて努力し、国土利用計画や都市計画における地域指定に防災の観点を含め、義務教育に地形・地質と災害脆弱性、都市化・過密による相対的災害脆弱性の増加を学べる機会を作ることが望まれる。「適切な縮尺」は、データと予測技術に支配されることから、データの集積や研究開発の進展など時代による進化や社会構造の変化に応じて継続的に改編する必要がある。適切な縮尺のハザードマップは、国民の無関心の解消にも有効である。また、個別リスクに関して予測精度を高め、異種の災害をも含む使いやすかつ現実性（リアリティ）の高いハザードマップに進化させていくことが必要である。たとえば、堤防の地震時損傷の軽減のための耐震性能の診断評価や強化区間の選別に当たっての一連の堤防区間の区間分けには、地盤条件や堤防条件のみならず、背後地と下流域への影響を意識することが必要である。このような効果は、それ以外の全ての自然災害にも共通して期待できる。

(3) 地盤災害を防ぐための社会の負担と協力

この問題は、さまざま意見に分かれる難しい問題であるが避けられない。すなわち、狭い国土を活用し安心して生活を送るためには、国土が持つ災害に対する脆弱性を認識し災害を軽減する暮らし方を志向する風土の形成が必要である。そのためには、「官」と「民」を両極におく社会構造のとらえ方ではなく、「公」と「私」の概念で自然災害を防ぎ減ずる課題をとらえる必要があると思われる。すなわち、日々の生活を支えるサービスには、個人の努力、すなわち「私」によって提供されるものと、「公」によって提供されるものがある¹³⁾。一方、ライフラインによって供給されるエネルギー、水、通信等や交通運輸サービス等の生活と生産活動の便利さや快適性を支えるサービスは「私」によっては確保できない。その確保には、「官」と「民」の両方の社会基盤施設を整備し維持管理することに責任を持つ公の（すなわち公共の）

機関が必要となり、責任を持つことになる。その維持のためには、必要な負担を個人が担うことが必要となる。

上記のことは、生活の安全や安心も同様である。その場合、その確保のためには私権の制限を受忍することも場合によっては必要になる。このような負担や受忍は、自らも受益する公共目的のためである。とくに、自然災害の軽減に関しては、このような考え方が重要であると思われるが、近年希薄になりかけている恐れがある。たとえば、崩れやすい崖地の直ぐ下に住まうことは、危険でありその回避のために土地利用の規制が行われることは容易に理解でき、受忍されている（土砂災害防止法）。一方、三大湾のみならず高潮の心配される地域や、ゼロメートル地帯の抱える浸水リスクの抜本的な解決は、そこを守る堤防をゼロメートル特別区間として指定してその整備を推進するか、リスクの高い区域の土地利用を規制することによってしか図れないであろう。しかし、すでに都市化され、高度に土地利用の進んでいる浸水危険地域に新たな土地利用規制の網をかけても、その実行可能性には疑問が残る。

以上により、前述した地震時の浸水リスクに関する事例の場合には、少なくとも地盤の液状化や堤体内での液状化のおそれがある区間として抽出された区間については、堤防の耐震強化を進めることが必要である。このような防災対策と減災対策としての緊急対応・復興準備との総合的な準備が必要となり、現に進められている。しかし、防災対策と減災対策の間の、さらに防災・減災対策と規制との間のバランスのあり方とこれに関連した必要な防災投資に対する考え方は、地域、時代、価値観により変化するものであり、防災学の分野でも定見は無いように思われる。

また、ゼロメートル特別区間など堤防の重要度区分は、国土の重要度区分につながる課題ではあり、制定要件の合理的な整理に地盤工学を含めた工学が貢献することが必要である。さらに、ゼロメートル特別区間として耐震強化を推進するためには、堤防用地に当たるところの土地所有者や土地利用者がその必要性を納得するばかりでなく、彼らが被る負担を堤防一連区間の背後地域と下流地域にいる受益者全員が分担すると言う、公共目的に協力すると言う文化を構築することも必要である。

6. 地盤工学・技術の発展と活用の必要性

道路・鉄道・宅地等の盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、河川・海岸堤防・ため池・フィルダム等の治水・利水施設の土構造物、上下水道・電力・通信等のライフライン、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の耐災化によって社会の安全に貢献するためには、

- ・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。上記のためには、地盤工学の専門家は、社会基盤施設と住宅・建物、社会に関係する自然斜面・地盤に関する学問・技術体系としての地盤工学（地形学・地質学も含む）における調査・計画・設計・施工・維持管理の技術を発展させ、その成果を活用する必要がある。地盤工学の専門家の全国組織である地盤工学会は、そのために活動する必要がある。

6.1 地盤工学・技術の発展

地盤災害を防ぎ減少させるためには、現在の地盤工学の学問と技術のレベルは十分なものとは言えず、数多く分野での発展が必要である。以下は、その中で重要と思われるものである。

- 1) 盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、地中構造物、上部構造の支持地盤と基礎構造の耐震設計においても、社会基盤施設と住宅・建物（建築施設）のRC・鋼製の上部構造物と同様に、社会的に要求される性能と重要度に応じてレベルII設計地震動を考慮するための手法・方法論を開発する必要がある。また、近年降雨強度が増大し局地的な集中豪雨が頻発していることも設計に取り入れていく手法・方法論を開発する必要がある。これらの手法・方法論は、新設構造物の設計・施工の場合だけでなく、耐災診断と耐災補強にも適用できる必要がある。
- 2) 土構造物、地下構造物、社会基盤施設と住宅・建物の支持地盤、基礎構造物、社会に関係ある自然斜面の耐災化のための調査・計画・設計・施工・維持管理の技術レベルを向上させる必要がある。特に、以下の地盤工学の諸技術の発展が必要である。
 - a) 既往の地盤災害のメカニズムの究明のための調査・研究の継続：これらの調査・研究は、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ことを目標にして実施してゆく必要がある。
 - b) 耐災補強すべき場所を見出すための耐災診断技術の精度の向上：
 - ・地盤災害によって崩壊した場合に社会的影響度が高い既存の土構造物・地下構造物・上部構造物の支持地盤と基礎構造物と自然斜面の内部の弱部を効率的で正確に発見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・鉄道・宅地等の盛土・擁壁・切土等の土構造物、河川堤防等の治水・利水設備の土構造物と社会に関係がある自然斜面の維持管理は、既にシステム的に構築されている。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。この状況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) 地盤情報、既設の社会基盤施設と住宅・建物に関

する情報に関する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による地盤調査の結果を各地域毎に集約して整備し、できる限り一般に公開する体制を構築する必要がある。このプロセスは、地盤工学会ができる限り主導する必要がある。現にこの努力は地盤工学会の全国の支部で開始されているが、促進する必要がある。
- ・既設の社会基盤施設と住宅・建物の地盤災害に対する耐災診断・耐災補強に必要となる建設時の設計・計画・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)地盤災害に関連した新設の社会基盤施設と住宅・建物の耐災設計法・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開発と合理化¹⁴⁾：

- ・土構造物、地下構造物、基礎構造物、支持地盤を対象としたレベルII設計地震動を考慮した耐震設計法を開発し、これらの地盤構造物と支持地盤は適切に設計・施工すれば、レベルII設計地震動に対しても崩壊しない保証ができるようになる必要がある。そのためには、一定の条件の下での変形を許容して土構造物等の地震時安定性を評価し、良い盛土材料が選択された場合や締固め度が向上した場合はそれに対応した土の設計せん断強度を設定する必要がある。また、補強土工法・地盤改良工法等の新しい工法を開発し採用する必要がある。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。
- ・盛土の施工管理における締固め度等の従来の現場管理値は、今日盛土に要求する性能と明確に関連しているとは言いがたい。今後、地盤災害を防止する目的と維持管理の観点から要求される盛土の性能に基づいて決定し、それを保証するように施工管理する方法を開発する必要がある^{15),16)}。
- ・近年降雨強度が増大し局所的な集中豪雨が頻発している。このこと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新しい効果的で経済的な構造形式を開発し設計法と施工法を整備してゆく必要がある。
- ・従来の設計法における技術的諸課題を検討する必要がある（例、盛土・自然斜面の極限つり合い法によるすべり安定計算におけるせん断強度と間隙水圧の合理的な取り扱い方、安定解析に用いるせん断強度の排水・非排水条件の選択法等）。
- ・土構造物の設計においては、従来から極限つり合い法による安定解析法によって得られる安全率に基づいて性能を判断してきた。この方法と高度化した変形を計算できる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るとともに、相互の整合性を確認する必要がある。同

時に、十分な地盤調査に基づくことによって始めて数値解析の結果を信頼することが可能になることから、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。

- ・多くの異なる地盤の液化化の予測法が、異なる機関によって提案され使用されている。これらを、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化化を、より経済的でより効果的に防止できる工法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の効果を正当に評価するためには、構造物の地震と豪雨・洪水等に対する安定性と長期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する必要がある。
- ・既存の旧技術で建設され維持管理されている地盤盛土・擁壁・切土斜面等の土構造物、地中構造物、基礎構造物と崩壊した場合には社会的影響が大きい自然斜面・地盤の耐災補強、新設構造物の設計・建設、および被災後の強化復旧のため、経済的であり、施工性が高く、機能が新しい技術の開発が必要である（例、補強土工法による擁壁・橋台・切土斜面、越流を部分的に許容し耐震性を確保したため池堤体、セメント混合等による地盤改良工法、排水施設等）。
- ・その他

e)上記の目的を達成するために、地盤工学会は積極的に関与する必要がある。すなわち、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、担当社会基盤施設の整備管理機関からの設計基準・指針の整備・見直し・改訂に対する支援の要請がある場合は、積極的に応えるべきである。また、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。

f)その他。

6.2 地盤工学・技術の活用

地盤災害を防ぎ減ずるためには、6.1で述べた地盤工学と地盤技術の発展に加えて、その成果を効率的にかつ実際に活用する技術と方策が必要である。

1)地盤災害の事前対策

より精度の高い地盤災害の診断（調査と判断）の技術の開発とその活用が必要である。すなわち、全ての既存の地盤構造物（特に土構造物）と社会生活に係る自然斜面・地盤の耐災強化はできない事実を踏まえると、限定された予算を効率良く使うためには、より効果がある場所・地点から優先的に対策して行く必要がある。より具体的には、以下の方策をとる必要がある。

a)地盤災害のリスク評価と生活・産業活動と社会基盤構造物と住宅・建物の地盤被害を受ける可能性があ

る地域からの回避の方策（降雨強度の事前予測，ハザードマップの整備とモニタリング法の開発と整備）

- b) 地盤災害の場所と時間の的確な事前予測と，それに基づく適切な警戒避難
- c) 既存の旧技術で建設され維持管理されてきた土構造物と自然斜面・地盤の重要度に応じた必要で可能な範囲での耐災補強
- d) 新設の土構造物を含む地盤構造物に関連した社会基盤構造物と住宅・建物の計画・設計・施工における地盤工学の適切な活用
 - ・地域の地盤特性に基づいた社会基盤諸施設と住宅・建物の立地計画
 - ・地震と豪雨・洪水に対しての地域特性を考慮した地盤工学としての適切な設計（工法，構造形式の選定と設計計算法を含む），施工。すなわち，より性能が高い土構造物を実現できる設計・施工が実現しやすいように，性能をより適格に考慮した合理的な設計・施工体系の実現。
- e) 効果的な維持管理（特に，排水設備，自然斜面の風化など長期劣化対応）の技術の開発とその活用

2) 地盤災害の事後対応

- a) 災害時の的確な避難と緊急復旧を含む緊急対策
- b) 応急処置と機能復旧のための効果的な応急復旧技術の開発とその活用
- c) 効果的な恒久復旧（崩壊した土構造物が既存不適格であるならば，適切で経済的な近代的工法での構造的に強化した復旧も含む）の実施

6.3 地盤工学会の広報・教育活動

地震と豪雨・洪水による地盤災害は，全国各地で様々な形態で生じる¹⁾。これを防ぐためには，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。そのためには，地盤工学の技術者・研究者・教育者等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う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。また，このように防災の必要性を説くだけでなく，地盤災害を防ぐための地盤技術と知識の普及が必要である。さらに，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。

上記の目的のために，地盤工学会は，本提言を活かして，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等のデジタル教材も含む）などを出版し，シンポジウム，ワークショップ，講習会，公開講座などを積極的に開催する必要がある。この点に関して，地盤工学会は独立行政法人 科学技術振興機構（JST）からの制作委託を受け，2007年度にWebラーニングプラザ教材「地盤の液状化と軽減技術」を，2008年度には「地盤災害か

ら人々を護る」を制作した。これらの教材は，ホームページ <http://weblearningplaza.jst.go.jp/> の社会基盤分野に2008年4月から掲載を行って大きな反響を得ている。教材は，それぞれ10レッスンで構成され，興味のある部分から学習することも出来る。広く一般の方に向けた内容と構成になっていて，地盤の液状化現象と地震と豪雨・洪水による地盤災害に関して，そのメカニズムや予測方法，ならびに代表的な対策技術を図表・写真・動画とともにナレーションでわかりやすく解説している。このため，一般の方々にも興味深い内容を提供しており，地盤工学の前提知識が無くても学習できる部分も多い。また，地盤工学・土質力学の基礎を理解している方々にとっては，全レッスンを学習することで，地盤の液状化と地震と豪雨・洪水による地盤災害に関する対策工法や解析技術等の周辺技術も含め，体系的に知識の整理も行える教材となっている。

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会各支部からの報告，本報告書第二部，2009.
- 2) 例えば，安原一哉：地球温暖化と複合地盤災害，地盤工学会誌，57-4，1-5頁，2008.
- 3) 例えば，岡田憲治：温暖化と土砂災害，地盤工学会誌，57-4，6-9頁，2008.
- 4) 国土交通省利根川上流河川事務所のホームページ（<http://www.tonejo.go.jp/bousai/index4.htm>）
- 5) 平成21年4月2日国土交通省港湾局（中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」（第14回）による），2009.
- 6) 国土交通省砂防部：国土交通省ホームページ，2007.
- 7) 川村國夫・久保哲也・小林喬：能登有料道路の復旧，特集「最近の災害復旧」，雑誌基礎工，9月号，36-9，42-45頁，2008.
- 8) 今井滋・星野行宏：既設アースフィルダムの耐震強化工事における盛土工，特集「盛土の設計と締固め」，雑誌基礎工，7月号，37-7，83-87頁，2009.
- 9) 広瀬弘忠：災害への社会科学的アプローチ，新曜社，1981.
- 10) 京都大学防災研究所編：防災学ハンドブック，2001.
- 11) 谷口善則・相沢文也・矢嶋敦・藤原寅士良：新潟県中越地震による鉄道盛土の被害および復旧，第40回地盤工学研究発表会，函館，2005.
- 12) 毛利栄征・松島健一・堀俊和・有吉充・山崎真司・龍岡文夫：地震・洪水による堤体の災害と補強土工法による減災技術の開発，ジオシンセティックス技術情報誌，11月号，9-25頁，2008.
- 13) 大石久和：国土学事始め，毎日新聞社，pp.214-230，2006.
- 14) 龍岡文夫：地盤工学における今日の課題，古典理論・設計法・土の物性の関連（主に土構造物の耐震問題に関連して），本報告書 DVD 収録付属資料，

2009.

- 15) 龍岡文夫：盛土の締固め管理と設計の協働の必要性，特集「盛土の設計と締固め」，雑誌基礎工，7月号，37-7, 2-9 頁, 2009.
- 16) 松尾修：道路盛土・河川堤防の設計と締固め，特集「盛土の設計と締固め」，雑誌基礎工，7月号，37-7, 36-39, 2009.

2007年度会長特別委員会