

地盤環境工学研究連絡委員会報告

「地盤環境工学の現状と将来」

平成9年 3月 31日

日本学術会議

地盤環境工学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議地盤環境工学研究連絡委員会の審議結果をとりまとめて発表するものである。

委員長 松尾 稔（名古屋大学）
幹事 落合 英俊（九州大学）
龍岡 文夫（東京大学）
委員 青木 滋（新潟大学名誉教授／＊新潟大学）
井畔 瑞人（（株）東京鐵骨橋梁／＊清水建設（株））
岩崎 敏男（（財）建設技術研究所）
岸田 英明（東京理科大学）
栗原 則夫（（株）大阪道路エンジニア／＊日本道路公団）
国生 剛治（中央大学／＊（財）電力中央研究所）
佐武 正雄（東北学院大学）
柴田 徹（福山大学／＊京都大学）
土岐 祥介（北海道大学）

*は委員発令時の所属

目 次

はじめに	1
1. 地盤環境工学の現状と将来の枠組み	2
1. 1 地盤工学におけるパラダイム転換	2
1. 2 新しい地盤環境工学の体系と課題	5
1. 3 研究組織と人材育成	13
1. 4 教育	17
2. 地盤・基礎工・土構造物に関わる設計基準と地盤防災	18
2. 1 設計基準と学会の役割	18
2. 2 設計基準と基本原理の統一	19
2. 3 耐震基準とその改善	21
2. 4 設計基準と製造物責任法	25
2. 5 防災地盤図と防災レベル・被災リスク	27
2. 6 地盤防災工学と防災教育	29
むすび	32

はじめに

地盤工学は、道路、橋梁、トンネル、地下鉄および地下街、空港、港湾、ダム、河川および海岸堤防、土地造成、ビル、住宅など、社会基盤施設の建設および維持管理に関して、欠かすことのできない重要な工学分野であり、土木工学、建築学、農業土木工学、応用地質学、地震工学、資源開発工学などと深く関係している。

この分野は、過去から現在にかけて、経験則に基づく伝統的な工法を18世紀以来の古典力学の原理、体系に依拠して、"いかに合理的、科学的に説明し、構造形式や工法を改良するか"という基本姿勢の基に発展してきた。すなわち、その学術と技術の背景には、合理性、科学性の追及によって、人間生活の幸せが得られるという信念があり、それのもとに発展への努力がなされてきたのであり、これまでの社会基盤の整備を通して、社会の発展、人々の生活の利便性や快適性、豊かさの向上に大きな役割を果たしてきたのは事実である。しかし、これらのパラドックスとして、"自然のメカニズムの破壊"、"環境の損傷"、"地球規模での地域格差の増大"などを生んだのもまた事実であり、1980年代後半からこの工学分野の在り方に変化が起りだした。建設技術がもたらした負の遺産に対する強い反省から、「環境保全」、「景観」、「資源エネルギー」などの新しい枠組みを取り入れる動きがはっきりと出てきたのである。すなわち、地球環境、生活環境重視の社会の流れの中にあって、旧来の土質基礎工学、地盤工学から、領域をさらに拡大した新しい「地盤環境工学」への展開が強く自覚されるようになったのである。

かくして前期（第15期）において、第13期—第15期まで活動した「土質基礎工学研究連絡委員会」の内容、構成メンバーとも大幅に改組する方向で十分に議論し、本期から「地盤環境工学研究連絡委員会」として新たに発足させ、今日まで活動を続けてきたのである。

委員会においては、日本学術会議第16期活動計画の背景にある基本認識、すなわち、「歴史的転換期における新たな展望の探求」を特に重視し、地盤環境工学の現状と将来の枠組みについて議論を進めてきた。またこれに基づいて、それでは「地盤・基礎工・土構造物に関する設計基準と地盤防災」は具体的にどうあるべきか、について深く議論した。議論は、各委員が得意とする分野について担当を決め、毎回準備された資料を基にして進めた。文書による討論も多用した。

本報告はこれらの結果を取りまとめたものであり、関連の機関、特に関連学協会で活用されることを期待している。

平成9年 3月

地盤環境工学研究連絡委員会
委員長 松尾 稔

1. 地盤環境工学の現状と将来の枠組み

1. 1 地盤工学におけるパラダイム転換

1.1.1 工学の動向

戦後、日本の欧米先進諸国を目標とした高度経済成長と国民生活向上を支えたのは産業活動であるが、工学はその方向性を、時には率先してリードし、時にはその要請に応じる形で展開してきた。学問的手法としては、既存の科学的思考に基づいて伝統的な経験を客観化、合理化することに努め、論理構成上は広い意味での「物理的信頼度(安全度)」を制約条件とし、その中で経済性を追究する手法がとられた。そこでは、資源、エネルギー、環境問題は、明確な制約条件として採用されず、例えば資源やエネルギーは無限、自然の環境浄化能力も無限であるとして放置された。これらの根底にあったのは、西欧近代科学に端を発する「進歩、拡大に対して絶対的な信頼をおく進歩史観」というパラダイムであった。

しかしながら、高度経済成長の行き着いた先にあったのは、物質的な豊かさと引き換えに支払うこととなった環境問題、都市問題、精神の荒廃などの深刻な代償であった。こうした問題は社会のあらゆる面に起こっており、国民は出口の見出せない閉塞感にとらわれている。産業界では、こうした社会状況の変化に呼応して、産業の社会的責任の高まり、物中心思考から人中心思考へ、生産者論理から消費者論理へなど、多様な価値観への柔軟な対応が重要視され、自然と社会との共生や人間性を尊重した心豊かなモノ造りへの転換が強く意識されている。そのため、各企業の実に98%が産業のパラダイム転換を進めることに関心を持っている（学術会議第5部「転換期にある工学と産業のかかわりについて—産業界の意識調査とその考察—」1991）。

産業界と連携しつつ高度技術社会を実現してきた工学の側にも、「高度技術の大衆化とシステムの巨大化、さらに多種多様な情報の有無をいわせぬ急激な浸透に対し、個人も集団もこれに対応できない、また人間社会と自然界とのバランスも明らかに崩壊しつつある」という認識がすべての分野に広まっている。そこには、専門分化、細分化をあまりにも追究したが故に、「解析の対象が無限に広がり、研究のリソースと時間が発散してしまった、また総合と調和をおろそかにしてきたが故に、環境など結果的に工学主導の深刻な各種パラドックスを生んだ」という反省が出てきている。

工学はいまや環境の学であり、人文科学、社会科学、物理科学、生物科学などのすべてに依存せざるを得ない状況といえる。したがって、これまでの主としてきた「それぞれの領域での工学の中での理念と手法」から脱皮し、総合工学の論理の構築を目指さなければならない。例えば、現在の工学の理論構成上の問題に関しては、その制

約条件に物理的安全度のほか、資源、エネルギー、環境条件を定量的制約条件として加えることなどが必要である。

1.1.2 土質工学から地盤工学へ

地盤に関する学問は、材料力学の発展と並行して、17世紀末から18世紀にかけての古典的土圧論の擁壁の設計への応用といったあたりから始まり、力学理論の研究が先行していた。今世紀初めに、テルツァーギによって *Soil Mechanics* という名称の力学（あるいは学問）分野が、応用力学的学問の独立した一部門として創設された。テルツァーギは実験によって土質の特性を正確に特定することを重視した。しかし、*Soil Mechanics* が対象とした材料は、力学理論に適合する理想的な土、いい換えれば仮想の土であって、実際の土ではない。したがって、*Soil Mechanics* を実際に土に適用するにあたっては、地質学やさまざまな工学的知識を必要とした。そこで、テルツァーギとペックは *Soil Engineering* として工学的な体系化を図った。テルツァーギの圧密論というパラダイムを中心に創設された「*Soil Mechanics* あるいは *Soil Engineering*」は、テルツァーギの弟子たちによって、いわゆる「1948年型土質力学」として体系化され、土木工学の重要な一部門となった。それは、有効応力（あるいは間隙水圧）の概念を中心思想にして、試料採取、土質試験、圧密、せん断強度、斜面安定、土圧、支持力、土質安定等々の内容配分を持った応用力学的学問であり、それ以降、その各分野は多くの研究者によって研究され、その内容を次第に充実させていった。

日本では、*Soil Mechanics* と *Soil Engineering* に対して、それぞれ土質力学と土質工学という用語が用いられてきた。実際は、両者は必ずしも厳密に区別して使われてきた訳ではないが、一般的には、土質工学の方が広く技術的なものを含んで考えられてきた。その違いを具体的に考えると、土質力学は、「室内の土質試験あるいは原位置での地盤調査によって、小さい土試料やマスの性質が分かれば、土構造物や地盤の応力一ひずみ関係や透水係数等の物性が求められ、構造物の変形や安定性が調べられるはずである」という大前提（要素還元主義）の上に成立している。一方、実際問題の解決を扱う土質工学では、土質力学がそのまま実際問題には適用できないという経験の上に立って、土質力学を基本にしつつも、それに様々な工学的な操作を加える。土質工学における設計から施工までのプロセスを考えると、まず設計を行うにあたって、技術者は頭の中で問題を提起し、対象となる「実際の土構造物や地盤」の範囲を設定し、その対象を調査、試験する。ここでの「対象」とは、問題に関係があると技術者が考える自然の一部を限定したものであり、それは同時に技術者自身の所属する社会の一部でもある。すなわち、調査、試験の結果と地質学や地形学などの知識に基づいて、対象を一定の仮説により主として土質力学で解析できるようにモデル化する。モデル化された土構造物や地盤に対して、土質力学理論に基づく数値解析を実施し、必要ならば室内での小型模型実験を行って、一定の結論を得る。しかし、これらのプ

ロセスで様々な理想化や単純化を行っており、そのことが重大な誤差を生むことが経験上分かっているため、必要に応じて現場での大型模型実験あるいは実物大実験などによる確認作業を行ったり、過去の経験に基づいた技術的判断を加えたりして、数値解析結果に修正を加え、設計の修正が行われる。そして施工が行われるが、この施工段階にも、動態観測による情報の収集によって施工の軌道修正（情報化施工）が行われる。このとき、場合によっては当初設計の修正が行われることもある。

こうしたプロセスが示すのは、土質力学の世界は、地盤調査や土質試験といった実際の土を対象とした作業を必要とするものの、理論に適合するように土や地盤を理想化する、いい換えれば「仮想の土」あるいは「仮想の地盤」を材料とする応用力学の世界ということであり、一方、土質工学が扱うのは「実際の土」であり、「生きた地盤」であって、力学的計算のみで設計できない現実の世界であるということである。そういう意味では、土質工学は、実際問題の解決を目指す学問であって、土質力学は、そのための主要ではあるが一つの手段にすぎない。

ここでさらに重要な点は、「技術者は社会の一員であり、その社会は自然の一部である一方、技術者が対象とするもの（この場合は土構造物や地盤）は自然の一部であると同時に、技術者の所属する社会と密接に関わっている」、という全体的な相関である。すなわち、技術者、対象、社会、自然それぞれが連関を持って存在している中で、実際問題の工学的解決が行われているのである。しかし、従来の土質工学においては、こうした連関に対する認識は必ずしも明確ではなく、土質工学は、力学以外の様々な学問の成果を導入して発展してきたものの、基本的には土質力学理論を中心とした応用力学的学問の域を脱してはいなかったといってよい。

しかるに、土質工学が扱う分野も大深度地下、ウォーターフロント、海洋地盤、地盤防災など広範囲に拡大し、それとともに地球科学、化学、生物学、生態学などの基礎科学が土質工学の基礎理論として必要とされるようになってきた。とりわけ、環境問題が地球規模で重要視されるようになってきた中で、土質工学の立場から問題解決のために積極的に貢献できるものが少なくなく、かつそうすることが土質工学の責務であるとの問題意識から、さらに「地盤環境工学」という新しい学問分野の構築が図られるようになってきた。また阪神・淡路大震災を契機に「地盤防災工学」の整備に対する社会的要請も高まってきた。

こうした反省や新しい問題意識に立って、最近、土質工学会が地盤工学会へ改称したのを契機にして、土質工学から地盤工学へのパラダイム転換が起こりつつある。すなわち地盤工学は、例えば、「応用力学をベースにした材料力学、流体力学、土質力学、岩盤力学などの分野、および基礎科学である地球科学、化学、生物学などの分野に立脚し、土質基礎工学、岩盤工学、地盤環境工学、海洋地盤工学、地盤防災工学および地盤に関する他の分野を含めた学問、技術分野を形成している一土質工学標準用語集（平成8年5月25日訂正）一」という定義に見られるように、「主に応用力学

をベースにした従来の土質工学的学問、技術」から「応用力学と基礎科学という二つの基礎分野をベースにした、広範囲の土構造物と地盤に関する新しい学問、技術」へのパラダイム転換を志向しているといつていい。

こうした土質工学から地盤工学へのパラダイム転換は、工学全体におけるパラダイム転換、ひいては近代科学の各分野におけるパラダイム転換に共通するものを含んでいる。それは、

①一つには、「力学的自然観から生命論的自然観への転換」であり、

②もう一つには、「自然科学的方法万能主義から総合科学的方法への転換」

である。前者は、土構造物や地盤を単なる力学材料、つまり人間が力学的にコントロールできる「仮想の土構造物や地盤」としてのみ見るのではなく、人間が社会を通じてその自然メカニズムに即して共生すべき「生きた土構造物や地盤」として見る見方への転換である。また後者は、「自然科学的方法主体から人文・社会科学的方法の導入」、「演繹法、帰納法主体から発想法（アブダクション）の導入」あるいは「線形的思考主体から非線形的思考の導入」などによる総合科学的学問への転換である。

1. 2 新しい地盤環境工学の体系と課題

1.2.1 はじめに

科学技術基本計画によると、科学技術の役割は、

- ①「活力のある豊かな国民生活を実現し、安心して潤いのある社会を構築すること」
 - ②「人間が社会、自然と共生しつつ持続的に発展できるようにすること」
 - ③「基礎研究により人類が共有し得る知的資産を創出すること」
- である。

(1) 活力のある豊かな国民生活を実現し、安心して潤いのある社会を構築すること

これに関しては、地盤環境工学を含め建設にかかわる工学（土木工学、建築学、農業土木学、応用地質学、地震工学、資源開発工学等）の本来の目的が、「国民生活と生産活動の基盤である社会資本の整備」であるから、この役割をかなり分かりやすい形で果たし得る。

しかし、工学研究の一般的目的である「cost/performance比（コスト/機能比）を極小に、機能を最大にする技術開発」という目標を、地盤環境工学で分かりやすい形で達成するのは実は容易ではない（ここでのコストは、直接建設費と通常の時間スケールでの維持管理と補修費を指す。また、機能には安全性も含まれる）。それは、まず目標（例えば、破壊に対する安全率）の実際の達成度の評価には曖昧な所があり、ある場合には危険すぎる場合があり、ある場合には過大設計になっている場合がある、と

いう整合していない側面があるからである。このことは、短期的な評価の場合以上に耐震性を含めた長期的な評価で特に難しい。現に、兵庫県南部地震で崩壊した昭和30-40年代に建設された多くのRC構造物は、建設当時は設計ができるだけ合理化し経済的にしようとしたのであろう。しかしながら、今日の技術レベルから見ると、コストは低く押さえられていたが、強震動に対する機能が低くなっていたといえる。耐震設計における上記の状況の原因の一つは、設計地震荷重の算定及び設定に曖昧さがあるためである。しかし、この問題は地盤環境工学に限定されない。

地盤環境工学に特徴的な問題としては、設計荷重に曖昧さがない場合でも、例えば基礎地盤の支持力の評価、基礎の沈下量の予測等、実際の地盤の挙動の予測能力が十分でないことが挙げられる。このことの要因の一つとして、土木、建築、農業土木を含めた建設技術において、従来なるべく地盤を信頼しない工法、なるべく土を用いない工法が一貫して採用される傾向が続いてきて、これらの予測能力が厳しく問われてこなかったことに一因があると思われる。特に、高度成長期では、実際はたとえ過大な設計であったにしても（つまり、コスト/機能比が高くて）、確実な結果が得られる「地盤、土に頼らない工法」、例えば、盛土ではなく杭支持のRC高架橋、建築物では直接基礎ではなく杭支持基礎等が採用される傾向にあった。また、巨大橋梁の基礎、大規模掘削でも、地盤の支持力や剛性を相当過小評価した安全側の設計が行われてきた。結局、実際の安全度を正確に予測する能力において、現在の地盤環境工学はまだ未熟であるといわざるを得ない。

さらに、建設技術の進歩に対する社会的背景も単純ではない。例えば、建設受注者の立場で近視的に当面の利益だけを考えると、同一の機能に対して建設コストが高い方が良いことになる。従って、自由な受注競争がなければコストが高く維持されがちになる。また、同一の機能を実現できてコストが低い工法を提案しても利益が下がるだけの受注システムでは、「コスト/機能比を極小にして、機能を最大にする技術開発」の研究に対する動機も低くなる。また、発注者に対する適切なコスト/機能比に関する社会的評価システムが確立していかなければ、無駄遣いの高いコスト/機能比も非難されることになる。また、現在の評価システムは、基本的にはコスト/機能比が高すぎることを指摘する、つまりマイナスの評価は行うが、コスト/機能比は低いが十分機能が高く、結局コストが低い工法を採用した場合のプラスの評価を行なうシステムになっていないといえる。このシステムでは、発注者側にも積極的に「コスト/機能比を極小に、機能を最大にする技術」を採用しようとする動機も低くなる。

「コスト/機能比が極小で機能が最大」な建設技術を実現しようとするならば、地盤や土はもっと活用されるべきであり、そうできると思われる。具体的には、

a) 例えば、地盤の支持力や剛性のような地盤特性の評価と地盤の挙動の予測が正確にできて、過大設計も過小設計もしないようするために、地盤環境工学自身がより発展すること、

- b) 地盤と土を更に活用する地盤改良技術等の開発,
- c) 競争原理等を確立して、「極小なコスト/機能比で必要な機能を実現できる建設技術」がより研究され、採用されるような社会的条件の整備,
が必要であると思われる。

以上の議論は、地盤工学会「基礎研究課題の提案と財政支援要請」（平成8年7月）での「III. 基礎研究課題の提案」に挙げられた「(4) 地盤工学設計法の向上と品質向上」は、まさに上記 a) に対応するものである。その内容としての「(2) 土構造物及び地中構造物の耐震性評価技術の開発」、「(5) 社会インフラの維持、補修、超寿命化技術の開発」、その手段としての「(1) 実物実験基地網の整備」も、直接対応している。

(2) 人間が社会、自然と共生しつつ持続的に発展できるようにすること

これに関しても、地盤環境工学での環境工学の側面を充実させることでかなり直接的に貢献できる。これには、a) 現状の自然、人工環境の保護（現状の緑、水質等の自然環境の維持等）や改善（緑化、水質改善等）という社会生活に直接目に見える側面だけでなく、b) 建設過程そのものに隠れている環境問題の評価も大切である。

例えば、自然斜面に沿って道路、鉄道等平面を実現する場合、自然斜面の掘削量と面積と自然斜面上への盛土の量と面積をなるべく減らす工法を採用すること、実現した掘削斜面、盛土斜面を緑化すること、は前者 a) の側面である。後者 b) の側面は、掘削残土をなるべく出さない工法、あるいは切り盛りのバランスがとれている工法の採用をすることであり、建設材料の製作等を含む建設工事全体のエネルギー消費量、炭酸ガスの発生量の評価も含まれる。

この点からも、自然材料である土を用いる工法、現に存在している地盤を改良して用いる工法や鉄筋コンクリート、鉄鋼をなるべく用いないで地盤と土を信頼する工法の方が環境問題において優れている場合が多い。すなわち、直接的機能（例えば、道路における自動車交通を確保する機能）だけで評価すると機能/コスト比が高い場合でも、環境や非常に長期にわたる維持管理費の要因を機能に含めて評価すると機能/コスト比が低くなる場合がある。例えば、土を用いると緑化が可能であり、土は通常の状態では長期的に劣化しない。現在、この評価法は確立していない。

以上の論点は、地盤工学会「基礎研究課題の提案と財政支援要請」（平成8年7月）における「III. 基礎研究課題の提案」に挙げられた「(6) 地盤環境工学による環境向上」、「(7) 防災地盤技術の開発」に対応するものである。

(3) 基礎研究により人類が共有し得る知的資産を創出すること

これについて、科学技術基本計画では明らかに「理学研究=基礎研究」として捉えている。しかし、それは正しいのであろうか。また、「工学研究=応用研究」なのであろうか？

工学研究は、生産における「機能の拡大と向上とコスト/機能比の極小化」を目指しているが、個々の工学研究は生産現場からの物理的、精神的距离によって、非常に基礎的にも応用的にもなり、自然現象に対する取り組み方も理学研究と変わらないこともある。工学研究から、新しい自然の法則性を見い出した例は枚挙できない。従って、「地盤環境工学にとって基礎研究とは何か?」という課題で議論すること、つまり、

工学一般にとって基礎研究とは何か?

地盤工学にとって基礎研究とは何か?

環境工学にとって基礎研究とは何か?

という課題の検討が建設的である。特に、環境問題は本来施策の問題であるので、非常に応用的色彩が強い。従って、環境工学の根幹(芯)は何であり、その基礎研究は何であるか、ということの検討は非常に重要である。

これらの課題を検討するためには、地盤環境工学の現在の枠組み、新しい枠組みについて検討することが必要になってくる。

1.2.2 地盤環境工学の新しい枠組みとは何か

地盤環境工学は、次の三つのカテゴリーから成り立っている。

- ①伝統的「土質力学と地盤基礎工学(土質工学)」、
- ②古くからの関連分野、
- ③新しい分野と新しい関連分野。

以下、「地盤環境工学と地盤工学会を若返らせて、魅力があり、役に立つものにするにはどうしたら良いか?」と、いう見地から検討を試みる。

(1) 伝統的「土質力学と地盤基礎工学」

このカテゴリーで重要な課題の一つは、「古典的土質力学における研究」と「地盤工学の実務」の関連を明らかにして、古典的土質力学のきちんとした継承と再評価と発展をするには、どうしたら良いか」ということであろう。この問題を、土圧論、支持力、斜面安定等の地盤の安定問題に対する古典的理論を例にして検討してみる。まず、土質力学の歴史を概観すると、

a) 経験主義の時代(ほぼ個々の技術者の経験だけに依存した時代):経験は現在でも非常に大切であり、いかにそれを体系化するかが工学の一要素である。しかし、ここでは専ら経験に基づいて建設工事が行われていた時代を指す。

b) 古典的数理的土質力学理論の発達の時代:非常に単純化した土の強度特性(一般には一様、等方、完全塑性を仮定)に基づく簡単化した境界条件に対する精緻な数理的理論が成立した時代。

c) 現場での実際現象と古典的土質力学理論の矛盾の認識の時代:土のせん断変形、強度特性の知見の不十分さのため、古典解では説明できない現実があらわれて、古典

解に対する技術者の不信が出てきた時代。例えば、内部摩擦角＝安息角として主働土圧を過大評価したため、主働土圧により倒れるべき擁壁が倒れなかった事例や、完全塑性体仮定の古典解では、土圧が地盤変形の関数ではないので、地盤掘削時の切梁に作用する土圧分布は説明できること等である。

d) 土の物性の研究、及び数値解析法、模型実験の進展の時代：現在である。せん断試験が三軸圧縮試験→平面ひずみ圧縮試験→真の三軸試験→ねじり単純せん断試験等へと進展して、土のせん断変形、強度特性が精密に測定され、内部摩擦角の圧力レベル依存性等の詳細、ピーク前の弾塑性的変形特性の研究がされはじめた。さらに、三軸圧縮試験→平面ひずみ圧縮試験→真の三軸試験→ねじり単純せん断試験等へと要素試験法も進展し、変形、強度特性の異方性等の新しい事実とそのモデル化、ピーク後のせん断層特性の研究も進み、数値解析法そのものも進展した。以上に平行して、小型1g模型実験→大型1g模型実験→現場実験→遠心力載荷実験等と模型実験法が進展し、地盤の破壊の進行性、ひずみの局所化、三次元効果が認識されてきた。

しかしながら現在においても、このような物性と実際現象の認識の深化、数値解析法の進展が実務設計には反映していない。つまり、

i) 実務設計では、依然として標準貫入試験によるN値から、根拠が曖昧な経験式により砂の内部摩擦角あるいはヤング率Eを推定する方式が主流である。

ii) 実務設計では、殆ど土を一様、等方、完全塑性体と仮定した古典解が無批判に用いられている。しかも、技術者の間で古典解の前提等が意外に理解されていない。その一方、最新の理論的研究、数値解析による研究が進んでいるが、その研究結果と古典的理論との関係を論じない場合が多い。すなわち、古典解が放置されている。

以上が実務と研究の最大のギャップの一つである。これは、圧密、透水等の他の分野でも同様であろう。

では、今後どうするかべきか？ まず、古典的土質力学諸理論の位置付けをきちんとする必要がある。実務設計では、諸要素の正負の影響が混在しているからである。例えば、「非常に単純な方法で推定した土の強度（それは通常ピーク強度としては過小評価されている）を用いることによる要因」と、「古典解が単純化している物性（等方、完全塑性等）を仮定していることによる要因」が混在している。これらがバランスしているのかを確認する必要がある。このような検討が無い限り、室内試験、原位置試験、数値解析をいくら進展させても、実務で使いようがない。

一方、複雑な土の変形、強度特性を正確に考慮した高度な数値解析を実務設計で直接適用しようとする場合には、本質的な壁が存在する。すなわち、

ア) せん断層の発生、発達を考慮した地盤の進行性破壊の数値解析法は大変複雑である。

イ) 解析に必要な精緻な物性と地盤の状況を求める地盤調査は大変困難である。

ウ) 現場での複雑な地層構造や境界条件を把握することは容易ではない。

しかしながら、変形問題では高度な数値解析法の適用の芽が見えてきている。また、パラメータ感度調査等で既に活躍している。

このような、一見確立しているように見える圧密、支持力、土圧、斜面安定、地盤内応力、変形問題等の土質力学の古典的課題を若がえらせるには、どうしたら良いであろうか？これには、

- ・現場と研究者の接近（大学から現場へ、現場から大学へ）。
- ・現場を持つ研究所の活躍。
- ・高度な土質力学に対応できる技術者（官公庁、建設会社、コンサルタント等）の育成、等が必要である。

(2) 古くからの関連分野との関連

① 構造工学との関係：従来の土質力学の研究者は、概括的にいえば土の物性論（しかも、セメントーションの無い粘土や砂の変形、強度特性）や、RC構造物、鋼構造物を含まない地盤や盛土の解析に偏りすぎていたくらいがある。つまり、トンネル、コンクリートダム、橋台、橋梁の基礎等の設計問題で、十分活躍していたとはいえない。すなわち、殆どの地盤に関連した実際問題の設計において、「弾性論による地盤の変形、構造物の変位の予測」や、「バネ係数による構造物と地盤の相互作用の算定」等が中心となっていた。地盤の物性の研究成果を活かした「地盤に関連した基礎の設計論の研究」、「構造地盤力学あるいは地盤構造力学というカテゴリーの強化」が必要と思われる。

② 防災工学、耐震工学との関連：この分野は、依然として構造工学関係者が中心である（歴史的に見て当然であるが）。しかし、この分野において地盤の破壊現象、非線形現象は非常に重要である。すなわち、

a) 地盤の液状化問題は、非常に重要である。特に、地盤液状化後の地盤の挙動（地盤の流動的水平変位と沈下）とその地下構造物、護岸に対する影響、及びそれを考慮した基礎の設計法の研究に力を注ぐべきであろう。

b) 地盤工学者、地盤工学会が、基礎、橋台、護岸、擁壁等の基礎構造物の耐震設計に対して、もっと積極的に対応する必要があるであろう。

すなわち、土構造物がRC、鋼構造物に肩を並べるためには、土構造物の耐震設計体系を抜本的に充実させてRC、鋼構造物と同じ土俵で耐震設計をする必要がある。従来のように、例えば「土構造物、斜面は耐震設計をしない」というのは論外である。さらに、震度法による土構造物の耐震設計法で、RC、鋼構造物の耐震設計体系とは異なり「予測される最大加速度／重力加速度」よりも遙かに低い設計水平震度を用いるとしても、その根拠が必要である。具体的には、土構造物の特徴である柔軟性と韌性をどのように考慮して非常に高い設計地震動にどう対処するかを検討する必要がある。

③ 地すべり工学との関連：地盤工学の研究者が積極的に対応しているかどうか、問題が多いと思われる。

④ 岩盤力学との関連：現在は、土質力学と岩盤力学、地盤工学と岩盤工学が、必要以上に分離されすぎていなか？ 地盤（土）と岩盤（岩）の区分を、大胆に描写してみると、

a) 土質力学：地質的背景を軽視したセメントーションの無い土の連続体力学

b) 岩盤力学：地質的背景を重視した不連続体力学、

のようであるが、両者の方法論は意外と似ている面が多い。しかし、例えば軟岩は土と硬岩の中間に位置するので、土質力学と岩盤力学が異なった枠組で研究されているため、どちらの方法論で対処すべきかについて、実務で混乱がある。従来は、岩盤力学的手法が適用されてきたが、土質力学的手法、あるいは両手法を結合して対応する必要がある。地盤工学会は、軟岩にもっと本格的に取り組む必要があるのではないか？

具体的には、岩に関する室内試験法、原位置試験法、設計問題、施工問題に関して、地盤工学会の関与を検討する必要がある。ASTM, BS等では地盤工学と岩盤工学の室内試験法、原位置試験法は区別していないことを考えると、わが国での分離は、相当不自然である。

⑤ 地盤改良との関連：この分野では、新しい方法論や技術が継続的に誕生、発展している。例を挙げると、薬液注入、深層混合処理工法、補強土、ジオシンセティック（ジオテキスタイル、ジオメンブレン）、EPS、軽量土等である。しかし、検討すべき課題も多い。たとえば、

a) 現場は、経験主義に傾きすぎていなか？ 定量的、科学的、力学的検討は十分に行われているであろうか？

b) 大学の研究者は、このトピックを避けすぎていなか？ 例えば、IS Tokyo '96, Second Int. Conf. on Ground Improvement and Geosystemsは大変盛況であったが、大学からの参加者は非常に少なかった。

c) 外国からの技術導入ではなく、わが国で開発した新しい技術の評価が必要ではないか？

a), b)の隘路を解決するためにこそ、大学と産業界との研究上の連携が必要である。

⑥ 応用地質学との関連：この分野においても、幾つかの点を再検討する必要がある。すなわち、

a) 従来の地盤工学は、土質力学の一般理論を追求するあまり、地盤の成り立ち等に対する知識（例えば、第四紀学）の重要性を軽視してこなかっただろうか？ つまり、地盤の個性を蒸発させた一般論を重視しすぎてこなかっただろうか？

b) 土に対する年代効果、土～軟岩～硬岩の関連の研究は不十分ではなかつたのではないか？

地盤の成り立ちの研究は、極めてローカルな地盤情報を基礎にして、それを一般化する必要があるので、わが国の地盤工学者自身が研究しなければならない課題である。

(3) 新しい分野と新しい関連分野

① 新しい分野：比較的新しい分野で、最も重要なのは「環境工学」である。これは、地盤に関するところが大である。このことは自明であるが、学問としての地盤環境工学あるいは環境地盤工学の芯は何であるか検討しておく必要がある。例えば、教科書を書くとしたら、どのような体系になるのであろうか？

② 新しい関連分野：土、軟岩、硬岩、コンクリートの変形、強度特性、破壊特性には共通点があり、「破壊工学」として体系化できる可能性がある。しかも、ひずみの局所化、せん断層、地盤の進行性破壊の問題は、古典安定理論の再評価の課題と結びついている。また、この地盤工学本来の研究課題が、地盤工学の枠組みを飛び越えて研究されている現状を見ると、破壊力学との連携を常に取っておく必要があると思われる。

これに関連して、「地盤環境工学のための新しい力学」を確立する必要がある。

17～20世紀において、自然現象を正確に記述し解析する数学、力学が発展し、自然科学、工学の分野で大きな成果を収めた。特に、材料の分野では、最近マイクロメカニクスと呼ばれる手法によって、材料の物性の解明が進み、新素材開発の研究へ発展している。この力学の進展の跡を考察すると、ニュートンなどによって新しく生み出された微積分の手法を用い、微分方程式による数学、力学モデルによる解析が主体となっていることが注目される。すなわち、事象や物体の微小要素を考察し、モデル化することによって、その全体を知り得るという思想が基本になっている。

しかし現在、工学は市民生活と深く関連するようになり、考慮すべき要因が極めて複雑になっている。我々の対象とする地盤環境工学もその最先端に位置付けられる。こういう工学に対して、単純化したモデルを用いる上記の手法が万能では無いことは明らかになりつつあり、新しい力学アプローチが求められている。地盤環境工学では、現在主としてケーススタディによる研究が進められている（検討されている点は、例えば支持力、耐災害性、経年安全性、有害物質対策など）。また、モデルによるシミュレーションによって、数十年後、数百年後の変化も研究されている。こういう研究が有用であることは論を待たないが、一方現象の中に存在する一般性や力学法則を見いだし、指導原理を発見して理論を構築することは、更に重要と思われる。

ここでは、一つの力学アプローチとして、「マクロメカニクス」の研究を提案する。マクロメカニクスは、まず全体を包括的に捉え、段階的に部分を解析するものである。考えられる手法を概括すれば、次のようになる。

a) 要素（要因）の多次元解析：単に純粹な力学要素（力、変形、破壊強度など）ばかりでなく、騒音、地盤汚染、有害物質など、化学的・生物学的要素も加えた多次元

解析を行う。多次元空間の幾何学、要素分析、ファジー解析などが応用される。従来の微分方程式に代わって、現象をマクロに把握する積分方程式の解析が主体になる。

b) 限界条件、拘束条件の発見：材料や技術などに関する限界条件、拘束条件を見い出す。そのためには、目的を力学要素として明確に表現し、また社会や技術の発展、気象変化などを取り入れた動的解析を行う。カタストローフ、分岐理論、クラスター化理論などの適用を試みる。

c) 最適設計：目標として、時空的最適設計の解析を行う。また、従来研究されている形態学、生態学理論などにおける実際との対応について十分検討し、妥当性を確かめる。

上記の「マクロメカニックス」における地盤環境工学の研究のためには、地盤力学の研究者ばかりでなく、関連する科学分野の研究者、実務者を交えた新しい研究組織を作り、集中的に研究を推進することが望ましい。また、地盤環境工学について、このような基礎研究を推進することは、単に地盤の環境を保全するという消極的な効果に止まらず、地盤環境を改良し（例えば、砂漠の緑化）、人間の生活範囲を拡大してゆく大きい効果が期待されるものであることを強調したい。

1. 3 研究組織と人材育成

1.3.1 はじめに

科学技術基本計画によると、上記の研究開発を強力に推進するためには、

①「研究者の創造性の発揮に基づいた研究活動の展開を軸とする新しい研究開発システムを構築すること」こと、

②「大学、研究所等の研究開発機関間、国、民間、地方公共団体等のセクター間、さらには国際間の連携、交流の拡充、強化を図り、また研究開発に関し厳正な評価を実施することによって、我が国全体の研究開発の抜本的な活性化を図る」が必要である。

以下、この枠組みで検討してみる。

1.3.2 新しい研究開発システムとは何か？

科学技術基本計画では、まず「研究者の流動化の必要性」をいい、そのための方策として、「研究者の任期制と研究者の評価制度の導入」というドラスティックな提案をしている。

「研究者の流動化」には、多くの研究者、技術者は総論として賛成であろう。この流動化がないと、大学が現場から遊離する傾向がますますひどくなるであろう。かってのコンサルタント、建設会社の研究所が整備されていない時代では、大学関係者は

直接現場にもっと関与していた。現在は、大学関係者は委員会を通じて実際問題に関与することが多いが、これでは現場に相当間接的にしか関与できない。したがって、当事者意識ではなく、第三者的評論家的になる。また、実務家も大学を敬遠しがちになる。

「研究者の流動化」は、結局「実際に人自身が動いているか、動けるか？」という点につきる。この点から見ると、以下の諸点の検討が必要であろう。

a) 採用、任用の柔軟性：せめて、官公庁研究所～民間研究所～大学間、異なる大学間の人事交流をもっと活発にする必要がある。具体的には、企業や公官庁の研究所の中途採用、希望すれば大学への中期復帰の保証が制度として必要である。最近、建設省土木研究所でも中途採用する例が増えているようであり、歓迎すべき傾向である。この場合、給料や退職金などで不利にならぬよう、特に公務員に関する法改正や運用が重要になる。

b) 結局、強制力が無いと人事は流動化しないことも事実である。例えば、極端であるが、官公庁の研究管理職や大学での教授の任用の条件が他の機関での経験を前提とする、とかである。

c) 大学に限定していようと、若い人に魅力ある職場にする必要がある。この点では、科学技術基本計画で提案しているポストドクタル制度の充実は、非常に重要である。しかし、他大学に行く場合を優遇するとかしないと、実際には流動化しないと思われる。

d) 制度の透明化の必要性と資質のある技術者、研究者の高い待遇も非常に重要である。これは、科学技術基本計画に欠けている視点である。多くの組織は、その組織に長く居た方が有利というのが現状であろう。研究者には、永年勤続表彰はそぐわない。これには、業績、能力の公正な評価が行われる必要がある。

科学技術基本計画では、次に研究資金について検討している。プロジェクト的研究資金と用途が自由な基礎研究資金の両方が必要である。現在、大学の設備の貧困化に対処する必要があるが、前者の充実だけでは、この課題に応えられない。研究面積、研究支援施設（試験設備製作工場等）とともに基礎研究資金の充実が必要である。

科学技術基本計画では、次に「研究支援体制の充実と研究支援者数の増加」の重要性を指摘している。基本的に賛成であるが、次の視点も重要である。従来「研究体制の高度化、発展」のために、新しい研究組織が新設されるとともに研究者（教官）が増員されてきた。しかし多くの場合、技官、助手の研究官（助教授、教授）への振替によって増員を行ってきた。このため、頭でっかちの組織になり、研究制度の充実が個々の教官にとっては「研究支援体制の充実と研究支援者数の増加」とは逆行するものになり、教官の「雑用」の増加をもたらしてきた面があった。したがって、総定員法の枠内でどうしたら「研究支援体制の充実と研究支援者数の増加」ができるか、という検討が必要である。科学技術基本計画では、「民間事業者との契約の活用により

研究支援者の確保、大学院生の活用」で対処することを提案している。これは現状を改善するが、これだけでは高度な専門的知識、技能を持つ研究支援者は育てられない。それではどうしたらよいか？少なくとも、「専門的知識、技能」自身が研究の主要な一部であると認め、その面での業績を積極的に評価するシステムが必須である。研究支援が、単に裏方作業、縁の下の力持ちと見なされるのでは、支援者に有能な人材が集まるはずがない。これは、文化的環境とも関連していて、単純なことではないが、地盤工学会等でその評価を行なうシステムを作っても良いと思われる。

1.3.3 大学の特質は何か？

大学における研究は、地盤環境工学の研究（広くは工学研究）の重要な一環であるので、その特徴を検討しておく必要がある。公官庁の研究所と民間の研究所と比較して、大学の特徴を挙げると、以下のようになる。

a) 人事の安定：この特徴を生せば、長期に亘る研究が落ちついて実施できる。大学において、1、2年で答が出る研究を行うのでは、大学の特徴を活かせない。逆に欠点は、人事が流動化せず、活気が無くなることの一因になることである。

b) テーマ選定に対する自由、中立が高い：逆にいうと、非プロジェクト研究が得意である。つまり、研究の途中で気が変わることが許される。これは、新しい事実、理論に遭遇した時に、それを生かせる環境にあることを意味する。また、大学は情報の広場になれる意味する。例えば、利害が異なる企業間と共同研究ができ、異なる機関から広く情報を集めることができる。

c) 大学院生、学生が中心となって研究を実施する：学生は一般に社会的権威にとらわれないし、柔軟な頭を持っており、また失敗しても構わない。したがって、フロンティヤ研究がやりやすい環境にある。大学院生は、重要な研究構成員である。大学院生（特に博士課程（後期）学生）がもっと増えるには、大学院生でいる間の生活保障と卒業してからの就職保証が非常に大切である。それと同時に、卒業しても大学以外で役に立つ人間でなければならない（すぐでなくても良いが、基礎がしっかりとしていて、現場問題に興味を持つ人間であること）。それに対応して、大学院生（特に博士課程（後期）学生）を受け入れる環境の整備が大切である。博士課程（後期）学生の社会への就職問題こそ、大学と現場の間の距離のバロメーターであろう。また、外国人留学生の問題であるが、卒業後、自費で研究できる機会を増やし、さらにこのような人材が我が国の研究機関で大いに活躍できる道を拓くべきである。そのためには、外国人留学生が日本人と区別なく就職できる社会環境を整えることが必要である。

d) 高額の研究費を扱わない：これは、高価な試験設備を現金で買って行なうようなプロジェクト的短期目的研究は苦手であることを意味する。

e) 組織が無い：基本的に個人主義であり、この点からもプロジェクト的短期目的研究は苦手である。

f) 建設現場に対して直接責任を負わない：したがって、現場の問題を直接扱う研究は苦手である。

以上の特質からいうと、大学は「金の掛からない、現場から離れた基礎的な、いつかは役に立つであろう個性的研究を長期にやるのが得意」ということになる。したがって、この特質と「大学が主体性を失わずに、役に立つ研究を、現場の要求に応えて行う萌芽的研究」という要求と両立させるにはどうしたら良いか？ ということが検討課題になる。これには、

i) 研究の基礎となるレベルの高い学問的素地が大学にあること。

ii) 「技術的課題を明確に認識した基礎研究者」と「基礎研究の重要性を認識した実務技術者」の両方のタイプの研究者の存在と両者の密接な協力が必要である。すなわち、基礎研究者に対応して、現場でも設計指針の機械的解釈、適用だけを行うのではなく、創意工夫の気概に満ちて長期の視野に立ち技術的問題を解決しようとする技術者（基礎研究の必要性を認識できる技術者）が必要である。特に、監督官庁に必要である。i), ii) の両方が揃うことにより、研究の自己増殖性が生まれ、「研究の中長期的研究の視野」が開け、人材も育つ。

iii) 制度的保証が必要である。第三者機関による「大学での工学的目的を視野に置いた基礎研究」に対しての評価が、中長期的視野から公平に正当に行われることが必要である。

1.3.4 基礎理論の研究推進

工学の基礎研究は、理学的研究と同一ではない。工学と理学は歴史的には異なった根源を持っており、かつてはその実施者も「肉体を使う技術者」と「肉体を使わない Liberal art の扱い手」と相違していた。現在においても、研究の対象、手段、方法論は同一になることがあるが、工学は設計、施工、生産、製作が最終目標であり、理学は自然の真理探求が最終目標である。

したがって、「工学の基礎研究」とは次のようなものであろう。

a) 生産現場から研究課題を抽出している。特に、地盤工学は工場大量生産工学ではなく現場単品生産工学なので、現場こそ原点である。

b) 基礎研究でも、最終的には現場の問題に応えるのが目的である。現場からの緊急課題に応急的に応えることだけでなく、その抜本的解決策を得るためにものが、長期的基礎研究である。

c) したがって、工学の基礎研究とは、新しい現象の発見、新しい方法論、設計法、施工法等の萌芽的提案ができる研究であろう。

1. 4 教育

1.4.1 教育カリキュラム

地盤環境工学の新しい教育カリキュラムは、「1.2 新しい地盤環境工学の体系と課題」そのものと密接に関連している。つまり、古典的土質力学の位置づけを明確にし、新旧の関連分野にも踏み込み、若い人に魅力があり、それでいて現場に役に立つものである必要がある。その意味で、新しい教科書が必要になってきたといえる。

1.4.2 高度化と大衆化

もとより、教育の対象（研究者、高級技術者、一般技術者等）により、教育内容、システムは異なってしかるべきであろう。すなわち、

- ①「独創的工学研究者のための教育」も大切だが、
- ②「優れた指導的工学者のための教育」と、
- ③「高等、中等技能者のための教育」も

非常に大切であり、これらは異なってしかるべきである。具体的には、以下のことが提案できる。

- a) 各種異なったレベルの大学教育の「モデルカリキュラム」のようなものを、各大学で議論するだけではなく、学会で議論する。
- b) 地盤環境工学の現場での位置づけについて、はっきりイメージを持たせてから、実験や施工法などの教育を行う。このためには、現場見学や実習ができるだけ取り入れる。これは、上記②、③において特に重要である。現場での技術的課題を認識してもらう目的では、①においても重要である。
- c) カリキュラムにおいては、数学、力学、情報処理（コンピュータの初步）などの実力を付けることを重視し、問題を良く考え、自分で新しい手法を生み出す能力を持たせる。これは、上記①、②において特に重要である。
- d) 土質力学に入る前に、材料力学の基礎知識（力、応力、変形、ひずみ、弾性、塑性、レオロジー、破壊などについての）を持たせることが必要である。これらは、従来構造力学の最初の部分として教えられているのが普通であるが、十分とはいえない。地盤材料、金属に比較して複雑で難しいので、特に材料力学の知識が重要である。これは、上記①、②において特に重要である。
- e) 上記①、②に対する上級コースである大学院教育では、連続体力学の基礎を教育する。この点は、欧米に比べて遅ってきたようである。地盤材料については、コンピュータシミュレーションの必要から、多くの構成関係が提案され用いられているが、その妥当性、適用性などを正しく判断するためにも、連続体力学の基礎知識は不可欠である。

2. 地盤・基礎工・土構造物に関する設計基準と地盤防災

2.1 設計基準と学会の役割

2.1.1 行政諸基準

技術者の間には、基準に対する理解が必ずしも十分でないよう見受けられる。当然のことながら、基準は学術的成果を反映させて所轄の行政機関が責任を持って作るべきものである。学会が作成した指針類はいくつかあるが、それらは法的規制力をもたない点で、行政諸基準と根本的に異なるものである。

ここで行政諸基準について整理しておくと、まず法律として、「道路法」、「港湾法」あるいは「建築基準法」などがある。これらは国会の議決を経て制定された法律で、日本国憲法に次ぐ強制力を持っている。そしてこれら法律はごく基本的事項のみを定め、細目は政令や省令に委ねられる。例えば、「道路法」には、道路構造の技術的基準を政令で定める旨の規定があり、それを受け、「道路構造令」（政令）と「道路構造令施工規則」（建設省令）が定められた。さらにこの省令を受けて、建設省は「道路橋示方書」を制定し通達した。この「示方書」の条文に解説を付けて、「道路橋示方書・同解説」が日本道路協会から出版され、行政指導の基準書となっているのは周知のとおりである。なお、「道路橋」と類似のケースは、「港湾基準」にも見ることができる。

2.1.2 学会（工学系）の役割

工学系学会の役割は、大きく二本の柱が考えられよう。第一は研究連絡、協力体制を高度に組織化し、「学術研究の振興に寄与すること」である。第二は現在あるいは未来の重要課題に対して、学術的に分析、評価、総合した結果を率先して社会に提示すること、併せて新技術の開発振興を通じて、行政、政策に反映されるような提言を行うことである。第二の点について、学会は行政や政策に関わるべきでないという強い異論もある。しかし今日、特に工学系の場合は社会と深い関わりを持っており、学会が社会と無縁であるとはいえない状況にある。現に土木学会では、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災に際して、4ヶ月後にいち早く「土木構造物の耐震基準等に関する提言」を行った。その意図を要約すると、「土木学会は根源的な課題をつきつけられたとの深刻な認識に立ち、土木構造物の設計および施工に関して、るべき基本的な考え方について検討を加えてきた。まだ中間的ではあるが成果を関係各機関に提示するので、その意図を十分に考慮し、個々の基準づくりに取り入れてほしい」と述べている。

地盤環境工学研究連絡委員会ではこの土木学会の対応に敬意を表すると同時に、学会長宛に「地盤関係の耐震基準の見直し作業に関する提言」をした（平成7年9月）。その中で、「耐震基準の具体的な検討に先立ち、基準に対する学会の関与の仕方と役割についての議論を十分に行い、その結果を公表すべきである」と主張した。すなわち、学会はまず政策に関わることの理念と範囲を議論し、次いで基準に対して何ができるのか、何をなすべきかの検討が要るのではないかとの意見具申をした。その際、各行政機関の所轄事業である基準と学会との関与の在り方として、①基本的思想の提示にとどめ、それに基づいた具体的な基準の設定は各責任機関の独自性を尊重するというスタンス、あるいは、②基準類を客観的に評価し、その結果を公表する。さらに踏み込んで、行政が無視できないような基準の“学会モデル”を示すこともあり得る、などの考え方が論点となろう。

2.1.3 建築学会の例

建築学会では、1952年に「建築基礎構造設計基準・同解説」を出版したが、それは建築基準法および行政諸基準と表裏一体の形で、技術の発展に寄与した。しかし技術がさらに進歩するにしたがって、学術、技術的な取り扱いと、行政的な扱いとは区別する必要が生じてきたために、1988年に書名を「建築基礎構造設計指針」と変更し、内容もそれに相応しく改定した。内容は、学会の作業であるから本来的に学術、技術的な事項が中心となっている。この点について、「実務、行政への配慮を重視し過ぎると、学術の成果を取り込むことが犠牲になり、学会としての役割を失う場合も生じうる」と断っている。さらに地盤、基礎工、土構造物に関する設計には、本来的に設計者の哲学、思想に委ねられる要素が多く、機械的な計算法を示す基準よりは、総合的、工学的判断の拠り所となる「指針」が求められる、とも述べている。要するに、建築学会の場合には、学術、技術的な内容を中心に置き、法的規制力を持たないが、行政機関の基準作りに優れた助言となりうるレベルの高い「指針」を目標にしたと解される。

2. 2 設計基準と基本原理の統一

2.2.1 設計基準の現状

地盤、基礎工、土構造物に関する基準類は施設ごとに整備されており、全体で約20種類ある。例をあげると次のとおりである。

- ・建築基礎構造設計指針（日本建築学会）
- ・道路橋示方書・同解説（日本道路協会）
- ・道路土工－擁壁・カルバート・仮設構造物工設計指針（日本道路協会）

- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）
- ・鉄道構造物等設計標準（土構造物）（鉄道総合技術研究所監修）
- ・日本道路公団・設計要領（日本道路公団）
- ・トンネル標準示方書（土木学会）
- ・水道施設設計指針・同解説（日本水道協会）
- ・危険物の規制に関する技術上の基準を定める告示（自治省消防庁）
- ・共同溝設計指針（日本道路協会）
- ・LNG地下式貯槽指針（日本瓦斯協会）
- ・原子力発電耐震設計技術指針（日本電気協会）

地盤、基礎工、土構造物に関する設計においては、発注者が定めた上記の基準類にしたがって作業を進めるのが一般的である。しかし、これらの基準は種類によって設計の考え方方が微妙に違ったり、計算式が多少異なったりしているために、同じ地盤で同じ基礎を設計する場合でも、基準類ごとに設計結果が違っているのが現状である。設計基準類は法律と深く関わっているものが多いために統一化を困難にしているが、設計のための基本原理については統一化を計ることが必要である。

2.2.2 基準化のプロセス

基準類や設計指針は、常に新しい知見を導入する努力がなされているが、基準類を頻繁に見直し改訂することは混乱を招きかねないので、留意が必要である。

基準類の一般的な作成手順と各段階における課題は次のとおりである。

① 自然状態の調査

各基準ごとに基礎的データが蓄積されており、それらのデータバンク化

② 実験室レベルのモデル化

ありのままの自然を実験室的自然へのモデル化の妥当性

③ 分析や実験をもとに基準化

基準化に用いた文献バンク化

④ 基準をもとに設計

設計技術者がマニュアルエンジニア化しており、設計の自由度、余裕度の不足

⑤ 過去の不具合や実績を踏まえて経験則による修正

不具合の顕在化、施工技術向上への対応

⑥ 施工、観測による検証

情報化施工の推進

2.2.3 設計基準の統一化

構造物の設計では、構造物の使用目的、重要度、耐用年数、立地条件、費用効果など多くの要素を考慮する必要がある。そのため、設計基準や仕様が、構造物あるいは

発注機関によって多少異なるのはやむを得ないことである。

学術的に未だ真理が見いだせず、種々の学説があるような場合は、設計者の裁量で最善と判断できる基本式などを設定することはやむを得ない。また、安全率のとり方は基幹となる構造物と一般の構造物である程度の差異があってもよいし、解析や設計手法も構造物の重要性によって、グレードが異なることもやむを得ないと考えられる。しかし、社会資本としての構造物の設計において、その基本となる土圧などの算定方式が基準によって異なっているのが現状である。学術的に定説がない場合は、その旨を明示して便法的に標準となる算定式を使用することはやむを得ないが、その際には算定式の適用限界、信頼性（寄与率）などの解説をつけて基準や指針を整備していくことが必要であろう。安全率や解析、設計手法についても基本的考え方の整備が強く望まれる。また、阪神・淡路大震災を踏まえて土木学会が提言した「土木構造物の耐震基準に関する提言（平成7年5月23日）」に対応した地盤、基礎工、土構造物の設計指針の策定においても基準の統一化が必要である。

コンクリート構造物については、土木学会がコンクリート標準示方書を策定し、コンクリートライブラリーでその根拠を明確にしている。地盤、基礎工、土構造物に対しても共通指針としてコンクリート標準示方書に類するものが必要と考えられる。

基準を統一化する際の課題として、旧設計法で設計された地盤、基礎工、土構造物が新しい設計法に適合しない場合の取り扱いや環境、景観などを含めて設計に自由度を持たせた場合の会計検査の在り方などがある。また、阪神・淡路大震災のように構造物が被災した場合の責任問題を論じておく必要がある〔4）設計基準と製造物責任法、参照〕。社会資本の整備には国民の税金が使われるため、いたずらに高コスト、ハイグレードなものを建設するのも問題である。今後は、想定地震に対しては機能維持の条件までを考慮し、それ以上のごくまれに起こる外力に対しては重大な被害に至らず復旧を行えることを前提として、ある程度被災してもやむを得ないという社会的合意を得ておくことも必要である。

2. 3 耐震基準とその改善

兵庫県南部地震は道路、港湾、鉄道構造物、地下構造物など多岐にわたる土木構造物に甚大な被害をもたらしたが、その被害原因は上部構造物だけでなく、地盤および基礎構造物が深く関わっていた。土木学会では土木構造物の耐震基準等に関する第1、2次提言をまとめ発表しているが、それらの主要点は構造物の耐震重要度の導入とそれに対応した設計地震力のレベル1、レベル2の2段階設定、耐震基準の強化などからなっている。これらのこと考慮したうえで、兵庫県南部地震が提起した地盤に関する現行基準の問題点と緊急に行うべき改善策および今後の研究課題を示す。

2.3.1 液状化判定法の改善

兵庫県南部地震をはじめとする近年の多くの地震において、地盤の液状化が典型的な砂だけでなく、シルトを多く含んだ砂質土から礫を多く含んだ砂質土まで多様な土質で発生していることが明らかになってきた。しかし、例えば平均粒径が2 mmを越える土の場合には液状化の検討対象外としている基準もあり、ポートアイランドや沿岸の埋立地盤を構成しているまさ土からなる礫質土に対して十分な考慮ができていないのが現状である。礫が多く含まれた土でも砂質のマトリックス部分がある割合存在すれば、この部分の密度、細粒分含有率、透水係数などの条件によっては液状化の可能性が考えられる。従って、沖積層または埋立土層で礫を多く含む土については、例えば、砂分以下の比較的細粒な土の含有率が基準値よりも多い場合には液状化判定の対象とするなどの改善を図るべきである。一方、近年比較的密な砂質土の液状化強度が精密に調べられ、標準貫入試験のN値が20程度を越えると地盤の液状化強度は急激に増大することが明らかにされている。この傾向は兵庫県南部地震での震源域のように地震波の繰り返し数が少ない場合にますます顕著となることも解っており、実際、ポートアイランドでN値が15-20程度以上に改良された地盤では液状化が生じなかった。現状ではこのような最近の知見が基準に明示されていない場合もあるので、今後はこのような比較的密な砂の液状化強度を適切に評価できるようにすべきである。このためには、凍結サンプリングに基づいた砂、礫質土の液状化強度データの収集と評価式の再構築を行うとともに、礫質土の液状化ケーススタディー（Borah Peak 地震、北海道南西沖地震、兵庫県南部地震）との対比などにより、その適用性を明らかにしていく必要がある。

一方、兵庫県南部地震では表層が液状化する過程で地表加速度が大幅に低減する現象が地震観測により確認され、地表加速度で液状化判定することの妥当性について再検討の必要性が示された。今後は工学的基盤層での加速度により液状化判定する方法についても検討の必要があろう。

2.3.2 地盤の側方流動評価法

従来、液状化に対する基礎の設計では地盤と基礎の動的相互作用や地盤沈下、浮き上がりなどの影響は考慮されていたが、側方流動については明確には考慮されてこなかった。兵庫県南部地震では岸壁、護岸などの高低差が近傍にある地盤では液状化時の側方流動による構造物被害が顕著であった。従って、今後側方流動に対する設計基準を定めることが重要である。

その場合、レベル1の地震力に対しては地盤の側方流動を生じさせないことを原則として、地盤の液状化が生じて側方流動が想定される場合には地盤改良あるいは基礎構造の工夫によって変位を防止し、構造物の使用限界を保持することが必要である。また、レベル2の地震力に対しては地盤の側方流動の発生が地盤改良などの工夫に

よって経済的に防止できる場合にはその方策を講じ、それが困難な場合には側方流動はある程度許容するが、それに伴う基礎の変位量を適切に評価し、上部構造が要求する限界状態の保持を確認することが適切である。この場合、基礎の変位量が過大であると評価される場合には地盤改良や基礎構造の工夫などによって変位量を低減させることになる。

側方流動による構造物被害は地盤の液状化後のせん断特性、杭などの基礎構造特性、さらに両者の相互作用が関係したきわめて複雑な現象であり、信頼性の高い設計基準の確立には今後さらに長期間の研究が必要となる。しかし、設計基準の緊急性は高いため、まず現状の知見に基づき基本的考え方を定め、細部については個々の技術者の裁量に委ねる部分を多くとった概略の基準を設定することが適切である。その後、今回の被害データの分析、模型実験、数値解析などに基づいてより精緻な基準に改良していくことが必要である。

2.3.3 地盤の震動増幅評価

兵庫県南部地震において震度7の被害の帶は軟弱地盤の分布と一致せず、むしろ比較的良好な地盤が多くかった。また、数カ所の鉛直アレーにより、強地震動下の地盤の液状化を含む非線形応答特性が実測され、軟弱地盤の加速度応答の低下が裏付けられた。この知見に基づき、特にレベル2の設計地震力の設定に際しては地盤の水平方向震動の非線形特性を十分考慮する必要がある。すなわち、強地震動により生じるひずみ振幅、間隙水圧上昇などによる地盤材料物性の変化が水平震動応答に与える影響を適切に評価する必要がある。その方法として通常は等価線形化法を用いるが、液状化の影響を十分考慮するためには非線形有効応力解析も行うことが望ましい。これらの解析での地震動はせん断波速度がある程度高く表層とは明確なインピーダンス比を有する比較的硬質な工学的基盤において入力することが望ましい。

一方、今回の地震での地盤の増幅特性においては、2次元、3次元の複雑な基礎岩盤の影響が大きかったとする分析も多く出されている。通常は成層地盤を仮定した1次元解析を基本とするが、地盤の不整形性の影響が大きいと想定される場合には、その影響を適切な解析法により評価する必要がある。

これらの評価手法の妥当性を明らかにするために、成層地盤の振動特性評価法については、水平震動の非線形増幅特性、鉛直震動の増幅特性の評価法の適用性を今後さらに多くの実証データとの対比により明らかにしていく必要がある。また、不整形地盤についてもより適切、簡便な解析手法の確立とその実証をすすめることが重要である。そして、それらの評価法に基づいた簡便なゾーネイション手法の確立を目指す必要がある。

これらの検討に基づき、レベル2の地震力については個別の設計基準のベースとなる共通的考え方や基本的なパラメータを学会が中心となって設定すべきである。

2.3.4 基礎構造物設計法の再検討

兵庫県南部地震で杭基礎のクラックや折損などの被害が広範囲に及んでいることが明らかになった。その原因としては、上部構造からの慣性力によるもの、液状化を含む地盤の非線形震動時の変形によるもの、さらに地盤の側方流動によるものが考えられ、それぞれに対し被害が生じる深度も異なるようである。レベル1の地震については、現行設計法においても杭に被害が生じないようにすることが設計の基本的考え方である。一方、レベル2の地震に対し基礎構造の被害をどの程度まで許容するかは上部構造物との関連において総合的に判断すべきことであるが、少なくとも被害発生のメカニズムについては十分明らかにし、重大な損失に至らない適切な設計法を確立することが重要である。特に、従来十分考慮されてこなかった側方流動に対する杭基礎やケーソン基礎の設計法については地盤からの流動圧や相互作用バネ定数の評価法の確立に向けて被害データの分析や模型実験、数値解析による検討の積み重ねが必要とされる。また、液状化を生じる地盤中の動的ひずみや残留ひずみによる杭の健全性についてもさらに検討を重ね、今後の基準の改良に反映させていく必要がある。一方、直接基礎についても地盤との動的相互作用の観点からレベル2の地震力に対し構造物境界での剥離などの非線形効果などを含め従来の手法の妥当性を再検討すべきである。

2.3.5 地中構造物設計法の再検討

兵庫県南部地震による被害の中で従来耐震性が高いとされてきた地下駅の被害は土木技術者にとって大きなショックのひとつであった。大開駅などについては震度は考慮されていなかったが、現在ではこの種の地中構造物は応答変位法で設計されることが多い。レベル2地震を考えたRC埋設駆体の設計強度の問題とならんで、地盤の応答変位あるいは地盤との相互作用の評価法について今回の被害例、無被害例のケーススタディの積み重ねにより従来設計法の妥当性について十分な検討を重ねる必要がある。その際、地盤データの収集はもちろん、設計施工データの十分な把握の上にたった分析が肝要である。

2.3.6 盛土、擁壁、斜面の耐震評価法の再検討

兵庫県南部地震では鉄道などの盛土、擁壁構造物が大きな被害を被ったが、実被害との対比によって従来の震度法設計の問題点の整理、分析を行う必要がある。そしてレベル2地震に対しては、すべり安全率が1を下回っても直ちに全面的な崩壊に至らないように土構造物が本来有する「韌性（Ductility）」を積極的に取り込み、むしろ限界変形量による設計法の確立を図っていく必要がある。

一方、今回の地震は冬の乾期に発生したことによって斜面崩壊の被害箇所は比較的少数であったが、それでも西宮市仁川の住宅地での大崩壊や神戸市岡本の宅地でのすべり変形などが生じた。斜面崩壊は現場条件に左右される部分が多く、共通的基準に

なじまない面も多い。しかし最近の地震では宅地造成地の被害が毎回のように発生しており、今回の被害の詳細な地質、地盤調査に基づく分析により、震度法や動的解析と実被害の対比と問題点の整理を行い、今後の対策に反映させる必要がある。

2.3.7 上部構造物と地盤、基礎の設計の整合性

今後の全般的課題として、上部構造物と地盤および基礎の間で設計法の整合性を高めていくことが残されている。上部構造物においては、レベル1、レベル2地震について守るべき機能維持項目を明確に定め、レベル2地震に対して重大な被害に至らないような設計法を目指している。これに対応して、地盤および基礎についても上部構造物との整合のとれた機能維持の概念を明確にし、特にレベル2地震に対しては、土の「韌性（Ductility）」を積極的に取り入れた支持力やすべりの安全率、基礎や地盤の変形量などの算定法を確立していく必要がある。

2. 4 設計基準と製造物責任法

2.4.1 製造物責任法（PL法）

製造物責任制度とは、製品に何らかの欠陥があって消費者や使用者が被害を受けた場合に製造者に賠償させる制度である。従来の法制度では「過失」がない限り誰も賠償責任を負わないのが原則であったが、製造物責任制度では「欠陥」があれば「過失」の有無を問わず製造者が賠償責任を負う点が大きく異なる。米国では1960年代に判例によって製造物責任法が確立され、ヨーロッパでも1985年以降多くの国が類似の立法化を行った。わが国では平成7年7月に製造物責任法（PL法）が公布された。本法律は製造または加工された動産を対象としており、土木構造物などの不動産はその紛争の大部分が契約当事者間の契約責任で対応できること、民法で保護が計られていることなどの理由から適用除外となっている。〔不動産については、債務不履行責任（民法415条）、瑕疵担保責任（民法570条）、一般不法行為（民法709条）、土地工作物責任（民法717条）などにより一般不法行為の過失責任が問われる〕。

しかし、製造物責任法（PL法）には無過失責任が問えるという考え方がある。こうした新しい思想は科学技術の進歩により故意か過失かの立証の難しさ、現行法律での消費者救済の限界、またグローバリゼイションなど近年の急速な文化の進展に大きく影響されているといえよう。

わが国の製造物責任法では「開発危険の抗弁」（当該製造物をその製造業者等が引き渡した時における科学または技術に関する知見によっては、その欠陥があることを知り得なかったことを証明する）を認めているが、製品が出された時点で入手可能

な最高の科学技術水準を判断基準とするので、過失責任よりも高い水準に置かれることになろう。

いずれにしても、こうした欧米の個人思想はわが国をはじめアジアの各国にも深く浸透しつつある。また、最近はわが国も次第に訴訟社会になりつつあるといわれる。土木構造物は本法律の適用外であるといってはおられない時代になってきている。阪神・淡路大震災において、地盤の液状化によって住宅が被害を受けたのは埋め立てを行った地方自治体に責任があるとして賠償の請求が行われていることはその一例であろう。地盤、基礎構造物の設計においても、設計基準、設計責任の明確化など今後十分検討をしていく必要がある。

2.4.2 設計基準と設計責任

建築構造物は建築基準法によって、ある程度、設計基準が法的に定められている。これは、歴史的に建物は私的所有物であり、設計も民間の建築設計事務所などで行われるものが多いことなど、明治以来行政側で設計されてきた土木構造物とは生き立ちも異なることによる。現在、社会資本としての土木構造物については基本計画は行政側で行われるが、実際の設計はコンサルタントに委ねているのが実状である。この場合、各発注機関は独自に設計基準とか設計仕様書を制定し、それによって設計契約を交わしたコンサルタントが設計を行い、成果品は行政側でチェックされ、万一、瑕疵があっても法的に責任を追及されることはなかった。つまり、設計の責任は行政側で負っている形であった。

建設省は平成7年5月、発注者と建設コンサルタントが契約を交わす際の標準的な契約内容を記した公共土木設計業務等委託契約約款をまとめた。これまであいまいであった発注者とコンサルタントの関係を整理したものである。設計に瑕疵があった場合に発注者は損害の賠償を請求できるとした。瑕疵担保責任を明示したことでコンサルタントの社会的地位が一步前進したともいえる。しかし、実際に瑕疵が発生し賠償をするとなると、土木構造物の場合には設計基準自体に未だ完全に解明されていないため、ある仮定で決めている基準も多く、また、設計と施工のインターフェイスなど、真の瑕疵がどこにあったのかの判定には問題が多いと考えられる。さらに、いったん事故が発生するとその賠償の金額も大きくなるので経営基盤が脆弱なコンサルタントで全てを負うのは困難であり、保険制度の整備や担保期間範囲をどこまでとするかなど運用上の残された課題も多い。

平成7年来、建設業界にも品質管理の手段として国際標準規格ISO-9000シリーズが導入され、コンサルタントも含めた各社がその認証取得の努力をしている。設計においても責任と権限の明確化が求められる。今後、行政と実際の設計業務を行うコンサルタントの間でも設計基準、細かい条件の検討、またどこまでを行政側で責任を持つかなどについて議論検討が必要となろう。

2.4.3 設計基準などの公知

製造物責任法（PL法）の第1条には「この法律は製造物の欠陥により人の生命、身体又は財産に係わる被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。」とある。

PL法施行以来、製造メーカーはその対応に真剣に取り組み、製品の質や信頼性の向上はもちろん、使用者の誤用や改造の禁止、使用上の留意事項、維持管理法、耐用年限の目安、さらに薬品などは副作用なども明示し、購入者、使用者に事実や問題点を公知する努力をしている。

一方、土木構造物はその多くが社会資本であり、国民の税金で建設される。利便性はもとより、高い安全性、耐久性についても50年以上とか長期のものが要求される。それにもかかわらず、使用限界、終局限界が明確に定められず、破壊のメカニズムも未だ十分解明されていない構造物も多い。さらに、安全性、耐久性の向上とコストは裏腹な関係にある。税金の投資効果も考慮されなければならない。国民の人命、財産を守らなければならないが、かといって全ての構造物を1000年に1回程度の地震や洪水にも耐えるようにとはいきないであろう。

文明の発達、技術の進展は国民生活に多大な恩恵と利便性をもたらしているが、逆に人命への危険度を高めている面もある。今後、どのレベルで安全性とコストの妥協を図るかなど、国民のコンセンサスを得る努力が必要である。

設計の基準、条件、構造物の予定する耐用年数なども国民に公知して、特に土木構造物や地盤、岩盤では、未だこういう点が十分解明されていないがある仮定で解析しているなど、国民に解りやすく公知、PRしていく努力が必要であろう。もちろん、不要な不安感を与えることがないように十分留意しなくてはならないが、国民一人一人に科学、技術の現状レベルの認識を深めてもらうことが重要な課題である。

2.5 防災地盤図と防災レベル・被災リスク

2.5.1 防災図（ハザードマップ）

防災図（hazard map）は災害予測図である。土砂災害のハザードマップがわが国で表立って取り上げられたのは、1984年9月、総理大臣の指示により発足した国土庁など6省庁による「土砂災害対策推進連絡会議」においてであり、その中で“防災マップ”が取り上げられた。アメリカのUSGSではNASAと協力して、1976年頃から縮尺20万分の1の地すべりのハザードマップが作られていた。過去の災害図（inventory map）がよく整理されており、ハザードマップは危険地域の分布、リスクマップは危険の程度を示しており、的中率は80%であるとのことであった。

わが国でも、土砂災害に関するハザードマップが作られてきたが、いずれも的中率はかんばしくないようであり、その理由は災害図の不備にある。

2.5.2 防災地盤図

自然災害の程度が地盤の状態と深い関係をもつことは、1923年の関東大震災をはじめとして多くの地震災害で明らかになってきた。特に、1995年の阪神・淡路大震災によって、「防災地盤」という見方が一層強調されている。

① 地盤の定義

地盤とは、”各種営力（自然および人間営力）による土地の反応に注目したときのその土地の諸性質”と考える。もっと具体的に例を示せば、ある土地に重量構造物をつくったとき、その土地が大きく変形する時はその構造物に対して軟弱地盤となるが、軽量構造物の場合は必ずしも軟弱地盤とはならない。すなわち、ある場所の土地の地下地質は長年の地殻の歴史を通して形成されたものであるが、同じ地質でもそこに加わる営力によって土地の反応が異なることは容易に理解できる。一方、異なった地下地質の土地では同じ営力でも異なった反応を示すことは新潟地震（1964年）のとき、液状化地盤と非液状化地盤に分かれた例でも解る。

② 地盤の構成要素

土地の強弱（営力による土地の反応の程度）は、土地の地下の様々な要素に支配される。これを地盤の構成要素と呼ぶと、これには、地形要素、地質要素、土質要素がある。

地形要素は地盤の顔に相当し、おおよその地盤条件の推定に使われる。この要素は地盤高（海拔高度）と地形より成り、マクロには海底、低地、台地、丘陵地、山地に分類され、微地形によってさらに細かく分類できる。わが国の陸上部では面積として、山地61%，丘陵地15%，台地11%，低地13%の割合である。

地質要素は自然地盤では地形要素と深い関係があり、主に地下に分布する構成物質の種類とその分布、配列状態（地盤構造ともいう）である。構成物質は、未固結の土と固結した岩より成り、有機物も含まれる。また、土と岩の間隙や割れ目に存在する水（地下水）と気体（空気、ガス）も重要な構成物質である。

土質要素は上記の構成物質の個々および全体の土質力学的性質を指し、大きくは静的性質と動的性質に分けられる。構造物関係では主として前者が対象となり、地盤の変位、沈下、支持力等が問題になる。後者は主に大地震時における地盤の挙動が対象となり、地盤の液状化問題などもその1つである。

③ 地盤の区分

地盤は目的によっていろいろなタイプに分けられるが、自然地盤については肉眼で容易に観察できる地形要素を指標として区分される。地形は地下の地質や地下水の特徴を反映しているからである。また、各々の大地形分類単元においては、さらに微地

形によって地盤のタイプが細分できる。

④ 災害地盤図

防災地盤図は災害予測図に相当する。その作成にあたっては、地下地質の状態を示す地盤図と実際に発生した被害分布（例えば、家屋倒壊分布など）を組み合わせた「地盤災害図」又は「災害地盤図」の作成が必要である。1964年の新潟地震の時の地盤の液状化による被害分布は、浅層の地盤状態よりも表層の地盤状態と関係があり、地盤の地形要素として、旧河道地域（特に今から約300年前以降の地域）と一致する。

⑤ 防災地盤図

防災地盤図は例えば大地震の時に地盤の反応を予測し、各種被害の想定の基礎となるものである。東京都防災会議（1991年）では、関東地震クラス（M7.9程度）の地震を想定し、基盤層、表層土層の性状の違いに基づき、123の地盤タイプに区分し、各地区の地盤別地表加速度分布、液状化分布を求め、この両者による建築物の被害分布図（リスクマップ）などを公表している。

被災リスクの推定についてはいろいろ問題があるが、少なくとも各都市でこれと同様な被害分布図を早急に作り、最低5年毎に見直しをして一般住民に周知させることが必要である。

2. 6 地盤防災工学と防災教育

2.6.1 わが国の自然災害と地盤災害の特徴

自然災害は地震、暴風、豪雨、火山噴火などの自然の営力が発現される過程の中で起こる現象である。わが国の自然災害はその種類の多さ、発生頻度、および被害額において世界でも最悪である。その原因是、最大の面積を持つ大陸の東岸で3つの海洋プレートが潜り込む位置にあること、そのため多くのが火山が分布し地震の多発地域であること、豪雨や台風など気象条件と現象が激しい地域であること、南北に長い島国であること、国土が平坦ではなく複雑な地形をなすこと、わずか10数%の平地と山際に1億2千万の人々が住んでいること、などによるものである。

すなわち、わが国の多種多様な自然災害は、「災害誘因として自然の営力の発現がダイナミックであること、および、素因として地盤条件（土質、地質およびその特性に強く支配された地形）が自然の営力に対してははだ脆弱であること」に起因しているといえる。そして、自然災害の程度が地盤条件と深い関わりを持っていることは関東大震災や阪神・淡路大震災など過去の多くの災害例が示すとおりである。

自然の営力は常に一定の強さをもって発現するものではない。むしろ、周期的あるいは突発的に大きな強さをもって発現することが多く、数十年あるいは数百年に一度

というような大きな強さの営力が発現した場合に人間社会に災害をもたらすような現象が起る。このように自然の営力が時々に大きな強さをもって発現されること、すなわち大きな自然災害を引き起こすような営力の発現の仕方が自然の現象としては正常な姿であることを認識しなければならない。

一方、災害の素因としての地盤は、多くの場合自然の生成物であり、その性質は生成過程に大きく依存している。また、地盤は人間の生活と生産の場であるために様々な役割を持っており、国土の開発や各種社会基盤施設の建設に際して地盤の性質を人工的に改変するには自ずと制限と限界がある。このため、地盤は自然の営力の発現に対してもいつも受け身であり、いかなる場合にもそれに耐えるようにすることは難しい。地盤に関する災害現象に対して自然科学的な建設技術だけでは対処が難しいところに地盤災害の特徴があり、そのため、被災する側の人間社会の問題を取り扱う人文社会科学的アプローチが必要である。

2.6.2 地盤防災工学

地盤に関する災害を防止、軽減するためには、地盤に関する学問を柱として、自然科学分野と人文社会科学分野の関連学問を融合した総合的、学際的学問としての「地盤防災工学」を確立することが望まれる。

地盤防災工学は「地盤と社会」および「要素技術と総合技術」の二つの軸によって体系づけることが基本となろう。これら二つの軸によってできる4つの領域には、次のような学問分野あるいはキーワードを取り入れることが必要と考えられる。

① 「地盤」と「要素技術」の領域：

地盤力学、地盤動力学、岩盤力学、基礎工学、地下水工学、耐震工学、構造工学、砂防工学、河川工学、土壤学、地盤改良、など

② 「地盤」と「総合技術」の領域：

地質学、地形学、地理学、堆積学、水文学、気象学、地震学、火山学、地盤調査技術、地盤の抵抗特性の評価技術、地盤特性の変動予測技術、地盤防災力の変遷評価技術、地盤災害現象の予知技術、など

③ 「社会」と「要素技術」の領域：

災害地盤図、防災地盤図、防災レベル、被災リスク、被災のメカニズム、など

④ 「社会」と「総合技術」の領域：

土地利用、社会組織の防災力、避難・誘導、災害文化、など

2.6.3 防災教育

防災教育には大きく二つの側面がある。一つは、平常時において自然災害に対する知識をもち、防災に対する学習をすること。他の一つは、災害という非常時における行動の訓練である。すなわち、

- ① 自然災害発生の機構、規模、性質に関する知識、および危険地域についての知識。
- ② 防災技術、対策法に関する知識。
- ③ 社会における防災力に関する知識。地域の防災組織、体制についての知識。
- ④ 非常時における行動訓練。

防災の基本は、まず「危険の存在を知る」ことである。そのためには、起こり得る災害について、その特性を知り、それに対してどのように対処するかを理解し、大きな被害を未然に防ぐ方策を学ばねばならない。わが国の自然営力の発現は、世界の他の地域に比べてはるかに動的であり、自然の動的側面は自然災害と直結しているために、正しい自然観を育てることが必要である。また、自然災害について必要な知識は、実際に即したものでなければならず、地域の自然の特徴の一つとして認識することが大切である。地盤に関する災害の規模や形態は、誘因としての自然営力の発現の大きさと性質、および、素因としての地域の地盤条件によって異なるので、どのような地盤条件の所で、どのようにして、どのような災害が発生するのか、また、過去に繰り返し災害が生じているのは何故か、あるいは災害が発生した場合に危険なのはどの地域かという知識は重要である。災害についての古くからの言い伝えや古者の話を発掘することも地域の災害を認識する上で大切である。また、災害という非常時における避難行動の適否は人的被害の多寡に直接かかわることであり、被災する側の人間の問題を学ぶことも必要である。

防災教育の行い方も重要である。災害現象は年齢、性別を問わず人間社会を襲ってくるので、低学年の時から正確な知識を教育することが必要である。その際、低学年の子供が災害を自分自身あるいは自分が住んでいる地域の問題として具体的に認識できるやり方で教育することが大切であり、そのためには地域の防災専門家の直接的な協力、指導が求められる。また、今日の情報化時代において国民に与えるマスメディアの影響はきわめて大きい。学会や防災専門家が正確な知識と厳格な倫理観をもってマスコミに積極的に関与することが強く望まれる。

自然災害の多発地域で形成される災害文化の伝承は被害を軽減させるうえで極めて有効である。過去の災害経験からどのような災害予知の伝承や言い伝えが残っているか、災害時の行動様式としてどんな知恵が伝えられているか、現在の知識に照らしてどのような予知や行動様式がどのくらい有効なのか、過去の経験を越えるような巨大災害が来たときに災害文化は役に立つのか、かえって被害を増幅してしまうことはないのか、などについて、歴史学、民族学などの知見を加えた教育が必要であろう。

むすび

第16期発足の当地盤環境工学研究連絡委員会においては、従来の土質基礎工学、地盤工学のパラダイム転換の観点から、今後の学術の動向とそれを推進するための研究組織や人材育成の在り方について議論し、展望を示した。また、設計基準と地盤防災の適正水準に関する検討も実施され、いくつかの具体的提言を示した。関連学会に対しては、この報告を是非活用していただき、この分野の一層の発展を共に考えていただけるよう、今後直ちに働きかけを実施する予定である。また、行政機関を含む他の関連諸機関におかれても、社会基盤施設建設と維持管理の上で極めて重要な当分野の動向を参考していただけるよう、強く希望するものである。