

土質基礎工学研究連絡委員会報告

土質基礎工学の在り方

－21世紀に向けて－

平成3年10月15日

日本学術会議

土質基礎工学研究連絡委員会

この報告は、第14期日本学術会議土質基礎工学研究連絡委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

委員長 福岡 正巳（東京理科大学理工学部教授）

幹事 中瀬 明男（株式会社日建設計特別顧問）

委員 赤井 浩一（財団法人大阪土質試験所理事長）

網干 寿夫（株式会社網干寿夫研究所所長）

石原 研而（東京大学工学部教授）

伊藤 富雄（大阪工業大学学長）

植下 協（名古屋大学工学部教授）

遠藤 正明（株式会社竹中工務店専務取締役）

佐武 正雄（東北学院大学工学部教授）

谷本 喜一（財団法人建設工学研究所常務理事）

松尾 稔（日本学術会議第5部会員，名古屋大学工学部教授）

山内 豊聰（九州産業大学工学部教授）

吉見 吉昭（株式会社清水建設常任顧問）

1. はじめに

土木工学，建築学，農業土木学，応用地質学，資源開発工学，地震工学等，広い領域に関連する土質基礎工学（soil mechanics and foundation engineering）は，建設工事のみならず，国土整備のための技術として，道路，橋梁，トンネル，港湾，ダム，堤防（河川と海岸），干拓等の土地造成，ビル，住宅，地下街等，いわゆるインフラストラクチャーあるいは社会資本の整備・拡充を通して，豊かな人間社会の創成に向けて，欠かすことのできない一翼を担ってきた。

しかし，時代の進展に伴って，近年，地球環境問題を初め，21世紀にかけての国内的・国際的諸問題が急速に浮上し，土質基礎工学もそれに対応しなければならなくなっている。

2. 土質基礎工学の現状とその問題点

2.1 現状

遠くクローンを祖とし，1930年代にテルツァギーによって，一応整えられた土質基礎工学は，その後，著しく発展し，早くから十分実用性をもたらしている。その研究手法は，弾性論，塑性論，弾塑性論等を中心とした理論解析とともに，解析式にとり入れるべき土や地盤の諸定数の決定のために行う室内試験と原位置試験があり，さらにそれらを補うための模型実験とが，計画・設計・施工・維持管理のための手法となっている。

しかしながら，土質基礎工学は，種々の製造業分野の対象材料とは異なっており，常にバラエティに富む自然の土や地盤を対象としなければならない。しかも社会のニーズによる工事の巨大化とともに，合理化，効率化，省力化，経済性のための手法が上述のものに加えられてきた。計測管理施工（観測施

工)といわれる手法は、その好例である。

2.2 問題点

現在の土質基礎工学の問題点として、最初に述べるべきことは、土質力学 (soil mechanics) またはジオメカニクス (geomechanics) についてであろう。最近の関連力学を展望すると、微視的構造の研究 (マイクロメカニクス) の重要性が認識され、これを基盤として巨視的取り扱いなしは力学的単純化の研究が行われ、材料の不規則性の数学的表現を応用する離散力学、つまり不連続体力学が連続体力学と関連を保ちながら発展しつつある。

地盤材料の構成則理論の研究には、コンピュータシミュレーションが広く応用され、その成果も顕著であるものの、無理に結果を導こうとするため不十分な構成モデルが用いられたり、実用になりにくい程のパラメータの過多が問題とされていないわけではない。

理論解析の及ばない点を補おうとする模型実験は、相似律に問題があり使い方に注意が必要であるが、現象の観察と理解には依然重要な手法であり、遠心力場応用の模型実験は非線形の三次元解析を補うために有用である。

計測管理施工は、施工上の危険防止のためや、工事仕様書の不備を補うため、かなり広く応用されるようになったが、まだ比較的最近のことである。敷衍すれば、土質基礎工学にかかわる実際の設計は、製造技術と異なることとして、設計の対象とする土や地盤の状況が十分には把握できない場合が多く、そのため計測を行いながら施工し、危険が予知されたり、過大設計であったことが予知されれば、設計変更を行うことである。

このような設計をより適正にするためには、過去の経験を利用しやすい形で蓄積して、そのデータを参考にして次の設計施工を行うことが、今後より必要であるが、そのための組織はまだできていない。早急に実現することが

望まれる課題である。

さらに計測管理施工は、自動化につながりをもつ技術手法として、一層発展されるべきであるとする考え方は、土質基礎工学の分野ではかなり定着しつつある。ファジーないしニューロ技術的ロボットも、当然、開発の緒についているが、土や地盤の特異性のゆえに、実用できるものは、まだごく一部である。

3. 新しい研究開発の対象

土や地盤を対象とする土質基礎工学は、近年その研究開発の課題が急速に拡大されつつある。

土や地盤の構成則は前述のようにまだ不備の点があるので、今後、実用に供しやすい、適当数のパラメータをもつモデルとその数学的表現の実現に向けて、一層の努力が必要である。

最近の国土開発の主な指向は、ウォーターフロントとジオフロントであるが、ジオフロントは法律の制定に伴う大深度地下空間工事であり、当面早く推進されるべき課題である。この工事では、地下水等の変化に対応した環境対策が当然、伴うものでなければならない。

陸地だけでなく、石油掘削リグの設計施工を代表的例とする、海洋スペース、特に海洋底について研究開発が始まっているが、それは海底地盤の力学的挙動に対する波浪、潮流などの影響が主な問題である。

地球上のみならず21世紀に備えて、月基地、火星基地を対象とする宇宙開発にも、土質基礎工学は研究開発の必要があるとされる。アメリカ合衆国はすでに早く着手している。

新素材の顕著な開発と実用化に伴って、土質基礎工学におけるその導入と

そのための応用研究のうち、ポリマー応用のジオテキスタイル(geotextiles)とジオメンブレン (geomembranes) はすでに広く実用に供されているが、近未来的新素材としては、グラスファイバー、ニューセラミックス、炭素強化プラスチックがある。高価格に問題があるが、その応用は先見的研究開発の一つであるといえるだろう。

ユーザーのニーズを考えた新しい材料の開発研究は、我が国では今後も推進されるべきであり、イギリスのジオグリッド (材料的名称はポリマーグリッド) により教訓をうける。

我が国のように山岳の多い国土では、国土開発のための自然斜面の補強工法は、盛土を対象とするジオテキスタイルとともに、著しくその施工技術が発達したが、ジオテキスタイルによる補強土斜面や補強土擁壁と同様、その力学と設計法は、今後、融合して発展することが期待される。

エネルギーは今後、化石燃料資源供給の限界と大気汚染などのため、21世紀にかけての大きな問題であり、そのため、あらゆる種類の新エネルギーの開発研究がなされているが、このうち風力、海流、波力、火山、地熱、深層ガスについて土質基礎工学の貢献できる技術を具体的に整理し提言することが要望される。コージェネレーションといった省エネルギー技術の対策についても同様である。

前述のように、土質基礎工学に課せられている土や地盤の工事の合理化等のための調査法と施工法のための、探査技術の改良と新しい開発、データの自動処理と施工観測システム並びに高性能施工機械の開発が新しい課題とされる。さらに個々の工事ではないが、工学的地盤情報や数値国土情報のデータベース化も土質基礎工学のかかわるところの多い課題である。

4. 環境問題のための土質基礎工学

21世紀に向けての地球問題は、地球温暖化、地球汚染、人口激増などであるとされる。これらに対応できる土質基礎工学を模索し、かつ開発すべきである。

すでに問題となっている環境問題は、生活廃棄物、有害工場廃棄物、放射性廃棄物等の処理である。このうち、生活廃棄物は埋立てによって対処されてきたが、それも限度になりつつある。衛生埋立ては、我が国ではまだ十分でない。埋立地盤の早期有効利用技術は重要な課題である。有害工場廃棄物の処理は、ジオメンブレン応用の実績を一層発展させることになるだろう。

工場廃棄物は発電所からのフライアッシュ処理とその有効利用が、土質基礎工学の分野が協力すべき当面の重要な課題である。何らかの処理を経なければ、埋立て材料や道路の盛土や路床の材料にも利用できない。土質基礎工学が協力して研究開発すべき課題の一つである。

高レベルの放射性廃棄物の処理のための深層処理については、非常に長期の地層の挙動の他の方法では得られないデータを得ようとする、ナチュラル・アナログの研究が地質学者によって始められているが、早く実用化の水準に達しなければならない。地下に設ける原子力発電所のための土質基礎工学研究開発の推進もまた、重要な課題である。

土地の侵食と砂漠化、土砂流出、河川・海岸の汚染、風砂、地すべり・山崩れなどの自然災害の防止・軽減のための国際防災の10年（IDNDR）への協力は、より一層強化しなければならない。我が国で発達している土砂災害や地震時の液状化等の対策は、技術移転によって寄与できることが多い。

地球温暖化に対処した土質基礎工学上の研究・開発はまだ模索の域を出な

いが、二酸化炭素の固定化に寄与できる手法開発の可能性はあるであろう。

このような地球環境問題に対処するほか土質基礎工学は、一方において、人工のシステムを自然のエコシステムから過度にはみ出さないことを考えて貢献しなければならないように考えられる。他の分野と同様に、持続できる発展のための適正な工事、環境保全の工事技術も論議されるべきであろう。直接、寄与できる環境土質基礎工学または環境地盤工学の開発は、今後更に重要度を増すであろう。

環境保全のための環境アセスメントは、より重要であり、予知・予見・予測の技術を一層発展させ、かつそれをフィードバックさせるべきである。制度策定と施行についても、土質基礎工学者の貢献するところは少なくないが、広域地盤沈下については、すでに実績を収めている。ウォーターフロント、ジオフロントのための環境アセスメントは、工事規模の拡大に伴ってより重要性を増すであろう。

5. 土質基礎工学の活性化

5.1 学際的土質基礎工学へ

土質基礎工学の境界領域は、現在ほぼ定着しているが、今後はその範囲をかなり拡大することが必須とされる。一層強化すべき境界領域は、地質学、地球物理学、地球科学、海洋学であるが、さらに環境科学や材料科学にも及ぶことが要望される。そのため関係のある諸学会と連携、討議して具体的問題点を指摘し、今後の発展を図るほか、この分野の特質上、さらに産官学が一体となって活性化を図るべきである。

5.2 研究施設と設備

土質基礎工学のための研究施設と設備は、中央官庁や大企業の研究所はと

もかく、大学のそれらは矮小にすぎる。当面は遠心力場試験機の常設が必要であり、地震時研究のための動的セントリフュージ三次元載荷模型実験等の室内実験装置の他、大型試験を可能とする施設の設置を図るべきであり、そのための大型試験研究機器の開発が必要である。

一方、現場における観測の手法と技術は、その結果を有効に設計施工にフィードバックさせるためには不十分で、その開発はもっと推進されなければならない。

5.3 土質基礎工学上の教育

いわゆる3Kや人口増加停滞を原因とする、土質基礎工学に関係の深い産業界の人材不足は、大学・高専・高校における学生や生徒の不人気にも起因するところが大きい。それは他の諸工学とともに同様の問題であり、アメリカ合衆国、ドイツ、イギリスなどの先進国も例外ではない。この問題は、1研連の審議を遥かに越えているが、土質基礎工学の重要性と貢献性ととも、その“面白さ”を特に高校等に対して強調し、偏差値とは別に、適応した人材の確保を大学は努めるべきである。

5.4 国際的寄与

我が国における土質基礎工学上の研究開発は、諸外国でも高く評価されている。軟弱地盤の力学とその改良技術、土質基礎構造物の耐震設計、液状化の力学とその防止技術、弱い地盤におけるトンネル掘削技術、就中シールド工法は特に評価が高く、かなり早くから諸外国で取りあげられている。

このような研究開発による国際的寄与は、新しい課題にも挑戦して、21世紀に向け一層の発展を期さねばならない。

6. 終わりに

21世紀に向けての土質基礎工学の在り方について、以上いくつかの問題点と展望を述べたが、土質基礎工学はより一層重要性和有用性を増すことには疑いがない。そのことに備え、早急に現在の問題点と課題を学際的、かつ具体的に提示し、それらの研究と開発を進めることが必須とされる。特に新しい境界領域の採択によって、興味や有用性に対する土質基礎工学の内部規準的な一面が取り払われ、多くの他研究連絡委員会とも連携活動することが多くなるに違いないと考えられる。

分かりにくいといわれる、土質基礎工学あるいは土質工学の名称の問題についても審議の継続が望まれる。