

地盤・基礎・地下構造物の変形と環境上の諸問題に関する研究

堀田 洋之
環境計画学専攻

本論文は第1章の序論から第8章の結論までの8章からなる。

第1章「序論」では、論文全体を統一する環境問題への取り組み方について述べている。一般に構造物の設計や施工を行う上で主として考慮すべき管理項目4つは、「品質」(Quality), 「費用」(Cost), 「工期」(Date), 「安全」(Safety) の4つであるが、今日これらにもう1つ、「環境」(Environment) が加わろうとしている。しかし設計・施工の合理化自体は、従来のQ・C・D・Sという価値基準を通じて建設事業が長年にわたって常に追求して来たことがらであり、「環境」(E) という新しい視点を加えても、重なり合う部分がほとんどであり、一部従来の評価軸と相反する場合における判断材料として、「環境」を適切に評価する尺度・指標が必要となる。

本論文で取り上げた幾つかの課題は、それぞれ地盤・基礎の変形挙動に関するもので、いずれも「品質」, 「費用」, 「工期」, 「安全」といった従来の価値基準から発生してきたものである。しかしそれらに「環境」という視点を加えてまとめることにより、何らかの新たな知見・展開が現れるとの見通しを述べている。

具体的には、ここで「環境にやさしいやわらかい基礎・地中構造物」の考え方を提示している。これは必要以上に地盤の変形に抵抗しない合理的な基礎・地中構造物を実現することにより過剰な設計・施工を防ぎ、省資源・省エネルギーを図るというものである。このような環境に配慮した設計・施工を行うためには外乱としての地盤変形を適切に評価する必要があり、本論文ではその点に主眼をおいている。各章では様々な地盤変形に関して原位置測定・実験・数値解析により分析を行い、それぞれの地盤変形及び対応する構造物挙動の評価法を提案している。すなわち本論文は「環境にやさしいやわらかい基礎・地中構造物」実現のための基礎となる研究をまとめたものである。以上を第1章の前書きとして、本論文を纏めるスタンスを記述したのち、第1章では本論文を構成する5つの課題について述べ、最後に本論文の構成と概要を示している。

第2章「構造物建設時の地盤の変形係数」では、最初に大規模逆打ち工事現場における施工時のリバウンド・沈下計測結果について述べる。対象は東京都内に建設された超高層建築物である。現場内3箇所に設置した層別沈下計による計測結果から得られた地盤の応力-ひずみ関係は、掘削時のリバウンドでは剛性の低

下が顕著であるが、建物構築時の沈下では比較的直線的な傾向を示した。このような地盤掘削による除荷・構造物構築による載荷時の挙動を適切に表現するためには地盤のヤング係数の拘束圧依存性とひずみ依存性を同時に考慮する必要がある。この問題の解決方法として一定拘束圧下における応力-ひずみ関係の概念を導入し、載荷・除荷時の挙動を統一的に表現できる砂の変形係数評価法を提案する。実測値の回帰分析により応力-ひずみ曲線を双曲線関数で近似した場合のパラメーター、初期ヤング係数と最大有効応力(漸近線)を決定し、地盤挙動を適切に表現できることを示す。次にこの方法を砂の三軸試験(側圧一定試験, 定ひずみ径路試験, 定応力径路試験)結果に適用し、同様に試験結果をよく表現できることを示す。さらにこの方法を施工時の挙動予測に用いて合理的な設計・施工を行うことにより、建設資材使用量やエネルギー消費量の低減に結びつけることができることを述べる。

第3章「繰返し載荷を受ける基礎地盤の沈下挙動」では、繰返し載荷を受ける基礎地盤の沈下挙動に関して、構造物のロックン振動による砂地盤の沈下と地震時の繰返しせん断による粘性土地盤の沈下に関する遠心模型実験結果について述べる。

第3章第1節においては、風や波浪などにより構造物の基礎地盤が多数回の繰返し載荷を受ける場合を模擬して遠心力場における起振機実験及びジャッキによる繰返し水平載荷実験を行い、基礎の沈下量が繰返し載荷回数にべき関数で表現されることを示す。また、加振加速度振幅, 有効拘束圧, 基礎の根入れ, 地盤の相対密度, 載荷振動数, を変化させた実験を行い、それらより転倒モーメントと沈下量の関係について考察する。また、砂の繰返し三軸せん断試験における繰返し回数と発生する体積ひずみの関係との類似性より、土質要素試験に基づく沈下量評価法の道筋を示す。

第3章第2節においては、粘性土地盤上のフローティング基礎構造物の遠心模型振動実験を実施し、粘性土地盤においても加振による繰返しせん断により間隙水圧が上昇し、それが消散するのに伴い長期間にわたって圧密沈下が生じることを示す。また粘土の繰返しせん断後圧密試験より、生じる体積ひずみと繰返し載荷回数, 有効拘束圧, 繰返しせん断応力比との関係を導き、土質要素試験と数値解析に基づく沈下量評価法を提示する。遠心模型実験結果との比較より、この評価法がおおむね実現象を再現できることを示す。

さらに第3章第3節のまとめにおいては、これらの評価法を適用しある程度沈下を許容した構造物基礎の設計を行うことにより、環境にやさしい基礎の設計・施工を行うことができることを述べる。

第4章では、地盤液状化後の基礎の沈下挙動に関して、社本らによる砂地盤液状化後の残留変形理論に基づく沈下量評価法を詳細法と簡易法の2通り提示する。詳細法は地盤の液状化を考慮した数値解析より地震時最大せん断ひずみを求め、理論上得られる残留ひずみが得られるような等価な地盤定数を設定して自重による収束計算から最終沈下量を求める方法である。簡易法は地盤の補正N値と地震時の繰返しせん断応力比の関係より地震時最大せん断ひずみを求めて残留体積ひずみを計算し、一次元状態での等価な地盤定数を設定して構造物荷重による沈下計算を行う方法である。構造物、偏心荷重、地盤改良の有無の条件を変えた遠心模型振動実験を実施し、上記2つの評価法の適用性の検証を行っている。詳細法においては地震応答解析に用いた有効応力解析では地盤液状化時の最大せん断ひずみを過小評価するため、沈下量の評価結果も小さいものとなる。最大せん断ひずみの補正を行うことにより沈下量を適切に評価できることを示す。一方簡易法では、要素試験から得られた補正N値、繰返しせん断応力比と最大せん断ひずみの関係をそのまま用いると過大評価となるため、最大せん断ひずみの値を1/5程度に低減して用いると実験結果との対応が良いことを明らかにしている。また、簡易法では地盤改良による沈下量低減効果を過大評価する傾向があることを示す。さらにこれら評価法を基礎の設計に適用することにより、合理化・省資源化が可能であることについて述べる。

第5章「地震時・地盤液状化時の杭基礎の挙動」では、地震時・地盤液状化時の杭基礎の挙動に関して、第1節では張らの土圧理論に基づいた杭の水平地盤反力の評価法を示す。変位量と作用土圧との関係より、杭周方向に土圧を数値積分して、変位量と水平地盤反力の関係を導いている。杭の水平載荷試験結果との比較検討より、ある程度の深度以深では良い対応を示すことを述べる。現状使われている計算式との比較についても示す。

第2節では社本らの砂地盤液状化後の残留変形理論に基づく側方流動時の杭基礎の挙動・被災状況の簡易評価法を提示する。地盤の補正N値と地震時の繰返しせん断応力比の関係より残留体積ひずみを計算し、側方流動による水平変位量を求めて、応答変位法により杭に生じる応力・変形を求めるものである。1995年兵庫県南部地震の被災事例3件による検証を行い、条件の単純なもの程対応が良いことを示す。さらに杭の設計に上述の方法を適用することによる最適化・省資源化に言及する。

第6章「積層導坑トンネルの挙動」では、大断面トンネル構築法として小口径のシールドトンネルを積み重ねる形で覆工構造体を構築する積層導坑トンネルの施工法・特徴について述べ、遠心模型実験により砂地盤・粘土地盤における構造体としての支保機構・安定性を検討する。砂地盤の場合には外力に応じた変形をするトンネルと地盤の受働土圧、アーチアクションなどが合わさった効果で安定を保つのに対して、未圧密粘土地盤では導坑間の接触圧が均等になるように変形して安定となり、過圧密粘土地盤の場合は砂地盤と未圧密粘土地盤の中間の性状を取ることを明らかにする。また、楕円形断面の場合の円形断面との違いについての検討を行い、更に内部掘削時の挙動に関する結果を提示する。さらに工法適用による資源・エネルギー消費量・産業廃棄物の低減効果について言及する。

第7章「環境負荷低減へ向けての成果の適用」では、第2章から第5章で提案した変形評価法を適用し、環境負荷を低減する道筋について2つの事例を想定し、どのような流れで検討を行い、どのような環境負荷低減効果が期待できるかについてその概略を示す。建物基礎の設計・施工を行う上で各種の評価により基礎形式が支持杭基礎から直接基礎の方向へ向かうにつれ、やわらかい基礎となって資源使用量・エネルギー消費量・CO₂排出量が低減でき、環境負荷低減効果は大きくなることを述べる。

第8章は結論である。各章の研究成果についてまとめた上で、必要以上に地盤の変形に抵抗しない設計・施工を行うことが従来の許容応力度法に代わる新たな方法へつながるものであり、さらには環境にやさしい構造物であることを述べて全体を閉じている。