

2 構造物の安全性と 地盤構造物の破壊問題の類型化

2.1 構造物の安全性

- 「安全性」と一口に言っても、様々なレベルがある
- 現行の設計基準類では、構造物（もちろん基礎も）に対して、考慮する設計状態に応じて、「使用性」、「修復性」、「安全性*」等を求めている
 - 性能設計（性能を定めた上で、それを満足するよう構造物を設計）
 - ↔ 仕様設計（従来の設計法で、全ての決めごと（仕様）を満足するよう設計）

*ここでは、狭義の意味での「安全性」を示す

構造物（基礎も含む）に求める性能

使用性：構造物の機能を適切に確保すること（機能の確保）

修復性：適用可能な技術でかつ妥当な経費・期間の範囲で修復を行うことで
継続的な使用を可能とすること（財産の保全）

安全性：構造物内外の人命の安全性等を確保すること（人命の保護）

各設計状態に対して要求する性能の例

平常時：使用性（普通の使い方で壊れてしまっは困る）

異常時（小～中規模地震）：使用性（同上）

異常時（大規模地震）：修復性（重要な構造物），安全性（それ以外）

施工時：安全性（ただし近接施工では，周辺構造物の使用性）

性能に対応する限界状態のイメージ

使用性: 構造部材は塑性変形せず,

土の変形は通常の維持管理で対応できる程度 $\approx$ 使用限界状態

修復性: 多少塑性変形するが, その場所・程度は直せる範囲内

$\approx$ 修復限界状態 ただし,

基礎は地中にあるので修復は一般に困難 (修復限界 $\approx$ 使用限界)

土構造物 (盛土等) は修復が比較的容易 (修復限界 $\approx$ 終局限界)

安全性: 崩壊しない $\approx$ 終局限界状態

→ つまり, 地盤構造物の設計では,

使用限界状態と終局限界状態に対する照査 (設計) がメイン

使用性を確保する

- 想定される作用（荷重等）によって生じる，沈下量などの「変位」を指標に設計．例えば，
 - － 載荷による即時沈下量（ほぼ弾性変形）
 - － 圧密による長期沈下量（弾塑性変形）
- 等が，構造物の機能上，許容される沈下量以下であることを確認

安全性を確保する

- 想定される作用に対して，十分な抵抗力があることを確認
- どうやって使用性・安全性を担保するのか

2.2 安全性の確保

- 安全であること（安全性*）を一定のある適切な信頼度で満足することを証明する必要がある
- 様々な不確実性を考慮する必要がある：
 - 物理的不確実性（荷重や地盤のバラツキ等）
 - 統計的不確実性（サンプル数の問題等）
 - 計算モデルの不確実性（単純化された荷重や強度の確率モデルや、実現象を部分的にしか再現できない設計計算モデルを用いる等）
 - 人為的誤りによる不確実性

*ここでは、広義の意味での「安全性」を示す

2.2.1 安全率法

- 従来の方法.
- 安全率 $F_S = \frac{R}{F}$, ここで R = 抵抗力, F = 荷重
- 経験的に定められた安全率を下回らないことを確認. 安全率の例 :
 - 盛土のすべり (崩壊), 擁壁の滑動など: 1.0~1.5
 - 直接基礎の鉛直支持力等: 1.5~3.0
 - 杭の引き抜き抵抗等: 3.0~6.0
- 問題点 : どの程度「安全」なのか不明確

2.2.2 信頼性設計法

- 抵抗力や荷重に関する変数を不確実性も含めて記述できる確率変数としてとらえた設計法 → 安全性を定量化
- モデルの詳細さに応じて、様々な方法がある

レベル III: 荷重, 材料特性値等の不確実性を確率分布によって記述.

破壊確率 P_f によって評価

レベル II: レベル III を簡略化した方法で, 不確実性を平均, 分散・共分散によって記述. 2 次モーメント法 (FORM, First Order Reliability Method) で得られる信頼性指標 β によって評価*

レベル I: 不確実性を荷重, 特性値等を割り引く部分係数によって記述.

従来型の設計照査式によって評価 → 荷重抵抗係数設計法

*参考: Nowak & Collins, Reliability of Structures, McGraw Hill (ISBN 0-07-048163-6) 等

破壊確率 P_f と信頼性指標 β の関係

P_f	β
10^{-1}	1.28
10^{-2}	2.33
10^{-3}	3.09
10^{-4}	3.71

荷重抵抗係数設計法（部分係数設計法）

- LRFD (Load and Resistance Factor Design)
 - 材料係数アプローチ MFA (Material Factor Approach)
 - 抵抗係数アプローチ RFA (Resistance Factor Approach)

2.3 地盤構造物の破壊問題の類型化

- 形，荷重の作用の仕方等によって，破壊メカニズムは異なる
- 地盤構造物の構成要素である地盤と構造物（基礎）の要素としてのの破壊が，どのようにシステムとしての破壊につながるのかを理解する必要あり
- 地盤の破壊に限定すれば，下記の条件が，破壊メカニズムを決定
 - 載荷か除荷か
 - 浅いか深いか
 - 2次元か3次元か
$$2 \times 2 \times 2 = \text{計 8 種類}$$

地盤の破壊問題の類型化－ 1

	載荷/除荷	深さ	次元	例
1	載荷	浅い	2次元	帯基礎の支持力
2			3次元	円形・矩形基礎の支持力
3		深い	2次元	(深い位置での) 杭の水平抵抗
4			3次元	杭の先端支持力
5	除荷	浅い	2次元	(地下構造物建設のための) 開削
6			3次元	円形立孔の掘削
7		深い	2次元	(あまりない)
8			3次元	トンネルの掘削

地盤の破壊問題の類型化－ 2

- 様々な地盤構造物の破壊問題は、その特徴から類型化すれば、幾つかの基本問題に集約される
- この講義では、初学者が学ぶべき、比較的浅い部分に破壊が発生する下記の破壊問題を中心に学ぶ
 - － 土圧（載荷・除荷／浅い／2次元… 類型 1 & 5）
 - － （浅い基礎の）支持力（載荷／浅い／2・3次元… 類型 1 & 2）
 - － 斜面安定（載荷・除荷／浅い／2次元… 類型 1 & 5）
- 力学として理論体系が明解なものを理解した上で、実務的な取り扱い（力学的には美しくないもの）についても学ぶ