

1.2.6 荷重と外力

(A) 力の組合せ

- 基本の5荷重：固定、積載、積雪、風、地震
 - ⇒ プラス2荷重：土圧、水圧

- 許容応力度設計とは：「材料が耐えうる応力度」 \geq 「部材に生じる応力」なら安全
- 2つのシチュエーション：常時と非常時があります
 - ⇒ 常時の荷重を対象とした材料の普通の耐力における安全性確認（＝長期許容応力度設計）、材料の火事場の馬鹿力（短い時間しか耐えられません…）に期待した非常時の安全性確認（＝短期許容応力度設計）
 - ⇒ 非常時とは：大風、大地震、大雪（豪雪地域は常時になったりします）

- 荷重の組み合わせに関する問題
 - ⇒ 長期荷重に関する問題の留意点
 - **多雪地域**：積雪荷重が長期荷重となる（ただし積雪荷重 0.7 倍）

 - ⇒ 短期荷重に関する問題の留意点
 - **短期荷重の加算**：一般の地域では地震・大風・大雪は同時に襲来しない
 - **多雪地域での加算**：では積雪時に地震・大風が来る場合も想定（ただし積雪荷重 0.35 倍）、また暴風に関しては積雪の有無両者を検証

表 1-1 荷重の組み合わせ

力の種類	想定する条件	一般	多雪区域
長期荷重	常時	$G + P$	$G + P$
	積雪時		$G + P + 0.7S$
短期荷重	積雪時	$G + P + S$	$G + P + S$
	暴風時	$G + P + W$	$G + P + W$
			$G + P + 0.35S + W$
	地震時	$G + P + K$	$G + P + 0.35S + K$

G：固定、P：積載、S：積雪、W：風、K：地震

(B) 固定荷重

- 固定荷重とは：建物自身の重さ（仕上げ等も含まれます）、材料ごとの単位重量に容量をかけて求めたり、部材ごとの重さを個別にカウントして合算したり…
 - ⇒ 構造種別単位重量：主な構造の荷重は基準法施行令第 54 条に記載
 - **普通コンクリート**：23 [kN/m³]
 - **高強度コンクリート**：23.5 [kN/m³]
 - **鉄筋**：さらに+1 [kN/m³]（ゆえに普通コンクリート RC は 24、高強度コンクリート RC は 24.5 [kN/m³])



(C) 積載荷重

- 積載荷重とは：床の上に載っているもの達（基本的には竣工後に入っていくる物
品や人）、床面積に単位荷重をかける
 - ⇒ 単位荷重留意点その1（構造計算対象ごと）：採用値異なる
 - **構造計算対象ごと**：床設計用＞柱・はり・基礎設計用＞地震力算定用
 - ⇒ 単位荷重留意点その2（室用途ごと）：用途別でも代入する値が異なる
 - **用途別傾向**：基本的には人や物品が多い用途で値が大きくなるが、「偏分
布（＝荷重増加）」「通路（＝避難時を想定しその他の用途）」に留意
 - **倉庫の留意点**：実況に応じて計算した数値が $3,900\text{N}/\text{m}^2$ 未満であって
も、 $3,900\text{N}/\text{m}^2$ とする
 - ⇒ 複層（複数階）の建物：支えるフロア数に応じて積載荷重の低減が可
 - そのまま全フロア分を足していくと最下層の荷重が非常に大きくなる
ので…、複数階を支える柱の圧縮力算定時には、支えるフロア数に応じて
積載荷重の低減が可能（0.6 倍まで、劇場・映画館・集会所、倉庫は除く）
 - ⇒ 限界耐力計算時：限界耐力計算とは、とんでもない荷重に対して材料強度のフ
ルスベックで勝負をしようとする安全性確認法、対象となる荷重は地震と風
のみ（地震は5倍、風は1.6倍）
 - **限界耐力計算時の積載荷重の扱い**：積載荷重には通常と比較できない
「とんでもない荷重」はありえません（通常と同値）

(D) 積雪荷重

- **積雪荷重**とは：「積雪の単位荷重」×屋根の水平投影面積×その地方の「垂直積
雪量」にて求める
 - ⇒ **単位荷重**：積雪 1cm あたり $20\text{N}/\text{m}^2$ 以上、ただし不均一に雪が分布して
いると荷重が大きくなる場合もある
 - ⇒ 垂直積雪量：「その区域の標高・海率」「周辺地域等の観測資料」より算定
 - ⇒ 多雪地域とは：垂直積雪量 1m 以上、もしくは積雪の年平均日数が 30 日
以上の条件下の豪雪地域…
 - 多雪地域での積雪荷重の取り扱い：あまり雪が降らない地域では積雪荷
重は短期荷重、多雪地域（豪雪地域）では常時荷重に分類（ただし 0.7 倍）
され、さらに地震や風荷重とも合算されることもある（ただし 0.35 倍）
 - ⇒ **低減処置**：屋根勾配（60 度で 0）、雪下ろし（垂直積雪量 1m まで、ただ
しその場合は必要事項の明示を忘れない）



(E) 風荷重

- 風荷重とは：建物に対し水平方向に作用する荷重、フロアごとに値を求める
- 風荷重の算定式：風荷重 (W) = 「風圧力 (P)」 × 「見付け面積 (受風面積の
ような概念)」

⇒ 見付け面積：各フロアを鉛直方向で 2 等分、各フロアの梁の上下 2 ブロック
が受風面積 (見付け面積)

⇒ 風圧力 (P)：風力係数 (Cf) × 速度圧 (q)

→ **風力係数の留意点**：構造骨組と外装材で係数の考え方が異なる (外装材
はピーク風力係数となり構造骨組よりも値が大きい)、風洞実験もしくは建
物の内外圧係数の差で求める、軒先等の局所的な箇所では値が大きくなっ
ちゃう時もある

→ **速度圧 (q)**： $0.6 \times E \times V_0^2$ 、E…屋根高さ・周辺条件より算定、 V_0 …「基
準風速」、建物全体で同じ値を採用

> E： $E_r^2 \times G_f$ にて求める、両係数ともに「地表面粗度区分」で決定

> V_0 ：気象庁のデータ (ごく稀に発生する暴風時の地上 10m における
10 分間平均風速) より決定

⇒ **地表面粗度区分**：地表面の状況、I (極めて平坦、障害物なし) から IV (都市化が著しい) までの 4 段階、値が大
きいほど地表面の抵抗が大きく、風速は弱まる (都市部はビルが乱立しているのでその抵抗により風は弱まります、
局所的なビル風等は除く、また風の乱れに関しては都市部の方が大きいのですが…)

→ E_r は平坦な地域ほど値が大、 G_f は都市化地域のほうが値が大、ゆえに E は平坦な地域のほうが大

→ E_r は建物が高いほど大、 G_f は建物が低いほど値が大、E は建物が高いほど大

→ G_f ：ガスト影響係数、風の乱れを表す係数、都市化が著しい地域の方が値が大

→ E：平坦な地域ほど値が大 (E_r を 2 乗するので G_f よりも影響が大)

⇒ **風を受けた際の建物の挙動**：風直交方向の振動 (風方向よりも大きいです
よ)、ねじれ振動についても安全性の確認を行う



(F) 地震荷重

- 地震荷重：建物に対し水平方向に作用する荷重、フロアごとに値を求める
- 地震層せん断力 (Q_i) = 地震層せん断力係数 (C_i) × 対象層以上の総重量 (W_i)
 - ⇒ **地震層せん断力**：柱へのせん断力として働くものとして計算、低層階ほど値が大きい (W_i が大きくなるので)

- ⇒ **地震層せん断力係数 (C_i)**：地震地域係数 (Z) × 振動特性係数 (R_t) × 高さ分布 (A_i) × 標準せん断力係数 (C_0)
 - **地域係数**：大規模地震の発生が懸念される地域ほど値が大きい、地域ごとに 0.7 から 1.0 の値が設定

 - **振動特性係数**：建物の固有周期と地盤の相性を評価した係数（最大が 1.0）、地盤の固有周期は短い + 建物の固有周期は長い、両者の固有周期が近くなると共振現象により大きな振動が発生する（地盤の長周期化・建物の短周期化は危険、免震構造って建物の固有周期を長くして地盤との相性を悪くしているんですね）

 - **高さ分布係数**：固有周期と建物重量より求める、上階ほど値が大きい、最下層のフロアは 1.0、唯一フロアごとに値が異なる（ゆえに C_i は上階ほど値が大きい）

 - **標準せん断力係数**：構造計算のシチュエーションによって値が変化、1 次設計では 0.2 以上（軟弱地盤の木造・低層 S 造では 0.3 以上）、2 次設計の保有水平耐力算定時には 1.0 以上（地震力が 5 倍に相当…）

- **地下部分の地震層せん断力**：地下部分の地震力 + 地上最下層の地震層せん断力
 - ⇒ **地下部分の地震力**：建物長期荷重 × 水平震度（深いほど値が小さい、ただし地下 20m を超える深さでは一定）

- **突出部の地震層せん断力**：突出部重量 × 水平震度（地域係数に 1.0 以上の値をかけたもの）⇒ ブンブン振られてより大きな荷重がかかるので留意

- 耐震性の検証：保有水平耐力計算や限界耐力計算等もあるが、詳しくは後日…

1.2.7 構造設計 ⇒ 第 8 回講義にて



1.3 地盤と基礎

1.3.1 地盤

(A) 土粒子

- **粒形**：粒径の大小程度はチェックしておいてください（砂>シルト>粘土）

(B) 地盤の種類

- 地盤の耐力：古い地層ほど耐力が大きい、第三期層>洪積層>沖積層
 - ⇒ **地盤の固有周期**：硬い地盤ほど短い（建物の方が固有周期は長めなので、地盤の固有周期が短くなるのは良いことです＝振動特性係数の値が小さくなります）

(C) 地盤調査

- 平板載荷試験：支持地盤上に鉄板を置いて荷重をかけて耐力推定、平板近傍の地盤特性のみ把握可能
 - ⇒ **調査時の留意点**：地表面付近の限られたエリアの地盤の耐力しか確認できません
 - ⇒ **地盤の支持力**：載荷した荷重の 1/3 もしくは極限支持力の 1/3 いずれか小さいほうが地盤の長期支持力と認められます
- 標準貫入試験：直径 50mm、長さ 800mm の土質資料採取用のチューブをハンマーで打込み、300mm 貫入するまでの打撃回数を計測（打撃回数=N 値）
 - ⇒ **N 値**：値が大きいほど砂質土では内部摩擦角が大/粘性土では粘着力が大、N=5 の場合砂質土では緩い地盤、粘性土では非常に固い
- 圧縮試験：サンプリングを行った試料（筒状になっていますよ）に実験室において加圧し特性を把握
 - ⇒ **加圧条件**：一軸（上下からの圧縮、粘性土のみ）と三軸（上下ならびに周面からも圧縮）あり
- ボーリング孔内水平載荷試験：穴をほって試験機を投入、試験機を膨らますような感じで地盤の水平耐力をチェック（主に杭基礎の耐力算定に用いる）
 - ⇒ **調査時の留意点**：地表面から順次試験機を地中におろして確認していく
- スウェーデン式サウンディング試験：重石をかけたドリルを人力でグリグリ回して地盤に穴を掘り、地盤の許容支持力を調査する
 - ⇒ **調査時の留意点**：所詮人力なので地表面付近の調査にしか使えません（でも使用する機器が少なく簡便で非常に優れた調査法）



(D) 砂と粘土の比較

- 耐力の発現：砂質土は内部摩擦角、粘性土は粘着力により耐力が生じる
 - ⇒ 内部摩擦角：砂時計の砂山の傾斜のような感じ…傾斜が急なほど内部摩擦角が大きい（＝滑りにくいので耐力大）
- 沈下：粘性土では圧密沈下、砂質土では即時沈下が生じる
 - ⇒ **圧密沈下**：土中の水分が抜けることにより間隙が減少して生じる沈下、長期間にわたる（ゆえに地震時の検討不要）、粘性土地盤で生じる
 - ⇒ **即時沈下**：荷重がかかった際にサクッと生じる沈下、沈下が生じた後はすぐに安定、砂質土で生じる、基礎の面積が大きほど即時沈下の量も大きい（基礎面がかかえる土中のエリアが広がるので…）

表 1-2 粘性土と砂質土の比較

	内部摩擦角	粘着力	間隙比	細粒分含有率	含水比	透水係数	即時沈下	圧密沈下
粘性土	小	大	大	大	大	小	小	大
砂質土	大	小	小	小	小	大	大	小

・用語の定義：間隙比（土・砂粒子の体積と隙間の比、値が大きいほどスカスカ）、含水比（土・砂の重量と含まれる水の重量の比、値が大きいほどジャブジャブ）、細粒分含有率（土・砂の細かさ、値が大きいほど細かい、値が大きいほど含水比も高くなる）、透水係数（地盤に含まれる水の流れやすさ、値が大きいほど流れ出しやすい）

- 液状化とは：地震により間隙水圧が上昇し、土粒子間に働く応力が 0 になる現象（地盤がシェイクされて水が浮き上がって土・砂が浮いてしまう感じ…、噴砂現象を引き起こす、液状化の危険がある場合には水平地盤反力係数を低減）
 - ⇒ **液状化の注意が必要な条件**：砂質土、細粒分含有率が低い、粒径の分布が均一、N値が小さい、地下水位が高い（水が多い）、埋立地（新旧問わず）など
 - 総じて水が多くて緩い地盤ってこと
- **液状化判定**：貫入試験用サンプラーでの採取も可能
 - ⇒ 地表から 20m 程度以内で細粒土含有率 35%以下、粒形が均一な中粒砂等で N 値が概ね 15 以下

1.3.2 基礎の設計

(A) 直接基礎

- 直接基礎の検討
 - ⇒ **許容地耐力**：「許容支持力 (Ra)」と「許容沈下量」のいずれか小さい方
 - 許容支持力 (Ra)：地盤がせん断破壊する際の極限支持力 (Ru) を所定の安全率で割った値（例えば長期ならば安全率は 3）
 - ＞ 極限支持力 (Ru)：極限鉛直支持力度×基礎底面積
 - ＞ 極限鉛直支持力度 (qa)：算定には「支持力算定式」「平板載荷試験」「地盤種別の許容応力度表」がある



➤ 地盤の許容支持力（鉛直支持力度）算定：

⇒ 支持力式による

→ 長期： $q_a = \frac{1}{3}(i_c \alpha C N_c + i_r \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$

＞ 土質調査結果をもとに算定、粘着力/内部摩擦角/基礎形状/地盤傾斜補正/地盤重量/基礎底面最小幅/根入れ効果の影響を加味(各項のNは内部摩擦角により決定し内部摩擦角が大きいほど許容応力度大きいです)

→ 短期： $q_a = \frac{2}{3}(i_c \alpha C N_c + i_r \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$

＞ ⇒ 計算式上は長期の2倍ですが、係数代入時に選択する「傾斜角(θ)」が長期と短期で変化してしまうので代入する数値が異なってしまふことにより「短期≠長期×2」

→ 許容応力度が低くなる条件：粘着力低い/内部摩擦角小さい/基礎底面小さい(特に短辺側が短い)/地盤が傾斜している/地盤が軽い/根入れ深さが浅い

⇒ 平板載荷試験に基づく

→ 長期： $q_a = q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f$ → 短期： $q_a = 2q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f$

＞ 短期許容応力度はこちらも2倍にはなりません

➤ 地盤の特性

⇒ **傾斜地**：傾斜地のほうが水平地盤よりも極限鉛直支持力は低い

⇒ 地震時：地震動が作用している軟弱な地盤では地盤のせん断ひずみが大きいほどせん断剛性が低下し、減衰定数が増加

(B) 杭基礎

➤ 杭の分類：

⇒ 支持による分類：支持杭（先端抵抗力+周面摩擦力）、摩擦杭（周面摩擦力のみ）、両支持力は載荷試験もしくは支持力算定式にて評価を行う

⇒ 工法による分類

表 杭の分類（工法）

既製杭	打込工法	打撃工法
		プレボーリング併用打撃工法
	圧入工法	埋込み法
		回転貫入工法
	埋込工法	プレボーリング工法
		中掘工法
現場打ちコンクリート杭	アースドリル工法	
	リバースサーキュレーションドリル工法	
	オールケーシング工法	



(C) 杭の支持力算定式

- **杭の支持力**：先端抵抗力（先端支持力）＋周面摩擦力、基礎スラブ底面の支持力は加算しない（地盤沈下により基礎底面が浮き上がる可能性がある、さらに杭の頭の部分が突出してしまう可能性があったらその部分の安全性もチェック）
 - ⇒ 先端抵抗力（先端支持力）：杭先端付近の N 値の平均とする（最大で 60）
 - ⇒ 周面摩擦力：極限周面摩擦力は、砂質土・粘性土それぞれの極限周面摩擦力の和

(D) 杭の支持力に影響する要素

- **群杭**：1 つのパイルキャップを複数の杭で支えるもの、支える地盤の杭同士による取り合いが生じるので杭 1 本あたりの支持力は低下、ただし砂質土の場合は締め固め効果により 1 本あたりの支持力が向上する、沈下量は増加
- **負の摩擦力**：ネガティブフリクション、地盤の沈下に杭が引張られてしまう現象
 - ⇒ 粘性土で多い
 - ⇒ 支持杭で影響が大きい
 - 先端部分に大きな軸方向力、ただし先端以深が沈下している場合は検討不要
 - 摩擦杭の場合は負の摩擦力は生じない
 - ⇒ 杭の沈下量や基礎の変形ならびに杭の強度等の検証が必要
 - 杭中間部の軸力が最も大きくなる（先端部分よりも大きいです）
 - ⇒ ゆっくり進むものなので短期荷重検討時には考慮不要

(E) 杭の水平耐力

- 杭に作用する水平力：根入れ部分や杭側面の地盤反力により水平力が作用する
 - ⇒ 杭への水平力はボーリング孔内水平載荷試験にて推定可能
 - ⇒ 地震時に作用する水平力は、建物規模/根入れ深さによって低減可能
 - ⇒ 杭には全水平力のうち 3 割以上を負担させる（その際には杭の頭を固定として構造計算）
- 杭頭に生じる応力：曲げモーメントに留意
 - ⇒ **応力の大小**：水平地盤反力が大きいほど杭頭の M は小さい、杭頭の固定度が低いほど杭頭の曲げ M は小さい（ただし杭中間部の曲げモーメントは増加する）
- 杭頭に生じる水平変位：水平荷重を受けることにより水平方向へ変形が生じる
 - ⇒ **水平変位が小さくなる条件**：杭の曲げ剛性が高い、杭頭固定度が高い、水平地盤反力係数が高い、杭径が太い



(F) 水平載荷試験による杭の水平耐力の確認

- 杭の水平耐力の確認：水平載荷試験により水平耐力を確認
 - ⇒ **水平地盤反力係数**：水平方向の荷重に対する地盤の耐力、値が大きいと杭ががっちり守ってくれます、ボーリング孔内水平載荷試験で求めることが可能、地震時に液状化の懸念がある場合は反力係数を低減しておく

(G) 留意すべき事項

- 杭の引き抜き
 - ⇒ **杭基礎引き抜き荷重**：地下部分の浮力、地震・暴風時の建物転倒モーメントを考慮

(H) 各種杭

- 先端支持力：ガンガン打ち込むと先端固まる、沈下量：先端支持力と逆、周面摩擦力：ガンガン打ち込むと周面滑らか
 - ⇒ **先端支持力**：打ち込み>埋込み（セメントミルク工法）>現場打ちコンクリート（孔底のスライム留意）、閉端>開端
 - ⇒ **沈下量**：埋め込み>打ち込み（打込みは打撃により先端部分が締め固められるので）
 - ⇒ **周面摩擦力**：現場打ちコンクリート>埋め込み（セメントミルク）>打ち込み

1.3.3 基礎スラブの設計

- 沈下の検討：長期荷重（即時沈下と圧密沈下の検討必要）、短期荷重（即時沈下のみ検討必要）、液状化にも留意
 - ⇒ **沈下量**：基礎底部面積が大きいほど沈下量は大きい（基礎が抱きかかえる地盤の沈下圏が大きいので）、即時沈下量は基礎の短辺長さに比例する
 - ⇒ **沈下の限界値**：独立フーチング<布基礎<べた基礎、独立フーチングを採用する場合には基礎梁の剛性を増強
- 支持力：極限鉛直支持力＝基礎底面積×極限鉛直支持力度（地盤の粘着力+地盤自重+根入れ効果）
 - ⇒ 支持力の傾向：根入れが深いほど支持力大、地下水位高いと支持力低
 - ⇒ 地震時の支持力：基礎底面と地盤の摩擦による（液状化は生じていないこと）



- 基礎部分重量の扱い：基礎構造設計時と地震荷重計算時で異なるので留意
 - ⇒ **基礎構造設計時**：基礎の自重・埋戻し土の重量は含めない
 - ⇒ **地震荷重算定時**：基礎の自重・埋戻し土の重量を含める（構造体の固定荷重として加味される）
- 異種基礎：傾斜地とうでやむなく採用する場合は不同沈下等に十分留意する
 - ⇒ **異種基礎**：異なる種類の基礎を併用する場合は不同沈下に特に留意し、鉛直荷重時/水平荷重時の詳細な検証を行う
 - ⇒ **パイルドラフト基礎**：直接基礎底部の耐力を合算可能（通常の杭基礎では不可）、ただし不同沈下等には留意

1.3.4 擁壁

(A) 荷重

- 擁壁に常時作用する圧力：静止土圧（深いほど大）＋水圧（深いほど大）＋地盤上の載荷物
- 水圧：地下水位以深の部分は水圧も考慮、地下水位が高いほど地下外壁に作用する圧力は高い
 - ⇒ **低減**：擁壁背面に排水層を設けると土圧、水圧の低減
- 土圧
 - ⇒ **土圧係数**：受働土圧（2～3）＞静止土圧（0.5）＞主動土圧（0.2～0.5）
 - 主動土圧：土が擁壁を押すことにより擁壁が土から離れる側に移動した際に作用する圧力、擁壁の設計に用いられる土圧（必要に応じて地震動も考慮、通常時の二～三割増し程度）
 - 受働土圧：受働土圧により構造体が土を押し返す圧力
 - 静止土圧：構造体と土が静止状態にある場合の圧力

(B) 設計

- 安全性の確認：転倒と滑りを検証
 - ⇒ **安定モーメント**：主動土圧による転倒モーメントの1.5倍以上を見込む
 - ⇒ **擁壁の抵抗力**：「基礎底面の摩擦力又は粘着力」と「根入れ部分の受働土圧」との合計が、水平力（土圧の滑動力）に対して1.5倍以上となること

