

1.2.6 荷重と外力

(A) 荷重の組み合わせ

- ・ 「許容応力度設計」においては2つのシチュエーション（長期・短期）で検討を行う、材料は火事場の〇〇力があるので短期的には通常よりも多くの荷重を支えることができるとみなされます
- ・ 許容応力度設計：材料が耐えうる応力度 \geq 部材に生じる応力、ならば安全
- ・ 長期：常時 or 積雪時（ただし多雪地域のみ）のこと、材料の耐えうる応力度は「長期許容応力度」
- ・ 短期：地震時・暴風時・豪雪時のこと、常時かかっている長期荷重+風荷重（or 地震荷重）+（多雪地域では積雪荷重）、「短期許容応力度」で検討
- ・ ほぼすべての建物において（横浜ランドマークタワー除く）、短期荷重は地震時が最大
- ・ 条件ごとの荷重の組み合わせに注意（特に積雪荷重の加算時の係数を確認）、積載・積雪荷重をあえて除いて検討する場合もあり

表 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

- ・ 建物自身の重さ、鉄筋コンクリートの単位容積重量は $24\text{kN}/\text{m}^3$ 程度、主な構造の荷重は基準法施行令第54条に記載
- ・ 仕上げや建物に固定された物品も含みますよ

(C) 積載荷重

- ・ 構造計算対象別・室の用途別に基準重量が定められている
- ・ 構造計算対象別：「床設計時>柱梁設計時>地震荷重算定時」
- ・ 室の用途別基準重量比較：人・物品が多い、人・物品の配置がアンバランスになる等の場合、荷重が大きくなる
- ・ 連絡通路の積載荷重は、避難誘導時を考慮して大きな値となる
- ・ 特記事項：積載荷重による柱への圧縮力算定の際に、支える床の数に応じて0.6倍まで低減可能（劇場・映画館・集会所、倉庫は除く）⇒ 低層の柱は自身のフロアの床のみならずそれ以上の階の床も支えているので支える床の数が多い
- ・ 特記事項：「限界耐力計算（極めて稀な地震・暴風対象）」においても採用する値は変化しない（地震は5倍、風は1.6倍なのに…って、暴風時や大地震の時も積載荷重は変化しませんからね）

表 積載荷重

室の種類	床設計用 (N/m ²)	柱・梁設計用 (N/m ²)	地震力算定用 (N/m ²)	
住宅の居室・病室	1800	1300	600	
事務室	2900	1800	800	
教室	2300	2100	1100	
店舗の売り場	2900	2400	1300	
集会所	固定	2900	2600	1600
	そのほか	3500	3200	2100
自動車車庫	5400	3900	2000	
廊下・階段	3500	3200	2100	
屋上広場・バルコニー	一般	1800	1300	600
	学校・百貨店	2900	2400	1300



(D) 積雪荷重

- ・ 積雪荷重の算定式：積雪荷重＝「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」
- ・ 単位荷重：積雪 1cm あたり 20N/m²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：垂直積雪量 1m 以上、積雪の年平均日数が 30 日以上 ← 長期荷重に相当
- ・ 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

ポイント

- ・ 風荷重：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
- ・ 風荷重の算定式：風荷重（W）＝ 風圧力（P）×見付け面積
- ・ 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（C_f）×速度圧（q）
- ・ 風力係数（C_f）：建物の形状・部分で異なる、風洞実験もしくは建物の内外圧係数の差で求める、円形の場合は 0.7 倍、屋根ふき材への風荷重の影響算定の場合も使えますよ、軒先等の局所的な箇所では風力係数が大きくなっちゃう時もあるので留意
- ・ 速度圧（q）：0.6×E×V₀²、E…屋根高さ・周辺条件より算定、V₀…「基準風速」、建物全体で同じ値を用いる
- ・ $E = E_r^2 \times G_f$ にて求める、両係数ともに「地表面粗度区分」によって決定
- ・ 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：風の乱れを表す係数、都市化が著しい地域の方が値が大きい
- ・ 基準風速：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
- ・ 特記事項：構造骨組み用荷重よりも外装材用荷重のほうが大きい（構造部材には間接的に荷重がかかるので）
- ・ 特記事項：トラス・ラチスなどの鉄塔でも風荷重の検討は必要（部材が風をうけるので）
- ・ 超高層建築物の風揺れ：風直交方向の方が揺れが大きい、ねじれ振動が生じる、制振装置で抑制可能



(F) 地震荷重

ポイント

- ・ 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を行う、低層階ほど値が大きい (W_i が大きくなるので)
⇒ ってことは、建物を軽量化すると地震荷重の低減が可能ですね
- ・ 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、
⇒ C_i を求める項目の内、フロアによって値が変化するのは A_i のみです ⇒ C_i も上階ほど値が大きくなります
- ・ 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)
- ・ 地下部分の地震層せん断力：地下部分の地震力 × 地下部分重量 + 地上最下層の地震層せん断力
- ・ 屋上からの突出物の地震力：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)、より大きな荷重がかかる
- ・ 保有水平耐力 > 必要保有水平耐力 (= 地震の水平力 × 構造特性係数 × 形状係数) 詳しくは第 8 回講義にて

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短めなので、地盤の固有周期が短くなるのは良いことですね）

(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、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）、地盤の耐力推定、資料採取も可能、N値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、加圧条件に一軸（上下からの圧縮）と三軸（上下ならびに周面からも圧縮）がある
- ・ 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抵抗力をチェック
- ・ 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、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）
- ・ 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、長期にわたる（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、基礎の面積が大きい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、要図解）

表 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）

(D') 液状化

- ・ 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しておく）
- ・ 液状化の注意が必要な条件：砂質土、細粒分含有率が低い（地表から 20m 程度以内で 35%以下）、粒径の分布が均一、N値が小さい、地下水位が高い、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）



1.3.2 基礎の設計

(A) 直接基礎

地盤の支持力

ポイント

- ・ 許容支持力度と地盤の許容応力度は同じ意味です
- ・ 支持力の傾向：内部摩擦角・粘着力・単位容積重量・基礎の幅が大きい、根入れ深さが深いと支持力が大きい、地下水位が高いほど支持力は小さい（水の浮力が生じるので）、傾斜地は地盤のすべりを考慮すると支持力が低下する
- ・ 極限鉛直支持力：これ以上荷重がかかるとせん断破壊を起こしちゃうっていう極限の荷重、 $R_u = qu \times A$ （極限鉛直支持力度に基礎の底面積を乗じて求める）
- ・ 許容応力度：極限鉛直支持力度に安全率をかけて求める、地質検査による算定、平板載荷試験による方法の2種がある（算定式が異なるので注意）

□ 支持力式による許容応力度（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＋地盤重さ＋根入れ効果（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よ、B は基礎の短辺長さ）

□ 支持力式による許容応力度（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うことにより「短期≠長期×2」

□ 平板載荷試験に基づく許容応力度（長期）： $q_a = q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f$

□ 平板載荷試験に基づく許容応力度（短期）： $q_a = 2q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f$

- ・ 許容応力度の留意点：地盤にせん断破壊が生じた時が限界です（軟弱地盤はせん断ひずみが大きくなってしまいます）、重い土ほど強いのですが水が出ると浮力が働くので注意



(B) 杭基礎

- ・ 杭の大分類：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
- ・ 杭の種類：既製杭（工場で生産、打込み・圧入・埋込み工法）、鋼杭（閉端・開端）、既製コンクリート杭（遠心力を用いた製法により中空）、現場打ちコンクリート杭（アースドリル・リバースサーキュレーション・オールケーシングなど）

(C) 杭の支持力算定

- ・ 先端抵抗力（先端支持力）：杭先端付近のN値の平均とする（ただし、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
- ・ 杭の支持力：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してね）

(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、ただし先端が深が沈下している場合は検討不要）、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、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

- ・ 構造体の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）、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）
- ・ 杭頭の曲げモーメント：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）
- ・ 杭頭の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

- ・ 水平地盤反力係数：水平方向の荷重に対する地盤の耐力、値が大きいと杭を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

(G) 留意すべき事項

- ・ 過去問リストをご確認ください

1.3.5 各種杭

ポイント

- ・ 先端支持力：打ち込み>埋め込み（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
- ・ 埋め込み杭は打ち込み杭よりも騒音・振動が少ない
- ・ 杭の引抜き：地下水位による浮力、地震・暴風による建物転倒モーメントなど
- ・ 鋼杭の腐食対策として、防錆塗装を行わず腐食分を予め見込んで杭の肉厚を増す（1mm程度）方法もあり
- ・ 杭の許容応力度：圧縮では短期＝長期×2、せん断では短期＝長期×1.5倍、長さ径比で低減



1.3.3 基礎スラブの設計

ポイント

- ・ 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向上させる
- ・ 支持力：極限鉛直支持力＝基礎底部積×極限鉛直支持力度（地盤の粘着力+地盤自重+根入れ効果）、地下水位に留意
- ・ 基礎部分重量の扱い：基礎の構造設計では基礎の自重・埋戻し土の重量は含めない、地震荷重算定時には基礎の自重・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）
- ・ 基礎底面の摩擦力：直接基礎は上部構造からの水平力に対し、基礎底面と地盤との摩擦力により抵抗可能（ただし、液状化などがなければ）
- ・ 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
- ・ 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

1.3.7 擁壁

(A) 荷重

- ・ 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
- ・ 主動土圧と受働土圧は土が変形して地盤が崩壊に達した場合を想定している
- ・ 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
- ・ 地盤が安定状態（内部摩擦角が大きい）ほど、静止土圧は小さくなる

(B) 設計

- ・ 安定モーメント：主動土圧による転倒モーメントの 1.5 倍以上を見込むこと
- ・ 擁壁の抵抗力：土圧による滑動力の 1.5 倍以上を見込む
- ・ 留意事項：伸縮継ぎ手（30m ごと）、背面の排水（土圧・水圧の上昇防止）

