

第1章

限界状態設計法基本事項

1.1 各種設計規準強度

表 1.1 設計基準強度 (N/mm²)

限界状態	終局限界状態					
設計基準強度 (f'_{cK})	18.0	24.0	30.0	40.0	60.0	80.0
設計縮小強度 (f'_{cd})	13.8	18.5	23.1	30.8	40.0	53.3
設計曲げ強度 (f_{bd})	2.2	2.7	3.1	3.8	4.3	5.2
設計引張強度 (f_{td})	1.2	1.5	1.7	2.1	2.4	2.8
設計付着強度 (f_{bod})	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.4

限界状態	使用限界状態					
設計基準強度 (f'_{cK})	18.0	24.0	30.0	40.0	60.0	80.0
設計縮小強度 (f'_{cd})						
設計曲げ強度 (f_{bd})	2.9	3.5	4.0	4.9	6.4	7.8
設計引張強度 (f_{td})	1.6	1.9	2.2	2.7	3.5	4.3
設計付着強度 (f_{bod})						

ただし

f'_{cK} : 圧縮強度の特性値 (設計基準強度) (N/mm²)

f'_{cd} : 設計圧縮強度 ($= f'_{cK}/\gamma_c$)

γ_c : 材料係数 ($= 1.3$)

f_{bK} : 曲げ強度 ($= 0.42 f'_{cK}{}^{2/3}$)

f_{tK} : 引張強度 ($= 0.23 f'_{cK}{}^{2/3}$)

f_{boK} : 付着強度 ($= 0.28 f'_{cK}{}^{2/3}$)

ただし $f_{boK} \leq 4.2 \text{ N/mm}^2$

1.2 設計荷重

(1) 永久荷重

持続的に作用する荷重で変動が小さい荷重である。例として、死荷重（自重）、コンクリートの収縮およびクリープ、静止土圧、静水圧等がある。

(2) 変動荷重

変動が連続あるいは頻繁に起こり、平均値に比して無視できない荷重等作用の変動が大きい荷重である。例として、活荷重、湿度変化の影響、風荷重、雪荷重等がある。

(3) 偶発荷重

設計耐用期間中に突発的に作用する荷重である。例として、地震の影響、衝突荷重、強風の影響等がある。

1.3 荷重係数

表 1.2 荷重係数

限界状態	荷重の種類	荷重係数 (γ_f)
終局限界状態	永久荷重	1.0 ~ 1.2 ^{*1}
	主たる変動荷重	1.1 ~ 1.2
	従たる変動荷重	1.0
	偶発荷重	1.0
使用限界状態	すべての荷重	1.0
疲労限界状態	すべての荷重	1.0

*1 自重以外の永久荷重が小さい方が不利となる場合には、永久荷重に対する荷重係数を 0.9~1.0 とするのがよい。

1.4 安全係数

(1) 安全係数により配慮されている内容

表 1.3 安全係数により配慮されている内容

配慮されている内容		取り扱う項目
断面耐力	1. 材料強度のばらつき (1) 材料実験データから判断できる部分 (2) 材料実験データから判断できない部分（材料実験データの不足・偏り，品質管理の程度，供試体と構造物中との材料強度の差異，経時変化等による）	特性値 f_k
	2. 限界状態に及ぼす影響の度合 3. 部材断面耐力の計算上の不確実性，部材寸法のばらつき 部材の重要度，破壊性状	材料係数 γ_m 部材係数 γ_b
断面力	1. 荷重のばらつき (1) 荷重の統計的データから判断できる部分 (2) 荷重の統計的データから判断できない部分（荷重の統計的データの不足・偏り，設計耐用期間中の荷重の変化，荷重の算定方法の不確実性等による）	特性値 F_k 荷重係数 γ_f
	2. 限界状態に及ぼす影響の度合 3. 断面力等の算定時の不確実性	構造解析係数 γ_a
構造物の重要度，限界状態に達した時の社会的経済的影響等		構造物係数 γ_i

(2) 標準的な安全係数の値

表 1.4 標準的な安全係数の値

安全整数 限界状態	材料係数		部材係数 γ_b	構造解析 係数 γ_a	荷重係数 γ_f	構造物 係数 γ_i
	コンクリート γ_c	鋼材 γ_s				
終局限界状態	1.3	1.0 または 1.05	1.1 ~ 1.3	1.0	1.0 ~ 1.2	1.0 ~ 1.2
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
疲労限界状態	1.3	1.05	1.0 ~ 1.1	1.0	1.0	1.0 ~ 1.1

修正係数

1. 修正係数は、材料修正係数 ρ_m および荷重修正係数 ρ_f とする。
2. 材料修正係数 ρ_m は、材料強度の特性値と規格値との相違を考慮して定めるものとする。
3. 荷重修正係数 ρ_f は、荷重の特性値と規格値または公称値との相違を考慮して、それぞれの限界状態に応じて定めるものとする。

1.5 構造物の安全性照査

(1) 断面破壊に対する安全性の照査

表 1.5 照査 $\gamma_i S_d / R_d \leq 1.0$

耐力		断面力	
材料強度の特性値	$f_k (= \rho_m F_n)$	荷重の特性値	$F_k (= \rho_f F_n)$
γ_m		γ_f	
材料の設計強度	$f_d = f_k / \gamma_m$	設計荷重	$F_d = \gamma_f F_k$
断面耐力	$R (f_d)$	断面力	$S (F_d)$
γ_b		γ_a	
設計断面耐力	$R_d = R(f_d) / \gamma_b$	設計断面力	$S_d = \Sigma \gamma_a S(F_d)$

(2) 断面力によらない安全性の照査

表 1.6 照査 $\gamma_i S_d / R_d \leq 1.0$

材料特性値 (強度, 靱性, 剛性等) f_k	荷重の特性値 F_k
γ_m	
材料の設計値 f_d	設計荷重 F_d
構造物や構造部材/材料の応答値 $S (f_d, F_d)$	
	γ_a, γ_b
設計限界値 R_d	設計応答値 S_d

1.6 材料の単位重量

表 1.7 材料の単位体積重量

材 料	単位体積重量 (kN/m ³)
鋼・鋳鋼・鍛鋼	77
鋳鉄	71
アルミニウム	27.5
鉄筋コンクリート	24.0~24.5
プレストレスコンクリート	24.5
鉄筋軽量骨材コンクリート	18.0
コンクリート	22.5~23.0
セメントモルタル	21
木材	8
瀝青材	11
アスファルトコンクリート舗装	22.5
軽量骨材コンクリート(骨材金部が軽量骨材)	16.5

1.7 一般使用の鉄筋コンクリート用棒鋼の機械的性質

表 1.8 鉄筋コンクリート用棒鋼の機械的性質

種類の記号	引張試験				曲げ性	
	降伏点または 0.2 % 耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	引張試験片	伸び (%)	曲げ 角度	内側半径
SR235	235 以上	380 ~ 520	2 号	20 以上	180°	公称直径の 1.5 倍
			3 号	24 以上		
SD295A	295 以上	440 ~ 600	2 号に準じ るもの	16 以上	180°	D16 以下 公称直径の 1.5 倍
			3 号に準じ るもの	18 以上		D16 超えるもの 公称直径の 2 倍
SD295B	295 ~ 390	440 以上	2 号に準じ るもの	16 以上	180°	D16 以下 公称直径の 1.5 倍
			3 号に準じ るもの	18 以上		D16 超えるもの 公称直径の 2 倍
SD345	345 ~ 440	490 以上	2 号に準じ るもの	18 以上	180°	D16 以下 公称直径の 1.5 倍
			3 号に準じ るもの	20 以上		D16 超え D41 以下 公称直径の 2 倍
SD390	390 ~ 510	560 以上	2 号に準じ るもの	16 以上	180°	D51 公称直径の 2.5 倍
			3 号に準じ るもの	18 以上		公称直径の 2.5 倍
SD490	490 ~ 625	620 以上	2 号に準じ るもの	12 以上	90°	D25 以下 公称直径の 2.5 倍
			3 号に準じ るもの	14 以上		D25 超えるもの 公称直径の 3 倍

異形棒鋼で、寸法で呼び名 D32 を超えるものについては、呼び名 3 を増すごとに本表の伸び値からそれぞれ 2 % 減じる。ただし、減じる限度は 4 % とする。

・鉄筋のヤング係数

$$E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$$

表 1.9 鉄筋の単位重量および標準寸法

径または呼び名 (mm)		単位重量 (kg/m)	公称直径 (mm)	公称断面積 (cm ²)	公称周長 (cm)
普通丸鋼	ϕ 6	0.222	6	0.283	0.89
	ϕ 8	0.395	8	0.503	2.51
	ϕ 9	0.499	9	0.636	2.83
	ϕ 10	0.617	10	0.785	3.14
	ϕ 12	0.888	12	1.131	3.77
異形鉄筋	D 6	0.249	6.35	0.3167	2.0
	D 10	0.560	9.35	0.7133	3.0
	D 13	0.995	12.7	1.267	4.0
	D 16	1.56	15.9	1.986	5.0
	D 19	2.25	19.1	2.865	6.0
	D 22	3.04	22.2	3.871	7.0
	D 25	3.98	25.4	5.067	8.0
	D 29	5.04	28.6	6.424	9.0
	D 32	6.23	31.8	7.942	10.0
	D 35	7.51	34.9	9.566	11.0
	D 38	8.95	38.1	11.40	12.0
	D 41	10.5	41.3	13.40	13.0
D 51	15.9	50.8	20.27	16.0	

1.8 コンクリートの基本的な性質

・強度

高圧縮強度 $f'_c = 20 \sim 80 \text{ N/mm}^2$

低引張強度 $f_c = (1/9 \sim 1/13) f'_c$

・弾性係数

$$E_c = 22 \sim 38 \text{ kN/mm}^2$$

表 1.10 コンクリートの弾性係数 (E_c)

f_{cK} (N/mm ²)	18	24	30	40	50	60	70	80	
E_c (N/mm ²)	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量コンクリート *2	13	15	16	19				

*2 骨材の全部を軽量骨材とした場合 .

引張強度 $f_{tK} = 0.23 f'_{cK}{}^{2/3}$

付着強度 $f_{tK} = 0.28 f'_{cK}{}^{2/3} \leq 4.2 \text{ N/mm}^2$

曲げ強度 $f_{bK} = 0.42 f'_{cK}{}^{2/3}$

支圧強度 $f'_{aK} = \eta f'_{cK}{}^{2/3}$

ここに

$$\eta = \sqrt{A/A_a} \leq 2$$

A : コンクリート面の支圧分布面積

A_a : 支圧を受ける面積

表 1.11 弾性係数比 (n)

項目	弾性解析 (使用状態)								許容応力 度法
	コンクリート設計基準強度 f'_{cK} (N/mm ²)	18	24	30	40	50	60	70	
コンクリート弾性係数 E_c (N/mm ²)	22	25	28	31	33	35	37	38	
鋼材の弾性係数 E_s (N/mm ²)	200								
弾性係数比 n	9.1	8.0	7.1	6.5	6.1	5.7	5.4	5.3	15

$$n : \text{弾性係数比} \quad \left(= \frac{E_s}{E_c} \right)$$

1.9 限界状態設計法

限界状態設計法は、設計する構造物が、その限界を超えたとき構造物が機能も失い崩壊したり使用不能となるような個々の限界状態を具体的に設定して安全性を照査検討する設計法である。

土木学会 2002 年制定コンクリート標準示方書「構造性の照査編」では各編の限界状態を具体的に次の三項目に分類設定している。

(1) 終局限界状態

表 1.12 最大耐荷性能に対する限界状態

断面破壊の終局限界状態	構造物または部材の断面が破壊を生じる状態
剛体安定の終局限界状態	構造物の全体または一部が一つの剛体の構造物として転倒その他により安定を失う状態
変位の終局限界状態	構造物に生じる大变位によって構造物が必要な耐荷能力を失う状態
変形の終局限界状態	塑性変形・クリープ・ひび割れ・不等沈下等の変形によって構造物が必要な耐荷能力を失う状態
ナカニズムの終局限界状態	不静定構造物がメカニズムへ移行する状態

(2) 使用限界状態

表 1.13 通常の使用性および機能確保，耐久性に関連する限界状態の照査

ひび割れの使用限界状態	ひび割れにより美観を害するが，耐久性または水密性や機密性を損ねるかする状態
変形の使用限界状態	変形が構造物の正常な使用状態に対して過大となる状態
変位の使用限界状態	安定，平衡を失うまでには至らないが，正常な状態で使用するには変位が過大となる状態
損傷の使用限界状態	構造物に各種の原因による損傷が生じ，そのまま使用するのが不適當となる状態
振動の使用限界状態	振動が過大となり，正常な状態で使用できないか不安の念を抱かせるかする状態
有害振動発生の使用限界状態	地盤等を通じて，周辺構造物に有害振動を伝播し，不快感を抱かせる状態

(3) 疲労限界状態

繰返し荷重により疲労破壊を生じて安全性を損なわれる状態

(4) 設計荷重の組合せ

表 1.14 設計荷重の組合せ

限界状態	考慮すべき組合せ
終局限界状態	永久荷重 + 主たる変動荷重 + 従たる変動荷重
	永久荷重 + 偶発荷重 + 従たる変動荷重
使用限界状態	永久荷重 + 変動荷重
疲労限界状態	永久荷重 + 変動荷重

(5) 照査式

最終的な安全性の照査は構造物係数 γ_i により，次式で算定する．

(a) 終局限界に対する照査

$$\gamma_i = \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$$

(b) 使用限界に対する照査

$$\gamma_i = \frac{\text{使用時の設計値 (ひび割れ幅), (たわみ量)}}{\text{許容限界値}} \leq 1.0$$

(c) 疲労限界に対する照査

① 応力ベース

$$\gamma_i = \frac{\sigma_{rd}}{f_{rd}/\gamma_b} \geq 1.0$$

② 断面力ベース

$$\gamma_i = \frac{S_{rd}}{R_{rd}} \geq 1.0$$

ここに

S_d = 設計断面力

R_d = 設計断面耐力

σ_{rd} = 応力振幅

f_{rd} = 疲労強度

S_{rd} = 振幅

R_{rd} = 疲労強度

γ_i = 構造物係数