

4 章 材料の特性値および設計用値

4.1 材料の特性値

- (1) 材料は作用外力，劣化の影響，供用年数，形状，施工性，経済性，環境に及ぼす影響などを考慮して適切に選定する。
- (2) 材料の特性値は，試験値のバラツキを想定した上で，大部分の試験値を包絡することが保証される値とする。
- (3) 材料の設計用値は，材料の特性値を材料係数で除した値とする。

【解説】

土木構造物には，コンクリート，鋼材，地盤材料，ゴム，その他の材料が使用されており，その品質は，材料及び構造物の種類に応じて定める。コンクリート及び鋼材については次による。

- ・コンクリート及び鉄筋の品質はコンクリート標準示方書による。
- ・構造用等鋼材の品質は鋼構造設計指針による。

地盤の性状や盛土材料等の品質は，地盤調査・試験に基づき設定する。

なお，技術の進歩に伴う新しい材料の使用について，試験を行って必要な性能を有していることを確認し，適切な材料であると判断される場合にはこれを使用してよい。

(2)について

今後の設計法が信頼性設計法に向い変化していく中で，材料の特性値については，材料試験値のデータ収集を進め，その平均値およびバラツキを定量的に把握し，適切な超過確率を設定して評価していく必要がある。

4.2 コンクリート及び鋼材の設計用値

- (1) コンクリートあるいは鋼材の品質は，設計上の必要性に応じて，圧縮強度あるいは引張強度に加え，その他の強度特性，ヤング係数その他の変形特性，熱特性，耐久性，水密性等の材料特性によって表される。
- (2) コンクリート強度の特性値は，原則として材齢 28 日における試験強度に基づいて定める。ただし，曲げ強度，引張強度，付着強度および支圧強度の特性値は，圧縮強度の特性値に基づき求めて良い。
- (3) 鋼材の引張降伏強度の特性値および引張強度の特性値は，それぞれの試験強度に基づいて定める。また，鋼材の圧縮降伏強度の特性値およびせん断降伏強度の特性値は，引張降伏強度の特性値に基づき求めて良い。
- (4) 設計強度の設計用値は，上記材料強度の特性値を材料係数で除した値とする。

【解説】

(1)(2)および(4)について

1) コンクリート強度

コンクリート標準示方書では，コンクリート強度の設計用値を次のように示している。

JISA5308 に適合するレディミクストコンクリートを用いる場合には，その呼び強度を圧縮強度の特性値(f'_{ck} : N/mm²)として良い。曲げ強度，引張強度，付着強度，および支圧強度の特性値は，一般の普通コンクリートに対しては下式により求めて良い。

$$\text{曲げ強度 } f_{bk} = 0.42 \cdot f'_{ck}{}^{2/3}$$

引張強度 $f_{ik} = 0.23 \cdot f_{ck}'^{2/3}$

付着強度(JISG3112の規定を満足する異形鉄筋について)

$$f_{bok} = 0.28 \cdot f_{ck}'^{2/3} \quad (\text{ただし } f_{bok} \leq 4.2 \text{ N/mm}^2)$$

支圧強度 $f_{ak}' = \eta \cdot f_{ck}'^{2/3}$ (ただし $\eta = (A/A_a)^{1/2} \leq 2$)

ここに、 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

材料係数 γ_c は、一般に終局限界状態の検討においては 1.3 または 1.5 ($f_{ck}' \geq 60 \text{ N/mm}^2$ の場合) とする。ただし、 f_{ck}' が 60 N/mm² 未満の各設計強度は、 $f_{ck}' = 60 \text{ N/mm}^2$ で $\gamma_c = 1.5$ の場合の設計強度を上回ってはならない。また、使用限界状態の検討においては γ_c は 1.0 として良い。

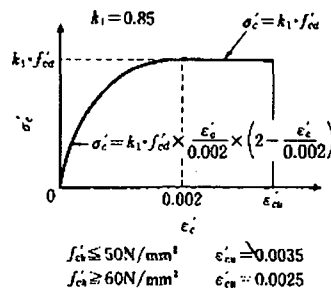
2) コンクリートの応力-ひずみ曲線

コンクリート標準示方書では、コンクリートの応力-ひずみ曲線を次のように示している。

曲げモーメントおよび曲げモーメントと軸方向力を受ける部材の断面破壊の終局限界状態に対する検討においては、一般に解説図 4.2-1 に示したモデル化された応力-ひずみ曲線を用いてよい。なお、軽量骨材コンクリートの場合も、この検討には、解説図 4.2-1 の応力-ひずみ曲線を用いてよい。

使用限界状態に対する検討においては、コンクリートの応力-ひずみ曲線を直線としてよい。

コンクリート標準示方書「設計編」



解説図 4.2-1 コンクリートのモデル化された応力-ひずみ曲線

二軸および三軸応力状態下ではコンクリートの応力-ひずみ曲線が解説図 4.2-1 とは異なるので、終局限界状態に対する検討においては、必要に応じてその影響を考慮するものとする。ただし、使用限界状態に対する検討においては弾性体としてよい。

通常のコンクリートの場合でも、応力-ひずみ曲線はコンクリートの種類、材齢、作用する応力状態、荷重速度および荷重経路等によって相当に異なる。しかしながら、棒部材の断面の終局耐力のように、応力-ひずみ曲線の相違が大きな影響を与えない場合がある。このような場合には、応力-ひずみ曲線は、一般に用いられてきている解説図 4.2-1 あるいは長方形などの適当な形を仮定してよい。ただし、高強度になると破壊がぜい性的になることを考慮して、 f_{ck}' が 60 N/mm² を超える場合には、終局ひずみを小さくした。一方、棒部材の終局状態に至る変形あるいはじん性の検討等では、応力-ひずみ曲線の影響が大きいので、下降域を含めた実際に近い適切な曲線を仮定する必要がある。

軽量骨材コンクリートでは、実際には普通コンクリートと多少異なるので、変形あるいはじん性等の検討では適切な曲線を仮定する必要がある。一般に、軽量骨材コンクリートでは応力-ひずみ曲線が高応力時まで直線的で、原点における立上がり勾配の小さいこと、圧縮強度の 1/3 点応力に対する割線弾性係数の値の相違、最大応力に達してからの応力低下が急激であることが特色である。

ここで示した応力ひずみ曲線は、一般的なものである。特に、帯鉄筋やらせん鉄筋等で囲まれたコ

ンクリートにおいては、それらの鉄筋による拘束効果で設計圧縮強度 f'_{cd} および終局ひずみ ϵ'_{cd} を大きく取れることが知られている。それらの値が実験等で適切に得られている場合には、その結果を用いてもよい。

(1)(3)および(4)について

1) 鋼材強度

コンクリート標準示方書では、鋼材強度の設計用値を次のように示している。

JIS 規格に適合するものは、引張降伏強度の特性値 f_{yk} および引張強度の特性値 f_{uk} を JIS 規格の下限値として良い。圧縮降伏強度およびせん断降伏強度の特性値は下式により求めて良い。

$$\begin{aligned} \text{圧縮降伏強度} \quad f'_{yk} &= f_{yk} \\ \text{せん断降伏強度} \quad f_{vyk} &= f_{yk} / \sqrt{3} \end{aligned}$$

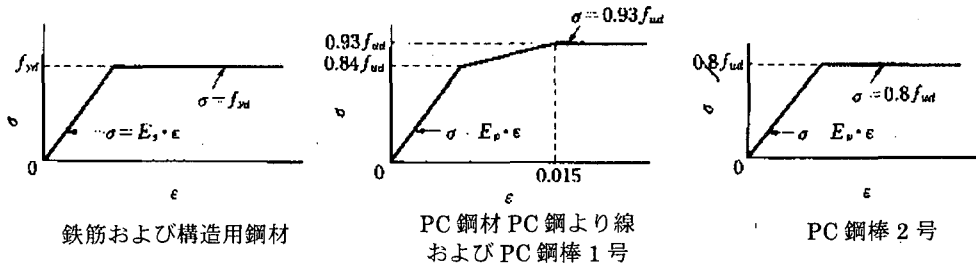
材料係数 γ_s は、一般に終局限界状態の検討においては 1.0 (鉄筋および PC 鋼材) および 1.05 (その他の鋼材) とする。また、使用限界状態の検討においては 1.0 として良い。

2) 鋼材の応力-ひずみ曲線

コンクリート標準示方書では、コンクリートの応力-ひずみ曲線を次のように示している。

終局限界状態の検討においては、一般に解説図 4.2-2 に示したモデル化された応力-ひずみ曲線を用いてよい。

鋼材の応力-ひずみ曲線は、鋼材の種類、化学成分、製造方法等によって異なる。たとえば鉄筋の引張強度に対する降伏点強度の比は 65~80%，PC 鋼材は 85~95%，構造用鋼材(非調質)は、55~80% 程度である。したがって、検討の目的に応じて適切な形を仮定する必要がある。しかし、検討の内容によっては、応力-ひずみ曲線の相違があまり大きな影響を与えない場合がある。解説図 4.2-2 に示す応力-ひずみ曲線は、一般に部材断面の応力度、耐力等の検討に用いてよい。



解説図 4.2-2 鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

4.3 地盤材料の設計用値

- (1) 土質材料、岩盤材料および盛土材料等の設計用値は、設計上の必要性に応じて、地盤構造を把握し、物理特性、変形特性、強度特性等について設定する。
- (2) 地盤材料諸定数の特性値は、原則として地盤調査・試験に基づき設定する。
- (3) 設計用値は同特性値を材料定数で除した値とする。

【解説】

1) 地盤材料の設計用値

地盤材料の設計用値は、地盤調査、試験を基に特性値を評価し、その特性値を材料係数で除して設定する。地盤定数の特性値は土質調査・試験の精度および信頼性に大きく依存する。

鉄道構造物等設計標準・同解説では、その精度・信頼性の程度を表す安全係数として地盤調査係数を設定し、これを地盤材料の特性値に乗じた値を地盤材料の設計用値としている。なお、地盤調査係数は、特別な調査を行う場合以外として1.0を示している。

2) 土質材料の設計用値

土質材料の変形特性に関する設計用値は、せん断係数、体積弾性係数、および減衰定数などで表わされる。変形特性は、せん断ひずみに依存した非線形性を示し、また、拘束圧、間隙比、繰返し数、振動数、初期状態で作用しているせん断応力、過圧密を含む応力履歴、等の影響を受ける。微小ひずみ時の変形特性は、せん断弾性波速度(V_s)などで表される。せん断弾性波速度は、原則としてPS検層等の地盤調査から設計用値を設定するが、標準貫入試験によるN値、一軸圧縮強度 q_u などを参照した下式などが各機関で示されている。

○道路橋示方書・同解説、日本道路協会、1996.12

$$\text{粘性土： } V_s = 100N^{1/3} \text{ (m/s) } (1 \leq N \leq 25)$$

$$\text{砂質土： } V_s = 80N^{1/3} \text{ (m/s) } (1 \leq N \leq 50)$$

○鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、鉄道総合技術研究所、1999.11

$$\text{砂質土： } V_s = 80N^{1/3} \text{ (m/s) } (N \leq 50)$$

$$\text{粘性土： } V_s = 100N^{1/3} \text{ (m/s) } (2 \leq N \leq 50)$$

$$V_s = 120q_u^{0.36} \text{ (m/s) } (N < 2)$$

変形特性の非線形性に関しては、適用する構成則モデルに応じて、動的変形試験等を基に試験結果に適合する各種設計用値を設定する。等価線形解析法を考える場合には、微小ひずみ時のせん断係数(G_0)に対する割線せん断係数(G)の比(G/G_0)および減衰定数(h)を、せん断ひずみ(γ)の関数として設計用値を設定する 경우가多く、モデルとしては、Hardin-DrnevichモデルやRamberg-Osgoodモデルなどが適用される。

○ Hardin-Drnevich モデル

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}}, \quad h = h_{\max} \left(1 - \frac{G}{G_0} \right)$$

○ Ramberg-Osgood モデル

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \left(\frac{\tau}{\tau_f} \right)^{r-1}}, \quad h = \frac{2}{\pi} \cdot \alpha \frac{r-1}{r+1} \left(1 - \frac{G}{G_0} \right)$$

ここに、 γ_r : 基準ひずみ τ_{\max}/G_{\max}

h_{\max} : 最大減衰定数

α, r, τ_f : パラメータ

強度特性に関する設計用値は、内部摩擦角および粘着力度などで表される。強度特性は、拘束圧、繰返し载荷の他、粘性土では载荷速度に伴うダイラタンシーの影響を受ける。

これらの設計用値は、原則として乱さない試料の強度試験から設定するが、標準貫入試験によるN値、一軸圧縮強度 q_u を参照した下式などが各機関で示されている。

○道路橋示方書・同解説、日本道路協会、1996.12

粘性土の粘着力： $c = 1/2 \cdot q_u$ 、柔らかい粘性土については $c = (0.6 \sim 1.0)N(\text{tf/m}^2)$

砂のせん断抵抗角：下限値として $\phi = 15 + \sqrt{15N} \leq 45^\circ$ ただし $N > 5$

○鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、鉄道総合技術研究所、1999.11

$$\text{砂質土の内部摩擦角度} : \phi = 1.85 \left(\frac{N}{\sigma'_v + 0.7} \right)^{0.6} + 26 \leq 0.5N + 24 (^\circ)$$

$$\text{粘性土の粘着力度} : c = 1/2 \cdot q_u$$

3) 岩盤諸定数の設計用値

岩盤の設計用値は、岩種、風化変質の状況、割れ目の分布等の性状に応じて適切な岩盤分類を行い、設計用値を設定する。

岩盤の調査試験法については、以下によるのがよい。

岩の調査と試験 土質工学会 (1989.9)

軟岩の調査・試験の指針(案) 土木学会 (1991.11)

軟岩評価－調査・設計・施工への適用 土木学会 (1992.12)

4) 盛土材料の設計用値

盛土材料としては、通常ほとんどの土質材料が使用できる。盛土材料として望ましい条件には以下が挙げられる。

① 締固めがしやすい

② せん断強度が大きい

③ 安定上支障となる収縮・膨張性がない

盛土材料の設計用値は、こうした使用材料の特性、締固め特性および原位置での転圧状態などを勘案して、土質定数として設計用値を設定する。