

## 第3章 材 料

### 3.1 一 般

耐震性能照査においては、作用荷重の評価(静止土圧, 自重など), 構造物の地震応答解析および限界値の評価の際に, 鉄筋, コンクリート, 地盤などの材料特性を定める必要がある。地震応答解析に用いる地盤および鉄筋コンクリート関連の材料特性の設定方法については, 本マニュアル「第5章 解析手法」で詳述する。また, 限界値の評価に用いる材料の特性値については, 本マニュアル「第6章 性能照査」に詳述する。ここでは, コンクリートおよび鉄筋に関する一般的な材料特性の設定方法を記述する。

### 3.2 コンクリートの材料特性

#### 3.2.1 一般

コンクリートの材料特性は, 圧縮強度, 引張強度, 付着強度, ヤング係数, ポアソン比, 応力-ひずみ関係等によって表される。また, 対象構造物の環境条件に応じて, 熱特性, 乾燥収縮, クリーブ等を考慮する。乾燥収縮, クリーブなど, 時間経過に伴う変化量が要求される特性を除く材料特性は, 一般に, 材齢 28 日の試験結果に基づいて定めるものとする。ただし, 主要な荷重が構造物に作用する時期および施工計画(材料, 配合, 施工方法等)に応じて, 材料特性を決定する適切な材齢を 28 日以外で設定してもよい。

地震応答解析や限界値の評価に用いるコンクリートの強度特性は, 特性値として設定しており, 一般に, 式(3.2-1)により算定される。これは, コンクリートの製造におけるばらつきを考慮して, 特性値は, 当該配合のコンクリートの試験値がその値を下回る確率が 5%以下となるように設定されている。

$$f_k = f_m - k\sigma = f_m(1 - k\delta) \quad (3.2-1)$$

- ここに,  $f_k$  : 特性値  
 $f_m$  : 試験値の平均値  
 $\sigma$  : 試験値の標準偏差  
 $\delta$  : 試験値の変動係数  
 $k$  : 係数

係数  $k$  は, 特性値より小さい試験値が得られる確率と試験値の分布形より定まるものである。特性値を下回る確率を 5% とし, 分布形を正規分布とすると, 係数  $k$  は 1.64 となる。最低 5 体以上の試験を基に平均値と標準偏差を定めるものとする(図 3.2-1 参照)。

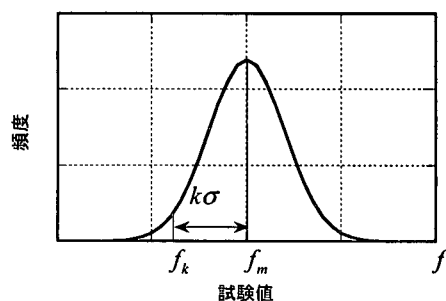


図 3.2-1 特性値の考え方

### 3.2.2 材料特性

コンクリートの各材料特性の設定は、基本的に「示方書[構造性能照査編]」に従うものとする。以下に、「示方書[構造性能照査編]」における各特性の主な記載事項を示す。

#### (1) 圧縮強度

圧縮強度の特性値を定める試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って実施する。供試体は、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」により作製する。ただし、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に適合する場合には、購入者が指定する呼び強度を特性値としてよい。

#### (2) 引張強度

引張強度の特性値は、試験に基づいて定めるか、もしくは式(3.2-2)によって求めるものとする。試験は、JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に従って実施する。

$$f_{tk} = 0.23 f_{ck}^{2/3} \quad (3.2-2)$$

ここに、 $f_{tk}$  : コンクリートの引張強度

$f_{ck}$  : コンクリートの設計基準強度

なお、引張強度は、曲げ耐力およびせん断耐力には影響を及ぼさないが、曲げひび割れ耐力やせん断ひび割れ耐力を評価する上では重要であり、これらに着目する場合には試験に基づくことが望ましい。

#### (3) 付着強度

コンクリートの付着強度の特性値は、適切な試験に基づいて定めるか、もしくは、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規定を満足する異形鉄筋については、式(3.2-3)によって求めてもよい。

$$f_{bok} = 0.28 f_{ck}^{2/3} \quad (3.2-3)$$

ただし、 $f_{bok} \leq 4.2 [\text{N/mm}^2]$

ここに、 $f_{bok}$  : コンクリートの付着強度

#### (4) 曲げひび割れ強度

コンクリートの曲げひび割れ強度は、式(3.2-4)によって求めてよい。

$$f_{bck} = k_{ob} k_{lb} f_{tk} \quad (3.2-4)$$

$$\text{ここに, } k_{ob} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5(h/l_{ch})} \quad (3.2-5)$$

$$k_{lb} = \frac{0.55}{\sqrt[4]{h}} \quad (\geq 0.4) \quad (3.2-6)$$

$k_{ob}$  : コンクリートの引張軟化特性に起因する引張強度と曲げ強度の関係を表す係数

$k_{lb}$  : 乾燥, 水和熱など, その他の原因によるひび割れ強度の低下を表す係数

$h$  : 部材の高さ(m)

$l_{ch}$  : 特性長さ(m)(=  $G_F E_c / f_{tk}^2$ ,  $E_c$  : ヤング係数,  $G_F$  : 破壊エネルギー,  $f_{tk}$  : 引張強度の特性値). ただし, この場合の破壊エネルギーおよびヤング係数は, (6) (7)に従って定めるものとする.

### (5) 応力-ひずみ関係

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終局限界状態の評価においては, 図 3.2-2 に示す応力-ひずみ関係を用いてよい. これは, 「示方書[構造性能照査編]」に規定されるものと同じである. 応力-ひずみ関係については, 他にも多くの提案がなされているが, その特徴や適用範囲を踏まえた上で用いるのがよい. 特に, 大変形に関する検討を行う場合は, 軟化域まで精度良く表現できる応力-ひずみ関係を用いることが望ましい. 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により, 圧縮強度および終局ひずみが大きくな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. 除荷曲線と再載荷曲線から成る履歴曲線は, 既往の研究もしくは実験に基づいた適切なモデルを選定する.

二軸および三軸応力状態の下では, コンクリートの応力-ひずみ関係が一軸応力状態のものとは相当に異なるので, 必要に応じてその影響を考慮するものとする. また, 後述の材料非線形モデルにはこうした多軸状態に対応した応力-ひずみ関係が考慮されていないなければならない.

なお, 地震応答解析に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係は, 本マニュアル「第5章 解析手法」において記述する.

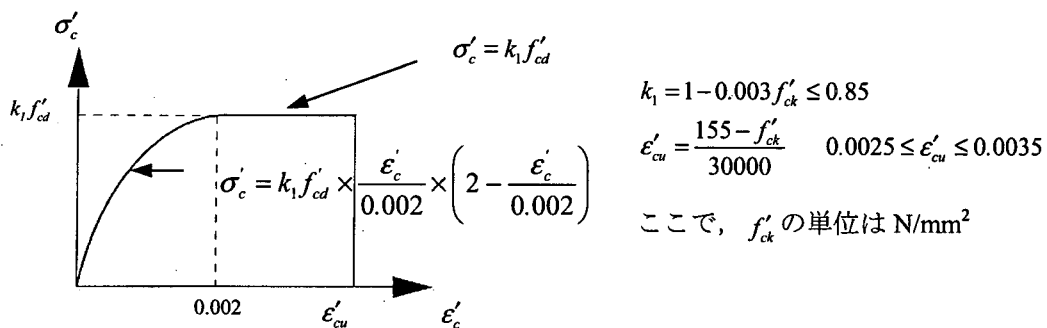


図 3.2-2 終局耐力評価に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係

(6) 引張軟化特性

コンクリートの破壊エネルギー  $G_F$  は、一般の普通コンクリートに対して、式(3.2-7)により求めてよい。

$$G_F = 10(d_{max})^{1/3} \cdot f_{ck}' \quad (3.2-7)$$

ここに、 $d_{max}$  : 粗骨材の最大寸法(mm)

$f_{ck}'$  : 圧縮強度の特性値(設計基準強度)(N/mm<sup>2</sup>)

(7) ヤング係数

コンクリートのヤング係数は、試験に基づいて定めるものとする。試験は JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験法」に従って実施する。また、通常運用時の断面力計算では、「示方書[構造性能照査編]」に定められる圧縮強度との関係表(表 3.2-1)に示されるヤング係数を適用してもよい。

表 3.2-1 普通コンクリートのヤング係数

$f_{ck}'$ (N/mm <sup>2</sup> )	18	24	30	40	50	60	70	80
$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	22	25	28	31	33	35	37	38

(8) ポアソン比

コンクリートが弾性範囲にある時のポアソン比は、一般に 0.2 としてよい。ひび割れ発生後や弾性範囲を越える領域に対してポアソン比に相当する特性を必要とする場合は、適切に定めるものとする。

(9) 熱特性

コンクリートの熱特性は、実験あるいは既往のデータに基づいて定めることを原則とする。ただし、熱膨張係数は、一般に  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  としてよい。

(10) 収縮

コンクリートの収縮は、構造物の周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合等の影響を考慮して定めなければならない。ただし、単位水量  $w=160\sim 180\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位セメント量  $350\sim 400\text{kg}/\text{m}^3$ 、圧縮強度が  $55\text{N}/\text{mm}^2$  以下の場合の普通コンクリートでは、収縮ひずみは、「示方書[構造性能照査編]」の値を用いてよい。

(11) クリープ

クリープひずみは、作用する圧縮応力による弾性ひずみに比例するとして、一般に式(3.2-8)により求めてよい。

$$\varepsilon_{cc}' = \varphi \cdot \sigma_{cp}' / E_{ci} \quad (3.2-8)$$

ここに、 $\varepsilon'_{cc}$  : コンクリートの圧縮クリープひずみ  
 $\phi$  : クリープ係数  
 $\sigma'_{cp}$  : 作用する圧縮応力度  
 $E_{ct}$  : 載荷時材齢のヤング係数

クリープ係数は、構造物の周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合、圧縮応力作用時の材齢等の影響を考慮して定める必要がある。圧縮強度が  $55\text{N/mm}^2$  以下の無筋コンクリート、および偏心なく配筋された鉄筋量 1% 程度の軸方向鉄筋の場合に対して、それぞれのクリープ係数の一般的な値が「示方書[構造性能照査編]」に示されている。

### 3.3 鉄筋の材料特性

#### 3.3.1 一般

鉄筋の材料特性は、引張・圧縮・せん断に関する各降伏強度、引張強度、応力-ひずみ関係によって表される。また、対象構造物の環境条件に応じて熱特性を考慮する。

鉄筋の材料特性は、試験に基づいて定めることを原則としている。ただし、JIS 規格に適合するものは、規格値を用いてもよい。

#### 3.3.2 材料特性

鉄筋の材料特性に関しても、「示方書[構造性能照査編]」に記述される内容に準拠するものとする。以下に、その主な事項を記述する。

##### (1) 引張降伏強度および引張強度

鉄筋の引張降伏強度および引張強度の特性値は、それぞれの強度試験結果に基づいて定めるものとする。引張試験は、JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」により実施する。

JIS 規格に適合するものは、一般に、特性値を JIS 規格の下限値としてよい。また、鉄筋の断面積は、公称断面積としてよい。

##### (2) 圧縮降伏強度

鉄筋の圧縮降伏強度の特性値は、引張降伏強度の特性値に等しいものとしてよい。

##### (3) 応力-ひずみ関係

鉄筋の応力-ひずみ関係は、用途に応じて適切な形を仮定するものとする(図 3.3-1 参照)。骨格曲線としては、引張降伏点を折れ点とする完全弾塑性型、第二勾配を引張降伏点と引張強度点で結んだバイリニア型モデルなどが提案されている。コンクリート中にある鉄筋のひずみと応力は一様でなく、ひび割れ位置で大きくなってその他の位置で小さくなることから、近年、平均応力-平均ひずみの関係として定式化している研究例がある。ひび割れが分散するような領域を対象とする場合は、こうしたモデルを用いることによって解析精度が向上する。除荷曲線と再載荷曲線から成る履歴曲線は、既往の研究もしくは実験に基づいた適切なモデルを選定するのがよい。

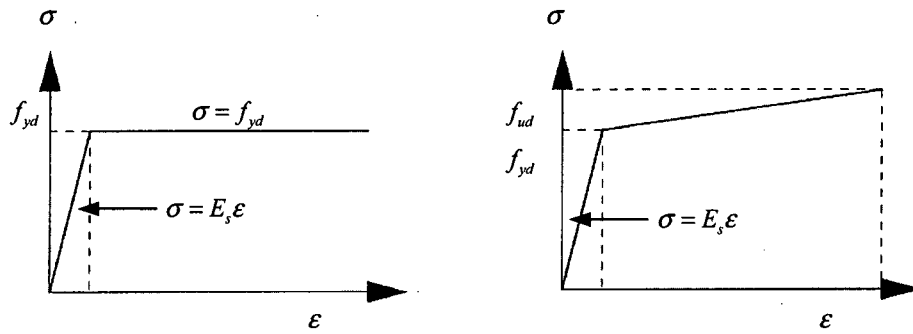


図 3.3-1 鉄筋の応力-ひずみ関係

(4) ヤング係数

鉄筋のヤング係数は、引張降伏強度を求める試験において応力-ひずみ関係を計測し、この結果に基づいて定めることが基本である。JIS規格に適合するものは、一般に  $200\text{kN/mm}^2$  としてよい。また、ポアソン比は、一般に 0.3 としてよい。

3.4 地盤の材料特性

地盤の材料特性は、本マニュアル「5.2 解析に用いる地盤のモデル化」に記述する。