

(I-12) 軸力と曲げを受けるRC断面の最適設計(限界状態設計法)

東洋技研コンサルタント(株) 正員 ○味好 渉
同 上 正員 島田 功
同 上 北島 久

1. まえがき

従来から広く採用されてきた鉄筋コンクリート(RC)構造の設計法は、許容応力度設計法である。この設計法は、解析、照査が非常に簡単で実用的であるが、破壊に対する安全度や構造物の安全性が明確でない等の欠点を有していることから、諸外国の趨勢として限界状態設計法へ移行している。わが国においても、コンクリート標準示方書(S.61,H.3)¹⁾において、限界状態設計法が全面的に取り入れられている。

本報告は、曲げのみを受ける梁部材(単鉄筋断面)と軸力及び曲げを受ける柱部材(対称複鉄筋断面)について、限界状態設計法(終局限界状態)に基づいて、最適(最小価格)断面を求め、断面耐力(軸力と曲げモーメント)、材料強度に対する最適断面形状、鉄筋量、価格等を検討したものである。

2. 最適(最小価格)断面

断面構成の部材価格(Rt)は次式となる。

$$R_t = R_c \cdot A_c + R_s \cdot (A_s + A_s' + \bar{A}_s) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、Rc, Rs: コンクリート, 鉄筋の単価²⁾ (万円/m³)

Ac, As, As': コンクリート, 引張側鉄筋, 圧縮側鉄筋の断面積 (m²)

$\bar{A}_s$: 用心鉄筋及び帯鉄筋等の換算断面積 (m²) で $\bar{A}_s = \alpha \cdot A_c$ とする

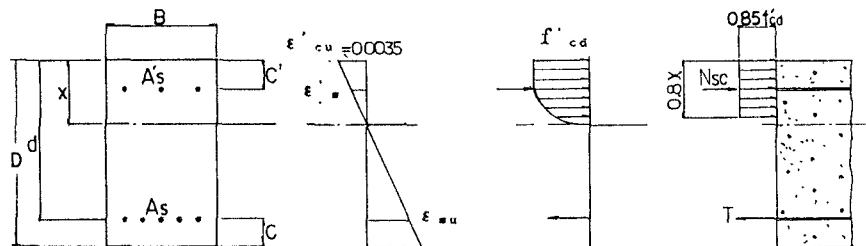


図-1 応力とひずみの分布

図-1より、断面耐力は次式となる。

$$N = B \cdot 0.8x \cdot 0.85f'_{cd} + A_s'f_y - A_sf_y$$

$$M = B \cdot 0.8x \cdot 0.85f'_{cd} \cdot 1/2(D - 0.8x) + A_s'f_y(D/2 - C') + A_sf_y(D/2 - C)$$

これらより、xを消去し次式を得る。

$$A_c (= B \cdot D) = \frac{2 \cdot B \cdot M \cdot 0.85f'_{cd} + (N - A_s'f_y + A_sf_y)^2}{\{N - 2 \cdot A_s'f_y \cdot \gamma' + 2 \cdot A_sf_y(1 - \gamma)\} \cdot 0.85f'_{cd}} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、fy: 鉄筋の降伏強度

γ, γ' : かぶりの関数で $\gamma = C/D$, $\gamma' = C'/D$

なお、終局状態においては、圧縮側鉄筋も降伏しているものと仮定した。

(a) 曲げモーメントのみを受ける梁部材断面

式(1), (2)において $A_s' = 0$, $N = 0$ とおく。

$$A_c = \frac{B \cdot M}{A_s \cdot f_y(1 - \gamma)} + \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f'_{cd}(1 - \gamma)} \dots\dots\dots (3)$$

部材価格の極値の条件は次式となる。

$$\frac{\partial R_t}{\partial A_s} = (R_c + \alpha R_s) \frac{\partial A_c}{\partial A_s} + R_s = 0 \dots\dots\dots (4)$$

式(4)より、最適(最小価格)断面の鉄筋量(As)として次式を得る。

$$A_s = \sqrt{\frac{B \cdot M / f_y}{f_y / (2 \cdot 0.85 \cdot f'_{cd}) + R_s(1 - \gamma) / (R_c + \alpha R_s)}} \dots\dots\dots (5)$$

1) 土木学会: コンクリート標準示方書, 設計編、平成3年版

2) 建設物価調査会: 土木工事積算標準単価、平成3年度版

式 (5) を式 (3) に代入し最適なコンクリート断面を得る、又、式 (1) より部材価格を求める事が出来る。

(b) 軸力と曲げを受ける柱部材断面

式 (1), (2) において $A_s' = A_s$, $\gamma' = \gamma$ とおき (a) の場合と同様にして求めると次のようになる。

$$A_c = \frac{2 \cdot B \cdot M + N^2 / (0.85 \cdot f'_{cd})}{N + 2 \cdot A_s f_y (1 - 2 \cdot \gamma)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$A_s = \frac{1}{2 \cdot f_y (1 - 2 \cdot \gamma)} \left\{ \sqrt{\frac{(R_c + \alpha R_s)(2 \cdot B \cdot M + N^2 / (0.85 \cdot f'_{cd})) \cdot 2 \cdot f_y (1 - 2 \cdot \gamma)}{2 \cdot R_s}} - N \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

3. 解析結果

(a) 解析条件

解析に用いた材料強度は表-1 のとおりである。鉄筋のかぶり(C)は $0.1 \cdot D$ ($\gamma=0.1$) とし、用心鉄筋及び帯鉄筋等 (A_s) の換算鉄筋比を 0.5% ($\alpha=0.005$) と仮定した。材料単価は表-2 のように設定した。

表-1 (a) コンクリート (kg/cm²)

設計基準強度 (f'_{ck})	180	240	300
設計圧縮強度 (f'_{cd})	138	185	231

材料係数 (γ_c) = 1.3

表-1 (b) 鉄筋 (kg/cm²)

呼 び 名	SD295	SD345
降伏強度 (f_y)	3,000	3,500

材料係数 (γ_s) = 1.0

表-2 材料単価

コンクリート工 (Rc)	1.6 万円/m ³
鉄筋工 (Rs) (加工組立を含む)	8.8 万円/m ³ (11.2 万円/tf)

(b) 最適 (最小価格) 断面

a) 梁部材断面

単位幅 ($B=1m$) 当りの最適な梁高さ (D), 鉄筋比 ($A_s/B \cdot D$), 価格の変化を示すと図-2, 3 となる。

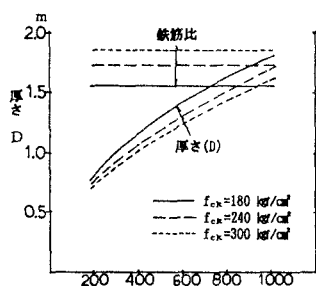


図-2 (a) 断面構成 (鉄筋:SD295)

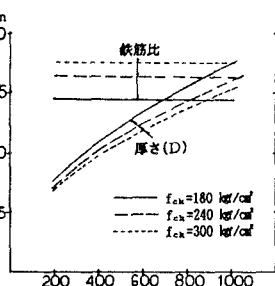


図-2 (b) 断面構成 (鉄筋:SD345)

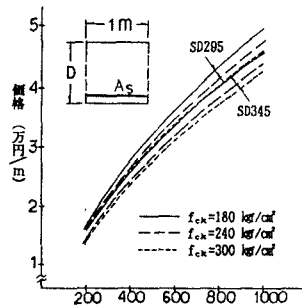


図-3 単位長さ当りの価格

b) 柱部材断面 (軸力 $N=500$ tf)

単位幅 ($B=1m$) 当りの断面構成及び価格を示すと図-4, 5 となる。

4. あとがき

梁部材と柱部材に分類し、断面耐力に対する最適 (価格最小) 断面を算出し比較した。得られた結果より次のことが言える。・梁部材 (単鉄筋) では、最適断面の鉄筋比 (p) が材料強度, かぶり, 材料単価のみで表される (注2)。価格は強度の高い材料を使用する方が安くなる。

・柱部材 (対称複鉄筋) では、最適な断面構成に及ぼすコンクリート強度の影響は小さく、降伏強度の高い鉄筋を用いる方が断面が小さくなり価格も安くなる。

本解析では、材料強度にかかわらず材料単価を一定 ($R_s/R_c = 55$) としたが、単価に材料強度の影響を考慮すると、使用材料による価格差は、より小さくなるであろう。

$$\text{鉄筋比}(p) = \frac{1}{\frac{f_y}{0.85 \cdot f'_{cd}(1-\gamma)} + \frac{R_s}{R_c + \alpha R_s}} \quad \dots\dots\dots (\text{注}2)$$

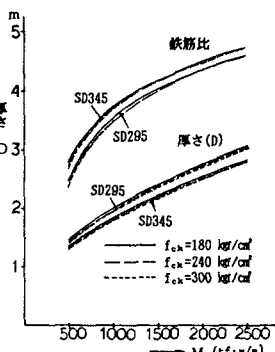


図-4 断面構成

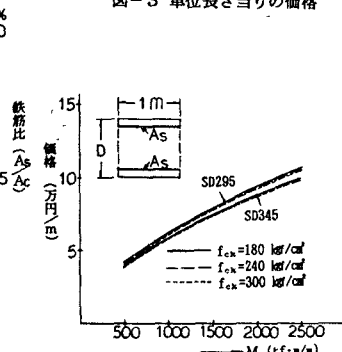


図-5 単位長さ当りの価格