

中部工業大学 正員 伊藤和幸

§1 目的 ACI規準では、鈎合い鉄筋比以下にするため、曲げ部群では $0.75 p_k$ (以下、一般の場合という)、部群の終局時に応力を再配分させるために塑性ヒンジ状態を確保すべき場合には $0.50 p_k$ (以下、特別の場合という) 以下になるように引張り鉄筋量をおさえている。本研究は本邦における鉄筋の降伏強度 (または耐力) の資料にもとづき、ACI規準の妥当性の検討、ならびに、本邦における各規準に適用すべき K 値 (例えば " $0.75 p_k$ " では $K=0.75$) を、鉄筋とコンクリートの両材料の強度の平均値と分散を同時に考慮することにより求めた過剰鉄筋となる確率 P_f により定める方法を提案したものである。

§2 記号 σ_c : 強度 μ : 平均値 S : 標準偏差 V : 変動係数 ϕ : 確率密度函数 Φ : $\phi = \mu - z \cdot S$

以上の 添字 C : コンクリート 添字 S : 鉄筋 添字 SC : σ_c 座標から σ_s 座標に変換したときの値

σ_{ck} : σ_c の設計基準強度 σ_{sy} : 指定降伏長強度 (すなわち耐力) p_k : 鈎合い鉄筋比 K : p_k の逆減係数 F_c : ϕ_{sc} の分布函数 P_f : 過剰鉄筋となる確率 $(1 - P_f)$: 鈎合い鉄筋以下となる確率

§3 資料 および 算式

(1) 鉄筋の降伏長強度について 本邦の実績 (土木学会コンクリートライブラリー・4/号, "鉄筋コンクリート設計法の最近の動向", p.23~29.) により, $V_s = 4, 6, 8 (\%)$, $\sigma_s = 3, 3.5, 4, 4.5$ ($\sigma_s = 3$ は JIS 規定のコンクリートの割増し係数決定の際の基準値に対する非超過確率と揃えるために適用) の場合について検討する。

(2) コンクリートの圧縮破壊強度について 通常, 打設実績から考慮される範囲により, $V_c = 6, 8, 10, 15, 20, 25 (\%)$, 割増し係数は各規準により規定されている方法, すなわち a) 略号 JSCE: 土木学会コンクリート標準示方書による一般の場合, b) 略号 JIS: JIS および 道路橋示方書による場合, c) 略号 ACI: ACI 規準による場合, 等, それぞれについて検討する。

(3) 鈎合い鉄筋比 p_k について データより求める。式(2)は kg/cm^2 に換算したものである。

$$p_k = 0.85 \times 0.8 \times \sigma_{ck} \times 7350 / (\sigma_{sy} \times (7350 + \sigma_{sy})) \quad \text{JSCE, JIS の場合} \quad (1)$$

$$p_k = 0.85 \times \beta_1 \times \sigma_{ck} \times 6117 / (\sigma_{sy} \times (6117 + \sigma_{sy})) \quad \text{ACI の場合} \quad (2)$$

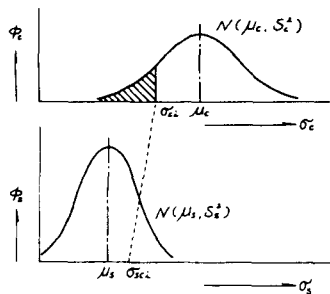


図 — 1

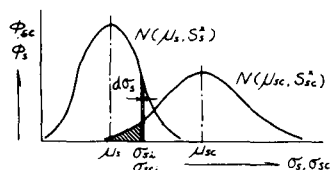


図 — 2

§4 P_f の求め方 図-1での ϕ は $N(\mu_c, S_c^2)$, ϕ_s は $N(\mu_s, S_s^2)$ とする。図より過剰鉄筋となる確率 (σ_{sc} を図して) は $\int_{-\infty}^{\sigma_{sc}} \phi_c(\sigma_c) d\sigma_c$ 。式(1), (2)における σ_{sy} と σ_{ck} , σ_{ck} と σ_c といて, σ_c 座標の ϕ_c と σ_s 座標の ϕ_s に変換すると, 図-2のように σ_s 座標上の ϕ_s と ϕ_{sc} と比較できる。この際, ϕ_s と荷重による作用強度の分布, ϕ_{sc} を材料の

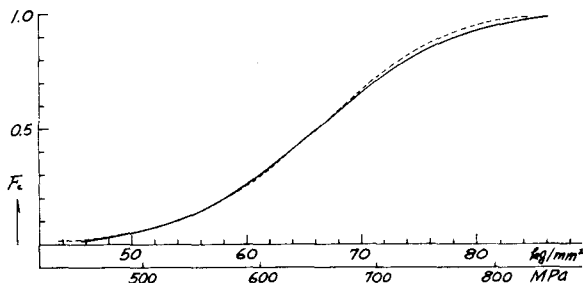


図 — 3

抵抗強度の分布と考えると、破壊の確率を求める場合と全く同じであるから、同様にして P_f を求める。両分布は独立であり、かつ、 ϕ_{sc} も $N(\mu_{sc}, S_{sc}^2)$ とすれば、 P_f は $N(\mu_z, S_z^2)$ となる。ゆえに、 $\mu_z = \mu_{sc} - \mu_s$ 、 $S_z^2 = S_{sc}^2 + S_s^2$ 。よって、 $z_s = \mu_z / S_z$ を計算し、正規分布表を用いて P_f を求める。 ϕ から ϕ_{sc} に変換した分布は厳密には正規分布ではないが、図3により、実際の方分布と破線と $N(\mu_{sc}, S_{sc}^2)$ —実線と比較してみると大差ないので正規分布に近似するものとして計算した。図はCase 1 ($\sigma_{ca} = 240 \text{ kg/cm}^2$, $SD 30$), JSCE, $K=0.4$, $P_f \leq 0.01$, $V_c = 20$, $V_s = 8$ についてであり、比較的 V_c , V_s の大い場合である。

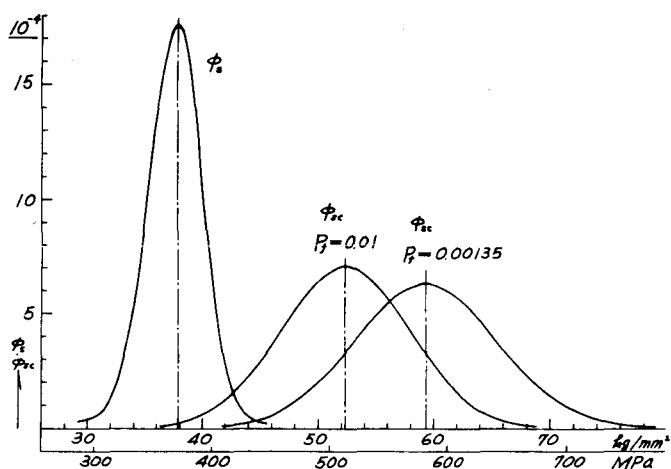


図 — 4

表-1 設計基準値に推奨されるK値

案		1		2		3	
条 件	t_s	4.5		4.0		3.0	
	$V_s(\%)$	8~4		6~4		6~4	
	$V_c(\%)$	25~6		20~6		20~6	
$P_f \leq$		0.01	0.00135	0.01	0.00135	0.01	0.00135
JSCE		0.30	0.25	0.45	0.35	0.50	0.40
ACI		0.40	0.35	0.55	0.45	0.60	0.50
JIS		0.45	0.40	0.60	0.55	0.65	0.60

§5 ACI規準の検討 同規準の $K=0.75$ を用い、Case 1, $t_s=3.5$ の P_f は V_c が小さくなるほど増大し、 $V_c \leq 10$, $V_s=8$ では $\mu_{sc} < \mu_s$ となる。また、 $V_s=8$, $V_c \leq 20$ で、 $V_s=6$, $V_c \leq 15$ でも $P_f \approx 0.1$, $V_s=8$, $V_c \leq 15$ で $P_f \approx 0.3$, $V_s=6$, $V_c \leq 10$ で $P_f \approx 0.2$ となって、意外に大きい P_f 値となっている。

§6 設計の基準となるKの値 $P_f \leq 0.01$, 0.00135 (通稱の「3シグマ」値に対する非超過確率)となるように各規準についてK値を算出すると表-1となる。案-1は本邦の現実の資料に基づく場合、案-2は両材料の品質管理に留意した場合、案-3は鉄筋の指定降伏強度の確保のみを偏重せず、 V_s, V_c と併わせて考慮し、JISにおける割増し係数の設定と同程度の保証となった場合である。ここで、所定の P_f に対するKの値は、式(1), (2)において、 $p_u \rightarrow K p_u$, $\sigma_{sy} \rightarrow \sigma_{sc}$, $\sigma_{ca} \rightarrow \sigma_c$ とし、Kと仮定して P_f を求め、所定の P_f となるまで計算を繰返して求める。図-4は V_s, V_c が比較的中间的な値の例 (ACI, Case 1, $V_c=15$, $V_s=6$, $P_f \leq 0.01$ のとき $K=0.6$, $P_f \leq 0.00135$ のとき $K=0.5$, $t_s=3.5$) で、同から、 $P_f \leq 0.01$ の場合でも ϕ と ϕ_{sc} の両分布はかなりの面積で重複しており、少なくともこの程度は一般の場合でも充足すべきではないかと思われる。しかし、 $P_f \leq 0.00135$ の場合には両分布は殆んど分離しており、厳密に釣合鉄筋比以下に保つことが要求される (例えば特別の場合)にはこの程度の P_f が必要ではないかと思われる。何れにしても本問題は多数の関係機関の合意によって合目的的に決定されるべきであり、その参考となるべきであらう。

§7 結 論 (1) 過剰鉄筋になる確率 P_f は、式(1)または(2)により、 ϕ と ϕ_{sc} と同座標の ϕ_{sc} に変換するこにより、破壊の確率を求める方法と同一手法により求めることができる。(2) 所定の P_f に対応するK値は、 $p_u = K p_u$ と置き、前項と同様の計算の繰返しにより求めることができる。(3) 図4の ϕ, ϕ_{sc} の分布の重複度合いから、必要なK値としては、少なくとも $P_f \leq 0.01$ を、厳密には $P_f \leq 0.00135$ を満足するものが推奨される。(4) 本邦の資料によれば、各規準に推奨されるKの値は表-1のようである。