

日本国有鉄道 構造物設計事務所 正会員 西亀達夫
 公 工 公 工 正会員 ○尾坂茅夫

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材断面の安全度に関する要素を、材料強度に関するもの、荷重に関するもの、設計計算方法に関するもの、構造物の重要度に関するもの、などの面から、一般的に考察し、コンクリートの施工方法と設計計算方法との関連について、著者の考え方を述べる。

2. 鉄筋コンクリート部材断面の破壊に関する安全度の概念

鉄筋コンクリート部材断面に作用する荷重作用の大きさを S 、部材断面の強度を R とするとき、 S と R は、それぞれある分布をなしているのが一般である。 $S > R$ の場合、部材断面は破壊するから、部材断面の破壊の確率 P_f は、

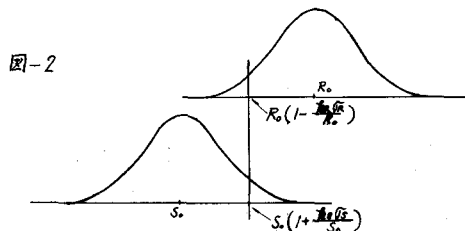
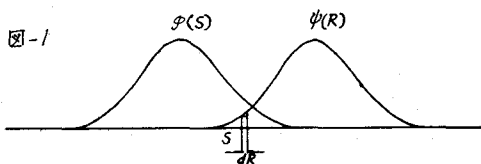
$$P_f = \int \left\{ \varphi(S) \int_0^S \psi(R) dR \right\} dS \quad (1)$$

しかし、 P_f を実際に求めることができるためには、 $\varphi(S)$ と $\psi(R)$ がわかっていなければならぬ。

実際には、 $\varphi(S)$ と $\psi(R)$ は統計調査および試験によって、これを定めなければならぬ。調査と試験は、實際上無数に行うわけにいかないで、多くは日常経験しうる範囲のデータから $\varphi(S)$ と $\psi(R)$ の形を決めざるを得ない。一方、 P_f の値は $\varphi(S)$ と $\psi(R)$ の分布のすそ部分の形によっても大きく影響されるので、この方法によって求めた P_f は、数理的に厳密であっても、実際の破壊の確率をあらわすものと考えらうに困難がある。

$$V = \frac{R_0}{S_0} = \frac{1 + k_0 \sigma_s / S_0}{1 - k_0 \sigma_s / R_0} \quad (2)$$

の形で安全度 V をあらわしているが、この方法による場合も、日常経験する変動要素の影響と、ごくまれにおこる変動要素の影響を同時に扱うことになる。 S と R の分布形に影響する要素は、設計・施工にわたり千差万別であって、仮定された数学的確率模型について安全度 V は、破壊の確率を求めることはできても、実際の構造物に必要な V の値を評価するうえに困難がある。また、土木構造物は社会活動の場をつくるものであり、土木構造物の安全度はつまり社会活動の安全度である。したがって、安全度の値は社会活動の密度と社会の経済力および、将来にわたるそれらの変化も考えて定めることが必要であり、構造物に必要な安全度の値を評価するには、経験的判断に依存せざるを得ない。したがって、実用的な方法として、材料強度の実用上の最小値 R_{min} と荷重作用の実用上の最大値 S_{max}



を、それぞれ、日常経験する正常な状態を基礎として求めた統計法則によって定め、これをそれぞれの特性値として、これに経験から必要と考えうる安全度を設計計算において付与する手法が、現段階においては最も適当であると考えられる。

3. 鉄筋コンクリート部材断面の安全度に影響する要素

鉄筋コンクリート構造物の安定度は、その設計施工のすべての段階における要素によって、影響を受ける。表-1は、その主なものを要約して示したものである。これらは、部材断面に作用する荷重作用の大きさに影響するもの、部材断面における材料強度に影響するものおよび構造物の重要度に関するものに分類できる。これらの要素には、荷重作用の大きさに影響すると同時に、断面の材料強度にも影響するものがある。また、本質的には、荷重作用の大きさに影響するものであるが、設計々算における取扱いの便宜上から、断面の材料強度に影響する要素として取扱うのが適当なもののもある。たとえば、鉄筋の断面不足は本来、鉄筋に作用する引張応力の大きさを増すものであるが、鉄筋の鋼材強度の変動とあわせて、鉄筋としての強度の変動として取扱うのが便利と思われる。型わくのほらみは、部材の断面に作用する荷重作用（ex. 曲げモーメント）の大きさを变化させるが、一方、抵抗断面の大きさに影響し見掛け上、断面における材料強度の大きさに影響したことに相当する。

表-1

安全度に影響する要素の変動・誤差の原因			荷重作用	断面材料強度	重要度
調査	荷重	母集団の推定の誤差	○		
		特性値の母不良率	○		
		異常値の発生・競合	○		
	材料強度	母集団の推定の誤差		○	
		特性値の母不良率		○	
		異常値の発生		○	
	変性特性	母集団の推定の誤差	○	○	
		特性値の母不良率	○	○	
		異常値の発生	○	○	
	構造特性	構造特性	○		
設計々算	設計々算の近似性	平面性	○		
		断面特性	○		
		支承条件	○		
		応力再分配	○		
		構造の諸元	○		
施工	計算誤差		○		
			○		
	型わくの配置・はらみ	部材軸線	○		
		断面形状寸法	○	△	
		部材自重	○		
	支持条件の不完全		○		
	コンクリートの施工	気孔・分離		○	
		穴	○	△	
	鉄筋の配置位置		○	△	
	鉄筋の加工		△	○	
重要度	構造物の建設費				○
	構造物破壊による損害				○
	心理効果・歴史的意義				○
	社会開発効果				○

4. 設計々算における限界状態

設計々算における限界状態は、最近特に CEB などと検討されているように、強度・変形・耐久性（ひびわれ）の3条件について定める必要がある。構造物がこれらの限界状態をこえた場合、社会のうける損害の大きさは、それぞれ相違する。変形が過大となった場合は、構造物の建設費を失っており、併発する損害はある程度さけることができる。耐用命数が $\frac{1}{2}$ となった場合は、建設費等の $\frac{1}{2}$ を失うに止まる。したがって、限界状態にたいする安全度を検討する場合、計算に用いる材料強度の特性値および安全度の値は、それぞれ、表-2のように相違する手法で定義することが必要である。

表 - 2

	限界状態	荷重作用の特性値	材料強度等の特性値	安全度 $\gamma > 1$
強度	極限状態	S_{max}	R_{min}	R_{min}/S_{max}
	疲労限界状態	S_{mean}	R_{min}	R_{min}/S_{mean}
変形	変形限界状態	S_{max} or S_{mean}	E_{min} or E_{mean}	$\delta(S, E)/\sigma_c$
耐久性	ひびわれ限界状態	S_{max} or S_{mean}	W_{max} or W_{mean}	$W(S, W)/W_c$

5. 鉄筋コンクリート部材断面の強度

5.1 部材断面におけるコンクリートの強度

部材の断面におけるコンクリートの応力と変形の関係は、コンクリートの品質のほか、荷重の載荷速度、載荷時間、応力状態、断面の形状寸法、等によって、相違し、複雑である。しかし、実験結果によると、供試体の圧縮強度によらず載荷速度と載荷時間の影響は、あらかじめ、試験によって検討することができる。したがって、載荷速度と載荷時間の影響は、この試験結果を基礎として、あるコンクリート強度にたいする計算用の圧縮強度を適当に定めることによりこれを考慮することができる。曲げまたは圧縮を受ける一般の形状寸法を持つ部材断面の極限強度は、平面保持の仮定、試験により求めたコンクリートの応力度ひずみ度曲線と極限ひずみ度^{変形}を用いて、実用上十分な精度で求めることができる。コンクリートは、図-3に示すように、載荷速度があまり高くなければ、極限状態における塑性変形が大きく、また、圧縮強度がある程度相違しても、極限状態におけるひずみ度の大きさにはあまり差が認められない。したがって、曲げまたは圧縮を受ける鉄筋コンクリート部材の断面内で、コンクリートの品質がある程度変動している場合でも、断面の極限状態において、圧縮領域内のある部分では、コンクリートがほぼその破壊強度に近い応力と^{ひずみ}をうけており、コンクリートの破壊は、そのうち最大圧縮ひずみと^{ひずみ}うけている部分から、生じるのが一般的傾向であると考えられる。断面の極限状態では、破壊強度に近い圧縮応力と^{ひずみ}うける領域をA、圧縮領域内の他の部分をBとすると、領域Aのコンクリートがうける圧縮応力 C_A は

$$C_A = \int_A \sigma_c'(x, y) dA \quad (3)$$

$\sigma_c'(x, y)$: 断面内の点 (x, y) におけるコンクリートの破壊強度であられる。断面の極限状態における撓抗モーメント M_u は、

$$M_u = \int_A y \sigma_c(x, y) dA + \int_B y \sigma_c(x, y) dB \quad (4)$$

であるが、^値 M_u に占める第2項の割合は小さい。したがって、コンクリートの品質が部材断面内にある程

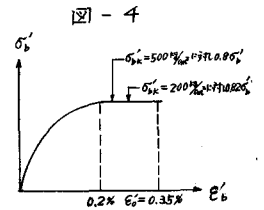
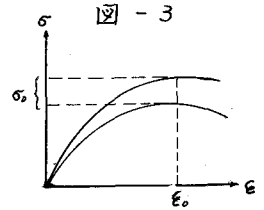
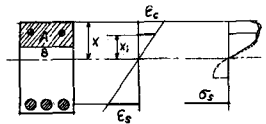


図 - 5



度変動している場合にも、その変動がある程度以下のものであれば、大略の目安としてこの C_A が、設計々算領域 A のコンクリートが受ける必要のある圧縮応力より大きいことが、その断面が所望の極強度を有するためにコンクリートの圧縮強度に必要な条件であると考えられる。したがって、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ok}' \int_A dA &\leq \int_A \sigma_o'(x, y) dA \\ \text{また、一般に} \quad \int_A \sigma_o'(x, y) dA &= \bar{\sigma}_{oA}' \int_A dA \end{aligned} \right\} \text{-----} (5)$$

σ_{ok}' : 設計々算必要なコンクリートの破壊強度

$\bar{\sigma}_{oA}'$: 領域 A におけるコンクリートの破壊強度の平均値

これから、コンクリートの圧縮強度に必要な条件は、概略領域 A における破壊強度の平均値 $\bar{\sigma}_{oA}'$ が σ_{ok}' 以上であることであるといえる。構造物のコンクリートに必要な強度は、圧縮強度のほかせん断強度・引張強度・付着強度などがある。これらについては、理論的にも実験的にも十分明らかでない面もあり、今後の検討が必要である。

5.2 部材断面の強度の判断に用いるコンクリートの圧縮強度

部材断面におけるコンクリートの破壊強度を判断しようとする場合、試験に用いる供試体の大きさとコンクリートの採取方法は、部材断面の形状寸法と施工方法に応じて、これを定めるのが望ましい。しかし、部材のある断面に打ち込まれるコンクリートは、構造物または部材の形状寸法とコンクリートの施工方法とにより、1バッチのコンクリートからなる場合、連続する数バッチまたは連続しない数バッチのコンクリートまたはその1部分ずつからなる場合、などがあり、一様でない。そのため、供試体のコンクリートを部材断面のコンクリートに応じた方法で、採取することは、実際上きわめて困難である。また、コンクリートの圧縮強度は、供試体の形状寸法・養生条件・材令・載荷条件などによって相違することが認められている。したがって、部材断面におけるコンクリートの破壊強度は、コンクリートの品質、載荷条件、応力状態、部材断面の形状寸法などによって、相違するものと考えられ、その値は、コンクリートの品質の変動がないとした場合でも、標準供試体の圧縮強度と同じ値のものではないと考えられる。このように、部材断面におけるコンクリートの破壊強度 σ_o' と標準供試体の圧縮強度 σ_o との関係は、多くの要素によって相違するので、断面計算方法との関連において、実験的にこれを定めるなければならないのである。

$$\bar{\sigma}_{oA}' = \eta \bar{\sigma}_{om} \text{-----} (6)$$

以上に述べたように、コンクリートの打込み時に採取する供試体の圧縮強度によって、部材断面におけるコンクリートの破壊強度を求めることは、容易ではない。それで、構造物におけるコンクリートの品質を判断する場合、理論の単純化と実用性を考え、現場コンクリートの圧縮強度の分布が全くランダムであり、かつ、正規分布をなすとして、断面の極限状態で破壊強度 σ_o' にほぼ等しい応力を受ける部分 A の平均強度を推定し、これを実際の破壊強度と判断する手段として用いるが、適当と思われる。