

(V-29) 鉄筋コンクリート構造物の応力に及ぼすクリープ、乾燥収縮の影響について

——曲げ部材の場合——

東海大学 学生員 ○シユェス タ ロビツツ

東海大学 正会員 安本 修一

1. はじめに

土木学会「コンクリート標準示方書」の3章の材料の設計用値に示されているコンクリートのクリープ、乾燥収縮等はプレストレス断面応力および変形の経時的变化の算定には必ず考慮されるが、鉄筋コンクリート断面(RC断面)の場合はこれらによる影響を考慮する必要があるかないかは明確にされていない。すなわち、RC断面について、クリープ、乾燥収縮による内力再分配を求める必要があるかどうか明かでない。この問題については猪股¹⁾がRC、PCの設計法を統一化する立場から曲げ部材の使用限界状態に対する統一設計法を発表し、またそれ以前にGhali²⁾は部材断面の応力、変形及び不静定力の解析法を発表している。本研究は、猪俣やGhaliの方法を用いて鉄筋コンクリートの曲げ部材(橋桁と擁壁)について永久荷重作用時においてクリープ、乾燥収縮の応力に及ぼす影響を検討したものである。その際、現在でも広く用いられている許容応力度設計法による応力との比較も行った。

2. 解析の対象と条件

今回は、道路と鉄道において曲げを受ける構造物を解析の対象にした。表1に解析を行った構造物の橋桁と擁壁の諸元を示す。また、圧縮側の鉄筋の効果について検討した場合の構造物の諸元を表2に示す。

尚、解析にあたってはコンクリートの初期時点のヤング係数を $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、クリープ係数を2.5、エージング係数、乾燥収縮係数をそれぞれ0.8と -200×10^{-6} にした。また、鉄筋のヤング係数を $21 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ にした。

3. 解析の結果と考察

表1および表2に示す橋桁と擁壁についてそれぞれ許容応力度設計法と猪股法、Ghali法を用いて応力度を求めた。その結果を表1(ここでは猪股法の結果のみ)に示した。また、単鉄筋断面部材において、圧縮側の鉄筋(スラブの鉄筋や用心鉄筋等)を考慮しない場合と考慮した場合の応力度計算結果を表2に示した。

(1) クリープ、乾燥収縮の影響(表1)

表1からは以下のことが明かである。

1. 中立軸位置は、永久荷重載荷直後(以下 t_0 時点と略記)に比べ、クリープ、乾燥収縮後(以下 t 時点と略記)の方が下がっており、その深さは単鉄筋断面の場合には鉄道と道路と両方において1.2~1.7倍、また複鉄

表.1 鉄筋コンクリート構造物の設計計算結果(死荷重時)

	構造断面 の 種 類	スパン 又は 高さ l(m)	引 張 鉄 筋 比 (p)	許容応力度設計法 WSD(n=15)				猪 俣 統 一 設 計 計 算 方 法 (n=8.4)							
				中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'	死荷重載荷直後 (n=8.4)				クランプ乾燥収縮後 (n=25.2)			
								中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'	中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'
鉄	単鉄筋	5.0	0.0091	14.2	29.0	643	----	11.3	35.2	623	----	16.2	26.0	657	----
	単スラブ	8.0	0.0096	16.6	32.8	702	----	13.2	39.8	681	----	19.3	29.2	718	----
	複鉄筋	12.5	0.0151	28.7	43.8	803	533	24.1	57.4	794	374	28.3	25.7	787	1131
	単スラブ	15.0	0.0102	35.3	43.3	836	549	29.5	56.9	829	390	34.7	24.6	816	1138
	単鉄筋	20.0	0.0061	64.7	42.0	927	----	47.9	46.7	918	----	83.5	39.0	937	----
道	単箱桁	30.0	0.0563	116.4	60.7	1075	----	86.7	65.6	1061	----	150.6	56.9	1093	----
	擁(前壁)	5.0	0.0051	14.5	61.2	1934	----	11.4	76.0	1886	----	19.8	46.8	2024	----
	(爪先)	5.0	0.0020	10.9	19.1	1027	----	8.4	24.3	1009	----	14.1	15.1	1052	----
	壁(踵)	5.0	0.0043	16.0	45.9	1597	----	12.5	57.2	1559	----	21.5	35.4	1662	----
路	単鉄筋	12.0	0.0029	26.3	18.2	767	----	19.8	22.1	757	----	33.4	16.1	774	----
	単丁桁	15.0	0.0025	36.3	22.1	937	----	26.5	26.1	928	----	48.8	19.4	948	----
	擁(前壁)	4.0	0.0028	9.9	23.1	1157	----	7.7	29.4	1135	----	13.1	18.0	1188	----
	(爪先)	4.0	0.0010	6.8	15.3	1228	----	5.2	19.8	1213	----	9.2	11.5	1253	----
	壁(踵)	4.0	0.0020	9.5	25.0	1333	----	7.3	31.9	1310	----	12.8	19.1	1371	----

尚：鉄道用の複鉄筋単スラブの圧縮鉄筋比はスパン 12.5m では 0.0067、スパン 15m では 0.0067 である。

筋断面の場合1.17となっている。

2. コンクリートの応力度はコンクリートのクリープ、乾燥収縮終了後に初期載荷(t_0)時点よりも小さくなる傾向があり、 t 時点の応力と t_0 時点の応力の比は、単鉄筋断面の場合 0.5~0.9で、また複鉄筋断面の場合は 0.39~0.41と、単鉄筋断面の場合よりも小さくなっていることがわかる。

3. 引張鉄筋の応力度は鉄道と道路の単鉄筋断面と複鉄筋断面のいずれに対しても、 t_0 時点と t 時点の間でほとんど変化が生じていない。従って、引張鉄筋の応力度にはクリープ、乾燥収縮の影響がほとんどないことが

表.2 圧縮側の鉄筋を考慮する場合としない場合の比較

	構造断面の 種類	高さ l, H	圧縮 側の 鉄筋 考慮	引張 鉄筋比 (p)	圧縮 鉄筋比 (p')	許容応力度設計法 WSD(n=15)				猪 俣 統 一 設 計 計 算 方 法 (n=8.4)							
						中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'	死荷重載荷直後 (n=8.4)				クリープ乾燥収縮後 (n=25.2)			
										中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'	中立軸 X(cm)	σ_c	σ_s	σ_s'
鉄道	単鉄筋	10.0	なし	0.008567	---	23.9	38.6	855	---	18.7	46.0	835	---	29.2	34.0	876	---
	単工桁	10.0	あり	0.008567	0.002825	22.3	34.1	844	394	18.0	43.1	831	260	24.1	23.1	842	1009
	単鉄筋	5.0	なし	0.005093	---	14.5	61.2	1934	---	11.4	76.0	1886	---	19.8	46.8	2024	---
	擁壁	5.0	あり	0.005093	0.001127	14.2	59.3	1935	451	11.3	75.0	1888	238	18.9	42.6	2012	1213
道路	単鉄筋	15.0	なし	0.002503	---	37.4	22.1	937	---	26.5	26.1	928	---	48.8	19.4	948	---
	単工桁	15.0	あり	0.002503	0.000675	34.8	20.8	934	250	26.0	25.3	927	156	42.6	15.7	937	827
	単鉄筋	4.0	なし	0.002772	---	10.7	21.5	970	---	8.3	27.2	951	---	13.7	17.4	995	---
	擁壁	4.0	あり	0.002772	0.001540	10.5	20.9	973	104	8.3	27.0	952	34.7	11.7	14.0	1003	579

尚：コンクリートおよび鉄筋の応力度 ($\sigma_c, \sigma_s, \sigma_s'$) の単位は kgf/cm^2 である。鉄道擁壁の鉄筋許容応力度は 2000 kgf/cm^2 である。

わかる。しかし複鉄筋断面の場合圧縮鉄筋の t 時点の応力と t_0 時点の応力比が2.9~3.0になっており、圧縮鉄筋がクリープ、乾燥収縮を抑制する効果が非常に大きいことがわかる。

(2) 単鉄筋断面において圧縮側の鉄筋を考慮した場合のクリープ、乾燥収縮の影響 (表2)

一般に単鉄筋断面では、圧縮側に配置されているスラブ鉄筋や用心鉄筋などは設計上考慮しないのが普通である。しかし(1)において考察したように複鉄筋断面で圧縮鉄筋の効果が大きいのでここでは、単鉄筋断面において圧縮側の鉄筋を考慮した場合、クリープ、乾燥収縮の影響について検討した。鉄道および道路のいずれにおいても t 時点の中立軸深さが t_0 時点の中立軸深さの1.3~1.6倍 (圧縮側の鉄筋を考慮しない場合は1.4~1.6倍) となっている。コンクリートの応力度については、 t 時点の方が t_0 時点の応力の0.5~0.6倍で、圧縮側の鉄筋を考慮しない場合の0.7~0.8に比べて0.1~0.2小さい。引張鉄筋の応力度に関しては、(1)の場合と同様にあまり影響がないことが明かである。一方、圧縮側の鉄筋の応力度は t_0 時点に比べて t 時点では4~5倍と大きくなっている。

(3) 許容応力度法計算値との比較

単鉄筋断面の橋桁や擁壁の場合中立軸深さは永久荷重載荷直後 t 時点 (クリープ、乾燥収縮終了後) では許容応力度法計算値の1.1~1.3倍で、また複鉄筋断面の場合はおよそ0.8倍となっている。猪股法による t 時点でのコンクリートの応力を許容応力度法計算値と比べると、単鉄筋断面橋桁の場合、前者の後者に対する比は0.88~0.90、擁壁の場合0.72~0.79となっている。また、複鉄筋断面の場合この比は0.57~0.64で許容応力度法計算値の約6割程度となっている。引張鉄筋の応力についてはほとんど変化がないが、複鉄筋断面の場合圧縮鉄筋の応力度については、猪股法の計算値が許容応力度法計算値の2.1倍となっている。

4. まとめ

以上の結果より、鉄筋コンクリートの応力に及ぼすクリープ、乾燥収縮の影響について次のようなことがわかる。(1) 中立軸の位置が下がる。(2) コンクリートの応力度が t_0 時点に比べ、およそ半分まで減少する。(3) 引張鉄筋の応力度はクリープ、乾燥収縮にほとんど影響されない。(4) 複鉄筋断面の場合圧縮鉄筋の応力が約3倍程度増加する。(5) 単鉄筋断面において圧縮側に引張鉄筋の約1/3の鉄筋 (スラブ鉄筋や用心鉄筋) を配置した場合においてもクリープ、乾燥収縮の影響は極めて大きい。

5. 参考文献

- 1) 猪股俊司:構造コンクリート曲げ部材使用限界状態の統一設計計算法、コンクリート工学論 No. 88. 12-1
- 2) A. Ghali: Concrete Structures: Stresses and Deformations, 第6章 P144~193