

長方形梁の捩れに対する検討

『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)』に基づき、長方形断面のねじり応力に対する検討を行う。

No.1

1) 最少補強筋を配置した梁で許容し得る応力の組合せ

RC規準15条で規定する最少あばら筋比(0.2%)を有する長方形断面梁が、ねじりとせん断を同時に受けるときの設計用ねじりモーメント T と設計用せん断力 Q は、(解 22.8)式を満たす必要がある。

$$(T / T_0)^2 + (Q / Q_0)^2 \leq 1 \quad \dots\dots\dots (解 22.8)式$$

この場合、 T と設計用曲げモーメント M との比が(解 22.9)式を満たさないときには、(解 22.10)式によって求められる合計断面積 a_s を、曲げモーメントに対して算定される軸方向筋に付加して配置するものとする。

$$T / M \leq 0.4 / (1 + \omega) \quad \dots\dots\dots (解 22.9)式$$

$$a_s = 0.0016b \cdot D (1 + 1 / \omega) (wft / sft) \quad \dots\dots\dots (解 22.10)式$$

ここで、 $T_0 = b_T^2 D_T (1.15) f_s / 3$

$$T_0 (長期) = 400^2 \times 800 \times 1.15 \times 0.73 / 3 \times 10^{-6} = 35.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_0 (短期) = 400^2 \times 800 \times 1.15 \times 1.10 / 3 \times 10^{-6} = 53.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_0 = b_j \alpha \cdot f_s = b \{ 7 / 8 (D - dt) \} \alpha \cdot f_s$$

$$Q_0 (長期) = 400 \{ 7 / 8 (800 - 90) \} \times 1.00 \times 0.73 \times 10^{-3} = 181.4 \text{ kN}$$

$$Q_0 (短期) = 400 \{ 7 / 8 (800 - 63) \} \times 1.00 \times 1.10 \times 10^{-3} = 282.5 \text{ kN}$$

設計用ねじりモーメント $T = 41 \text{ kN} \cdot \text{m} : (長期)、41 \text{ kN} \cdot \text{m} : (短期)$

設計用せん断力 $Q = 95 \text{ kN} : (長期)、235 \text{ kN} : (短期)$

(解 22.8)式より、

$$(長期) : (T / T_0)^2 + (Q / Q_0)^2 = (41 / 35.8)^2 + (-95 / 181.3)^2 = 1.59 > 1.0$$

$$(短期) : (T / T_0)^2 + (Q / Q_0)^2 = (41 / 53.7)^2 + (-235 / 272)^2 = 1.33 > 1.0$$

∴ねじり応力に対し、 $p_w=0.2\%$ では断面が不足するため、あばら筋の補強が必要である。→ 2) の検討へ
(解 22.9)式より、

$$(右辺) = 0.4 / (1 + \omega) = 0.122$$

$$(長期) : T / M = 41 / 120 = 0.34 > 0.122 \quad \dots\dots\dots \text{NG}$$

$$(短期) : T / M = 41 / 330 = 0.12 \leq 0.122 \quad \dots\dots\dots \text{OK}$$

∴ a_s を曲げモーメントに対する必要鉄筋 a_t に付加する必要がある。→(解 22.10)式へ
(解 22.10)式より、

$$a_s = 0.0016b \cdot D (1 + 1 / \omega) (wft / sft)$$

$$a_s (長期) = 0.0016 \times 400 \times 800 \times (1 + 1 / 2.290) \times (195 / 215) = 667 \text{ mm}^2$$

$$a_s (短期) = 0.0016 \times 400 \times 800 \times (1 + 1 / 2.290) \times (295 / 345) = 629 \text{ mm}^2$$

$$a_t = M / (f_t \cdot j) = M / (f_t \cdot 7/8 \cdot d)$$

$$a_t (長期) = 120 \times 10^6 / (215 \times 710 \times 7/8) = 898 \text{ mm}^2$$

$$a_t (短期) = 330 \times 10^6 / (345 \times 710 \times 7/8) = 1540 \text{ mm}^2$$

$$a_s + a_t = 629 + 1540 = 2169 \text{ mm}^2 \leq 3096 \text{ mm}^2 \quad \dots\dots\dots \text{OK}$$

∴軸方向筋は補強不要

b_T : 梁の幅とせいのうち、小さい方の長さ(mm) D_T : 梁の幅とせいのうち、大きい方の長さ(mm)

b : 梁の幅(mm) D : 梁せい(mm)

α : $4 / (M / Q \cdot d + 1)$ d : 梁の有効せい(mm)

j : 応力中心距離で、 $(7/8) \cdot d$ としてよい。(mm)

ω : あばら筋の中心線で囲まれたコンクリートの長辺長さ d_0 のあばら筋の中心線で
囲まれたコンクリートの短辺長さ b_0 に対する比(= d_0 / b_0)

f_s : コンクリートの許容せん断応力度(N/mm^2) sft : 軸方向筋の許容引張応力度(N/mm^2)

wft : あばら筋のせん断補強用許容引張応力度(N/mm^2)

本検討は、『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)』に基づき、最少補強筋を配置した梁では許容できない応力の組合せに対して、Rauschの簡易公式を用いて必要な補強筋の算定を行う。

No.2

2) ねじり補強筋の算定

(a) 計算方針

曲げ、せん断と同時にねじりを受ける部材の補強筋は、曲げモーメント、せん断力に対してそれぞれ算定される補強筋量に、(b)項で算定される補強筋量を加算して配筋する。ただし、せん断に対して必要なあばら筋比の値 pws は0.1%以上とし、必要なあばら筋比の総量は1.2%を超えてはならないものとする。

また、設計用ねじりモーメントは、(解 22.11)式を満たすものとする。

$$T \leq b_t^2 \cdot D_t \cdot f_s \cdot (4/3) \quad \dots\dots\dots (解 22.11)式$$

$$(長期) : b_t^2 \cdot D_t \cdot f_s \cdot (4/3) = 400^2 \times 800 \times 0.73 \times 4 / 3 \times 10^{-6} = 124.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 41 = T$$

$$(短期) : b_t^2 \cdot D_t \cdot f_s \cdot (4/3) = 400^2 \times 800 \times 1.10 \times 4 / 3 \times 10^{-6} = 186.9 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 41 = T$$

∴(解 22.11)式を満足するため、鉄筋補強可。

(b) ねじりモーメントに対する補強筋量の算定

x の間隔で配置するあばら筋1本の必要断面積 a_{w1} 及び必要鉄筋比 pwt は、(解 22.12)式による。

$$a_{w1} = (T \cdot x) / (2 \cdot wft \cdot A_0) \longleftrightarrow pwt = T / (b \cdot wft \cdot A_0) \quad \dots\dots\dots (解 22.12)式$$

$$(長期) : pwt = 41 \times 10^8 / (400 \times 195 \times 220100) = 0.239 \% \leq 0.357 \% = \text{外周 } pw$$

$$(短期) : pwt = 41 \times 10^8 / (400 \times 295 \times 220100) = 0.158 \% \leq 0.357 \% = \text{外周 } pw$$

一方、曲げモーメント及びせん断力に対して算定される必要あばら筋比 pws は、

$$QL / b \cdot j \cdot \alpha = 0.38 < 0.73 = cfs \quad QS / b \cdot j \cdot \alpha = 0.95 < 1.10 = cfs$$

より、最少配筋 $pws = 0.1\%$ でよい。

$$(長期) : pw = pwt + pws = 0.239 + 0.1 = 0.339 \% \leq 0.357 \% = \text{全周 } pw \quad \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$(短期) : pw = pwt + pws = 0.158 + 0.1 = 0.258 \% \leq 0.357 \% = \text{全周 } pw \quad \dots\dots\dots \text{OK}$$

以上より、あばら筋断面積は十分満足している。

軸方向筋の必要全断面積 a_s は(解 22.13)式で求め、断面の外周に沿って300mm以下の間隔で均等に配置する。

$$a_s = T \cdot \phi_0 / (2 \cdot sft \cdot A_0) \quad \dots\dots\dots (解 22.13)式$$

$$(長期) : a_s = 41 \times 2040 \times 10^6 / (2 \times 215 \times 220100) = 884 \text{ mm}^2$$

$$(短期) : a_s = 41 \times 2040 \times 10^6 / (2 \times 345 \times 220100) = 551 \text{ mm}^2$$

曲げに必要な主筋断面積に、(解 22.13)式で算定したねじりに必要な軸筋断面積から腹筋断面積を差し引いた分を、上下主筋に分けて加算したときのそれぞれの断面積以上の配筋量を確保するものとする。

$$\text{上筋 } a = 1540 + (551 - 508 \times 295 / 345) / 2 = 1598 \text{ mm}^2 \leq 1935 \text{ mm}^2 \quad \dots\dots \text{OK}$$

$$\text{下筋 } a = 0 + (884 - 508 \times 195 / 215) / 2 = 212 \text{ mm}^2 \leq 1161 \text{ mm}^2 \quad \dots\dots \text{OK}$$

以上より、ねじりモーメントに対する検討部材の安全性に問題ない。

ここで、 x : 閉鎖型あばら筋の間隔(mm)

A_0 : 閉鎖型あばら筋の中心で囲まれるコンクリート核の断面積(mm^2)

sft : 軸方向筋の許容引張応力度(N/mm^2)

ϕ_0 : 閉鎖型あばら筋の中心で囲まれるコンクリート核の周長(mm)

ねじりモーメントに対する断面算定表

No.3

符号		①		②		③		④		
躯体	Fc (N/mm ²)	24								
	梁幅 b (mm)	400								
	梁せい D (mm)	800								
主筋	上端1段/2段	3 / 2	- D22 (1935mm ²)	-		-		-		
	下端1段/2段	3	- D22 (1161mm ²)	-		-		-		
	鉄筋種別	SD345								
	sft (N/mm ²)	215	345							
STP	STP	2	- D10 @ 100	-	@	-	@	-	@	
	鉄筋種別	SD295								
	wft (N/mm ²)	195	295							
	a _l (mm ²) 全体/外周	142.6	142.6							
	pw (%) 全体/外周	0.357	0.357							
腹筋	腹筋	4	- D13 SD295	-		-		-		
	設計 a _s (mm ²)	508								
	sft (N/mm ²)	195	295							
かぶり dt (mm)	鉄筋間隔	39.5	1.9 d		d		d		d	
重心位置 dt (mm) 上段/下段		90	63							
有効せい d 上引張/下引張		710	737							
j = 7d/8		621	645							
コア断面 幅bo / せいdo		310	710							
ω (= do / bo)		2.290								
検討ケース		長期	短期	長期	短期	長期	短期	長期	短期	
設計振りモーメントT (kN・m)		41	41							
設計用曲げモーメントM (kN・m)		120	330							
設計用せん断力 Q (kN) ※①		-95	-235							
cfs (N/mm ²) ※②		0.73	1.095							
解 22.8 式	α =4/(M/Q・d+1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	To (kN・m)	35.8	53.7							
	Qo (kN)	181.3	272.0							
	(T/T ₀) ² + (Q/Q ₀) ²	1.59	1.33							
	判定	補強必要	補強必要							
解 22.9 式	T/M	0.342	0.124							
	0.4/(1+ω)	0.122								
	判定	∴ T/M>0.4/(1+ω) as を付加する。								
解 22.10 式	必要 as (mm ²)	667	629							
	曲げによる必要 at (mm ²)	898	1540							
	必要 as + at (mm ²)	1565	2169							
	設計配筋 (mm ²)	3096								
	判定	補強不要	補強不要							
解 22.11 式	T	41	41							
	b _t ² ・D _t ・fs・(4/3)	125	187							
	判定	∴ T≦bt ² ・Dt・fs・(4/3) 軸方向筋補強可能								
解 22.12 式	A ₀ (mm ²)	220100								
	pwt (%)	0.239	0.158							
	pwt < 外周 pw	OK	OK							
	pws (%)	-0.156	0.099							
	必要 pw (%)	0.339	0.258							
	判定	∴ 必要 pw ≦ 設計 pw OK OK								
解 22.13 式	φ ₀ (mm)	2040	2040							
	必要 a _s =T φ ₀ /2・sft・A ₀	884	551							
	必要断面積 (mm ²)	上筋	1110	1598						
		下筋	212	58						
	判定	∴ 必要 as ≦ 設計 as OK OK								
備考	※①:負値入力の場合、αは1.0とする。 ※②:コンクリートの許容せん断応力度は、RC規準 による。									