

基礎から学ぶRC床版の検討

1

目次

1. RC単純床版橋とは
2. 平成24年版道示に基づく設計
3. 平成29年版道示に基づく設計
4. 最小床版厚について

2

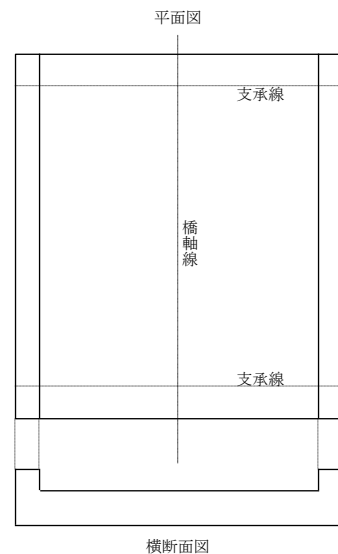
1. RC単純床版橋とは

基礎から学ぶRC床版の検討

3

RC単純床版橋とは

1. 床版橋は相対する2辺が自由な長方形版を主構造とした橋を指します。
2. 床版の支持構造が単純支持された支承条件のものが**単純床版橋**です。
3. さらに、床版にあらかじめ引張力を与えるためPC鋼材を用いるものをPC床版橋と呼び、PC鋼材を用いず異径鉄筋などを用いるものを**RC床版橋**と呼びます。



基礎から学ぶRC床版の検討

4

床版に作用する荷重

床版橋の設計では以下の外力を考慮して計算を行います。

- 死荷重
主版自重、地覆重量、片持ち床版重量、高欄重量
- 活荷重
自動車荷重、群衆荷重
- 衝突荷重
- 高欄推力
群衆等によって高欄に作用する荷重
- 雪荷重
- 添加物重量
水道管等の床版橋に添付する荷重
- その他
コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響、風荷重などがありますが、これらの影響は考慮しないのが一般的です。

基礎から学ぶRC床版の検討

5

版の断面力算出方法

版の断面に作用する断面力の算出方法には以下の方法があります。

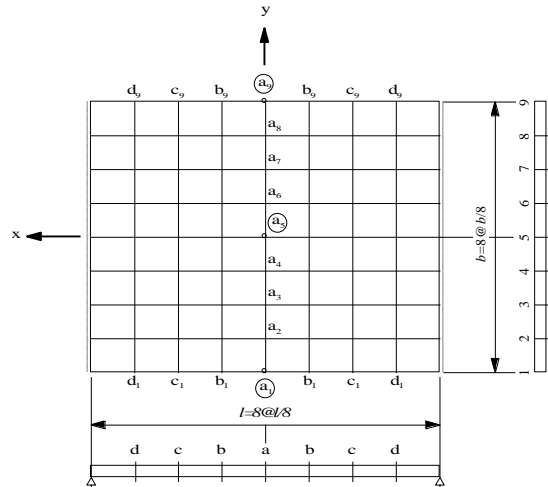
- **等方性版理論**
床版橋の曲げ剛性、ねじり剛性が橋軸方向と直角方向で同じであると仮定した弾性版理論です。厳密には等方性版ではありませんが、一般に充実床版橋、孔あき床版橋はこの方法により設計する事ができます。
- **異方性版理論**
床版橋の曲げ剛性、ねじり剛性が橋軸方向と直角方向で異なるとした弾性版理論です。プレテンション方式PC単純床版橋はこの方法を用います。
- **その他(格子構造理論、有限要素法(FEM))**

基礎から学ぶRC床版の検討

6

等方性版の断面力算出方法

- 自動車荷重や地覆の重量などの部分荷重による断面力は、オルゼン(Olsen)の図表に基づいて算出を行います。
- オルゼンの図表では、右図のように主版幅 b 、および支間長 l をそれぞれ8等分します。
- 支間中央 a における版縁端 a_1 、 a_9 、および中央 a_5 の各点についての x 方向および y 方向の曲げモーメント M_x 、 M_y の影響値を $l:b=1:\infty \sim l:b=\infty:1$ の範囲で求めます。
- 求められた影響値に荷重を乗じて断面に作用する M_x 、 M_y をそれぞれ算出します。



基礎から学ぶRC床版の検討

7

オルゼンの図表による影響値の計算1

$l:b=1.00:1$ の x 方向の影響値

表2.1 M_x 影響値($l:b=1.00:1$)

点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	—	0.461	0.316	0.234	0.179	0.140	0.112	0.092	0.076
b	0.350	0.331	0.268	0.209	0.163	0.129	0.103	0.085	0.070
c	0.193	0.192	0.175	0.149	0.120	0.097	0.079	0.065	0.054
d	0.089	0.090	0.085	0.075	0.063	0.051	0.043	0.035	0.029

$l:b=1.25:1$ の x 方向の影響値

表2.2 M_x 影響値($l:b=1.25:1$)

点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	—	0.524	0.381	0.299	0.244	0.203	0.174	0.150	0.130
b	0.364	0.354	0.310	0.261	0.219	0.184	0.159	0.138	0.121
c	0.206	0.203	0.198	0.179	0.157	0.138	0.121	0.106	0.093
d	0.094	0.096	0.094	0.090	0.081	0.071	0.064	0.058	0.051

$l=5.000\text{m}$ 、 $b=4.800\text{m}$

$l:b=1.04:1$ の x 方向の影響値を上記の影響値より直線補間して算出

表2.3 M_x 影響値($l:b=1.04:1$)

点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	—	0.471	0.326	0.244	0.189	0.150	0.122	0.101	0.085
b	0.352	0.335	0.275	0.217	0.172	0.138	0.112	0.093	0.078
c	0.195	0.194	0.179	0.154	0.126	0.104	0.086	0.072	0.060
d	0.090	0.091	0.086	0.077	0.066	0.054	0.046	0.039	0.033

影響値が最大となる点については、尖端値として上記と同様に直線補間して算出を行います

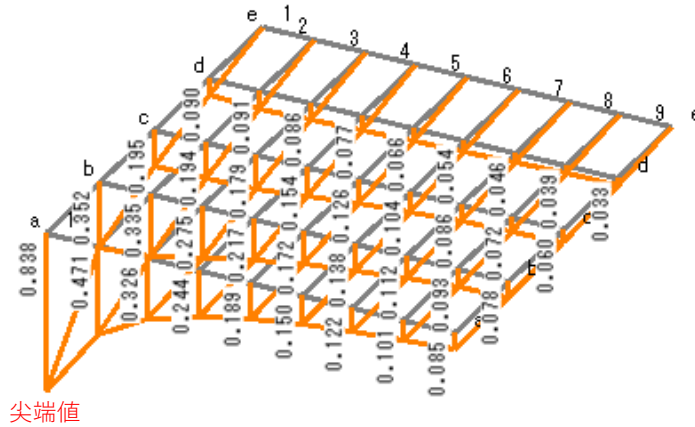
表2.4 尖端値

点	l:b	c/b						
		0.015	0.02	0.03	0.036	0.04	0.06	0.08
a	1.00:1	1.020	0.950	0.870	—	0.810	0.720	0.660
	1.25:1	1.080	1.020	0.930	—	0.870	0.780	0.720
	1.04:1	1.030	0.961	0.880	0.838	0.820	0.730	0.670

基礎から学ぶRC床版の検討

8

オルゼンの図表による影響値の計算2



基礎から学ぶRC床版の検討

9

オルゼンの図表による影響値の計算3

地覆の重量や舗装重量、群衆荷重など面に作用する荷重の曲げモーメントを算出するため、地覆幅および主版幅で分割した各区間の影響線面積を右のように算出します。

算出した影響線面積を基に下のように影響値の体積を算出します。

(2) 影響体積

$$V_1 = 2 \times 0.625/3 \times \{ 0.286 + 4 \times (0.139 + 0.036) + 2 \times 0.078 \} = 0.475$$

$$V_2 = 5.000^2/8 - (0.475 + 0.115) = 2.535$$

※影響線面積の合計が1/8になるよう調整

$$V_3 = 2 \times 0.625/3 \times \{ 0.036 + 4 \times (0.033 + 0.014) + 2 \times 0.026 \} = 0.115$$

表2.10 区間1 (区間長=0.400)

位置 (m)	幅 (m)	影響値			
		a	b	c	d
0.000	0.400	0.838	0.352	0.195	0.090
0.400		0.593	0.341	0.194	0.091
面積		0.286	0.139	0.078	0.036

表2.11 区間2 (区間長=4.000)

位置 (m)	幅 (m)	影響値			
		a	b	c	d
0.400	0.200	0.593	0.341	0.194	0.091
0.600		0.471	0.335	0.194	0.091
1.200		0.326	0.275	0.179	0.086
1.800		0.244	0.217	0.154	0.077
2.400		0.189	0.172	0.126	0.066
3.000		0.150	0.138	0.104	0.054
3.600		0.122	0.112	0.086	0.046
4.200		0.101	0.093	0.072	0.039
4.400		0.096	0.088	0.068	0.037
面積		0.916	0.763	0.522	0.262

表2.12 区間3 (区間長=0.400)

位置 (m)	幅 (m)	影響値			
		a	b	c	d
4.400	0.400	0.096	0.088	0.068	0.037
4.800		0.085	0.078	0.060	0.033
面積		0.036	0.033	0.026	0.014

基礎から学ぶRC床版の検討

10

死荷重による断面力

- 主版本体の自重による曲げモーメント M_{d1}

$$M_{d1} = \frac{1}{8} \times t \times \gamma_c \times l^2$$

ここに、

t : 主版厚(m)、 γ_c : 鉄筋コンクリートの単位体積重量(kN/m³)

l : 支間長(m)

- 地覆重量による曲げモーメント M_{d2}

$$M_{d2} = \text{影響線体積} \times h_j \times \gamma_c$$

ここに、

h_j : 地覆高(m)

- 舗装重量による曲げモーメント M_{d3}

$$M_{d3} = \text{影響線体積} \times h_h \times \gamma_h$$

ここに、

h_h : 舗装厚(m)、 γ_h : 舗装の単位体積重量(kN/m³)

基礎から学ぶRC床版の検討

活荷重による断面力

- 自動車荷重(T荷重)の種類

大型自動車の走行頻度が比較的高い状況を想定したB活荷重と、比較的低い状況を想定したA活荷重の2種類があります。

高速自動車国道、一般国道、都道府県道及びこれらの道路と基幹的な道路網を形成する市町村道の橋の設計にあたってはB活荷重を適用します。その他の市町村道の橋の設計にあたっては、大型の自動車の交通の状況に応じてA活荷重またはB活荷重を適用する必要があります。

B活荷重で設計を行う場合、以下の係数を輪荷重に乗じて計算を行います。

部材の支間長 L (m)	$L \leq 4$	$4 < L$
係数	1.0	$\frac{L}{32} + \frac{7}{8}$

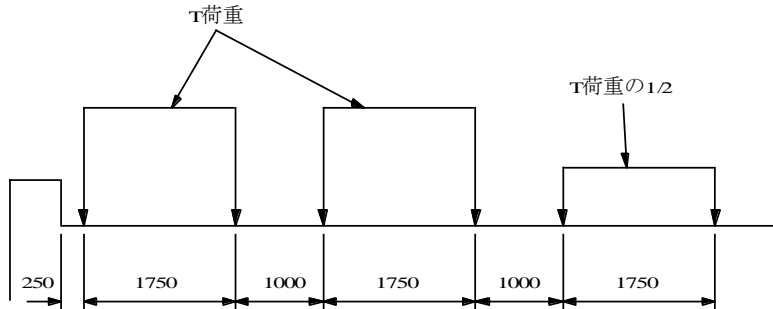
基礎から学ぶRC床版の検討

活荷重による断面力

- 自動車荷重による曲げモーメント M_{l1}

自動車荷重は地覆端から250mmの位置から下図のように負載する台数を計算します。

$$M_{l1} = \sum \text{影響値} \times T \text{荷重}$$



基礎から学ぶRC床版の検討

13

活荷重による断面力

- 衝撃による曲げモーメント M_{l2}

活荷重は橋面の凸凹、車両の加減速、前後車両との協同作用等種々の要因によって静荷重よりも大きな影響を橋の構造に与えます。この影響を衝撃と称し、衝撃係数として考慮する必要があります。

$$i = \frac{20}{50 + l}$$

$$M_{l2} = M_{l1} \times i$$

ここに、

L : 支間長(m)、 M_{l1} : 自動車荷重による曲げモーメント(kN・m)

i : 衝撃係数

なお、歩道等に載荷する等分布荷重(群衆荷重)には衝撃の影響は考慮しません。

基礎から学ぶRC床版の検討

14

2. 平成24年版道示に基づく設計

荷重の組合せ(H24年版道示の場合)

- 設計荷重作用時
死荷重+活荷重(衝撃を含む)
- 終局荷重作用時
下記の組合せの中で最も大きな曲げモーメントの値を終局荷重作用時の曲げモーメントとします。
 $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
 $1.0 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$
 $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重} + \text{衝撃})$

なお、橋軸直角方向の設計を行う際には、下面引張となる正の曲げモーメントと、上面引張となる負の曲げモーメントの状態を考慮する必要があります。

断面の照査(H24年版道示の場合)

- 設計荷重作用時
許容応力度法により照査を行います。
コンクリートの曲げ圧縮応力度 $\sigma_c \leq \sigma_{ca}$
鉄筋の曲げ引張応力度 $\sigma_s \leq \sigma_{sa}$
- 終局荷重作用時
破壊に対する安全率により照査を行います。
破壊抵抗曲げモーメント
終局荷重作用時曲げモーメント ≥ 1.00

基礎から学ぶRC床版の検討

17

破壊抵抗曲げMの算出(H24年版道示の場合)

- 破壊抵抗曲げモーメント M_u
引張鋼材比 p_b が終局つり合い鋼材比 p'_b 以下の場合
$$M_u = A_s \sigma_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \times \frac{A_s \sigma_{sy}}{0.85 \sigma_{ck} b} \right)$$

引張鋼材比 p_b が終局つり合い鋼材比 p'_b 以上の場合
$$M_u = A_s \sigma_{sy} (d - kx)$$

ここに、 A_s : 引張鋼材量 (mm²)
 σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
 σ_{sy} : 鉄筋の降伏点 (N/mm²)
 b : 部材断面の有効幅 1000 (mm)
 d : 部材断面の有効高 (mm)
 kx : 圧縮縁からコンクリートの圧縮応力度の合力作用点までの距離

基礎から学ぶRC床版の検討

18

部材の曲げ破壊モードについて

- 曲げ引張破壊

曲げモーメントによって先に引張側鉄筋が降伏点に達し、その後曲げモーメントの増大により変形が増加し中立軸が圧縮縁に近づき、圧縮縁のコンクリートが終局ひずみに達し、コンクリートの圧縮破壊に達する状態。この破壊形態はじん性(粘り強さ)に富む。

- つり合い破壊

引張側鉄筋が降伏点に達すると同時に圧縮縁のコンクリートが終局ひずみに達してコンクリートの圧縮破壊に至る状態。

- 曲げ圧縮破壊

引張側鉄筋を多量に配置した時、引張側鉄筋が降伏点に達するより先に圧縮縁のコンクリートが終局ひずみに達してコンクリートの圧縮破壊が生じる状態。

基礎から学ぶRC床版の検討

19

破壊抵抗曲げMの算出(H24年版道示の場合)

- 終局つり合い鋼材比 p'_b

$$p'_b = 0.68 \times \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{sy}} \times \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_{sy}}$$

ここに、 ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ 0.0035 ($\sigma_{ck} \leq 50$ の場合)

ϵ_{sy} : 鉄筋の降伏ひずみ $\epsilon_{sy} = \sigma_{sy}/E_s$

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

σ_{sy} : 鉄筋の降伏点(N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数(N/mm²)

- つり合い鋼材比 p_b

$$p_b = \frac{A_{sb}}{bd}$$

基礎から学ぶRC床版の検討

20

3. 平成29年版道示に基づく設計

基礎から学ぶRC床版の検討

21

平成29年版道示による設計方法

平成29年の道路橋示方書より設計方法が信頼性設計法(部分係数設計法)へ移行

(H24) 許容応 力度法	部材に発生する 応力を制限値 (許容応力度) 以下に抑える設 計法で、さまざ まなばらつき要 因を一つの安全 率で考慮	$\text{応力度} \leq \text{特性値} \times 1/\text{安全率} (\geq 1.0)$
(H29) 部分係 数設計 法	従来の安全率を 部材係数、荷重 係数、材料係数 など要因別に細 分化し、要求さ れる性能に応じ た合理的な設計 法	$\alpha \times \text{外力} \leq \text{抵抗力} \times 1/\beta$ ここに、 α 、 β ：部分係数

多様な構造や
材料、条件等
の対応が困難

多様な条件に
対応したきめ
細かな設計が
可能

基礎から学ぶRC床版の検討

22

平成29年版道示による設計方法

作用力(断面力)

耐力(強度)

$$\Sigma S_i (\gamma_{qi} \gamma_{pi} P_i) \leq \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi_R \cdot R(f_c, \Delta_c)$$

- ここに、 P_i : 作用の特性値 (= 荷重)
 S_i : 作用効果であり、作用の組み合わせに対する橋の状態 (断面力等)
 R : 部材の抵抗に係る特性値(降伏・終局モーメント、etc.)
 γ_{qi}, γ_{pi} : 荷重組合せ係数および荷重係数
 (荷重のばらつき、組合せの可能性等を考慮した係数)
 ξ_1 : 調査・解析係数
 (調査、モデル化の過程や解析方法における不確実性を考慮した係数)
 ξ_2 : 部材・構造係数(当該部材が構造物全体に与える影響を考慮した係数)
 Φ_R : 抵抗係数
 (部材強度等の特性値のばらつき、材料特性のばらつきを考慮した係数)

基礎から学ぶRC床版の検討

23

平成29年版道示による設計方法

• 耐久性の検討

死荷重などの永続的に橋に作用する荷重および、繰り返し作用する活荷重などによって、部材が塑性域に達しないように設計する必要があります。なお、耐久性の検討においては、許容応力度法での照査となります。

照査項目	組合せ		荷重係数
防食性能	D	死荷重	1.05
耐久性能	D+L	死荷重+活荷重	1.00

• 耐荷性能の検討

部材としての荷重を支持する能力が確保されている限界の状態(限界状態1)および、これを超えると部材としての荷重を支持する能力が完全に失われる状態の2つの状態(限界状態3)に至らないことを検討する必要があります。部材の限界状態を考慮して検討を行うため、耐荷性能の照査は限界状態設計法となります。

照査項目	組合せ		荷重係数
耐荷性能	D+L	死荷重+活荷重	死荷重 1.05、活荷重 1.25

基礎から学ぶRC床版の検討

24

耐久性能の検討方法

- 防食性能

設計耐久期間(100年)内において、内部鋼材の腐食により部材の耐荷性能が低下することがないように以下の2項目を満足する必要があります。

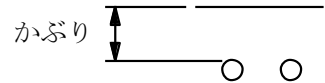
- ✓ かぶりの確保

下記のかぶり以上を確保すること

橋の設置箇所が海岸線より100mまで : 70mm

橋の設置箇所が海岸線より100mを超えて200mまで : 50mm

上記以外 : 30mm



※ここでいうかぶりはコンクリート面から鉄筋の表面までの距離であることに注意

- ✓ 鉄筋の引張応力度が制限値を超えない

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa}$$

ここに、 σ_s : 鉄筋に生じる引張応力度 (N/mm²)

σ_{sa} : 鉄筋の引張応力度の制限値 $\sigma_{sa} = 100$ (N/mm²)

耐久性能の検討方法

- 耐久性能(疲労)

設計耐久期間(100年)内において、応力の繰り返しによる影響の累積により部材の耐荷性能が低下することがないように以下の2項目を満足する必要があります。

- ✓ 鉄筋の引張応力度が制限値を超えない

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa}$$

ここに、 σ_s : 鉄筋に生じる引張応力度 (N/mm²)

σ_{sa} : 鉄筋の引張応力度の制限値 $\sigma_{sa} = 120$ (N/mm²)

- ✓ コンクリートの圧縮応力度が制限値を超えない

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$$

ここに、 σ_c : コンクリートに生じる圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{ca} : コンクリートの圧縮応力度の制限値 (N/mm²)

σ_{ck}	21	24	27	30
σ_{ca}	7.0	8.0	9.0	10.0

耐荷性能の検討方法

- 限界状態1

部材としての荷重を支持する能力が確保されている限界の状態

$$M_d \leq M_{yd}$$

ここに、 M_d : 設計曲げモーメント

$$M_d = \gamma_{pD} \cdot \gamma_{qD} \cdot M_d + \gamma_{pL} \cdot \gamma_{qL} \cdot M_L$$

M_{yd} : 部材降伏に対する曲げモーメントの制限値

$$M_{yd} = \xi_1 \cdot \Phi_y \cdot M_{yc}$$

M_{yc} : 降伏曲げモーメントの特性値(kN・m)

ξ_1 : 調査・解析係数 0.9

Φ_y : 抵抗係数 0.85

基礎から学ぶRC床版の検討

耐荷性能の検討方法

- 限界状態3

これを超えると部材としての荷重を支持する能力が完全に失われる状態

$$M_d \leq M_{ud}$$

ここに、 M_d : 設計曲げモーメント

$$M_d = \gamma_{pD} \cdot \gamma_{qD} \cdot M_d + \gamma_{pL} \cdot \gamma_{qL} \cdot M_L$$

M_{ud} : 部材破壊に対する曲げモーメントの制限値

$$M_{ud} = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \Phi_u \cdot M_{uc}$$

M_{uc} : 破壊抵抗曲げモーメントの特性値(kN・m)

ξ_1 : 調査・解析係数 0.90

ξ_2 : 部材・構造係数 0.90

Φ_u : 抵抗係数 0.80

基礎から学ぶRC床版の検討

4. 最小床版厚について

基礎から学ぶRC床版の検討

29

床版の最小厚について

床版の最小版厚は道路橋示方書の記載に準じ、250mmとなります。

14.4 断面寸法並びに鉄筋及びPC鋼材の配置

14.4.1 一般

(5) コンクリート主版の最小版厚は250mmとする

道路橋示方書 III (平成29年11月) P.309より

基礎から学ぶRC床版の検討

30

参考図書一覧

- 道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編 (公社)日本道路協会
- 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 (公社)日本道路協会
- 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編
(公社)日本道路協会
- 平成29年道路橋示方書に基づく道路橋の設計計算例
(公社)日本道路協会
- コンクリート道路橋設計便覧 (社)日本道路協会
- 鉄筋コンクリート上部構造の設計計算例 (株)山海堂
- Die zweiseitig gelagerte Platte OLSEN/REINITZHUBER