

ボックスカルバートの解析に関する一考察

—— 剛域を考慮した場合 ——

日本道路公団

鬼丸 良雄

"

松原 祐二

北海道開発コンサルタント(株)

正岡

藤井 不二雄

"

"

花田 真吉

"

"

橋本 至

§1. まえがき

従来、ボックスカルバート等のラーメン構造の場合、一般にラーメン部材を線材で置換している。この場合、各接合は、剛接合と考えて一変で表わされ、部材はスパン中央の断面二次モーメントを一樣に持っているものと考えて、撓み角法等を用いて断面力を算出し、設計に供してきた。しかし、実際の骨組には、ハンチがあったり、壁・柱は幅をもっているから、一様部材とは、考えられず、接合近くでは、断面が無限度に近くなる。この様な断面二次モーメントが無限度と考えても良い様な範囲を剛域と呼び、一種の変断面部材として取扱うことができる。

最近、上記の様な考え方が設計基準等に表示されるようになり、今回、実際にボックスカルバート業務に剛域を考慮する機会を得たので、ここに報告する。

§2. 剛域を考慮した撓み角法

剛域を考慮した撓み角法は、一種の変断面ラーメンに対する撓み角法であり、部材端に断面二次モーメントが無限度なる部分を考慮したのみであるので、次式の様になる。

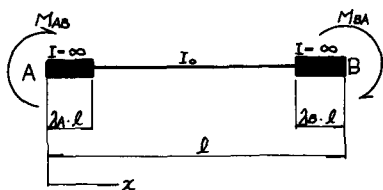
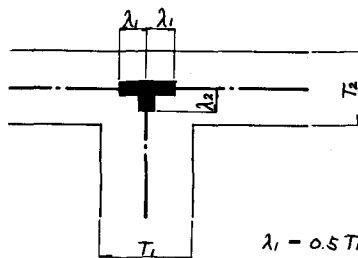


Fig- 1



$$\lambda_1 = 0.5 T_1 - 0.25 T_2$$

$$\lambda_2 = 0.5 T_2 - 0.25 T_1$$

Fig- 2

1. 撓み角公式

$$M_{AB} = \ell (a \cdot \varphi_A + b \cdot \varphi_B + c \cdot \psi) + d \cdot C_{BA} \quad (1)$$

$$M_{BA} = \ell (a' \cdot \varphi_B + b' \cdot \varphi_A + c' \cdot \psi) + d' \cdot C_{BA} \quad (2)$$

但 ℓ : 剛比 a, a', b, b', c, c' : 撓み角係数 d, d' : 荷重項係数

C_{AB}, C_{BA} : 等断面部材の場合の荷重項

$$\varphi = 2EK\theta \quad \psi = -6EK\psi$$

2. 撓み角係数

$$\left. \begin{aligned} a &= \Delta_2 / 2\varpi & a' &= (\Delta_0 - 2\Delta_1 + \Delta_2) / 2\varpi \\ b &= b' = (\Delta_1 - \Delta_2) / 2\varpi & c &= (a+b)/3 & c' &= (a'+b)/3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \{ (1 - \lambda_B)^{i+1} - \lambda_A^{i+1} \} / (i+1) \\ \varpi &= \Delta_0 \Delta_2 - \Delta_1^2 \end{aligned}$$

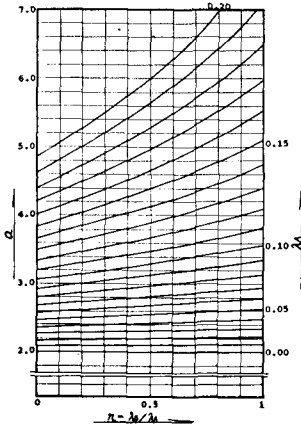


Fig- 3

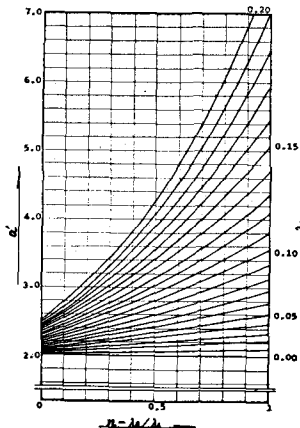


Fig- 4

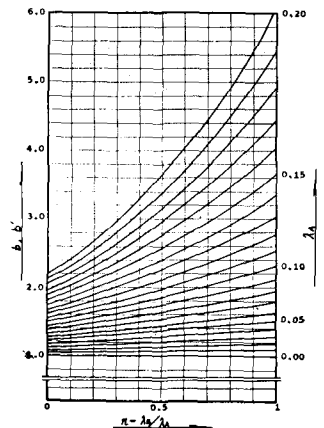


Fig- 5

3. 荷重項

$$\left. \begin{aligned} d \cdot C_{AB} &= \{ (\Delta_1 - \Delta_2) \bar{r}_B - \Delta_2 \bar{r}_A \} \cdot EK / \varpi \\ d' \cdot C_{BA} &= \{ (\Delta_0 - 2\Delta_1 + \Delta_2) \bar{r}_B - (\Delta_1 - \Delta_2) \bar{r}_A \} \cdot EK / \varpi \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{但} \quad \bar{r}_A = \int_0^l \frac{M_0}{EK_0} (1 - \xi) \xi d\xi$$

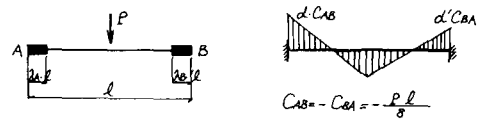
$$\bar{r}_B = \int_0^l \frac{M_0}{EK_0} \xi \xi d\xi$$

$$\xi = x/l \quad \xi = I/I$$

M_0 : 中間荷重による曲げモーメント

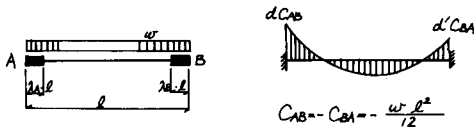
K_0 : 部材の基準剛度

Fig-6 ~ Fig-8 に 各荷重タイプの荷重項係数 d, d' を示す。



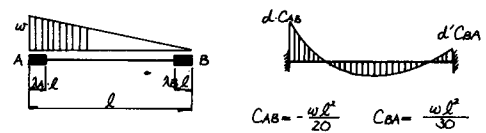
d, d'		λ_B						
		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
λ_A	0.00	d 1.000	d' 1.000					
	0.02	d 1.082	d' 0.960	1.040				
	0.04	d 1.168	d' 0.928	1.125	1.080			
	0.06	d 1.259	d' 0.880	1.214	1.168	1.120		
	0.08	d 1.354	d' 0.834	1.308	1.260	1.211	1.160	
	0.10	d 1.454	d' 0.790	1.406	1.357	1.307	1.254	1.200
	0.12	d 1.559	d' 0.746	1.510	1.460	1.408	1.354	1.300

Fig- 6



d, d'		λ_B						
		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
λ_A	0.00 d	1.000						
	d'	1.000						
	0.02 d	1.080	1.039					
	d'	0.960	1.039			SYM.		
	0.04 d	1.162	1.119	1.077				
	d'	0.922	0.999	1.077				
	0.06 d	1.244	1.199	1.156	1.113			
	d'	0.884	0.959	1.036	1.113			
	0.08 d	1.326	1.280	1.235	1.191	1.147		
	d'	0.846	0.920	0.995	1.071	1.147		
	0.10 d	1.410	1.362	1.316	1.270	1.224	1.180	
	d'	0.810	0.882	0.956	1.030	1.104	1.180	
	0.12 d	1.494	1.445	1.397	1.349	1.302	1.256	1.211
	d'	0.774	0.845	0.917	0.989	1.062	1.136	1.211

Fig- 7



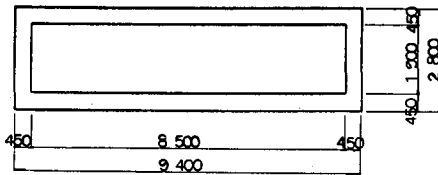
d, d'		λ_B						
		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
λ_A	0.00 d	1.000	0.973	0.946	0.919	0.892	0.864	0.836
	d'	1.000	1.082	1.166	1.255	1.346	1.441	1.536
	0.02 d	1.080	1.052	1.025	0.997	0.969	0.941	0.912
	d'	0.941	1.020	1.101	1.186	1.274	1.366	1.460
	0.04 d	1.158	1.131	1.102	1.074	1.045	1.016	0.987
	d'	0.885	0.960	1.038	1.120	1.205	1.293	1.384
	0.06 d	1.236	1.208	1.179	1.150	1.121	1.092	1.062
	d'	0.831	0.903	0.978	1.056	1.138	1.223	1.311
	0.08 d	1.313	1.285	1.256	1.226	1.196	1.166	1.136
	d'	0.779	0.848	0.920	0.995	1.074	1.155	1.240
	0.10 d	1.389	1.360	1.331	1.301	1.271	1.240	1.209
	d'	0.729	0.795	0.864	0.937	1.012	1.090	1.171
	0.12 d	1.464	1.435	1.405	1.375	1.344	1.313	1.282
	d'	0.681	0.745	0.811	0.880	0.952	1.027	1.106

Fig- 8

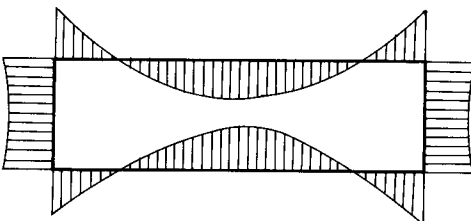
§3. 剛域を考慮したボックスカルバートの解析例

ボックスカルバートの断面力算出に際して剛域を考慮した場合と、考慮しない場合との曲げモーメントの比較を、単一ボックスカルバートと1つの隔壁を有するボックスカルバートについて示す。端部での曲げモーメントは、剛域を考慮しない場合は、部材端での値とし、考慮した場合は、荷重に土圧等の不確定要素が入っている由、剛域内側端での値としている。尚、設計荷重の算出等は、道路公団設計導領により、詳細については、省略する。

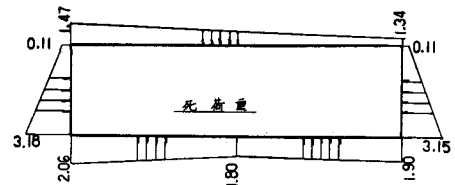
1. 単一ボックスカルバート



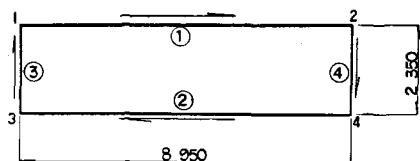
断面形状



曲げモーメント図



荷重図



部 材	スパン長 m	始点側剛域			終点側剛域		
		節 点	剛域長 m	%	節 点	剛域長 m	%
①	8,950	1	0.1125	1.26	2	0.1125	1.26
②	"	4	"	"	3	"	"
③	2,350	3	"	4.79	1	"	4.79
④	"	2	"	"	4	"	"

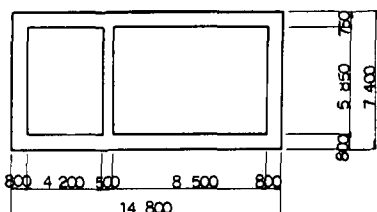
Fig- 9

	始点側曲げモーメント			中間部曲げモーメント			終点側曲げモーメント		
	t-m A	t-m B	増減 %	t-m A	t-m B	増減 %	t-m A	t-m B	増減 %
頂版 ①	-12.23	-12.75	-4.1	12.30	12.82	-4.0	-11.87	-12.46	-4.8
底版 ②	-12.43	-13.12	-5.3	10.67	11.20	-4.7	-12.24	-12.93	-5.4
側壁 ③	-13.17	-12.93	+1.9	-12.22	-11.70	+4.5	-13.14	-12.75	+3.0
" ④	-12.84	-12.46	+3.0	-12.19	-11.67	+4.4	-13.37	-13.12	+1.9

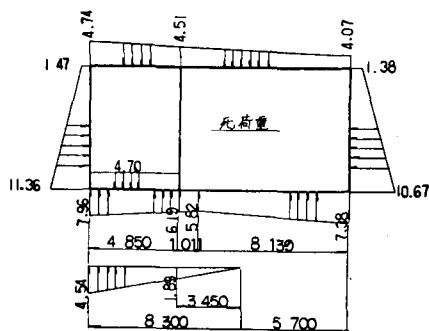
Fig- 10

Fig- 10 に 前頁に示す断面形状、荷重状態に対する剛域を考慮した場合 (A) と考慮しない場合 (B) の各点での曲げモーメントの比較、及び剛域を考慮しない場合に対する曲げモーメントの増減を 示す。

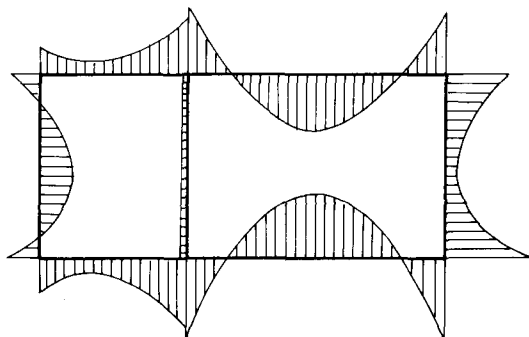
2. 一つの隔壁を有するボックスカルバート



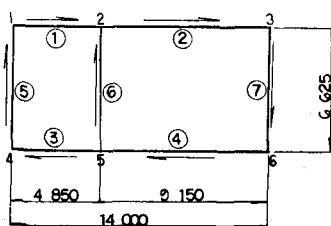
断面形状



荷重図



曲げモーメント図



部材	スパン長 m	始端側剛域			終端側剛域		
		筋長	剛域長 m	%	筋長	剛域長 m	%
①	4.850	1	0.2125	4.38	2	0.0625	1.29
②	9.150	2	0.0625	0.68	3	0.2125	2.32
③	4.850	5	0.050	1.03	4	0.200	4.12
④	9.150	6	0.200	2.19	5	0.050	0.55
⑤	6.625	4	0.200	3.02	1	0.175	2.64
⑥	"	5	0.275	4.15	2	0.250	3.77
⑦	"	3	0.175	2.64	6	0.200	3.02

Fig- 11

	始端側曲げモーメント			中間部曲げモーメント			終端側曲げモーメント		
	t-m A	t-m B	増減 %	t-m A	t-m B	増減 %	t-m A	t-m B	増減 %
頂版 ①	-12.14	-13.55	-10.4	-5.04	-4.37	+15.5	-30.48	-31.32	-2.7
②	-32.90	-34.29	-4.1	30.29	31.25	-3.1	-28.59	-31.97	-10.6
底版 ③	-37.50	-38.89	-3.5	-8.13	-7.19	+13.2	-16.53	-17.47	-5.4
④	-37.11	-41.20	-9.9	35.06	36.35	-3.6	-40.66	-42.60	-4.6
側壁 ⑤	-13.80	-17.47	-20.1	18.44	19.70	-6.4	-11.84	-13.55	-12.6
⑦	-31.41	-31.97	-1.8	-5.79	-3.53	--	-38.87	-41.20	-5.7

Fig- 12

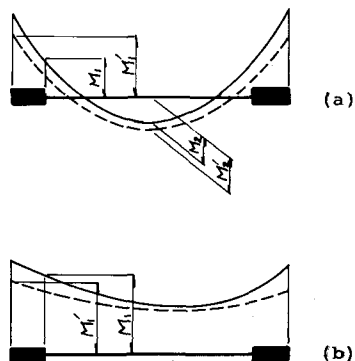
Fig- 12 に前頁に示す断面形状、荷重状態に対する剛域を考慮した場合(A)と考慮しない場合(B)との各点での曲げモーメントの比較、及び剛域を考慮しない場合に対する曲げモーメントの増減を示す。

§ 4. 考察

ボックスカルバートの断面計算を通じて、剛域を考慮すると、考慮しない場合に比べて次の事柄解る。

1. Fig- 13 (a) に 一般的傾向として設計曲げモーメント (M_1, M_2) が減少する様子を示す。この傾向は剛域比 (= 剛域長 / 部材長) が大なる程、顕著となるが通常設計される断面形状の場合、端部設計曲げモーメントで最大 10~15%、中間部設計曲げモーメントで最大 5% 程度の減少が見られる。

2. 興味ある点として Fig- 13 (b) に示す様に、部材間に反曲点を有しない曲げモーメント分布の場合、中間部設計曲げモーメントは、増加の傾向を示す。又、その分布が一様 (偏平) な場合、端部設計曲げモーメント



— 剛域を考慮した場合の曲げモーメント分布
 --- , 考慮しない

Fig- 13

ントも増加の傾向を示す。

§5. あとがき

以上、ラーメン構造物に剛域を考慮して断面設計を行つた場合について、ボックスカルバートを実例として報告してきた。本例は、道路公団設計要領による設計条件に対して、剛域を考慮した場合、経済的に断面設計せしうることを示してきたが、他の荷重等及び実測値との比較は、今後機会があれば比較検討の所存である。尚、本報告をまとめるに当り、助言を賜つた 北海道南苑コンサルタント(株) 藤井不二也、花田真吉両氏に、心より感謝致します。

(参考文献)

1. 日本道路公団 設計要領
2. 鉄筋コンクリート構造設計基準 日本建築学会
3. 武藤 清 「耐震設計シリーズ1・耐震計算法」(丸善)