

I-30

曲線箱桁の中間ダイアフラム配置法に関する一考察

琉球大学 正員 有住 康則

琉球大学 正員 矢吹 哲哉

1. まえがき

曲線箱桁では、中間ダイアフラムの配置が不十分な場合、鉛直荷重のみによっても断面変形によって大きな直応力が生じ、設計においては十分な配慮が必要である。曲線箱桁の中間ダイアフラム設計法に関する代表的研究としては、坂井・長井¹⁾、中井・村山²⁾及びHeinsら³⁾の研究がある。しかし、それらの研究では、断面変形によって生じる直応力を設計荷重による最大曲げ応力のどの程度に抑えるのか明確でなく、また、任意の数の中間ダイアフラムを配置するとダイアフラム剛度の決定に矛盾を生じることもある。そこで本研究では、曲線箱桁の断面変形に影響を及ぼす因子を種々変化させてパラメトリック解析を行い、その結果に基づいて簡便な曲線箱桁の中間ダイアフラム配置法の提案を行った。

2. パラメトリック解析

B E Fアナロジーを用いると断面変形に関する基礎式は次のように示される。

$$EI_{dw}V'''' - k_f V = P_v + M_x/R \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 V ：ずり角、 I_{dw} ：断面変形に関するそり定数¹⁾、 k_f ：閉ラーメン曲げ剛性、 P_v ：ずり荷重、 M_x ：曲げモーメント及び R ：曲率半径である。本研究では、基礎式(1)を差分法を用いて解析を行った。一方、パラメトリック解析では、実際に架設された33橋について実績調査を行い、中間ダイアフラム間隔(L_D)、中心角(α)、ダイアフラム剛度(k_D)、スパンとウェブ間隔の比(L/b)及び荷重状態を種々変化させて解析を行った。なお、ダイアフラム剛度を評価するため、次に示す新しいパラメーター μ を導入した。

$$\mu = \sqrt[4]{n k_D L^3 / (EI_{dw})} \quad \dots\dots\dots(2)$$

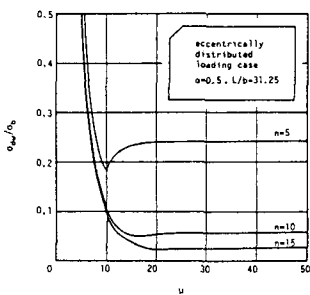
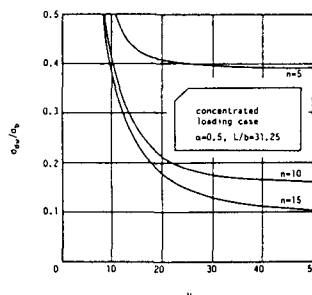
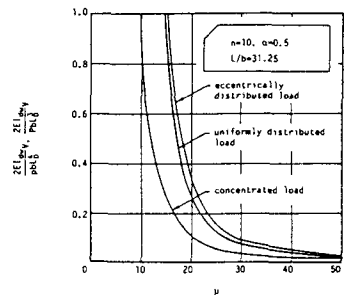
ここで、 n ：ダイアフラムで区切られた区間の数である。パラメトリック解析結果の一例として、 $n=5, 10, 15$ の場合について、断面変形によるずり応力と最大曲げ応力の比(σ_{dw}/σ_b)と μ の関係を図-1、2に、また、ずり角と μ の関係を図-3に示す。 $\mu \geq 30$ の場合、応力比及びずり角はほぼ一定の値に収束している。

3. 中間ダイアフラム配置法の提案

ここでは断面変形により生じる最大ずり応力(σ_{dw})を二次応力レベル以内に抑えるような中間ダイアフラム配置法を提案する。なお、本研究では、二次応力レベルとして最大曲げ応力(σ_{design})の5%を採用した。すなわち、

$$[(\sigma_{dw})_d + (\sigma_{dw})_o + (\sigma_{dw})_p] / \sigma_{design} = \sigma_{dw} / \sigma_{design} \leq 0.05 \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、添字 d, p, P はそれぞれ死荷重、等分布活荷重及び線荷重を示している。なお、死荷重強度は実橋の実績調査を基に、RC床版の場合； $W_{RC} = 6.33L + 699$ (kg/m²)、鋼床版の場合； $W_{ST} = 1.26L + 462$ (kg

図-1 ずり応力と μ の関係(偏心分布荷重)図-2 ずり応力と μ の関係(集中荷重)図-3 ずり角と μ の関係

/m²)を用いた。 $(\sigma_{dw})_0/\sigma_{design}$ の値は、等分布活荷重を断面の片側半分に載荷した場合と桁全面に載荷した場合とで差が見られるので、その両者について計算を行い大きい方の値を採用した。中井・村山によって提案された (σ_{dw}/σ_b) 算定簡易式²⁾を参照すると、式(3)で示したずり応力比は次のように示される。

$$\sigma_{dw}/\sigma_{design} = \sigma^*_{dw}/\sigma_{design} + \sigma^s_{dw}/\sigma_{design} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、右辺第二項は、直線桁の場合のずり応力比であり、第一項は曲率等の影響を示している。本研究では、実績調査で得られた一つの箱桁橋を標準断面桁と定義し、それについて数値計算を行った。標準断面桁のそれぞれの応力比の値の一例を表-1に示す。一方、他の断面を有する桁については、式(4)の右辺第一項にL/bの影響で標準断面桁と差が生じるが、その影響は、実績調査で得られた全橋について $(\sigma^*_{dw}/\sigma_{design})$ の計算を行い、標準断面桁との比をもって低減係数と定義し次式のように考慮した。

$$\sigma^*_{dw}/\sigma_{design} = R_e \text{ or } R_u [\sigma^*_{dw}/\sigma_{design}]_{standard} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 R_e 、 R_u は、偏心分布活荷重及び等分布活荷重を全面に満載した場合のそれぞれの低減係数であり、次のように示される。

$$R_e = 0.0317L/b + 0.0628 ; \quad R_u = 0.0301L/b + 0.0926 \dots\dots\dots(6)$$

中心角を変化させた場合の $(\sigma_{dw}/\sigma_{design})$ の値をL/b=30の場合について図-4に示す。ここで例えばn=8の場合、 $\sigma_{dw}/\sigma_{design} \leq 0.05$ を満足するのは図から明らかなように $\alpha \leq 0.215(\text{rad.})$ の範囲となる。なお、他の条件の場合についても同様な手法を用いて必要ダイアフラム間隔の計算を行った。L/b=10~50及び $\alpha = 0 \sim 1.0 \text{ rad.}$ と変化させた場合、式(3)を満足するnの限界値を表-2に示す。

以上をまとめると、新しい中間ダイアフラム配置法として次式を提案する。

$$\begin{aligned} n \geq L/20 \text{ (L: スパン(m))} ; \quad K_D \geq 30^4 EI_{dw}/(nL^3) ; \quad K_D = 4GAt_D ; \quad t_D \geq 8 \text{ mm} ; \\ \{ R_e \text{ or } R_u [\sigma^*_{dw}/\sigma_{design}]_{standard} + \sigma^s_{dw}/\sigma_{design} \} \leq 0.05 \text{ あるいは表-2} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

ここで、 t_D ：充腹板形式ダイアフラムの板厚である。なお、中間ダイアフラムの最大間隔は荷重分配横桁の場合と同様に20 m以内とした。また、ダイアフラムの最小板厚は8 mmとした。一方、式(7)に示したダイアフラム剛度を用いると、変形も二次のオーダー(v_{dw}/L_D が1/1000以内)に抑えられることを確認した。

4. あとがき

断面変形によって生じるずり応力及び変形を二次応力及び二次の変形レベル以内に抑える新しい曲線箱桁の中間ダイアフラム配置法を提案した。本方法は、式(7)を用いることによって容易に中間ダイアフラムの間隔及び剛度を決定することができるものと思われる。

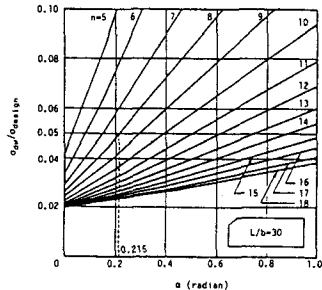


図-4 $(\sigma_{dw}/\sigma_{design})$ と中心角の関係

表-1 標準断面桁の各応力比の値

(a) eccentrically distributed live load		R.C. Bridge Deck							Steel Bridge Deck			
L (m)		30	50	70	80	80	100	150	200			
$\sigma^e_{dw}/\sigma_{design}$		0.0212	0.0135	0.0097	0.0084	0.0133	0.0112	0.0081	0.0063			
$\sigma^u_{dw}/\sigma_{design}$		0.0210	0.0224	0.0234	0.0238	0.0206	0.0213	0.0224	0.0231			
$\sigma^s_{dw}/\sigma_{design}$		0.0422	0.0359	0.0331	0.0322	0.0339	0.0325	0.0305	0.0294			

(b) uniformly distributed live load		R.C. Bridge Deck				Steel Bridge Deck			
L (m)		30	50	70	80	80	100	150	200
$\sigma^e_{dw}/\sigma_{design}$		0.0192	0.0115	0.0078	0.0066	0.0104	0.0085	0.0056	0.0040
$\sigma^u_{dw}/\sigma_{design}$		0.0256	0.0271	0.0278	0.0280	0.0273	0.0276	0.0282	0.0285
$\sigma^s_{dw}/\sigma_{design}$		0.0448	0.0388	0.0356	0.0346	0.0377	0.0361	0.0338	0.0325

Note : $\alpha=0.5$, $n=12$, $L/b=31.25$.

表-2 条件式を満足するnの限界値

L/b \ α	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10
20	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	13
30	5	7	8	9	11	11	12	13	14	15	15
40	5	7	9	10	12	13	14	15	15	16	17
50	5	8	10	11	13	14	15	16	17	18	19

参考文献

- 1) 坂井・長井：曲線鋼箱桁橋の中間ダイアフラム設計法に関する一提案、土木学会論文報告集、No.305、1981年1月。
- 2) 中井・村山：ダイアフラムを有する曲線箱桁橋のずり応力の解析と設計への応用、土木学会論文報告集、No.309、1981年5月。
- 3) Oleinik, J.C. and Heins, C.P. : Diaphragms for Curved Box Beam Bridges, Proc. ASCE, Vol.101, No.ST10, 1975.