

室蘭工業大学 正良 尾崎 毅

(1). はじめに

コンクリート橋では、軽量化にはとれない、偏心荷重に対する抵抗度の強い箱桁型式の採用とあいまって、箱桁のねじりも考慮した計算が必要になる。しかし従来用いられている曲げねじり理論は、断面不変の仮定に立つた薄肉理論であるから、タイヤフラムをあまり設けず、もっぱら箱断面のラーメン剛性に期待するコンクリート箱桁に適用することは疑問である。この種の問題については折板理論の応用が盛んで、国内でも岡田博士らの研究があり、¹⁾ 著者らも折板要素に対して「変位せん断公式」と「曲げとせん断によるたわみ角公式」も適用して、断面変形を考えた箱桁の曲げねじりについて研究してきた。²⁾ 吉田研究奨励金による本研究は、さきに発表した理論を実験的に確かめ、さらにハンチの影響をあわせて検討したものである。

(2). 実験方法

コンクリート箱桁橋の型式として最も一般的な断面である片持部を有する一室箱桁を想定し、アクリル樹脂板による模型およびプレテンション工PC部材による模型実験をおこなった。使用した材料の性質を表-1.に、断面寸法を図-1.に示す。

供試体の製作について述べると、アクリル樹脂模型は厚さ5mmの板を接着剤アロンドで接着した。

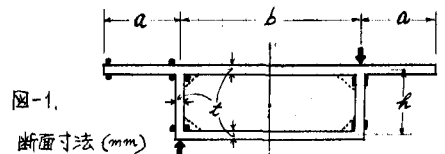
一方、ハンチの影響を調べるための実験では、前記アクリル樹脂模型の内部隅角部に常温硬化性の注型用樹脂アラタイトE(弾性係数35,000 kg/cm^2)を流し込みハンチを形成し、供試体とした。ハンチのサイズは $10.3^{\circ}/2=53\text{mm}^2$ (節点における換算断面積は 45mm^2)とした。

PC模型はプレテンション工南断面箱桁および床版を工場で別々に製作し、実験室においてスターラツプを延長したシベルおよび接着剤ショーバンドで接合して箱桁供試体とした。アレストレスは設計荷重として5tonの偏力を作用させると仮定して75 $\times$ 80 kg/cm^2 のモリ筋力を推定し、これに対して $\phi 2.9\text{mm}$ のPC鋼線合計92本一様に配置した。また断面方向には280 kg/cm 程度の節点曲げモーメントを予想し、ひびわれモーメントを計算してSD24の径6mm棒鋼を30mm間隔に有効高さ32mmの複鉄筋として一様に配筋した。この鉄筋は主桁(腹部)ではスクラツプとなるが、これを5本に1本の割合で床版内に配置し、シベルとした。設計荷重時の最大せん断力は節点で110 kg/cm 位と推定されるので、このシベルでは約半分しか分担できないから残りの12 kg/cm 程度のせん断力は接着剤による合成に依存した。

載荷方法は樹脂模型、コンクリート模型とも桁の両端で上下単純支持とし、支間中央などに図-1.に示した矢印位置にロードセルを設置し、ジャッキで偏力を与え、ねじり荷重とした。

測定方法は双方の実験とも接着型の電気抵抗線ひずみ計によって供試体表面および裏面のひずみを測定した。図-1.に測定位置を記したが、いずれも隅角部ぎりぎりの位置(約2mm)に接着した。

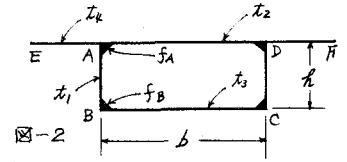
表-1. 使用材料	強さ (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)	ポアソン比
アクリル樹脂板	引張 320	37,700	0.35
コンクリート	圧縮 500	270,000	0.15



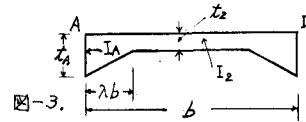
	スパン	a	b	t	z
アクリル模型	1000	50	133	50	5
コンクリート模型	2000	225	600	225	40

(3). 計算方法

実験に用いた片持部を有する一室箱桁の計算は、さきに発表したと同様の手法により計算した。すなわち、「変位せん断公式」と「曲げとせん断力とのたわみ角式」を基礎とし、変形抵抗係数とラーメン剛性から求まる変形抵抗係数と変形度で表わし、節点におけるせん断力のつりあい、変形度と変位との関係、片持部付根における変位の適合とからえられる三節点のひずみと変形度と片持部節点の軸力に関する連立微分方程式をフーリエ級数に展開して100項までの計算をおこなって各節点のそり応力、曲げモーメント、せん断力を求めた。なお、ハンチの影響を考慮した計算では、ハンチの断面積が節点に集中して作用するものと仮定し、図-2. に示したようにハンチの換算断面積を f_A, f_B とし、せん断力のつりあい条件を次のように設定した。 $T_{EA} = 0$,



$T_{AB} + T_{AD} + T_{AE} + E f_A \ddot{u}_A = 0$, $T_{BA} + T_{BC} + E f_B \ddot{u}_B = 0$,
さらに、ハンチによる折板の厚さの変化を考慮する場合には、各折板を図-3. のように考え、たわみ角式 $M_{AD} = 2Eh(a\theta_A + b\theta_B - C\theta_D)$ などにおける係数 a, b, C を $n_2 = I_A/I_2$ の値から変断面不静定桁の要領で計算し、さきの変形抵抗係数 G の式を求め、ハンチがない場合と同様の手法で計算した。なお、数値計算は東京工大の電子計算機、FACOM 231 によつておこなった。



(4). 実験結果

アクリル樹脂板による模型実験は、理論の検証に有効な測定値を提供し、断面変形を考慮した理論と良く一致した結果を示した。中央点に単位荷重が作用した場合のそり応力および曲げモーメントを図-4. に示す。ここに示した曲線はいずれも断面変形を考慮した理論によつて計算した節点における値をひずみ計の位置の値に換算したものである。実線はハンチのない場合、点線はハンチ断面積のみの影響を考慮した場合、破線はさらにハンチによる厚さの変化による変形抵抗の増加をも考慮に入れた場合の計算値である。実験値はハンチの有無を黒、白で、表面と裏面のひずみも σ, Δ で区別しプロットした。これによれば、節点 A の近傍のひずみ計位置 a, および節点 B の近傍のひずみ計位置 b におけるそり応力 σ_a, σ_b の実験値が荷重点において理論値もわずかに上回っているが、その後には実施した

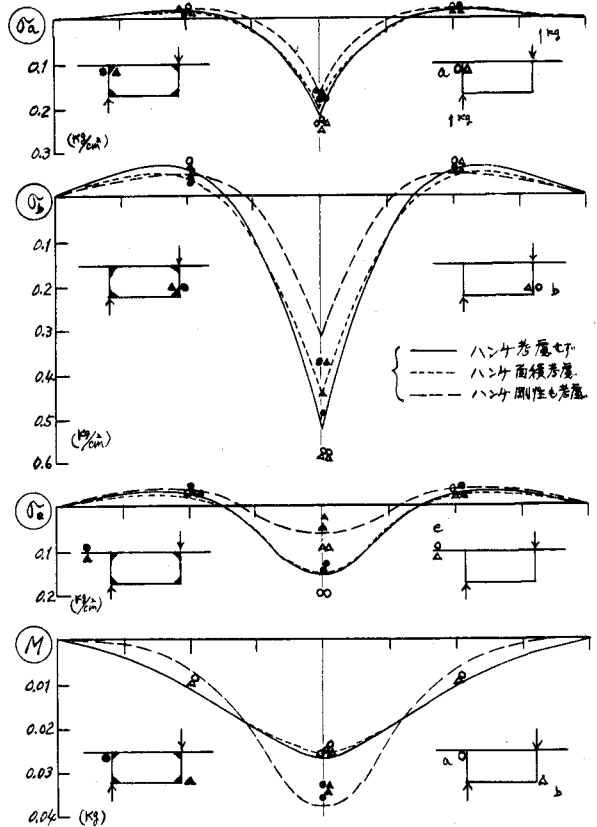


図-4.

三空箱桁のプログラムによつて折板を細分した計算結果、およびあわせて実施した実験から、せん断おくれの影響が認められ、節点の値がより大きくなってさらに一致することがわかった。次に片持部先端の測定値が板の上下面で大差を示しているのは、片持部が板としての曲げを受けるのであろう。

さらに比較のために、スパン中央およびスパン1/4点における値を表-2.に示した。実験値は測定値の平均値とし、慣用理論は変形を無視した曲げねじり理論、そのほみは、ハンチがない場合およびあ

る場合の変形を考えた著者の理論値を示した。これから次のことがわかる。

- ①、慣用の曲げねじり理論による値の5倍以上もの大きなそり応力が生じること。
- ②、そり応力をはるかに上回る応力を示すような節点曲げモーメントが生じること。
- ③、この程度のハンチによつてそり応力が減少するがその程度は20~30%であること。
- ④、ハンチの複断面積 f に加えて剛性の増大 n を少な目に仮定すればハンチを考えた理論もよく合うこと。

次にコンクリート模型による実験結果についてみると、スパンに対する折板の幅の割合が比較的大きくつたために、アクリル模型の場合とは異なつたそり応力の分布を示した。スパン中央の単位荷重に対する値を図-5.に示す。実験値は測定ひずみ小さいために精度が悪く、ばらつきが大きい。弾性限度内の荷重に対する平均値をプロットした。片持部は前記のように上下面で差が生じるから區別してプロットした。実験値が小さい、

4点でこれが顕著なのは桁端部の填充コンクリートが過大でスパン方向の変形が拘束されたこと、上面支承部の不完全さに起因したものと考えられ、まずい結果であるが参考までに記載した。

(5). ハンチの影響について

ハンチの影響を考慮した箱桁の曲げねじりに関する理論の詳細はすでに発表したが³⁾、その後の研究で簡単な二軸対称断面に仮定して計算しても大差のない結果がえられることがわかつたので、多元連立方程式による級数計算をせずに次のような簡単な式でそり応力と節点モーメントの最大値を、更にはせん断力の最大値をも知る事ができる。箱断面の高さ h 、幅 b 、腹部厚 t_1 、床版厚 t_2 として、

$$\sigma = \frac{3LP}{\pi h (t_1 A + b t_2 + 6f)} \left\{ \frac{\sqrt{nH} + nH}{2\alpha\sqrt{nH}} \Phi(x, x_0) - \frac{\sqrt{nH} - nH}{2\beta\sqrt{nH}} \Psi(x, x_0) \right\}$$

$$M = \frac{nLP}{4\pi t_1} \left\{ \frac{\sqrt{nH} + J}{2\alpha\sqrt{nH}} \Phi(x, x_0) - \frac{\sqrt{nH} - J}{2\beta\sqrt{nH}} \Psi(x, x_0) \right\}$$

上式中、 f はハンチ断面積、 $n = G_0/G$ であるから、ハンチの影響も簡単に計算することができる。

単位: kg/cm	スパン中央 ($x=x_0=\frac{L}{2}$)				スパンの1/4点 ($x=x_0=\frac{L}{4}$)			
	σ_a	$-\sigma_b$	σ_c	M	σ_a	$-\sigma_b$	σ_c	M
慣用理論	.106	.093	.113	0	.106	.093	.113	0
実験	.232	.580	.132	.0245	.270	.611	.202	.0242
本理論	.218	.527	.145	.0275	.236	.602	.193	.0267
ハンチあり								
実験	.180	.426	.094	.0340	.285	.466	.185	—
fを考慮	.201	.443	.143	.0265	.219	.510	.190	.0252
nを考慮	.183	.381	.054	.0396	.186	.395	.063	.0409
fとnの両方	.165	.319	.054	.0380	.170	.334	.065	.0392

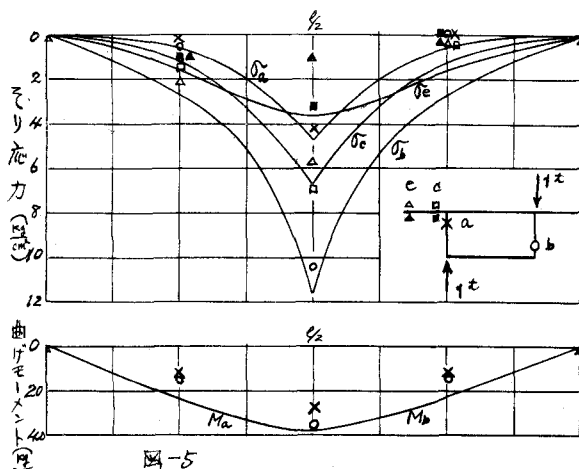


図-5

$$\begin{aligned} \text{式中 } H &= \frac{2l^2(bt_1 - ht_2)}{bht_1t_2\pi^2}, \quad K = \frac{l^2(bt_1 + ht_2)}{bht_1t_2\pi^2} \\ J &= \frac{12l^2t_1}{(1+\nu)(ht_1 + bt_2 + 6f)h\pi^2} \\ H &= \frac{48l^2}{(1+\nu)(ht_1 + bt_2 + 6f)b\pi^2} \\ \alpha &= \sqrt{\frac{\pi H + \pi K}{2}}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\pi H - \pi K}{2}} \\ G_0 &= \frac{2bt_1^2t_2^2E}{bR(bt_1^2 + ht_2^2)} \quad \dots (\text{ハンク厚の変化無視}) \\ G_0 &= \frac{2C_1C_2t_1^2t_2^2E}{3bR(C_1bt_1^2 + C_2ht_2^2)} \quad \dots (\text{ハンク厚の変化考慮}) \end{aligned}$$

荷重がスパン中央にある時、その位置では簡単になり。

$$\begin{aligned} \sigma(\frac{l}{2}, \frac{l}{2}) &= \frac{2 \sinh d\pi (\cosh d\pi - \cos \beta\pi)}{\cosh 2d\pi - \cos 2\beta\pi} \\ \tau(\frac{l}{2}, \frac{l}{2}) &= \frac{-2 \sin \beta\pi (\cosh d\pi - \cos \beta\pi)}{\cosh 2d\pi - \cos 2\beta\pi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断力も } T_{AB} &= \frac{t_1 P}{2(Rt_1 + bt_2 + 6f)} - \frac{P}{2h} \\ T_{AD} &= \frac{bt_2 P}{2R(Rt_1 + bt_2 + 6f)} \end{aligned}$$

と簡単になり、 σ , M , T ともに最大値が求まる。

これらの値をハンク断面積 f 、変形抵抗係数の増加率を変えて計算し、ハンクがない場合に対する百分率を示すと図-6(a), 図-6(b)のようになり。ただし、これはスパン 30m 、桁高 $h=1.5\text{m}$ 、幅 $b=4\text{m}$ 、床版厚さ $t_2=15\text{cm}$ と仮定した場合の1例で腹版厚さ t_1 を $15, 30, 45\text{cm}$ と変えて大差のないことを示した。

(7). おわりに

本実験によれば、断面変形を無視した曲げねじり理論をコンクリート箱桁に用いることは適当ではなく、曲げねじりを考慮する場合には断面形の変形を考慮した理論によるべきであり、ハンクの影響は小さいが、この程度の応力を問題にする場合にはここに示したような計算法も有効であると思われる。

なお、本研究は土木学会より吉田研究奨励金をいただき、室蘭工業大学能町純雄教授のご指導により、研究室各位の協力をえて実施した。ここに記して深く感謝の意を表します。

(文献)

- 1). 岡田清, 吉竹孝之: PC箱げたの設計に関する基礎的研究, 土木学会, 22回年次学術講演会, IV-34 (昭.42.5)
- 2). 能町純雄, 尾崎諒: 断面の変形を考慮した矩形箱桁のねじりについて, 土木学会, 北海道支部, 技術資料22号(昭.41.2)
能町純雄, 尾崎諒: 一室箱桁における中央隔壁の曲げねじりに対する影響, 土木学会, 21回年次講演会, IV-36 (昭.41.5)
尾崎諒, 能町純雄: 張出部を有する箱桁の断面変形を考えた曲げねじりについて, 土木学会, 22回講演会, I-112 (昭.42.5)
- 3). 尾崎 諒: コンクリート箱桁の曲げねじりにおけるハンク等の影響について, 土木学会北海道支部, 論文集24号 (昭.43.2)

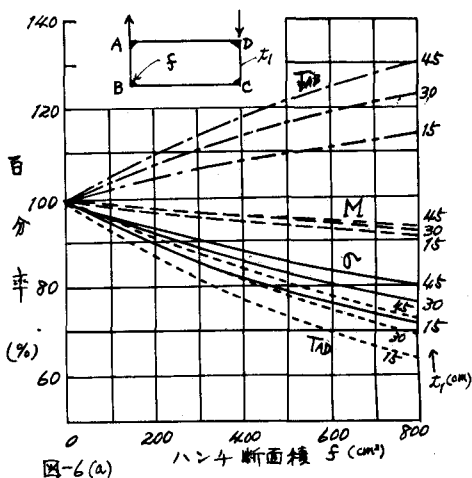


図-6(a)

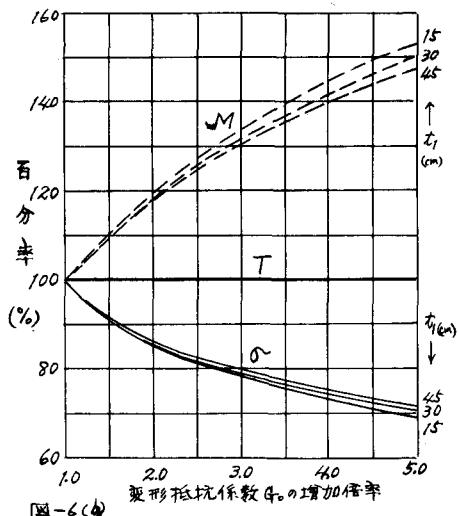


図-6(b)