

東京都立大学工学部 正員 伊藤文人
 国鉄構造物設計事務所 " O 阿部英彦
 川崎重工橋梁設計部 " 佐野信一郎

1. まえがき 鉄道橋としての下路プレートガーダーの曲げ圧縮に対する安定については、従来程度のスパンの桁では鋼鉄道橋設計標準に従って圧縮フランジの板要素としての座屈および横桁間の横座屈に留意して設計すれば十分であったが、近年スパンの長いものが要求されるようになると橋桁全体としての曲げねじり座屈に対する安全度も確認する必要が生じてきた。この問題については横荷重やレール位置も関連して理論も複雑であり、今のところ明確な規定がなく、設計標準でも橋桁の幅スパン比の規定が関連しているだけである。そこで、本研究は比較的基礎的な実験から始めて、全体座屈に対する換算方法を検討するためのものである。実験は予備実験と座屈実験にわけられ、前者では桁断面のねじり剛性、せん断中心位置の確認および横構部材の影響を調べ、後者では全体座屈強度を測定の対象とした。

2. 模型桁 実験に使用した模型は表-1のとおりである。下路プレートガーダー鉄道橋を模したものでいずれも等断面であり、I形主桁、ダイヤフラムおよび下横構から構成されている。予備実験用模型には、スパン中央および端部に載荷用のウイングをとりつけてある。なお、模型に使用した鋼板はSS41相当である。

3. 実験要領 予備実験は座屈実験の照査計算に用いる桁断面の諸定数を求める目的であり、集中荷重による曲げ試験および偏心荷重によるねじり試験である。ねじり試験では、桁の中央部ねじりおよび端部ねじりにより、ねじりモーメントと回転角の関係からねじり定数 K および I_w を求める。また、曲げ試験では、鉛直曲げおよび水平曲げにより、曲げ剛性 I_x および I_y を求めると共に、せん断中心の位置を求める。実験要領を図-1に示す。

表-1 実験模型

	番号	スパン(模型長)	断面形状
予備 実験	P-1	1600(1740)	
座 屈 実 験	B-1	4000(4140)	
	B-2	4960(5100)	
	B-3	5920(6060)	
	B-4	6880(7020)	
	B-5	7840(7980)	

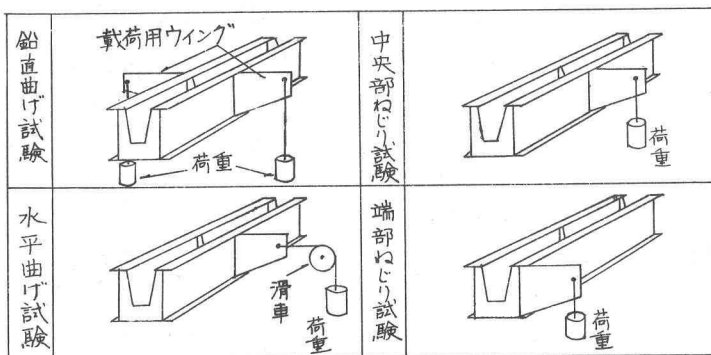


図-1 予備実験要領

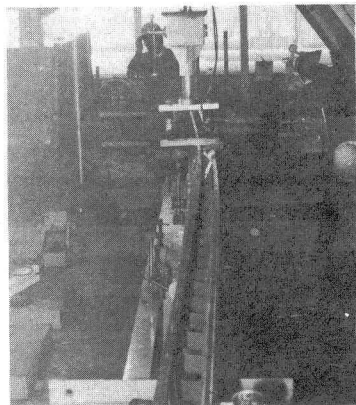


写真-1 座屈実験状況

座屈実験は油圧ジャッキにより、模型桁の支間中央に集中荷重を載荷し、桁に全体座屈を起こさせた。なお、荷重は、座屈による桁の回転にかかわらず、常に鉛直方向にかかる機構になっている。

4. 実験結果および考察 表-2に予備実験で求めた模型桁の断面定数と計算値との比較を示す。この表の計算値は横構とウラジフの換算異方性弾性板として求めた。なお、ダイヤフラムの影響は無視している。水平曲げ試験により求めた Y 軸に関する曲げモーメント I_y およびせん断中心位置 S_y については計算値とかなり異なる

ため、一部計算値を用いた算定結果を併記する。この原因はここで用いた計算値は横構によって構成される平面トラスのせん断力の影響を考慮していないためであり、横構の分担するせん断力が大きくなると、変形によりみかけの I_y は非常に小さくなり、せん断中心の位置もこのせん断力と無視した場合より重心に近くなる。また、この場合、主桁と横構のせん断力の分担比によりせん断中心の位置は変わってくるので、実験で求めたせん断中心位置は桁全長にわたって平均的なものと考えらるべきである。

また、St. Venant ねじり定数 K_T は計算値よりかなり大きい、これはダイヤフラムのねじれ、主桁の相対移動および横構のせん断変形の相互作用がねじり剛度を大きくしたものと考えられる。曲げねじり剛性 I_w については、 K_T が計算値と実験値でかなり差があるにもかかわらず、比較的よく一致した。これはこの実験の断面形状では K_T よりも I_w の方が支配的なためと考えられる。

予備実験では全般的に支承の移動が認められ、これが実験結果にかなりの影響を及ぼしたものと推定される。

座屈実験はそれぞれの模型桁について2回、載荷を行ない座屈させた。座屈はいずれも弾性域内で起り、フランジ等の局部座屈は生じなかった。座屈実験の結果及び理論値との比較を表-3に示す。座屈荷重の実験値は、荷重-ねじれ角曲線の漸近線を Kármán の方法で求めることにより決定した。また、この表の理論値は次の Clark, J. W. & Hill, H. N. の式を用い、表-2の断面定数の計算値及び実験値のそれぞれの値を用いて計算した。

$$C_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_y}{S_x (kL)^2} \left[C_2 g + C_3 j + \sqrt{(C_2 g + C_3 j)^2 + \frac{I_w}{I_y} \left(1 + \frac{G K_T (kL)^2}{\pi^2 E I_w} \right)} \right]$$

ここで、 $C_1 = 1.35$, $C_2 = 0.55$, $C_3 = 2.5$, $k = 1.0$

g : せん断中心から荷重作用点までの距離

S_x : 圧縮フランジ断面定数

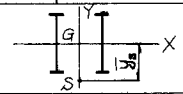
$$j = -\bar{y}_s + \frac{1}{2 I_x} \int_A y (x^2 + y^2) dA$$

また、図-2は表-3の値を模型桁の降伏モーメントを用いて無次元化して比較したものであるが、この結果によれば、座屈荷重の実験値は、B-1及びB-4の1回目の実験を除けば、計算値の断面定数による理論曲線に極めてよく一致し、実験にもとづく理論曲線よりかなり小さい荷重で座屈している。

5. あとがき 実験にもとづく断面定数による理論曲線が座屈荷重の実験値とかなり異なる事については、予備実験に問題があると共に、 I_y や $\bar{y}_s$ が横構のせん断変形の影響を受けているとすれば、この場合、上記の理論式を使うことにも問題があり、さらに検討を要する。

最後に本研究に協力された国鉄構造物設計事務所 阪本氏、研究の推進にあたられた国鉄東京第一工務局技術管理課の各位、並びに実験の実施にあたられた川崎重工橋梁設計部の各位に感謝の意を表する。

表-2 模型桁の断面定数

	計算値	実験値
断面定数		
$A (cm^2)$	9.94	9.94
$I_x (cm^4)$	319.05	322
$I_y (cm^4)$	160.09	46.2 (137)*
$K_T (cm^4)$	0.3096	0.580
$I_w (cm^6)$	5264.5	5900
$\bar{y}_s (cm)$	13.6	7.5 (14.4)*

注) 横構の換算板厚は0.37 mm

(*) 内数値は一部計算値を用いた算定結果

表-3 座屈実験結果 単位 Kg

桁番号	実験回数	最高荷重	座屈荷重	理論値(1)	理論値(2)
B-1	1	900	900	393	817
	2	385			
B-2	1	219	225	231	503
	2	240			
B-3	1	160	160	155	350
	2	135			
B-4	1	410		114	263
	2	975			
B-5	1	625	605	89	208
	2	513			

注) 理論値(1)は断面定数の計算値に、
(2)は断面定数の実験値に基づく。

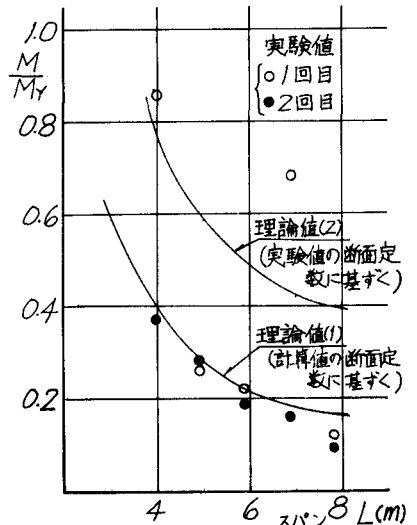


図-2 座屈実験結果