

I - 4

薄肉U断面曲線桁の
全体横倒れ座屈の解析と実験

北海道大学工学部	正 員	渡辺 昇
北海道大学工学部	正 員	及川 昭夫
北海道大学工学部	学生員	渡辺 亮
(株)旭鉄工所	正 員	篠崎 紘一
(株)北海道土木設計	正 員	大村 登喜夫

1. まえがき

近年の橋梁設計においては、曲線桁が実用、景観の面から多く採用されるようになった。橋梁における桁の座屈として全体横倒れ座屈があるが、この座屈は断面形状によって座屈荷重が大きく変わり、特にせん断中心が重心よりも下にある逆π断面の場合小さな荷重で横倒れ座屈を起こしやすい。直線桁の横倒れ座屈理論は過去に確立されており、座屈荷重は容易に計算し得る。しかし曲線桁の横倒れ座屈解析は意外に行われておらず、その算出法は困難である。本論文では、薄肉U断面桁を用いて、スパン中央集中荷重による直線桁の横倒れ座屈荷重を測定し、同断面で半径を変えた曲線桁で直線桁と同じ載荷方法で実験をし、解析を行ったので、その概要を報告するものである。

2. 実験供試体

実験供試体は、 $H = 240\text{mm}$ のU型鋼に上フランジを溶接し、50cm間隔にダイヤ

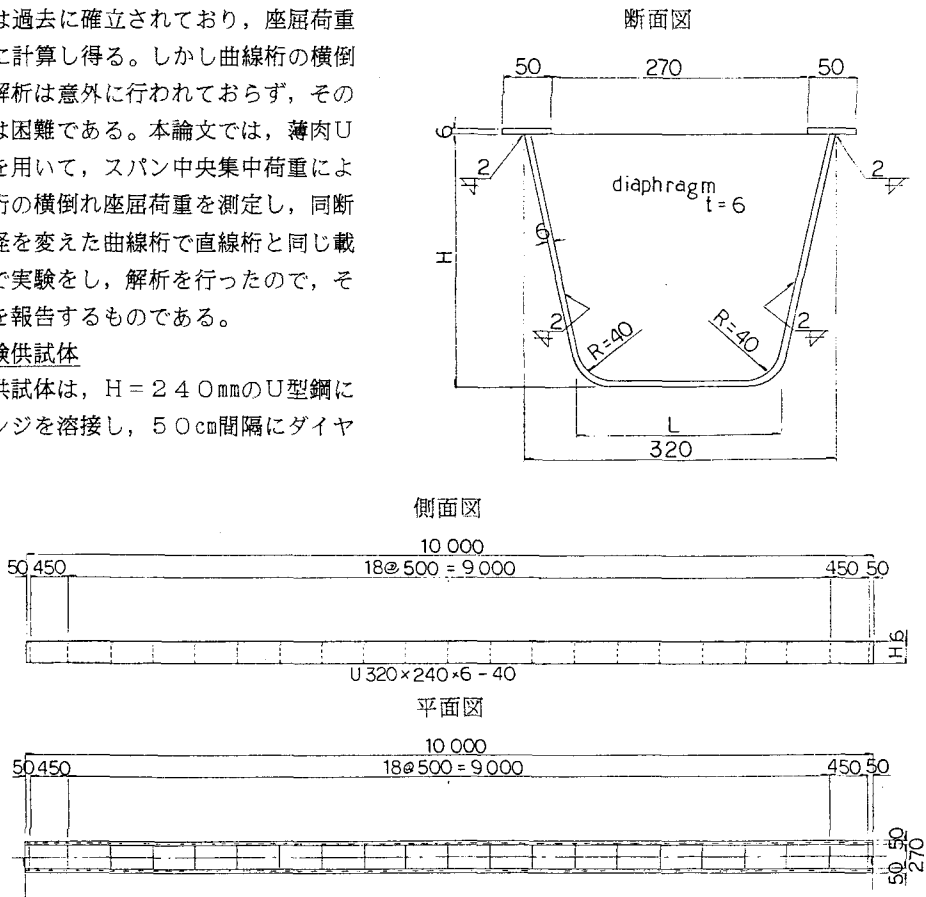


図-1 実験供試体

Analytical and Experimental Study of Latelal Bucking for U Shaped Curved Steel Girder
by Noboru WATANABE, Akio OIKAWA, Ryo WATANABE, Kouichi SINOZAKI, Tokio OOMURA

フラムを取り付けた。その構造図を図-1に示す。尚、桁は、表-1に示す半径の違う4種類を用い、支承はGABEL支承を用いた。

3. 実験方法

スパン中央集中荷重とし、載荷装置は鉛直荷重に対し、主桁のねじりを拘束しないヒンジの構造とした。そして100kgごとの変位を測定した(写真-1)。

4. 実験結果と解析

4本の桁のそれぞれの測定値から、荷重-水平変位、荷重-鉛直変位、荷重-ねじり角のグラフを得た。その結果を図-2、図-3、図-4に示す。尚、実線は実測値を最小二乗法で最適化したものである。実験による直線桁の全体横倒れ座屈荷重は1370kgであった(写真-2)。曲線桁は直線桁のような全体横倒れ座屈は起きず、全体としてねじれながら変位していく(写真-3)。そしてその変位曲線は、直線桁の全体横倒れ座屈荷重の値に漸近していくことが図-2、図-3、図-4から推定できる。

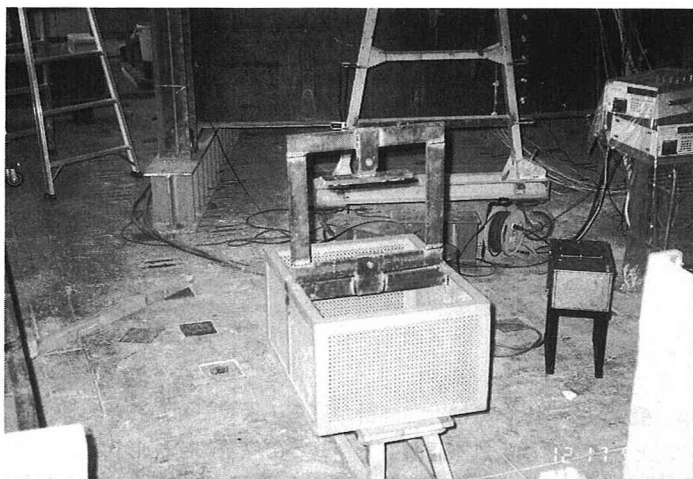


写真-1 載荷装置



写真-2 全体横倒れ座屈

半径	本数
$R = 100\text{ m}$	1
$R = 150\text{ m}$	1
$R = 200\text{ m}$	1
$R = \infty$	1

表-1

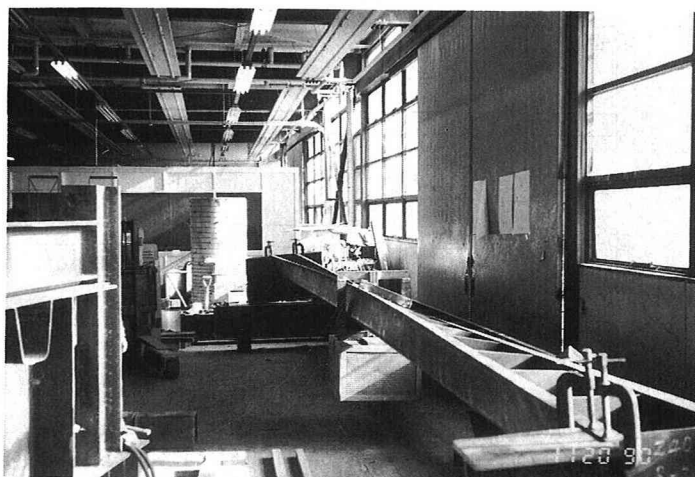


写真-3 曲線桁載荷

荷重 (kg)

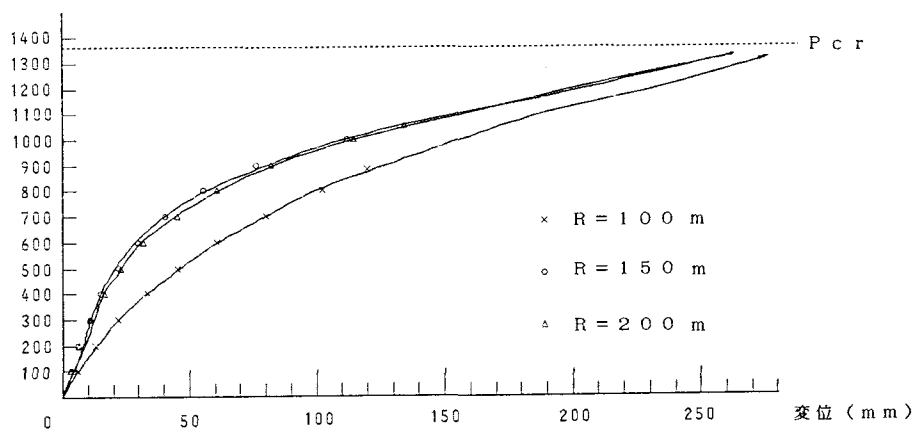


図-2 荷重-水平変位

荷重 (kg)

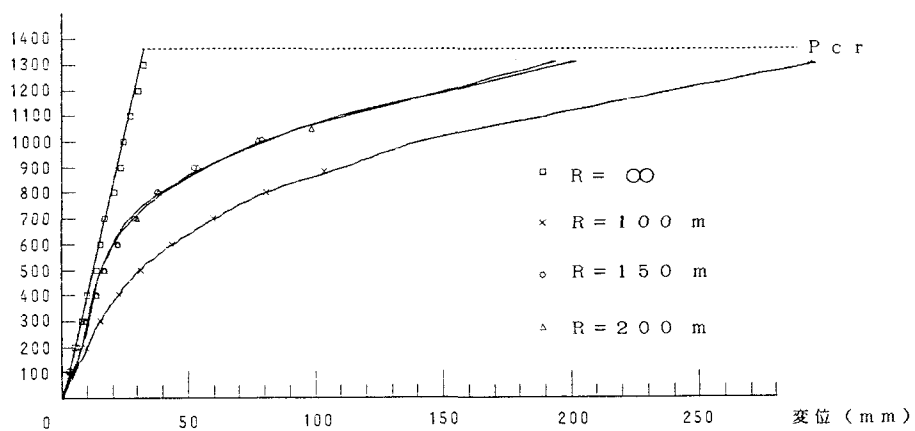


図-3 荷重-鉛直変位

荷重 (kg)

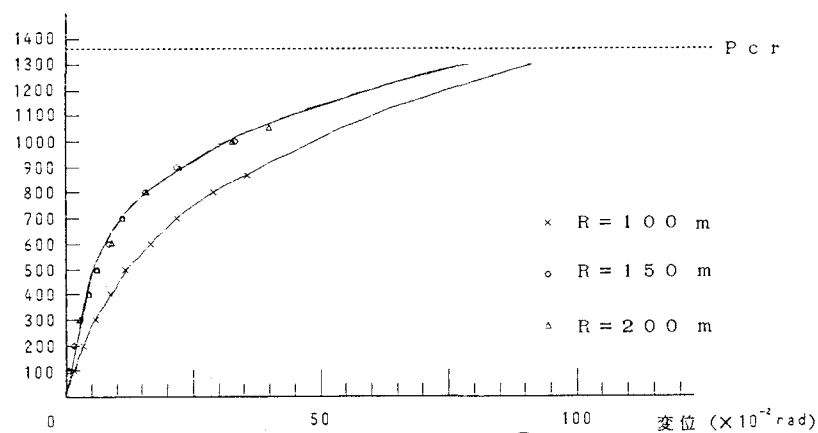


図-4 荷重-ねじり角

5. 全体横倒れ座屈荷重の理論値

一軸対称断面桁の横倒れ座屈の基本微分方程式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} E J_Y \cdot u_s - E J_Y \cdot y_H \cdot \phi - (M_K \cdot \phi)'' + P \cdot u_s'' &= 0 \\ -E C_H \cdot \phi + G J_D \cdot \phi'' - P \cdot i P^2 \cdot \phi'' - r_K \cdot (M_K \cdot \phi')' + E J_Y \cdot y_H \cdot u_s \\ -E J_Y \cdot y_H^2 \cdot \phi + M_K \cdot u_s'' + p(Z) \cdot e^*(Z) \cdot \phi &= 0 \end{aligned}$$

ここに、E：弾性係数、G：せん断弾性係数、 J_Y ：y軸まわりの断面二次モーメント、 C_H ：ねじり定数、 J_D ：純ねじり定数、 r_K ：断面二次半径、P：軸力、 $p(Z)$ ：等分布荷重、 M_K ：曲げモーメント、 e^* ：載荷点から重心までの距離、 y_H ：重心からせん断中心までの距離を表す。

上式より、スパン中央集中荷重の横倒れ座屈の微分方程式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} E J_Y \cdot u_s - E J_Y \cdot y_H \cdot \phi - \left(\frac{K}{2} \cdot \phi\right)'' &= 0 \\ E C_H \cdot \phi + E J_Y \cdot y_H^2 \cdot \phi - E J_Y \cdot y_H \cdot u - G J_D \cdot \phi'' \\ + r_K \cdot \left(\frac{K}{2} \cdot \phi'\right)' - \frac{K}{2} \cdot u_s'' - \frac{K}{L} \cdot e^* \cdot \phi &= 0 \end{aligned}$$

上式の微分方程式を解くと、

$$P_{CR} = \frac{B + \sqrt{B^2 + C^2}}{0.5772}$$

ただし、

$$\begin{aligned} B &= \left\{ 0.5000 + \frac{1}{y_H} \left(\frac{r_K}{8} - \frac{r_K \pi^2}{32} - \frac{e^*}{4} \right) \right\} \cdot E J_Y \cdot y_H \cdot \frac{\pi^4}{4 L^3} \\ C^2 &= 0.011544 \cdot \frac{E J_Y \pi^4}{16 L^4} \cdot \left(\frac{E J_Y \pi^4}{L^2} + G J_D \pi^2 \right) \end{aligned}$$

ここで断面諸元を示す。

$$\begin{aligned} y_H &= -20.7 \text{ cm}, J_Y = 7168 \text{ cm}^2, r_K = 10.7 \text{ cm}, e^* = 17.0 \text{ cm} \\ J_D &= 5.7 \text{ cm}^4, L = 990 \text{ cm}, E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, G = 0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ C_H &= 1.9877 \times 10^5 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$

以上の値を代入し、全体横倒れ座屈荷重 $P_{CR} = 1317 \text{ kg}$ を得た。

6. あとがき

以上の結果より、直線桁の全体横倒れ座屈荷重の実測値と理論値がほぼ一致し、曲線桁の荷重－水平変位、荷重－鉛直変位、荷重－ねじり角の実験値は、直線桁の全体横倒れ座屈荷重に漸近していくことがわかった。

終わりに、本実験の実施にあたり、北海道大学工学部橋梁学講座助教授佐藤浩一氏、同助手小幡卓司氏、ならびに研究室の諸氏に大変お世話になり、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺 昇：橋梁工学，朝倉書店，1974
- 2) 林 義悦，渡辺 昇：薄肉断面桁橋のパソコンによるそりねじり解析
土木学会北海道支部論文報告集第45号，1989
- 3) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会編
北海道における鋼道路橋設計及び施工指針，1989
- 4) G.BÜRGERMEISTER/H.STEUP:STABILITÄTSTHEORIE，1957