

日本鋁管

正会員 米原隆三

日本鋼管

正會員○加納勇

1. フラガキ

鉄骨コンクリート桁の曲げ剛度の評価法を得るべく、単純桁に対する曲げ載荷試験と弾塑性解析を行ったが、その結果、実験値と理論値との間に、剛度にして約15%程度の違いが出た。その要因について、

- 1) 上フランジ下側(裏側)部分へのコンクリート打ち込みが不完全なため。
- 2) 理論計算では、鋼とコンクリートとが完全合成であるとしているため。
- 3) 実際に打ち込まれたコンクリートの評価が困難なため。

算、が考えられる。そこで、鋼とコンクリート間のすべりを考慮した、即ち要因2)の立場に立った弾性式を求めることになった。これまで合成桁(橋梁)の不完全合成を考慮した剛度評価法はいくつか発表されているが、鉄骨コンクリート桁については、あまり例をみない。このあたりの実績について、たゞ要因2)のみに立脚して考えることが正しいかどうか、問題を名証が、剛度評価の一大法として発表することにした。

2. 曲率圆度

実際、鋼とコンクリートとの間に、“ずれ”が
発生すれば、曲げ剛度（鋼換算断面2次モーメント
 I_{vs} ）は格軸方向（ α ）変化することになり、近似
的にこれを一定値に評価しようとすることは理論
上かなりの無理を行うことになる。

まず、次のような基本的な仮定を行う。

- 1) コンクリート及び鋼は、それぞれ独立に平面の保持を行う。
- 2) コンクリート及び鋼は、任意断面において同一の曲率中心をとる。
- 3) コンクリートは弾性体で、引張り応力は受けもたない。
- 4) コンクリートと鋼とは“すれはね”で結ばれ

ている。すれせん断応力 τ_{bs} とすれ δ_a とは線形的な $\tau_{bs} = -K \cdot \delta_a$ の関係をもつ。K は比例定数 (kg/mm^3)。任意断面における応力と、外力 N , M_{ps} (P_2 点に関して) との釣り合い関係より、次の式を得る。尚 $N = 0$ 。

$$\int_{A_r} \sigma_c \, dA + \int_{A_s} \sigma_s \, dA = 0 \quad (1) \quad \therefore \frac{b}{2\eta} (y_0 - e)^2 + A_s (y_0 - d) = 0 \quad (2)$$

任意点 y_d 点の鋼とコンクリートのひずみを ε_{sd} , ε_{cd} とすれば、これらと δ_d との間に次の関係がある。

$$\varepsilon_{sd} = \frac{M_{ps}}{E_s I_{vs}} (y_d - y_0 + e) \quad (6) \quad \varepsilon_{cd} = \frac{M_{ps}}{E_s I_{vs}} (y_d - y_0) \quad (7)$$

$$\frac{d}{dx} \delta_d = \varepsilon_{cd} - \varepsilon_{sd} \quad \therefore \frac{d}{dx} \delta_d = \frac{e}{E_s I_{vs}} M_{ps} \quad (8)$$

任意断面の鋼側に働く軸力を N_s とすれば、鋼側に働く圧せん断応力 τ_{bs} と次の関係をたつ。

$$N_s(x_0) = \int_{A_s} \sigma_s dA = \int_0^{x_0} \oint \tau_{bs} ds dx + N_{s0} \quad (9)$$

ここで、 $\oint$ は鋼とコンクリートとのせん断境界での積分を意味し、 N_{s0} は境界値 ($N_s(x=0)$) である。

(8) から、 δ_d は x のみの関数であることがわかり、さらに $\oint ds$ を定数 L_c とすれば、仮定4) より、

$$\frac{E_s}{\rho_s} A_s (d - y_0) = -R L_c \int_0^{x_0} \delta_d dx + N_{s0} \quad \text{を得る。} \quad (10)$$

さて、外力が対称的に働き、モーメント M_{ps} が次のような形で表現できるとする。

$$M_{ps} = \sum_{i=1,3,5,\dots} M_i \cdot \cos(i\pi / l \cdot x) \quad l: \text{スパン} \quad (11)$$

さらに、 δ_d 分布を得るため、次のような仮定を行う。

$$\delta_d = \sum_{i=1,3,5,\dots} D_i \cdot \sin(i\pi / l \cdot x) \quad (12) \quad e / I_{vs} = \text{const.} \quad (13)$$

上記仮定をとりとして、(8) より

$$D_i = \frac{1}{i} \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \frac{e}{E_s I_{vs}} \cdot M_i \quad \text{を得る。} \quad (14)$$

結局 (14) を (12) に代入して得られる δ_d を (10) に代入し、境界値 $N_s(x=\frac{l}{2}) = 0$ と考慮すれば、

$$e = \frac{E_s A_s}{R L_c (\frac{l}{2})^2} (d - y_0) \cdot \frac{\sum M_i \cos \frac{i\pi}{l} \cdot \frac{l}{2}}{\sum (\frac{1}{i})^2 M_i \cos \frac{i\pi}{l} \cdot \frac{l}{2}} \quad \text{を得る。} \quad (15)$$

このままでは、有用な式とはなりえないから、第1項 ($i=1$) のみ採用することにし、(15)、(2) を整理して

$$e = \mu (d - y_0) \quad (16) \quad \mu = \frac{E_s A_s}{R L_c (\frac{l}{2})^2} \quad (17)$$

$$y_0 = \frac{1}{(1+\mu)^2} \left[-\left\{ \frac{n A_s}{b} - (1+\mu) \mu d \right\} + \sqrt{\left\{ \frac{n A_s}{b} - (1+\mu) \mu d \right\}^2 - (1+\mu)^2 \left\{ \mu^2 d^2 - \frac{2 n A_s d}{b} \right\}} \right] \quad (18)$$

を得る。実験的に R が求まれば、上式より e , y_0 を得ることができ、 I_{vs} は (5) によって求めることになる。

3. 実験値と理論値

試験体、載荷法及び測定点を図-2、図-3に示す。試験体は4種類、各1体の4体で、その鉄骨は、板厚9mm、材質SS41鋼板(弾塑性解析の σ - ε 曲線は、JIS 1号引張試験結果をとり完全弾塑性形とした)のビルトアップによりなっている。コンクリートは最大粒径20cm、スランブ10cm、 $\sigma_c = 24.0 \text{ kg/cm}^2$ の仕様内容をもつ早強コンクリートで、材質51日のツリンダ-強度試験による σ - ε 曲線と弾塑性解析に使用した2次曲線を図-4に示す。

図-5に実験値の荷重 P -たわみ δ 曲線、及び弾塑性解析により得た P - δ 曲線を示すが、鉄骨コンクリート弾塑性解析が、その弾性域内において実験値のそれより高い値(約15%高)を示していることに気づく。

この解析は、付帯的なものであったため、本質的な試験である R を求めるための押し抜きせん断試験を行っていない。しかし、この種の報告によれば、 R はかなり広い範囲での値を示しており、ほぼ $10 \text{ kg/cm}^3 \sim 200 \text{ kg/cm}^3$ である。試験体の有効付着長 L_c は上フランジ下面の部分を無視して81cmとし、これにより R を変化させ、 μ , I_{vs} , y_0 の関係を図示したものが図-6である。図-7はひずみ分布を示すが、これより各試験体とも $y_0 = 14.5 \text{ cm}$ と読みとれる。この y_0 をとり図-6より、 $\mu = 1.08$ ($R = 42 \text{ kg/cm}^3$)、 $I_{vs} = 6650 \text{ cm}^4$ を得る。この

図-2 試験体

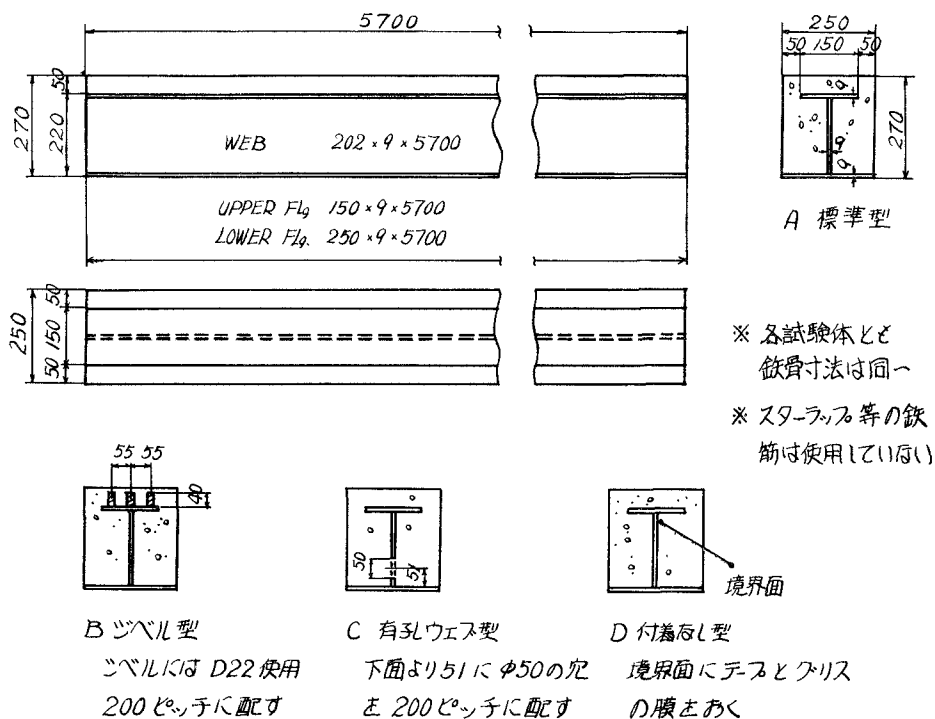
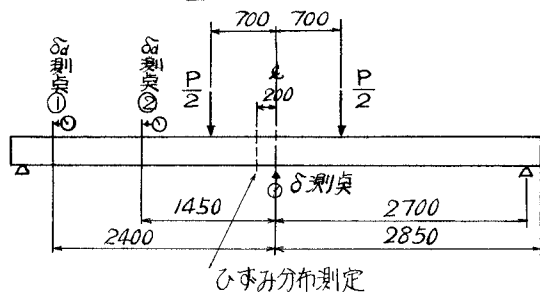
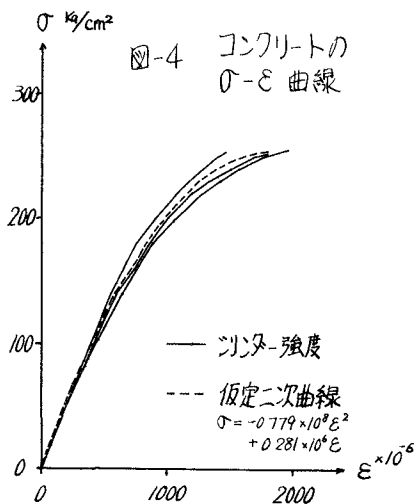


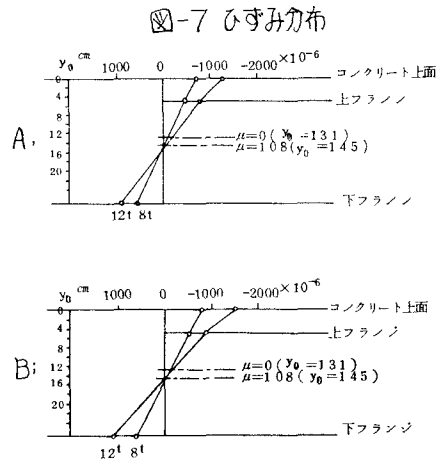
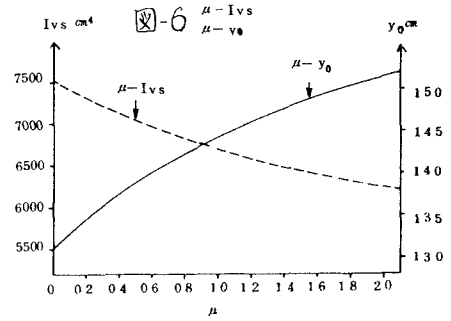
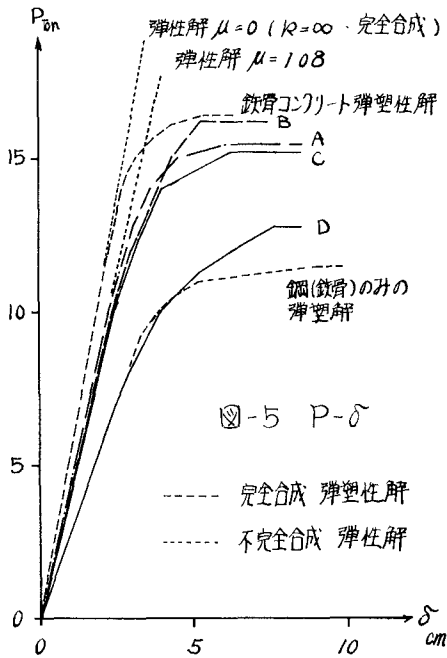
図-3 載荷法・測点



I_{vs} をもとに算出した弾性値を図-5に示すが、ほぼ実験値の示す曲線に一致する。尚 $\mu = 0$ (完全合成) での弾性値と同時に示すが、これは弾塑性解析の示す曲線に一致している。図-8には、ずれ δ の荷重変化を示す。これによると実験値の傾向として、次のようなことを示している。測点①より②の方がより大きなずれを見せている(とくにBは顕著、A、Cについては完全なずれの発生後、これは逆転し理論上仮定したひずみ分布と同一傾向となる)。4試験体とも特徴あるずれ曲線を示しており、これは破壊耐力に係している。又、これに対し弾性解は、A、B、Cに比べ大きなずれ量を示している。これは、簡易的な曲率剛度の評価にこの解析の目的があったが、そのあまり、ひずみ分布、 δ とコンクリートの塑性との機構、等十分に評価し切れない虞のありわれとと思われる。しかし、ずれを考慮した簡易式としての有用性はあるから、さらに改良を

図-4 コンクリートの σ - ϵ 曲線

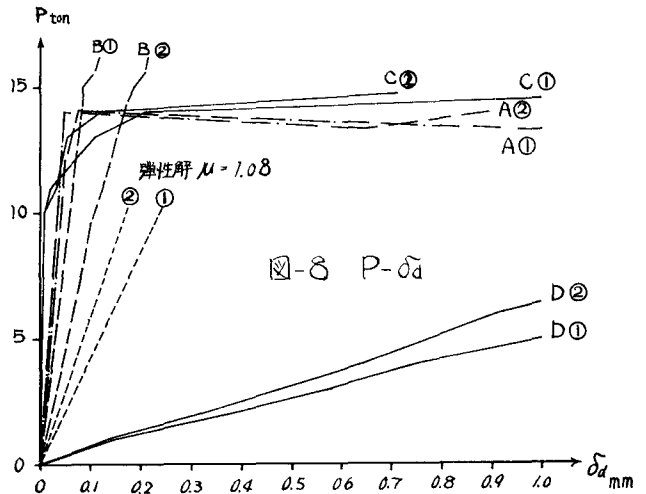




加えることにより、実用化への期待はもてる。

4. あとがき

コンクリートの塑性(鉄骨コンクリート桁では、コンクリート面積比が高いため合成桁であつた以上この考慮が必要と思われる)、すれとすれせん断応力との関係、すれ破壊、等束は解析上、深い問題を含んだ例であろうかと思ひます。今回、その必要性から強引にもすれを考慮した弾性簡易式として、一定断面2次モーメント I_{vs} の評価を行ったが、今後さらに上記の点を考慮した解析、評価法を少しなりとも進めていく所存であります。



参考文献

- 若林史, 高田周三, 有藤光 「鉄骨鉄筋コンクリート構造(建築構造学大系)」 彰国社
山本稔 「不完全合成桁の曲げ理論」 土木学会論文集才67号
橋善雄, 足立義雄 「不完全合成桁について」 土木学会論文集才112号
佐々木道夫, 高尾孝二 「弾性合成構造の計算法」 橋梁と基礎 1973.12~1974.2