

PCはりの衝撃強度に関する一考察

京都大学 正員 工博 岡田 清
尾道東高校 正員 ○ 久良 佐代彦

1. まえがき

静的荷重下におけるPCはりの挙動についてはかなり多くの研究がなされているが、衝撃のような動荷重下の挙動についての研究はきわめて少ない。G. K. Wadlin らがカーネギ工科大学において、同一設計荷重に対して設計したRCおよびPCはりに 3.2 m/sec へ 4.2 m/sec の衝撃荷重をスパン中央三分点に与えた実験によると、完全破壊したはりではPC、RCはりのいずれの場合も破壊強度が等しい場合にはほとんど同量のエネルギー吸収を示したこと、また圧壊しはじめから完全破壊に至るまでの時間はPCはりではRCはりのほぼ $1/2$ であること、ductilityの少ない高強度鉄筋やPC鋼を用いてもこれらの鋼の切断は生じなかったこと等を報告し、PCはりの衝撃強度はRCはりに比し必ずしも劣るとはいえないといっている。本報告ではPC単純はりに重錘落下させた場合のはりの破壊荷重について一考を加え、実例と比較を試みたものである。

2. 降伏曲線モーメントをうけたときのPCはりの挠み

図-1(a) のようにスパン全長で同一断面強度をもつPCはりで中央集中荷重によりスパン中央断面で降伏した場合のはりの挠みは、図-1(b) のように弾性荷重 θ を計算することによって近似的に容易に求めることができる。図-1(b) で

$$\theta_c = \frac{M_c}{EI} : \text{ひびわれモーメント } M_c \text{ による弾性}$$

荷重、 M_c は断面寸法、有効プレストレス σ_{pe} 、コンクリートの曲下引張強度 σ_b が与えられれば容易に求められる。

$M_c = (\sigma_b + \sigma_{cpt}) Z_c$ (Z_c : 下縁に対する断面係数) である。

$$\theta_y = \frac{(E_{py} - E_{pt}) + (E_{cy} - E_c')}{l} : \text{降伏モーメント } M_y \text{ による弾性荷重}$$

ここに

E_{py} : PC鋼材の降伏時のひずみ

E_{pt} : PC鋼材の有効緊張力によるひずみ

E_{cy} : 降伏時のコンクリートの圧縮ひずみ

E_c' : 有効プレストレスによる圧縮ひずみ

l : 圧縮縁からひびかれたPC鋼材の距離

したがって荷重点の荷重挠み曲線 $P-\delta$ も

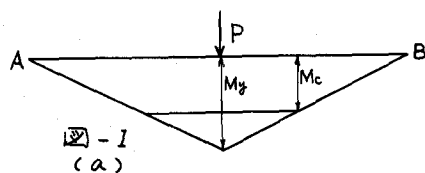


図-1 (a)

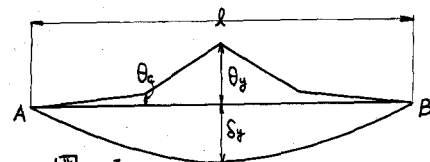


図-1 (b)

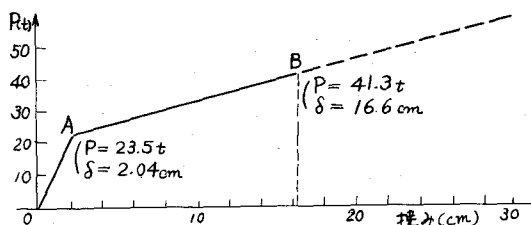


図-2. $P-\delta$ 曲線 (荷重点…スパン中央)

一例を述べば図-2のように近似的に定めることができる。

3. 降伏曲線モーメントをもたらし落下荷重

重量 W の物体が高さ h からはり中央に落下して、はりに最大撓み δy を生じたとする。この場合はりの $P-\delta$ 曲線は動荷重に対しても静荷重同様の挙動を示すと仮定する。しかるに落下物体の仕事量 $W(h+\delta)$ と PC はりの $P-\delta$ 曲線のこの面積 $f(\delta)$ は等しくなければならぬから、

$$W(h+\delta) = f(\delta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

つぎに重錘 W の衝撃直前の速度を v 、 PC はりの重量を m とすれば、衝撃瞬間の重錘とはりの合速度は、

$$va = \frac{W}{W + (17/35)m} \cdot v \quad \dots\dots\dots (2) \quad \text{ただし } v^2 = 2gH$$

したがって全運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}va^2 (W + \frac{17}{35}m) = \frac{Wv^2}{2g} \frac{1}{1 + \frac{17}{35} \frac{m}{W}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)と式(1)に代入して、

$$\frac{Wv^2}{2g} \frac{1}{1 + \frac{17}{35} \frac{m}{W}} + W\delta = f(\delta) \quad \dots\dots\dots (4)$$

H : 落高

g : 重力加速度

α : 係数 ≤ 1

式(4)より降伏時のはりの撓み δy に相当する $f(\delta)$ が既知であれば、はりに降伏曲線モーメントをもたらし W の値を計算することができる。

一例として図-3のようが断面をもつポストテンション PC はりのスパン $l = 29.56m$ の中央に高さ $11.5m$ から重錘を落下する場合について計算する。つぎのとおりである。ただし材料強度、断面諸元はつぎのようである。

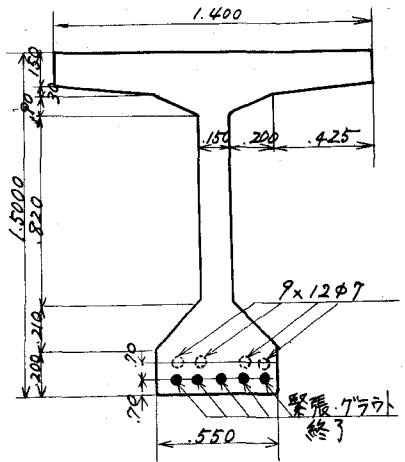


図3. PC はり断面

コンクリート $\sigma_{28} = 400 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$;

$\sigma_{th} = 40 \text{ kg/cm}^2$, PC 鋼線の降伏応力 $\sigma_{py} = 150.7 \text{ kg/mm}^2$;

$A_c = 0.5773 \text{ m}^2$, $A_s = 23.09 \text{ cm}^2$, $I = 0.1759 \text{ m}^4$.

有効プレストレス $\sigma_{pe} = 98 \text{ kg/mm}^2$, 自重および有効プレストレスによるコンクリートの圧縮応力 43 kg/cm^2 , したがって $M_{cr} = 173.8 \text{ tm}$ ($P_{cr} = 23.5 \text{ t}$), $M_g = 470.2 \text{ tm}$ ($P_g = 63.6 \text{ t}$) 自重($m = 48.14 \text{ t}$)による最大モーメント $M_d = 164.8 \text{ tm}$ となり、 M_g を与える静的荷重(中央集中)(自重を除く)は $P_{sy} = 41.3 \text{ t}$ である。試験で求めたコンクリートおよび PC 鋼線の応力ひずみ曲線より $\epsilon_{py} = 1\%$, $\epsilon_{pt} = 0.52\%$, $\epsilon_{cy} = 0.1\%$, $\epsilon_c' = 0.01\%$ を求めこれより θ_y を計算し、スパン中央点の $P-\delta$ 曲線を描けば図-2のようである。ここではりの降伏時の撓み $\delta y = 0.1664 \text{ m}$ に対する $f(\delta)$ を求めると $f(\delta) = 4.96 \text{ tm}$ つぎに重錘落下にあたって $\alpha = 0.6$ を仮定すると $v^2 = 135.04 (\text{m/sec})^2$, これらを式(4)に入れ W を求めると $W = 41.3 \text{ t}$ となる。

すなわち静的荷重 $P_{sy} = 41.3 \text{ t}$ に比べその約 $1/10$ の荷重が 11.5 m から落下することによってはりは降伏することになる。

事実、上例の PC はりは架設時ににおいてタワーの転倒による上記類似の衝撃荷重により完全に破壊されたが、PC ケーブルは破断してはいなかった。

4. おとがき

上記ではエネルギー等置の問題として PC はりの衝撃強度を考察し静的強度との比較を試みたが、はりの P-S 曲線は衝撃荷重に対しても静荷重によるものと必ずしも同一ではなく、多くの観測によると衝撃荷重に対しては E_c の上昇や最大撓みの増加等があることが報告されている。また厳密には衝撃の持続時間、IT 反力の変動等の考慮も要するわけであるが、これらについては今後とも広汎な理論的、実験的研究が必要であり、今後の発展を待ちたい。

参考文献

- 1) G. K. Wadlin & J. J. Stewart : Comparison of Prestressed Concrete Beams and Conventionally Reinforced Concrete Beams Under Impulsive Loading, J. ACI, Oct. 1961, pp 407-421
- 2) Werner Goldsmith : Impact, Arnold, London, 1960