

(I-17) 剛体・ばねモデルによるPCはりの高速载荷解析

防衛大学校 学生員○下山一貴

防衛大学校 正会員 圓林栄喜

〃 正会員 香月 智

〃 正会員 石川信隆

1. 緒言

近年、プレストレストコンクリートはり（以下PCはり）を用いた落石覆工の安全性評価をはりの弾塑性応答を前提とした破壊限界を基準として行うことが検討されている¹⁾。著者らは、PCはりの高速载荷実験を行い、曲げ耐力が急激に失われる限界状態が静的载荷と高速载荷によって、顕著に異なることを示した²⁾。本研究は、この実験を剛体・ばねモデルを用いてシミュレートする手法について検討し、安全性評価法の基礎となるシミュレーション手法の開発を試みたものである。

2. 実験の概要

実験は、図-1に示す供試体をスパン200cmの中央点線载荷の単純はり構造としたうえで、4.0m/sの等速度で载荷したものである。図-2に実験結果を示す。実験では、耐力が急激に失われる瞬間に、载荷点下部においてPC鋼線が切断していることが認められた。

3. 解析手法

解析は、剛体ばねモデルに断面分割法を組み合わせた動的解析により行った。すなわち、図-3に示すようにPCはり供試体を局部めり込みばねを無視した場合と考慮した場合の剛体はりばねモデルに置換すると、载荷点 N_p では、強制的な変位 (u_s) 、速度 $(\dot{u}_s)$ 、加速度 $(\ddot{u}_s)$ が与えられるので、次式がえられる。

$$m_{FF}\ddot{u}_F + C_{FF}\dot{u}_F + K_{FF}u_F = P_F - m_{FS}\ddot{u}_S - C_{FS}\dot{u}_S - K_{FS}u_S \quad (1)$$

(I) 局部ばね無視の場合

$$P_S = m_{SF}\ddot{u}_F + m_{SS}\ddot{u}_S + C_{SF}\dot{u}_F + C_{SS}\dot{u}_S + K_{SF}u_F + K_{SS}u_S \quad (2)$$

(II) 局部ばね考慮の場合

$$P_S = k_L(u_S - u_L) = k_L\delta \quad (3)$$

ただし、

m_{FF} : N_p に関係しない質量マトリクス、

C_{FF} : N_p に関係しない減衰係数マトリクス、

K_{FF} : N_p に関係しない材料の非線形性を考慮した剛性マトリクス

m_{SS} : N_p での質量、 C_{SS} : N_p での減衰係数、

K_{SS} : N_p での材料の非線形性を考慮した剛性、

m_{FS} 、 m_{SF} : N_p に関係する質量ベクトル、

C_{FS} 、 C_{SF} : N_p に関係する減衰係数ベクトル、

K_{FS} 、 K_{SF} : N_p に関係する材料の非線形性を考慮した剛性ベクトル、 P_F : N_p 以外の外力ベクトル、

P_S : N_p 上の外力、 k_L : 局部めり込みばね定数、 u_L : 载荷変位、 δ : 局部めり込み変位

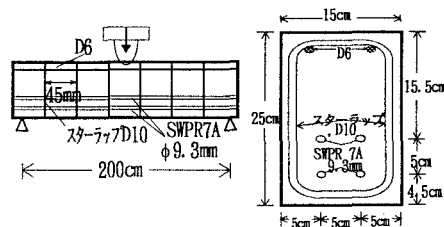


図-1 供試体

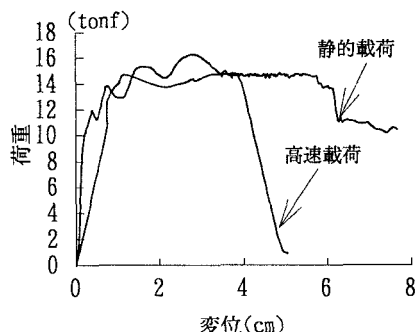


図-2 実験結果：荷重～変位関係

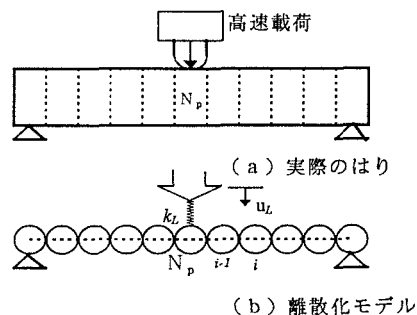


図-3 解析モデル

表-1 入力データ

時間増分 Δt	1.0×10^{-6}	s
はり重量 W	0.190	tonf
減衰定数 h	0.05	
曲げばね定数 EI	2.462×10^9	kgf/cm ²
終局曲率 ϕ_u	3.88×10^{-4}	1/cm
局部ばね定数	$k_1 = 2.2 \times 10^4$	kgf/cm
(図-4(a)参照)	$k_2 = 3.0 \times 10^2$	kgf/cm

式(1)の右辺外力ベクトル $\mathbf{P}_F$ は $\mathbf{0}$ ベクトルで、他は全てが既知数である。よって、式(1)の左辺の $\ddot{\mathbf{u}}_F, \dot{\mathbf{u}}_F, \mathbf{u}_F$ に関して、ニューマーク β 法による時間積分公式との連立1次方程式(陰解法)によって解くことができる。一方、式(2)は局部めり込みを無視した場合、式(1)で得られた $\ddot{\mathbf{u}}_F, \dot{\mathbf{u}}_F, \mathbf{u}_F$ および載荷点での $\ddot{\mathbf{u}}_S, \dot{\mathbf{u}}_S, \mathbf{u}_S$ を用いて、載荷点に作用した荷重を求める式で、また式(3)は局部めり込み考慮の荷重の式である。式(1), (2)の左辺 $\mathbf{K}_{FF}, \mathbf{K}_{SF}, \mathbf{K}_{SS}$ の算定においては、材料の非線形性を考慮するため、断面分割法を用いて解いた。その際、コンクリート要素の応力～ひずみ関係には、ひずみ速度効果を考慮した(パラボラ+軟化型)構成則を、PC鋼線には、ひずみ速度を考慮した3段階線形近似の構成則を、鉄筋にも、ひずみ速度を考慮した硬化弾塑性型の構成則を用いた²⁾。

4. 解析結果と考察

解析は20分割で、表-1に示す入力データを用いて行った。なお、局部ばね定数を図-4および入力速度～時間関係を図-5のように与え、また断面分割法による動的曲げモーメント～曲率関係は図-6のように求められ、これを曲げばね定数とした。図-7に、載荷点における上変位～時間関係と実験値とを示す。これより、局部めり込みを考慮すると、実験値をほぼ良くシミュレートできることが認められる。

図-8に荷重～変位曲線を示す。これより、局部めり込みを考慮しないときの計算値は実験値をあまり良くシミュレートできないが、式(3)による局部めり込みを考慮すると実験値をほぼ良くシミュレートできることがわかる。また終局変位(図中×印)も、はり内のPC鋼線が載荷点直下において切断というシミュレーション結果が得られ、実験の破壊形態を良好に予測できる。

参考文献

- 1) 横山功一, 大塚久哲, 金子学: 衝撃荷重をうけるPC, RC桁の破壊時挙動と変位照査法について, 構造工学論文集, vol. 38A, pp. 1543~1551, 1992年3月
- 2) 園林栄喜, 小林一隆, 香月智, 石川信隆: 高速載荷時の円形スパイラル筋で補強したPCはりの弾塑性挙動に関する一考察, 構造工学論文集, vol. 42A, pp. 1235~1246, 1996年3月

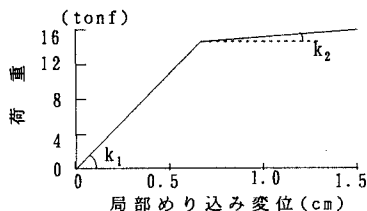


図-4 局部ばね定数

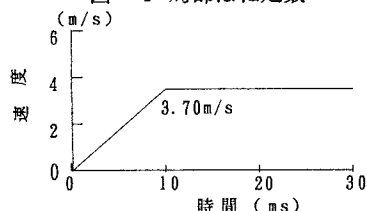


図-5 入力速度～時間関係

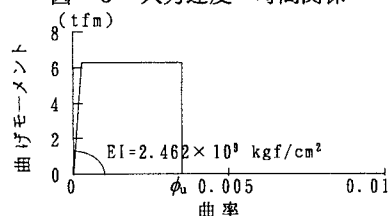


図-6 断面分割法による曲げモーメント～曲率関係および曲げばね定数

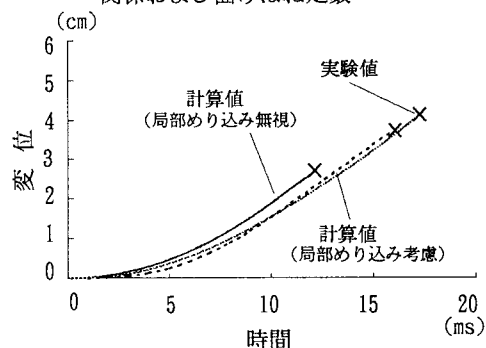


図-7 上変位～時間関係

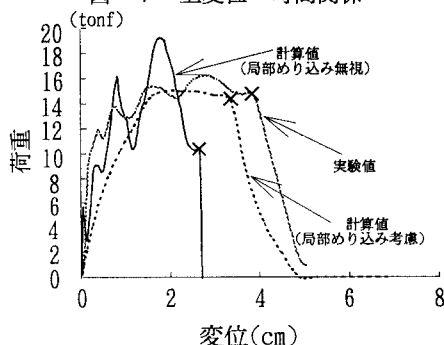


図-8 高速載荷時の荷重～変位関係