

I - B184

PCはりの限界吸収エネルギー解析

防衛大学校 工学部 ○石川信隆

同 上 正会員 園林栄喜

同 上 正会員 香月 智

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、はりの弾塑性変形による限界状態を前提とした限界吸収エネルギーを基準として行うことが検討されている¹⁾。先に著者らは、PCはりの高速載荷実験を行い、曲げ耐力が急激に失われる限界状態が静的載荷と高速載荷によって、顕著に異なることを示した²⁾。本研究は、剛体・ばねモデルを用いてこの実験をシミュレートする手法について検討し、安全性評価の基礎となる限界吸収エネルギー解析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の中央点線載荷の単純はり構造としたうえで、4.0m/sの等速度で載荷したものである。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、載荷点下部においてP C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はりを載荷点部のめり込みを考慮した剛体ばねモデルに置換すると、載荷点 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、載荷点部以外と載荷点部とに分けて次式がえられる。

載荷点部以外：

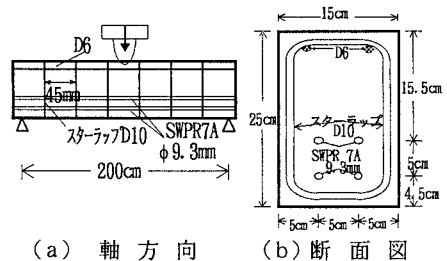
$$m_{FF}\ddot{u}_F + C_{FF}\dot{u}_F + K_{FF}u_F = P_F - m_{FS}\ddot{u}_s - C_{FS}\dot{u}_s - K_{FS}u_s \quad (1)$$

載荷点部：

$$P_s = m_{SF}\ddot{u}_F + m_{SS}\ddot{u}_s + C_{SF}\dot{u}_F + C_{SS}\dot{u}_s + K_{SF}u_F + K_{SS}u_s = k_L(u_s - u_L) = k_L\delta \quad (2)$$

ただし、

m_{FF} : N_p に関係しない質量マトリクス, m_{SS} : N_p での質量,
 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,
 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,



(a) 軸方向 (b) 断面図
図-1 供試体

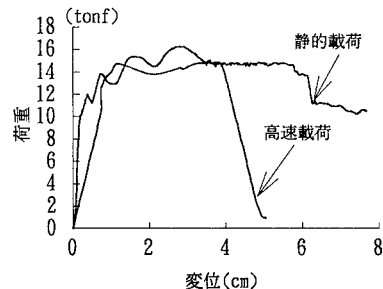


図-2 実験結果：荷重～変位関係

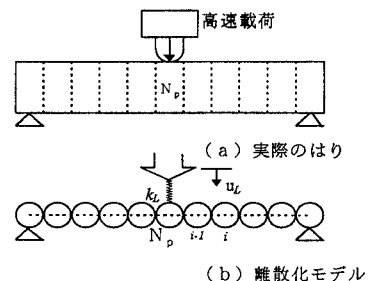


図-3 解析モデル

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
局所ばね定数 (図-4(a)参照)	$k_1 = 2.2 \times 10^4$ $k_2 = 3.0 \times 10^2$	kgf/cm

キーワード 限界吸収エネルギー、高速載荷実験、じん性

連絡先 〒239 神奈川県横須賀市走水1-10-20 電話(0468)41-3810 FAX(0468)44-5913

P_p : N_p 以外の外力ベクトル, k_L : 局部めり込みばね定数,
 u_L : 載荷変位, δ : 局部めり込み変位

式(1)の右辺外力ベクトル P_p は $\mathbf{0}$ ベクトルで, 他は全てが既知数である. 式(2)は局部めり込み考慮の載荷点荷重の式である. 式(1), (2)の左辺 K_{pp} , K_{sp} , 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～曲率関係は付着すべりを考慮(PC鋼線とコンクリート間の付着の状態を付着係数 α ²⁾で表し, 静的載荷時は $\alpha=0.4$, 高速載荷時は $\alpha=0.9$ を用いて曲げモーメントの計算を行った)して図-6のようにモデル化し, これを曲げばね定数とした.

図-7に荷重～変位曲線を示す. これより, 高速載荷および静的載荷時とも実験値をほぼよ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.

さらに限界吸収エネルギーを図-7の荷重～変位関係から積分して求めると表-2のようになり, 解析結果は高速および静的載荷時とも実験結果よりやや小さいが, 解析的に限界吸収エネルギーを安全側で求めることにより, PCはり部材のエネルギー基準に基づく限界状態設計に対する基礎的資料を提供することができるものと思われる.

参考文献

- 1) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法, 第5篇 落石覆工の設計法, 構造工学シリーズ6, 1994年1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

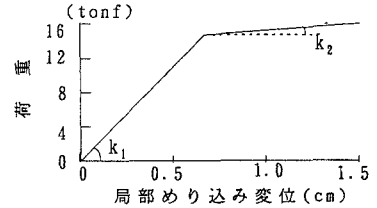


図-4 局部ばね定数

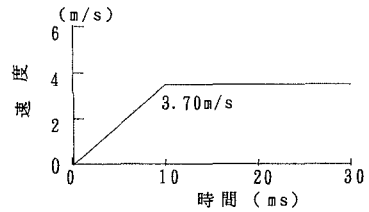


図-5 入力速度～時間関係

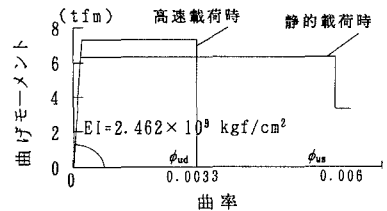


図-6 断面分割法による曲げモーメント～曲率関係および曲げばね定数

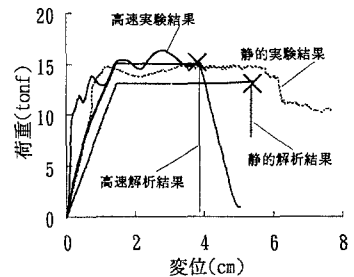


図-7 高速載荷時の荷重～変位関係

表-2 限界吸収エネルギー量 (tonf・cm)

載荷方法	実験結果	解析結果
静的載荷時	80.6	65.0
高速載荷時	56.1	50.1