

防衛大学校 正会員 〇圓林栄喜
防衛大学校 フェロー 石川信隆

防衛大学校 正会員 香月 智
日本サミコン(株) 正会員 小林一隆

1. 緒言

近年、ロックシェッドのような衝撃的な荷重を受ける P C 部材の曲げ変形性能を向上させるために、P R C はり部材の利用が検討されている¹⁾。本研究では、P R C はりの動的限界性能を調べるために、従来著者らの開発した離散化モデルによる解析法²⁾を、P C 鋼線とコンクリートとの付着すべりの影響を考慮した解析法に拡張し、その適用性について高速載荷実験結果と比較し検討するものである。

2. 実験の概要

実験の供試体寸法および断面は、図-1 に示す長さ 2.2m、はり高さ 30cm、幅 20cm の P R C はりに対して静的載荷実験と高速載荷実験の 2 種類を行った。図-2 に静的および高速載荷時の荷重～変位関係を示す。静的載荷時では典型的な完全弾塑性型の弾塑性挙動を示しているが、高速載荷時の最大耐力は静的載荷時より約 30% 程大きいものの、軟化型の弾塑性挙動を示している。これは、高速載荷時の破壊性状において P C 鋼線のすべりが確認されたためであり、これが高速時と静的時の挙動の違いに影響を及ぼしたものと考えられる。そこで、以下の解析によってこれを考察する。

3. 解析法

解析は、図-3 に示すように P R C はりをはり軸方向に N_d 要素に分割したうえで、各要素を断面高さ方向に N_g 層に分割し、垂直方向変位のみを考慮した離散化ばねモデルに置換する。各要素ごとに断面分割法を用いて、断面のコンクリート、鉄筋、および P C 鋼線の応力を算定し、構造全体の動的な力の釣り合いを解くものである。なお、コンクリート要素、P C 鋼線および鉄筋にはひずみ速度を考慮した応力～ひずみ関係の構成則を用いた。ここで、離散化された要素内に生じる P C 鋼線とコンクリート間の付着力を、図-4 に示すように要素間の P C 鋼線に生じる張力の差に等しいとして、次式によって求められるものとする。

$$S_{i,i-1} = \Delta T = T_i - T_{i-1} \quad (1)$$

ただし、 T_{i-1} 、 T_i : それぞれ $i-1$ 、 i 要素における P C 鋼線の張力、 $S_{i,i-1}$: $i-1 \sim i$ 要素間の領域に生ずる付着力。
この付着力は、次の 2 つの状態に分けられるものとする。

$$S_{i,i-1} < \alpha S_{\max} \quad (\text{完全付着}) \quad (2-a)$$

$$S_{i,i-1} \geq \alpha S_{\max} \quad (\text{すべり状態}) \quad (2-b)$$

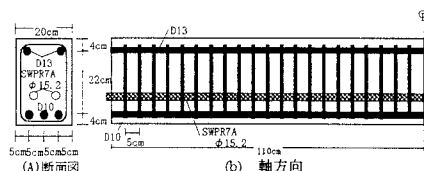


図-1 供試体諸元および断面

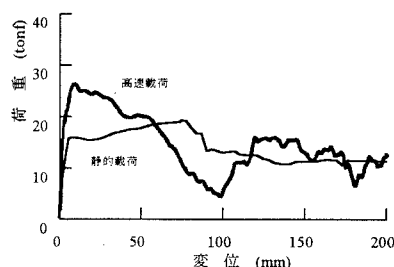
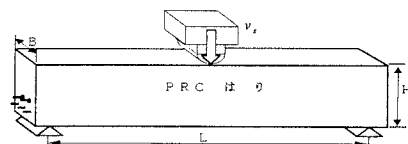
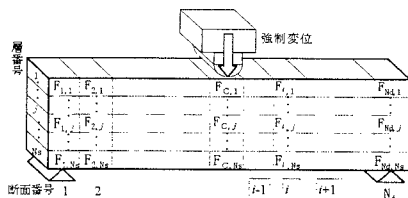


図-2 荷重～変位関係 (静的及び高速載荷時)



(a)高速変形を受ける P R C はり部材



(b)動的解析モデル

図-3 離散化モデル

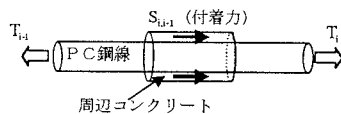


図-4 P C 鋼線の付着力と軸力

キーワード P R C はり、じん性、高速載荷実験、動的限界性能、付着すべり

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

ここで、 $S_{\max}$: 最大静的付着力、 α : 動的付着強度を示す倍数値。

この最大静的付着力は、コンクリート標準示方書³⁾で用いられている次式により求めることとした。

$$S_{\max} = f_{bok} \cdot b \cdot \ell_{i,i-1} = 0.28 f_{ck}'^{2/3} \cdot b \cdot \ell_{i,i-1} \quad (3)$$

ただし、 f_{bok} : 付着強度 (異形鉄筋)、 b : P C 鋼線の周長、 $\ell_{i,i-1}$: 付着要素長、 f_{ck}' : 設計基準強度。

よって、各隣接要素間ごとに式(2)に基づく分類をすることにより、図-5 に示すようにすべり領域と完全付着領域が判別できる。このすべり領域全体において、次の変形適合条件が成立しなければならない。

$$\int_0^{\ell_c} \varepsilon_p d\ell = \int_0^{\ell_c} \varepsilon_c d\ell \quad (4)$$

ただし、 ℓ_c : すべり領域、 ε_p : P C 鋼線ひずみ、 ε_c : P C 鋼線まわりのコンクリートひずみ。

また、次のすべり条件が満足されなければならない。

$$T_i - T_{i-1} = \alpha S_{\max} \quad (5)$$

以上の式(1)~(5)を満足するように P C 鋼線のすべり状態を考慮した動的解析をニューマーク β 法によって解いた。

4. 解析結果と考察

実験供試体に合わせて、入力データを表-1 のように設定した。また衝撃的な場合には、付着強度が2.0~3.0倍になることが示されている⁴⁾ので、付着強度を3段階に変化 ($\alpha = 1.0, 2.0, 3.0$) させて計算を行った。図-6 に得られた荷重~変位曲線を示す。付着強度3.0Smax の場合には、すべりが生じない結果となり、80mm 付近で P C 鋼線が破断する結果となった。これは、図-7 に示すように P C 鋼線のひずみがはり中央に集中し、破断ひずみ6%に達したためである。一方、付着強度1.0Smax の場合、P C 鋼線は破断せず、約13tonf の抵抗力を持続している。これは、変位10mm 付近で P C 鋼線周りですべりが生じ、図-8 に示すように、はり全体ですべり状態に達したため、載荷点部にひずみが集中しない状態になっている。付着強度2.0Smax の場合もすべりが変位20mm 付近で生じ始めており、P C 鋼線に破断は生じていない。すなわち、変形初期においては、付着強度が増加した可能性があり、以後付着すべりが生ずるにつれ、荷重が低下する傾向にある。よって、今後は付着強度を、変位の進展とすべり領域に応じて変化させる解析法を検討する必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 横山功一、大塚久哲、金子学：衝撃荷重をうける P C、R C 桁の破壊時挙動と変位照査法について、構造工学論文、Vol.38A, pp.1543~1551, 1992年3月。
- 2) 石川信隆、圓林栄喜、香月智：P C はりの限界吸収エネルギー解析、土木学会第52回年次講演会講演概要集、I-B, pp.368~369, 1997年9月
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 (設計篇)、PP.19, 1996年3月
- 4) 石本陽一、島弘：鉄筋とコンクリート付着応力-すべり関係に及ぼす載荷速度の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.2, 1993年6月

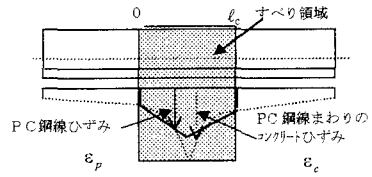


図-5 すべり領域におけるひずみ分布

表-1 入力データ

はり分割数	10	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²)	400.
断面分割数	25	鉄筋降伏点 (kgf/cm ²)	3500.
はり幅(cm)	220.	鉄筋引張強度 (kgf/cm ²)	5100.
はり高さ(cm)	30.	鉄筋破断ひずみ	0.25
スパン(cm)	200.	P C 鋼線降伏点 (kgf/cm ²)	16100.
はり重量(kgf)	330.	P C 鋼線引張強度 (kgf/cm ²)	17800.
時間増分Δt (sec)	1.0×10 ⁻⁶	初期プレストレス (kgf/本)	15000.
構造減衰係数 β(sec)	5.0×10 ⁻⁶	P C 鋼線破断ひずみ	0.06

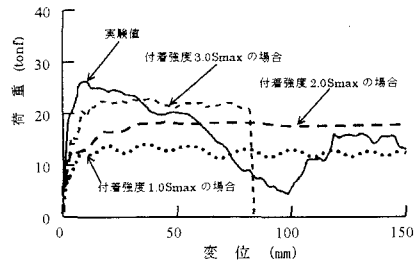


図-6 解析結果 (実験結果との比較)

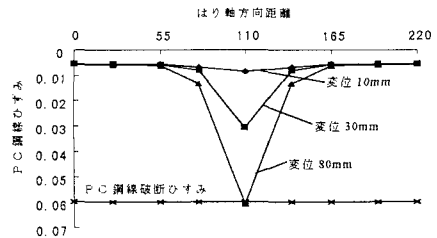


図-7 付着強度 3.0Smax の場合の P C 鋼線ひずみ分布

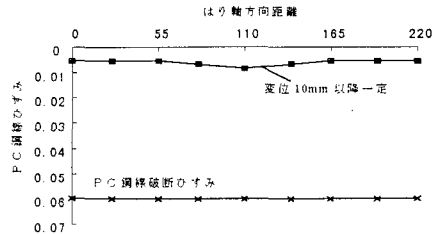


図-8 付着強度 1.0Smax の場合の P C 鋼線ひずみ分布