

I - B194

ポストテンショニング方式のPRCはりに対する動的終局限界解析

防衛大学校 正会員 〇圓林栄喜
九州大学 正会員 太田俊昭

正会員 香月 智 フェロー 石川信隆

1. 緒言

近年、落石覆工に対する落石荷重の増大にともない、構造部材の高耐力・高じん性化が求められる傾向にある。なかでも、PRCはり部材（プレストレストコンクリートはりを鉄筋で補強した部材）は、高吸収エネルギー化の一手法と考えられ、研究が進められている¹⁾。本研究は、PRCはりの高耐力・高じん性化を図る一手法として、ポストテンショニング方式を採用した場合の有効性を検討するために、ポストテンショニング方式のPRCはりに対する動的終局限界解析を行い、その弾塑性挙動について解析的に考察するとともに、プレテンショニング方式のPRCはりとの比較検討を行ったものである。

2. ポストテンショニング方式

ポストテンショニング方式は、図-1に示すようにコンクリートはり内部にシースを配置し、コンクリート硬化後PC鋼材を緊張しプレストレスを導入、定着具で固定する方式である。この際、グラウトを注入することによりPC鋼材を付着させ、防錆を図る処置が一般的になされている。グラウトは通常 20N/mm^2 以上の圧縮強度を有することが、コンクリート標準示方書で定められている²⁾が、プレストレストコンクリートに利用される高強度コンクリートの圧縮強度（通常 $30\sim 35\text{N/mm}^2$ 以上）と比較するとグラウトは圧縮強度が比較的小さいため、ポストテンショニング方式のグラウトとPC鋼材間の付着力は相対的に低下し、すべりが生じやすくなると考えられる。このため、ポストテンショニング方式の解析の際は、すべりを考慮した解析が必要となる。

3. ポストテンショニング方式のPRCはりに対する解析法

解析は、図-2に示すようにPRCはりをはり軸方向に N_e 要素に分割したうえで、各要素を断面高さ方向に N_s 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PC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。また、コンクリート要素、PC鋼線および鉄筋にはひずみ速度を考慮した動的応力～ひずみ関係の構成則を用いた^{3)~4)}。

(1) すべり判定

ここで、離散化された要素内に生じるPC鋼線とグラウト間の付着力を、要素間のPC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。

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

ただし、 T_{i-1} 、 T_i ：それぞれ $i-1$ 、 i 要素におけるPC鋼線の張力、 $S_{i-1,i}$ ： $i-1\sim i$ 要素間の領域に生ずる付着力。このすべり判定領域での付着状態は次の2つの状態に分類される。

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

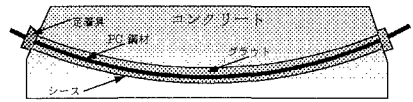


図-1 ポストテンショニング方式

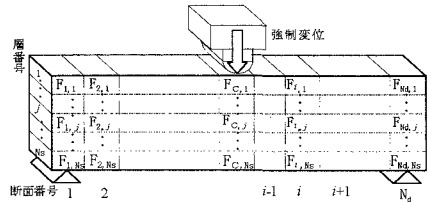


図-2 動的解析モデル

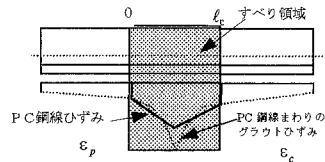


図-3 すべり領域におけるひずみ分布

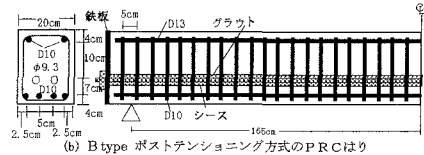
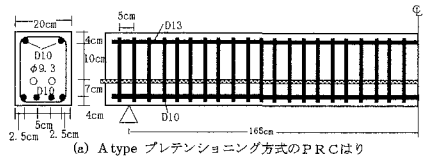


図-4 解析で対象としたPRCはり

キーワード ポストテンショニング方式、動的終局限界解析、PRCはり、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

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

ただし, $S_{\max}$: 限界付着力($=\alpha S_{s\max}$), α : 動的付着係数 ($=2.0$ とした), $S_{s\max} = f_{bok} \cdot b \cdot \ell_{i,j-1} = 0.28 f'_{ck}{}^{2/3} \cdot b \cdot \ell_{i,j-1}$: 静的限界付着力, f_{bok} : 付着強度 (異形鉄筋), b : P C鋼線の周長, $\ell_{i,j-1}$: 付着要素長, f'_{ck} : 設計基準強度.

(2) すべり領域の変形適合条件

すべりが生じている領域では図-3 に示すように, P C鋼線のひずみとグラウトのひずみは一致しない. しかし, その全領域での伸び量 ($\Delta \ell_{epc}, \Delta \ell_{cc}$) は一致しなければならず, 次の変形適合条件が成立する.

$$\Delta \ell_{epc} = \int_0^{\ell_s} \varepsilon_p d\ell = \int_0^{\ell_s} \varepsilon_c d\ell = \Delta \ell_{cc} \quad (3)$$

ただし, ℓ_s : すべり領域の長さ, ε_p : P C鋼線ひずみ, ε_c : P C鋼線まわりのグラウトひずみ, $\Delta \ell_{epc}, \Delta \ell_{cc}$: すべりが生じている領域内での P C鋼線の伸び量, および P C鋼線まわりのグラウトの伸び量.

(3) ポストテンショニング方式の際の定着部の処理

ポストテンショニング方式の場合, すべり領域がはり端部にまで到達しても, 定着要素は完全付着状態にあるものとする. すなわち, 両端部の最大付着力のみ $S_{\max} = \infty$ とする.

4. 解析結果と考察

図-4 に示すようなプレテンショニング方式とポストテンショニング方式の PRC はりの解析を行い, 比較を行った. 表-1 に解析に用いた入力条件を示す.

(1) 荷重～変位関係の比較

図-5 にプレテンショニング方式とポストテンショニング方式の荷重～変位関係について示す. ●は P C鋼線が破断した点, ▲は断面内の応力アンバランスにより耐力が急落した点を示す. ポストテンションでもプレテンションでも, 最大耐力はほとんど変わらないが, 終局限界点はポストテンショニング方式の方がプレテンショニング方式よりも約3倍伸びており, 高じん性化が図られていることがわかる.

(2) ひずみ分布の比較

図-6 (a) にプレテンショニング方式の PRC はりのひずみ分布を示す. P C鋼線とコンクリート間は完全付着状態が続くため, はり中央部での P C鋼線ひずみが極端に卓越して増加し, 載荷開始後 30ms では破断ひずみを超えて, P C鋼線が破断したことを示している. 一方, 図-6 (b) のポストテンショニング方式の PRC はりの場合は, グラウトとコンクリートとの圧縮強度に差があるため, 付着力が不足し, 20ms ですべり領域がはり両端部までに達する. しかし, 端部は定着されているためすべり領域の広がりはこちらで停止し, P C鋼線ひずみは, はり全体に緩やかに均一化される. よって, ひずみの最も大きな中央部でも破断ひずみには達せず, これが高じん性化の原因となっているものと思われる.

参考文献

- 建設省土木研究所: PRC製ロックシェットの設計法に関する共同研究報告書 No.148, 平成8年3月
- 土木学会: コンクリート標準示方書(施工篇), PP294., 1996年3月
- 高橋芳彦, 大野友則 他: 衝撃を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼすひずみ速度効果, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1567~1580, 1991年3月.
- 園田佳臣, 小林直行 他: ひずみ速度効果を考慮した P Cはり部材の動的曲げ耐力と変形性能, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1455~1465, 1992年3月.

表-1 解析に用いた入力条件

はり分割数	10	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	74.0
断面分割数	25	鉄筋降伏点 (N/mm ²)	343
はり幅(cm)	20.	鉄筋引張強度 (N/mm ²)	500
はり高さ(cm)	25.	鉄筋破断ひずみ	0.25
スパン(cm)	330.	P C鋼線降伏点 (N/mm ²)	1580
はり質量(kg)	412	P C鋼線引張強度 (N/mm ²)	1740
時間増分 Δt (sec)	1.0×10^{-6}	初期プレストレス (k N/本)	66.6
構造減衰係数 β (sec)	5.0×10^{-6}	P C鋼線破断ひずみ	0.06
グラウト圧縮強度 (N/mm ²)	30.		

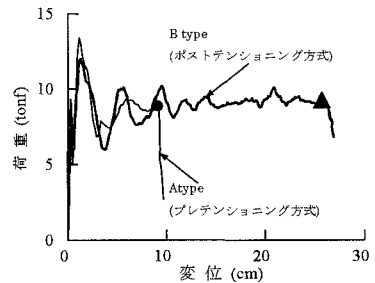
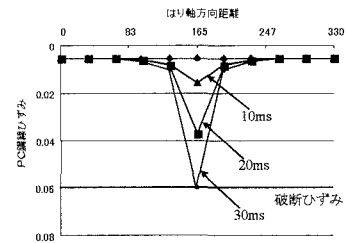
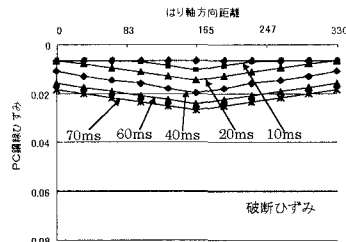


図-5 動的荷重～変位関係



(a) A type(プレテンショニング方式の PRC はり)



(b) B type(ポストテンショニング方式の PRC はり)

図-6 ひずみ分布