過大な膨張を与えたPCはり部材の曲げ耐荷特性

京都大学　学生会員　○阿部　亮太　　京都大学　正会員　高谷　哲
京都大学　正会員　山本　貴士　　京都大学　フェロー会員　宮川　豊章

１．研究目的

本研究では，著しいASR膨張劣化にともないスターラップの隅角部が破断したPCはりの曲げ耐荷性能を明らかにすることを目的として，スターラップ隅角部をあらかじめ不連続(以下，破断と呼ぶ)としたPCはり供試体に膨張材を用いて過大な膨張を与え，これに対して曲げ載荷試験を行うことで，その耐荷挙動を検討した．

２．実験概要

２．１供試体

供試体の諸元を**図-1**に示す．幅×高さ(有効高さ)×全長(スパン長)=100×200(133)×1600(1400)mmのPCはりとした．φ23mm鋼製シースの内部にφ17mmPC鋼棒(B種1号，f_{pu}=1269N/mm^2)を配置し，緊張力は引張強度の34%の98kNとした．せん断スパン内にはD6スターラップを100mm間隔で配置し，せん断耐力比($Vy \cdot a/Mu$)は0.92とした．スターラップは，**図-1**に示す位置で引張側隅角部を切断した．コンクリートには，健全コンクリート(W/C=45%)と膨張コンクリート(W/B=45%，膨張材をセメント内割り30%で配合)を用いた．

２．２実験方法

載荷は，スパン1400mmに対し曲げスパン400mmの対称2点1方向漸増繰返し曲げ試験とし，PC鋼棒が降伏するまでは5kN毎，降伏後は$2\delta_y$毎(実験時の荷重-変位曲線より降伏点を決定)に繰り返した．最大荷重以降は，荷重が最大荷重の6割に達するまで繰り返した．

３．実験結果および考察

各供試体の破壊状況および荷重-変位関係を，それぞれ**図-2**，**図-3**に示す．

３．１膨張材によるASR膨張模擬の影響

N-P-s100(健全)供試体は，曲げ引張により破壊した．また，E-P-s100(膨張)供試体は，曲げ圧縮により破壊し，その最大荷重はN-P-s100(健全)供試体に比べて，大幅に低下している．膨張コンクリートの強度低下(f'_c=5.82N/mm^2)により，PC鋼棒の降伏前に圧縮縁のコンクリートが破壊したため，脆性的な破壊に至ったと考えられる．

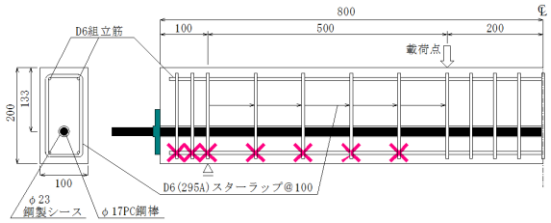
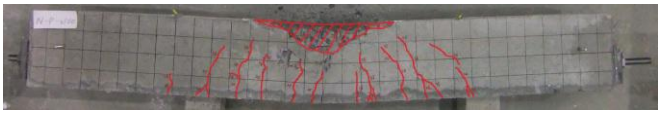
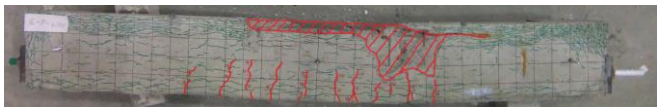


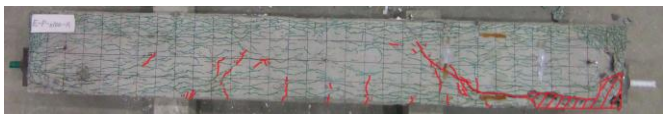
図-1　供試体概要（単位：mm）



(a) N-P-s100（曲げ引張）



(b) E-P-s100（曲げ圧縮）



(c) E-P-s100-R（せん断付着）

図-2　破壊状況（破壊形式）

３．２スターラップの破断の影響

E-P-s100-R(膨張，スターラップ破断)供試体はせん断付着により破壊した．載荷前の膨張供試体は，供試体全体に軸方向ひび割れが発生しており，特に，スターラップを破断させた場合，供試体下縁側の拘束が失われ，この部分でコンクリートが過大に膨張し，大きな軸方向ひび割れが発生した．この軸方向ひび割れが付着割裂ひび割れに移行し，せん断付着破壊に至ったと考えられる．

荷重とスターラップひずみの関係を**図-4**に示す．N-P-s100(健全)供試体およびE-P-s100(膨張)供試体は，斜めひび割れの発生した領域では，スターラップの定着により引張力を受け持っているが，E-P-s100-R(膨張，スターラップ破断)供試体では，スターラップが引張材として作用していないことが確認できる．

したがって，曲げ破壊が先行するように設計された部材であっても，スターラップの破断およびそれにともなう付着割裂ひび割れの発生がせん断耐荷機構に影響を与え，急激な耐荷性能の低下を引き起こす可能性がある．

キーワード　ASR，PCはり，スターラップ破断，せん断付着破壊，割裂応力
連絡先　〒615-8246　京都市西京区京都大学桂C1-458　TEL：075-383-3173　FAX：075-383-3177

表-1 供試体一覧および実験結果

供試体名	コンクリートの種類	スターラップの破断	f'_c (N/mm^2)	計算値						実験値	
				曲げ耐力M_u (kN・m)	終局曲げ荷重P_u(kN)	せん断耐力 V_c (kN)	V_s (kN)	V_y (kN)	せん断耐力比 $V_y \cdot a/M_u$	最大荷重P_u(kN)	破壊形式
N-P-s100	健全	無	43.2	27.0	108.0	24.8	21.6	46.4	0.86	125.7	曲げ引張
E-P-s100	膨張	無	5.82	—*)	—*)	—*)	21.6	—*)	—*)	79.8	曲げ圧縮
E-P-s100-R	膨張	有	6.16	—*)	—*)	—*)	21.6	—*)	—*)	37.7	せん断付着

*) コンクリート強度f'_cが著しく低下した場合，曲げ耐力M_uは負となるため算定不能.

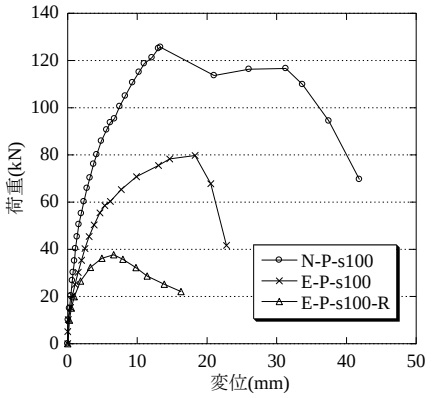


図-3 荷重-変位関係

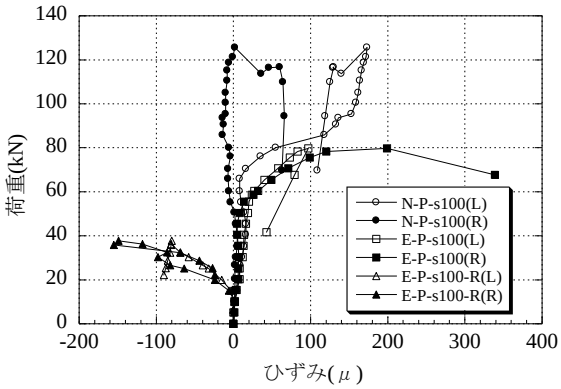


図-4 スターラップひずみ

4．過大な膨張を生じたPC部材の定着部破壊の推定

定着部近傍のコンクリートには，定着板からの支圧応力により割裂応力[1)]が作用する．スターラップ破断により拘束が失われたASR膨張PC部材では，定着部近傍のコンクリート引張強度低下にともない，付着割裂ひび割れが発生し易くなると考えられる．そこで，定着部近傍のコンクリート強度が破壊形式に与える影響について検討した.

最大荷重時に定着部に作用する割裂応力は，PC鋼棒の引張力として，導入時の緊張力に曲げ変形にともなう引張力の増分を加えて求められる[2)]．なお，単純ばりでは，支点外側に外力にともなう鋼棒引張力は理論上作用しないが，等曲げスパン内に最大荷重時に作用する引張力が支点外側にも作用するアンボンドの状態を仮定した．また，膨張コンクリートの強度は著しく小さく，最大荷重を求めるのに不適切であったため，曲げ圧縮破壊に至った E-P-s100(膨張)供試体の最大荷重からコンクリート強度を逆算した値(f'_c=26.6N/mm^2)を用いた.

最大荷重時に定着部に作用する割裂応力の計算値は，E-P-s100(膨張)供試体で1.82N/mm^2，E-P-s100-R(膨張，スターラップ破断)供試体で1.04N/mm^{2}となった.すなわち，これらの割裂応力がコンクリートの引張強度を上回ったとき，定着部の割裂破壊が先行する．特に，スターラップの破断により膨張に対する拘束が失われると，コンクリートが過大に膨張して，定着部近傍のコンクリート強度が著しく低下するため，付着割裂ひび割れ発生の危険性が高まると考えられる.

ただし，今回は，等曲げ区間のPC鋼棒の引張力が定着部付近まで作用するとして検討したが，ボンドタイプではこのような状況は考えられず，作用割裂応力は小さくなると考えられる．また，定着部の割裂応力として検討したが，PC鋼棒の付着割裂強度との比較において今後は検討すべきであると考えられる．さらに，実際のASR膨張では，過度に膨張を与えた今回の状態のように供試体コア部までの著しく強度が低下する可能性は小さく，上記の結果はきわめて限定的であると考えられる.

5．結論

(1)過大な膨張を与えた PC はりでは，コンクリート強度の著しい低下およびプレストレスの減少により，健全供試体に比べて最大荷重が低下し，脆性的な破壊を示す.

(2)曲げ破壊が先行するように設計された PC はりであっても，スターラップ隅角部が破断した場合，膨張に対する拘束が小さくなり，付着割裂ひび割れが発生しやすく，せん断付着破壊に至る.

参考文献 1) 岡田清，藤井学，小林和夫：プレストレストコンクリート構造学, 国民科学社, pp.137-145, 2002.5.
2) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説，1998.

謝辞 本研究の一部は，建設技術研究開発費補助金「ASR劣化構造物の力学性能推定技術の確立」(代表：宮川豊章)により実施したことを記し，謝意を表する.