

正会員 森田司郎（京都大学） 同 角 徹三（明石高専） ○須藤英司（京都大学）

1. 研究目的

鉄筋コンクリート部材の繰返し荷重下での挙動を知るために、最も基本的な要素として、鉄筋をコンクリート柱体の中心軸に埋めこんだ部材を取扱う例が多い。しかし、ほとんどの場合引張荷重の繰返しまたは引張ひずみの繰返し下の性状を対象としていて、圧縮、引張両域にわたる繰返し載荷時の挙動については、まだまとまった研究が行なわれていない¹⁾。正負の繰返しの場合はコンクリートの応力-ひずみ関係と鉄筋-コンクリートの付着の繰返し荷重下での性質に加えて、ひびわれが閉じる前におけるひびわれ表面の局部接触効果を考慮に入れなければならないとするのが本研究の特色である。そこでまず本研究では $\phi 10 \times 18$ cm円筒供試体の引張および圧縮荷重試験を行い、種々のひずみレベルの圧縮履歴がその後の引張荷重時の挙動に与える影響とひびわれ表面の局部接触効果を調べた。そして、実験結果をモデル化し、森田・角によって提案された付着応力-すべりモデル²⁾とともに用いて $9.5 \times 9.5 \times 50$ cmのRC角柱について繰返し荷重下での挙動を理論的に導き出し、同じ載荷モードで行なわれた実験で得られた結果と比較検討した。

2. コンクリートシリンダーの正負交番載荷試験結果とそのモデル化

供試体・載荷装置を図-1に示す。試験機はギヤー式（オートグラフ50 T）を用いた。シリンダー供試体は $\phi 10 \times 20$ cmのシリンダーを製作後、上下端部を1 cmずつ切り除いたのち、エポキシ樹脂を用いて鋼端板を接着した。引張力は鋼端板にねじこまれたボルトにより伝えられる。軸方向のひずみは検長16 cmの差動トランス型ひずみ計で測定した。シリンダーの圧縮-引張試験は表-1に示すようなコンクリート強度をもつものについて行なった。シリーズ1は配合比1:2.1:1.4, W/C=50%の普通コンクリートとそれに体積比2%の鋼繊維を加えたファイバーコンクリートであり、シリーズ2は配合比1:3.2:2.4, W/C=64%の普通コンクリートとそれに体積比2%の鋼繊維を加えたファイバーコンクリートである。圧縮-引張試験の結果の一部を図-2に示す。

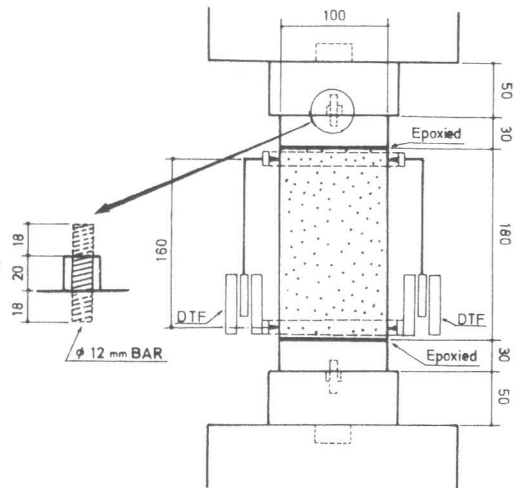


図-1 コンクリートシリンダー試験

ここで、引張破断で生じたひびわれ表面の局部接触のため引張破断後の圧縮載荷では、曲線はひびわれ面を含まない場合に予想される曲線に、圧縮力が増すにつれ漸近し、ある限界圧縮力がはたらくとひびわれが完全に閉じて両曲線は一致する。

表-1 コンクリート強度

SERIES	CONCRETE	STRENGTH(kgf/cm ²)	
		COMP.	TENS.
1	FIBER REINF. CONC.	565	39
	ORDINARY CONC.	490	37
2	FIBER REINF. CONC.	296	33
	ORDINARY CONC.	249	32

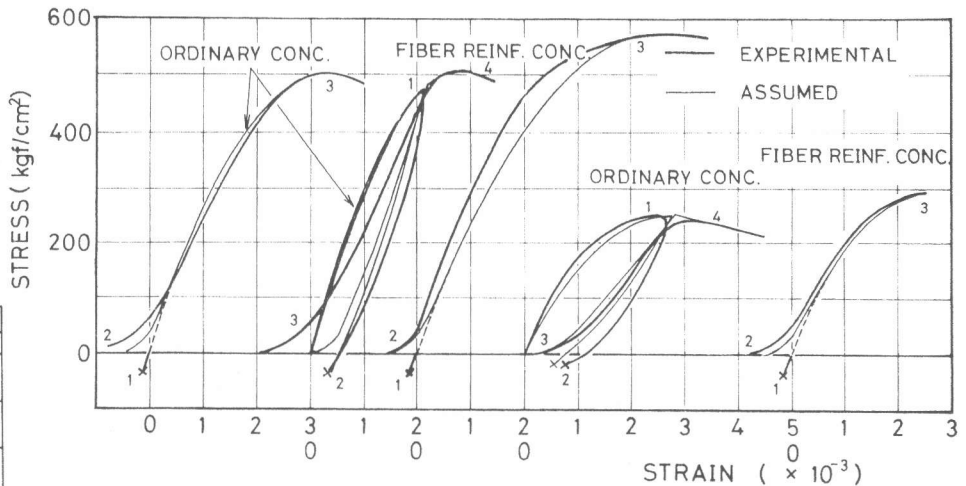


図-2 繰返し応力下のコンクリートの応力-ひずみ曲線

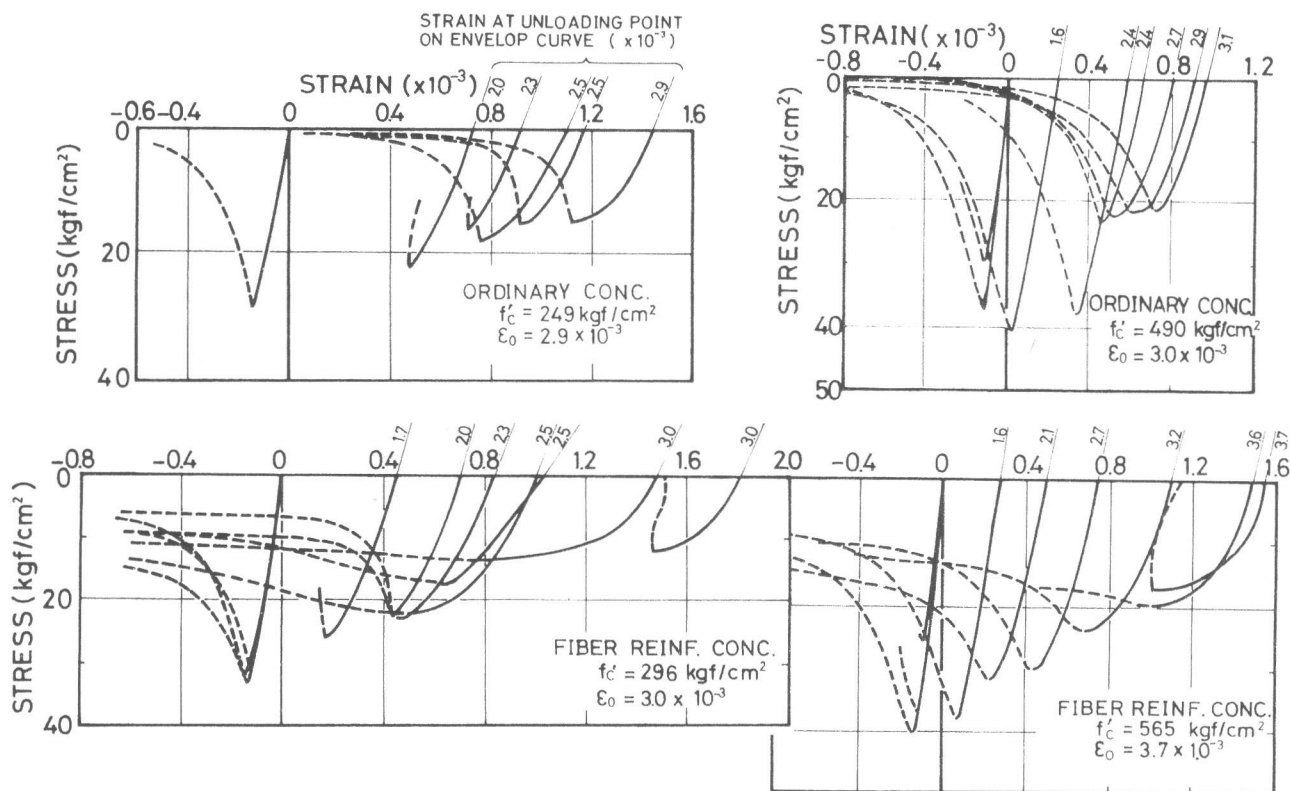


図-3 種々のひずみレベルの圧縮応力履歴をうけた後の引張時応力-ひずみ曲線

るという現象を知ることができる。図-3は種々のひずみレベルの圧縮履歴がその後の引張載荷時の挙動にどのように影響するかをあらわしている。大きいひずみレベルの圧縮応力履歴をうけるほどその後の引張強度は低下し、最大応力点まで圧縮応力履歴をうけると引張強度は約半分になる。また、応力-ひずみ曲線の形状も圧縮応力履歴の大きいものほど軟化している。上で述べたように、ひずみの検長内にひびわれをもつコンクリートの応力-ひずみ曲線は検長内にひびわれをもたないコンクリートの応力-ひずみ曲線にひびわれ表面の局部接触効果を付加したものと思われる。このひびわれ表面の局部接触効果は閉じきらないひびわれ幅を通して伝えられる圧縮応力であり、ある圧縮応力下の両曲線の

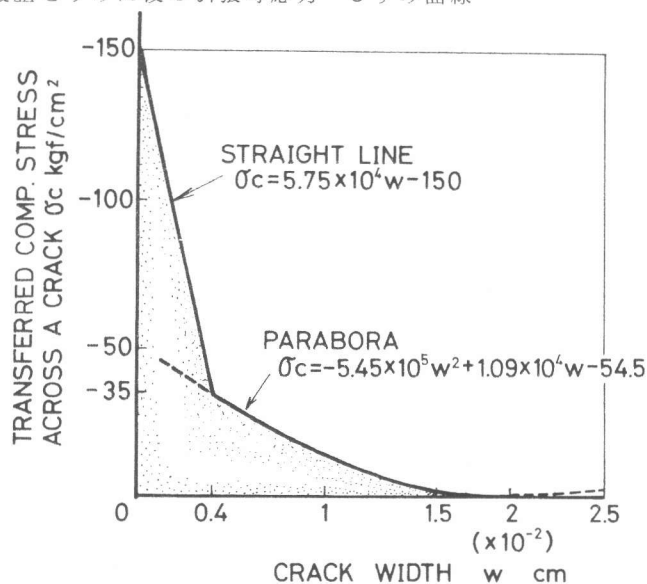


図-4 ひびわれ表面の局部接触効果モデル

ひずみの差に検長を乗じた値がその応力時のひびわれ幅を示すと考えられる。実験結果より、この効果をモデル化したのが図-4である。また図-3に示した圧縮ひずみ履歴をうけた引張時の応力-ひずみ曲線は図-6のようにモデル化する。図-6では引張領域での応力-ひずみ関係はすべて直線とし、圧縮最大応力点から除荷したとき、引張強度、引張領域での弾性係数は各々処女引張載荷時の0.5倍とし、その間は除荷点のひずみSEについて比例補間することを示している。なお圧縮応力の繰返し時の応力-ひずみ曲線は既往の研究を参考にし図-5のようにモデル化しておく³⁾。図-4で示されるひびわれ表面の局部接触効果を付加して描いた応力-ひずみ曲線を図-2に実験結果と比較して示した。

3. 鉄筋コンクリート柱体の正負交番載荷試験

9.5 × 9.5 × 50 cmのコンクリート角柱の中心軸にD16が埋め込まれ、D16の両端は鋼端板に突き合せ溶接されている。コンクリートは横打ちであり、打設後は湿潤養生を試験材令(15日~27日)の3日前まで続

けた。正負荷重は鋼端板を介して供試体に伝えられる。供試体の軸方向の変形は端板間で測定した。以上の試験要領を図-8に示す。コンクリート（配合比1:3.2:2.4, W/C=55%）の試験材令における平均シリンダー強度は圧縮388 kgf/cm², 引張24.5 kgf/cm²である。正負交番荷重時の荷重-平均ひずみ曲線の実験結果を図-9, 図-10に示す。（実験結果は後述の解析結果と直接比較可能のものだけに限っている。）

図-9の曲線中に付された番号は荷重履歴を示している。PD1とPD3は最初引張から開始しているのに対し、PD2はまず圧縮から荷重を始めている。裸鉄筋の引張荷重-ひずみ曲線、RC柱としての圧縮荷重-ひずみ曲線と比較することによって、ひびわれ間のコンクリートの鉄筋平均ひずみ減少効果、荷重の繰返しによる効果の減少、ひびわれ表面の局部接触効果が明確に現れていることが判る。図-10は鉄筋に大きな塑性ひずみを与えた例であるが、この場合でも、局部接触効果は依然として残っている。なお、全ての供試体について、ひびわれ2本（したがって平均間隔は16.7 cm）発生し、コンクリートの柱体圧縮強度は $0.86 f_c' = 334 \text{ kgf/cm}^2$, そのときのひずみ $\epsilon_0 = 0.2\%$, ひびわれ荷重から求めた柱体引張強度は 17.9 kgf/cm^2 と推定された。

4. 正負交番荷重をうけるRC柱体の荷重-平均ひずみ関係の解析

図-4, 図-5, 図-6に示した材料物性モデルと図-7に示した付着-すべりモデル²⁾を用いて、RC柱体の挙動を解析した。解析におけるコンクリートの性状はRC柱体の実験で得られた推定値を用い、荷重履歴は実験時のものに従う。計算にあたってひびわれにはさまれたコンクリートを40区間に分割し、各区間で付着応力分布は一樣とし、断面内のコンクリートの応力分布はすべての断面で一樣とした。順次計算を行なって供試体両端のつりあい条件と連続条件をみたす断面力分布を得た。理論的に導き出した結果を図-9に示す。図-9(d)は鉄筋の断面力分布である。理論推定結果は実験結果と、特に引張から圧縮への推移時の挙動についてよく合致する。鉄筋の降伏点近くで実験値は理論値より大きな伸びひずみを呈するが、これは供試体の各ひびわれ位置付近での内部ひびわれによる付着の劣化のためと思われる。図-10は鉄筋に大きな引張塑性ひずみを与えた場合の結果であるが、この図に、Ramberg-Osgoodの関数をもちいて推定した鉄筋の応力-ひずみ関係に局部接触効果を付加して得た理論曲線を描くと、実験曲線によく一致することがわかる。したがって、鉄筋降伏後のRC部材の挙動解析ではコンクリートの引張応力分担効果は無視してよいが、引張から圧縮への遷移領域ではコンクリートの局部接触効果を考慮する方がよい。

参考文献

- 1) Borges, J. Ferry; Structural Behavior under Repeated Loading, European Committee for Earthquake Engineering, Dec., 1973.
- 2) Morita, S. and Kaku, T.; Local Bond Stress-Slip Relationship under Repeated Loading, Lisbon IABSE Symposium, Sep., 1973.
- 3) Karsan, I. D. and Jirsa, J. O.; Behavior of Concrete under Compressive Loading, Proc. of ASCE, ST. 12, Dec., 1969.

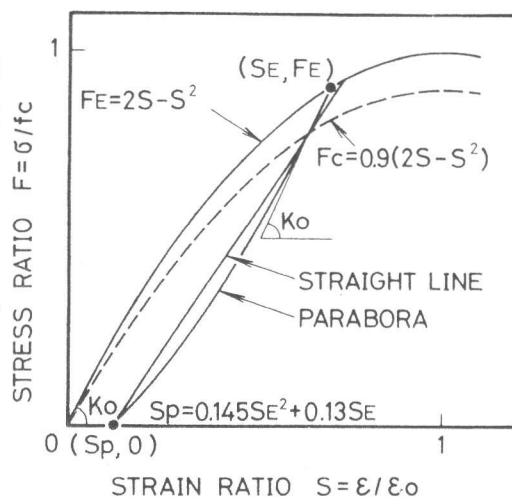


図-5 圧縮 S-S 曲線モデル

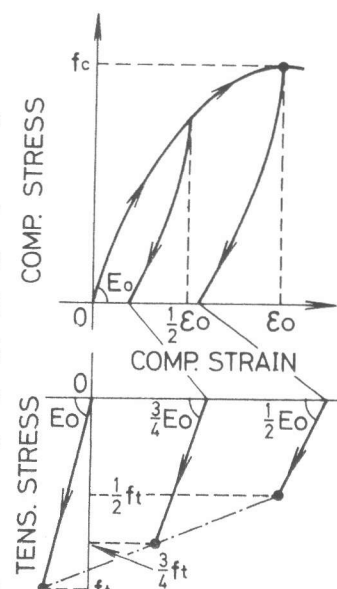


図-6 引張 S-S 曲線モデル

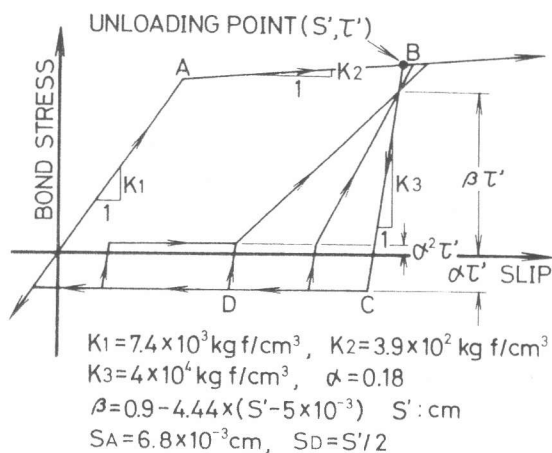


図-7 付着応力-すべり関係モデル

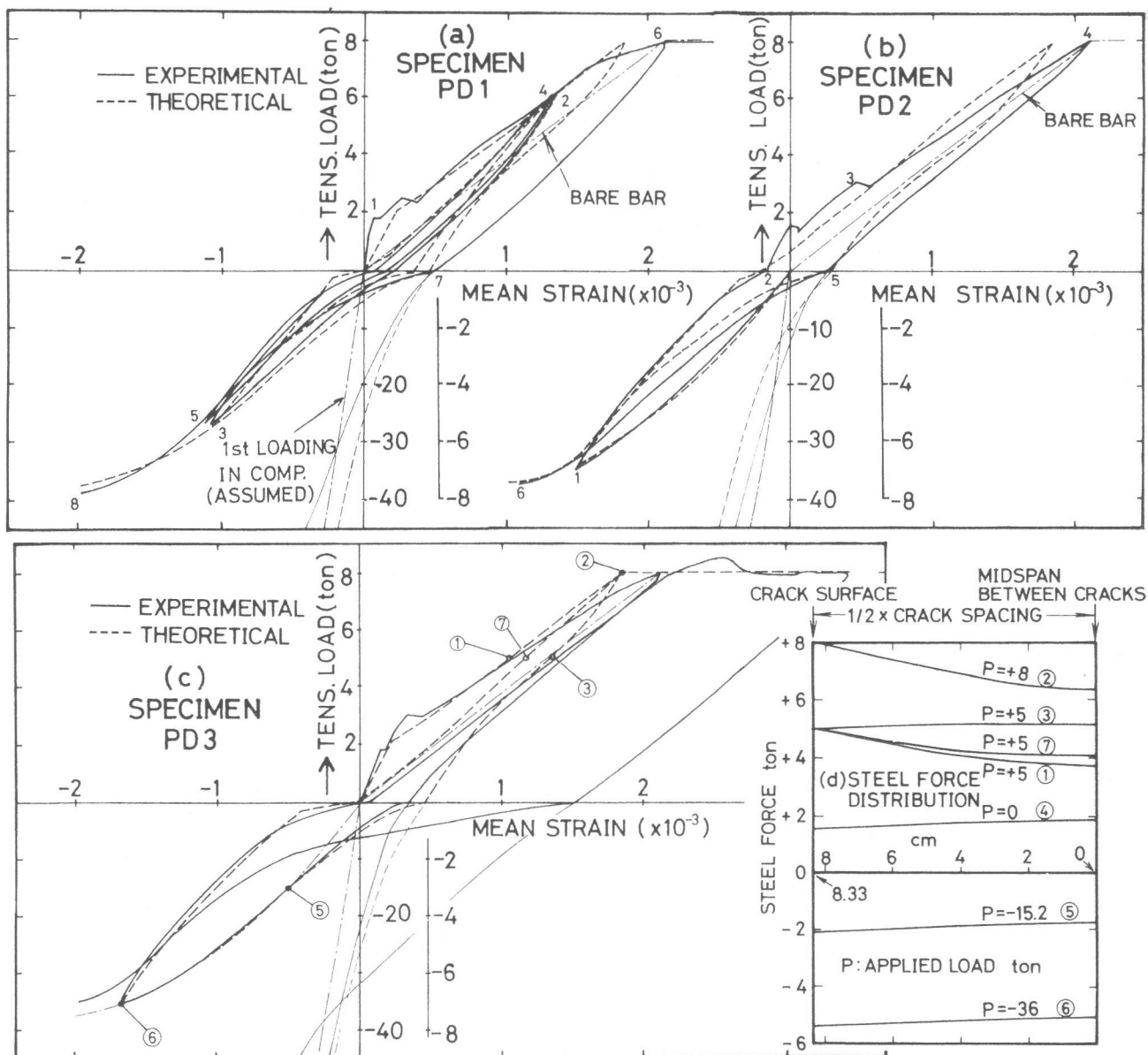


図-9 鉄筋コンクリート柱体の正負繰返し荷重下での荷重-平均ひずみ関係

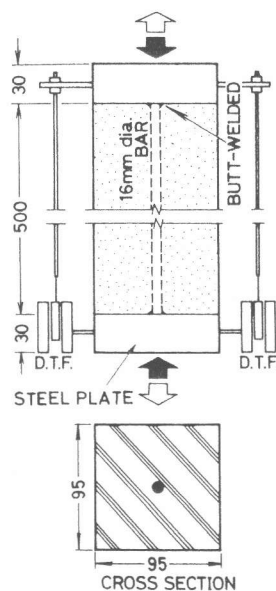


図-8 鉄筋コンクリート柱体試験

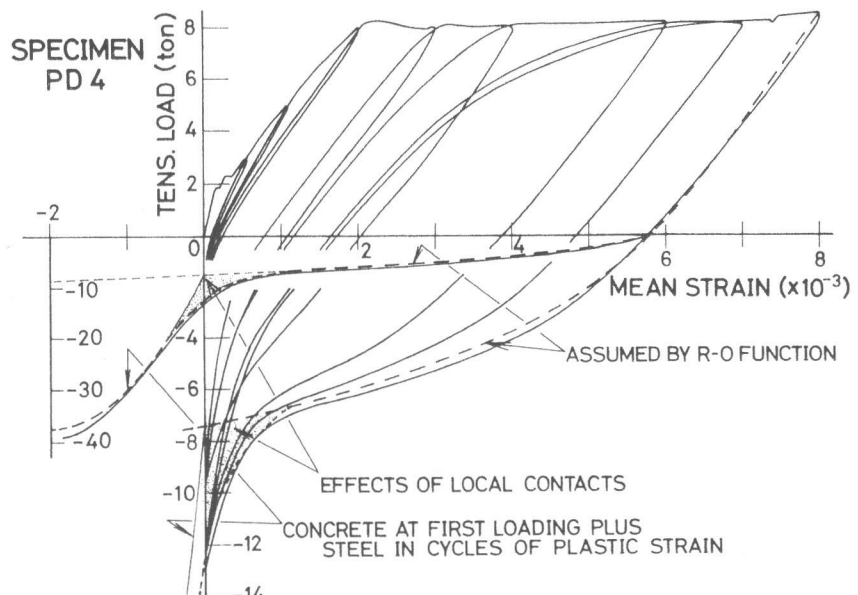


図-10 鉄筋コンクリート柱体の引張ひずみ漸増載荷試験