Ⅳ－6　PC構造物の耐震性に関する研究

芝浦工業大学土木教室　正員　○加藤茂美
同　上　正員　矢島哲司

1. まえがき

PC構造物のなかでも特に揺れやすいか、たわみやすい形状のものについては合理的設計がなされることを望まれるが、現在のところ、このPC構造物の振動性状はまだよく解っていない。

一般に地震時の構造物は地震動、地盤、架構、および部材それぞれの特性が互に干渉しあった、非常に複雑な挙動をする。したがって、これら総合的検討なくして耐震問題の解決はありえないが、それはもとより筆者らの力の及ぶところではない。

そこで、ここでは構造部材に限って履歴特性、復元性、じん性、エネルギー吸収能力および動的特性等、耐震性に関連のある事柄についてRC部材と対比しながら実験的検討を加え、そこから耐震設計に関する基本的な資料をえることを目的としている。

2. 実験概要

使用材料は住友社製早強ポルトランドセメント、多摩川産の5mm砂、20mm砂利、また鉄筋、PC鋼材、コンクリートについては表－1、表－2の通りである。

供試体はRC部材(R-B)、グラウトを施したPC部材(P-Bb)、グラウトなしのPC部材(P-Bub)各2体計6体で、いずれもA.C.I codeによる理論破壊荷重値を同一としたものである。(詳細は図－1参照)

養生は製作後一週間湿潤状態とし、以後試験時まで室内に静置された。

試験方法は図－1に示すように、部材を単純支持し、中央部分に静的集中荷重を正、反方向に交互に載荷した(実際には部材を反転させた)場合の、荷重－タワミ関係を1/100の耐圧試験機と1/100mmダイアルゲージで実測した。

表－1　鉄筋、PC鋼材の強度

種類	公称径 (mm)	降伏点応力度 (kg/mm²)	引張強度 (kg/mm²)	用途
鉄筋	6	37.7	58.3	スターラップ
鉄筋	9	36.8	62.8	P-Bb
鉄筋	13	31.2	63.1	P-Bub R-B
PC鋼材	11	125	142	P-Bb P-Bub

表－2　コンクリートの配合および圧縮強度

供試体符号	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	W (kg/m³)	C (kg/m³)	W/C (%)	S/A (%)	S (kg/m³)	G (kg/m³)	載荷時圧縮強度 (kg/cm²)
R-B	20	3~5	173	288	60	47	800	1005	356
P-Bb	20	3~4	173	346	45	44	808	1015	466
P-Bub									480

3. 履歴特性

静的繰返し試験より求められた各部材の荷重－タワミに関する履歴曲線を示すと図－2のようになる。この結果から各履歴ループの形態には可成りの相違が認められる。すなわち、RCはその曲線のいずれもが、やや上方に凹であり、その等価バネ常数(Ke)は弾性域でほぼ一定である。(図－3参照)

これに対してPCは、ひびわれ荷重付近を節点とする双一次的形態をとり、二次折線の剛性が荷重の増加とともに低下している(図－2参照)ので、したがってKeも当然のことながら同一傾向をとる。また残留変形は著しく塑性化した場合を除いて原点にもどる傾向がみられ、復元性が非常に高いこと

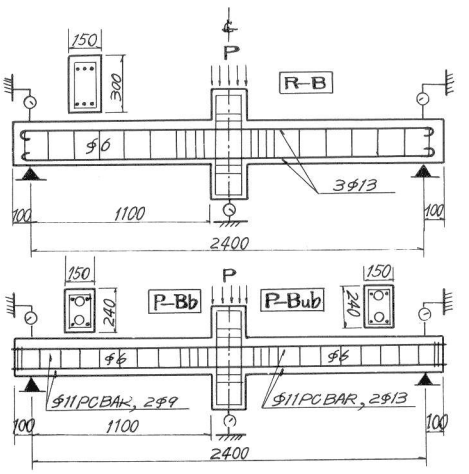
が示されている。

一方各繰返し荷重点を結んだ軌跡(包絡曲線とみなしうる)は概ねRCが弾性域から極く僅かの弾塑性域を経て直ちに塑性域に移行するのに対して、PCは弾性域－弾塑性域－塑性域が明瞭に存在することが認められる。このように広い範囲の弾塑性域をもつことはPCの特性のようである。そしてオニ折線の剛性が繰返し荷重の増大とともに除々に低下する現象は、ひびわれ発生後のPC鋼材応力度の急増によって除荷後、残留ヒズミが生じそれによって有効引張応力度が上述の理由から過大外力の繰返し作用によって0となった場合、それ以後はRCと何ら変らない挙動となる。

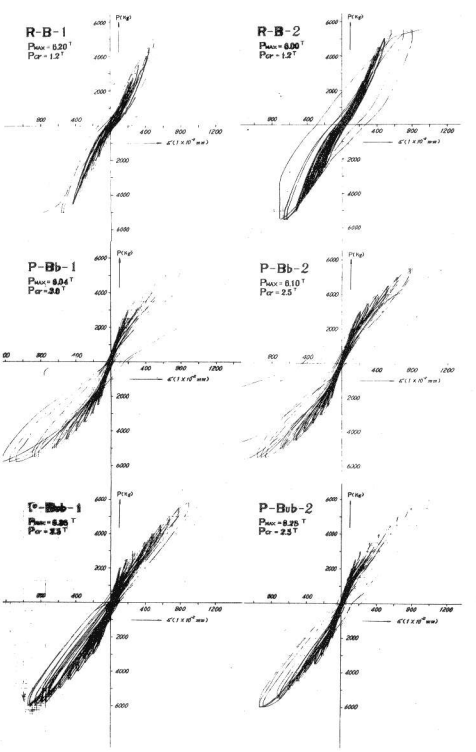
図－4は上述の様子を抽象化して示したものである。

図－5は復元力特性の重要なポイントである残留タワミについて検討したものである。破壊的な過大外力では、いずれも残留タワミは同程度となるが、それ以前の低荷重においてはその差は顕著であり、如何にPC部材が高度の弾性的性質と復元性を持っているかを知ることができる。このように外力によって部材が大きく変形し、ひびわれが多数発生したとしても除荷後は変形が復元し、ひびわれも消滅することはRC部材が変形後の残留タワミが著しく大きいのに比べて注目すべき性質である。

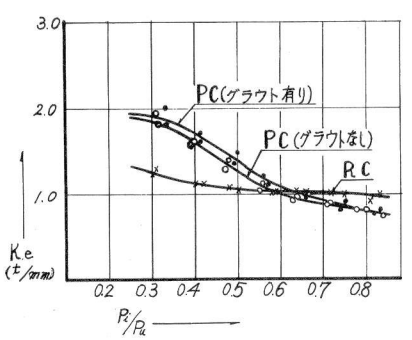
図－1　供試体諸元および載荷方法



図－2　履歴特性曲線



図－3　等価バネ定数(Ke)と載荷率(P1/Pu)の関係



4. じん性

構造部材が外力にたいしてどの程度まで変形しうる能力をもつか，またはその際にエネルギーをどの程度まで吸収しうる能力をもつかということは，耐震効果の検討に大きな意味をもつ。

いま，変形能力を部材の弾性タワミ量(δ_y)に対する塑性タワミ量(δ_u)の比，すなわち，じん性率 $\mu_\delta = \delta_u/\delta_y$，およびエネルギー吸収能力を部材の弾性変形容量($W_y$)に対する塑性変形容量($W_u$)の比，すなわち，じん性率 $\mu_w = W_u/W_y$ でそれぞれ評価して表-3に示す。

ここで，δ_y，W_y は図-6に示したごとくP-δ曲線を用い，破壊荷重点を通る水平線と弾性直線部の延長線の交点から直線を下した位置までのタワミ量または仕事量である。

ただし，PCについてはひびわれ発生による折点で，それ以上の曲線に対する接線と破壊荷重点を通る水平線との交点から上記の通り求めた。また δ_u，W_u は部材の圧縮縁に圧壊が認められたときのタワミおよびその時までの仕事量とした。この規準による μ 値は一般にRCの方が大となるようである。

これは本実験のPC部材の場合のように全断面等量のプレストレスが与えられ，その破壊が圧縮側コンクリートによって決められるならば，プレストレスによってコンクリートのヒズミ能力がそれだけ減退させられて，結果的にじん性を低下させるものと考えられる。グラウトの有無による μ 値への影響は余りないようであるが，やや低下する傾向が見られる。

以上の検討は特定の規準における μ 値の評価であって他の場合との比較には問題があるし，また μ 値が大なる程有利とは云ってもそれは有限であることを考えると一概にこれで断定することはできない。

要はじん性の大小というよりも，それが耐震上，必要なだけ確保されているかどうかが重要であろう。その点な見解からすれば，決してPCは耐震上，一般的に認められている必要量に不足するとは思われない。

5. 動的特性の推定

構造物の振動時の減衰性および固有振動周期は動的耐震

図-4 復元特性の型

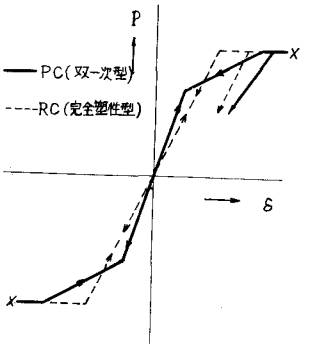


図-5 残留タワミ率と載荷率の関係

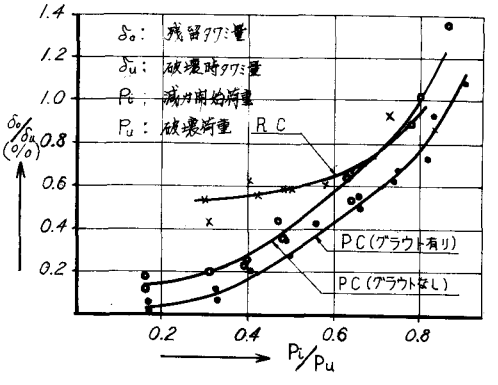


図-6 荷重-タワミ曲線

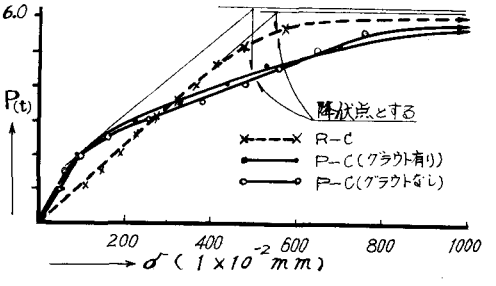


表-3 じん性率

供試体	$\mu_\delta = \delta_u/\delta_y$		$\mu_w = W_u/W_y$	
R-B-1	10.2	10.2	6.4	5.5
R-B-2	10.1		4.6	
P-Bb-1	5.8	6.5	3.3	3.2
P-Bb-2	7.0		2.8	
P-Bub-1	5.6	5.6	2.8	2.6
P-Bub-2	5.6		2.4	

設計上の問題点である。いま実測した荷重・タワミに関する履歴ループより振動時の減衰性を評価してみる。すなわち、履歴ループの囲む面積は部材内部で熱に、または残留ヒズミとして散逸するエネルギーと考えられる。ところで、系の等価減衰は、この散逸エネルギーと元の位置エネルギーの比によって求められる。部材の等価バネ定数を線型として考え、等価粘性減衰定数をβとすると、

$$\Delta W/W = 2\pi\beta$$

図-7の面積の関係から、結局

$$\beta = \frac{1}{2\pi}\frac{\text{面積 ABCDA}}{\text{面積}(\triangle OAE+\triangle OCF)}$$

で表わされる。この等価減衰定数を実測した履歴ループを用いて計算した結果は図-8に示す通りである。なお、この場合、履歴ループをプラニメータで求積したが、2.5t以下の小さい荷重範囲で誤差が大きくなる恐れがあるため省略した。

図-7

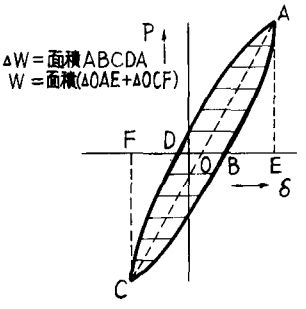


図-8よりβは低荷重でRCがやや大きくなる傾向がみられるが、全体的には、いずれの部材も3%前後にあり、概略一定となるようである。

固有振動周期(T)は振動系を一自由度一質点系と考えると、減衰自由振動においては、質量(M)、等価バネ定数(Ke)、等価粘性減衰定数(β)より次式で推定できる。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{Ke}}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

しかし、βは前記の通り非常に小さいから、結局、非減衰自由振動の際の計算式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{Ke}}$$

を用いて計算し、荷重Pとの関係で示したものが図-8である。RCではTがほとんど変らないのに対し、PCは荷重の増大にともなって丁も大きくなることが明らかである。このことは地震時における構造物への作用力を軽減し、また共振をさけうる可能性を示しているものと考えられる。

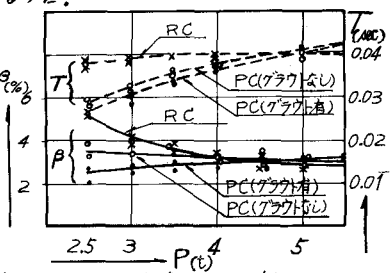
6. むすび

本実験の範囲内でPCの耐震性に関して次の諸点が明らかとなった。

(1) PCの履歴特性の型は弾塑性域まではタテ一次型とみられる。

(2) PCは破壊的荒震を受けない限り、高復元力により残留変形をほとんど留めない。(3). じん性はRCの方が大であるがPCも耐震上一般的に認められている必要量には不足しない。(4). βはいずれも概略一定となるようである。(5) TはPCの場合、部材の変形にともなって大きくなるから耐震設計上、この点を考慮すべきであろう。

図-8 減衰定数(β)または固有周期(T)と荷重(P)との関係



なお本研究に対し昭和41年度土木学会吉田研究奨励金が授与され、また日本構造橋梁研究所の猪股俊司博士の懇切なる助指導をえました。併せて、ここに厚く御礼申上げます。