

V-164 正負交番繰返し荷重を受けるはり部材の劣化と超音波伝播速度の関係

J R 貨物 正員 高橋 顕

京都大学 正員 井上 晋 立命館大学 正員 尼崎 省二

京都大学 正員 宮川 豊章 京都大学 正員 藤井 学

1. はじめに 正負交番荷重繰返し荷重下のコンクリート部材の劣化はその繰返し数と密接な関係があり、特に、大変形領域での繰返し荷重は部材劣化を著しく進展させることが知られている。この部材の損傷程度を評価する指標については部材の最大応答変位や履歴消散エネルギーに基づくものが種々提案されているが、本研究では、正負交番繰返し荷重を受けるRCおよびPPCはり部材の各載荷サイクルにおける超音波パルス伝播速度を測定し、部材劣化との関連性について検討した。

2. 実験概要 供試体には、図1に示すように、幅×高さ=10×20cmの矩形断面を有し、断面内に鋼材を対称複筋配置した最大曲げ耐力のほぼ等しいRCおよびPPCはりをそれぞれ2体ずつ用いた。使用したコンクリートの設計圧縮強度は400kgf/cm²であり、これにより計算される鋼材指数 q ($=A_s f_{sy} / (b d_s f_c') + A_p f_{py} / (b d_p f_c')$) はRCはりで0.274、PPCはりで0.321であり、緊張率 λ ($=A_p f_{py} / (A_s f_{sy} + A_p f_{py})$) はRCはりで0、PPCはりで0.7である。また、スパン中央50cm区間に配置する横拘束筋の体積比 ρ_s はいずれのはりにおいても2.0%とした。

載荷方法はスパン140cm（全長160cm）に対して、曲げスパン20cm、せん断スパン60cmとした対称2点載荷とし、荷重履歴は、RCおよびPPCはりのいずれにおいても、スパン中央たわみが δ_y 、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ (δ_y : 降伏たわみ) となる各変位レベルにおいて繰返し回数を5回とするものと1回とするものの2種類とした。これらのはりとは所定の繰返しを終えた後、超音波パルス伝播速度を測定し、最終的には $8\delta_y$ で耐力がかなり消失したと認められるまで繰返し載荷を行った。

伝播速度測定位置は、予備実験により、RCはりとはせん断スパン、PPCはりとは曲げスパン内で最終的に破壊することが判明していたため、図2に示すように、RCはりとはせん断スパン、PPCはりとは曲げスパンとし、鉛直方向は断面幅の中心線に沿って、また、水平方向は圧縮縁から2.5cmの線に沿って測定を行った。測定は、10cm間隔の直接法および斜角法とし、参考速度として損傷の少ない支付近でも測定を行った。使用した装置はデジタル式であり、速度は振動子中心間距離から計算した。

3. 試験結果および考察 表1にPPCはりにおける速度測定結果の一例を示す。 a_0 および参考速度は発受振子を対向させた直接法で測定したものであり、これら以外は斜角法による測定である。無載荷時の速度は測定位置により異なっているが、 a_0 の速度と参考速度がほぼ等しいことから、鉄筋（スターラップ）および斜角法におけるパルスの実際の伝播距離と計算上の距離の相違が影響したものと思われる。したがって、伝播速度からコンクリート部材の損傷程度を

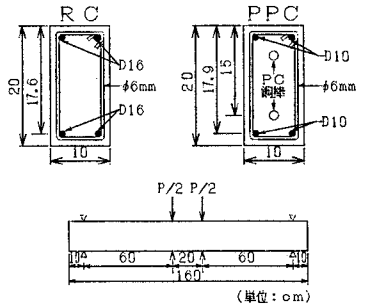


図1 供試体の形状・寸法

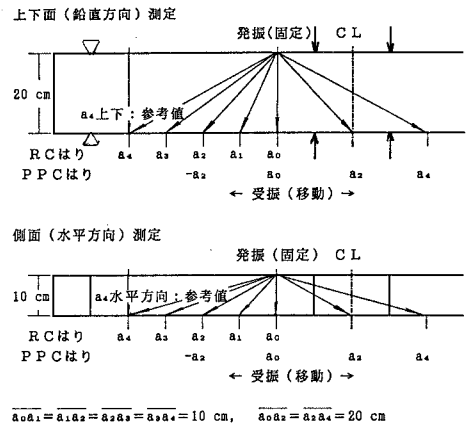


図2 伝播速度測定方法

表1 PPCはりにおける伝播速度

繰返し	水平方向(m/s)				鉛直方向 (m/s)			
	a_0	a_2	a_4	参考	a_0	a_2	a_4	参考
無載荷	4240	4310	4450	4260	4220	4160	4290	4340
δ_y	3980	4070	4140	4240	3920	3950	4290	4340
δ_y-5	3730	3740	3460	3880	3840	3960	3950	4330
$2\delta_y$	3690	1930	3330	3920	3670	3140	1990	4290
$2\delta_y-5$	3130	1090	3150	3800	3370	*	1320	4340
$3\delta_y$	3100	*	3150	3830	3340	*	1610	4280
$3\delta_y-5$	2810	*	3150	3850	3280	*	1470	4280

*: 測定不能

表2-1 RCはりにおける速度変化

変位 レベル	水 平 方 向						鉛 直 方 向					
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	参考	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	参考
繰返しあり	無載荷	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Δy	97	92	85	90	95	100	91	82	85	82	100
	2Δy	99	87	85	88	96	93	80	83	86	81	99
	3Δy	98	83	84	71	92	100	67	78	84	70	96
	4Δy	96	77	79	60	89	100	65	60	67	71	94
	5Δy	63	36	42	46	50	100	65	60	63	71	57
繰返しなし	無載荷	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Δy	94	84	91	94	90	93	80	83	81	80	90
	2Δy	86	83	86	97	90	93	78	75	72	73	92
	3Δy	78	74	80	65	70	91	73	65	66	44	86
	4Δy	69	35	42	49	56	87	48	43	34	31	86

*: a₁～a₄については、時の速度を基準としたため、実際の値は表示の値よりも小さいと考えられる

表2-2 PPCはりにおける速度変化

変位 レベル	水 平 方 向					鉛 直 方 向				
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	参考	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	参考
繰返しあり	無載荷	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Δy	94	94	93	100	93	83	100	100	100
	2Δy	88	87	78	93	91	95	92	100	100
	3Δy	87	45	75	92	86	75	46	99	99
	4Δy	74	25	71	89	80	*	31	84	100
	5Δy	73	*	71	90	79	*	34	94	99
	6Δy	66	*	71	90	78	*	30	93	99
繰返しなし	無載荷	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Δy	98	94	93	93	90	94	93	94	100
	2Δy	94	77	100	100	98	81	68	61	100
	3Δy	90	59	100	100	98	75	*	50	100
	4Δy	86	*	100	100	72	*	49	86	100

*: 測定不能

評価するためには、なんらかの時期、例えば構造物の供用開始時などに損傷を評価すべき位置での初期値を測定し、速度の相対的变化に基づき行う必要があると思われる。

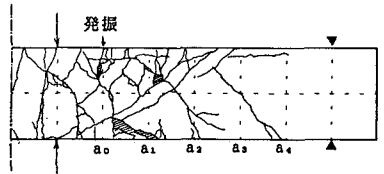
表2に各測定位置での初期速度を基準にした速度変化を示す。繰返し載荷による速度低下は載荷方向よりも載荷方法と直角方向（部材軸方向）で大きく、また、直接法よりも斜角法による速度低下が大きい。したがって、速度測定の方法をひびわれの進展と交差するようにすれば、損傷程度をよりの確に評価できることになる。

図3に各変位で5回繰返しを行ったはりの載荷終了時のひびわれ状況の一例を、また図4にそれらのはりの荷重－たわみ関係を示す。RCはりにおけるパルス伝播速度は、変位レベルが小さい段階でも繰返し載荷によって徐々に低下する傾向が認められる。これは図3からわかるように、低荷重レベルにおいて曲げひびわれが発生し、変位および繰返しの増加とともにひびわれ本数が増え、また大きなせん断ひびわれが卓越するようになるためと考えられる。一方、PPCはりにおいては、2Δyの1回目の載荷サイクル終了時にa₂およびa₄の値が急激に減少していることがうかがえる。これは、2Δy程度の変位レベルにおいては、曲げスパン内のかぶりコンクリートはすでに圧潰を開始しており、曲げ圧縮部に存在する微細なひびわれにより速度が急激に低下したと思われる、以降の載荷サイクルにおいては、曲げ圧縮部コンクリートの剥落により伝播時間の測定が困難となる。

各はりの耐力は、3Δy程度の変位レベルまでは、図4からわかるように繰返し載荷によってもほとんど低下せず、また、各変位での1回目の載荷サイクルから5回目の載荷サイクルの間には外観上ひびわれの進展はほとんど認められない。しかしながら、表2からわかるように、繰返し載荷による速度低下は大きく、この間にはりが吸収したエネルギーは供試体内部の微細なひびわれの進展等により消散されていると考えられ、供試体内部では表面ひびわれから予想される以上に損傷が進展していると考えられる。

4. あとがき 正負交番荷重を受けるコンクリートはり部材中の超音波パルス伝播速度は、測定区間内のひびわれ本数や測定方向に大きく影響を受ける。また、速度と部材の耐力低下を直接結びつけることは困難である。しかし、所定の位置で初期速度を測定しておき、以後適切な時期に測定を行うことにより、外観上ひびわれの進展等が見られない場合でも、部材内部での損傷の進行をとらえることができるものと思われる。

RCはり



PPCはり

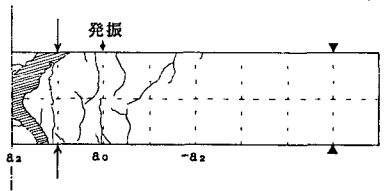


図3 ひびわれ状況

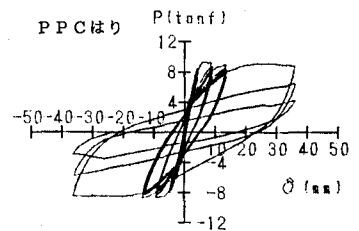
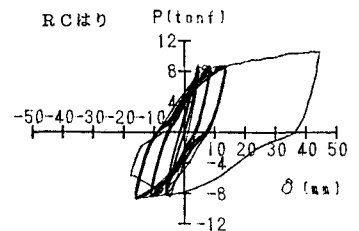


図4 荷重－たわみ関係