

京都大学工学部 正員 伊津野和行

京都大学工学部 正員 山田 善一

京都大学工学部 正員 家村 浩和

鴻 池 組 正員 大本 修

1. はじめに 地震によって損傷を被った構造物を、修復によって再利用することは少なくない。しかし、耐震の強度の面では、実験例が少なく不明な点が多いのも事実である。本研究は、軸力作用下におけるエポキシ樹脂注入などによる修復RC部材の地震応答実験結果をもとに、剛性劣化過程およびエネルギー吸収量に関して考察を行なったものである。

2. 実験概要 本実験で用いた供試体は、 $10 \times 15 \text{ cm}$ の矩形断面複鉄筋RC柱で、載荷スパン長は 150 cm である。鉄筋比 p が 1.1% でコンクリートの軸圧縮応力 σ_c が 10 および 20 kg/cm^2 のものと、 p が 3.1% で σ_c が 10 kg/cm^2 のものとを採用した。ハイブリッド地震応答実験のシステム HYLSEER は、1自由度系の運動方程式をパーソナルコンピュータで数値計算し、その際、履歴復元力を実験供試体から直接取り込むというものである。入力地震波としては El Centro NS 記録(1940)および八戸 NS 記録(1968)の強震部分30秒間を、実際の時間を80倍に引きのばして使用した。Table 1に、載荷順序および修復工法を示す。

3. 剛性の劣化指標 剛性にはいろいろな考えかたがあるが、ここでは2種類をとりあげた。1つは、復元力が0になる2点の中点と最大変形点を結ぶ直線の勾配で、これを以下、等価剛性と呼ぶ。(Fig.1,3) もう1つは、除荷開始点と除荷終了点とを結ぶ直線の勾配で、これを以下、除荷剛性と呼ぶ。(Fig.2,4) これは、除荷時の履歴が載荷時に比べて比較的簡単な形状をしていることに注目したものである。どの図でも、実験開始後2秒程度経過したところで急激に小さくなっている。これは部材が大変形をおこした点である。しかし Fig.1の等価剛性では、その後わずかながら増加する傾向がある。そして、振幅の影響を大きく受け、変形が大きくなる点で、等価剛性の値が大きく変動している。またFigs.3,4は、実験後未修復のまま再度大きな地震波を入力したものである。等価剛性(Fig.3)は、1回めの実験終了後、剛性がもどに戻っている。それに対してFigs.2,4の除荷剛性は、大変形時に急激に小さくなる点は同じだが、その後も徐々に減少しており、また振幅の影響も少ない。これらのことより、剛性劣化を表わす指標としては、除荷

Table 1 Sequence of Loadings

	鉄筋比 P	軸 力 N	処女載荷	再載荷試験 (未修復)	修 復 部 材 の 載 荷 試 験			鋼板接着部材 の破壊試験
					エポキシ注入	主鉄筋添接	鋼 板 接 着	
1	1.1 %	4.0t $\sigma_c=20\text{kg/cm}^2$	100HCN→250ELT			100HCN→250ELT		
2			150HCN→200ELT→150HCN					
3			250HCN→250HCN					
4			300HCN→300HCN					
5			150ELT→300ELT			150ELT→300ELT		
6			200ELT→200ELT					
7			250ELT→250ELT					
8			300ELT→300ELT					
9		2.0t $\sigma_c=10\text{kg/cm}^2$	150ELT→300ELT (N=4.0t)	150ELT				
10	3.1 %	2.7t $\sigma_c=10\text{kg/cm}^2$	150ELT→250ELT (N=4.0t)			150ELT→300ELT		
11			300ELT		300ELT			

剛性のほうが劣化過程をよりよく反映していると考えられる。よって以下、剛性劣化性状の比較には、除荷剛性を用いることにする。

4. 除荷剛性を用いた修復部材の劣化性状 剛性は、大変形を起こした際に、急激に劣化しており、それ以降の小変形時においては、ほとんど低下していない。El Centro 波形においては2秒前後、八戸波形においては10秒前後に供試体は大変形をおこし、剛性が低下している。このことから、剛性の劣化は大変形時において決定づけられるといえる。地震波の入力加速度が大きいほど、当然のことながら剛性の劣化は激しいが、これも、供試体の変形が大きいためと考えられる。Fig.2は、オリジナル供試体と、エポキシ樹脂注入による修復を行なった供試体とを比較した図である。修復供試体は、オリジナル時に比べ、初期においてやや小さめの剛性を示しているものの、その後の劣化した状態では、ほぼ同じ値を示している。

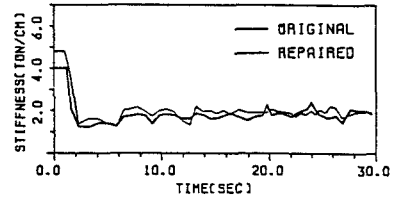


Fig.1 Deterioration of Equivalent Stiffness (No.6)

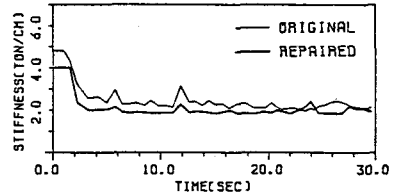


Fig.2 Deterioration of Unloading Stiffness (No.6)

Fig.4は、鋼板接着工法によって修復されたものである。修復後の劣化度は小さくなっている。変位応答が、オリジナル供試体よりもやや小さめであることから、この指標の妥当性がある程度表しているといえる。また、載荷直後における剛性の回復率は、エポキシ樹脂注入によるもので80%程度、鋼板接着によるものでは約100%であった。

5. 履歴エネルギー吸収能の劣化 構造物における履歴エネルギー吸収能は、損傷をうけるとともに低下していく。これは、履歴曲線の形状が、紡錘形から逆S字形、偏平形へと移行し、ループの面積が小さくなっていくことでもわかる。累積履歴エネルギー吸収量 W_H と、累積履歴変形量、 W_H と累積塑性変形量との関係をそれぞれFigs.5,6に示す。

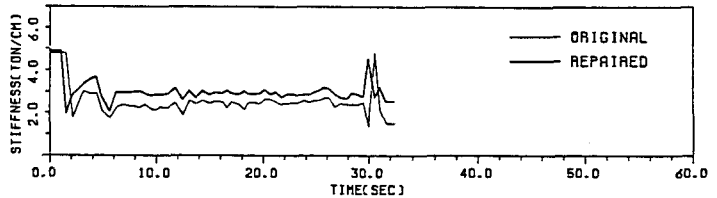


Fig.3 Deterioration of Equivalent Stiffness (No.5)

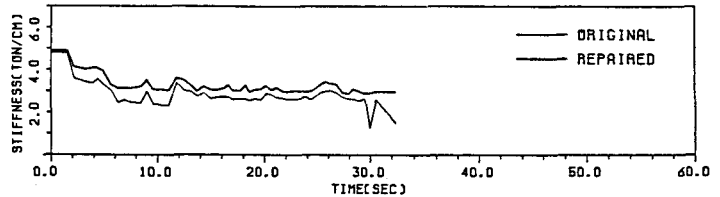


Fig.4 Deterioration of Unloading Stiffness (No.5)

Fig.5では、弾性変形をも考慮しているため、弾性域における小振幅が続くところにおいて平坦となり、大振幅、小振幅の差がはっきりと表れている。これに対して Fig.6では、なめらかな曲線を描いている。また、同種の供試体においては、入力地震波の種類、強度の差なく、ほぼ同じ傾向を示している。どの場合においても、この曲線の傾きは、徐々に低下しており、供試体の履歴エネルギー吸収能の劣化を示している。

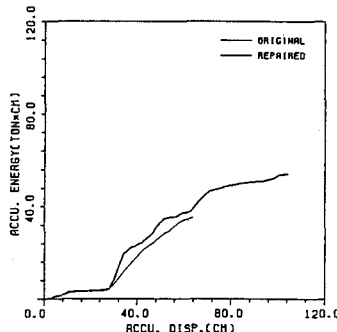


Fig.5 Acc.Disp - Acc. Hysteretic Energy

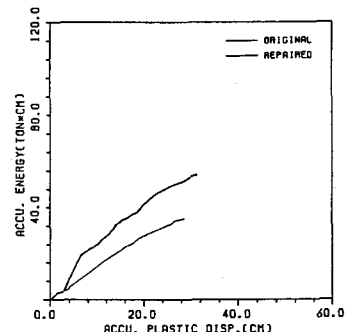


Fig.6 Acc. Plastic Disp - Acc. Hysteretic Energy