

せん断破壊する鉄筋コンクリート部材の局所変形の増大および衝撃弾性波の周波数特性

電力中央研究所 正会員 ○宮川 義範
 電力中央研究所 正会員 松村 卓郎
 関西電力 正会員 堀江 正人
 関西電力 正会員 岩森 暁如

1. はじめに

新潟県中越沖地震を受けて、発電所を構成する土木構造物の地震後の安全性を確認するには、臨時点検の項目と損傷程度の判定基準をより明確にすることが重要と考えられるようになった。しかし、主な対象となる水路やダクトなどの地中構造物は、断面方向の振動による損傷を壁の内側表面からしか目視できないという性格を有する。特にせん断破壊の判定については、斜めひび割れを直接観察できないので、表面の変位計測、非破壊検査、観測波を用いた地震応答解析などの多面的アプローチが必要となる。そこで、これらの手法を用いた場合の判定基準を作成するために、載荷実験を実施して、部材がせん断破壊に至る過程における表面変位やひずみ、および非破壊検査法の一つとして衝撃弾性波のデータを取得した。

2. 実験概要

図1および表1に示す片持ち梁7体、両端回転固定部材7体、計14体のせん断補強筋の無い鉄筋コンクリート部材試験体に対して、静的に正負の繰返し水平荷重を与えた。各サイクルの最大変位時点とそこからの除荷を終えた時点で、試験体正面（水路やダクトの断面に相当する）の写真撮影を行い、二次元画像計測¹⁾によってひずみ分布を捉えた。計測用マーカーは100mm×100mmの格子状に配置した。また、撮影と同じ時点において側面をハンマで打撃し、打撃面とその反対面の4~5点で加速度計による弾性波計測を行った。

3. 実験結果

まず、画像計測で得られた結果から述べる。荷重を受けて斜めひび割れや付着割裂ひび割れが拡幅すると、見かけ上部材厚が増大する。図2は、この部材厚増分の材軸に沿った最大値を横軸とし、その時の荷重と最大耐力との比を縦軸として整理したグラフである。また、図3では、100mm×100mm領域における平均的なせん断ひずみの部材中最大値を横軸として同様の整理を行った。硬化過程の残存耐力比を1とすると、例えば両端回転固定部材で80%の耐力が残存するための十分条件は部材厚増分1.4mm以下またはせん断ひずみ1.06%以下となり、さらに耐力比50%では部材厚増分13.1mm以下またはせん断ひずみ4.28%以下となる。ただし、参照す

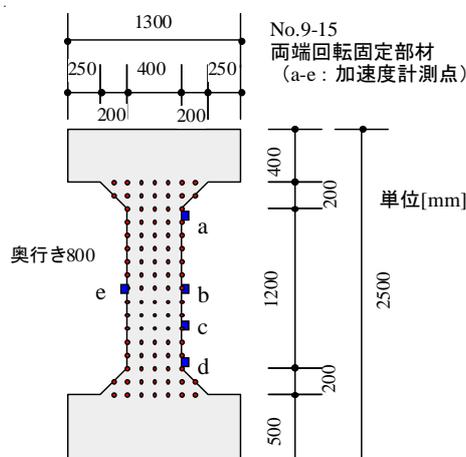


図1 試験体の形状と寸法

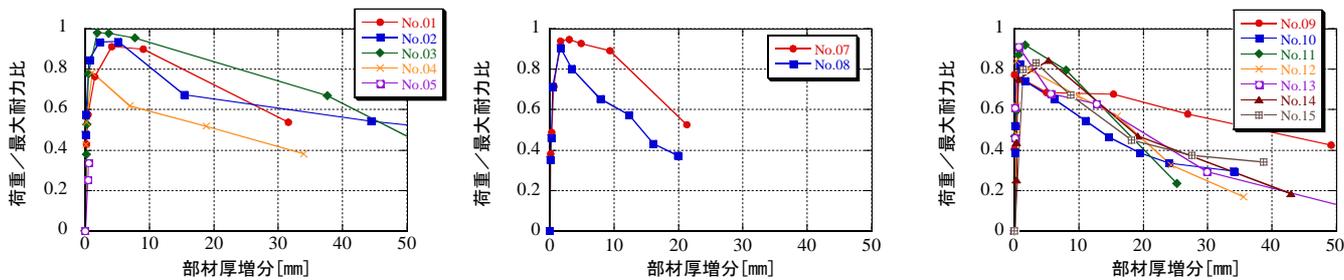
表1 試験体一覧

No.	試験体名	載荷方式	部材厚[mm]	コンクリートの圧縮強度[MPa]	引張鉄筋比	主筋	軸力比
1	BL-F-32-N	片持ち梁	800	56.1	0.57%	D32	0.000
2	BL-F-16-N			56.2	0.57%	D16	
3	BL-FS-32-N			28.7	0.57%	D32	
4	BL-FS-16-N			28.2	0.57%	D16	
5	BL-S-32-N			31.6	1.13%	D32	
7	BS-FS-16-N			27.3	0.57%	D16	
8	BS-S-16-N			32.1	1.13%		
9	CS-FS-16-N	29.9	0.57%				
10	CS-S-16-N	30.4	1.13%				
11	CS-F-16-N	55.8	0.57%				
12	CS-FS-16-C	30.6	0.57%				
13	CS-S-16-C	30.0	1.13%				
14	CS-FS-16-T	31.4	0.57%				
15	CS-S-16-T	29.4	1.13%				
							0.051
							0.052
							-0.050
							-0.053

※No.6は予備試験でパイロットとして用いた

キーワード せん断、画像計測、せん断ひずみ、衝撃弾性波、周波数特性

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1181



(a) No. 1-5 片持ち梁 (大)

(b) No. 7-8 片持ち梁 (小)

(c) No. 9-15 両端回転固定部材

図2 見かけの部材厚増分と残存耐力の関係

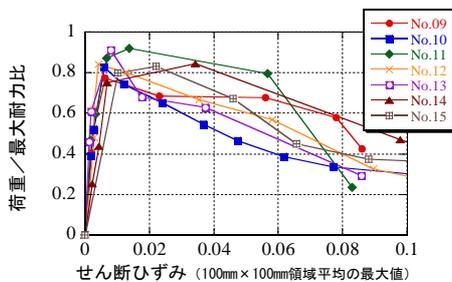


図3 せん断ひずみと残存耐力の関係 (No. 9-15)

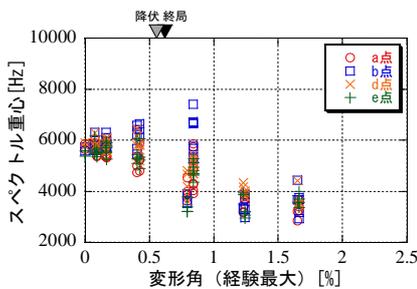


図4 変形角とスペクトル重心の関係 (No. 9 c点打撃)

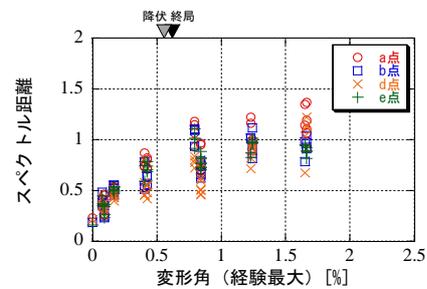


図5 変形角とスペクトル距離の関係 (No. 9 c点打撃)

る残存耐力比が小さくなるほど繰返し履歴の違いによる結果の変動が増すと予想されるので注意を要する。

次に、衝撃弾性波計測の結果について述べる。図4は、変形角の経験最大値と、着目する周波数領域におけるフーリエスペクトルの重心との関係の一例である。着目する周波数領域は、今回使用した加速度計の仕様に基づいて2~10kHzとした。同一の横軸値に対する複数のプロットは、順方向载荷、除荷、反転方向载荷といった载荷段階の違いによるばらつきを表している。スペクトルの重心は、終局に至るまで明瞭な増減を示さず、終局以降急激に低下する傾向が認められた。図5は、初期の無損傷状態で得られるスペクトルを基準として、損傷後に得られるそれとの形状の類似性を以下の距離尺度²⁾で評価した結果の一例である。

$$SD = \sum_i^n |a_n(f_i) - a_{0n}(f_i)| \Delta f \tag{1}$$

ここで、 $a_n(f)$: 着目する周波数領域における面積が1になるように基準化した振幅スペクトル
 $a_{0n}(f)$: 初期の無損傷状態における基準化振幅スペクトル
 Δf : 周波数分解能

ただし、距離尺度の種類として、評価値の範囲が0~2に定まることから、二乗和平方根でなく絶対値の和を用いた。スペクトル形状の差は、重心とは逆に終局までの単調増加が特徴的で、終局以降はばらつきが顕著になる傾向が認められた。この傾向は、打撃面とその反対面のいずれにおいても同様であった。

4. まとめ

载荷実験を行って、部材がせん断破壊に至る過程における部材厚増分やせん断ひずみと残存耐力との関係を示した。また、損傷の進行と衝撃弾性波のスペクトル重心、スペクトル距離との関係を示した。

謝辞

本研究は、電力9社と日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による電力共通研究として実施した。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 酒井理哉, 松尾豊史, 鬼束俊一, 原田光男: 円筒型RC構造物の局所変形箇所における画像計測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.1141-1146, 2001.
- 2) 田中洋輔, 鎌田敏郎, 石田誠, 浅野雅則: 周波数分布のパターン認識を活用した衝撃弾性波法によるコンクリート管のひび割れ評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.1, pp.1955-1960, 2006.