

V-274 線形累積疲労被害則を用いた数種類の地震波の等価繰り返し回数に関する一考察

東日本旅客鉄道 構造技術センター 正会員 小林 薫

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下「RC」という)構造物の耐震性能を実験から検証する場合、実物規模、あるいは縮小模型などの供試体による静的な正負水平交番載荷試験(以下「交番載荷試験」という)が用いられる。交番載荷試験では、供試体の基準となる変位(通常、降伏変位がよく用いられる)の整数倍の水平変位を変位制御で載荷する方法が一般的に行われる。交番載荷試験では、想定する最大変位で10回程度の繰り返し載荷において、耐力が保持できれば十分と考えられていたが、最大変位が不明なため実験上のテクニックとして、各変位段階で繰り返し載荷を行ってきた。しかし、高じん性の構造物の場合、この方法だと鉄筋破断等で部材本来の変形性能を把握できない例が増えてきた。

本来、このような交番載荷試験からRC構造物の耐震性能を評価する場合は、想定する地震動による構造物の応答特性を考慮して行わなければならないと考える。これは、例えば、構造物の応答変位が小さく繰り返し回数が多い、あるいは、応答変位が大きく繰り返し回数が少ない場合などでは、その応答特性に応じた交番載荷試験を行うというようなことである。構造物の地震時の応答は、不規則振動となることから、これをそのまま交番載荷試験に適用することは無理が多い。そこで、不規則な波形を単一の最大応答値の波形が、単純繰り返しで何回分に相当するかを表す等価繰り返し回数をを用いた交番載荷試験でRC構造物の耐震性能の評価をすべきであるとする。本文は、地震動によって構造物に生じる応答の繰り返し回数に着目し、線形累積疲労被害則を仮定し構造物の等価繰り返し回数について検討を行ったものである。

2. 検討方法

本検討では、地震動による構造物の等価繰り返し回数の算定に対して、線形累積疲労被害則¹⁾を仮定している。線形累積疲労被害則とは、疲労による損傷が線形的に累積することを仮定しているもので、(1)式で表される。これは、マイナー則とも呼ばれ、一定振幅の繰り返し回数 n_i とその振幅に対する疲労寿命 N_i との比が被害度を表し、それらの総和が1.0になると破壊するという疲労の蓄積に関する被害則である。マイナー則は、言い換えれば、種々の独立な応力波の繰り返しを、ひとつひとつの一定振幅の波に換算するものでもある。

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = 1.0 \quad (1)$$

地震動による構造物の等価繰り返し回数を求めるためには、まず、地震動による構造物の応答変位を求める必要がある。この計算には、減衰定数5%の線形の1質点系の振動モデルを仮定した。線形の振動モデルを仮定した理由は、供試体による交番載荷試験が、水平変位量を仮定した等価線形による正弦波荷重の載荷と理解できるためである。

1質点系振動モデルによる応答解析では、応答変位波形に着目し、ゼロアップクロス法により不規則な単一波に分離している。ゼロアップクロス法²⁾は、波形が波の谷から山へ向かって上昇し、ゼロ線を横切る点を波の始まりとし、波形が不規則に振動しながらゼロ線の下に降り、次に上昇しながら再びゼロ線を横切れば、その点をひとつの波の終わりとし、かつ次の波の始点とする。本検討では、1サイクルの波を正側と負側の半サイクルに分離し、それぞれ正側、負側の半サイクルの独立した波として扱っている。等価繰り返し回数の計算では、マイナー則の仮定とともにS-N線図を定めなければならない。本検討では、異径鉄筋母材の完全片振り時の引張疲労強度を定めたS-N線図³⁾を用いた。表1に地震波形の諸元を示す。表2は、解析に用いた

キーワード：交番載荷試験、マイナー則、等価繰り返し回数、S-N線図

〒151 東京都渋谷区代々木2-2-6 TEL 03-5351-4735 FAX 03-5351-4736

1 質点系振動モデルの諸元を示す。

3. 検討結果

図1は、神戸海洋気象台 NS 成分の応答変位波形に対して、固有周期 0.3 秒と 2.0 秒について、X 軸に波数を、Y 軸に正側、負側の各最大応答変位で各波形のピーク値を除いて無次元化した値を折れ線グラフで示したものである。このグラフからは、振動モデルの固有周期が長周期になるに従って、最大応答変位に対する各波のピーク値の比は大きく波数は減少し、固有周期が短い場合には波数が多くなるが最大応答値に対する各波のピーク値の比が小さくなっている。この傾向は、各地震波にほぼ共通していた。表3に、検討地震波の等価繰り返し回数を示す。等価繰り返し回数の最大値は、5 回程度となり、平均的には 2～3 回程度の等価繰り返し回数となった。これは、図1に示すような構造物の応答特性が、等価繰り返し回数に反映されたこと、計算に用いた異径鉄筋母材の完全片振り時の S-N 線図が、降伏ひずみ以降のひずみ領域を対象としたものでないことから、本検討結果としてこのような値となったと思われる。

4. おわりに

交番載荷試験により RC 構造物の耐震性能を適切に評価するために、その繰り返し回数について地震動による構造物の応答を線形累積疲労被害則（マイナー則）を仮定し、最大応答変位の等価繰り返し回数で評価する一手法について述べた。本検討方法では、仮定した S-N 線図の勾配によって、等価繰り返し回数が定められるため、このような手法を適用していくためには、RC 部材損傷個所での鉄筋ひずみの平均化の影響、鉄筋破断については異径鉄筋の降伏後の繰り返し載荷の特性を、コンクリートのせん断破壊等の場合は別の特性のもので検討する必要があると思われる。

表2 解析に用いた 1 質点系モデル

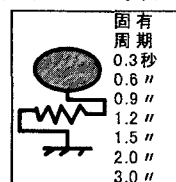
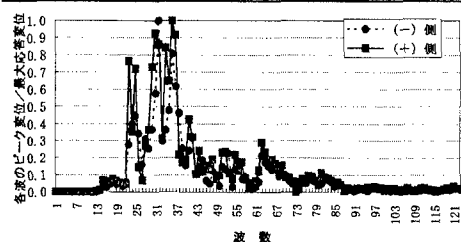


表1 検討地震波の諸元

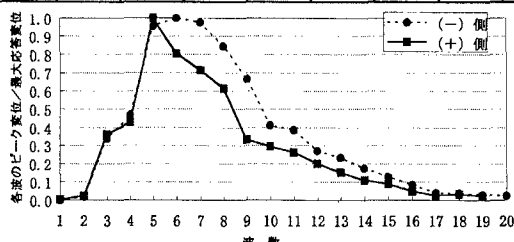
地震波名称	最大応答 加速度	地震名称	解析 時間
神戸海洋気象台 NS	81.8 gal	1995兵庫県南部地震	40秒
JR鹿取駅 EW	66.0 gal	1995兵庫県南部地震	40秒
八戸波 NS	22.5 gal	1968十勝沖地震	35秒
関北 B	27.1 gal	1978宮城県沖地震	37秒
新菊川波	7.4 gal	1978伊豆大島近海地震	37秒

表3 検討地震波の等価繰り返し回数

固有周期	t=0.3		t=0.6		t=0.9		t=1.2		t=1.5		t=2.0		t=3.0	
地震波	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側	(+)側	(-)側
八戸波 NS	1.51	1.25	3.18	1.85	2.26	1.15	1.79	2.13	2.06	2.11	1.39	1.48	1.87	2.51
関北 B TR	1.88	1.71	4.89	1.80	2.97	1.25	1.41	1.52	2.23	1.63	1.55	1.17	2.19	3.00
新菊川波	1.74	1.78	1.83	1.11	2.23	1.70	1.01	2.10	2.14	1.63	3.28	2.09	2.94	1.13
神戸海洋気象台 NS	2.82	1.21	1.30	2.71	1.19	1.69	1.22	1.54	1.41	1.14	1.24	2.78	1.26	1.00
JR鹿取駅 EW	1.08	1.40	1.22	1.68	2.04	1.75	1.48	2.93	1.02	1.73	1.69	1.47	1.49	2.74



(a) t=0.3 秒の場合



(b) t=2.0 秒の場合

図1 応答変位波形の最大応答変位に対する各波のピーク値の比（神戸海洋気象台 NS 成分の場合）

【参考文献】

- (社) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説
- 岸谷、児島、石橋、阪田、松下：疲労、コンクリート構造物の耐久性シリーズ、技報堂出版、1987.9
- 土木学会：コンクリート標準示方書設計編、平成8年度版