

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動を受ける座屈補剛十字ブレースダンパーの性能評価(その3) ランダム波形に対する疲労評価
Title	
著者(和文)	植木卓也, 加村久哉, 山路宗忠, 北村春幸, 佐藤大樹, 西井宏安
Authors	Takuya Ueki, Haruyuki Kitamura, daiki sato
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. C-1, No. , pp. 949-950
Citation(English)	, Vol. C-1, No. , pp. 949-950
発行日 / Pub. date	2010, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110008110270">http://ci.nii.ac.jp/naid/110008110270</a>

# 長周期地震動を受ける座屈補剛十字ブレースダンパーの性能評価 (その3: ランダム波形に対する疲労性能評価)

長周期地震動 座屈補剛ブレース 低降伏点鋼  
疲労特性 ランダム波形

正会員 ○植木 卓也\*1 同 加村 久哉\*1  
同 山路 宗忠\*2 同 北村 春幸\*3  
同 佐藤 大樹\*3 同 西井 宏安\*3

## 1. はじめに

前報その2\*1では代表的な長周期地震動に対し、本座屈補剛十字ブレースダンパーは10回以上の入力に耐え得るエネルギー吸収性能を有していることを確認した。一方で、継続時間の長い長周期地震動に対する制振を考える際は、ダンパーの疲労特性評価が重要と考えられる。これまで、定振幅載荷実験に基づく振幅-繰返し回数の関係による疲労評価が行われてきたが、地震波のようなランダム波に対して、疲労評価を行った研究は少ない。

そこで本報では、長周期地震動の応答挙動を等価な定振幅に置き換えることにより、既に明らかとなっている疲労曲線\*2に基づく評価を試みた。

## 2. 波形の分解

図1に OSA NS 波入力時におけるダンパー軸力材(塑性化部)の歪応答時刻歴の一部を示す。歪  $\varepsilon(t)$  は、実験より得られた変位量  $\delta(t)$  を用いて、次式で算出している。

$$\varepsilon(t) = (\delta(t) - \delta_e(t)) / L_d \quad \dots (式1)$$

ここに、 $L_d$  は塑性化部長さ、 $\delta_e(t)$  は塑性化部を除く端部断面の弾性変形量であり、軸方向荷重  $N(t)$  および端部断面積  $A$  を用いて、下式で表される。

$$\delta_e(t) = N(t) \cdot (L - L_d) / (A \cdot E) \quad \dots (式2)$$

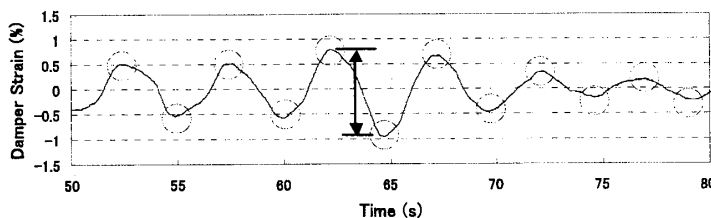


図1. 半波長の定義

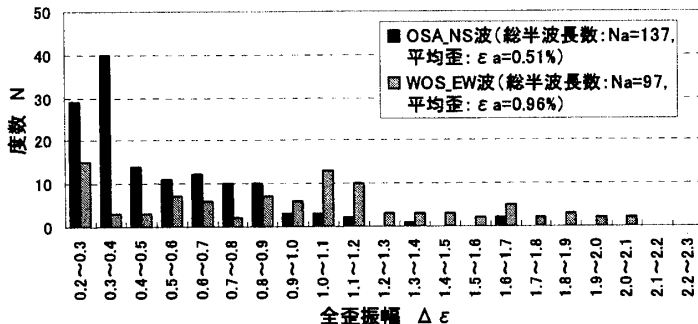


図2. 全歪度数分布

ランダム波形を定振幅波形の組み合わせと考え、振幅法に基づき極大-極小値(図1中の○印)間を定振幅半波長として分解する。図2に得られた半波長の歪振幅  $\Delta \varepsilon_i$  に対する度数分布を示す。なお、歪振幅が弾性歪範囲 ( $\Delta \varepsilon \leq 2 \varepsilon_y \approx 0.2\%$ ) のものは除いている。半波長の総数  $N_a$  は、OSA NS 波で約140、WOS EW 波で約100となっており、OSA NS 波は減衰が小さく、小振幅の波を多く含んでいることが分かる。

## 3. 疲労特性評価

本ダンパーについて文献【2】で得られた全歪振幅  $\Delta \varepsilon$  と繰返し回数  $N$  の関係を図3に示す。この関係から、半波長当たりの推定繰返し回数は次式より算定される。

$$N_i = 2 \times \left( \frac{15.83}{\Delta \varepsilon_i} \right)^{1/0.44} \quad \dots (式3)$$

ここで、半波長分の疲労進展度を  $1/N_i$  とすると、長周期地震動が作用した時の疲労進展度  $R$  は次式で表現できる。

$$R = \sum_{i=1}^{N_a} \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{15.83}{\Delta \varepsilon_i} \right)^{-1/0.44} \quad \dots (式4)$$

OSA NS 波および WOS EW 波について、上式で算定した疲労進展度を表1に示す。疲労進展度としては約70%~150%と地震動によってばらつきが大きい傾向があるが、

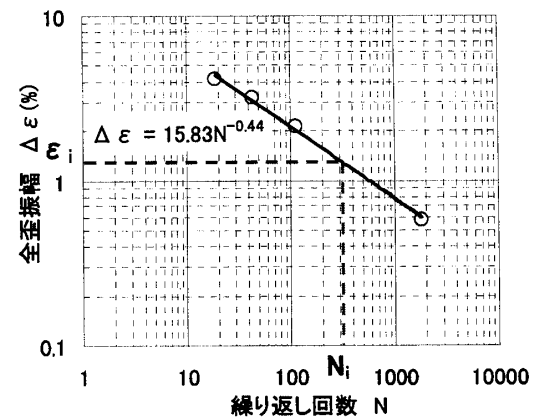


図3. 疲労曲線

表1. 疲労進展度

波形	変位増幅率×1.0		変位増幅率×1.5		破断までの疲労進展度
	疲労進展度	入力回数	疲労進展度	入力回数	
OSA NS波	0.04	10	0.16	2	0.73
WOS EW波	0.12	10	0.38	1	1.54

Verification for Capacity Cross-shaped Brace Danpar that  
Receives long-period ground motion  
Part.3 Evaluation of Fatigue Resistance for Input Random Waves.

UEKI Takuya, KAMURA Hisaya, YAMAJI Munetada  
KITAMURA Haruyuki, SATO Daiki, NISHII Hiroyasu

これを(式4)に基づき歪振幅のばらつきに換算すると、約90%~120%に相当し、良い一致を示していると言える。

疲労進展度のばらつきの原因としては、①波形分解の精度、②大振幅を受けた際の余歪がその後の疲労特性に与える影響などが考えられる。①については、レインフロー法などを適用することで、より精度の高い推定も可能と思われるが、ここでは、設計への反映を考慮して簡易な手法を採用した。②については、本結果からだけでは評価が難しく、さらに詳細な検討が必要と思われる。

4. 簡易評価法

前述のように半波長ごとに疲労進展度を求める手法は設計に際しては手間が掛かるため、より簡便な評価手法として、波形分解した歪振幅の平均値(等価歪振幅)  $\epsilon_{eq}$  を用いて疲労進展度を算出することを試みる。

等価歪振幅  $\epsilon_{eq}$  に対する等価繰返し回数  $N_{eq}$  は、地震終了時  $t_0$  までにダンパーが吸収したエネルギー量  $W(t_0)$  を用いて、次式で表される。

$$N_{eq} = \frac{W(t_0)}{\eta_{eq} \cdot \sigma_y \cdot A_d \cdot \epsilon_y \cdot L_d} \quad \dots (式5)$$

ここに、 $\eta_{eq}$  は等価歪振幅  $\epsilon_{eq}$  に対する1波長当たりの累積塑性変形倍率を示し、図5に示すように定振幅載荷試験の結果から次式で表される。

$$\eta_{eq} = \left( \frac{\epsilon_{eq}}{0.184} \right)^{1/0.717} \quad \dots (式6)$$

等価歪振幅  $\epsilon_{eq}$  に対する推定繰返し回数  $N$  は図3中の疲労曲線式で表されることから、疲労進展度  $R'$  は次式で算定される。

$$R' = \frac{N_{eq}}{N} = N_{eq} / \left( \frac{15.83}{\epsilon_{eq}} \right)^{1/0.44} \quad \dots (式7)$$

上記の推定式によって求めた疲労進展度を表2に示す。

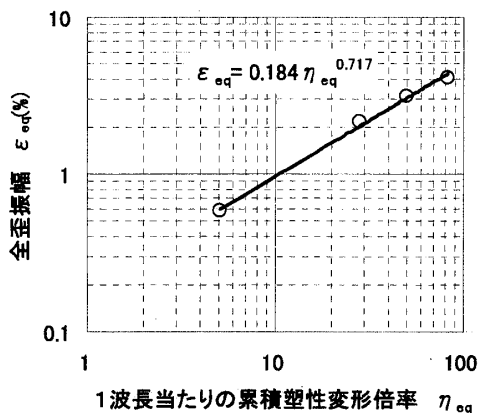


図4.  $\Delta \epsilon - \eta_{eq}$  関係

破断までの疲労進展度は OSA NS 波では約 70%, WOS EW 波では約 160%となっており、半波長の足し合わせで算定した表1に示す疲労進展度とほぼ近い値となること分かる。また、図5に長周期地震動実験における等価繰返し回数の推移と疲労曲線式の関係を示す。歪振幅と繰返し回数は対数上で直線関係にあるため、前述の疲労進展度のばらつきは見かけ上小さくなり、ランダム載荷における変形限界時の疲労特性は、疲労曲線式にほぼ近似していることが分かる。

5. まとめ

本報では、ランダム波に対する疲労評価手法を提案し、本ダンパーの長周期地震動載荷試験結果は、定振幅載荷試験に基づく疲労曲線式と良い対応を示すことを確認した。ただし、小振幅を多く含む地震動に対しては、平均歪振幅を過小評価する場合があります、安全率を考慮した設計が必要と考えられる。

<参考文献>

- 1) 加村久哉他; "長周期地震動を受ける座屈拘束十字ブレースダンパーの性能評価(その2:動的載荷試験)", 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010.8
- ※2) 植木卓也他; "低降伏点鋼を用いた十字型ブレースダンパーの性能検証", 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp799-800, 2009.8

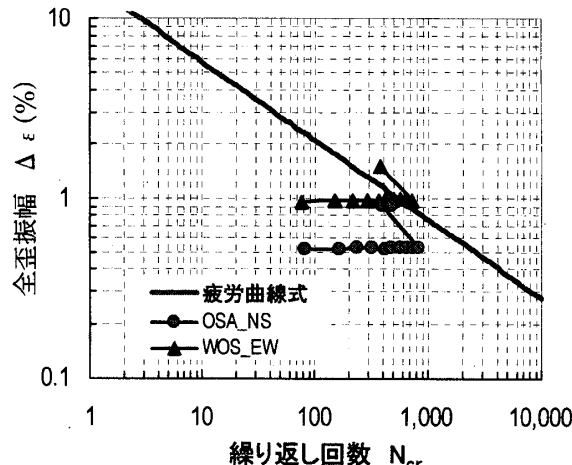


図5. ランダム載荷時の繰返し回数推移

表2. 推定疲労進展度

加振回数	OSA NS波					WOS EW波					
	$W(t_0)$ (kN・m)	$\epsilon_{eq}$ (%)	$\eta_{eq}$	$N_{eq}$	R	$W(t_0)$ (kN・m)	$\epsilon_{eq}$ (%)	$\eta_{eq}$	$N_{eq}$	R	
1	389.3	0.51	4.20	83	0.03	842.1	0.96	9.95	76	0.13	
2	395.7	0.52	4.22	83	0.04	830.7	0.96	10.01	74	0.13	
3	400.7	0.53	4.33	82	0.04	822.3	0.98	10.27	72	0.13	
4	402.9	0.53	4.32	83	0.04	813.7	0.98	10.24	71	0.13	
5	405.3	0.52	4.29	84	0.04	811.4	0.97	10.17	71	0.13	
6	406.9	0.53	4.36	83	0.04	806.7	0.98	10.34	70	0.13	
7	407.3	0.53	4.35	83	0.04	796.0	0.98	10.30	69	0.12	
8	406.7	0.53	4.36	83	0.04	794.6	0.98	10.34	69	0.12	
9	406.1	0.53	4.35	83	0.04	789.9	0.98	10.30	69	0.12	
10	406.0	0.53	4.32	84	0.04	782.7	0.98	10.24	69	0.12	
11	1076.2	0.90	9.22	104	0.16	1737.2	1.52	18.94	82	0.40	
12	1055.7	0.91	9.35	101	0.15						
	計					計					
						0.67					1.65

\*1 JFE スチール株式会社  
 \*2 JFE エンジニアリング株式会社  
 \*3 東京理科大学

\*1 JFE Steel Corporation.  
 \*2 JFE Engineering Corporation.  
 \*3 Tokyo University of Science.