

長時間継続地震動下での鋼製橋脚の低サイクル疲労性能

名古屋大学 正会員 ○判治 剛

フェロー会員

館石 和雄

学生会員

鶴飼 隼

1. 目的 東北地方太平洋沖地震の地震動の特徴の一つとして継続時間の長さが挙げられる。地震動が長時間にわたり継続すると、鋼製橋脚が揺れる回数が増大し、ひずみ集中部に損傷が蓄積されることとなり、低サイクル疲労破壊が生じる可能性が高くなる。本研究では鋼製橋脚を対象として長時間地震動に対する低サイクル疲労性能について検討する。

2. 地震応答解析 本研究では図-1 に示す単柱式鋼製橋脚を対象とする。解析パラメータを表-1 にまとめる。既往の調査結果¹⁾を参考にして幅厚比パラメータと細長比パラメータを変化させた 28 種類とした。低サイクル疲労損傷の発生位置として、図-2 に示すベースプレート溶接部の角部、および三角形補剛リブのまわし溶接部に着目した²⁾。解析モデルは梁要素を用いた 1 質点系モデルとし、降伏応力は 315MPa、構成則は 2 次勾配 $E/100$ のバイリニア型、移動硬化則とした。弾性係数は 200GPa、ポアソン比は 0.3、密度は 7.85g/cm^3 とし、レイリー減衰(減衰定数 0.01)を用いた。道路橋示方書に示されている東北地方太平洋沖地震で計測された 6 種類のレベル 2 タイプ 1 地震動を与えて地震応答解析を実施した。低サイクル疲労損傷度は、既往の研究²⁾により提案された公称ひずみ基準の低サイクル疲労強度曲線を用いて評価した。

3. 解析結果 地震応答解析によって求めた橋脚基部のひずみ履歴から累積損傷度を求めた。その結果を図-3 に示す。縦軸の累積損傷度が 1.0 を超えると低サイクル疲労損傷が生じると考えることができる。ここでは安全側の照査として、0.5mm のき裂が発生したときを損傷発生と定義している。図より、橋脚の固有周期が小さいほど損傷度が大きくなっており、1 秒程度以下の橋脚で低サイクル疲労損傷が生じる可能性が高いと考えられる。また 1 種および 2 種地盤上にある橋脚で損傷度が大きくなる傾向にある。三角リブ溶接部ではひずみ集中の程度が高いため損傷度も大きくなっている。以上より、長時間地震動下で多くの橋脚において低サイクル疲労損傷の発生が懸念される結果となった。そこで、溶接止端処理により疲労強度を向上させた橋脚に対する低サイクル疲労照査法を新たに提案し、それにより損傷度を再評価する。

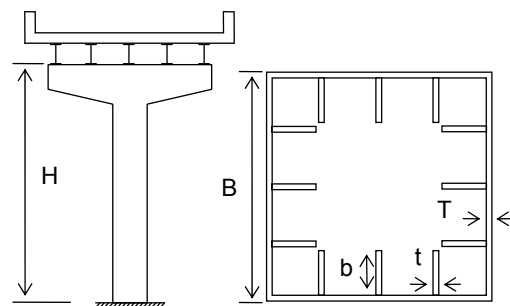
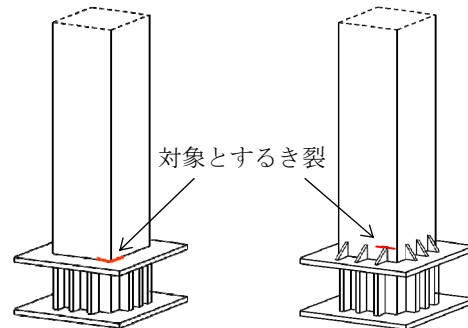


図-1 対象橋脚

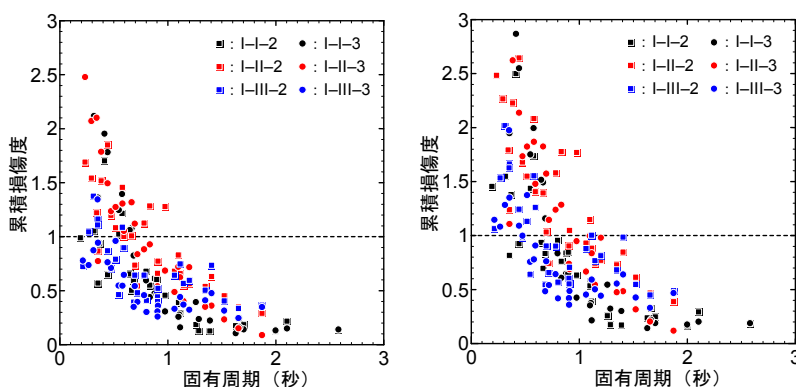
表-1 解析パラメータ

幅厚比パラメータ	0.2, 0.3, 0.4, 0.5
細長比パラメータ	0.2~0.8 (0.1 刻み)
軸力比	0.05~0.175 (0.25 刻み)
橋脚幅 B [m]	0.96, 1.44, 1.92, 2.4
橋脚板厚 T [m]	0.025
橋脚高さ H [m]	2.8~29
補剛材幅 b [m]	0.15
補剛材板厚 t [m]	0.016, 0.02
固有周期 [秒]	0.194~2.58



(a) ベースプレート溶接部 (b) 三角リブ溶接部

図-2 鋼製橋脚基部の種類



(a) ベースプレート溶接部

(b) 三角リブ溶接部

図-3 累積損傷度

キーワード 長時間継続地震動, 低サイクル疲労, 鋼製橋脚, 溶接止端処理

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4618

表-2 式(1)の係数

対象溶接部	止端状況	曲率半径	α	β
ベースプレート	溶接まま	0.5mm	0.0444	0.569
	止端処理	4mm	0.1075	
		6mm	0.1384	
		8mm	0.1632	
三角リブ	溶接まま	0.5mm	0.0367	0.612
	止端処理	4mm	0.0888	
		6mm	0.1144	
		8mm	0.1349	

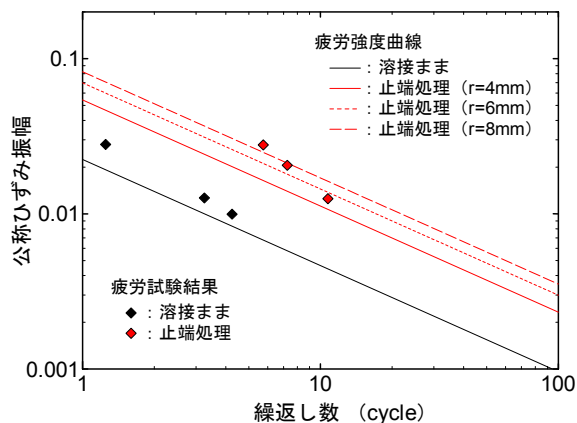
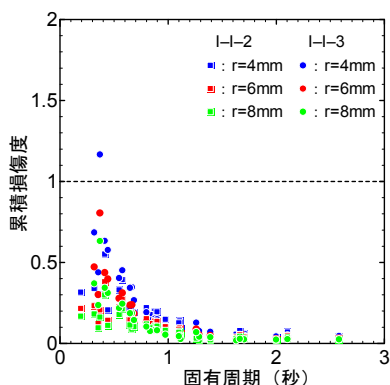
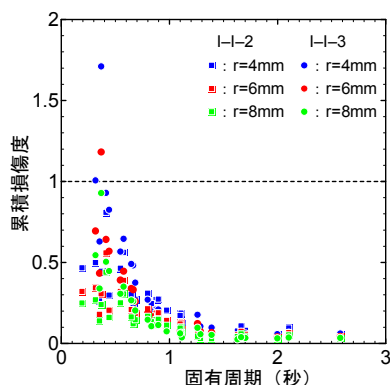


図-4 提案曲線の検証 (ベースプレート溶接部)



(a) ベースプレート溶接部



(b) 三角リブ溶接部

図-5 溶接止端処理された橋脚基部の累積損傷度

4. 溶接止端処理された橋脚基部の疲労強度曲線の提案 溶接ままの橋脚基部に対する疲労強度曲線はすでに提案されている²⁾。本研究ではそれと同様の考え方をを用いて、多数のパラメトリック有限要素解析結果を基に、溶接止端処理された橋脚基部に対する疲労強度曲線を次式および表-2に示すように提案する。

$$\Delta \varepsilon_n \cdot N^{0.684} = C \quad \text{where } C = \alpha \cdot \bar{\lambda}^\beta \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_n$ は公称ひずみ振幅であり、局部座屈の照査に用いられる有効破壊長領域内の平均ひずみとしている。 N は疲労寿命、 $\bar{\lambda}$ は細長比パラメータであり、 α, β は表-2に示す係数である。提案した疲労強度曲線の妥当性を検討するために過去の試験結果³⁾と比較した結果を図-4に示す。これはベースプレート溶接部の結果であるが、両者はよく一致しており、提案式の妥当性が示された。

5. 溶接止端処理による疲労強度向上効果の検討 提案した強度曲線を用いて止端処理された橋脚基部の累積損傷度を再評価した結果を図-5に示す。図より、ほとんどの橋脚において止端処理半径 r を 4mm 程度とすれば、損傷度が 1.0 を下回ることがわかる。固有周期が短い橋脚や三角リブ溶接部では処理半径 4mm で 1.0 を超える場合がみられるが、処理部を滑らかにして処理半径を大きくする(青→赤→緑色のプロット)ことで損傷度を低減できる。よって、橋脚基部に止端処理を施すことにより長時間地震動に対しても十分な低サイクル疲労性能を確保できる可能性が示された。

6. まとめ 長時間継続地震動下での鋼製橋脚の低サイクル疲労性能について解析的に検討した結果、固有周期が短い橋脚や三角リブが接合されている橋脚で低サイクル疲労損傷が生じる可能性が高くなるが、溶接部に止端処理を施すことによって十分な低サイクル疲労強度を確保できる可能性が示された。

謝辞 本研究は日本橋梁建設協会 平成 24 年度研究助成によるものであります。ここに記して深謝いたします。

参考文献 1) 中井ら：橋梁と基礎, Vol.16, No.6-7, pp.35-40, pp.43-49, 1982. 2) 判治ら：鋼構造論文集, Vol.16, No.64, pp.21-30, 2009. 3) 判治ら：鋼構造年次論文報告集, Vol.19, pp.355-360, 2011.