

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱 UFJ 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：激震時の道路構造物の低サイクル疲労による倒壊リスク評価と応答特性の
モニタリング

研究代表者：名古屋大学工学研究科 助教 清水優

はじめに

我が国では度々地震による甚大な被害を経験しており、近い将来には南海トラフ地震の発生が危惧されている。地震発生時の人的、経済的損失を最小限に抑えることは我が国の大きな課題である。地震により鋼構造物の破壊形態の一つに、大きな変形が繰返し発生することによってき裂が発生、進展する低サイクル疲労がある。これまでの地震においても、低サイクル疲労によると思われる部材の破断やき裂が確認されており、低サイクル疲労の照査方法を確立することは重要かつ喫緊の課題であるといえる。低サイクル疲労の照査方法を確立するためには、構造物が限界状態に達するき裂長さを明らかにし、そのき裂長に達する変位の大きさと繰返し回数を明らかにする必要がある。

1. 研究の目的

本研究では、鋼製補剛箱形断面の橋脚の基部溶接部を対象とし、繰返し塑性変形が発生する場合の低サイクル疲労寿命を検討する。き裂が無い場合に比べて最大荷重が 95% に低減するときのき裂長を限界き裂長と定め、様々な寸法の鋼製橋脚に対して限界き裂長を検討する。さらに、限界き裂長に達するまでの疲労寿命を検討する。

2. 解析方法

本研究では、フランジ幅およびウェブ幅が等しい箱形断面を対象として FEM 解析を行った。鋼製橋脚の各寸法は表-1、図-1 に示す通りであり、 t_f ：フランジ厚、 t_w ：ウェブ厚、 t_s ：補剛材厚、 b_f ：フランジ幅、 b_w ：ウェブ幅、 b_s ：補剛材幅、 h ：柱高さ、 n ：補剛材で区切られたパネル数をパラメータとした。細長比パラメータ 0.2~0.5、幅厚比パラメータは 0.3~0.5 となっている。鋼製橋脚基部溶接部の角部より、溶接線に沿って様々な長さのき裂を導入し、水平方向に載荷した。なお、軸力比 0.1 となるように一定の鉛直荷重を載荷した。

3. 限界き裂長

例として、Case-3 について、フランジ幅の 1/32, 1/16, 1/8, 1/4 の長さのき裂を導入した場合の荷重変位関係を図-2 示す。き裂が長くなるにしたがって最大荷重が低下していることがわかる。最大荷重が 95% に低下するときのき裂長を限界き裂長とし、細長比パラメータおよび幅厚比パラ

表-1 解析ケース一覧

Case	R_f	$\bar{\lambda}$	γ	b_f, b_w [m]	t_f, t_w [m]	n	b_s [m]	t_s [m]	h [m]
1	0.3	0.2	0.44	1.31	0.025	4	0.1	0.01	3.72
2	0.3	0.3	0.44	1.31	0.025	4	0.1	0.01	5.58
3	0.3	0.4	0.44	1.31	0.025	4	0.1	0.01	7.44
4	0.3	0.5	0.44	1.31	0.025	4	0.1	0.01	9.3
5	0.4	0.2	0.81	1.74	0.025	4	0.12	0.014	4.98
6	0.4	0.3	0.81	1.74	0.025	4	0.12	0.014	7.46
7	0.4	0.4	0.81	1.74	0.025	4	0.12	0.014	9.95
8	0.4	0.5	0.81	1.74	0.025	4	0.12	0.014	12.4
9	0.5	0.2	1.44	2.18	0.025	4	0.15	0.016	6.22
10	0.5	0.3	1.44	2.18	0.025	4	0.15	0.016	9.33
11	0.5	0.4	1.44	2.18	0.025	4	0.15	0.016	12.4

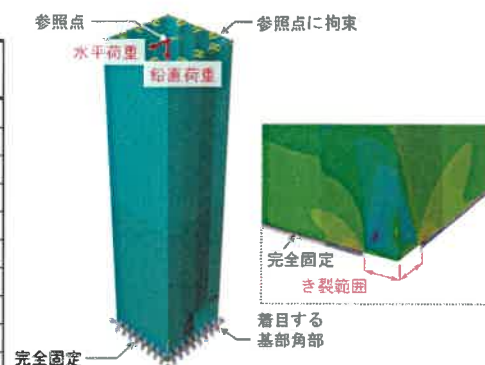


図-1 解析モデル

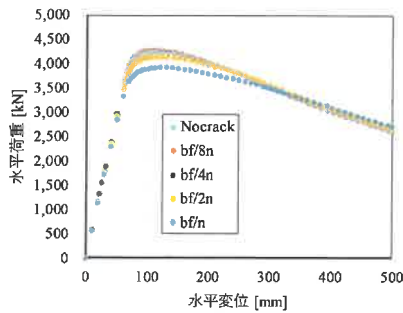
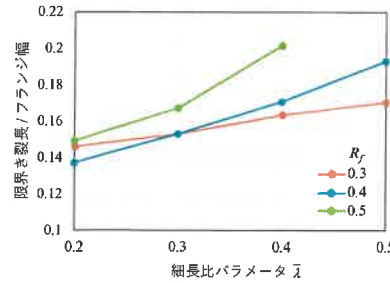
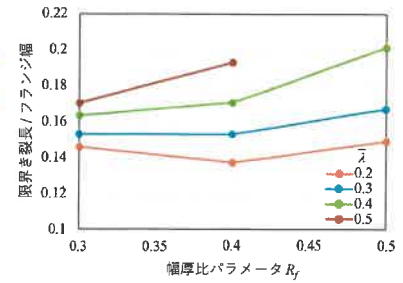


図-2 荷重変位関係 (Case-3)



(a) 細長比パラメータの影響



(b) 幅厚比パラメータの影響

図-3 限界き裂長と寸法パラメータの関係

メータで整理した。図-3より、主に細長比パラメータと相関が高く、 $\bar{\lambda}$ が大きくなると、限界き裂長が大きくなる傾向が見られる。

4. 限界き裂長に到達するまでの疲労寿命

既往の研究において、き裂の発生寿命および 1cycle あたりのき裂進展量 (き裂進展速度) の推定式が次式で与えられている^{[1],[2]}。

$$\Delta \varepsilon_f \cdot N^k = C, \quad da/dN = 1.74 \times 10^{-6} \cdot \Delta J^{2.00}$$

ここに、 $\Delta \varepsilon_f$: き裂発生箇所の局部ひずみ範囲、 N : き裂発生寿命 (き裂長 0.5mm のき裂の発生寿命)、 k 、 C : き裂発生箇所の材料に応じた係数 (溶接金属では $k=0.587$, $C=0.261$)、 da/dN : き裂進展速度 (mm/cycle)、 ΔJ : 繰返し J 積分 (N/mm)。

Case-2, 6, 10 について、図-4 に示すような正負交番漸増振幅荷重の FEM 解析を行い、図-5 に示す橋脚基部溶接部の角部に着目したサブモデリング解析により局部ひずみ範囲を求め、上式によりき裂発生寿命を求めた。さらに、き裂長を変化させた解析から繰返し J 積分を求め、き裂長に応じたき裂進展速度を求め、それを限界き裂長に達するまで累積することで疲労寿命を求めた。変位範囲と疲労寿命の関係を図-6 に示す。図中には座屈設計ガイドライン^[3]で示される 95%耐力時の変位も一点鎖線で示している。同図より、き裂発生寿命に対する疲労強度曲線で評価する場合、95%耐力時の変位と同等かそれ以下の変位範囲でも、1cycle でき裂が発生するという推定結果になっている。これに対し、限界き裂長に達するまでの疲労寿命は、き裂発生寿命の 6.4 倍以上であり、発生寿命で評価すると過度に安全側の評価となっている。細長比が一定の場合、幅厚比パラメータが大きい方がき裂発生から限界き裂長までの差が小さい傾向が見られる。

5. まとめ

- (1) フランジ幅に対する限界き裂長は、細長比パラメータが大きくなるほど長くなる。
- (2) き裂発生寿命に対する限界き裂長の比は 6.4 倍以上であり、変位範囲が大きく、幅厚比パラメータが大きいほどその比は小さくなる。
- (3) 実験的な検証、細長比パラメータが疲労寿命に与えるの影響の検討、フランジやウェブの板厚等の未検討のパラメータの影響については今後の課題である。

参考文献

- [1] 館石ら, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1281, 2005. [2] 判治ら, 鋼構造論文集, 第 23 巻, 第 89 号, pp.85-95, 2016. [3] 土木学会鋼構造委員会, 丸善, 2015.

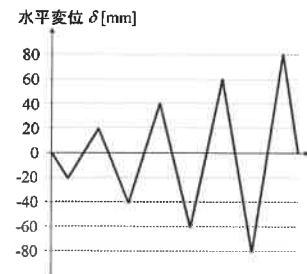


図-4 荷重テーブル

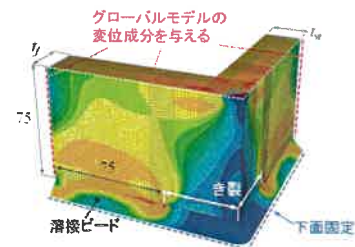


図-5 サブモデル

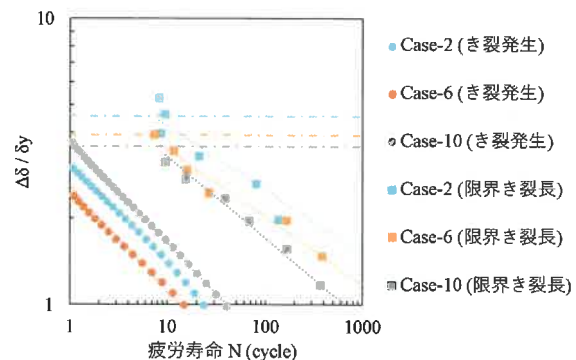


図-6 疲労寿命