鋼管集成橋脚せん断パネル接合部の低サイクル疲労照査

名古屋大学　学生会員　○野田拓史　　フェロー会員　舘石和雄　　正会員　判治　剛
名古屋大学　正会員　清水　優　　正会員　足立　陸　　阪神高速道路　正会員　杉山裕樹

１．はじめに

鋼管集成橋脚は地震時の損傷をせん断パネルに集約させ，主部材である鋼管柱を健全に保つ構造である．一方，せん断パネル接合部には大ひずみが繰返し作用することとなり，低サイクル疲労が問題となる可能性がある．そこで本研究では，せん断パネル接合部に生じる繰返しひずみ履歴を明らかにし，それに基づいた低サイクル疲労照査法について検討した．

２．試験概要

実験概要を図-1 に示す．詳細は文献 1)に譲るが，せん断パネルと鋼管仕口部を溶接により接合した構造である．せん断パネルには低降伏点鋼が用いられている．載荷は漸増の交番載荷とし，試験中，パネル角部スカラップ内のパネル側溶接止端において図-1 に示すき裂が最初に確認されており，今回はこのき裂を対象とした．

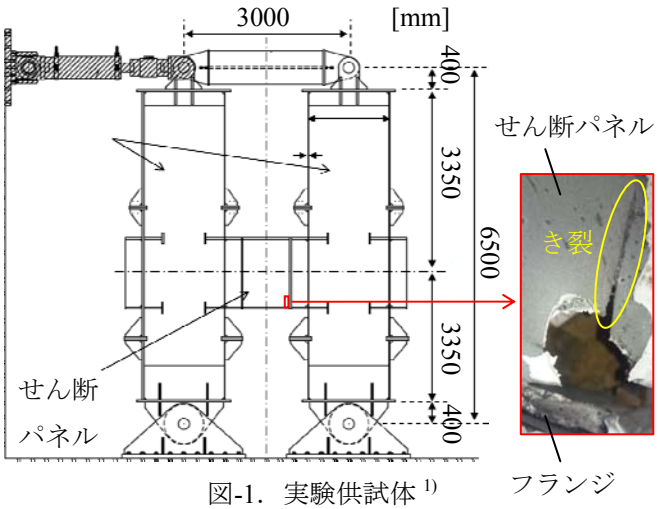
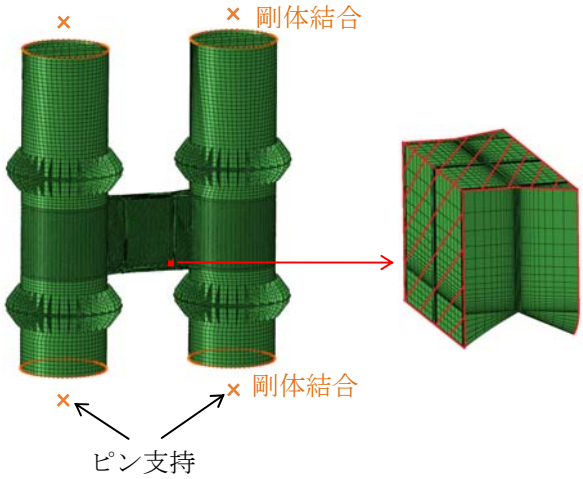


図-1．実験供試体 [1)]

３．有限要素解析

解析モデルを図-2(a)に示す．鋼管やせん断パネルはシェル要素によりモデル化したが，パネルと下フランジの接合部周辺はソリッド要素とし，溶接部も再現した．シェルとソリッドはカップリング機能により接合した．せん断パネルの構成則は引張試験結果に基づき決定し，それ以外は文献 2)を基にバイリニア型とした．せん断パネルのせん断変形量から求めた平均せん断ひずみの変動範囲を図-3 に，着目したスカラップ近傍の 45 度方向のひずみの変動範囲を図-4 に示す．解析値と実験値は比較的よく一致しており，モデル化の妥当性を確認できる．



(a) グローバルモデル　　(b) サブモデル

図-2．解析モデル

本研究では，せん断パネルのアスペクト比 α と幅厚比パラメータ R_τ を変化させた様々な解析を行い，き裂発生点における局部ひずみ範囲 $\Delta\varepsilon_l$ を，パネルの平均せん断ひずみ範囲 $\Delta\bar{\gamma}$ から推定することを試みた．なお，局部ひずみは止端形状を取り入れたズーミング解析により求めた．結果の一例を図-5 に示す．両者の関係はせん断座屈前後で変化することがわかる．全ての解析結果より，座屈発生時の平均せん断ひずみ $\bar{\gamma}_b$ は式(1)で推定でき，せん断座屈前の両者の関係は式(2)で表されることを明らかにした．なお，せん断座屈後の局部ひずみ範囲は，

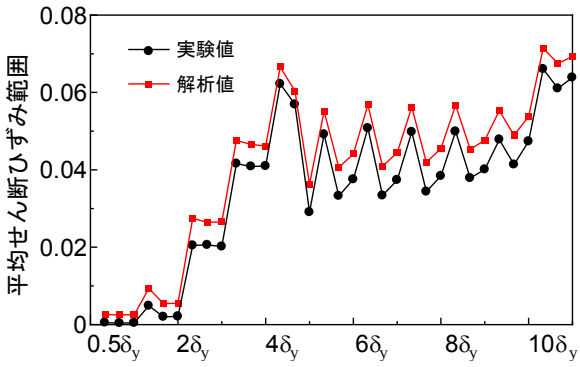


図-3．平均せん断ひずみの変動範囲

キーワード　鋼管集成橋脚，せん断パネル，低サイクル疲労，累積疲労損傷度，ズーミング解析
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: 052-789-4620

座屈発生時のそれと等しいと仮定することで，安全側に評価できる．

$$\bar{\gamma}_b = 0.0050 R_\tau^{-2.1767} \quad (1)$$

$$\Delta\varepsilon_l = A \cdot \ln\left(\Delta\bar{\gamma}\right) + B \quad (2)$$

ここで，　$A = 0.0015 \cdot t_w + 0.0998$

$B = 0.0089 \cdot t_w + 0.4820$

t_w ：せん断パネル厚さ (mm)

4．地震時の低サイクル疲労照査

前章のズーミング解析モデル（以下，詳細モデル）を用いて地震応答解析を実施し，得られた局部ひずみ履歴から累積疲労損傷度 [3]を求めた．一方，設計実務で用いられるはり要素により再現したモデル（以下, はりモデル）に対しても同様の解析を行い，得られた平均せん断ひずみ範囲から式(2)より局部ひずみ範囲を推定し，累積疲労損傷度 [3]を求めた．はりモデルにおいて，せん断パネルはばね要素によりモデル化し，詳細モデルのせん断パネルと同様の挙動となるようにばね定数を設定した．なお，ばね定数の鉛直方向成分については非線形性を考慮することで, せん断降伏を再現している. 地震応答解析は，図-6 に示すように，下端にローラー支持の境界条件と地震加速度を与えることにより行った．入力加速度は道路橋示方書･同解説(Ⅴ耐震設計編)を参考にした．なお，軸力比が 0.1 となるように上端中央部に質点を与え, モデル全体に重力加速度を与えている. レーリー減衰とし，減衰定数は 0.01 とした.

平均せん断ひずみ履歴の一例を図-7 に示す．はりモデルの方が少し大きめではあるが，両者はほぼ同様の履歴となっている．累積疲労損傷度を表-1 に示す. どちらのモデルも損傷発生の有無は同様である. 詳細モデルに比べてはりモデルの損傷度が大きいが, 今回のモデル化では，はりモデルの方が平均せん断ひずみ範囲が大きくなる傾向にあるためであり，本手法により安全側の疲労照査が可能である.

5．まとめ

鋼管集成橋脚のせん断パネル角部から生じるき裂を対象に，き裂発生位置の局部ひずみを簡易に推定する手法を提案し，はり要素による解析から低サイクル疲労照査を行うことができる可能性を示した.

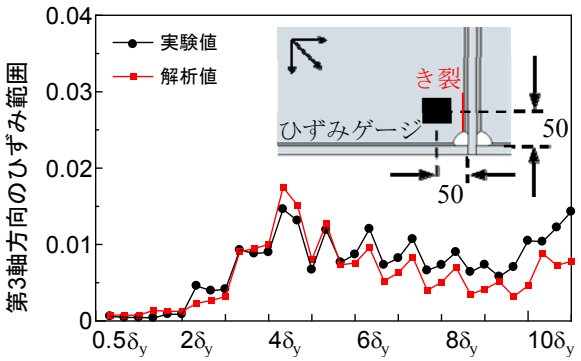


図-4．き裂発生位置近傍の 45 度方向のひずみ範囲

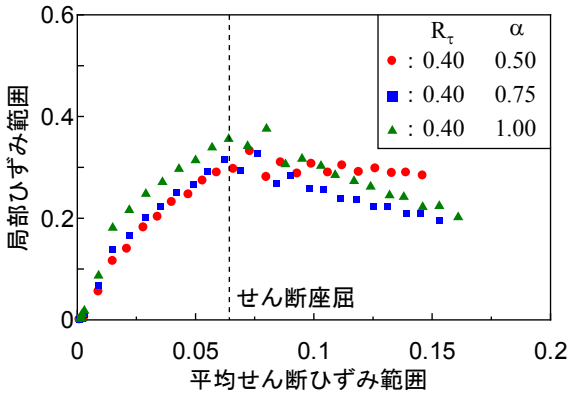


図-5．局部ひずみ範囲-平均せん断ひずみ範囲関係

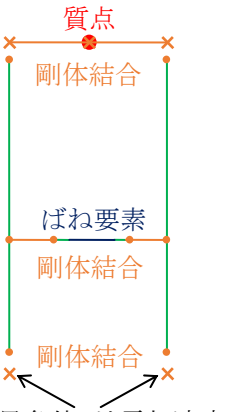


図-6. 地震応答解析

表-1．累積疲労損傷度

入力地震動	はりモデル	詳細モデル
Ⅰ-Ⅰ-1	1.59	1.09
Ⅰ-Ⅰ-3	1.51	1.15
Ⅱ-Ⅰ-1	3.82	2.25
Ⅱ-Ⅲ-2	0.81	0.79

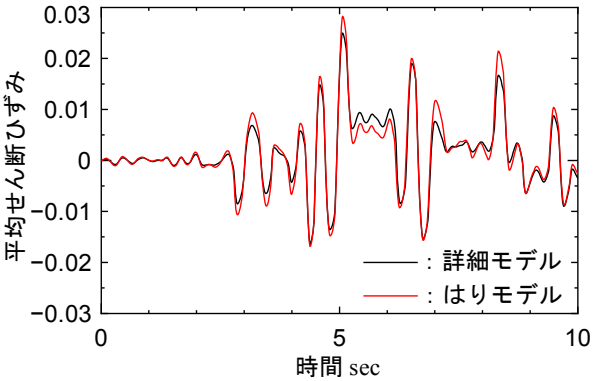


図-7．平均せん断ひずみ履歴（Ⅰ-Ⅰ-1 地震動）

参考文献　1) 篠原ら(2015)：土木学会論文集 A1，Vol.71，No.3，pp.402-415.　2) 南ら(2004)：鋼構造論文集，第 11 巻，第 42 号，pp.121-132.　3) 舘石ら(2004)：土木学会論文集，No.773/I-69，pp.149-158.