

飛球防護柵の破断損傷に関する原因究明と対策

中央コンサルタンツ(株) 正会員 ○河野 豪 正会員 加藤 裕孝
渡邊 淳 竹内 慎

1. はじめに

本稿は、自動車専用道路に設置された飛球防護柵（図-1）に発生した破断と亀裂について、原因究明と再発防止の対策を行ったものである。対象の飛球防護柵は、完成後 29 年経過した全長 160m、幅 26 m の門型構造であり、コンクリートの直接基礎にピン支承（図-2,3）で支えられている。



図-1 全景写真



図-2 支点写真

図-3 破断状況

2. 損傷概要

破断が生じた箇所は、横構と柱を接合するガセットプレート（図-4）である。この構造は、横構（角形鋼管 \square -150 \times 150 \times 4.5）にスリットを入れ、ガセットプレートを差し込み、周囲を溶接している。また横構の側面には斜材も接続しており、斜材と横構ともに破断したガセットプレートを介して柱と接合している状況であった。隣接箇所では、破断に至る前の亀裂も生じていた。破断や亀裂は飛球防護柵の出入口付近に当たる両端部に集中しており、中間部では確認されなかった（図-5）。

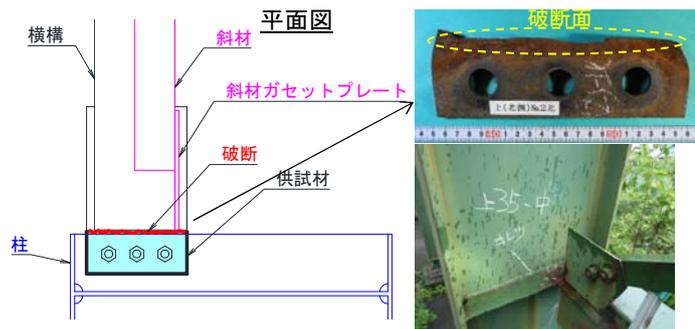


図-4 破断部詳細図

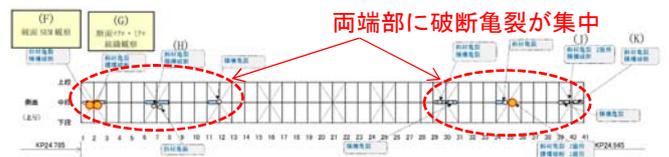


図-5 破断亀裂分布状況（側面図）

3. 損傷原因の究明

破断・亀裂の原因としては、当初「温度変化」「地震」「風」の3点が考えられた。その中で地震や風での損傷の場合、全体的に損傷が生じる可能性が高いこと、また建設時にも荷重を考慮して設計していたため、「温度変化」を主要因として調査した。

そのなかで、夏季と冬季で斜材のたわむ部位が異なっており（図-6）、延長 160m と長い構造であることから、温度変化に着目し詳細調査を行った。

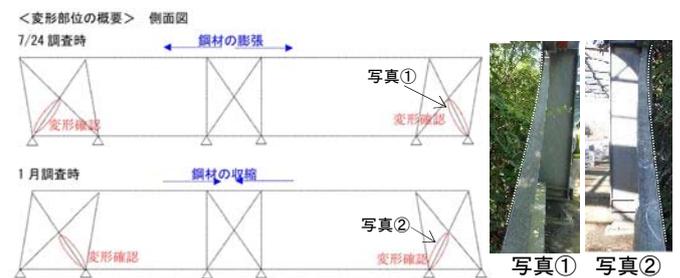


図-6 斜材のたわみ状況

(1) 破面調査

まず、破断状況を詳細に把握するため、破面調査（図-7）を行った。これは破断したピースを顕微鏡で観察し、破断面の構造から原因を推定する方法である。この調査により、a)破断面の周辺に多数の亀裂が生じていること、b)外表面近くの破面に塑性変形が見られなかったこと、c)貝殻状に亀裂が進展していたことから、繰り返し変形による疲労亀裂特有の性状を有していることが確認できたり。

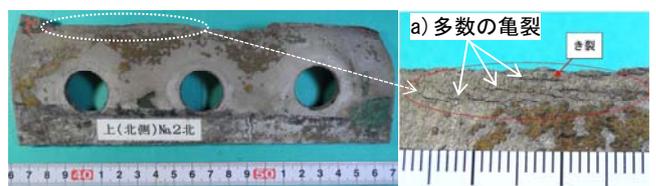


図-7 破面調査状況

(2) ひずみ計測と FEM 解析

次に温度変化による繰り返し荷重であることを確認するため、現地でひずみ計測を行い、その観測結果を基に FEM 解析にて破断箇所の応力集中状況を検証した。ひずみ計測は、横構・斜材にひずみゲージと部材温度を計測する温度センサーを貼り、気温の変化によるひずみの増減を計測する。計測は気温差の大きな日を計測できるよう1週間行った。ひずみ計測の結果、斜材には日平均温度差に当たる 10°C の温度差で部材応力 $\sigma_s=30\text{N/mm}^2$ と大きな力が作用 (図-8) していることが分かった。

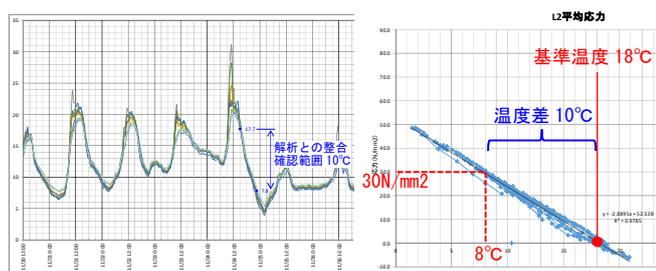


図-8 ひずみ計測結果

斜材・横構に作用する軸力を用いて、破断箇所の応力集中を明らかにするため FEM 解析を行った。解析の結果、 10 度の温度差で破断位置は塑性化が生じるほどの応力が生じていた。これは、斜材からの軸力が横構にねじりを加えるように作用し、角形鋼管の横構とガセットプレートとの溶接箇所へ局部的に最大応力 $\sigma_s=288\text{N/mm}^2$ が発生し、塑性化が生じていた (図-9)。

そのため、完成後 29 年 (約 1 万日) 経過しており、日々の気温差による弾塑性変形の繰り返しが生じていたため、低サイクル疲労が原因と推定できた²⁾。

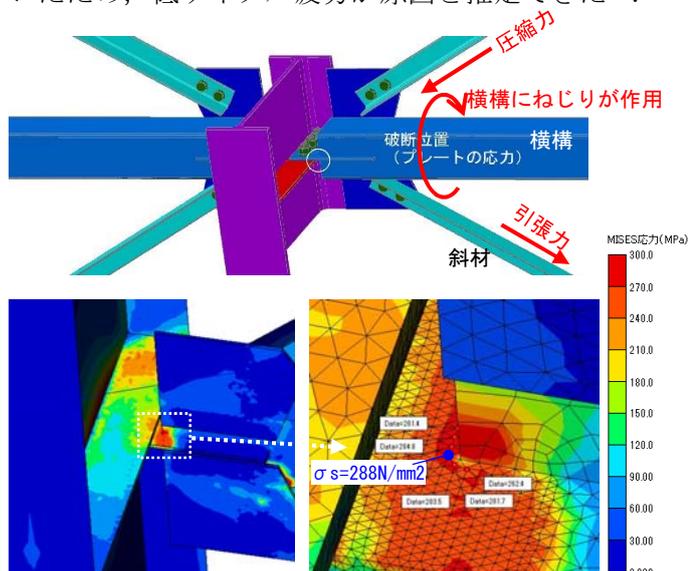


図-9 FEM 解析結果

4. 対策

本損傷は、温度変化による影響が端部での応力集中に繋がり生じていた。これは延長 160m という長い鋼構造物に対し、支承部が固定され、温度伸縮を阻害していたためである。そのため、飛球防護柵を延長 50m ずつに 3 分割する対策を採用した。

また、既設の斜材は、地震時の変形を抑えるものであったが、その応力が損傷を増長させていたため、ターンバックル構造に変更し、温度変化による荷重が柱材に作用しない構造とした。柱との接続についても、直接柱材に接合させるブラケットとし、ねじり作用が生じないものとした (図-10)。

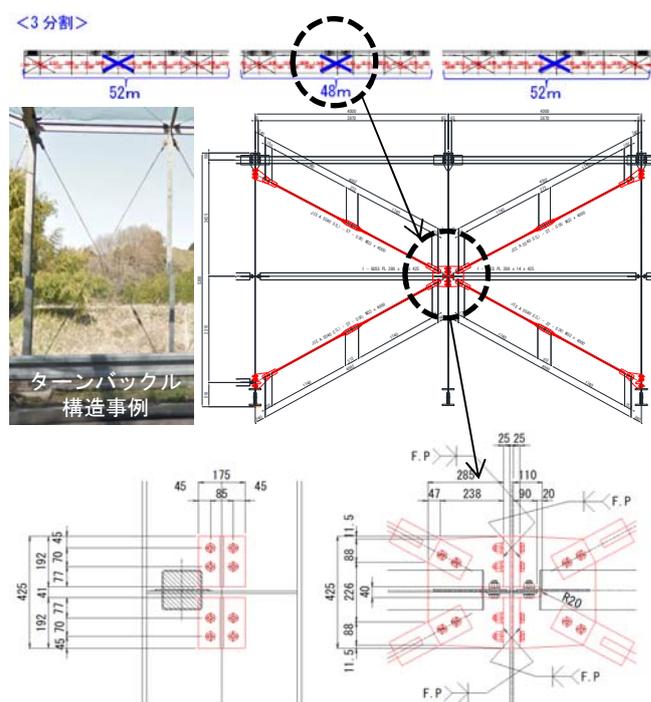


図-10 補修詳細図

5. まとめ

本飛球防護柵の破断は、横構と斜材が結合した状態で柱部へ接合している特殊な構造に起因し、日々の温度差により生じたねじりが局部的に応力集中を生じさせていた。また延長 160m という長い構造で延長方向の伸縮量が考慮されていないことも一因であったため、温度応力の検討に加え、軸方向の伸縮量確保が重要なことが分かった。

参考文献

- 1) テクノアイ：金属破断面写真集，pp.4-9，1985.
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，pp.11-13，2002.