

I 桁端部の横倒れ変形の原因推定と対策案

Presumed Causes of Lateral Deflection of the Ends of I Girders and Suggested Countermeasures

越後 滋
Shigeru ECHIGO

川田工業株式会社本部部長

勝俣 盛
Mori KATSUMATA

川田工業株式会社本部研究室

小笠原 照夫
Teruo OGASAWARA

川田工業株式会社本部研究室係長

The Hanshin-Awaji Earthquake Disaster of 1995 resulted in unexpected, extensive structural damage to structures. One of the unexpected areas sustaining damage was the lateral shear stress, which resulted in torsional deflection at the ends of I-section steel girders. This damage was due to the horizontal stress acting in a perpendicular direction to the major bridge axis on the low torsional rigidity I-section girders, while the supports restrained the transverse movement. This report presents a new method designed to prevent damage to the girder frame structure. This method uses a damper material capable of plastic deformation in combination with an ultra-low yield point steel as a seismic vibration-controlling device.

Key words: the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, earthquake, lateral shear deflection, material capable of plastic deformation, ultra-low yield point steel

1. はじめに

前掲の「平成7年兵庫県南部地震と構造物の被害の概要」でも述べたように、鋼上部工の損傷パターンの一例として、I桁端部の横倒れねじれ変形が数多く見られた。ここでは、特にこの損傷パターンに着目し、その原因の推定と対策案について述べる。

2. 原因の推定

I桁の端支点部下フランジの横倒れ変形の損傷形態としては、図1に示す“a”部のニーブレスフランジ取り付け部の損傷、“b”部の支点上補剛材の損傷、“c”部の支点上補剛材と下フランジ溶接部の破断や亀裂、さら

に端支点上横桁と支点上補剛材のH.T.Bの滑りや破断、端支点上補剛材の溶接の破断や亀裂を起点として、またこれらが複合して横倒れねじれ変形が生じて大きな損傷に進展していったものと推定できる。

各主桁ごとに着目すると、外桁が比較的大きな損傷を受けているが、これは、中桁には主桁の両側に端横桁やニーブレスが配置されていることから、横荷重に対する抵抗力が大きいためであり、支承から逸脱しても比較的損傷の軽微なものもあるようである。したがって、最初に外桁部が損傷を受け横荷重に抵抗できなくなり、外桁の分担していた横荷重が再配分されて中桁に集まり、中桁部の損傷に進展していったものと推定することができる。

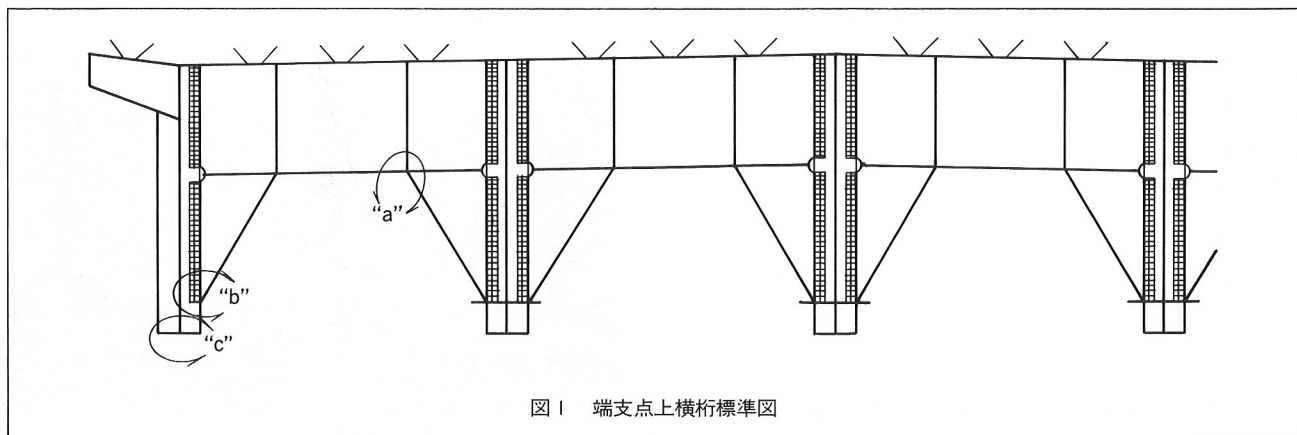


図1 端支点上横桁標準図

これらの原因としては、設計上想定していた地震時慣性力以上の力が作用したということはもちろんであるが、以下のようなことも原因として考えられる。

- ① 地震による慣性力は、慣用的に床版と下横構が1/2ずつ分担するものとして設計を行っているが、実際には、床版と下横構の剛性の差が大きいことからそのほとんどは床版が分担することとなる。これは、下横構にとっては安全側の考え方となるが、床版から支点到地震時の慣性力を伝達するための端横桁にとっては甚だ危険な考え方となってしまう。
- ② 横桁の桁高を低くしたニーブレス形式の端横桁は、下フランジ側に支材等を設けていないことから、床版からの地震時慣性力を、支承をピンとしたラーメン構造で受けもたせることになり、①と合わせて考えるとあまり余裕のない設計になっていたと考えられる（図2）。
- ③ 一般的に、下フランジと下横構間の支点上補剛材と主桁の腹板のみとなる区間の、地震時慣性力に対する照査が行われていない。
- ④ 支点部は地震時慣性力の集中点となり、衝撃的な力に対する弱点になりうる。

3. FEM解析による検証

ここでは、ニーブレス形式の端横桁を有する標準的な単純I桁橋をモデルに、地震による水平慣性力を加えた場合の静的な解析を行ってみた。解析手法としては、弾性解析と、幾何学的非線形性を考慮した弾塑性解析の両

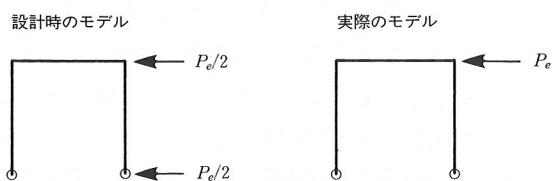


図2 端横桁の地震時慣性力に対する計算モデル

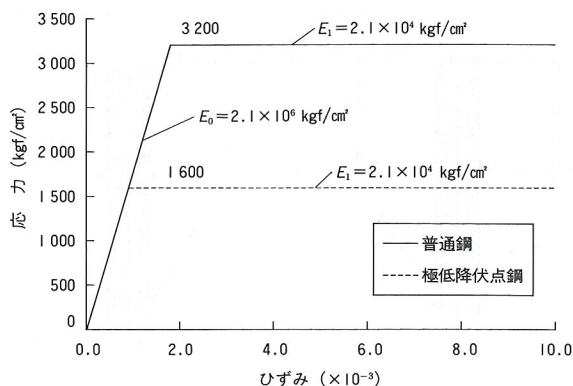


図3 計算に使用した鋼材の応力-ひずみ曲線

者を行った。解析には、汎用プログラムのMSC-NASTRANを使用し、荷重は加速度応答を考慮して橋軸直角水平方向に2G、鉛直方向に0.4Gを慣性力として与えている。また、図3の実線に示す性能の鋼材を使用している。解析モデルを図4に、結果の例を図5、6に示す。

これらの結果から、図1に示した構造上の弱点部と考えられる部位を中心に、かなり大きな応力が発生していることが確認できる。その最大主応力値は、線形解析で7263 kgf/cm²、非線形解析で3200 kgf/cm²であり、局部的には完全に降伏に至っていることがわかる。

4. 補修対策案

現在、橋梁の復旧工事が鋭意進められているが、ニーブレス形式の端横桁については、写真1のようにフルウェブ化が図られている。これは確実な補修対策方法のひとつであると思われるが、施工性は必ずしも良いものとは言えず手間のかかる方法である。

そこで、I桁端部の横倒れねじれ変形を防止するため、次のような観点にもとづき、図8に示す位置に極低降伏点鋼からなる追加部材（塑性変形部材）を設置した効果について検討した。

- ① I桁に対する地震水平力によって、桁本体にはまったく損傷を与えない。
- ② そのため、横移動に対する沓の拘束による悪影響をなくするため、支承にはサイドブロックを排除したゴム沓を使用する。
- ③ この追加部材は、橋軸方向にはまったく抵抗せず、従来どおりのゴム沓の設計でよい。また、橋軸方向の過度の移動は、十分な耐力を有する従来型の耐震連結装置で抑制する。
- ④ この追加部材は、橋軸直角方向の水平地震力による横方向移動を拘束するが、ある規模以上の力にはそれ自身が降伏して大きく変形しエネルギー吸収を図る。
- ⑤ このようなヒューズの役割を与えるため、この追加部材には極低降伏点鋼を使用し、その断面形状を変え



写真1 端横桁のフルウェブ化

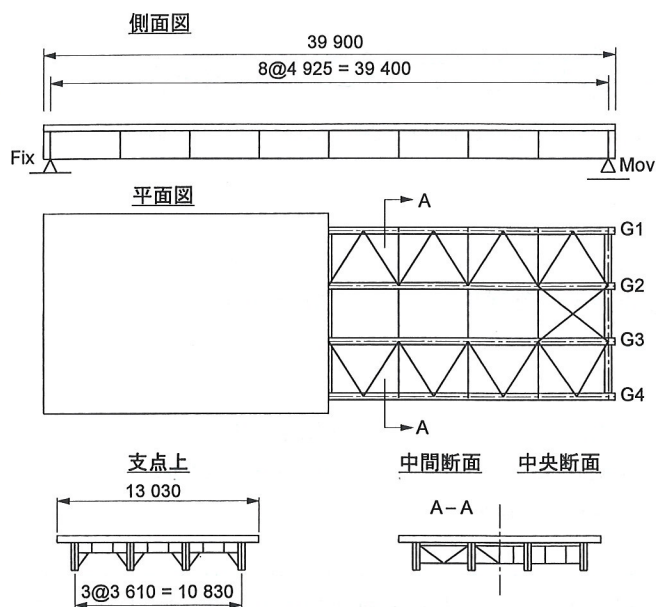


図4 解析モデル

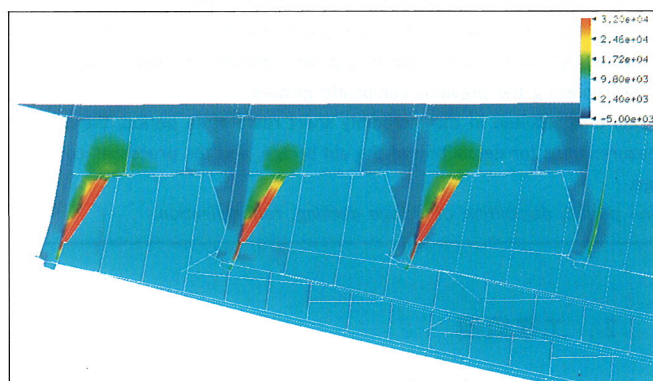


図5 線形解析による変形・応力図

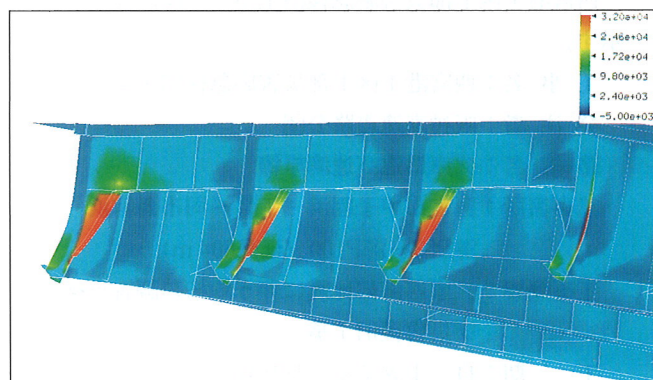


図6 非線形解析による変形・応力図

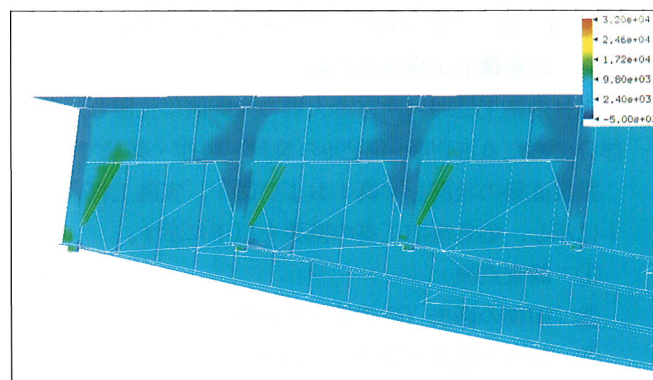


図7 塑性変形部材設置後の変形・応力図

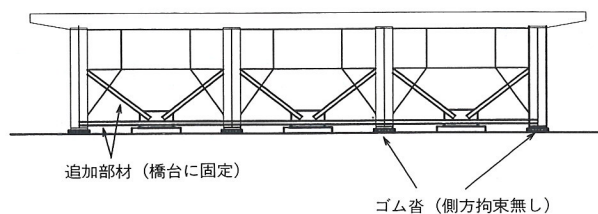


図8 塑性変形部材の設置

ることにより耐力をコントロールする。

- ⑥ 被災後には、この部材のみを交換すればよい。もし、桁本体が横移動したとしても、わずかであると思われる。その時は、ジャッキアップにより正規の位置へ戻すだけでよい。

このような極低降伏点鋼からなる塑性変形部材を、設置した解析モデルを対象として、前章と等しい慣性力を作用させた場合についてFEM解析を実施した。なお、極低降伏点鋼とは通常の鋼材に比較して低い降伏点と大きな伸び性能を有した鋼材であり¹⁾、ここでは図3の破線で示したような特性を有する鋼材を想定して解析した。解析の結果を図7に示すが、この図から、塑性変形部材は降伏して大きな変形を起こしているものの、桁本体に生じた主応力の最大値は2 554 kgf/cm²程度であり、極低降伏点鋼からなる塑性変形部材が有効に働いていることがわかる。

5. おわりに

ニーブレス形式の端横桁を有するI桁橋に対する静的解析を行い、極低降伏点鋼を使用した塑性変形部材が、橋軸直角方向の水平地震力に対し効果がある可能性を見いだした。これは、端対傾構タイプのI桁橋に対しても十分有効な方法であると思われる。

今後は、動的解析や実験等を実施して塑性変形部材のより詳細な特性や効果を把握するとともに、構造ディテールなどについても検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 新日本製鐵株式会社：新日鐵の弾塑性履歴型ダンパー用鋼板，1993年9月。