

水平力作用下の鋼十字柱の鉛直耐荷力に関する基礎的研究

(国研) 土木研究所 正会員 ○藤本圭太郎
(国研) 土木研究所 正会員 澁谷 敦

(国研) 土木研究所 正会員 玉越 隆史
(国研) 土木研究所 正会員 村井 啓太

1. はじめに

過去の地震による鋼橋の被害は、主桁や主構に顕著な耐荷力低下が危惧されるような大規模な塑性化や破断等はほとんど報告されていない。しかし、下横構等の耐荷力上は副次的な部材の塑性化や、それと同時にそれらの部材との接合部で主桁の腹板や垂直補剛材で耐荷力低下の恐れのある塑性化が生じる例が確認されている。

本研究は鋼橋の主桁支点部に着目し、地震時に生じる可能性のある過大な水平力に対して、従来一般的に行われてきた支点部の主桁設計法の課題を明らかにすることを目的に、十字の圧縮柱（以下、十字柱）に水平力が作用した場合の鉛直耐荷力への影響を弾塑性有限要素解析により評価したものである。

2. 被災事例からみた鋼橋桁端部現行設計法の課題

鉸桁形式の鋼橋の設計は、主桁と荷重分配横桁など主たる構造部材のみを棒モデルで考慮した平面格子解析モデルでこれらの部材断面を決定し、主桁の支点部構造や主桁同士が立体的に機能するための対傾構や横構は別途設計される。また、支点部は主桁が鉛直荷重に対して抵抗できるよう十字柱として必要な断面が確保されるよう垂直補剛材が設計される。

一方、横構や対傾構をトラス構造とする場合は、それらと主桁との接合部は実際にはボルトや溶接で剛結されるが、設計上はピン接合に単純化したモデルで設計される。さらに端部対傾構は、主桁ウェブや垂直補剛材に接合されることが一般的である。しかし、これら垂直補剛材が単純な十字柱として鉛直力のみ考慮されており、支点部の耐荷力に及ぼす影響については不明な点が多く、設計では考慮されていない。

写真1を見ると、支点部又はその近傍の主桁ウェブ、垂直補剛材、主桁に取付くガセット板に塑性変形が多く確認されており、主に鉛直力でしか設計されていない補剛構造に対し大きな水平力や水平方向の強制変位が作用したことが影響している可能性が考えられる。



写真1 鋼橋主桁支点部の地震被害の例

3. 想定する現象と解析モデル

本研究では、地震による床版の水平変位により桁端部の上端に水平力 P_h が作用することを想定し、 P_h が作用した場合の桁端部の鉛直耐荷力への影響を評価する。

解析モデルは支点上垂直補剛材の現行設計法のモデルとしている十字柱の上端に P_h を載荷し、十分に剛な載荷板から鉛直漸増載荷する。また、十字柱断面は P_h による鉛直耐荷力への影響の評価を単純化するため、板厚 11mm と突出長 100mm の対称な断面とし、拘束条件等は図1のようにモデル化した。構成則は、バイリニア型モデル、使用鋼材の材料条件は表1とした。

解析パラメータは、表2のように設定した。細長比パラメータ λ は断面を一定とすることを前提とし、柱高 H を変化させた。また、最大鉛直荷重 P_u が P_h 載荷後の十字柱の形状へ影響するものと考え、 P_h を載荷させることで発生する水平変位 δ_h を H で除した δ_h/H をパラメータとして設定し、パラメータにあわせた P_h を載荷した。なお、本研究では δ_h が P_u に及ぼす影響は初期不整よりも十分に大きい等の理由より、初期不整は考慮しないこととした。また、問題が複雑化しないよう、 P_h のみで発生する応力は弾性範囲内とした。

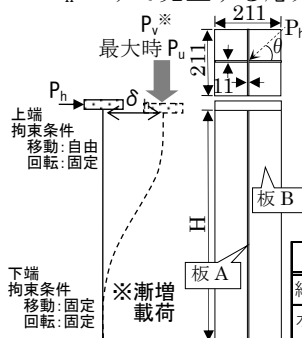


図1 解析モデル

表1 材料構成則

使用鋼材	弾性係数 E (N/mm ²)	二次勾配 (N/mm ²)
SM400	200,000	$E/100$
降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ポアソン比 ν	降伏条件
235	0.3	ミーゼス

表2 解析パラメータ

	パラメータ
細長比パラメータ: λ	0.5, 1.0, 1.2
水平荷重	水平変位量 δ_h /柱高 H (10^{-3})
載荷角度: θ (度)	0, 30, 45

※※初期ひずみとして $\sin$ 半波¹⁾を導入
(最大たわみと突出長の 1/1,000)

キーワード 十字柱、弾塑性有限要素解析、水平荷重、耐荷力

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

4. 解析結果と考察

(1) 水平荷重 P_h の最大鉛直荷重 P_u への影響

検討に用いる解析モデルの妥当性の検証を兼ねて行った水平荷重 P_h の載荷角度 θ が 0° の場合の解析結果を、最大鉛直荷重 P_u と δ_h/H の関係で図2に示す。

水平荷重によって弾性変形している状態で過大な鉛直力が作用する状況は実際に稀と考えられるが、本検討は柱構造の圧縮による座屈耐力に支配的となる鉛直度の影響の傾向を把握する目的で行ったものである。細長比パラメータ λ によらず P_u は、 δ_h/H の増加に伴って顕著に低下し、その程度は λ や δ_h/H によっても一様でなく複雑な関係を示すことがわかる。

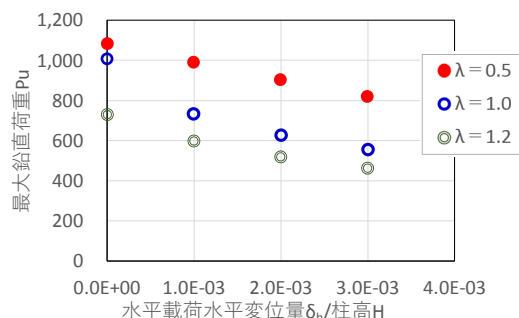


図2 δ_h/H の最大鉛直荷重 P_u への影響

(2) 水平力の載荷角度 θ による影響

地震を念頭に十字柱部材となる主桁の支点上補剛構造の鉛直耐力に対する水平変位の影響を考えると、水平偏心させられる方向は様々と考えられる。そこで P_h の載荷角度 θ をパラメータに試算を行った結果を図3、図4、図5に示す。 θ の変化による P_u 低下の影響は、 λ によらず δ_h/H の増大による影響と比較して大きくない。また、 λ によって同じ δ_h/H における θ の影響は同じでない。例えば λ が 0.5 の場合、 θ が 0° から 45° の順で、 λ が 1.0、1.2 の場合は θ が 45° から 0° の順で低下が大きい。

λ が 0.5、 δ_h/H が 1.0×10^{-3} の場合の P_u 時の変形図、ミーゼス応力分布を図6に示す。 θ が 0° の場合に P_h に直交する板 A の応力分布は、 θ の違いによって明らかな違いがみられ、 θ や δ_h/H の違いに起因して鉛直力増加に伴う補剛材の発生応力性状に顕著な差が生じることで P_u が複雑に影響を受けることが伺える。

単純化した十字柱モデルでも鉛直耐力への水平力の影響は複雑であることがわかった。このため、水平力作用下の実橋の桁端部の耐力評価は、横部材の取付けの影響等、更に複雑となることが考えられる。

5. おわりに

水平力の存在によって、支点上補剛構造の鉛直耐力に大きな低下が生じることを確認した。さらに実橋の条件をより正確に反映した評価を進める予定である。

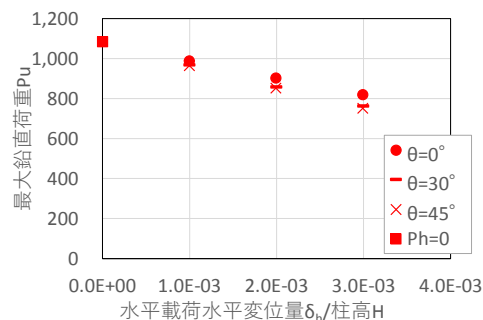


図3 λ が 0.5 の水平載荷角度毎の最大鉛直荷重

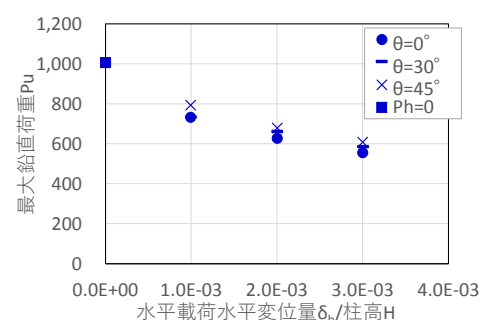


図4 λ が 1.0 の水平載荷角度毎の最大鉛直荷重

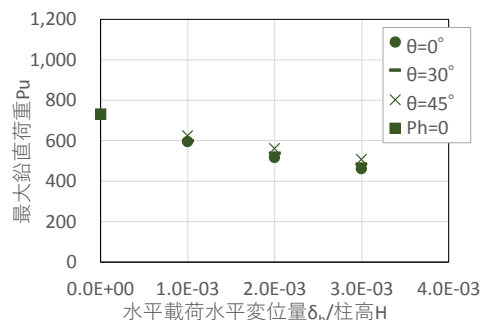


図5 λ が 1.2 の水平載荷角度毎の最大鉛直荷重

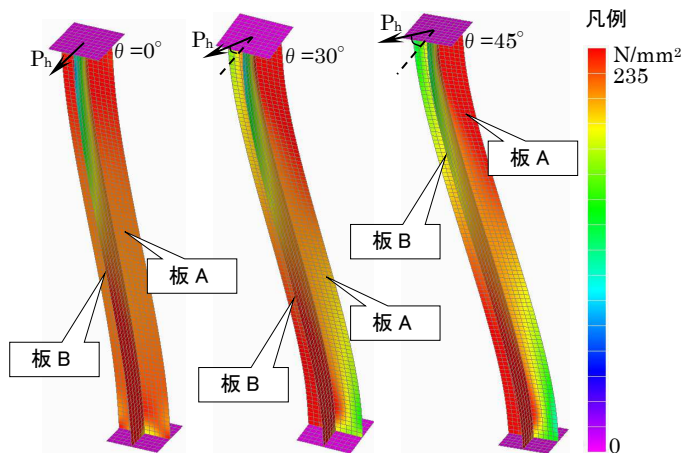


図6 最大荷重 P_u 時の変形(変形 10 倍),ミーゼス応力分布 $\lambda = 0.5$ 、 $\delta_h/H = 1.0 \times 10^{-3}$ を例として

参考文献 1) 土木学会:座屈設計ガイドライン[2005 年版]、平成 17 年 10 月